

LA VIE SUR TERRE EST-ELLE LE RESULTAT D'UN COUP DE BOL ?

<https://www.instagram.com/michel.patalano/>

Niveau : Terminale.

Le rover Persévérance vient d'atterrir sur Mars avec la ferme intention d'y trouver des traces de vie et ainsi de prouver que nous ne sommes plus seuls dans l'Univers. Mais quelles sont les chances réelles d'y trouver des traces de vie ? Elles sont très minces. Et pour le comprendre, faisons une synthèse des connaissances qui pourraient expliquer que la vie sur Terre est probablement liée à un sacré coup de bol. L'atmosphère actuelle de la Terre possède des gaz qui semblent parfaits pour les êtres vivants que nous sommes. Le peu de CO₂ qu'il y a, environ 400 ppm, est suffisant pour que les végétaux puissent faire leur photosynthèse et pour que l'effet de serre qu'il engendre produise une température compatible avec la vie. D'autre part, on trouve du dioxygène à hauteur de 20%, ce qui semble là-aussi parfait pour que les animaux puissent faire la respiration. Ainsi, tout semble bien fonctionner entre la vie, l'atmosphère et l'hydrosphère : c'est ce que James Lovelock appelle l'hypothèse Gaïa, les enveloppes de la Terre fonctionneraient comme un super organisme vivant. Or, depuis que l'exploration spatiale a débuté, on s'est rendu compte que l'atmosphère de la sœur jumelle de la Terre, Vénus, ne possède pas du tout la même composition que celle de la Terre et Mars n'a quasiment pas d'atmosphère. Du fait de sa taille, deux fois plus petite que celle de la Terre, les molécules gazeuses n'y sont pas retenues par l'attraction gravitationnelle trop faible, attraction qui dépend de la masse, qui diminue lorsque la taille diminue. Donc, premier coup de bol : La Terre possède la bonne taille pour garder des molécules gazeuses, Mars, non. Or, Vénus a quasiment le même diamètre que la Terre. Deuxième condition pour voir la vie se développer : une température compatible avec la vie. Sur Terre, il ne vous aura pas échappé qu'autour de 20°C, la vie s'épanouit. Or, la température de la Terre dépend principalement de sa distance au Soleil qui nous envoie son énergie salvatrice. Ça tombe bien, Vénus, La Terre et Mars sont dans ce que l'on appelle la « fenêtre d'habitabilité du système solaire », c'est-à-dire là où il ne fait ni trop chaud ni trop froid, c'est-à-dire à bonne distance du Soleil. Du coup, Vénus devrait être une candidate plus évidente pour le développement de la vie. C'est sans compter sur une atmosphère un peu hostile. L'atmosphère vénusienne aurait beaucoup d'eau sous forme de vapeur et de CO₂, le tout serait opaque à la lumière. Ces deux informations expliquent pourquoi, par temps clair, lorsque nous levons la tête vers Vénus, nous découvrons un spot extrêmement lumineux dû à la lumière réfléchiée par l'atmosphère de la planète. Conséquence de cette atmosphère dense et opaque ? Une température infernale ! Il ferait au moins 400°C à la surface de Venus. Par conséquent, la Terre et Vénus ont des atmosphères très différentes et pourtant, les physiciens nous apprennent que les deux planètes se sont formées au même moment, alors comment peut-on expliquer de si grandes différences ? Il y a de fortes chances pour que l'atmosphère vénusienne soit une image de notre atmosphère primitive. Lorsqu'une planète se forme, par agrégation de poussières d'étoiles, la sphère formée est chaude et les gaz comme l'eau et le CO₂ sont alors expulsés dans l'atmosphère : c'est la phase de dégazage qui a eu lieu très tôt dans la vie de la planète. Ainsi, notre atmosphère primitive devait être constituée de 80% d'eau, 10% de CO₂ et 10% d'azote. A ce stade, elle devait être aussi opaque aux rayons du soleil, comme sur Vénus actuellement. Mais à la différence de Vénus, notre planète se situe deux fois plus loin du Soleil que ne l'est Vénus. Par conséquent, l'énergie transmise aux molécules de l'atmosphère est beaucoup moins importante : dès lors, l'eau sur Terre va pouvoir se condenser et précipiter, c'est le début du cycle de l'eau et surtout, l'origine de l'eau des océans. L'atmosphère a dû devenir transparente à la lumière à partir de ce moment-là, et par conséquent, apporter son énergie à la couche supérieure des océans. Nous sommes entre 4.5 et 4 milliards d'années avant aujourd'hui. L'érosion ayant déjà fait son œuvre dès que l'eau est apparue, du calcium s'est accumulé dans l'eau. Or, le CO₂ est soluble dans l'eau et avec 10% de CO₂ dans l'atmosphère, beaucoup de molécule de CO₂ ont dû passer dans l'eau, formant des ions hydrogénocarbonates, lesquels se séparent en carbonate et proton, puis l'ion carbonate se lie au calcium pour former du calcaire. Ainsi, pense-t-on, que l'essentiel du CO₂ aurait précipité sous forme de calcaire après que les océans ne se soient formés. Résumons-nous : l'eau atmosphérique tombe du ciel puis le CO₂ précipite sous forme solide au fond des

océans, et du coup, il reste une atmosphère composée de diazote. Deuxième coup de bol : la bonne distance au Soleil a permis la condensation de la molécule d'eau, donc la formation des océans, par conséquent, la transparence de l'atmosphère puis la disparition d'une bonne partie du CO₂ atmosphérique. Mais en aucun cas nous ne trouvons de dioxygène. On dit que l'atmosphère primitive devait être réductrice et non oxydante, ce qui est une atmosphère favorable à la vie. Et, justement, troisième coup de bol, celle-ci apparaît ! On en a la preuve sous la forme de bactéries aux environs de 3.5 milliards d'années. Comment la vie est-elle apparue ? Cela reste un mystère même si des processus physico-chimiques sur des argiles ont probablement été favorables à la formation de la première cellule. Une synthèse naturelle de molécules a pu conduire à la formation de lipides dont les propriétés hydrophobes conduisent naturellement à la formation de sphères. Et si à l'intérieur de ces sphères, il y a eu quelques protéines et quelques acides nucléiques alors, de cette manière, les premières cellules ont pu apparaître. A ce stade, toujours pas d'O₂ dans l'atmosphère mais un événement va tout changer. Cet événement a été enregistré dans ce que l'on appelle les BIF pour Banded Iron formation. Ce sont des formations montrant des bandes alternées de rouge et de noir. Le rouge correspond à du fer oxydé et le noir à des niveaux d'argiles. Du coup, si oxydation du fer il y a eu, c'est forcément que du dioxygène dans l'eau il y avait. D'où provenait ce dioxygène qui n'était pas là avant ? La solution a été trouvée dans ce que l'on appelle les Stromatolithes. Ce sont des formations ressemblant à des matelas, d'où leur nom, formées par empilement de lits de bactéries, les cyanobactéries. Or ces cyanobactéries, comme celles que l'on trouve dans la baie de Shark Bay en Australie mais aussi dans certaines rivières du Jura, sont douées de photosynthèse. Ce processus permet, grâce à la photolyse la molécule d'eau, de lier des atomes de carbone entre eux à partir de molécules de CO₂. Et ce processus produit un gaz dont ne servent pas les cyanobactéries : le dioxygène. Nous sommes aux environs de 2.5 milliards d'années. Puis, quand les eaux océaniques deviennent saturées en O₂, il est logique de penser que ce dioxygène aurait pu diffuser dans l'atmosphère. Nos terres continentales en gardent la trace par l'oxydation du fer contenu cette fois-ci sur les continents. C'est ce qui a dû se produire jusqu'à l'apparition dans la haute atmosphère d'un nouveau gaz : l'ozone. C'est une molécule de trioxygène, O₃. Cette molécule se forme à partir de deux molécules de dioxygène frappées par un photon lumineux. Aussi, il est raisonnable de penser qu'il aura fallu l'accumulation de beaucoup de molécules de dioxygène pour que ce gaz se forme. Or, la vie s'est, entre temps, diversifiée dans les eaux marines, la cellule eucaryote (avec un noyau) est apparue accompagnée ensuite des premiers organismes pluricellulaires, des animaux et des végétaux. Et là, un événement majeur de l'interaction entre la biosphère et l'atmosphère se produit : les êtres vivants tentent l'aventure de la Terre ferme. En effet, jusque-là, tout s'est déroulé dans l'eau, protectrice des rayons UV. Cette tentative qui a dû se produire plusieurs fois et sur plusieurs continents. Elle ne doit sa réussite qu'au gaz nouvellement formé : l'ozone de la haute atmosphère. En effet, l'ozone montre un spectre d'absorption des photons ultraviolets. Or, la molécule d'ADN montre aussi un spectre d'absorption des rayons UV, ce qui a pour effet de déformer la molécule et d'engendrer de létales mutations. Ainsi l'ozone peut être considéré comme un gaz protecteur du patrimoine génétique des êtres vivants. Il est d'ailleurs amusant de remarquer qu'un gaz protecteur dans la haute atmosphère devienne toxique pour le vivant lorsqu'il réside dans la basse atmosphère lors des jours de pollution atmosphérique. Ainsi, le vivant a pu coloniser la terre ferme grâce à cet écran UV protecteur qu'est l'ozone. C'est notre troisième coup de bol : une planète avec une atmosphère protectrice des rayons létaux d'un Soleil. Les premières formes de vie sur les continents ont probablement été des végétaux, comme tous les colonisateurs des pentes d'un volcan qui vient de s'éteindre. Or, les décomposeurs du bois c'est-à-dire de la lignine, une molécule nouvellement apparue autour de 300 Millions d'années et qui compose les troncs des arbres, ne devaient pas être encore apparus sur Terre. Les grandes forêts de spermaphytes (des arbres ressemblants aux conifères d'aujourd'hui) ont dû être prolifiques en l'absence de grands herbivores qui n'existent pas encore. On pense qu'un pic d'O₂ autour de 40% aurait pu se produire à une époque appelée Carbonifère. C'est à cette époque que la plupart de nos réserves de combustibles fossiles se seraient formées à la faveur d'une tectonique active provoquant une forte subsidence, c'est-à-dire un enfoncement rapide du sous-sol et de l'absence de décomposeurs terrestres. Remarquez au passage qu'aujourd'hui, nous brûlons de l'énergie solaire fixée par des végétaux il y a environ 300 Millions d'Années, et avec quelle conséquence ? Nous modifions la composition de notre atmosphère, nous augmentons son taux de CO₂ et nous augmentons

son effet de serre. Alors si au terme de cette belle histoire de l'interaction entre la vie, l'atmosphère et l'hydrosphère sur Terre, vous pensez encore que trouver de la vie sur Mars est possible, c'est que vous êtes sacrément optimiste ! Mais le rover Persévérance nous offrira sûrement quelques éléments de réponse... en espérant qu'il me donne tort !

S'informer par soi-même : Lisez « Biologie » de Neil Campbell.

Le rover Persévérance vient d'atterrir sur Mars avec la ferme intention d'y trouver des traces de vie et ainsi de prouver que nous ne sommes plus seuls dans l'Univers. Mais quelles sont les chances réelles d'y trouver des traces de vie ? Elles sont très minces. Et pour le comprendre, faisons une synthèse des connaissances qui pourraient expliquer que la vie sur Terre est probablement liée à un sacré coup de bol. L'atmosphère actuelle de la Terre possède des gaz qui semblent parfaits pour les êtres vivants que nous sommes. Le peu de CO₂ qu'il y a, environ 400 ppm, est suffisant pour que les végétaux puissent faire leur photosynthèse et pour que l'effet de serre qu'il engendre produise une température compatible avec la vie. D'autre part, on trouve du dioxygène à hauteur de 20%, ce qui

semble là-aussi parfait pour que les animaux puissent faire la respiration. Ainsi, tout semble bien fonctionner entre la vie, l'atmosphère et l'hydrosphère : c'est ce que James Lovelock appelle l'hypothèse Gaïa, les enveloppes de la Terre fonctionneraient comme un super organisme vivant. Or, depuis que l'exploration spatiale a débuté, on s'est rendu compte que l'atmosphère de la sœur jumelle de la Terre, Vénus, ne possède pas du tout la même composition que celle de la Terre et Mars n'a quasiment pas d'atmosphère. Du fait de sa taille, deux fois plus petite que celle de la Terre, les molécules gazeuses n'y sont pas retenues par l'attraction gravitationnelle trop faible, attraction qui dépend de la masse, qui diminue lorsque la taille diminue. Donc, premier coup de bol : La Terre possède la bonne taille pour garder des molécules gazeuses, Mars, non. Or, Vénus a quasiment le même diamètre que la Terre. Deuxième condition pour voir la vie se développer : une température compatible avec la vie. Sur Terre, il ne vous

aura pas échappé qu'autour de 20°C, la vie s'épanouit. Or, la température de la Terre dépend principalement de sa distance au Soleil qui nous envoie son énergie salvatrice. Ça tombe bien, Vénus, La Terre et Mars sont dans ce que l'on appelle la « fenêtre d'habitabilité du système solaire », c'est-à-dire là où il ne fait ni trop chaud ni trop froid, c'est-à-dire à bonne distance du Soleil. Du coup, Vénus devrait être une candidate plus évidente pour le développement de la vie. C'est sans compter sur une atmosphère un peu hostile. L'atmosphère vénusienne aurait beaucoup d'eau sous forme de vapeur et de CO₂, le tout serait opaque à la lumière. Ces deux informations expliquent pourquoi, par temps clair, lorsque nous levons la tête vers Vénus, nous découvrons un spot extrêmement lumineux dû à la lumière réfléchiée par l'atmosphère de la planète. Conséquence de cette atmosphère dense et opaque ? Une température infernale ! Il ferait au moins 400°C à la surface de Venus. Par conséquent, la Terre et Vénus ont des atmosphères très

différentes et pourtant, les physiciens nous apprennent que les deux planètes se sont formées au même moment, alors comment peut-on expliquer de si grandes différences ? Il y a de fortes chances pour que l'atmosphère vénusienne soit une image de notre atmosphère primitive. Lorsqu'une planète se forme, par agrégation de poussières d'étoiles, la sphère formée est chaude et les gaz comme l'eau et le CO₂ sont alors expulsés dans l'atmosphère : c'est la phase de dégazage qui a eu lieu très tôt dans la vie de la planète. Ainsi, notre atmosphère primitive devait être constituée de 80% d'eau, 10% de CO₂ et 10% d'azote. A ce stade, elle devait être aussi opaque aux rayons du soleil, comme sur Vénus actuellement. Mais à la différence de Vénus, notre planète se situe deux fois plus loin du Soleil que ne l'est Vénus. Par conséquent, l'énergie transmise aux molécules de l'atmosphère est beaucoup moins importante : dès lors, l'eau sur Terre va pouvoir se condenser et précipiter, c'est le début du cycle de l'eau et surtout, l'origine de l'eau des

océans. L'atmosphère a dû devenir transparente à la lumière à partir de ce moment-là, et par conséquent, apporter son énergie à la couche supérieure des océans. Nous sommes entre 4.5 et 4 milliards d'années avant aujourd'hui. L'érosion ayant déjà fait son œuvre dès que l'eau est apparue, du calcium s'est accumulé dans l'eau. Or, le CO₂ est soluble dans l'eau et avec 10% de CO₂ dans l'atmosphère, beaucoup de molécule de CO₂ ont dû passer dans l'eau, formant des ions hydrogénocarbonates, lesquels se séparent en carbonate et proton, puis l'ion carbonate se lie au calcium pour former du calcaire. Ainsi, pense-t-on, que l'essentiel du CO₂ aurait précipité sous forme de calcaire après que les océans ne se soient formés. Résumons-nous : l'eau atmosphérique tombe du ciel puis le CO₂ précipite sous forme solide au fond des océans, et du coup, il reste une atmosphère composée de diazote. Deuxième coup de bol : la bonne distance au Soleil a permis la condensation de la molécule d'eau, donc la formation des

océans, par conséquent, la transparence de l'atmosphère puis la disparition d'une bonne partie du CO₂ atmosphérique. Mais en aucun cas nous ne trouvons de dioxygène. On dit que l'atmosphère primitive devait être réductrice et non oxydante, ce qui est une atmosphère favorable à la vie. Et, justement, troisième coup de bol, celle-ci apparaît ! On en a la preuve sous la forme de bactéries aux environs de 3.5 milliards d'années. Comment la vie est-elle apparue ? Cela reste un mystère même si des processus physico-chimiques sur des argiles ont probablement été favorables à la formation de la première cellule. Une synthèse naturelle de molécules a pu conduire à la formation de lipides dont les propriétés hydrophobes conduisent naturellement à la formation de sphères. Et si à l'intérieur de ces sphères, il y a eu quelques protéines et quelques acides nucléiques alors, de cette manière, les premières cellules ont pu apparaître. A ce stade, toujours pas d'O₂ dans l'atmosphère mais un événement va tout

changer. Cet évènement a été enregistré dans ce que l'on appelle les BIF pour Banded Iron formation. Ce sont des formations montrant des bandes alternées de rouge et de noir. Le rouge correspond à du fer oxydé et le noir à des niveaux d'argiles. Du coup, si oxydation du fer il y a eu, c'est forcément que du dioxygène dans l'eau il y avait. D'où provenait ce dioxygène qui n'était pas là avant ? La solution a été trouvée dans ce que l'on appelle les Stromatolithes. Ce sont des formations ressemblant à des matelas, d'où leur nom, formées par empilement de lits de bactéries, les cyanobactéries. Or ces cyanobactéries, comme celles que l'on trouve dans la baie de Shark Bay en Australie mais aussi dans certaines rivières du Jura, sont douées de photosynthèse. Ce processus permet, grâce à la photolyse la molécule d'eau, de lier des atomes de carbone entre eux à partir de molécules de CO₂. Et ce processus produit un gaz dont ne servent pas les cyanobactéries : le dioxygène. Nous sommes aux environs de 2.5 milliards d'années. Puis, quand

les eaux océaniques deviennent saturées en O_2 , il est logique de penser que ce dioxygène aurait pu diffuser dans l'atmosphère. Nos terres continentales en gardent la trace par l'oxydation du fer contenu cette fois-ci sur les continents. C'est ce qui a dû se produire jusqu'à l'apparition dans la haute atmosphère d'un nouveau gaz : l'ozone. C'est une molécule de trioxygène, O_3 . Cette molécule se forme à partir de deux molécules de dioxygène frappées par un photon lumineux. Aussi, il est raisonnable de penser qu'il aura fallu l'accumulation de beaucoup de molécules de dioxygène pour que ce gaz se forme. Or, la vie s'est, entre temps, diversifiée dans les eaux marines, la cellule eucaryote (avec un noyau) est apparue accompagnée ensuite des premiers organismes pluricellulaires, des animaux et des végétaux. Et là, un événement majeur de l'interaction entre la biosphère et l'atmosphère se produit : les êtres vivants tentent l'aventure de la Terre ferme. En effet, jusque-là, tout s'est déroulé dans l'eau, protectrice

des rayons UV. Cette tentative qui a dû se produire plusieurs fois et sur plusieurs continents. Elle ne doit sa réussite qu'au gaz nouvellement formé : l'ozone de la haute atmosphère. En effet, l'ozone montre un spectre d'absorption des photons ultraviolets. Or, la molécule d'ADN montre aussi un spectre d'absorption des rayons UV, ce qui a pour effet de déformer la molécule et d'engendrer de létales mutations. Ainsi l'ozone peut être considéré comme un gaz protecteur du patrimoine génétique des êtres vivants. Il est d'ailleurs amusant de remarquer qu'un gaz protecteur dans la haute atmosphère devienne toxique pour le vivant lorsqu'il réside dans la basse atmosphère lors des jours de pollution atmosphérique. Ainsi, le vivant a pu coloniser la terre ferme grâce à cet écran UV protecteur qu'est l'ozone. C'est notre troisième coup de bol : une planète avec une atmosphère protectrice des rayons létaux d'un Soleil. Les premières formes de vie sur les continents ont probablement été des végétaux, comme tous les

colonisateurs des pentes d'un volcan qui vient de s'éteindre. Or, les décomposeurs du bois c'est-à-dire de la lignine, une molécule nouvellement apparue autour de 300 Millions d'années et qui compose les troncs des arbres, ne devaient pas être encore apparus sur Terre. Les grandes forêts de spermaphytes (des arbres ressemblants aux conifères d'aujourd'hui) ont dû être prolifiques en l'absence de grands herbivores qui n'existent pas encore. On pense qu'un pic d'O₂ autour de 40% aurait pu se produire à une époque appelée Carbonifère. C'est à cette époque que la plupart de nos réserves de combustibles fossiles se seraient formées à la faveur d'une tectonique active provoquant une forte subsidence, c'est-à-dire un enfoncement rapide du sous-sol et de l'absence de décomposeurs terrestres. Remarquez au passage qu'aujourd'hui, nous brûlons de l'énergie solaire fixée par des végétaux il y a environ 300 Millions d'Années, et avec quelle conséquence ? Nous modifions la composition de notre atmosphère, nous

augmentons son taux de CO₂ et nous augmentons son effet de serre. Alors si au terme de cette belle histoire de l'interaction entre la vie, l'atmosphère et l'hydrosphère sur Terre, vous pensez encore que trouver de la vie sur Mars est possible, c'est que vous êtes sacrément optimiste ! Mais le rover Persévérance nous offrira sûrement quelques éléments de réponse... en espérant qu'il me donne tort !

S'informer par soi-même : Lisez « Biologie » de Neil Campbell.