

## TD1 : Evolution de l'atmosphère et développement de la vie.

**Introduction** : On sait aujourd'hui que l'atmosphère initiale de notre planète était bien différente de l'atmosphère actuelle.

Il s'agit ici de :

- Comprendre sur quels indices les scientifiques ont pu s'appuyer pour établir la composition de l'atmosphère primitive.
- Comprendre comment cette atmosphère a pu se transformer, et plus particulièrement le lien entre ces transformations et l'évolution de la vie. -

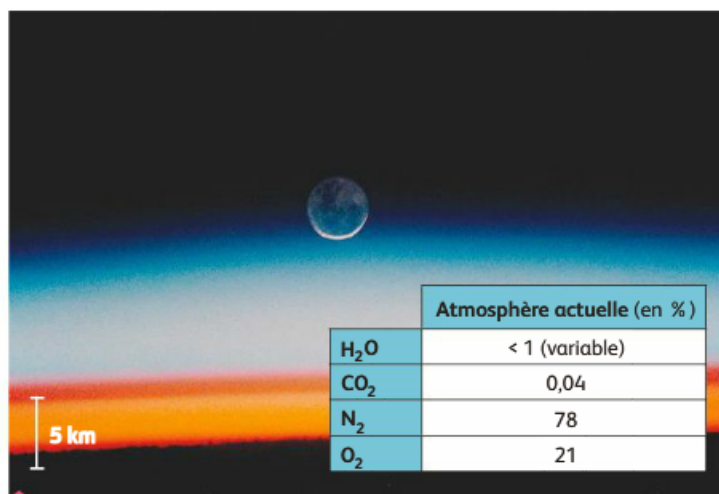
**Problème** : Comment expliquer l'évolution de l'atmosphère au cours des temps géologiques et quel est son lien avec l'évolution de la vie sur Terre ?

### Activité 1 - Atmosphère primitive versus atmosphère actuelle.

**Question** - A partir des informations tirées de l'ensemble des documents suivants, complétez les deux diagrammes circulaires du document-bilan et expliquez comment les scientifiques ont pu établir la composition de l'atmosphère primitive de la Terre.

**Document 1** : l'atmosphère actuelle : une atmosphère oxydante

► L'atmosphère terrestre est une mince couche de gaz retenue par la gravité puisque 90 % de sa masse se trouve en-dessous de 16 km d'altitude. Cette enveloppe dite fluide est animée de mouvements verticaux et horizontaux du fait de l'inégale répartition de l'énergie solaire à la surface du globe. Sa richesse en O<sub>2</sub> et la présence d'eau en font une enveloppe originale dont la composition est unique dans le système solaire.



Composition de l'atmosphère terrestre actuelle.

**Document 2** : La formation des enveloppes terrestres et l'apport des météorites

#### a. Accrétion et différenciation de la Terre

Il y a 4,5 milliards d'années, âge du système solaire, la Terre a commencé sa formation par **accrétion** de petits corps célestes, de poussières et de gaz, qui se sont agglutinés pour former des « embryons de planète ».

**Accrétion** : croissance d'un objet géologique par apports successifs de matière.

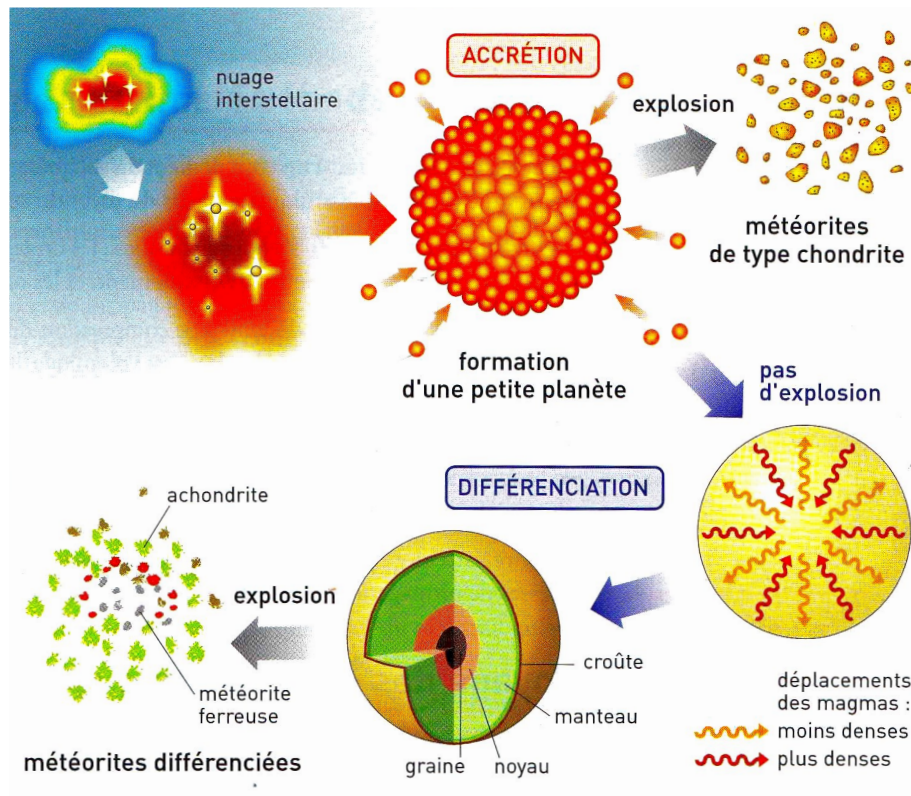
La Terre subit au début de sa formation un bombardement météoritique intense, entraînant une forte élévation de la température et donc la fusion des roches : on parle alors de « **Terre primitive magmatique liquide** ».

Au sein de cette Terre magmatique, les éléments chimiques les plus lourds (Fe et Ni) se rassemblent par gravité vers le centre pour former un noyau dense, les éléments plus légers (O, Si, Ca, Na et K) migrent vers la surface pour former les roches silicatées de la croûte. Entre croûte et noyau, se forme le manteau. Il s'agit de la **différenciation** de la Terre.

**Différenciation** : mise en place des enveloppes concentriques de la Terre par migration des éléments chimiques. L'intensité des bombardements diminue, donc la température de la Terre aussi, elle se solidifie : on parle de « **Terre solide différenciée** ».

b. Les météorites, témoins de la formation de la Terre (+ voir doc 4 p 81 Bordas)

- Les plus vieilles roches du système solaire sont des météorites (4,5 Ga). Parmi celles-ci, les chondrites sont apparues en même temps que le reste du système solaire et n'ont subi aucune évolution notable. En revanche, les achondrites proviennent de la fragmentation d'objets ayant préalablement subi une différenciation (à l'origine du noyau, du manteau et des croûtes) et un dégazage (à l'origine de l'atmosphère).
- N'ayant subi ni différenciation ni dégazage significatif, on considère que les chondrites ont une composition chimique semblable à la composition chimique globale moyenne de l'ensemble de la Terre. Elles fournissent une « image » de la Terre primitive peu après son accréation. En laboratoire, on peut chauffer fortement ces chondrites et provoquer leur dégazage afin d'estimer la composition chimique probable de l'atmosphère primitive de la Terre.



**Document 3 :** Atmosphère primitive et analyse des gaz volcaniques (+ voir doc 3 p 81)

L'analyse isotopique des **gaz rares de l'atmosphère (argon, xénon et hélium)** fournissent des informations sur l'origine de l'atmosphère primitive. Cette « signature » particulière a permis aux scientifiques d'établir que **l'atmosphère terrestre s'est formée par un dégazage intense et précoce du manteau terrestre** au tout début de la différenciation de la Terre (pendant les premiers 150 millions d'années environ). Ce dégazage s'est poursuivi par la suite mais de manière lente et continue.

Transition : refroidissement de la Terre et formation des premiers océans (doc 1 p 82 Bordas)

## Activité 2 - Evolution conjointe de la biosphère et de l'atmosphère

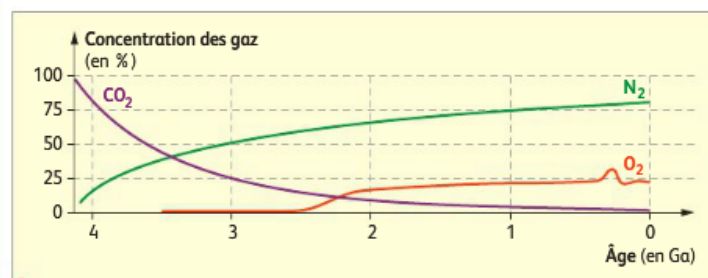
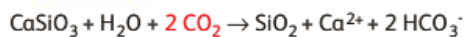
### A. La chute du CO<sub>2</sub> atmosphérique

**Document 1** : Un stockage probable du CO<sub>2</sub> dans les roches carbonatées (doc 3 p 83 Bordas)

**Document 2** : CO<sub>2</sub> atmosphérique et précipitation des carbonates.

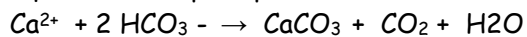
▶ Lorsque la température de l'atmosphère primitive est devenue inférieure à 100°C, l'eau s'est condensée, des précipitations abondantes ont formé les premiers fleuves et océans et le cycle de l'eau a pu s'amorcer. Le soleil fournit l'énergie nécessaire à la dynamique de l'**hydrosphère** et de l'atmosphère constituant les enveloppes fluides de la Terre.

▶ Le CO<sub>2</sub> atmosphérique étant très soluble dans l'eau, sa teneur a diminué rapidement. L'eau de pluie, chargée en CO<sub>2</sub> dissous, participe à l'altération des roches (silicates, **carbonates**...) libérant ainsi des ions Ca<sup>2+</sup> qui subissent un **lessivage**. Exemple d'altération d'un silicate calcique :



▶ Évolution de la composition chimique de l'atmosphère depuis 4 Ga.

Equation de la précipitation des carbonates :



▶ Les êtres vivants sont les principaux responsables de la « séquestration » du carbone sous forme de carbonates (stromatolites, récifs coralliens, tests d'organismes planctoniques...). Une fois ces organismes morts, une partie des squelettes carbonatés échappe à la dissolution, sédimente et constitue des roches calcaires.



▶ Coupe dans une stromatolite fossile. Des lamines claires (calcaire) alternent avec des lamines sombres (matière organique attestant d'une origine biologique). Cette succession est liée à l'alternance de périodes favorables et défavorables à la photosynthèse.

**Document 3** : Les stromatolithes, des traces très anciennes d'une activité photosynthétique (doc 1 p 86 Bordas)

**Document 4** : Evolution du taux de CO<sub>2</sub> depuis - 600 Ma (doc 4 p 83 Bordas).

En complément :



▶ Fossile de fougère arborescente récoleté dans des terrains datant du Carbonifère (300 Ma).

▶ Dans tout écosystème, il y a production de biomasse (absorption de CO<sub>2</sub> par photosynthèse) et dégradation de biomasse (rejet de CO<sub>2</sub> par respiration ou fermentation).

▶ À partir de 500 Ma, on assiste à une diversification de la vie dans les océans, puis à la conquête des continents par les végétaux au Silurien. La plupart des grands gisements de charbon datent du Carbonifère. À cette époque, les végétaux contenaient de la **lignine** alors qu'il n'existait pas encore d'organismes capables de décomposer efficacement cette substance.

**Q1** - A l'aide du document 1, déterminez les indices de la variation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

**Q2** - A partir du document 2 réalisez le bilan global de l'utilisation du CO<sub>2</sub> par l'altération des roches et la formation de roches carbonatées.

**Q3** - En quoi l'apparition de la vie (cyanobactéries) a-t-elle joué un rôle dans l'évolution de la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique ?

**Q4** - Etablissez le lien entre développement du règne végétal et chute du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

**Q5** - Complétez le schéma-bilan et expliquez comment s'est effectué le piégeage du CO<sub>2</sub>.

## B. L'atmosphère devient oxydante

**Document 1** : Les fers rubanés (BIF = Banded Iron Formation) : du fer qui a précipité en milieu marin (voir aussi doc 1 p 84 Bordas)

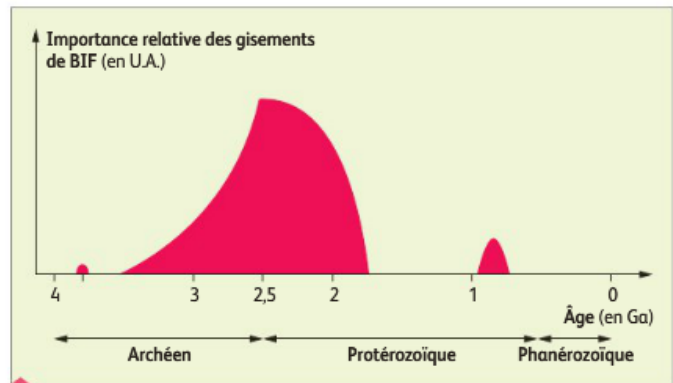
- ▶ Les transformations de l'atmosphère sont inscrites dans les roches sédimentaires qui constituent de véritables archives du passé.
- ▶ La majorité du minerai de fer exploité dans le monde se présente sous forme de fer rubané appelé BIF (Banded Iron Formation). Des niveaux clairs riches en silice ( $\text{SiO}_2$ ) alternent avec des niveaux rouges riches en **hématite**. La cause de l'alternance n'est pas connue avec certitude. Les gisements de

BIF sont toujours très localisés et leur âge est compris entre 3,5 et 1,9 Ga. Ils sont d'origine océanique et il ne s'en forme plus actuellement.

- ▶ Jusqu'à 2 Ga, les océans sont riches en  $\text{Fe}^{2+}$  (soluble) provenant de l'activité volcanique et des **sources hydrothermales**. En présence d' $\text{O}_2$  et aussi longtemps qu'il y a du  $\text{Fe}^{2+}$ , celui-ci s'oxyde pour former du  $\text{Fe}^{3+}$  insoluble qui précipite sous forme d'oxydes tels que l'hématite.



Échantillon de fer rubané (3,3 Ga, Afrique du Sud).

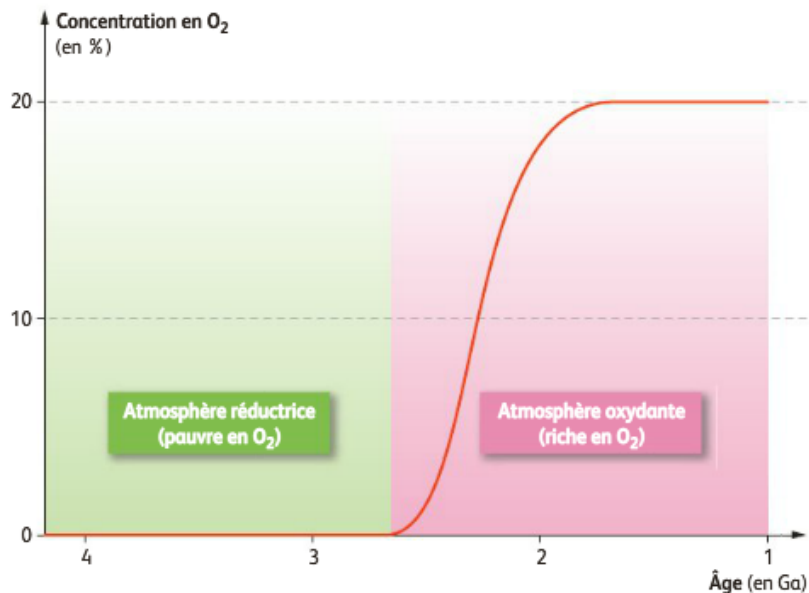


Évolution de l'importance relative des principaux gisements de fer rubané (BIF) au cours du temps.

**Document 2** : Les stromatolithes, des traces très anciennes d'une activité photosynthétique (doc 1 p 86 Bordas)

**Document 3** : Les grès rouges continentaux : du fer qui a précipité en milieu continental (doc 3 p 85 Bordas)

**Document 4** : Evolution de la quantité de dioxygène dans l'atmosphère au cours du temps



**Q6** - De quoi les BIF sont-ils un indice intéressant ? D'où provient le  $\text{O}_2$  ?

**Q7** - En quoi les informations du document 3 ont-elle permis d'établir le graphique du document 4 ?

**Q8** - Complétez le schéma-bilan et expliquez comment on est passé d'une atmosphère réductrice à une atmosphère oxydante.

En complément :

