

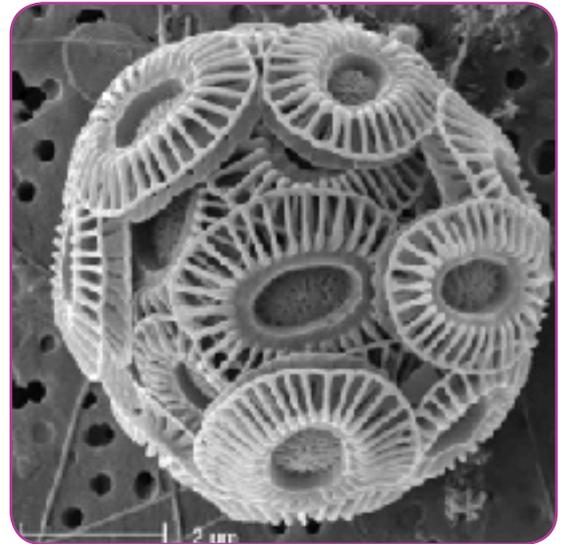
Les Voyages du Carbone

Stephan Harding

Le Carbone sur le long terme

Nous avons déjà examiné certaines des preuves de l'existence de Gaïa. Souvenez-vous de sa température, retracée par le géologue, qui est restée dans les limites du convivial durant les 3500 millions d'années depuis l'émergence de la vie sur notre planète, malgré des escapades occasionnelles lors de périodes plus chaudes ou plus froides. Souvenez-vous aussi qu'un soleil de plus en plus brillant et que des émissions continues de dioxyde de carbone, jaillissant des volcans, auraient dû transformer la planète en une étuve infernale, oblitérant toute vie, il y a des millions d'années; cependant, nous jouissons du confort relatif d'une température globale et moyenne de 15°C. Quelles en sont les raisons? La réponse se trouve dans une fantastique synergie holistique Gaïenne de biologie (vie), de géologie (roches), de physique (transferts énergétiques) et de chimie (interactions entre les êtres chimiques) qui oeuvrent ensemble à réguler la température de Gaïa, au fil des ères, dans une danse perpétuelle de rétroaction négative.

Regardons maintenant comment cela se passe, sur le long terme, à savoir sur une période d'environ un million d'années. Cette histoire peut être narrée soit dans le langage excessivement sec de la science conventionnelle, qui considère toute chose comme de la matière morte observée de loin par un intellect humain complètement distant, soit en pleine conscience de notre insertion inéluctable au sein de Gaïa et de nos connexions intimes avec le flux de vie présent dans toute particule de matière. Les écrits scientifiques conventionnels, qu'ils soient techniques ou de vulgarisation, sont totalement sous le joug d'une vision asséchante et objectivante. Je vais, au contraire, et sans scrupules, présenter une version animiste de cette histoire Gaïenne (parmi d'autres) en la personnalisant intentionnellement afin de réinsufler de la vie dans ce qui pourrait être autrement une narration assez fastidieuse et juste capable d'éveiller l'imagination d'une poignée de spécialistes enfermés dans leur tour d'ivoire.



Laissez-moi commencer à l'échelle ultra-microscopique en vous présentant *Emiliana huxleyi*, une algue marine unicellulaire, membre de la communauté des phytoplanctons, qui vit à la surface des océans froids. Emiliana est minuscule, à savoir 4/1000 de millimètre (4 microns) de diamètre, et les plaques discoïdes que vous voyez sur la photographie sont encore plus minuscules - un microscope électronique est indispensable pour en percevoir les détails précis. Emiliana appartient à un groupe d'algues que l'on a baptisé d'un nom délicieusement romantique: ce sont les coccolithophoridés, ce qui signifie "les porteurs de petites graines minérales" (du grec "phoros", porteur; "lithos", pierre; "coccus", graine, pépin.) En l'occurrence, les petites graines ou pépins, les coccolithes ou structures en forme de discoïdes, sont constitués de l'un des êtres moléculaires les plus essentiels de Gaïa, le carbonate de calcium qui est une combinaison de trois des éléments (le calcium, le carbone et l'oxygène) nés de l'explosion de la supernova, qui présida à l'émergence de la planète Gaïa, et dont la forme la plus commune est la calcite. La calcite peut elle-même se manifester sous diverses formes mais on la trouve, le plus communément, en tant que constituant principal de la craie légère et poreuse ou du calcaire plus lourd. *Emiliana* est un organisme photosynthétique unicellulaire et elle possède une maîtrise totale quant à l'utilisation de l'énergie solaire pour convertir le dioxyde de carbone et l'eau en sucres et en oxygène. Elle maîtrise également un autre art biochimique complexe, à savoir la précipitation de calcite, à l'intérieur de cavités intracellulaires profondes, en plaques crayeuses magnifiquement ciselées, les coccolithes, qui, lorsqu'ils sont achevés, sont excrétés afin d'entourer la cellule d'une coquille blanche. Les chimistes rédigent la formule du carbonate de calcium (par exemple, les pépins crayeux portés par ces créatures minuscules) de cette façon: CaCO_3

Cela signifie qu'une seule molécule de carbonate de calcium contient un atome de calcium, un atome de carbone et trois atomes d'oxygène. Comme nous allons le découvrir bientôt, c'est la présence de l'atome de carbone qui confère au carbonate de calcium sa valeur pour la régulation à long terme de la température de Gaïa.

Maintenant, passons de la micro-perspective de cette histoire à une perspective spatiale beaucoup plus vaste impliquant les mouvements de la croûte de la Terre et l'activité immensément puissante des volcans, qui rejettent du dioxyde de carbone - un gaz à effet de serre - ainsi que des quantités considérables de lave, un type de roche étroitement corrélé au basalte et au granite. Le basalte est la mère de toutes les roches. Il surgit du cœur de la planète, aux dorsales médio-océaniques de Gaïa, chaud et malléable comme du chocolat fondant. Le granite naît à des températures et à des pressions excessivement élevées, très profondément en-dessous des marges continentales, lorsque le basalte est en fusion avec de l'eau ou lorsque les sédiments de calcite et de silice se recombinaient. Le basalte et le granite (que les scientifiques appellent des roches de silicate de calcium) contiennent beaucoup de calcium, d'oxygène et de silice qui s'auto-organisent en se refroidissant en des structures cristallines tri-dimensionnelles d'une régularité et d'une précision exquis. Enfermés dans la roche, comme des princesses captives dans un antique château, des ions de calcium chargés positivement ne perdent jamais l'espoir de vivre quelque chose d'autre que la stase d'une existence cristalline et ils aspirent à fuir de cette prison de réseau maillé qui les a tenus captifs pendant parfois des millions d'années. Il n'est qu'une façon pour la princesse calcium de s'échapper: elle doit contracter un mariage chimique avec le carbone, son prince, et son soupirant, qui chevauche l'atmosphère dans une molécule de dioxyde de carbone en une quête éternelle de sa princesse incarcérée dans la roche. Lorsqu'une molécule de dioxyde de carbone rencontre enfin du basalte ou du granite, le mariage peut être célébré, mais seulement après que des épreuves complexes aient été surpassées.

Tout d'abord, une molécule d'eau, d'une averse de pluie, doit dissoudre une molécule de dioxyde de carbone afin de produire de l'acide carbonique qui se dissocie immédiatement en deux nouveaux êtres chimiques: un ion bicarbonate, dans lequel l'atome de carbone est lié à un atome d'hydrogène et à trois atomes d'oxygène, et un ion hydrogène positivement chargé. Les ions hydrogène ainsi libérés, n'étant rien d'autre que des protons, sont assez petits pour voyager aisément parmi les êtres chimiques beaucoup plus gros, tels que le calcium, la silice et l'oxygène qui maintiennent fermement le réseau cristallin grâce à la façon dont leurs charges positives et négatives interagissent et s'auto-organisent. De vastes hordes de minuscules ions hydrogène positivement chargés s'insinuent dans les roches. Telles des fourmis, ils passent au travers de minuscules fentes dans les parois du château de granite et s'agglutinent autour des ions oxygène et silice chargés négativement en neutralisant les attractions électriques qui maintiennent l'intégrité de la roche: le granite et le basalte, qui étaient autrefois solides et impénétrables, se dissolvent maintenant lentement comme un morceau de sucre fondant à l'eau.

La roche se désintégrant, le carbone de l'atmosphère, enfermé dans les ions bicarbonate, fusionne avec les princesses récemment libérées, les ions calcium, pour s'unir en un mariage chimique sacré et devenir du bicarbonate de calcium, qui, de façon résumée, est une forme de craie soluble dans l'eau qui contient du dioxyde de carbone capturé de l'air. Un processus précis est ici à l'oeuvre: chaque ion calcium érodé de la roche s'unit à deux atomes de carbone provenant de l'atmosphère. Les célébrants de ces mariages sacrés sont si avides de s'unir les uns aux autres qu'une simple et unique goutte de pluie, tombant sur la surface nue du plus petit galet de granite ou de basalte, suffit à initier de nombreuses noces chimiques car les ions calcium sont enfin libérés de leur prisons rocheuses pour convoler avec leurs ardents soupirants de carbone, aspirés de l'atmosphère. Ce processus, que la science conventionnelle appelle la désagrégation, ou altération météorique, des roches silicatées, élimine du dioxyde de carbone de l'atmosphère, refroidissant ainsi la planète Terre.

La solution de bicarbonate de calcium est lessivée, au travers du sol, par la pluie et éventuellement rejoint une rivière qui l'emmène vers l'océan où, les coccolithophoridés, s'ils sont présents, la précipitent en calcite solide dans leurs corps microscopiques. Il existe également d'autres créatures marines qui précipitent des coquilles et armures calcaires à partir du bicarbonate de calcium. Ce sont, entre autres, des crustacés tels que les crabes et les bernacles et des mollusques, telles que les palourdes, les huîtres et les seiches, dont on peut retrouver les os crayeux sur toutes les plages de la planète.

En précipitant de la calcite qui contient du dioxyde de carbone aspiré de l'atmosphère, ces organismes marins exercent une influence considérable de refroidissement sur toute la planète. C'est, cependant, le phytoplancton microscopique flottant qui, en formant de la calcite, a été de loin le principal acteur de cet effet de refroidissement durant environ les 80 derniers millions d'années. Ces algues minuscules prospèrent sur de vastes superficies des océans froids du monde. Lorsqu'elles meurent, une "neige océanique" crayeuse va se déposer au fond de la mer, et comprime les divers sédiments, qui se sont formés à partir des squelettes crayeux, en une roche carbonatée et dense. Dans de nombreuses régions de la planète,

ces sédiments carbonatés sont présents au-dessus du niveau de la mer, là-même où les ont fait surgir les grands mouvements de la croûte terrestre de Gaïa. Les célèbres falaises de craie du sud de l'Angleterre, surnommées les Sept Soeurs, en sont un exemple magnifique. Ces falaises sont presque exclusivement constituées d'un nombre incalculable de squelettes calcaires et microscopiques sécrétés, principalement, par les coccolithophoridés. Lorsque vous observez ces falaises, ou en fait n'importe quel morceau de craie ou de calcaire, vous voyez bien sûr de la roche, mais au travers des yeux de Gaïa, ce que vous observez réellement, c'est de l'atmosphère solidifiée, ou plus spécifiquement du dioxyde de carbone dissous et solidifié à partir de l'atmosphère grâce aux attractions irrésistibles entre ce dioxyde de carbone et les princesses calcium qui demeurent au coeur des roches de silicate de calcium.

Mais ces grands sédiments contiennent plus que de la craie. Une observation même superficielle des roches des Sept Soeurs permettra de déceler un grand nombre de nodules de silex dur qui résistent à l'altération météorologique et qui sont souvent transportés par les marées et les courants sur de longues distances. Ces silex sont constitués de la silice et de l'oxygène qui ont été érodés du granit et du basalte en même temps que le calcium. Lessivée dans les rivières sous forme d'acide silicique, la silice atteint la mer, où les diatomées, les radiolaires et les éponges la précipitent en spicules ou en coques lisses délicatement ciselées qui tombent en pluie vers les profondeurs sombres et boueuses de l'océan, en compagnie des exosquelettes de calcite des coccolithophoridés. La façon dont les reliquats vitreux minuscules de ces êtres s'agrègent pour former des nodules de silex relève toujours d'une sorte de mystère.

Le bicarbonate de calcium issu de l'altération météorologique des roches est tellement abondant dans les océans que les créatures marines font face à un danger réel de mort par incrustation de calcite car ce bicarbonate de calcium n'aime rien de mieux que de se transmuter en carbonate de calcium en précipitant sur les surfaces disponibles - tout comme il le fait dans les grottes de calcaire. Tout atome de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et de calcium éprouve une profonde aise à pouvoir s'assembler en carbonate de calcium - chacun ressent un profond sentiment de stabilité et de réconfort en la présence des autres. Cependant, ces étreintes familiales chaleureuses, entre les êtres chimiques, sont tout à la fois une bénédiction et une malédiction pour ce qui concerne les êtres vivants: une bénédiction parce que le calcium est essentiel à la vie intérieure de la cellule et parce qu'il peut être utilisé pour forger des plaques robustes d'armure protectrice; mais également une malédiction parce qu'un excès de calcite est une condamnation à mort par incrustation ou par empoisonnement des fonctionnements internes de la cellule. Toute créature qui vit dans les océans ne peut échapper à ces dangers qu'en dépensant beaucoup d'énergie afin de pomper le surplus de calcium de ses cellules et de produire des substances gluantes pleines de molécules de sucre spécialement conçues pour faire obstacle à l'incrustation. Certains organismes marins exsudent tout simplement ces substances chimiques sur leur épiderme et dans l'eau de mer qui les entoure; certains autres, comme les coccolithophoridés, les crabes et les oursins de mer ont maîtrisé l'art de contrôler la précipitation au sein de cavités intracellulaires dans lesquelles les substances spécifiques gluantes et sucrées sont utilisées pour diriger l'élaboration d'un vaste spectre d'artefacts de carbonate de calcium délicatement sculptés tels que des carapaces, des discoïdes, des spicules et des épines. Même les animaux terrestres sécrètent ces substances décalcifiantes - nous en enrobons nos dents pour les protéger de l'incrustation par le phosphate de calcium. L'océan abonde tellement en bicarbonate de calcium dissous, généré par l'altération météorologique des roches, que n'importe quelle surface deviendrait rapidement incrustée de calcite si les jus sucrés décalcifiants n'étaient plus produits.

Le contrôle de la calcification par les êtres vivants est devenu beaucoup plus raffiné et sophistiqué au fur et à mesure que Gaïa développait et renforçait sa capacité d'auto-régulation, au fil des ères géologiques. La forme la plus basique de calcification se manifeste, sans l'intervention de la vie, lorsqu'en l'absence de tout inhibiteur chimique, le calcium précipite à partir de l'eau pour former de simples croûtes marines ou encore les stalactites et les stalagmites dans les grottes de calcaire. Lors des beaux jours de l'enfance de Gaïa, il y a 3000 millions d'années, d'énormes communautés bactériennes (les stromatolites) ont déposé de vastes plate-formes croûteuses de calcaire là où elles avaient besoin de croître, près de la lumière source de vie à la surface des océans. Ensuite, dans la période s'étalant de 600 à 80 millions d'années, les principaux êtres à calcification étaient les coraux, les mollusques et les crustacées. Depuis lors, les principaux sites de calcification biogénique se sont déplacés des marges des continents vers les bords des plateaux continentaux, là où une infinité de petits êtres flottants, tels les coccolithophoridés, ont laissé leurs cadavres crayeux se déposer dans les profondeurs des fonds marins. Durant toute cette trajectoire évolutive, des croûtes aux coccolithophoridés, Gaïa a amélioré ses capacités de calcification de telle sorte que, de nos jours, des quantités de craie, beaucoup plus grandes que jamais, sont précipitées des océans par des algues microscopiques; cette capacité accrue a permis à Gaïa de rester fraîche en face d'un soleil dangereusement brillant. De nouveau, Gaïa se révèle comme une entité animée en évolution.

Jusqu'à maintenant, nous n'avons considéré que la vie des océans dans le grand voyage de craie de Gaïa mais la vie terrestre également contribue, de façon importante et vitale, au refroidissement de la terre en favorisant considérablement la dissolution physique et chimique du granite et du basalte. Partout où la vie terrestre croît sur ces roches, elle a recours à une diversité de moyens physiques et chimiques afin d'extraire le riche butin de nutriments qu'elles recèlent. Ce faisant, la vie accélère et favorise l'enlèvement chimique entre l'eau, le dioxyde de carbone et le calcium pour former du bicarbonate de calcium, un piège liquide pour le dioxyde de carbone, qui sera finalement déposé au fond des océans par les créatures océaniques qui produisent de la calcite; par la même occasion, elle accélère la libération de silice qui se retrouve éventuellement dans les corps vitreux des diatomées, des éponges et des radiolaires.

Comment la vie sur terre favorise-t-elle ces processus d'altération météorologique? Vous êtes un ion calcium prisonnier d'un réseau cristallin dans un immense dôme de granite, à 10 mètres de profondeur, et cela fait des dizaines de millions d'années que vous êtes là. En regardant au travers du réseau, vous notez la présence de beaucoup d'espace vide et vous observez aussi d'autres ions calcium et en fait d'autres êtres chimiques, tels que l'oxygène, la silice et l'aluminium, bien rangés en structures cristallines. C'est comme de glisser votre tête entre deux miroirs parallèles dans un restaurant chinois avec quelques lanternes blanches au plafond. Regardez dans l'un des miroirs et vous verrez des rangs serrés de lanternes qui s'enfuient de chaque côté à l'infini. Les lanternes représentent vos compagnons ions calcium. Il vous faudrait attendre très longtemps avant de pouvoir échapper si vous ne dépendiez que de l'altération météorologique des roches pour vous libérer. Mais, en fait, la surface des roches, dix mètres au-dessus de vous, fourmille d'êtres vivants innombrables dans un sol noir et riche qui accueille des champignons, des micro-organismes et de grandes plantes tels des arbres et des buissons. Une racine massive d'arbre serpente vers vous au travers d'une fissure naturelle dans le granite. La racine fait littéralement éclater la roche en deux et elle entraîne à sa suite du sol riche, noir et humide abondant en vie microbienne. Certains de ces microbes sont des bactéries qui sécrètent une molécule complexe de sucre qui s'enfle quand elle est humide, et qui détache de petits grains de granite de la surface de la roche dans le tunnel créé par la racine de l'arbre. Ces petits fragments de granite pourvoient une surface d'altération très agrandie et ils baignent dans les exhalations gazeuses des milliards de microbes qui abondent dans le sol.

Ces microbes, tout comme nous, utilisent l'oxygène de l'air afin d'extraire de l'énergie des molécules de nourriture et rejettent du dioxyde de carbone. Il en résulte que la terre contient beaucoup plus de ce gaz que l'air en-dessus. Les racines des arbres en rejettent également lorsqu'elles utilisent de l'oxygène pour la combustion des sucres qui ont été élaborés au travers de la photosynthèse par les feuilles tout là haut dans l'atmosphère tourbillonnante. De plus, le sol est rendu magnifiquement poreux grâce à l'action de très nombreuses petites créatures comme les acariens, les mille pattes et les vers de terre qui le retournent, comme le font de nombreux jardiniers, permettant à l'eau de pluie de percoler aisément et d'accomplir les mariages chimiques entre le calcium et le dioxyde de carbone sur les fragments minuscules de roches.

La vie sur terre est un grand être concasseur et dissolvant de roches. L'altération météorologique peut être considérablement amplifiée par des êtres même relativement petits tels que les lichens et les bactéries qui croissent à leur surface; cependant, les buissons et les arbres peuvent s'enfoncer beaucoup plus dans ces roches, accélérant ainsi tout le processus. Ainsi, dans des conditions tropicales chaudes et humides, la vie peut accélérer l'altération météorologique du granite et du basalte mille fois plus vite par rapport à un environnement dénué de vie. Si vous êtes un ion calcium dans une forêt tropicale humide, vous n'aurez peut-être qu'une seule année, plutôt qu'un millier d'années, avant de commencer votre voyage de noces vers la mer, en compagnie de vos deux conjoints ions bicarbonate.

Mais un grand péril ici est à l'affût: l'altération météorologique du granite et du basalte pourrait transformer la planète en une boule de glace congelée pour l'éternité si une trop grande quantité de dioxyde de carbone était transmutée de l'atmosphère en calcite au fond des océans. Pourquoi donc cela ne s'est-il pas produit? Gaïa, en tant qu'entité, échappe à ce destin glacé grâce aux mouvements tectoniques de sa croûte, impulsés par les forces gigantesques à l'oeuvre au coeur profond de son grand corps minéral. Il y reste, en effet, une grande quantité de matériaux radioactifs issus de l'explosion de la supernova qui a généré les éléments de notre planète. Lorsque ces matériaux radioactifs se dégradent, une grande quantité de chaleur est transférée alentour dans les roches basaltiques en demi-fusion qui jaillissent en jets puissants jusqu'à atteindre les dorsales sub-océaniques montagneuses, dont certaines sont alignées du nord au sud au milieu des Océans Atlantique et Pacifique. Le basalte nouvellement émergé se refroidit et, poussé par de nouvelles roches jaillissant, se répand à partir de la crête des dorsales. Pendant tout ce temps, des corps crayeux se déposent sur ces grandes plaques mouvantes de basalte océanique qui se dirigent, lentement mais sûrement, vers un continent. Dans de nombreux endroits, les corps des êtres à coquille de silice - les diatomées et les radiolaires - se déposent au-dessus des cadavres de carbonate de calcium et les protègent des pouvoirs dissolvants des eaux océaniques de grande profondeur qui sont

acidifiantes et avec de hautes pressions. Les continents eux-mêmes ne sont que des passagers sur ces immenses plaques de basalte en mouvement car leurs fondations granitiques sont plus légères que les plaques sous-jacentes qui les déplacent de par le monde.

Lorsqu'il rencontre finalement une marge continentale, le basalte du fond marin se glisse tout doucement en-dessous en emmenant avec lui une partie des sédiments de silice et de carbonate de calcium dans les profondeurs de la Terre tout comme une grosse baleine emmène en plongeant les bernacles qui émaillent sa peau épaisse et grasseuse. Lorsque la silice, le carbonate de calcium et le basalte s'enfoncent dans les profondeurs abyssales, ils se dissolvent sous l'impact des températures et des pressions qui sont puissantes au point de briser les attractions entre le calcium et le carbone dans le carbonate de calcium et entre le silicium et l'oxygène dans la silice. C'est alors que deux transformations extraordinaires se manifestent. La première est la libération de dioxyde de carbone qui surgit de dessous les marges continentales pour jaillir dans des éruptions volcaniques spectaculaires et retourner dans l'atmosphère en vastes quantités en même temps que des coulées de lave rouge et liquide dévalent, telle de la mélasse, les pentes abruptes des volcans. La seconde est la recréation de granite, en-dessous des marges continentales car le calcium, le silicium et l'oxygène, ainsi que de nombreux autres êtres chimiques, se ré-assemblent pour former les nouvelles fondations rocheuses des continents, remplaçant ainsi le granite qui a été perdu en surface par les processus d'altération météorologique. Quel recyclage magnifique à la fois du granite et du dioxyde de carbone. Si seulement nos industries pouvaient recycler leurs produits aussi magnifiquement. (figure 22).

La tectonique des plaques, impulsée comme elle l'est par la désintégration des matériaux radioactifs dans les profondeurs de la Terre, semble être totalement indépendante de la vie. Mais rien n'est plus éloigné de la vérité car sans eau, il n'y aurait pas de tectonique des plaques et sans vie, il n'y aurait pas d'eau. Les molécules d'eau envahissent la matrice cristalline du basalte du fond marin, au fur et à mesure qu'il s'éloigne des dorsales sub-océaniques, en le ramollissant tellement que lorsqu'il rencontre une marge continentale, il ne désire rien d'autre que de s'y enfoncer, comme du chocolat à-demi fondu. Cependant, une fois dans le basalte, certaines des molécules d'eau se dissocient car leurs atomes d'oxygène ressentent une attraction irrésistible envers certains composants ferriques essentiels de telle sorte que l'hydrogène, le plus léger de tous les êtres chimiques, devient alors libre de s'échapper vers l'atmosphère. Au fil du temps, une telle quantité d'hydrogène se perdrait que Gaïa agoniserait de dessèchement. Elle échappe à ce destin grâce aux innombrables bactéries à l'oeuvre dans les sédiments des océans qui capturent de l'énergie en réassemblant de l'oxygène avec l'hydrogène en fuite, recréant ainsi l'eau perdue et sauvant la planète. Nous renouvelons l'expression de notre gratitude envers les bactéries, les véritables maîtres du monde. De plus, selon Don Anderson, l'éminent géologue US, il est concevable que la tectonique des plaques ne pourrait pas se manifester sans l'aide du carbonate de calcium déposé par les êtres vivants sur les marges de zones de subduction car il se peut que le poids considérable des sédiments ramollisse la lithosphère océanique en la rendant assez malléable pour qu'elle puissent plonger dans les profondeurs de la Terre.

Les volcans, les sources chaudes et les tremblements de terre sont sans doute les manifestations les plus évidentes de l'activité tectonique mais des occasions plus rares peuvent se présenter de faire l'expérience des énergies bouillonnantes, à l'oeuvre sous les profondeurs de la croûte de la Terre, qui maintiennent ses plaques en mouvement constant. Lors d'une expédition zoologique aux Caraïbes dans l'île de St Domingue, je grimpai avec un ami vers les Chutes de Trafalgar, au milieu d'une forêt embaumée. Nous contournâmes de grands rochers qui étaient éparpillés dans le bas de la vallée et baignant dans les bénédictions des vastes forêts vertes et du soleil des Tropiques, nous atteignîmes la solitude paisible des chutes d'eau. Les cascades étaient tentantes et alors que nous nous baignions derrière les rideaux somptueux d'eau cristalline, nous découvrîmes un étroit torrent géothermal d'où jaillissait une eau chaude telle que je n'en ai jamais vue. Ma peau était comme pénétrée d'huiles richement parfumées suite à son long voyage au travers des roches sombres et chaudes loin des royaumes de l'air et de la lumière et suite à son contact prolongé avec du basalte à-demi fondu et du granite nouvellement formé. C'était une chaleur chargée d'un pouvoir de communication inattendu. L'eau tombant des cascades informait mon corps en éveil du monde inférieur de roches qui s'étendait sous nos pieds, bien en-dessous du seuil de notre conscience quotidienne; un royaume, de son propre genre, aussi animé et turbulent que le vent, la pluie et l'océan de notre monde de lumière diurne.

L'énergie thermique est d'une importance vitale pour Gaïa qui gèlerait sans le retour du dioxyde de carbone généré par la fusion de la silice et du carbonate de calcium en-dessous de ses plaques rocheuses mouvantes. Mais que se passerait-il si trop de dioxyde de carbone revenait dans l'atmosphère au travers des volcans? Gaïa ne périrait-elle pas de combustion sous l'assaut de températures beaucoup trop élevées pour que la vie puisse se maintenir? C'est effectivement un danger mortel mais, comme nous l'avons vu, Gaïa s'est maintenue dans un équilibre magnifique de températures vivables durant la plus grande partie de sa longue vie. Comment est-ce possible? Il semble que la danse lente de Tai Chi des

rétroactions négatives ait maintenu une température idéale à la vie, une danse magistrale à laquelle participent tous les êtres vivants, les roches et les gaz que nous avons rencontrés jusqu'alors, la danse de la grande aventure du calcaire et du carbone au sein de Gaïa.

Il existe sept rétroactions négatives corrélées qui soient impliquées dans ce grand réseau de danses d'auto-régulation (figure 23). Les volcans ont la charge importante de fournir des légions fraîches de molécules de dioxyde de carbone issues de la fusion du calcaire et de la silice dans les profondeurs de la Terre. Il est à noter, cependant, que ces grandes montagnes coniques de lave sont libres de se comporter comme elles le souhaitent car aucun autre participant de la danse ne peut influencer sur leurs éruptions impétueuses. Ainsi, la totalité du monde de surface doit s'adapter et réagir aux intenses bouillonnements de roches à moitié en fusion dans les profondeurs du coeur de la Terre, et dont les volcans sont une manifestation.

Promenons-nous dans une de ces boucles rétroactives. Tout d'abord, jetez de nouveau un coup d'oeil à la figure 8 pour vous remémorer ce que les deux sortes de flèches (pleine et en pointillés) signifient. Imaginez maintenant que de puissantes éruptions volcaniques ont rejeté de vastes quantités de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Toute la planète Gaïa se réchauffe en raison de l'augmentation de l'effet de serre; il s'ensuit une intensification de l'évaporation des eaux de l'océan dans l'air qui éventuellement se condense en nuages porteurs de pluie. Une partie de cette pluie tombe sur des terres où la végétation croît sur du granite ou du basalte. L'eau de pluie pourvoyeuse de vie percole au travers du sol pour être absorbée par les plantes, qui croissent plus aisément de par les conditions plus humides. Une plus grande quantité de roche est émietlée et pulvérisée par les racines, les champignons et les bactéries qui respirent de grandes quantités de dioxyde de carbone à la surface considérablement accrue et produite par une myriade de fragments de roches. Cette altération météorologique du granite et du basalte, liée à des processus de vie, aspire du dioxyde de carbone de l'atmosphère et l'envoie dans les rivières sous formes d'ions bicarbonate de calcium dont le carbone aboutit finalement en sédiments de calcite et de calcaire sur les fonds marins. Gaïa s'est maintenant rafraîchie avec moins de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et donc moins de pluie et par conséquent aussi, moins d'altérations météorologiques du basalte et du granite dans ce monde plus sec. La grande danse a achevé son cycle lorsque les volcans réchauffent la planète en rejetant du dioxyde de carbone dans l'air.

Examinons maintenant un autre voyage. Les plantes croissent avec plus de vigueur dans une atmosphère riche en dioxyde de carbone, un nutriment essentiel qu'elles capturent habilement au travers de leurs petits pores sur la partie inférieure des feuilles. Au fil de la croissance des plantes, les racines se développent dans le sol et désagrègent une plus grande quantité de basalte et de granite, rafraîchissant ainsi la Terre. Voyons maintenant encore un voyage. Lorsque le dioxyde de carbone augmente dans l'atmosphère, les températures en hausse stimulent la croissance des plantes, ce qui accroît la vitesse de désagrégation du basalte et du granite et accentue le refroidissement de la Terre. Je vous laisserai élucider les autres voyages par vous-mêmes.

Maintenant, à la suite de cette exploration relativement détaillée du domaine abstrait de la cybernétique et de l'auto-régulation Gaiennes, il nous faut nous demander comment utiliser cette approche afin de nous enraciner encore plus solidement dans notre Terre vivante. Il est certain que la cybernétique risque de nous laisser un sentiment aigu de dissociation du monde - que cela peut nous induire, selon les mots de David Abram, à croire en un *"monde entièrement plat vu de-dessus, un monde sans contraste, une nature dont nous faisons pas partie mais que nous observons de l'extérieur - comme un Dieu."* Comment éviter cela? Je trouve que cela aide de convertir les diagrammes en histoires en les emmenant dehors, soit réellement, soit en imagination, afin de transformer les schémas de monde plat avec leurs diverses flèches et composantes en une expérience intuitive des relations à l'oeuvre parmi les sujets vivants que la narration évoque. Si l'histoire concerne l'altération du granite par la pluie et la végétation, je passe du temps avec un rocher de granite, en frayant mon chemin dans les profondeurs de son réseau de silice, et de même avec la pluie, avec les arbres et les mousses, avec les rivières et les nuages. Ce type d'approche éveille les sens et l'intuition en permettant d'évoluer parmi les rétroactions décrites dans une sorte de rêve éveillé qui produit une riche moisson de significations et de sentiments d'appartenance.

Mais qu'en est-il du soleil qui croît en luminosité? Pourquoi son don généreux d'énergie en augmentation n'a-t-il pas subjugué ces grandes boucles de rétroaction négative en condamnant Gaïa à une mort prématurée par combustion? La réponse à cette question semble impliquer l'évolution créatrice innovante de la vie dès le début de son émergence sur la planète il y a 3500 millions d'années. Depuis le début de cette époque, durant laquelle les bactéries constituaient les seules formes de vie, jusqu'à nos jours où Gaïa abonde en créatures multicellulaires extrêmement diversifiées et est l'hôte d'une biodiversité plus grande que jamais, la vie a réussi de mieux en mieux à altérer les roches et donc à aspirer du dioxyde de carbone de l'atmosphère pour précipiter de la calcite et du calcaire. Au début de la vie de Gaïa, lorsque le soleil était plus froid, des pellicules microbiennes, en efficacité et en étendue sans cesse croissantes,

présentes à la surface des granites, étaient les vecteurs de l'altération météorologique. Au tout début de sa vie, Gaïa avait besoin d'une atmosphère qui pût conserver une surface chaude face à un soleil frais. Avec seulement les bactéries présentes sur une surface continentale plus restreinte, il y avait beaucoup moins d'altération des roches de silicates que de nos jours. Plus tard, il y a environ 2500 millions d'années, lorsque les premières cellules nucléées se répandirent sur les grands continents, l'altération météorologique s'intensifia. Même plus tard, il y a 400 millions d'années, sous un soleil considérablement plus brillant, il y avait un besoin d'altération météorologique plus prononcée pour enlever du dioxyde de carbone de l'atmosphère. Les plantes terrestres nouvellement évoluées fournirent cette intensification indispensable d'altération grâce à un système racinaire hautement puissant qui pouvait désagréger et dissoudre les roches avec une efficacité et une rapidité inconcevables pour le royaume microbien.

Ainsi, au fil de l'évolution de Gaïa, la diversification parmi ses êtres vivants est allée de pair avec une plus grande capacité de désagrégation des roches et de précipitation du dioxyde de carbone de l'atmosphère en calcite et calcaire. Durant toute cette danse évolutive, les relations entre la vie, les roches, l'atmosphère et les océans se sont intensifiées et approfondies, comme dans un mariage harmonieux, et Gaïa a peaufiné ses capacités de régulation de sa température. Elle a délicatement affiné ses facultés de réaction vis à vis de l'intensification de la brillance du soleil et des variations de quantités de dioxyde de carbone libéré par les volcans, tout comme un musicien commence comme un jeune joueur plein de promesses et mûrit en un virtuose accompli. Au fil des temps, de plus en plus de joueurs, sous la forme d'espèces nouvellement évoluées, ont ajouté leur musique à la symphonie de Gaïa de telle sorte qu'aujourd'hui son orchestre exulte, comme jamais auparavant, de sonorités variées émises par une riche diversité de joueurs et d'instruments.

Mais Gaïa n'a pas toujours été capable de réguler sa température aisément et en douceur face à un soleil de plus en plus brillant. Dans la figure 24, l'axe horizontal montre le temps, d'il y a 600 millions d'années à maintenant tandis que l'axe vertical montre la température correspondante de Gaïa. Dans la courbe "du soleil seulement", nous pouvons voir comment la température aurait augmenté au fil de l'intensification du rayonnement solaire s'il y avait eu une quantité constante de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Cette constance n'est bien sûr qu'une illusion - ce n'est rien d'autre qu'une "Terre statique" mathématique à titre de comparaison.

La courbe supérieure révèle la température réelle; elle met en valeur qu'il y eut un rafraîchissement conséquent il y a 300 millions d'années, au point qu'une glaciation majeure étreignit la planète. Cet événement qui marque une transition majeure dans l'évolution de Gaïa vers une plus grande maturité, fut provoqué par un accroissement massif de la désagrégation, sous l'action des forces de vie, du granite et du basalte alors que les plantes terrestres, à fort enracinement, prenaient possession de la surface planétaire. Cela prit à Gaïa 100 millions d'années pour se remettre de cette perturbation auto-imposée. Il y a environ 200 millions d'années, beaucoup moins de granite et de basalte était disponible à l'altération météorologique et le dioxyde de carbone, de nouveau, recommença à s'accumuler dans l'atmosphère. Ce qui est étonnant, c'est que les températures, avant et après la période de refroidissement, étaient remarquablement similaires. Avant l'événement, il y a environ 600 millions d'années, sous un soleil moins brillant, de plus hauts niveaux de dioxyde de carbone maintinrent la température dans des limites confortables pour le vivant. Depuis qu'elle s'est remise de son refroidissement, Gaïa a géré l'intensification du rayonnement solaire en stockant du carbone dans les sédiments de carbonate au fond des océans et en enfouissant les cadavres d'êtres vivants photosynthétiseurs riches en carbone.

Nous avons développé, depuis un moment, une compréhension d'ordre intellectuel, des processus par lesquels notre Terre vivante a régulé sa température au fil des ères géologiques sous un soleil de plus en plus brillant. Il est maintenant temps de nous engager dans une démarche plus intuitive vers cette compréhension en expérimentant ce cycle à long terme du carbone.

**Extrait de l'ouvrage de Stephane Harding "Animate Earth. Science, Intuition and Gaïa".
Chelsea Green Publishing.**

Traduction de Dominique Guillet