

Christopher Dewdney

30 KM

Une histoire épique de la météo

Traduit de l'anglais (Canada) par Marie-José Thériault

Orageux avec risque de vie : l'improbable naissance de notre atmosphère

La naissance fortuite de la Terre a eu lieu il y a environ 4,5 milliards d'années. Un milliard d'années, c'est long. Pour vous faire une idée de l'immensité d'un tel laps de temps, imaginez qu'on puisse condenser le temps en une quelconque substance et que chaque année dépose l'un sur l'autre un gramme de cette substance, soit l'équivalent du poids d'un capuchon de stylo-bille ou d'un billet de un dollar. En additionnant les années, une décennie pèserait 10 grammes et la durée normale d'une vie humaine pèserait de 80 à 90 grammes, plus ou moins le poids d'une barre de chocolat.

Poursuivons cet exercice, sachant que chaque année ajoute un gramme au total, puis remontons de 2000 ans jusqu'à l'Empire romain : la masse de deux kilogrammes correspondrait à un petit sac de pommes de terre et serait facile à soulever. Reculons maintenant de 200 000 ans jusqu'à l'ère des premiers humains anatomiquement modernes et la masse s'approchera de l'épaulé-jeté maximum d'un haltérophile olympien, soit environ 200 kilogrammes.

Allons rejoindre les dinosaures d'il y a 60 millions d'années. Votre compte, dont les intérêts rapportent annuellement un gramme, vaut maintenant 48 tonnes, soit le poids d'une petite locomotive au

diesel. Il y a 500 millions d'années, au début de ce que les paléontologues appellent l'Ordovicien, quand la faune océanique se composait de trilobites et de crinoïdes, vos dépôts annuels totalisaient environ 45 360 tonnes, grosso modo le poids de trois sous-marins nucléaires de la classe Ohio. Il y a quatre milliards et demi d'années, quand les particules de poussière primordiale se sont agglomérées pour former notre planète, votre investissement annuel d'un gramme pesait autant qu'un astéroïde suffisamment gros pour décimer tout un continent.

À cette époque, la planète entrait en collision à intervalles de quelques centaines de millions d'années avec des corps impacteurs de la taille de notre astéroïde. Malgré ce tabassage répété, notre planète en fusion a pu permettre à la gravité de répartir ses composants en plusieurs couches – le fer en son noyau, les minéraux et les éléments plus légers par-dessus. Les plus légers de ceux-ci, les gaz, formèrent la couche supérieure. Ces gaz étaient à l'époque l'hydrogène et l'hélium, et ce sont eux qui ont constitué l'atmosphère primitive de la Terre. Rappelez-vous la catastrophe du Hindenburg: une allumette aurait suffi à tout faire exploser. Mais il y a 4,5 milliards d'années, vous auriez pu faire craquer mille allumettes sans produire la plus petite étincelle. Il n'y avait pas d'oxygène. De toute façon, comment l'auriez-vous fait? Vous seriez en train de mourir asphyxié. En outre, tout cet hélium dans lequel vous baigniez aurait donné à vos derniers mots un ton haut perché et comique, quoique plutôt macabre.

Mais l'hélium est un gaz inconstant. Il n'est pas resté longtemps. Moins de 100 millions d'années après la formation de la Terre, il avait presque entièrement échappé à la gravité terrestre et dérivé dans l'espace. L'hydrogène gazeux le suivit peu après et laissa derrière lui une atmosphère faite d'un mélange âcre d'azote, de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et de sulfure d'hydrogène. Un parfum d'œufs pourris. Sous ce miasme odorant, il y avait une planète aqueuse parsemée de quelques îles rocheuses transitoires. Il a fallu encore 300 millions d'années pour que la croûte terrestre se stabilise et qu'une mince couche de lave durcie recouvre le magma primitif, et pourtant, des météorites et des astéroïdes persistaient à bombarder

les protocontinents qui étaient parvenus à faire émerger leur masse terrestre des océans. De fait, quand un astéroïde particulièrement gros entrait en collision avec la planète à intervalles de quelques centaines de millions d'années, les océans s'évaporaient dans le brasier planétaire qui s'ensuivait. Ils patientaient ainsi sous forme de vapeur atmosphérique pendant des milliers d'années en attendant de se refaire quand la surface de la planète serait suffisamment refroidie pour que la pluie ne s'évapore pas instantanément au contact de sa surface chauffée au rouge, mais commence à s'accumuler et forme des flaques, des lacs et, enfin, des océans.

Une avancée extraordinaire s'est produite sur Terre pendant ces tempêtes d'hydrogène, ces bombardements de météorites et ces incessantes éruptions volcaniques : des organismes autoreproducteurs à ADN rudimentaire ont fait leur apparition. Et il s'est avéré que ces petites créatures ont eu un impact atmosphérique impressionnant.

LA SOUPE PRIMORDIALE

Y a-t-il une hyperbole ou un superlatif qui puisse traduire à quel point l'apparition de la vie sur Terre était improbable ? Je ne crois pas. L'émergence de la vie rivalise avec – voire la surpasse – la matérialisation soudaine de l'univers lui-même, créé ex nihilo il y a plus de 10 milliards d'années. Mais qu'est-ce que la vie ? Comment définir cette occurrence particulière, quand la matière développe d'aussi extraordinaires capacités ? J'accorde peut-être trop d'importance à ce phénomène. Ainsi que le disait drolatiquement un personnage de *La Montagne magique* de Thomas Mann, la vie n'est peut-être qu'« une maladie infectieuse de la matière ». Mais comment a-t-elle commencé ? Comment des molécules inanimées ont-elles commencé à se reproduire et à persévérer ?

Nous n'avons pas de réponse précise à cette question. Mais nous avons développé un concept général très éclairé, dont voici la substance : la vie est due au mauvais temps. La vie n'est pas née sur une planète sereine aux océans paisibles, bercée par des brises légères.

Elle a pris forme sur une planète que bousculaient de terribles tempêtes, des vents hurlants et des vagues de plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Des molécules capables d'autoassemblage ont commencé à s'agencer pendant les éruptions volcaniques et les bombardements de météorites. Elles se sont épanouies dans un bouillon salin agité sans cesse électrisé par la foudre, porté à ébullition par la lave et cuit par un jeune soleil dont les rayons avaient un niveau d'UV dangereusement élevé.

Alexandre Oparin a été le premier scientifique à envisager ce démarrage assisté, alchimique, à la Frankenstein. Dans sa théorie de la « soupe primitive » publiée en 1924, il émet l'hypothèse que les rayons ultraviolets, en agissant sur des gaz, des liquides et des solides élémentaires dans un milieu privé d'oxygène, ont créé des protéines organiques, les composantes de base de toute vie. En 1953, soit près de 30 ans plus tard, la théorie d'Oparin a été démontrée dans le cadre d'un ingénieux et désormais célèbre essai en laboratoire réalisé à l'Université de Chicago par le Prix Nobel de chimie Harold Urey et son étudiant de cycle supérieur, Stanley Miller. Ils ont enfermé de l'hydrogène, de l'eau et du méthane dans un groupe de vases à bec, des tubes de verre et un flacon contenant des électrodes dans le but de reproduire les conditions de la planète il y a quatre milliards d'années. Pendant des jours, ils ont soumis ce mélange à des décharges électriques pour simuler les orages qui se déchaînaient sur les anciens océans. Au bout d'une semaine à peine de ce régime, 15% du carbone présent dans la concoction avait formé pas moins de 23 acides aminés, les éléments constitutifs de la vie complexe. Les chercheurs ont ainsi fourni la preuve que des molécules organiques pouvaient avoir pris forme spontanément à partir de composés inorganiques.

Cette théorie a souvent été critiquée depuis, en particulier par les créationnistes, notamment le plombier de ma famille, Gordon Lane. Je me souviens de l'avoir regardé faire fondre de la soudure avec un chalumeau pour assembler deux tuyaux de cuivre sous l'évier de la cuisine quand j'avais huit ans. Il restait souvent à dîner. C'était un Témoin de Jéhovah avec un QI digne de Mensa et, comme mon père, un adepte des calembours. Il aimait plus que tout entraîner notre

famille agnostique dans des débats de fond. Il rejetait particulièrement la soupe primitive en tant qu'explication de l'origine de la vie. Il savait que les probabilités que se combine une simple cellule étaient pratiquement inexistantes, et il avait raison. Une protéine simple telle que le collagène, par exemple, est une molécule dont les 1055 séquences doivent être agencées exactement dans le bon ordre pour qu'elle soit fonctionnelle. Et elle ne représente qu'une protéine parmi plusieurs centaines de milliers de protéines. Gordon s'est servi d'une merveilleuse métaphore pour renforcer son refus que la vie puisse être le résultat de mutations aléatoires. « Si je lançais des pierres par-dessus la clôture d'une entreprise de démolition de voitures, je pourrais en lancer pendant un million d'années sans jamais entendre un moteur démarrer de l'autre côté. »

Pourtant, en dépit de ses détracteurs, la théorie d'Oparin tient toujours, essentiellement parce qu'il existe un si grand nombre d'acides aminés et de protéines d'origine naturelle. Il semblerait que, moyennant un délai suffisant – dans ce cas-ci, quelques centaines de millions d'années –, les protéines auraient effectivement pu se combiner et se complexifier graduellement. L'expérience de Miller-Urey a récemment été reproduite avec succès. D'autres chercheurs ont ajouté des gaz volcaniques au mélange de Miller-Urey et cette expérience a également abouti à la formation d'acides aminés. Qui plus est, il semblerait que nous importions de l'espace certaines de nos protéines complexes, y compris des acides aminés. Une très grosse météorite tombée en 1969 à Murchison, en Australie, renfermait 20 types d'acides aminés n'ayant pas leur origine sur Terre. Or, quand on ajoute les acides aminés en provenance des météorites et des comètes au mélange de protéines qui mijotait déjà dans les océans primitifs, l'assortiment d'éléments vitaux que renfermait la soupe primordiale est impressionnant.

Mais les protéines autoreproductrices ont dû être réinventées très souvent sur des millions d'années avant que l'une d'elles, encore une fois par hasard, développe la membrane qui la protégerait des éléments. Ces protéines ont eu la chance inouïe d'émerger sur une planète aqueuse dont l'orbite était située à parfaite distance du soleil, dans ce que les scientifiques spécialistes de l'atmosphère appellent

« la zone habitable » (*Goldilocks Zone*). Sur une planète trop proche du soleil, par exemple Vénus, l'eau bout ; sur une planète qui en est trop éloignée, par exemple Mars, l'eau gèle. Et il se trouve que l'eau possède une qualité particulière qui a déclenché le transport intracellulaire et les membranes cellulaires.

L'eau est bipolaire, non pas dans le sens maniaco-dépressif du terme, mais électriquement parlant. La moitié d'une molécule d'eau possède une charge positive et l'autre une charge négative. Les molécules d'eau s'attirent comme de petits aimants avec juste assez de force pour s'agglomérer, mais pas au point de se solidifier. Pour cette raison, l'eau est un excellent véhicule pour des minéraux et des substances chimiques dissous. C'est pour cela aussi qu'elle a un ménisque, c'est-à-dire la surface libre où s'exerce une pression concave, par exemple dans un aquarium. Les molécules d'eau s'attirent les unes les autres dans toutes les directions en profondeur, tandis qu'à la surface elles ne peuvent s'attirer que sur la surface et vers le bas, ce qui les dispose de façon à former une membrane temporaire. Les premières protéines auto-encapsulées ont imité cette propriété. Leurs membranes se composaient à l'extérieur de molécules hydrophiles (qui aiment l'eau) et, à l'intérieur, de molécules hydrophobes (qui repoussent l'eau). Elles s'assemblaient en cercle pour former une membrane protectrice de leur délicate nanomachinerie intérieure.

Les protéines auto-encapsulées se sont donc développées et complexifiées jusqu'à ce que, il y a un peu plus de quatre milliards d'années, soit moins de 500 millions d'années après la naissance de la planète, elles franchissent la ligne de départ de ce que nous appelons la vie. Ces organismes unicellulaires simples, les procaryotes, tiraient leur énergie des sulfates. Ils étaient anaérobies, c'est-à-dire qu'ils vivaient et se développaient en l'absence d'oxygène. Les procaryotes ont dominé les océans pendant des centaines de millions d'années. Les formes de vie unicellulaires se sont établies et se sont disséminées sur la planète durant leur règne, mais un voyageur temporel qui regarderait du rivage un océan ancien n'y décèlerait aucun signe de vie, l'omniprésence des organismes unicellulaires n'étant visible qu'au microscope. Vous n'auriez de toute façon pas beaucoup de temps pour recueillir vos spécimens, car il y a trois milliards d'an-

nées, après que la vie procaryotique se fut solidement établie, l'environnement était tout, sauf tempéré.

UN BULLETIN MÉTÉOROLOGIQUE TYPIQUE D'IL Y A TROIS MILLIARDS D'ANNÉES

Premièrement, les jours étaient plus courts. La Terre tournait trois fois plus vite que maintenant. Le cycle complet nuit/jour durait huit heures : il comportait à peine plus de quatre heures d'obscurité et quatre heures de faible luminosité, car même si les niveaux d'UV étaient élevés, notre jeune soleil était moins brillant qu'aujourd'hui. Vous auriez absolument eu besoin de porter un masque à oxygène, puisque l'atmosphère se composait presque exclusivement de dioxyde de carbone. Quand la lune se levait, vous n'auriez pas pu ne pas la voir. Beaucoup plus proche de la Terre que maintenant, elle vous aurait paru 12 fois plus grosse. Aujourd'hui, sa dimension apparente est celle d'une pièce de dix cents tenue à bout de bras. Il y a trois milliards d'années, elle aurait été celle d'un cantaloup. Et vous auriez difficilement pu parler d'un lever de lune. La lune sautait par-dessus l'horizon, fonçait dans les airs et tournoyait follement dans le ciel. Ses ombres projetées, comme aussi celles du soleil, se seraient visiblement étirées et déplacées comme les séquences d'un film en accéléré.

Bien sûr, un lever de lune sur l'océan primitif aurait été spectaculaire, mais vous n'auriez souhaité, sous aucun prétexte, vous trouver à proximité de l'eau. En fait, le seul poste d'observation sûr aurait été le sommet d'une montagne bien loin à l'intérieur des terres. Les marées, aussi rapides qu'un tsunami, atteignaient 305 mètres de hauteur. Les procaryotes qui vivaient dans les océans primitifs n'ont pas dû beaucoup se reposer.

L'évolution était à cette époque un phénomène à action lente, mais après plusieurs centaines de millions d'années, un changement capital est enfin survenu, une mutation aléatoire dont l'aboutissement a été de nouveaux organismes unicellulaires possédant un immense avantage sur leurs prédécesseurs anaérobies : les

cyanobactéries. Ces nouvelles venues ont profité de l'abondance relative du dioxyde de carbone dans l'atmosphère et de la lumière du soleil. En effet, en combinant le dioxyde de carbone, la lumière du soleil et l'eau, les cyanobactéries ont produit les hydrates de carbone, ou glucides, dont elles se sont nourries. Bref, elles ont survécu comme survivent les végétaux de nos jours. Elles étaient vertes et, comme chez les végétaux, leur réaction métabolique singulière n'a entraîné qu'un déchet : l'oxygène. Cet oxygène libre, qui jouait autrefois un rôle mineur dans les océans et l'atmosphère de la planète, a acquis une très grande importance il y a 2,5 à 2,8 milliards d'années.

DE MINI-TERRAFORMATEURS

Si les humains en viennent un jour à coloniser d'autres planètes, de gigantesques usines devront traiter leur atmosphère pour la rendre respirable. Cela fera partie d'un processus appelé terraformation. Des plans sont déjà en cours d'élaboration pour l'éventuelle terraformation de la planète Mars. Ces mégaprojets d'ingénierie surpasseront sans peine les plus grandes réalisations humaines telles que les pyramides, le canal de Panama ou la Grande Muraille de Chine. Encore faudra-t-il les construire.

Heureusement pour nous, la Terre a déjà été terratransformée. Notre atmosphère n'a cependant pas été traitée par de la machinerie lourde, mais par des cyanobactéries. Il y a un peu moins de trois milliards d'années, le groupe dominant des cyanobactéries vivait en colonies de type corallien, les stromatolithes. Elles formaient dans les océans des récifs bulbeux où elles bouillaient doucement et relâchaient de l'oxygène dans l'eau. Si vous pouviez vous promener sur la plage d'un océan primitif, vous verriez probablement s'étendre à perte de vue, le long de l'ancien littoral, de larges bandes de ces récifs submergés en eau peu profonde, tout près de la côte. L'air serait tiède, mais vous devriez quand même porter un masque à oxygène. Les stromatolithes et leurs alliés ont dû pomper de l'oxygène pendant des centaines de millions d'années avant que le surplus se déverse dans l'atmosphère.

Curieusement, les stromatolithes ont survécu. Ils sont les rois des fossiles vivants. Rien, ni le tuatara de Nouvelle-Zélande qui n'a pas changé depuis 100 millions d'années, ni même le coelacanthe de Madagascar, ce chaînon manquant chez les poissons, identique à ce qu'il était il y a 350 millions d'années, ou encore les éponges avec leur héritage vieux d'un milliard d'années, absolument rien ne va à la cheville des stromatolithes, inchangés depuis 2,8 milliards d'années. Il en existe une florissante colonie dans la baie Shark, sur la côte ouest de l'Australie, et une autre aux îles Exuma, dans les Bahamas. Ces blocs gris, informes, peu attrayants, recouverts d'une mince couche de cyanobactéries si minuscules que 0,0929 mètre carré en compte un milliard, ont été la forme vivante dominante de notre planète pendant près de deux milliards d'années. C'était comme si la vie avait cessé d'évoluer.

LA CATASTROPHE DE L'OXYGÈNE

Pendant que les cyanobactéries transformaient les océans, elles tuaient aussi leurs prédécesseurs. L'oxygène était mortel pour les pionniers de la vie sur Terre, ces procaryotes et ces extrémophiles qui s'étaient développés pendant des milliards d'années. Les cyanobactéries ont tant saturé les océans d'oxygène en à peine 300 millions d'années que 99 % des organismes procaryotiques ont disparu lors de la plus importante extinction que la Terre ait jamais connue. Seuls de rares spécimens ont pu survivre tout au fond des océans, à proximité des sources hydrothermales ou enfouis sous des boues où ils étaient à l'abri de l'oxygène. Le résultat s'appelle la Grande Oxydation, ou Grande Oxygénation, également appelée « catastrophe de l'oxygène » ou « crise de l'oxygène ». Les procaryotes ont néanmoins pu faire un bon bout de chemin, puisqu'ils ont dominé la planète pendant près de 400 millions d'années. Leurs descendants subsistent toujours, profondément enfouis dans le roc ou la boue.

Mais les petites bulles d'oxygène que libéraient les cyanobactéries ont non seulement exterminé la plupart des procaryotes, elles ont aussi donné le coup d'envoi à une immense et irréversible

réaction géothermique. Les dépôts de fer marin se sont mis à rouiller pour la première fois dans l'histoire de la Terre. Les océans ont sûrement présenté une teinte orangée pendant les millions d'années qu'a duré cette vaste rouille. L'oxydation du fer a laissé des traces horizontales dans la roche sédimentaire qui se déposait au fond des nouveaux océans oxygénés. Aujourd'hui, les géologues découvrent constamment de ces roches de trois milliards d'années qui présentent des strates rouges composées de couches de sédiments couleur rouille, témoins du premier oxygène libre de la planète.

MARS SUR TERRE

L'oxygène que les cyanobactéries ont libéré sans discontinuer pendant 300 millions d'années a été absorbé par le fer marin et enfoui dans les sédiments océaniques. Quand l'oxygène a eu fini de réagir avec tout le fer marin disponible il y a environ 2,5 millions d'années, n'ayant plus d'endroit où se poser il s'est répandu des océans à l'atmosphère. Le niveau d'oxygène dans l'atmosphère a grimpé en flèche, déclenchant une deuxième oxydation quand le fer terrestre exposé à l'air s'est mis à rouiller à son tour. Tout comme les couches de sédiments marins de l'ancien plancher océanique, ces strates terrestres sont parfaitement visibles dans les roches sédimentaires de cette période.

Vue d'une planète voisine telle que Mars, la Terre subissait alors une transformation en Technicolor. À seulement quelques siècles de distance de l'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère, les continents brunâtres et grisâtres avaient acquis une couleur brillante de terre brûlée et les océans avaient retrouvé leur couleur originale. La Terre était une planète bleue et orange qui scintillait dans le ciel de Mars. Ce changement de couleur planétaire témoignait du pouvoir de la vie. La vie avait transformé l'atmosphère primitive, la Terre avait maintenant un destin unique. Elle s'était écartée du processus géologique et planétaire courant, elle s'engageait dans sa propre voie. La vie avait commencé à façonner son visage.

Si notre voyageur temporel imaginaire se tenait maintenant sur le rivage de couleur rouille de l'océan d'il y a 2,5 milliards d'années, il ne serait plus contraint de porter un masque à oxygène. L'air y serait aussi profondément respirable et parfumé que celui de n'importe quel bord de mer d'aujourd'hui. L'oxygène était alors très abondant, mais il n'existait encore aucune vie pluricellulaire pour en profiter.

Il faut cependant mettre un bémol à cela. Cette première bouffée d'oxygène était plutôt frisquette. Au moment même où les continents commençaient à virer au rouge, des calottes glaciaires sont apparues aux deux pôles. Il a suffi de quelques milliers d'années pour qu'elles deviennent par accréation des glaciers continentaux qui se sont prolongés au sud et au nord jusqu'à ne laisser qu'une étroite bande d'océan et de terre libre de glace autour de l'équateur. La première période glaciaire de la planète, la glaciation huronienne, occupait le devant de la scène. Elle a duré 300 millions d'années et a pris fin quand s'est instaurée une intense activité volcanique. Heureusement pour nous, les stromatolithes et autres cyanobactéries ont survécu dans leurs refuges équatoriaux. Mais il se trouve que la glaciation huronienne n'a été qu'un coup de semonce adressé au navire fragile de la vie : des glaciations bien pires ont suivi.

Ainsi que pourrait vous le dire notre voyageur temporel imaginaire, l'atmosphère au bord de cet océan d'il y a 2,5 milliards d'années était similaire à celle d'aujourd'hui malgré un taux de dioxyde de carbone beaucoup plus élevé. L'atmosphère d'aujourd'hui se compose de 13 gaz, dont les deux plus importants sont l'oxygène, qui compte pour 21 %, et l'azote inerte, pour 78 %. Ces proportions sont importantes. Prenons, par exemple, l'oxygène. Chaque point de pourcentage au-dessus de 21 % augmente de 70 % le risque de feux de forêt. Si l'oxygène équivalait à 25 % de l'atmosphère, toute la végétation terrestre comprise entre le Haut-Arctique et les forêts pluviales équatoriales en viendraient à s'enflammer et à se consumer dans un violent brasier à l'échelle planétaire. L'azote aussi occupe un point critique. Si le taux d'azote chutait à moins de 75 %, le climat serait entraîné dans une glaciation dont la Terre ne se remettrait jamais.

Les autres gaz importants sont des gaz à l'état de traces, dont l'argon (0,9 %) et le dioxyde de carbone (à peine 0,04 %), le néon (0,001818 %), l'hydrogène (0,000055 %), le méthane (autour de 0,00018 %) et l'hélium (seulement 0,000524 %). Les autres gaz sont très mineurs, sauf pour l'ozone qui, comme le dioxyde de carbone, a une influence disproportionnée sur l'habitabilité de la planète Terre. L'ozone, qui constitue une ombrelle éthérée et diaphane au-dessus de la Terre, protège la planète des rayons ultraviolets nocifs. Quand la recherche scientifique a démontré que le chlorofluorocarbure provenant des aérosols et des réfrigérateurs détruisait la couche d'ozone, leur législation a été adoptée en un peu plus d'une décennie. L'affaire a été vite résolue. Sans ozone, toute la végétation terrestre et la plupart des créatures de la planète brûleraient et se transformeraient sous ces doses intenses de rayonnements ultraviolets. Pourtant, avec le radon, le krypton, le xénon et l'oxyde de diazote, l'ozone ne représente que 0,000004 % de l'atmosphère.

L'azote a beau être un actionnaire majoritaire de notre atmosphère, c'est un associé passif dont le seul rôle consiste à réguler la température modérée de la Terre. Les amateurs de vin utilisent des cartouches d'azote pour conserver le vin ouvert (plus efficaces, semble-t-il, que la conservation par le vide), et le gonflage des pneus d'automobile à l'azote plutôt qu'à l'air est maintenant chose courante. Cependant, quand on le compare à l'oxygène, l'azote semble être presque sans intérêt et banal. Détrompez-vous. L'azote a un pedigree cosmique.

Si la vie existe sur d'autres planètes, c'est que leur atmosphère renferme vraisemblablement une forte proportion d'azote. Ce gaz est le septième élément dont regorge notre univers et il fait partie de tout ce qui vit sur Terre. Son absence signifierait notre arrêt de mort. L'azote correspond à environ 3 ou 4 % du poids sec de toute forme vivante et contribue d'une manière essentielle à la construction cellulaire et aux acides aminés. Il est présent dans les déchets et l'urine d'origine animale. La potasse est essentiellement de l'azote. Nous l'extrayons du sol parce que la majeure partie de notre alimentation provient de plantes qui nécessitent des fertilisants azotés.

Mais une telle quantité d'azote ne devrait pas exister. En temps normal, l'azote et l'oxygène réagissent entre eux, si bien qu'ils auraient dû se combiner au cours des âges. Les océans devraient avoir piégé la plus grande partie de cet azote sous forme d'ions nitrate stables. Mais cela ne s'est pas produit. Cela fait partie du miracle de notre atmosphère qui défie toute logique. Quelque chose, vraisemblablement la vie, empêche ce mélange de réagir.

Néanmoins, s'agissant de contrôle du climat, en dépit de son omniprésence et de son abondance, l'azote est presque complètement occulté par le dioxyde de carbone, nettement en position de force. Le dioxyde de carbone ne représente que 0,04 % de notre atmosphère, soit approximativement 400 parties par million (ppm). Si vous ajoutiez de la strychnine à de l'eau dans cette même proportion, vous pourriez en boire des gallons sans en ressentir le moindre effet. Ces concentrations sont demeurées relativement stables depuis 400 000 ans, soit de 180 ppm au sommet des périodes glaciaires à 290 ppm pendant les périodes interglaciaires. Pourtant, en dépit de cette rareté, le dioxyde de carbone joue un rôle déterminant dans la régulation de la température de surface de la planète et il est, par conséquent, complètement indispensable à la vie sur Terre.

Étant essentiel à la survie des végétaux, le dioxyde de carbone l'est aussi pour celle de toutes les formes de vie le long de la chaîne alimentaire. Après que les premiers végétaux ont su comment extraire le dioxyde de carbone de l'atmosphère grâce à leur nanomachinerie adorablement complexe, ils ont fait appel à la photosynthèse pour convertir ce dioxyde de carbone en énergie. Puis, ils nous ont extirpés du berceau de l'océan. Les végétaux sont nos héros. De nos jours, la somme de l'énergie liée à la photosynthèse est d'environ 130 térawatts, soit six fois plus que la somme de l'énergie utilisée par la totalité des civilisations humaines en existence à l'heure actuelle. Le carbone qui ne sert pas à l'énergie sert plutôt à fabriquer les branches, les racines, les feuilles, les fleurs et les tiges. Il est ainsi fixé, et quand la plante meurt, le carbone est piégé dans le sol, puis finalement compressé sous forme de roche. Ensuite, sur des millions d'années, cette roche est subduite dans le noyau fluide de la planète

d'où elle sera plus tard recrachée par les volcans. Un cycle d'air, de vie, de roche et de feu.

Les volcans du monde libèrent en moyenne de 130 à 230 mégatonnes de dioxyde de carbone chaque année. Cela semble beaucoup, mais en réalité, c'est bien peu comparé à la contribution stupéfiante des organismes photosynthétiques. Tant sous l'eau que sur terre, la végétation en décomposition crée du dioxyde de carbone. Les algues et le plancton océaniques produisent annuellement environ 332 gigatonnes de dioxyde de carbone. Les humains, en revanche, en libèrent à peine 29 gigatonnes dans l'atmosphère chaque année. L'ennui est que nous ne disposons pas d'un puits de carbone naturel pour neutraliser ce petit pourcentage. Les 771 gigatonnes en provenance des océans et de la terre, ainsi que les 180 mégatonnes (en moyenne) en provenance des volcans sont toutes comptabilisées dans le cycle planétaire du carbone. Par conséquent, nos surplus s'accumulent. Nous jouons littéralement avec le feu en brûlant du carbone séquestré que nous ajoutons à l'atmosphère. Au milieu du vingtième siècle, les niveaux de dioxyde de carbone de la planète étaient de 320 parties par million (ppm); ils dépassent maintenant 400 ppm. Nous faisons cela depuis pas mal de temps.

Pour autant, sur le plan géologique, tout ce que nous faisons pour relâcher encore plus de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est voué à l'échec. Les concentrations de dioxyde de carbone sont en baisse constante depuis leur sommet dans l'atmosphère primitive, quand il était le gaz dominant. Les petits nouveaux – l'oxygène et l'azote – ont chassé le dioxyde de carbone à un point tel qu'au Cambrien, il y a 500 millions d'années, il n'était déjà plus qu'un gaz à l'état de traces, avec des concentrations d'environ 7000 ppm. Les concentrations de dioxyde de carbone ont encore chuté à 3000 ppm pendant le Jurassique et le Crétacé, il y a plus de 60 millions d'années, et encore plus bas, à 760 ppm, il y a 34 millions d'années. Vous voyez où je veux en venir. Aujourd'hui, les concentrations de dioxyde de carbone sont d'approximativement 400 ppm. À long terme, soit dans environ 100 millions d'années, un des gaz les plus essentiels à la perpétuation de la vie sur Terre aura disparu. Mais nous ne nous

en tirons pas pour autant à bon compte, tant s'en faut. La gestion du dioxyde de carbone est présentement un problème global.

Il y a un autre élément de l'atmosphère dont je n'ai pas encore parlé, car il ne s'agit pas d'un gaz. L'eau. L'eau occupe environ 2% de l'atmosphère sous forme de vapeur et de nuages, mais ce pourcentage est très inégalement réparti. Puisque l'air chaud retient plus d'humidité que l'air froid, il y a une plus grande quantité d'eau atmosphérique au-dessus des tropiques qu'au-dessus des régions polaires. L'intégralité de l'atmosphère de la planète contient en moyenne environ 1420 billions (T) de litres d'eau. Un océan flotte au-dessus de nos têtes.

Table des matières

INTRODUCTION	7
1. Orageux avec risque de vie : l'improbable naissance de notre atmosphère	13
2. Le bleu de toute l'immensité : les couches de l'atmosphère.	29
3. La tête dans les nuages : les géants vaporeux.	41
4. La pluie, ce poème de la Terre	55
5. La vie secrète des orages	79
6. Katrina : biographie d'un ouragan	103
7. Le palais des vents	119
8. De quel côté souffle le vent : l'histoire des prévisions météorologiques	141
9. Le char d'Apollon : les saisons	169
10. Un froid cuisant : l'hiver et les âges glaciaires.	183
11. Les changements climatiques : hier et aujourd'hui	201
12. Le temps qui a changé l'histoire	219
POST-SCRIPTUM : le feu, l'eau, la terre, l'air : voyage au centre de la Terre	237
APPENDICE : tableau de conversion	253
BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE	265
INDEX	273
REMERCIEMENTS	289