

ABDERRAZAK EL ALBANI
ROBERTO MACCHIARELLI
ALAIN MEUNIER

AUX ORIGINES DE LA VIE

UNE NOUVELLE HISTOIRE
DE L'ÉVOLUTION

DUNOD

Ouvrage publié avec le concours
du Centre national du Livre

Illustrations intérieures de Bernadette Coléno

Illustration de couverture:
Reconstitution des organismes du Gabonionta
© Marcel Laverdet

© Dunod, 2016
5 rue Laromiguière, 75005 Paris
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-073791-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

*À tous les étudiants et amis du Gabon dont nous avons croisé la route.
À la mémoire de Jean François Stéphan dont le soutien en tant que
directeur de l'INSU-CNRS fut décisif.*

PRÉAMBULE

Voici un livre dédié à l'aventure même si les explorateurs qui l'ont menée ne se sont pas battus contre la jungle végétale mais plutôt contre celle, tout aussi impénétrable et dangereuse, des idées reçues. Il s'y raconte, en effet, comment oser penser que l'apparition d'une vie complexe aussi tôt dans l'histoire de la Terre (2,1 milliards d'années au lieu des 0,7 habituellement admis) pouvait paraître iconoclaste sinon carrément saugrenu. Il faut, dans ce genre de travail, la persévérance et l'enthousiasme collectif de ceux qui s'y associent. Il y faut aussi, inévitablement, de la chance; celle qui vous oblige à ramasser un caillou un peu bizarre et qui vous pousse à l'analyser au laboratoire. La découverte des fossiles dans le bassin de Franceville au Gabon fut de cette eau-là. Elle a commencé par une simple mission géologique sur le terrain dont le but était d'effectuer un échantillonnage de sédiments anciens pour en étudier les transformations que l'enfouissement et le temps, immenses, avaient provoquées. Ici nous sommes sur une Terre à peine âgée de 2,5 milliards d'années. Tout y est différent de ce que l'on connaît, ne serait-ce ces objets géologiques extraordinaires que sont les réacteurs nucléaires naturels d'Oklo. La moindre découverte ouvre une fenêtre sur une planète pratiquement inconnue. Il suffit de « lire » ce qui est inscrit dans la roche. Il suffit certes... mais encore faut-il savoir le faire. En effet, les indices que l'on recherche vont de ce qui se voit à l'œil nu à ce qui constitue l'intimité de la matière: les atomes. Du marteau au spectromètre de masse, tout contribue à décrypter le message.

Ce livre est donc, avant toute chose, une invitation à déambuler sur la Terre primitive. C'est un peu comme découvrir une planète inconnue orbitant autour d'une autre étoile. Les géologues sont des voyageurs du temps. Pour peu que l'on s'intéresse à elles, les roches que le promeneur

foule au Gabon racontent quelle était la couleur du ciel, la durée du jour, la force des marées, la température de la mer... il y a plusieurs milliards d'années. Les indices qui guident de telles déductions sont incroyablement variés. Ils sont décryptés non seulement par le géologue mais aussi par le chimiste ou l'astrophysicien. La quête de l'information est nécessairement pluridisciplinaire. C'est ce qui fait sa richesse car tous ces spécialistes que rien, *a priori*, n'aurait conduits à se rencontrer, se penchent sur les mêmes objets avec le même enthousiasme. Voilà la dimension humaine de l'aventure à laquelle nous vous convions. Pour tous, de ceux qui observent ou analysent à ceux qui lisent leurs comptes rendus, il y a un réel plaisir à lever un coin du voile pour accéder à ce passé très lointain. On ne fait pas de la science pour soi et la plus belle découverte n'est rien si elle n'est pas partagée. Cependant, le plus grand nombre ne peut être convié à cette fête que si la narration est débarrassée du jargon familier aux scientifiques. C'est le but de cet ouvrage. L'effort n'est pas mince et le résultat peut être inégal. Ce fut pourtant le souci constant guidant sa rédaction. Nous avons choisi de présenter certaines notions scientifiques plus pointues dans des encadrés afin de ne pas en alourdir la lecture. Ils sont là pour satisfaire la curiosité de qui veut en savoir davantage. Eux aussi sont déshabillés de leur habituel cortège de mathématiques et de jargon abscons.

Le plaisir! Tout est là. Découvrir est toujours une joie; mettre la main sur l'impensable, une jouissance. «Science sans conscience n'est que ruine de l'âme» écrivait Gargantua à son fils Pantagruel, on pourrait y ajouter que science sans plaisir n'est que vanité stérile. Rechercher la connaissance ne doit pas être un pensum. Cela vaut pour tous et on a bien le droit de s'enthousiasmer et de sauter de joie quand un obstacle intellectuel a été franchi ou quand s'illumine soudain un domaine resté ténébreux jusque-là. C'est d'ailleurs par le plaisir que l'on s'éduque avec efficacité. À ce titre, la leçon que nous délivre le Gabon est un vrai bonheur que tous ceux qui l'ont découverte souhaitent partager avec le plus grand nombre. Nous avons choisi de la présenter dans l'ordre de l'écoulement du temps, de l'Archéen au Paléoprotozoïque, et du global (la planète) au particulier (la carrière de la Socoba qui renferme les fossiles). Les planches en couleur et notamment les images de la microtomographie ajoutent à l'étrangeté de ces êtres vivants à jamais

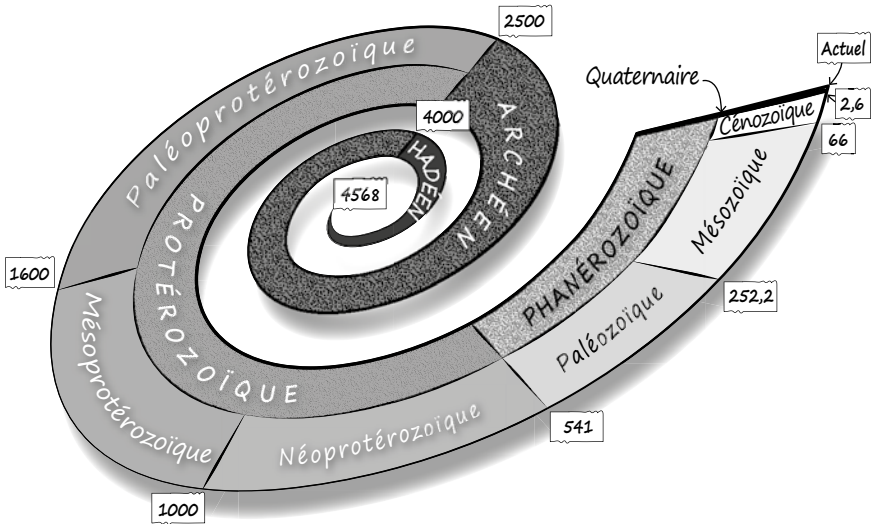
disparus, l'esthétique de leurs restes. Les sources des informations sont indiquées dans une liste non exhaustive de références choisies. Elles sont souvent très récentes car cette science est vivante et productive. Elle est complétée par la mention de quelques livres, elle aussi, limitée. Ils ne sont pas appelés explicitement dans le texte car leurs contenus respectifs couvrent une grande partie des développements qui y sont présentés. Il est en effet hors de propos, pour qui souhaite mettre à la disposition du plus grand nombre une information scientifique, de citer tout ce qui a été écrit sur le sujet. C'est le prix à payer pour une vulgarisation intelligible mais l'exercice a nécessité un effort constant pour des scientifiques. Rien n'est plus frustrant. Que tous les chercheurs dont le nom n'apparaît pas dans ces listes nous pardonnent, leurs travaux ont été également lus et appréciés.

Nous sommes prêts maintenant à parcourir ces temps immenses qui se mesurent en milliards d'années depuis l'époque où la Terre, déjà formée et munie de son satellite, a été, pour la dernière fois, intensément bombardée par des météorites.

L'âge des roches

Il a fallu attendre la découverte de la radioactivité naturelle par Rutherford au début du xx^e siècle pour mesurer l'âge des roches par une méthode fiable, reproductible et précise. Elle est basée sur le constat que certains éléments chimiques se désintègrent spontanément en perdant la moitié de leur stock au bout d'une durée constante définie comme leur demi-vie. Ce phénomène naturel offre donc l'opportunité de mesurer le temps écoulé depuis que ces éléments ont été inclus dans des cristaux. Il suffit pour cela de mesurer leur teneur ainsi que celle de leurs produits de désintégration. On sait effectuer ces dosages de mieux en mieux grâce aux progrès techniques dans la construction des spectromètres de masse. D'abord mise au point sur la désintégration de l'uranium, cette méthode est appliquée à de nombreux autres éléments aujourd'hui. C'est grâce à cela que l'âge de la Terre a été reculé jusqu'à 4,548 milliards d'années et que l'on sait que son noyau s'est formé très vite après sa naissance (30 millions d'années). Les datations absolues sont devenues d'usage courant en sciences de la Terre. Elles forment

désormais un corpus suffisamment fourni pour que l'on puisse proposer en toute confiance une échelle des temps géologiques dont les repères sont précis.



Échelle des temps géologiques (en millions d'années).

LA TERRE ARCHÉENNE

La Terre s'est formée il y a 4,5 milliards d'années. Antiquité fabuleuse dont les premiers âges (Hadéen) restent encore mystérieux bien que le voile se lève peu à peu. L'histoire que nous allons raconter ici commence bien plus tard, il y a 3,8 milliards d'années, à la fin d'un bombardement météoritique lourd.

Imaginons un instant ce que nous aurions pu voir et ressentir si nous avions été là, sur cette planète encore très jeune : la Lune couvrait l'horizon. Sa lumière éclairait si fortement le paysage rocheux qu'il s'y projetait des ombres comme en plein jour. Le ressac faisait un bruit énorme sur les rochers de la côte que la marée recouvrait. Quoi de plus banal *a priori* qu'une nuit au bord de la mer ! Cependant ne nous y trompons pas, cette scène vieille de 3,5 milliards d'années s'ouvre sur un monde très étrange. D'abord, et ce n'est pas peu, pas d'arbres, d'oiseaux ou de moustiques et cette Lune énorme qui était bien plus proche de la Terre qu'elle ne l'est maintenant. Elle tournait beaucoup plus vite sur elle-même et ne possédait pas de face cachée. Imaginons ces paysages désormais effacés, entendons les vents oubliés, sentons les odeurs évanouies. C'est bien à cela que nous convie la science pour peu que, dépassant observations et mesures, nous nous laissions aller à imaginer ce qu'elles suggèrent. Il suffit de mettre bout à bout les découvertes accumulées par plusieurs générations de chercheurs et alors un monde insolite se dessine peu à peu. Laissons-nous donc entraîner dans une déambulation

sans limites sur une Terre primitive aussi étrange que pourrait l'être une planète inconnue dans un autre système solaire.

Remonter le temps est fascinant mais pourquoi commencer ce voyage « seulement » à un peu plus de 3,5 milliards d'années? Pourquoi ne pas aller aussi loin que son origine (4,5 milliards d'années) et parcourir ainsi l'immense Hadéen? Son terme, en effet, est classiquement placé à 4 milliards d'années voire pour certains auteurs à 3,85 milliards d'années, date associée à l'apparition certaine (ou quasi-certaine) de la vie sur Terre. Nous avons choisi d'ignorer cet éon pour deux raisons. La première est que les éléments relatés dans ce livre sont situés au Gabon qui ne possède pas, pour autant qu'on le sache aujourd'hui, de roches plus anciennes que l'Archéen qui lui succède. Pour en observer, il faut aller dans le Grand Nord canadien où l'on a identifié les roches les plus anciennes (4,3 milliards d'années). La seconde tient au fait que notre voyage commence sur une Terre constituée et pas sur un corps planétaire en train de se construire. Elle porte déjà des océans et des embryons de continents. Il n'y pleut pas de la roche fondue pulvérisée par les incessants impacts de météorites comme cela fut le cas durant l'Hadéen. Le choc gigantesque qui a formé la Lune appartient désormais à un passé lointain. Cependant, notre satellite était plus proche, bien plus proche de la Terre dans ces temps-là (25 000 km). Quel spectacle flamboyant! Heurtée sans cesse par des météorites, la Lune devait offrir un feu d'artifice gigantesque et permanent. Depuis, elle s'éloigne de nous, progressivement, jusqu'à se trouver à presque 385 000 kilomètres aujourd'hui. À l'époque où les roches les plus vieilles du Gabon se mettaient en place, elle était encore à moins de 100 000 kilomètres et provoquait des marées gigantesques qui pouvaient s'avancer très loin sur les zones côtières basses. L'alternance jour-nuit était aussi beaucoup plus rapide car la planète tournait plus vite sur elle-même qu'elle ne le fait maintenant. Le jour ne durait pas 24 heures mais seulement 16.

Notre voyage commence donc avec les roches les plus anciennes que l'on connaisse au Gabon. Elles appartiennent à l'Archéen. C'est à partir d'elles et de leurs équivalents observés en d'autres lieux et sur d'autres continents que notre déambulation commence. Nous verrons qu'au-dessus de ces socles antiques, c'est-à-dire plus tard dans l'histoire, des formations sédimentaires se sont empilées les unes sur les autres, conservant

ainsi le souvenir des océans perdus. Elles ont enregistré dans leur structure et dans leurs composants minéraux les conditions qui régnaient à l'époque de leur dépôt. Elles se lisent comme les pages d'un livre et racontent une autre période de la saga terrienne: le Protérozoïque (2,5 à 541 milliards d'années). Ce qui nous y attend est encore plus extraordinaire. Pour l'heure, il est temps de découvrir la Terre archéenne.

Le visage de la Terre archéenne

De l'eau... beaucoup d'eau! Au début de l'Archéen, la planète était recouverte d'eau. Peu de terres émergées exceptés les plateaux de laves, basaltes et komatiites (voir Encadré « Basaltes et komatiites », page 12), qui, en s'enfonçant sous leur propre poids, sont constamment recyclés dans le manteau. Formé presque essentiellement de silicates, ce dernier représente plus de 80 % du volume de la Terre et environ 65 % de sa masse. Son épaisseur est colossale: 2 900 kilomètres avant d'atteindre le noyau. Nous verrons plus loin que les vrais continents, ceux qui surnagent éternellement au-dessus de lui, se sont formés progressivement au cours des milliards d'années qui suivent. On estime qu'à l'Archéen les océans étaient un quart plus volumineux qu'ils ne le sont maintenant. Ils se sont formés lors du dégazage intense du manteau terrestre entamé dès l'Hadéen. Voilà qui nous amène immédiatement à une question fondamentale: mais quelle est donc l'origine cosmique de toute cette eau? Eh bien! Pour aussi curieux que cela paraisse, on a des éléments de réponse. Les indices se cachent dans la composition isotopique de l'hydrogène. La quantité de deutérium (composant de l'eau lourde: 1 proton + 1 neutron) de l'eau des océans est comparable à celle des micrométéorites que l'on trouve par milliers dans les neiges de l'Antarctique. C'est le matériau le plus ancien du système solaire qui nous arrive tout droit de la condensation de la nébuleuse originelle. On a longtemps cru que les glaces des comètes avaient contribué pour au moins 10 % à la masse totale de l'eau terrestre. Il semble bien maintenant que cette proportion soit moindre. En fait, qu'elle soit stockée dans les minéraux des micrométéorites sous sa forme moléculaire (H_2O) ou bien qu'elle soit combinée au réseau cristallin de certains minéraux (OH), l'eau se libère sous l'effet de la température extrême qui règne

dans le manteau. Elle en favorise la fusion localement et les magmas ainsi produits, moins denses que le milieu solide qui les contient, remontent vers la surface où ils émergent sous la forme de myriades de volcans. Ce sont leurs gaz libérés par les éruptions qui véhiculent l'eau jusque dans l'atmosphère. Condensée en altitude, la vapeur retombe en pluie sur la surface de la planète. Les pluies furent gigantesques et interminables durant l'Hadéen avant de devenir à l'Archéen peu à peu plus semblables à celles que nous connaissons actuellement. Là encore, comment le sait-on ? Pour aussi étrange que cela paraisse, il existe des « fossiles » de pluies. Il s'agit d'empreintes laissées par les gouttes s'écrasant sur un matériau meuble qui s'est ensuite durci. De la forme, de la taille et de la profondeur de leur trace, on peut en déduire la vitesse de leur chute et, par conséquent, la pression atmosphérique de l'époque. Le résultat est surprenant : elle ne dépassait pas deux fois sa valeur actuelle. Par contre, la composition chimique de l'air était très différente. Pas d'oxygène mais de l'azote, du dioxyde de carbone, du méthane. Irréspirable pour nous mais pas pour certains micro-organismes. Nous y reviendrons.

Basaltes et komatiites

Les komatiites proviennent de la fusion à plus de 50 % des roches du manteau. Leur composant minéral majeur est l'olivine. Ce sont des fossiles magmatiques qu'aucun volcan actuel ne laisse plus couler. Laves étranges qu'on ne trouve plus après l'Archéen à l'exception de celles de l'île Gorgona au large de la Colombie qui datent d'environ 90 millions d'années. En effet, pour fondre le manteau dans de telles proportions, il faut une réserve de chaleur qui n'existe plus maintenant. Seul le point chaud extraordinairement actif au Crétacé a rétabli momentanément ces conditions. Elles sortaient de la bouche des volcans à plus de 1 600 °C. Leur viscosité était si faible qu'elles s'écoulaient comme de l'eau et s'accumulaient dans les dépressions en formant des lacs incandescents. Le refroidissement brutal de leur surface en contact avec l'atmosphère provoquait la formation très rapide de cristaux d'olivine de forme bizarre. Cela est attesté par leur aspect squelettique en arête de poisson. S'entremêlant en gerbes comme le font les joncs dans les prairies marécageuses, ils forment une microstructure typique qualifiée de « spinifex ».

Nous voilà donc embarqués sur un océan planétaire. La Terre tournant plus vite sur son axe qu'elle ne le fait maintenant, on estime que la durée du jour augmenta de 14 à 18 heures entre 3,8 et 2,5 milliards d'années. Les vents devaient être violents et la houle qu'ils génèrent impressionnante. La Lune beaucoup plus proche provoquait des marées énormes. Leur amplitude devait dépasser la centaine de mètres par endroits. Les côtes des terres émergées étaient donc soumises à une agression permanente. L'érosion très intense nivelait les reliefs. Les débris, charriés par les premiers fleuves, s'accumulaient dans les dépressions formant ainsi les premières roches sédimentaires. Les plus vieilles d'entre elles datent de 3,8 milliards d'années et se trouvent au Groenland. Tout cela ressemble à ce que nous observons maintenant à ceci près que la désagrégation des roches émergées se faisait alors au contact d'une atmosphère dépourvue d'oxygène très différente de ce qu'elle est actuellement. L'eau de pluie, rendue acide par le gaz carbonique de l'atmosphère, attaquait puissamment les minéraux silicatés. Le fer qu'ils contenaient, au lieu d'être oxydé comme actuellement, était évacué sous son espèce réduite soluble. Les protocontinents n'étaient donc pas rouges mais plutôt gris et l'océan était vert ! Les reliefs ainsi démantelés répandaient leurs débris jusque dans les dépressions, futurs bassins sédimentaires, à leur pied. Malgré un trajet parfois long, ils contenaient des minéraux qu'il serait impensable de trouver aujourd'hui car très sensibles à l'oxydation. Ainsi, dans les sédiments archéens, les géologues découvrent parfois des sables ou des galets d'uraninite (minéral d'uranium) et de pyrite (sulfure de fer). Leur forme émoussée atteste du transport qui les a façonnés après que l'érosion les ait arrachés de leurs roches d'origine.

La Terre archéenne est là ! Monde étrange dont l'image la plus proche que nous puissions proposer serait celle du Pacifique avec ses îles dispersées dans l'immensité de son étendue mais un Pacifique qui ne serait pas bleu. Le ciel non plus ne l'était pas comme nous le verrons plus loin. Imaginons un instant que nous sommes sur une grève au moment de la basse mer. Elle s'étend à perte de vue, ponctuée par endroits d'étranges monticules arrondis (des stromatolites – voir la section « Les traces fossiles de la vie microbienne » Chapitre 3, Figure 3.6). Le voyage commence.

L'eau de mer était-elle chaude et salée ?

Du sel et de l'eau. Reprenons notre souffle ; donc, on estime, rappelons-le, que la masse totale des océans devait, à l'époque, dépasser de près de 25 % celle de leurs équivalents actuels. Mais était-ce vraiment des océans et étaient-ils salés ? La comparaison avec la Terre actuelle n'est pas exacte car, si l'eau de mer ne contient en moyenne que 35 grammes de chlorure de sodium par litre, c'est parce qu'une grande partie est piégée dans les roches continentales. Ce n'était pas le cas à l'Archéen. Les surfaces des terres émergées propres à laisser évaporer l'eau salée puis à stocker le sel dans les sédiments étaient rares. On estime que la salinité de l'océan devait approcher soixante grammes par litre. Ce constat amène inévitablement une question : d'où proviennent ces énormes quantités de chlore ? Les gaz volcaniques en sont la seule source possible. Ils sont extraits du manteau qui perd ses éléments les plus volatils par décompression près de la surface. Nous avons vu que c'est aussi le cas de l'eau, du dioxyde de carbone, du fluor, de l'hélium et de bien d'autres encore. De fait, le stock de chlore provient lui aussi des matériaux de construction initiaux de la planète dont l'inventaire n'est pas simple à établir. Rappelons que les planètes se sont formées à partir de la condensation d'un disque formé de gaz et de poussières gravitant autour d'une jeune étoile : le Soleil. Les spécialistes s'accordent pour reconnaître que tout vient des météorites chondritiques, les objets les plus primitifs du système solaire (voir Encadré « Les météorites chondritiques », page 15). Ce sont des débris d'astéroïdes qui contiennent des sortes de billes plus petites que le millimètre dont l'origine est la solidification dans l'espace de gouttelettes de silicates fondus (les chondres). On suppose donc que croûte, manteau et noyau de la Terre se sont construits à partir de ce matériau primordial. D'homogène au début, le stock s'est vite redistribué en zones concentriques selon la densité des composants (différentiation). Cependant, si le schéma général est accepté par tous, le consensus entre les géochimistes n'est pas total ; certains pensent qu'il n'est pas possible que la composition de la planète entière provienne de cette seule source.

Les météorites chondritiques

Les météorites sont des «pierres tombées du ciel» comme l'a reconnu l'astronome Jean-Baptiste Biot en 1803. Il en existe un grand nombre de catégories que l'on distingue par leur composition minéralogique et chimique et par leur microstructure. Certaines proviennent d'astéroïdes différenciés c'est-à-dire possédant noyau et manteau comme les planètes telluriques. Tel est le cas de Vesta dont nous avons un nombre important de météorites dans les collections mondiales. Cependant, les plus abondantes sont les chondrites. Ce sont des matériaux composites associant des éléments formés à haute température avec un ciment riche en carbone et en argiles. Toutes possèdent des chondres. Ce sont de petites gouttes de magma dont la fusion puis la cristallisation se sont produites dans le cosmos.

Cet océan très salé était-il chaud? Comment le savoir? Il faut, pour répondre à cette question, trouver des indicateurs de température qui se soient conservés sans altération depuis plus de 3 milliards d'années. Il faut les rechercher dans les roches les moins susceptibles de subir des transformations importantes au cours de leur histoire. Les meilleurs candidats sont les silex ou les jaspes. Ce sont des matériaux composés essentiellement de silice hydratée qui se forme par précipitation chimique dans un milieu océanique. L'enfouissement progressif, par l'effet combiné de l'augmentation de la température et du temps, l'a peu à peu transformée en quartz microcristallin. C'est un phénomène classique dans lequel des sédiments mous deviennent des roches dures par compaction et modifications minéralogiques (diagenèse). Il suffit alors de décrypter le message enregistré dans la composition isotopique de l'oxygène et du silicium pour espérer trouver les paléothermomètres recherchés. Simple! Mais en apparence seulement car beaucoup de pièges sont à éviter. En effet, même coriaces, ces sédiments très spéciaux ont néanmoins subi de multiples avatars durant leur longue existence. Le principal, celui auquel ils ne peuvent échapper, est l'inévitable étape de la recristallisation. Une substance amorphe est éminemment instable dans les conditions imposées par la diagenèse. Les premiers résultats obtenus sur des échantillons de formations datant de 3,5 milliards d'années à Barberton (Afrique du

Sud) et Pilbara (Australie) convergeaient étonnamment bien vers des températures élevées, de l'ordre de 70 °C. Cependant, tout en respectant l'hypothèse lourde que la composition isotopique de l'océan n'ait pas changé au fil du temps, on a pu montrer récemment, en considérant aussi les isotopes de l'hydrogène, que la température de l'eau n'était pas significativement plus élevée que 25-35 °C. Pire! En se basant sur l'intensité de l'altération des débris rocheux inclus dans les sédiments, certains pensent même qu'elle était comparable à ce qu'elle est maintenant entre zone tempérée et tropiques soit 18-24 °C. Alors, les valeurs très élevées mesurées sur les jaspes de Barberton et de Pilbara étaient-elles fausses? Sûrement pas, mais la question est de savoir ce qu'elles caractérisent: est-ce réellement l'eau des océans ou son mélange avec des fluides hydrothermaux? En effet, les dépôts de silice amorphe aussi importants étant communs dans l'environnement des sources thermales, il est bien possible que la température mesurée ne représente pas celle de l'océan tout entier mais plutôt celle d'un mélange local. Là encore, le débat reste ouvert et de nouvelles découvertes permettront peut-être de trancher. D'ores et déjà, il amène naturellement à une autre interrogation: le climat à l'Archéen était-il chaud?

Des gaz à effet de serre

Quel temps fait-il? Question fondamentale qui nous préoccupe chaque matin. Pour simple qu'elle semble, elle cache le redoutable problème des interactions complexes mettant en jeu de multiples facteurs, combinant les conditions cosmiques avec celles des échanges de chaleur et de gaz entre l'atmosphère et les enveloppes solides de la Terre. Les unes jouent dans le sens du réchauffement, les autres dans celui du refroidissement. Il suffit de contempler les débats parfois houleux entre les modélisateurs s'attaquant au réchauffement climatique pour se convaincre que c'est effectivement très compliqué de déterminer de façon sûre ce qui se passe aujourd'hui. Alors que dire d'un passé aussi lointain que 3 milliards d'années? Nous sommes très myopes certes, mais pas totalement aveugles. Il suffit simplement de revenir aux éléments intangibles du raisonnement. En premier lieu, le plus important est d'évaluer la quantité d'énergie reçue du Soleil. Déjà, nos modèles actuels sont hors

course car, à l'époque de l'Archéen, son rayonnement était 20 % plus faible que maintenant. La planète aurait dû être totalement gelée si son atmosphère n'avait possédé un fort pouvoir d'effet de serre. C'est le « paradoxe du Soleil faible ». Le gaz qui contribue majoritairement à l'effet de serre encore aujourd'hui est le dioxyde de carbone (CO_2), ou gaz carbonique. Pour que l'effet de serre puisse compenser la faiblesse du Soleil à l'Archéen, les calculs montrent qu'il fallait que sa quantité dépasse de presque 1 000 fois celle d'aujourd'hui. On sait maintenant, grâce à certains minéraux qui ont précipité avec les jaspes de Barberton (Afrique du Sud), que cela n'était pas possible. Mais alors, comment l'effet de serre avait-il réussi à se maintenir à un niveau suffisant pour que l'eau existe à l'état liquide ? De toute évidence, d'autres gaz contribuaient eux aussi à ce réchauffement. C'est le cas de la vapeur d'eau mais le plus efficace, et de loin, est le méthane (CH_4). Provenant d'abord, comme les autres, du dégazage du manteau, il a été ensuite largement fourni par des micro-organismes méthanogènes. Ce sont des archées, des êtres unicellulaires qui se distinguent des bactéries par la composition de la paroi cellulaire et des eucaryotes par l'absence de noyau. Leur particularité : une capacité étonnante à vivre dans des conditions extrêmes. On en trouve aujourd'hui dans les sources hydrothermales, les eaux hypersalines ou très acides et bien d'autres endroits tout aussi peu accueillants (voir Encadré « Archées et bactéries », page 85). On ne sait pas précisément à quel moment elles sont apparues mais cela pourrait bien être il y a plus de 3,5 milliards d'années.

Le méthane, quelle que soit son origine, persistait beaucoup plus longtemps dans l'atmosphère archéenne qu'il ne peut le faire dans celle que nous connaissons. En effet, sa dégradation par l'oxygène est très rapide. On estime que sa demi-vie (le temps mis pour que la moitié du stock initial disparaisse) est de seulement 7 ans actuellement. Pas de tels dangers pour lui, il y a 3,5 milliards d'années : il pouvait davantage s'accumuler et, par conséquent, contribuer largement à accroître l'effet de serre. Il y a tout de même un terme à cette accumulation. S'il devient trop abondant (environ un dixième de la concentration de CO_2), il finit par polymériser en donnant des molécules plus grosses telles que de l'éthane. Il se forme alors un brouillard organique qui bloque au moins partiellement la lumière du Soleil. La punition est

immédiate: l'atmosphère se refroidit. C'est un anti-effet de serre. Dès lors, on voit bien que le jeu est complexe et les équilibres subtils. On ne peut envisager impunément des concentrations en CO_2 et CH_4 très élevées pour satisfaire l'hypothèse d'un réchauffement important au début de l'Archéen. Pire encore! La situation se complique si on tient compte des autres partenaires. On sait maintenant que l'azote (N_2) a joué, lui aussi, un rôle important dans les échanges de chaleur car il augmente la capacité des molécules de CO_2 et de CH_4 à absorber l'énergie solaire. Comme les fossiles de gouttes de pluie le montrent, il suffit que la pression atmosphérique à l'Archéen soit le double de ce qu'elle est actuellement pour que cet effet devienne très sensible: de l'ordre de 4°C en moyenne. L'azote, à l'instar des autres composants gazeux, est rejeté par les volcans et cela en grande quantité compte tenu de l'activité thermique de la planète alors âgée d'à peine un milliard d'années. Voilà tout ce que nous savons. Cela semble peu et les incertitudes sont grandes mais les voyageurs que nous sommes ont le droit de lever les yeux et de se demander quelle était la couleur du ciel à cette époque.

Nous sommes habitués à ce qu'il soit bleu... enfin, pas toujours et pas partout, mais globalement. Sa couleur vient de ce que la longueur d'onde associée diffuse dans l'atmosphère alors que les autres, celles qui composent le spectre du visible, se propagent en ligne droite et sont captées, absorbées ou réfléchies par la surface de la Terre. Cela tient, en partie, à la composition de l'air que nous respirons. Qu'en était-il il y a 3,5 milliards d'années alors que l'oxygène et donc l'ozone n'étaient pas présents dans l'atmosphère? Les gaz CO_2 et CH_4 ne provoquent pas d'absorption dans le spectre de la lumière visible du Soleil. Ils affectent seulement sa partie infrarouge que nous ne percevons pas. Par contre, la présence de brouillard organique devait donner au ciel une couleur orangée un peu comme celle révélée par la sonde Huygens dans l'atmosphère de Titan, une lune de Saturne. Il semble bien que de tels brouillards d'hydrocarbures se soient périodiquement formés en relation avec les variations de l'activité méthanogène des micro-organismes marins. De telles brumes ont inévitablement modifié le climat, non seulement en réduisant la capacité de la planète à réfléchir la lumière du Soleil mais aussi en protégeant sa surface des rayonnements ultraviolets. Leur présence a sûrement contribué à augmenter la demi-vie des gaz à effet