

Thème I : Science, Climat et Société.

Chapitre 1 : L'atmosphère terrestre et la vie.

Séance 1 :

Depuis l'époque de sa formation, quasi concomitante avec celle du Soleil et des autres planètes du système solaire, la Terre a connu une évolution spécifique de sa surface et de la composition de son atmosphère.

A) Comment l'atmosphère et l'hydrosphère primitives terrestres se sont-elles formées?

Introduction :

La **Terre actuelle**, planète tellurique (rocheuse) du **Système Solaire**, a la particularité de posséder deux **enveloppes fluides externes** : une **atmosphère** (enveloppe constituée de gaz) et une **hydrosphère** (enveloppe constituée d'eau sous ses différents états physiques).

Cette atmosphère est **épaisse de 800km** et possède une **composition chimique caractéristique** : **78%** de N_2 (diazote), **21%** d' O_2 (dioxygène unique dans le Système Solaire) et 1% de gaz à l'état de traces (H_2O , CO_2 (0,04%), N_2O , CO , $Ar...$) et exerce une **pression de $10^5 Pa$** à la surface de la Terre.

L'hydrosphère terrestre présente les **trois états physiques** de la **molécule d'eau**, le plus important est l'**état liquide** (unique dans le Système Solaire), qui recouvre **75%** de la **surface** de la planète sous forme d'**océans** et représente **0,025%** de sa **masse** totale.

Depuis ses **conditions primitives de formation**, les **caractéristiques** de l'**atmosphère** terrestre n'ont cessé d'**évoluer**. Cette évolution a été **totale**ment interdépendante de la **mise en place** de l'**hydrosphère**.

PB : *Comment ces deux enveloppes fluides se sont-elles constituées de manière interdépendante, au cours des temps géologiques ?*

Bilan séance 1 :

Comme toutes les **planètes telluriques** du **système solaire**, la **Terre** s'est **formée** par **accrétion** de divers objets solides cosmiques, il y a **4,6 Ga** (10^9a).

La jeune planète s'est **structurée** par **migration** des **éléments chimiques** les plus lourds (Fer et Nickel = futur noyau) en son centre et des éléments les plus légers (silicates = futurs manteau et croûte) à sa surface.

Sur les **100 premiers Ma**, l'**accrétion des matières** ayant formées la Terre et un **bombardement par des météorites** conduit à une forte **libération d'énergie thermique** qui entraîne la **fusion** de la **partie superficielle** de la planète, formant une profonde **couche magmatique** : ce magma **dégaze** alors des éléments volatiles à l'origine d'une **atmosphère primitive** ou **primaire**, contenant du CO_2 , de la **vapeur d'eau** et du N_2 .

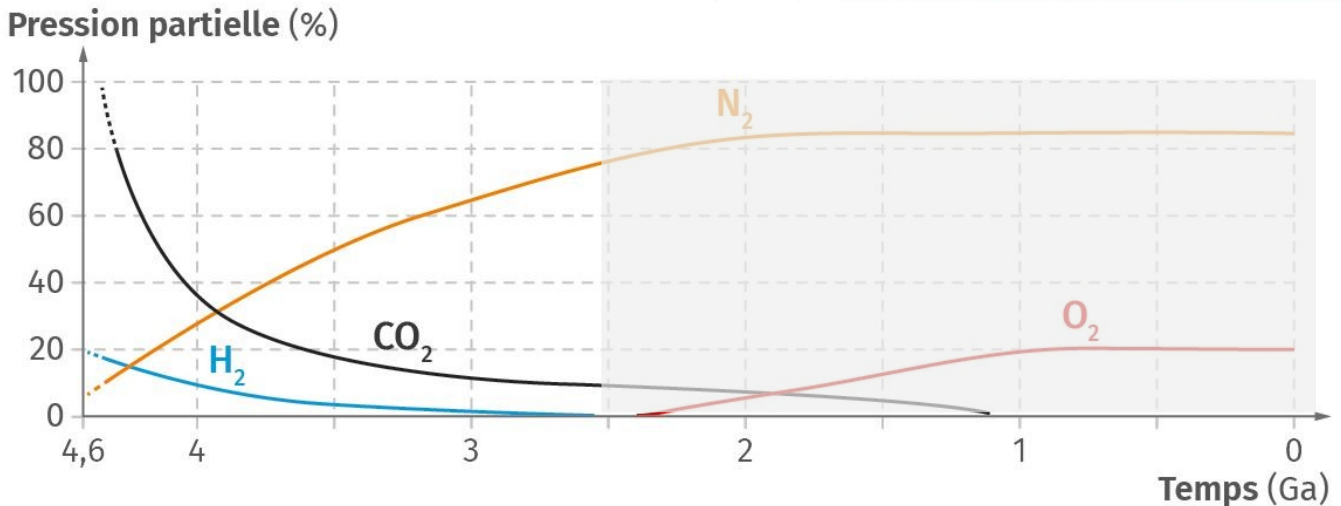
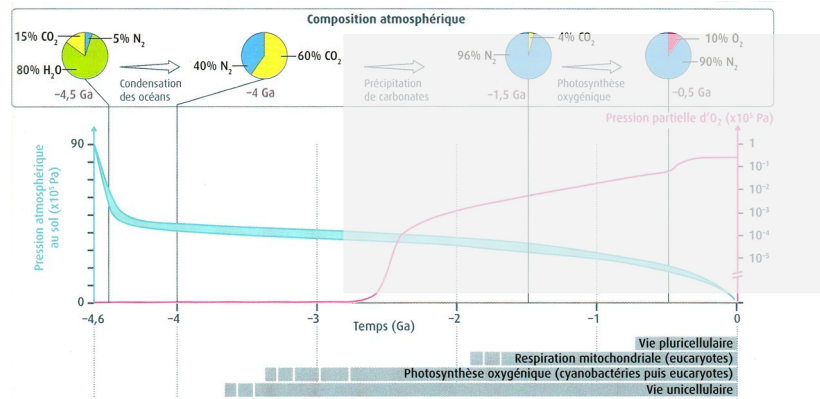
Le **refroidissement** (dissipation d'**énergie thermique**) de la **surface** entraîne la formation d'une **croûte** et d'un **manteau solides** : ces **enveloppes** poursuivent leur **dégazage** par une **intense activité volcanique**, qui **enrichit** l'atmosphère primitive en gaz, dont la **composition** se **stabilise** il y a **4,5 Ga** (85% d' H_2O , 12% de CO_2 et 3% de N_2).

Il y a **4,4 Ga** certains indices (**Zyrcons** : minéraux formés par **cristallisation de magma** au contact de l'**eau liquide**) montrent que l'**eau** était en partie devenue **liquide**, l'atmosphère était donc moins chaude, les conditions de **pressions et de température** ont permis à l'**eau** de **condenser** et ainsi de sortir du réservoir atmosphérique pour créer l'**hydrosphère**.

La **solidification** de la **croûte terrestre**, la **distance au Soleil** ($150.10^6 km$) ont permis des **conditions** de **pression** et de **température** favorables à la **liquéfaction** de la **vapeur d'eau**, sous forme de **pluies intenses**, et la constitution d'une **hydrosphère primitive plus récente**.

On estime qu'à **4 Ga** le **pourcentage** de **vapeur d'eau** atmosphérique devient **négligeable**.

Ajouter au graphique du bas une diminution brutale de la part d'eau vapeur dans l'atmosphère (de 80 à 0 % entre 4,6 et 4,0 Ga), les valeurs sont évaluées, ne pas trop prêter attention à la somme des pourcentages.



séance 2 :

B- Comment le dioxygène, gaz spécifique de la planète Terre est-il apparu ?

Introduction :

Il y a 2 Ga une **hydrosphère** abondante était déjà constituée : l'**eau liquide**, indispensable au **développement** de la **vie** (cellule vivante 99% d'eau, eau nécessaire aux réactions chimiques du métabolisme...) était donc présente à la **surface** de la **Terre**.

Cependant l'atmosphère secondaire ainsi que les océans, étaient à cette époque totalement dépourvue d'O₂, un gaz primordial pour la réalisation de la respiration cellulaire (métabolisme hétérotrophe).

Pourtant, les océans étaient déjà propices aux tous **premiers êtres vivants procaryotes** (cellules sans organites, dont le noyau), les **bactéries ou archées**, capables de réaliser un **métabolisme anaérobie** (sans O₂).

Le développement de cette première forme de vie a **bouleversé** la **composition chimique** de l'**hydrosphère** et par conséquent de l'**atmosphère** : elle a notamment permis leur **oxygénation**.

PB : Comment le dioxygène, gaz spécifique de la planète Terre est-il apparu ?

Bilan séance 2 :

Il y a **3,8 Ga**, les **premières traces de vie** apparaissent dans les **océans**, en cours de formation depuis -4,4 Ga, sous la forme de **cyanobactéries ancestrales**, qui ont laissé des **traces fossiles** de leur **activité métabolique**, plus particulièrement des **constructions calcaires** (carbonate de calcium CaCO₃), les **stromatolithes fossiles** datés de -3,5 Ga (encore observables chez les formes actuelles de cyanobactéries composant le phytoplancton).

Grâce à l'**énergie solaire**, ces cyanobactéries ancestrales ont réussi à **produire** leur **matière organique** nécessaire à leur **développement** : elles ont **consommé** le **CO₂** dissous et ont **libéré** en contrepartie de l'**O₂** (dioxygène), grâce à la **photosynthèse (métabolisme autotrophe)**.



Pendant **1Ga**, l'**O₂** dissous, ainsi formé dans l'eau des océans, a **réagi** avec les **ions fer II**(issus du **dégazage terrestre depuis la formation de la planète**) pour **former** des **oxydes de fer III** (hématite = **Fe₂O₃**), qui **précipitent** et sont **stockés** sous forme de **roches sédimentaires** appelés **fers rubanés** et datés en moyenne de **-2,6 Ga**.



Une fois la majorité du Fe²⁺ oxydé, les concentrations de dioxygène de « hydrosphère et de l'atmosphère **augmentent**. La présence de cet **O₂** dissous permet parallèlement le développement d'**autres formes de vie aquatiques** au **métabolisme aérobie hétérotrophe** : les **écosystèmes** restent alors **uniquement océaniques**.

L'**O₂** en excès a été **libéré** dans l'**atmosphère** il y a **2,5 Ga** : l'**oxydation de minerais de fer**, aboutissant à la formation de **paléosols rouges continentaux**, âgés de **-2,2 Ga**, atteste de ce **passage d'un atmosphère réductrice** (sans **O₂**) à une **atmosphère oxydante** (avec **O₂**).

La présence de cet **O₂** gazeux **atmosphérique** permettra par la suite le **développement d'autres formes de vie aériennes** au **métabolisme aérobie hétérotrophe**.

La **composition actuelle** de l'atmosphère (78% de **N₂**, 21% d'**O₂**, traces d'autres gaz), date de **500 Ma** mais a subi des **variations notables du fait d'activités biologiques et géologiques(exemple du carbonifère...)**.

Les **échanges** ou **flux** de l'**élément oxygène** sur **Terre** se réalisent **majoritairement** entre deux **réservoirs** :

- dans l'**atmosphère** l'**oxygène** est **stocké** sous forme d'**O₂** mais aussi d'**H₂O**, de **CO₂** d'**oxydes d'azote** et de **soufre** et d'**O₃** ;
- dans l'**hydrosphère** l'**oxygène** est **stocké** sous forme d'**H₂O** mais aussi d'**O₂**, de **CO₂**, d'**HCO₃⁻**... ;
- dans la **biosphère** (enveloppe constituée de tous les organismes vivant à la surface de la Terre) il est **stocké** sous forme de **matière organique**, de formule générale **C_xH_yO_z**.

Ces **flux** se réalisent selon deux **processus biochimiques** (d'origine vivante) :

- les **organismes** (aériens et aquatiques) **végétaux chlorophylliens autotrophes** réalisent la **photosynthèse** et **libèrent** de l'**O₂** : il s'agit de la seule **source** (ou processus générateur) d'**O₂** atmosphérique ;
- les **organismes** (aériens et aquatiques) **végétaux non chlorophylliens, champignons et animaux hétérotrophes**, réalisant la **respiration** et **absorbent** de l'**O₂** : il s'agit du principal puits (ou processus destructeur) d'**O₂** atmosphérique.

Le **taux actuel stable** d'**O₂** atmosphérique (21%) résulte donc d'un **équilibre** des **flux** entre l'atmosphère et la biosphère.

Une **minorité** des **flux** se réalise entre l'**atmosphère** et la **lithosphère** (enveloppe rigide constituée des roches solides à la surface de la Terre) : il s'agit des **processus géochimiques** de **combustion** ou **oxydation**, liés à l'**activité volcanique** et à l'**érosion**, qui **absorbent** de l'**O₂** atmosphérique et **stockent** l'**oxygène** sous **forme minérale** ; cela correspond donc à un **puits** d'**O₂**.

séance 3 : (séance un peu tampon)

C- Quels sont les rôles du dioxygène dans le processus d'apparition de la vie ?

Problématique : Comment le dioxygène a permis à la vie de se développer?

Bilan séance 3 :

L' **O₂** est une des **deux formes moléculaires**, avec l'**ozone** ou **trioxygène (O₃)**, de l'élément chimique **oxygène**, présentes dans l'atmosphère et **indispensables** au **développement** de la **vie** sur **Terre**. L'**O₃** atmosphérique, découverte en 1839, est une molécule gazeuse **formée** à partir de l'O₂ dans la **stratosphère** dont le **rôle protecteur** a permis à la **vie** de se **développer** en **milieu aérien**, c'est-à-dire **hors** du **milieu aquatique océanique** : elle a permis l'**exondation** et la colonisation des continents.

L'**O₂** peut atteindre la **partie supérieure** de la **stratosphère** (limitée à 60km d'altitude dans l'atmosphère) où il est **transformé** en **O₃** sous l'**action énergétique** des **rayons solaires UV**.



Une **couche d'O₃** s'est ainsi constituée progressivement au cours des temps géologiques, à partir de **-1Ga** ; elle est aujourd'hui **permanente** et sa **concentration maximale** se situe à **20/30km** d'altitude, dans la **stratosphère**.

A partir de **-0,5Ga**, cette couche est suffisamment épaisse pour permettre l'**exondation(sortie des eaux)** des **êtres vivants** et le développement des **écosystèmes aériens**. Cette **couche protectrice** a en effet la capacité d'**absorber 95%** des **rayons UV-A**, **2 à 5%** des **UV-B** et **100%** des **UV-C**, les plus **mutagènes** pour les **êtres vivants aériens**.

En effet, l'**ADN** cellulaire (comme l'O₃) **absorbe** majoritairement les **rayons UV-C** (à **255nm**), dont la **forte énergie** provoque des **altérations(lésions)**, augmentant considérablement les risques d'apparitions de **modifications ponctuelles** de la **séquences** en **nucléotides** appelées **mutations**.

Ces mutations peuvent être à l'origine de **dysfonction cellulaire** ou d'**apoptose**(mort) pour la **cellule** touchée ou **déclencher** sa **prolifération anarchique**, à l'origine d'une **tumeur cancéreuse maligne** (ex : **mélanome**), potentiellement **mortelle** pour l'**organisme** entier.

La **pérennité** d'une **atmosphère** composée de **21%** d'**O₂** et possédant une **couche d'O₃** est donc une condition essentielle au **maintenir** la **biosphère** sur **Terre**.

Séance 4 : **ORDI ET VENSIM**

D- Comment le carbone se mobilise t il entre ses réservoirs ?

Intro :

Dès la formation de l'**atmosphère primitive**, puis lors de son l'évolution en **atmosphère secondaire**, puis en **atmosphère actuelle**, cette **enveloppe** a toujours contenu du **CO₂**, une **forme minérale** de **stockage** de l'**élément carbone**.

Sur **Terre** on sait que l'**élément carbone** est présent, sous différentes **formes** de **stockage**, dans **trois autres réservoirs** (ou enveloppes) : l'**hydrosphère**, la **biosphère** et la **lithosphère**.

Les différents **flux naturels** entre ces quatre réservoirs constituent à l'**échelle global** un le **cycle biogéochimique du carbone**.

Pour satisfaire les **besoins énergétiques** nécessaire à son **industrialisation** l'**humanité** a eu, et a encore, recours à la **combustion** de **roches carbonées**, une **forme organique fossilisée** de **stockage** du **carbone**, présente dans la **lithosphère**.

Cette activité anthropique a nécessairement bouleversé, et bouleverse encore aujourd'hui, le cycle du carbone.

Problématique : Comment le carbone s'échange-t-il entre les différents réservoirs terrestres?

Bilan séance 4 :

De 4 à 2 Ga le **pourcentage** de **CO₂** atmosphérique **diminue** considérablement jusqu'à **10%**, au **profit** du **N₂**, dont la **proportion** dépasse les **90%** : le **CO₂** **se dissous** dans l'**eau** de **pluie** et des **océans** sous forme d'**ions hydrogénocarbonates** (**HCO₃⁻**) : ils participent à l'**altération chimique** des **roches carbonatées** en **milieu continental** et à la **précipitation** des **carbonates** (ex : carbonate de calcium **CaCO₃**) en **milieu océanique**. Dès 4 Ga, on parle alors d'**atmosphère secondaire** (>95%N₂ + traces H₂O et CO₂).

Le **cycle biogéochimique naturel du carbone** se réalise donc par des **flux** de l'**élément carbone** entre **quatre grands réservoirs** :

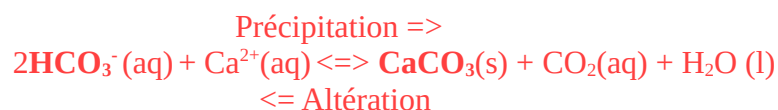
- dans l'**atmosphère**, le **carbone** est **stocké** sous **forme gazeuse**, le **CO₂** ;
- dans l'**hydrosphère**, il est **stocké** sous **forme ionique dissoute**, les ions **HCO₃⁻** ;
- dans la **biosphère**, il est **stocké** sous forme de **matière organique** **C_xH_yO_z** (ex : **glucose** **C₆H₁₂O₆**) ;
- dans la **lithosphère**, il est **stocké** sous forme de **minéraux** dans les **roches carbonatés** (ex : **calcaire** **CaCO₃**), ou sous forme de **matière organique fossilisée** dans les **roches carbonées**, aussi appelées **combustibles fossiles** (ex : **pétrole** et **gaz naturel** (C+H), **charbon**, (C seul)).

Une **majorité** de ces **flux** sont assurés par des **processus biochimiques** :

- la **respiration** (et la fermentation) **libère rapidement** du **CO₂** dans l'**atmosphère**, à partir de la **matière organique** ; **6O₂ + C₆H₁₂O₆ => Energie + 6H₂O + 2CO₂**
- la **photosynthèse** **absorbe rapidement** du **CO₂** dans la **biosphère**, convertie en **matière organique** ; **Energie sol. + 6H₂O + 2CO₂ => 6O₂ + C₆H₁₂O₆**
- la **fossilisation** **absorbe très lentement** de la **matière organique** (C_xH_yO_z) non décomposée dans la **lithosphère**, convertie en **combustibles fossiles**.

Une **minorité** de ces **flux** sont assurés par des processus **géochimiques** :

- le **volcanisme** **libère rapidement** du **CO₂** dans l'**atmosphère**, par **combustion** des **roches carbonées** ;
- l'**altération** **libère très lentement** du **CO₂** dans l'**atmosphère**, à partir des roches carbonatées ;
- le **dégazage** **libère rapidement** du **CO₂** dans l'**atmosphère**, à partir des ions **HCO₃⁻** ;
- la **dissolution** **absorbe rapidement** du **CO₂** dans l'**atmosphère**, converti en ions **HCO₃⁻** ;
- la **précipitation** **absorbe très lentement** les ions **HCO₃⁻** dans la **lithosphère**, convertis en **roche carbonatées**



A l'échelle de **quelques décennies**, les **quantités de carbone** dans les **réservoirs** sont **constantes**, car ces **flux naturels** sont relativement **équilibrés**.

Or, l'**activité anthropique** introduit un **nouveau flux** dans ce cycle : elle **libère très rapidement et artificiellement** du **CO₂** dans l'**atmosphère**, par **combustion** massive des **roches carbonées**.

L'**atmosphère** devient alors un puits de **CO₂**, alors que les **roches carbonées** de la **lithosphère** deviennent une **source** de **CO₂**.

Cet **enrichissement** en **CO₂** de l'**atmosphérique** a des **répercussions environnementales** : la **biosphère** (écosystème terrestre) et l'**hydrosphère** (océans) deviennent alors à leur tour des **puits** à **CO₂**.

Par ailleurs, les **stocks** de ces **combustibles** ou **énergies fossiles** sont **limités** et **se renouvellent** en **plusieurs dizaines**, voire **centaines de Ma**, une période **incompatible** avec l'**échelle d'une vie humaine** : il s'agit donc d'**énergies non-renouvelables**, qui doivent donc être **préservées** et **remplacées** (par des sources d'énergie renouvelables).

