

Chapitre 1.1 - L'atmosphère terrestre et la vie

Terminale

Lycée Paul Guérin - Cyrille Deliry (SVT)

Thème 1 - Science, climat et société

L'atmosphère primitive de la Terre était différente de celle d'aujourd'hui. Elle s'est transformée au cours des milliards d'années sous l'effet des processus géologiques et biologiques. Depuis la révolution industrielle entamée vers la fin du XVIII^e siècle, l'activité humaine a modifié de manière significative la composition de l'atmosphère. Ces modifications ont de lourdes conséquences sur sa composition et sur celle conjointe de l'hydrosphère. Ceci se traduit par un dérèglement du fonctionnement de l'atmosphère et de l'hydrosphère ayant pour conséquence globale le réchauffement climatique et à une échelle locale un dérèglement du système. Des choix raisonnés s'imposent à la société et aux individus. Ceux-ci s'appuient sur les apports des sciences et des technologies.

Les enjeux sont ceux du réchauffement climatique global qui est l'objet de suivis liés à des recherches et des programmes mondiaux importants pour l'avenir de la planète et de l'humanité (Organisation Météorologique Mondiale, Nations-Unis, GIEC ou Groupe Intergouvernemental pour l'Etude du Climat). Les océans sont fortement influencés par les conséquences des activités humaines. Le tout est sous l'influence de l'utilisation des ressources énergétiques dans le Monde, productrices de gaz à effet de serre. Par ailleurs la couche d'Ozone (O_3) protectrice est menacée et des décisions pour limiter l'extension du « trous dans la couche d'Ozone » ont dû être prises pour préserver la vie et l'humanité sur la planète.

I

Introduction du chapitre

Du point de vue historique, depuis l'époque sa formation il y a près de 5 Ga, peu après la formation du Soleil en même temps que celle des autres planètes du système solaire, la Terre a connu une évolution spécifique de sa surface (formation d'une lithosphère avec une croûte solide) et de son atmosphère. Rapidement le refroidissement du système Terre-atmosphère a conduit à la liquéfaction de la vapeur d'eau produisant une importante hydrosphère (océans). Les climats de la Terre sont conditionnés par l'activité solaire, la distance de la planète au Soleil et par la tectonique produisant des gaz volcaniques renouvelant et maintenant l'épaisseur de l'atmosphère. L'émergence des êtres vivants dans les océans, il y a plus de 3,5 Ga a conduit à une modification profonde de la composition de l'atmosphère primitive. Aujourd'hui un équilibre est atteint et il permet la présence de la Vie sur notre planète et son maintien. Cet équilibre est menacé par les activités industrielles humaines depuis près de 200 ans.

II

De l'atmosphère primitive (4,6 Ga) à l'atmosphère globale actuelle

L'atmosphère primitive est issue du maintien originel de gaz à la surface de la Terre lors de sa formation et du dégazage volcanique précoce associé à celui lié aux impacts météoriques primitifs.

Il y a 4,6 Ga l'atmosphère primitive était composée de N_2 , CO_2 et H_2O (vapeur). Il y avait alors près de 80% de CO_2 . Sa composition actuelle avec 78% N_2 et 21% d' O_2 est fondamentalement différente. Si la quantité de dia-

zote (N_2) n'a pas fondamentalement changé, sa proportion relative a fortement augmenté suite à la disparition de l'essentiel du dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2).

Il y a environ 1% d'autres gaz dans l'atmosphère actuelle, parfois dits gaz rares, mais leur rôle est parfois très important et n'est pas sans conséquence sur le fonctionnement des climats notamment. Ainsi l'eau vapeur (H_2O) est en partie à l'origine des nuages en condensant

sous la forme de gouttelettes d'eau étant ainsi à l'origine des précipitations (pluie, neige...). Le gaz carbonique est un puissant gaz à effet de serre dont le taux augmente sans cesse depuis plusieurs décennies (CO₂) suite à l'utilisation des énergies fossiles (charbon, pétrole). Au milieu du XIX^e siècle ce taux était de 0,030% et il vient de dépasser les 0,042% ! A l'aube de la révolution industrielle il n'était que de 0,028%. Le méthane (CH₄) est un autre gaz à effet de serre dont le taux est en augmentation récente. Les élevages animaux comme ceux des vaches, particulièrement importants sont de remarquables producteurs de méthane (CH₄) (flatu-

lences des animaux). Ces élevages produisent à eux seuls près de 20% des gaz à effet de serre ajoutés dans notre atmosphère. Pour situer l'importance des élevages, la biomasse des animaux concernée est dix fois supérieure à celle des Mammifères sauvages et elle dépasse celle de la biomasse humaine ! Le protoxyde d'azote (N₂O) est un autre gaz à effet de serre. Ce gaz est connu pour détruire l'ozone atmosphérique (O₃) et ainsi contribuer à l'agrandissement du « trou dans la couche d'ozone ».

III

Formation précoce de l'hydrosphère sur la planète

Le refroidissement primitif de la surface de la Terre a conduit à une liquéfaction de la vapeur d'eau (H₂O) présente dans l'atmosphère initiale. Une importante hydrosphère s'est formée (océans, mers, lacs...). Celle-ci est fondamentale pour la naissance et le développement de la Vie. Hydrosphère et biosphère sont uniques dans le système solaire et en l'état actuel de nos

connaissance, seule la Terre présente une biosphère dans l'Univers.

Nous ne connaissons toujours pas de vie extraterrestre. Les réflexions et les recherches liées à l'existence possible d'une vie en dehors de notre planète est l'objet de l'exobiologie.

IV

Naissance de la Vie (3,8 Ga) et premières conséquences sur l'atmosphère

On trouve les premiers indices chimiques de la présence d'êtres vivants dans des roches très anciennes du Précambrien découvertes notamment au Groenland. La datation de ces roches leur donne un âge de près de 3,8 Ga. Les hypothèses actuelles indiquent que les premiers êtres vivants procaryotiques ont tâtonnés et explorés divers types de métabolismes. Plusieurs lignées primitives de cellules n'ont pas eu de descendance. Une seule lignée a donné l'ensemble des êtres vivants actuels et elle date approximativement de 3,5 Ga. Elle est issue d'une « population théorique » de cellules nommée LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) qui réunit toutes les caractéristiques fondamentales partagées par les êtres vivants actuels (ADN, membrane plasmique phospholipique, métabolisme fondamental). LUCA est d'abord à l'origine des Procaryotes (Eubactéries et Archées) et des Eucaryotes unicellulaires et pluricellulaires (Végétaux, Fonges ou *Champignons*, Animaux). Relativement tôt dans l'histoire de la Vie, des bactéries appartenant au groupe des Cyanobactéries

(dites maladroitement « algues bleues ») réalisent la photosynthèse. Ce métabolisme constructif (anabolisme) se traduit par la synthèse de matière organique et notamment de Glucose à partir d'eau et de dioxyde de carbone. Il libère du dioxygène dans l'environnement¹. Libérée dans l'hydrosphère le dioxygène oxyde les roches sédimentaires et notamment celles contenant du fer (formation de fer rubanées caractérisées par leur couleur rouge). Les Cyanobactéries forment alors d'importantes colonies retrouvées dans les roches sous forme de stromatolithes. L'apparition de fer rubané et de stromatolithes témoignent de l'apparition de la photosynthèse et de la présence de Cyanobactéries au cours du Précambrien. Les océans s'oxydent sous l'effet de la photosynthèse et une fois « saturés » en dioxygène, cette molécule s'accumule dans l'atmosphère dès 2,4 Ga. Le taux actuel de dioxygène dans l'atmosphère (près de 21%) est atteint il y a 500 Ma et est le fruit d'une longue accumulation de ce gaz sous l'effet du métabolisme de bactéries photosyn-

¹ La photosynthèse (CO₂ + H₂O → C₆H₁₂O₆ + O₂) est réalisée grâce à l'énergie lumineuse (solaire) sous l'action de la molécule de chlorophylle.

thétiques d'abord, puis de végétaux chlorophylliens par la suite.

Aujourd'hui la photosynthèse continue d'intervenir comme une source de dioxygène dans l'atmosphère alors qu'à *contrario* la respiration (qui est la réaction inverse du catabolisme) est un puits (orthographe correcte ici !) de dioxy-

gène atmosphérique. Les grandes forêts tropicales dont la conservation est essentielle sont regardées comme les « poumons² verts de la planète » car elles sont supposées régénérer le dioxygène atmosphérique et réduire en conséquence le taux du dioxyde de carbone qui rap- pelons-le, est un puissant gaz à effet de serre.

v

La vie protège la vie : la couche d'ozone stratosphérique (O₃)

Rappelons que la Vie est apparue dans les océans (hydrosphère). Elle s'y trouve protégée des rayons nocifs du Soleil comme les ultra-violets (UV).

Il est remarquable de savoir qu'à haute altitude, au niveau de la stratosphère, les rayons UV d'origine solaire dissocient en permanence le dioxygène (O₂) ce qui initie une transformation chimique aboutissant à la formation d'ozone (O₃). L'ozone forme une couche concentrée vers 30-35 km d'altitude environ.

La couche d'ozone absorbe une partie importante du rayonnement UV solaire ce qui protège les êtres vivants de ses effets négatifs et mutagènes. En conséquence ce sont les rayons UV qui en produisant de l'ozone, protègent la vie contre l'effet négatif de ces rayons eux-mêmes. C'est le monde vivant dont une part réalise la photosynthèse et emplie l'atmosphère de dioxygène qui a permis la formation de la couche d'ozone : « la Vie protège la Vie ».

L'ozone est en fait une forme chimique particulière de l'oxygène, très instable et réactive. Ce gaz forme une couche instable et dont la densité est fluctuante naturellement.

En 1988, la NASA diffusait un rapport qui indiquait que la couche d'ozone avait significativement diminué en 1969 et 1986. Dans la suite les recherches montrent que le rayonnement UV en surface s'était élevé de 10% entre 1986 et 1996. On remarque aux pôles de la planète une réduction très importante de l'ozone et on parle de « trou dans la couche d'ozone ».

Certains rayons ultraviolets mal filtrés conduisent pour l'Homme à des brûlures superficielles de la peau, une augmentation de la dégradation de la conjonctive et de la cornée de l'œil, une augmentation des cancers de la peau qui vieillit plus vite, l'apparition de maladies immunitaires. En ce qui concerne les plantes, il

y a une réduction de la photosynthèse, ce qui se traduit par une diminution du rendement des cultures, la disparition du phytoplancton et en conséquence une perte au niveau des producteurs primaires (végétaux verts) ce qui se répercute sur toute les chaînes alimentaires et en conséquence l'ensemble de la biosphère. Chaque année, pour prendre un exemple, dans le sud du Chili, la quantité d'ozone stratosphérique diminue de 30 à 50% durant le printemps austral ce qui oblige habitants et visiteurs à se protéger la peau contre les rayons UV les plus nocifs.

On a rapidement compris que certains polluants étaient responsables de la diminution de la couche d'ozone. Depuis le milieu du XXe siècle on a abondamment utilisé des CFC (ChloroFluoroCarbones) par exemple pour les systèmes frigorifiques, les aérosols, les extincteurs. Perdus dans l'atmosphère les CFC libèrent du chlore (Cl) ce qui a pour conséquence de casser les molécules d'ozone. Un seul atome de chlore peut détruire des milliers de molécules d'ozone. Dès les fin des années 1980 des actions sont menées pour ne plus utiliser de tels produits (Protocole de Montréal du 16 septembre 1987 signé par de nombreux pays). Les scientifiques mesurent alors une amélioration de la situation et considèrent qu'il faudra près de 50 ans pour résorber le « trou dans la couche d'ozone » qui se situe à chaque pôle. En 2017, le constat est là : il se résorbe. Néanmoins de nouveaux produits polluants viennent actuellement dérouter cette « victoire » pour la planète et on a mesuré une augmentation du phénomène négatif au dessus de l'Antarctique en 2020 et 2021 ce qui signifie que la vigilance doit se poursuivre et de nouvelles actions entreprises.

² Notons que le terme de « poumon » est inapproprié car celui-ci produit du dioxygène. Nos poumons réalisent en fait la respiration ce qui produit du dioxyde de carbone, rejeté dans l'environnement.

Une histoire de cycle du carbone et de gaz à effet de serre

Le carbone (C) est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, les roches et la biosphère. Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des flux (donnés en tonne par an). Lorsque les flux sont équilibrés, les quantités de carbone dans les différents réservoirs restent constantes. L'ensemble des échanges entre les différents réservoirs constitue le *Cycle du carbone*.

Des stocks de carbone fossile ont été constitués à partir d'accumulation d'êtres vivants il y a des millions d'années. Ceux-ci concernent le charbon ou le pétrole qui sont autant de combustibles utilisés par l'homme depuis la révolution industrielle pour sa production énergétique (chauffage, déplacements...). L'utilisation de ces

combustibles fossiles en quelques dizaines d'année seulement et au mieux deux siècles, se traduit par une forte augmentation du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère qui rappelle le est passé de 0,03% à 0,04% en quelques décennies à peine.

Notons qu'actuellement du charbon et du pétrole se forme localement sur la planète, notamment en des endroits où la matière organique se décompose mal et se trouve piégé dans de nouveaux sédiments. Le phénomène est très lent et localisé. Le taux de renouvellement est infiniment inférieur à celui de la consommation des combustibles fossiles qui sont en conséquence regardés comme des ressources énergétiques non renouvelables.

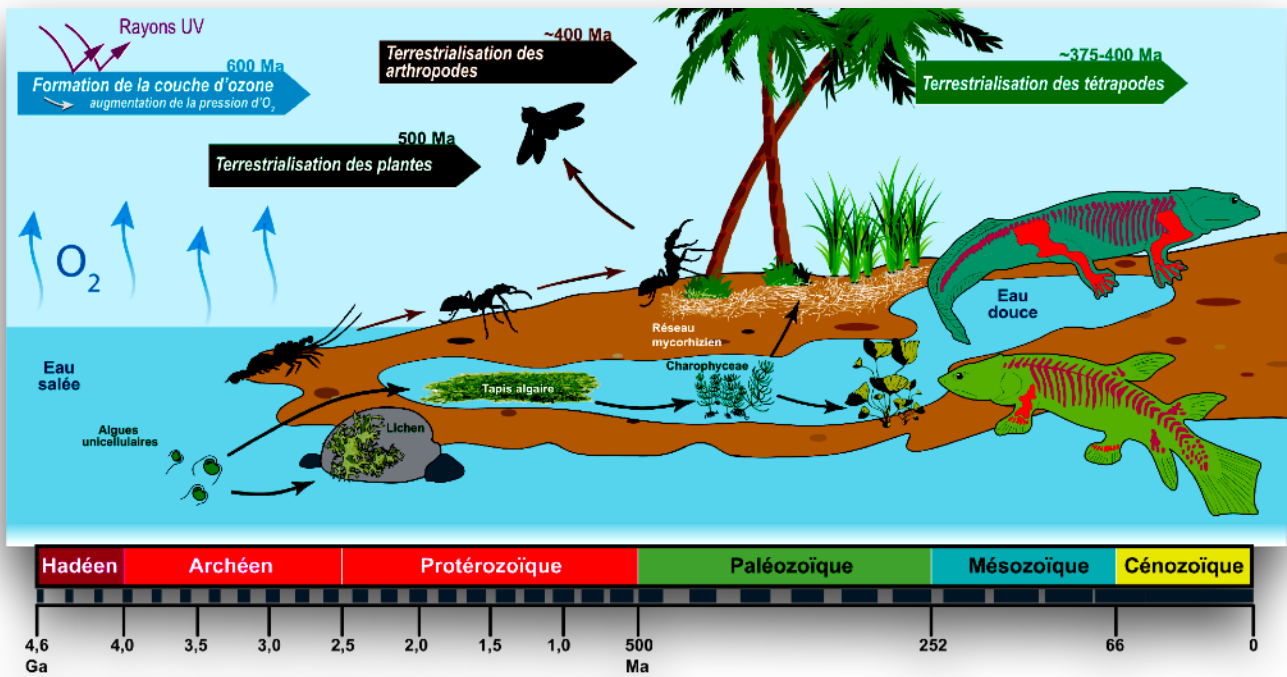
Conclusion

Alors qu'une hydrosphère se forme relativement tôt sur la planète, la vie peut apparaître dans cet élément liquide. Nous voyons que les histoires de la Terre et de la Vie sont étroitement liées entre-elles. La Terre produit une atmosphère primitive qui sera modelée par le vivant et notamment la photosynthèse productrice de dioxygène. Accumulé d'abord dans les océans, puis dans l'atmosphère ce gaz est à l'origine de la couche d'ozone stratosphérique dont une des caractéristiques est d'arrêter une partie des rayons UV nocifs du Soleil. Or, cette couche protectrice sera fondamentale pour permettre au cours de l'ère Primaire la « sortie des eaux », notion consacrée à la colonisation des continents jusqu'alors déserts par les végétaux (vers 500 Ma) puis les animaux (vers 430 Ma). En effet seuls les océans étaient jusqu'alors colonisés par le vivant et ce, depuis déjà plusieurs milliards d'années.

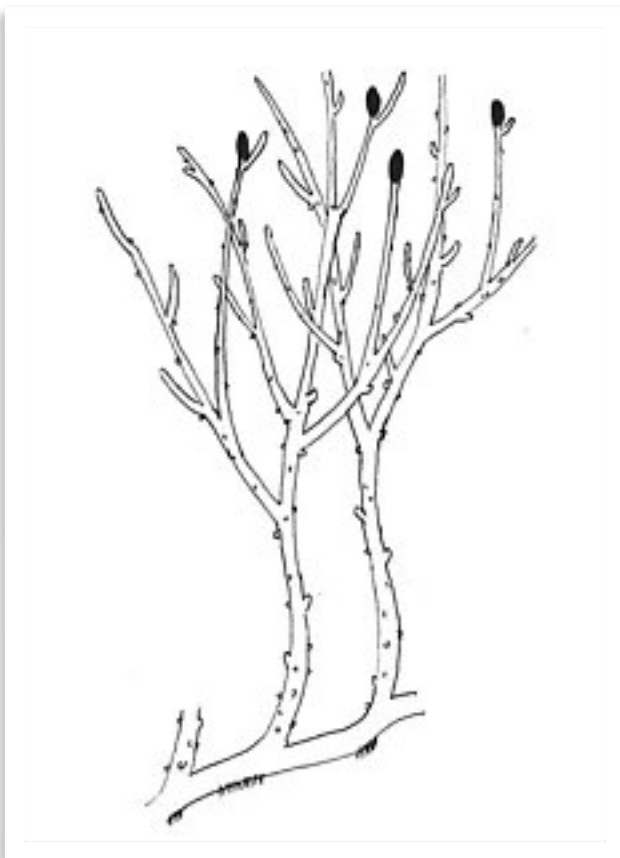
Aujourd'hui, l'Homme par son industrie, déséquilibre le cycle du carbone et modifie les caractéristiques climatiques de la planète qui se réchauffe globalement. Outre le réchauffement on constate que des dérèglements climatiques majeurs s'ajoutent ces dernières années. La prise de conscience est faite mais les marges d'action sont faibles et perclues d'inertie politique et sociétale. Les climatosceptiques, parfois à la tête de certains gouvernements, entravent les actions collectives. On essaie de limiter le réchauffement à 2°C maximum, mais les prédictions sont moins optimistes et des records de température sont désormais battus chaque année³.

³ Le mois de juillet 2021 a été le mois de juillet le plus chaud jamais enregistré sur la planète. Le record français est de 46,0°C dans l'Hérault et date du 28 juin 2019. Pour Niort on a enregistré 40,0°C le 23 juillet 2019.

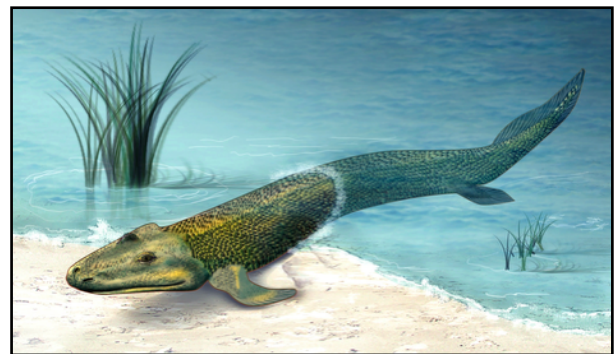
Documentation choisie



Sortie des eaux - Flore puis faune (Wikipedia ©© bysa)



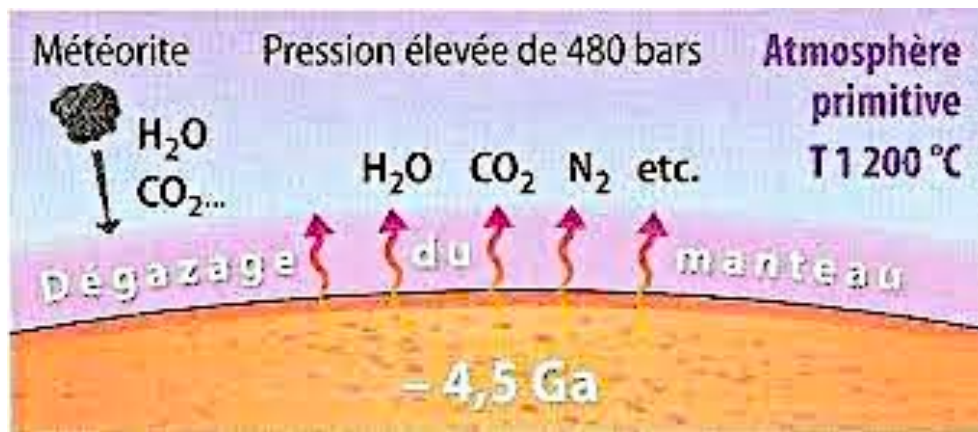
Rhynia (420 Ma) - Une des première plante vasculaire terrestre (Wikipedia ©© bysa)



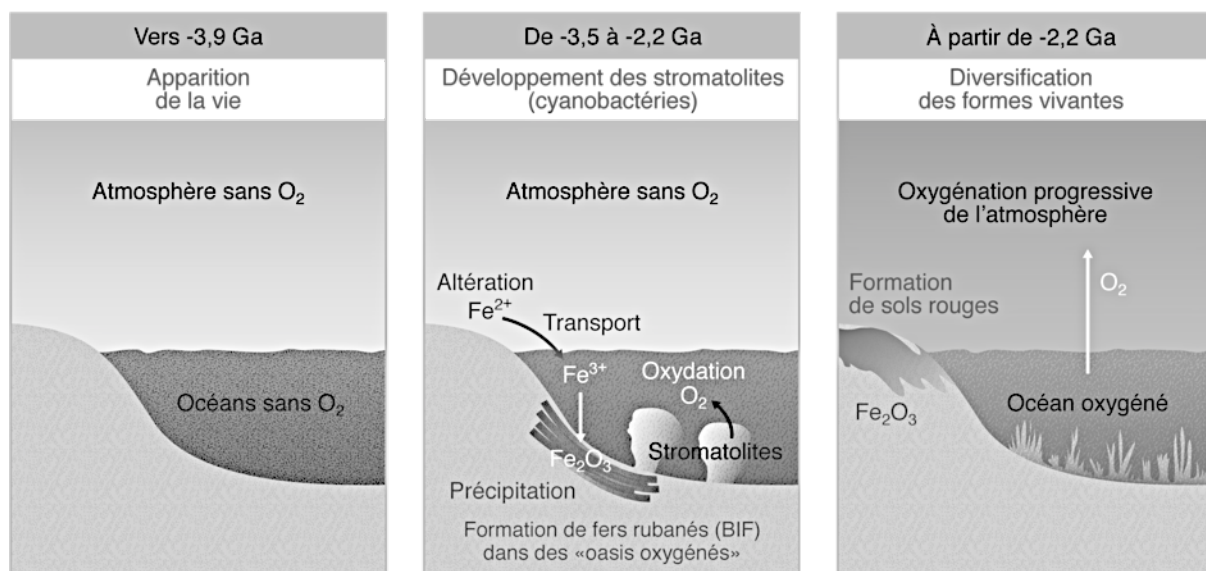
Tiktaalik roseae (375 Ma)
(Wikipedia ©© bysa)



Cyanobactérie actuelle -
Echelle 10 μm



Atmosphère primitive à $1200^\circ C$
 La pression atmosphérique actuelle est de 1 bar



Oxygénisation de l'hydrosphère puis de l'atmosphère
 Source - Schoolmouv ©

	Atmosphère primitive	Atmosphère actuelle
H_2O	~ 80 %	Traces
CO_2	~ 15 %	0,03 %
N_2	~ 5 %	78 %
O_2	0 %	21 %

Comparaison des atmosphères primitive et actuelle (taux des différents gaz)



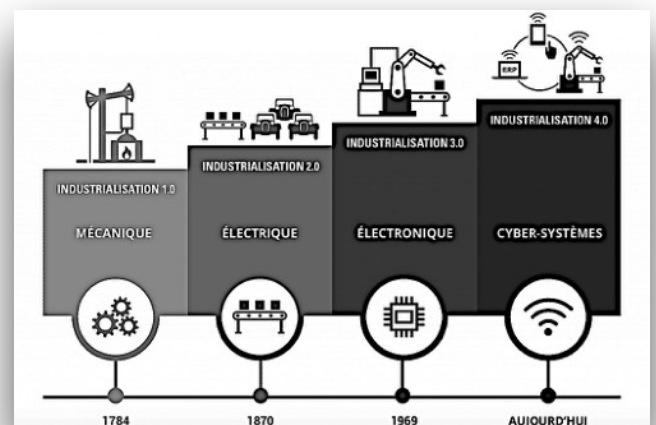
Stromatolithes actuels en bord de mer
Cours de Benoît Schoefs ©



Aspect de la planète après la mise en
place de l'hydrosphère vers 4Ga
Site Internet - Exobiologie, la vie extrater-
restre

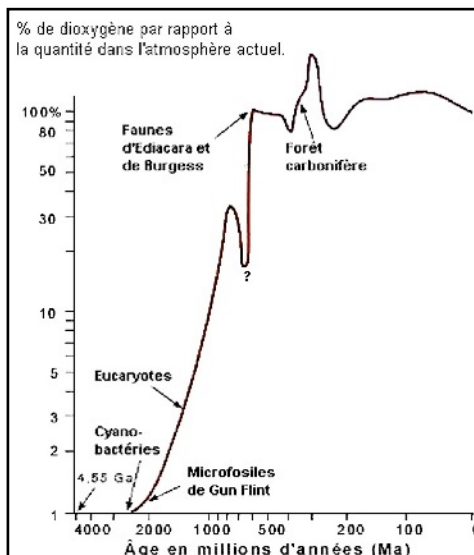
	Gaz volcaniques (en %)
H ₂ O	83 ± 3
CO ₂	12 ± 4
N ₂	5 ± 3
O ₂	0

Composition des gaz volcaniques terrestres



Les 4 étapes de la révolution industrielle

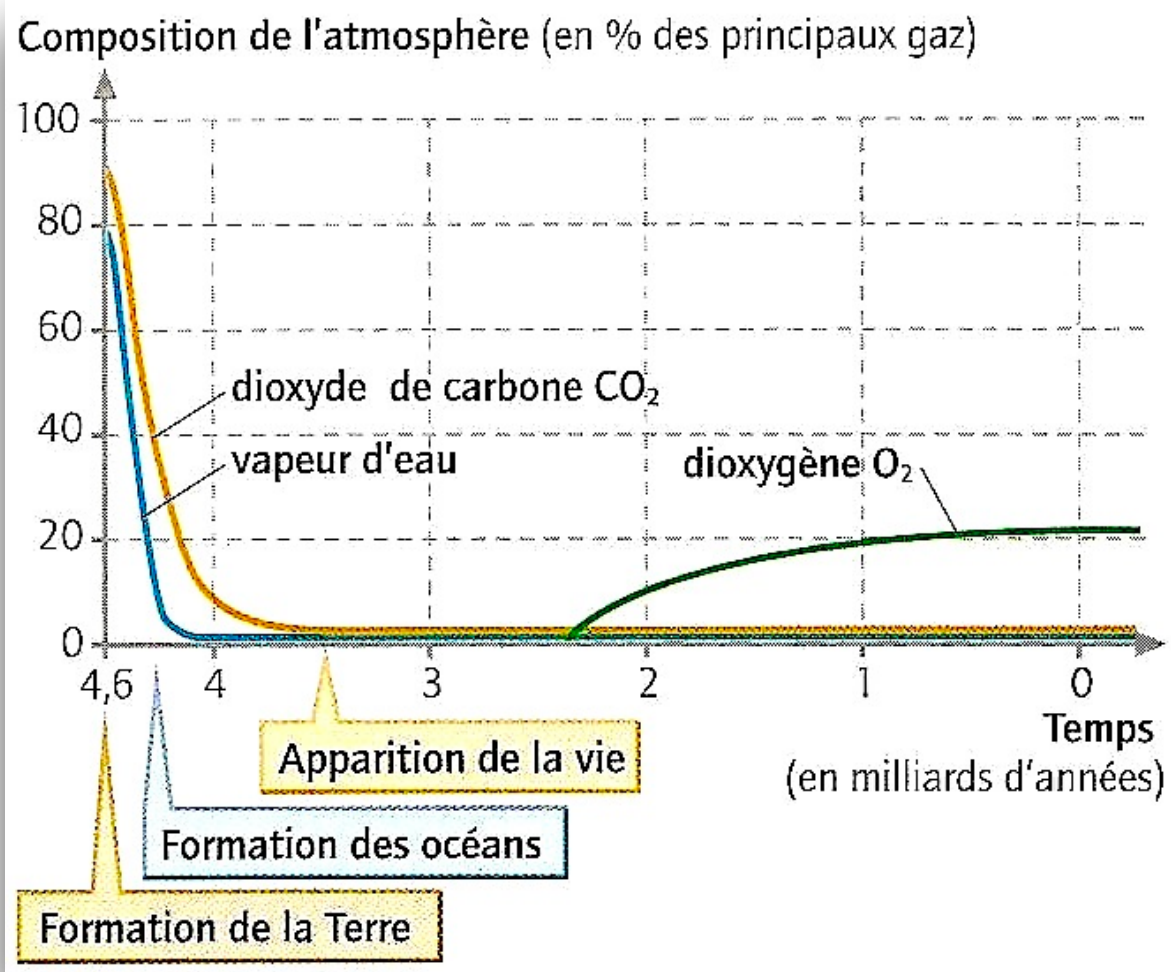




Evolution du dioxygène par rapport à la quantité actuelle au cours des temps géologiques



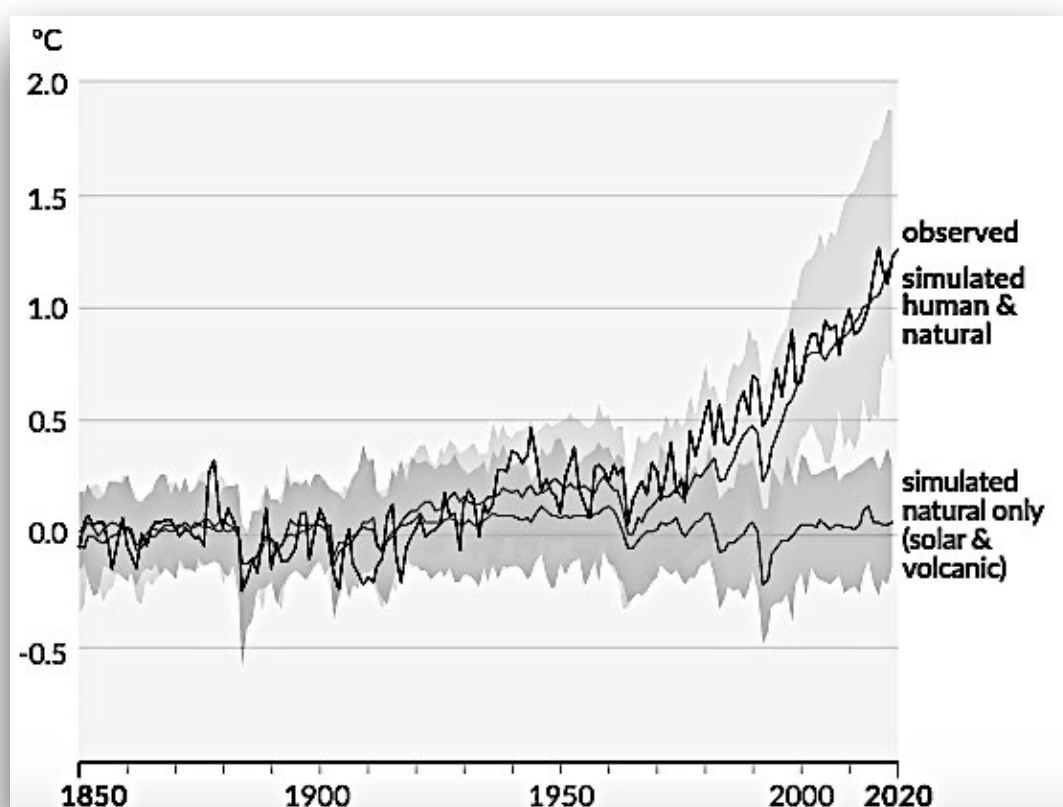
Minerais de fer rubané de Barberton en Afrique-du-Sud (3,5-3,2 Ga)
Photographie © Pierre Thomas



Taux des différents gaz atmosphérique selon les temps géologiques
Le diazote n'est pas représenté

Rapports du GIEC de 1990 et 2014

Premier rapport du GIEC (1990)	Dernier rapport du GIEC (2014)
50% de probabilité que l'activité humaine soit responsable du réchauffement climatique	95% de probabilité que l'activité humaine soit responsable du réchauffement climatique
On prévoit des changements climatiques modérés qui pourraient impacter les ressources en eau . Les types de maladies et virus transmissibles risquent d'être modifiés.	Il y a un risque d'une augmentation des conflits , des problèmes sanitaires et des événements climatiques extrêmes .
Il existe des risques pour la faune et la flore car les changements climatiques risquent d'être trop rapides par rapport à la capacité de migration et/ou d'adaptation d'une partie des espèces	On parle de risques aggravés d'extinction des espèces.
On prévoit dans un premier temps une augmentation du niveau de la mer d'environ 65cm d'ici à 2100.	On prévoit une augmentation du niveau de la mer de près d'un mètre pour la même période. Cela est notamment dû à la fonte des glaciers en Antarctique et au Groenland.
On estime une augmentation des températures de +3°C d'ici 2100.	Le scénario le plus pessimiste évoque une augmentation de +5,5°C .



Le réchauffement planétaire dû à l'activité humaine par rapport à la température moyenne qu'aurait connue la Terre sans cette perturbation, selon le GIEC. - © Climate Change 2021: *The Physical Science Basis*

Climat : 2020, année la plus chaude dans le monde, à égalité avec 2016

Sur l'année 2020, la température moyenne de la planète s'est établie 1,25 °C au-dessus de l'ère pré-industrielle, selon un rapport annuel du service européen Copernicus. Un réchauffement qui dépasse les objectifs de l'accord de Paris, alors que les experts s'alarment encore d'une nouvelle aggravation de la situation.

Un record qui témoigne une fois de plus de « l'urgence » à agir contre le réchauffement de la planète. L'année 2020 a rejoint 2016 sur la plus haute marche des plus chaudes dans le monde, en apothéose d'une décennie de températures record . C'est ce qu'a confirmé jeudi le service européen Copernicus (C3S).

L'année 2020 a terminé 1,25 °C au-dessus de la période préindustrielle, tout comme en 2016. Mais « il est à noter que 2020 égale le record de 2016 malgré un refroidissement de La Niña » - un phénomène océanique qui entraîne une baisse des températures -, insiste le C3S. Alors que 2016 avait été marquée par un fort épisode El Niño (phénomène opposé de La Niña). Selon la Nasa et l'Organisation météo mondiale (OMM), El Niño aurait ainsi contribué entre 0,1 et 0,2 °C à la température mondiale de 2016.

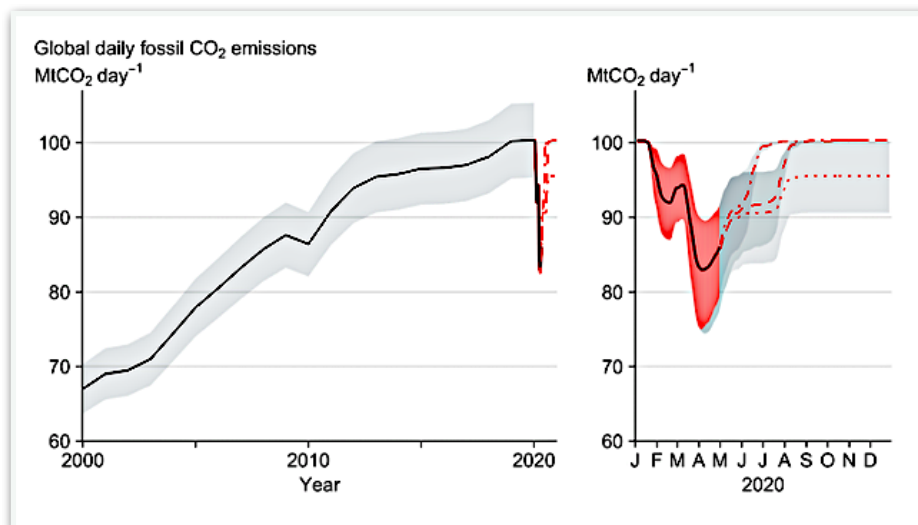
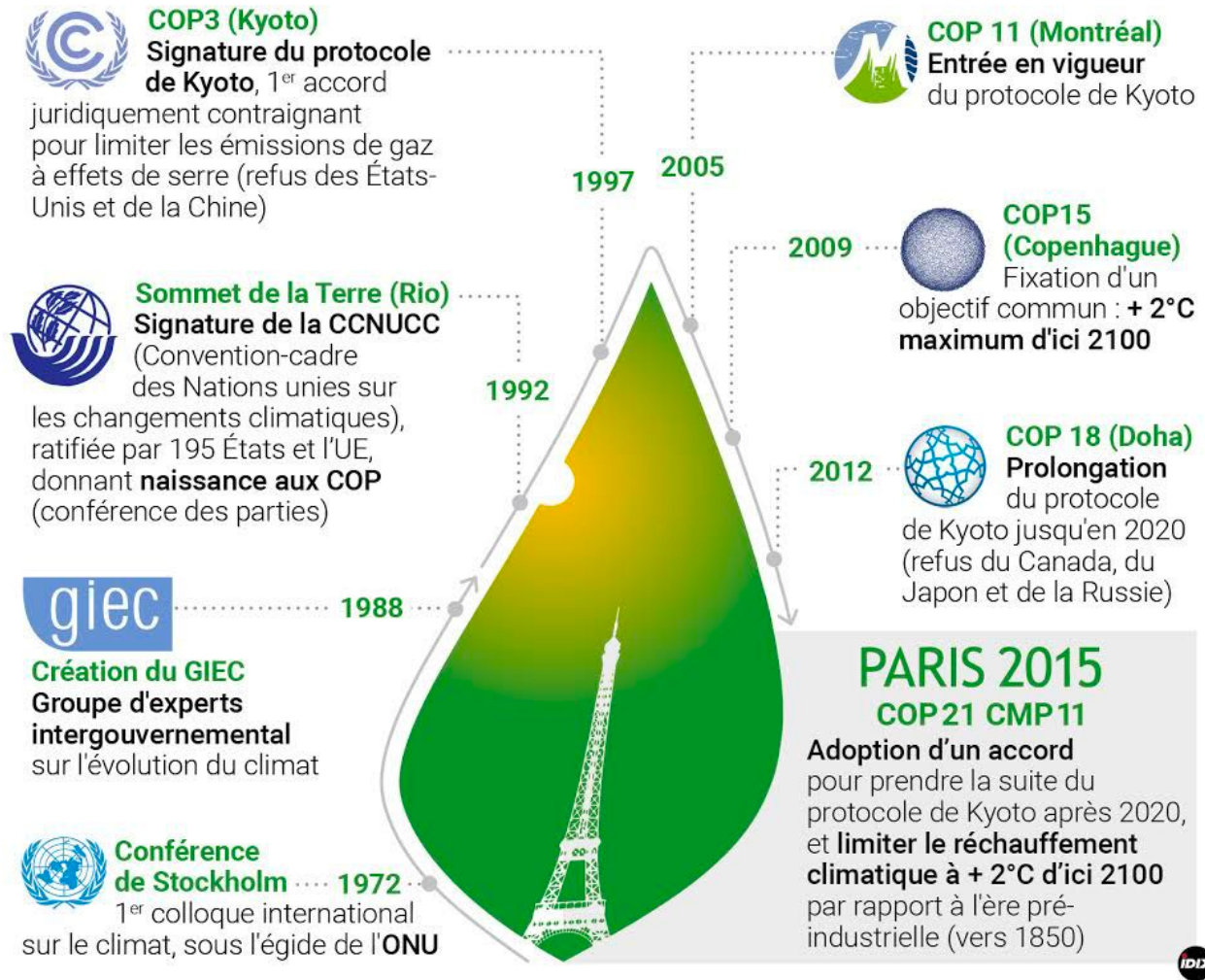
Des phénomènes climatiques en l'absence desquels « 2020 serait l'année la plus chaude jamais enregistrée », a précisé à l'AFP Zeke Hausfather, climatologue au Breakthrough Institute, notant que le monde a gagné 0,2 °C par décennie depuis les années 1970. En Europe, marquée par une vague de chaleur exceptionnelle, l'année 2020 a été de loin la plus chaude jamais constatée : 0,4 °C au-dessus de 2019, et 1,6 °C au-dessus de la période de référence 1981-2010, soit plus de 2,2 °C au-dessus de la période préindustrielle.

Ce réchauffement dépasse déjà ainsi les objectifs globaux de l'Accord de Paris. Certaines régions subissent un réchauffement bien plus rapide, comme l'Arctique, où les températures en 2020 ont dépassé de 6 °C la moyenne de référence. Dans cette région arctique, particulièrement en Sibérie, l'année a également été marquée par une saison de feux de forêts « exceptionnellement dynamique », qui a libéré 244 mégatonnes de CO₂. Soit « plus d'un tiers de plus que le record de 2019 ».

Au-delà de la seule année 2020, la période 2015-2020 est la plus chaude jamais enregistrée et la dernière décennie (2011-2020) est également la plus chaude depuis le début de l'ère industrielle. Ces effets néfastes se font déjà sentir à travers la planète. Et le pire est à venir. La planète s'est réchauffée d'au moins 1,1 °C par rapport à l'ère préindustrielle, avec déjà son lot de catastrophes climatiques. Mais malgré les objectifs de l'Accord de Paris de maintenir le réchauffement bien en dessous de +2 °C , si possible +1,5 °C, les engagements actuels de réduction des gaz à effet de serre des Etats sont encore loin de cette trajectoire.

Par Sébastie Mastrandreas
Publié le 8 janv. 2021

Les grandes étapes de la concertation internationale sur le changement climatique



Effet de la mise en pause de l'industrie mondiale début 2020 dans le cadre du confinement lié à la Covid 19

Greta Thunberg « espère pouvoir assister » à la COP26 maintenant que tous les participants « se verront offrir un vaccin »

Publié le 20 août 2021

© franceinfo :

La militante suédoise avait annoncé en avril renoncer à l'événement pour protester contre l'accès inéquitable aux vaccins contre le Covid-19.



La militante pour le climat Greta Thunberg, près de la montagne Ahkka, en Laponie, dans le nord de la Suède, le 13 juillet 2021. (CARL-JOHAN UTSI / TT NEWS AGENCY / AFP)

La figure de la lutte contre le changement climatique Greta Thunberg a annoncé vendredi 20 août qu'elle espérait désormais pouvoir se rendre à la grande conférence sur le climat COP26 de Glasgow (Ecosse) en novembre prochain. *"J'ai entendu dire que tous les participants se verraient offrir un vaccin – alors, si cela est considéré comme sûr, j'espère pouvoir y assister"*, a-t-elle déclaré lors d'une manifestation devant le Parlement suédois à Stockholm (Suède).

En avril, elle avait menacé de ne pas être présente à l'événement *"du fait de la distribution extrêmement inéquitable des vaccins"*. La Suédoise, âgée de 18 ans, avait appelé en avril les pays riches à partager leurs doses de vaccins contre le Covid-19 avec les populations à risque dans les pays pauvres *"plutôt que de vacciner des jeunes en bonne santé"*. *"Si ce n'est pas possible, je suggère de repousser [la COP26] pour que tout le monde puisse y participer dans les mêmes conditions"*, avait déclaré la figure du mouvement "Fridays for Future" et des grèves de l'école pour le climat.

Reportée d'un an à cause du coronavirus, la 26e Conférence des Parties des Nations unies sur le changement climatique doit se dérouler du 1er au 12 novembre à Glasgow, pour tenter de répondre à l'urgence climatique.