

Chapitre SCS1 « L'atmosphère terrestre et la vie »

L'histoire de l'atmosphère.

- La formation de la Terre date d'environ -4,56 Ga. Sa **première atmosphère** est qualifiée **d'atmosphère primitive** et provient du **dégazage du manteau**.
- Sa composition probable peut être déterminée à partir de l'étude de **météorites non différenciées** : les chondrites (elles ont la composition globale de la Terre) mais aussi de **gaz émis lors de d'éruptions volcaniques**.
- En valeur relative, l'atmosphère primitive contenait **H₂O et CO₂ en abondance, peu de N₂ et pas d'O₂**.

Note : la teneur en N₂ est en fait restée constante depuis l'atmosphère primitive : sa valeur relative a augmenté du fait de la forte baisse de celle en H₂O et CO₂.

- Ensuite, avec le **refroidissement de la température terrestre, l'eau** de l'atmosphère **est passée à l'état liquide** (liquéfaction) permettant la **naissance des océans** (essentiel de l'hydrosphère actuelle). La vie s'est ensuite développée dans les océans (vers au moins -3,8 Ga).

- L'état de l'eau dépend de la température et de la pression atmosphérique (voir graphique pression/ température et état de l'eau).
- Des **archives géologiques** (exemple de l'analyse isotopique de zircons) permettent de dater l'apparition d'eau liquide (au moins -4,4 Ga).

- Quant au taux de CO₂ atmosphérique, il diminue progressivement suite à l'**altération** (érosion) des roches par l'eau qui consomme du CO₂. **Le CO₂ se retrouve piégé dans l'hydrosphère sous forme de carbonates peu solubles qui finissent par précipiter** (= roches calcaires).

- Vers -2,4 Ga, c'est la **grande oxygénation** : l'O₂ s'accumule dans l'atmosphère.

Évolution de la composition de l'atmosphère (en valeurs relatives)

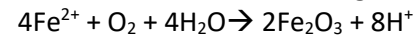
Atm. Primitive	Atm. Secondaire	Atm Actuelle
H ₂ O : 85 %	H ₂ O : 20 %	O ₂ : 21 %
CO ₂ : 10 à 15 %	CO ₂ : 20 %	CO ₂ : 0,04 % (soit 400 ppm)
N ₂ : 1 à 3 %	N ₂ : 60 %	N ₂ : 78 %
		Autres gaz (H ₂ O, CH ₄ , N ₂ O) : traces

L'impact de l'apparition de la vie.

- L'O₂ est apparu dans l'atmosphère et a commencé à s'y accumuler à partir de **-2,4 Ga**. D'autres augmentations auraient eu lieu ensuite, puis vers 0,5 Ga la teneur actuelle aurait été atteinte (environ 20 %).

- On connaît des **indices géologiques enregistrant l'apparition de l'O₂** sur Terre : les **dépôts de fers rubanés** (roches sédimentaires d'origine marine) contiennent de l'hématite, et donc du **Fe³⁺ qui a précipité sous forme d'hématite**. Or le Fe³⁺ précipite à partir du Fe²⁺ soluble qui a été oxydé. **Ces dépôts prouvent la présence d'O₂** (qui est un oxydant) **en milieu océanique**.

- L'hématite Fe₂O₃ se forme globalement suivant la réaction :

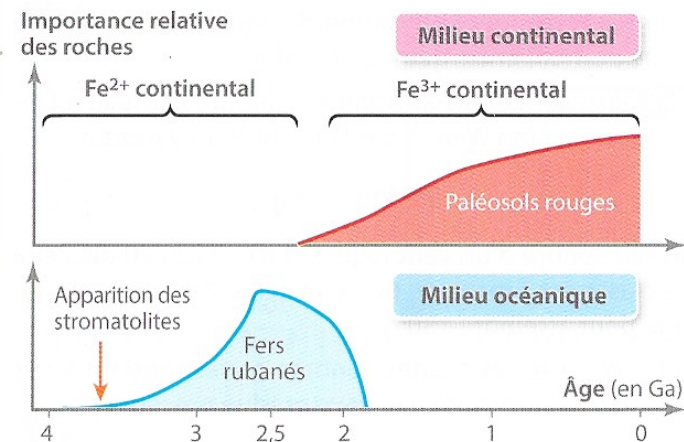


- Les dépôts de fer rubanés les plus vieux datent de **-3,8 Ga**, prouvant la **présence d'O₂ en milieu océanique à cette date**.

- A partir d'environ **-2,4 Ga** apparaissent les **sols rouges continentaux** qui sont riches en oxydes de fer type hématite. Ils témoignent de la présence d'une **atmosphère devenue oxydante** et donc de la présence d'O₂.

Bilan sur les formations de fer oxydé.

D'après Enseignement scientifique Hatier 2020.



- Les **stromatolithes** sont des bioconstructions connues depuis -3,6 Ga environ.

- Ce sont des **formations carbonatées** que l'on retrouve dans certains milieux aquatiques. Ils sont formés d'une alternance de CaCO₃ et de matière organique correspondant à des **restes de cyanobactéries**.

- Les cyanobactéries sont des **microorganismes photosynthétiques** dont on retrouve la trace depuis -3,8 Ga : **elles produisent donc de l'O₂** à partir de l'énergie solaire et **sont à l'origine de la formation des stromatolithes. Leur métabolisme a permis l'apparition de l'O₂ sur Terre.** Par ailleurs la photosynthèse, en consommant du CO₂, **favorise la précipitation des carbonates** (CaCO₃) et ainsi le piégeage du CO₂ sous forme de roche.

Le cycle de l'oxygène : O₂ et O₃.

- Il existe un **cycle de l'oxygène**. Ce cycle se traduit par des **flux**.
- L'O₂ est majoritairement **échangé entre trois réservoirs** : la biosphère (les êtres vivants) et l'atmosphère / hydrosphère.
- Les **processus majoritaires d'échanges** sont la **photosynthèse**, source d'O₂ atmosphérique, et la **respiration** (puits d'O₂). **Les flux** liés à la photosynthèse et à la respiration **sont équilibrés**, si bien que **la teneur en O₂ dans l'atmosphère et l'hydrosphère reste constante**.
- Les autres flux sont très faibles, si bien que l'on peut considérer que **les sources et puits d'O₂ atmosphérique sont surtout liés aux êtres vivants**.
- La **combustion** liée aux **activités humaines** (utilisation d'énergies fossiles, déforestation) n'a que peu d'influence sur la teneur en O₂ atmosphérique (perte de quelques parties par million ou ppm par an).
- L'oxygène forme également la molécule **d'ozone O₃**.
- L'ozone **se forme et se détruit en permanence** sous l'effet du **rayonnement ultraviolet** solaire (les atomes d'O de O₂ se dissocient et se réassocient à O₂ formant O₃). C'est à l'origine de **l'O₃ stratosphérique** dont le **pic de concentration maximale est situé vers 30 km d'altitude**, formant la **couche d'ozone**.
- **L'ozone absorbe** totalement les UV-C, presque entièrement les UV-B (donc les UV-C et -B n'atteignent quasiment pas le sol) et peu les UV-A.
- **Les UV sont des rayonnements très énergétiques** du fait de leur faible longueur d'onde. **Ils altèrent les molécules biologiques** comme **l'ADN**.
- **Les UV déforment l'ADN et augmentent la fréquence des mutations** dans l'ADN : ce sont des **agents mutagènes**. Cela peut aboutir à des **mélanomes** (cancers de la peau).
- **L'ozone nous protège donc des rayonnements UV les plus mutagènes**, et rend la **vie possible hors de l'eau**.
- Il existe un **« trou »** (= moindre concentration) saisonnier aux pôles dans la couche d'ozone qui a été provoqué par **l'utilisation de gaz chlorés** issus des industries humaines (ce sont les CFC).

- Ces CFC étant interdits depuis le **protocole de Montréal** (1987), le trou a tendance à se résorber progressivement.

Le cycle du carbone.

- Le cycle du C comprend **plusieurs réservoirs** : atmosphère, lithosphère, hydrosphère et biosphère.
- Le plus grand stock de C est dans la **lithosphère**, dans les roches carbonatées (les calcaires) et dans les roches carbonées (charbon/ pétrole).
- Le deuxième réservoir est **l'hydrosphère** (d'ions carbonate solubles).
- On en trouve aussi dans la **biosphère** (la **matière organique carbonée des êtres vivants**), le **sol** (litière, humus) et dans **l'atmosphère** (CO₂).
- Il existe des **échanges entre ces réservoirs**, que l'on peut quantifier par **des flux** (en tonnes/an) : par exemple, **photosynthèse** versus **respiration** dont les flux sont équilibrés, et qui font passer le C de la biosphère à l'atmosphère et inversement.
- Le volcanisme libère un peu de C dans l'atmosphère, alors que l'altération consomme un peu du C de l'atmosphère.
- **L'ensemble des flux est équilibré**.
- Depuis le **début de l'ère industrielle**, **les flux de CO₂ vers les océans, la végétation terrestre et l'atmosphère ont augmenté** suite à **l'utilisation des combustibles fossiles par l'humain**.
- Les océans et la biosphère, par leur fonction de **puits**, absorbent une partie du CO₂ émis. Le reste s'accumule dans l'atmosphère provoquant **l'augmentation de la teneur en CO₂** : le **cycle est donc déséquilibré** par l'humain : c'est une **perturbation anthropique**.
- Les **combustibles fossiles** sont le **pétrole** et le **charbon**. Ils sont formés par **fossilisation de la matière organique** (donc du C) lors de son **enfouissement**. L'enfouissement la **protège en effet de la dégradation** par les microorganismes et de l'oxydation par O₂.
- Au cours de l'enfouissement, **la matière organique s'enrichit progressivement en carbone**, et **se transforme en pétrole ou en charbon**.
- Le processus prend **plusieurs dizaines de millions d'années** à se réaliser.
- L'utilisation de ces énergies fossiles par l'humain est plus rapide que leur renouvellement : **ces ressources sont donc dites non-renouvelables**.
- La combustion de ces énergies fossiles est **à l'origine du déséquilibre du cycle du carbone** (le CO₂ produit s'accumule en partie dans l'atmosphère comme signalé quelques lignes avant).