

TP Enseignement scientifique

« De l'atmosphère primitive à l'atmosphère actuelle »

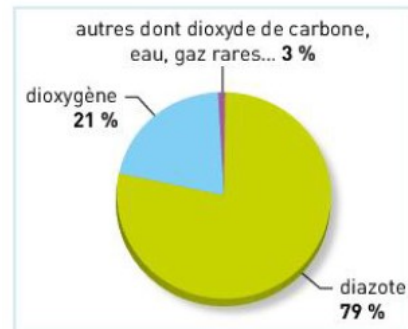
Le réchauffement climatique représente un enjeu majeur des sociétés actuelles.

Les températures qui règnent à la surface du globe sont étroitement liées à la composition en gaz de l'atmosphère.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la composition de l'atmosphère, à son évolution passée et actuelle pour mieux comprendre les enjeux actuels.

On s'intéresse dans ce TP à l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours du temps.

Document de référence : la composition actuelle de l'atmosphère



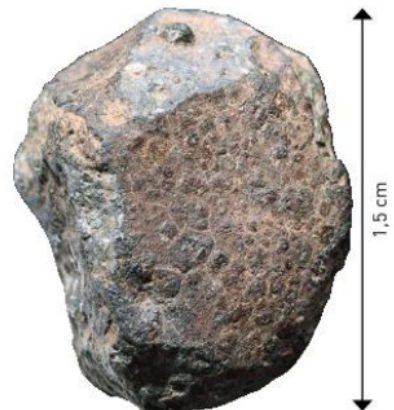
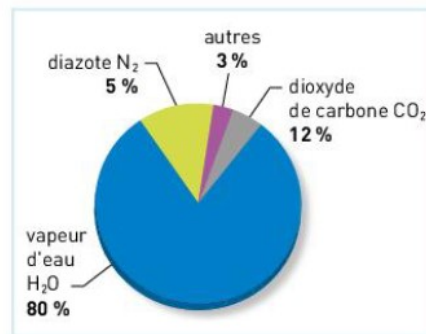
Doc 1 : la composition de l'atmosphère primitive (il y a 4.3 Ga)

Rq : la Terre s'est formée il y 4.57Ga et l'atmosphère primitive s'est stabilisée vers 4.3Ga.

Évaluer la composition de l'atmosphère initiale se heurte à un problème majeur : l'absence d'archives géologiques permettant de retrouver ce qu'elle fut.

Néanmoins, l'analyse des chondrites (a), qui représentent encore 86,5 % des météorites s'écrasant aujourd'hui sur Terre, permet de la reconstituer indirectement.

Ces roches sont des météorites issues d'astéroïdes de trop petite taille pour avoir subi une différenciation* lors de leur formation. Comme elles sont du même âge que la Terre, leur composition reflète celle de la Terre primitive. En les chauffant fortement, on provoque leur dégazage. Les gaz libérés peuvent être analysés et quantifiés (b).



a Cette chondrite a l'âge de la Terre : 4,57 Ga.

b Composition des gaz chondritiques.

Question 1 : Dégager les principales différences entre l'atmosphère actuelle et primitive.

Nous allons nous intéresser à présent à l'enrichissement de l'atmosphère en dioxygène.

Différents indices permettent de dater l'apparition du dioxygène dans l'océan et dans l'atmosphère, notamment la présence de roches de couleur rouge : les fers rubanés formés en milieu marin et les *reds beds*, formés en milieu continental.

Doc 2 : les fers rubanés et les *reds beds*

Les fers rubanés (a) sont des roches sédimentaires qui se sont formées en milieu marin par précipitation de substances dissoutes, notamment d'oxydes de fer, entre – 2,5 et – 1,9 Ga. Elles contiennent des couches siliceuses, qui sont alternativement de couleur rouge car riches en hématite (Fe_2O_3), et de couleur plus sombre car pauvres en ce même minéral.



b Red beds aux multiples nuances de rouge (Blyde River Canyon, Afrique du Sud).

Les fers rubanés, (c), sont présents à l'Archéen dès – 3,5 Ga (voir (c)). Leur formation nécessitant du dioxygène, ils constituent ainsi les véritables premiers puits de dioxygène de l'histoire de la Terre ; la photosynthèse bactérienne constituant, quant à elle, la première source de dioxygène. Mais peu après l'Archéen, vers – 1,9 Ga, ces fers rubanés ne se sont plus formés. Sur les continents, des formations de roches rouges appelées *red beds*, riches en oxydes de fer, se forment par érosion d'autres roches dès – 2 Ga (b). Cette formation requiert l'existence d'une atmosphère sensiblement oxygénée.

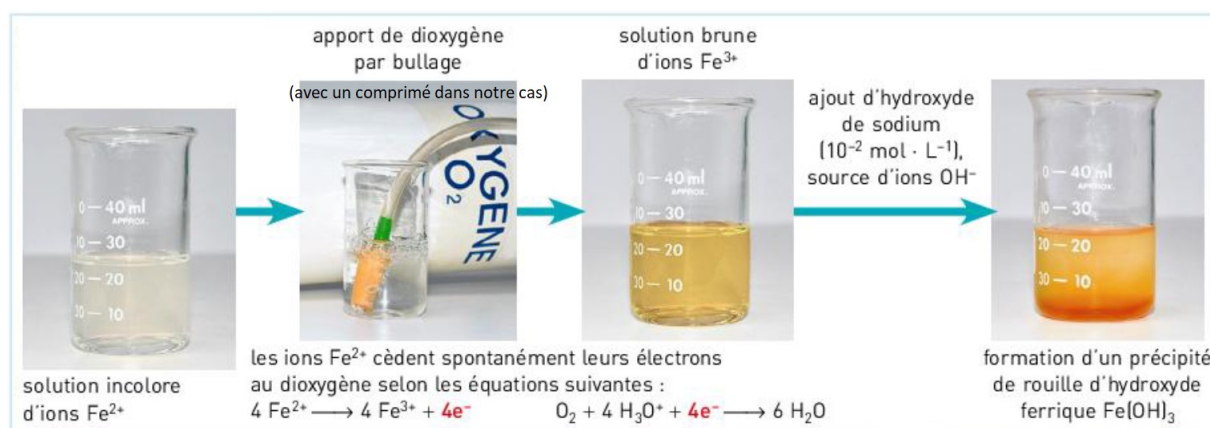
Question 2 : Si ces roches rouges témoignent de la présence de dioxygène dans leur milieu de formation, à quelle date l'océan s'est-il oxygéné ? L'atmosphère ?

On cherche à comprendre pourquoi cette couleur rouge est caractéristique de la présence de dioxygène.

Doc 3a : Protocole expérimental : Porter la blouse. Penser à marquer au feutre vos béchers, tubes à essai et pipettes.

- Vous avez à votre disposition 2 béchers contenant 80mL d'eau
- Verser dans chaque bécher le contenu d'un microtube de sulfate de fer (1 microtube par bécher). Bien agiter (avec l'agitateur en verre) afin d'obtenir une solution incolore d'ions Fe^{2+} (ions présents dans l'océan primitif).
- Dans l'un de béchers uniquement, ajouter le contenu du microtube marqué O_2 . Il contient de la poudre effervescente qui libère du dioxygène. Attendre 15 minutes. (vous pouvez passer à la question suivante en attendant !)
- A l'aide d'une pipette pasteur, prélever 5mL de la solution contenue dans un des 2 bécher et la disposer dans un tube à essai. Y ajouter 3 gouttes d'hydroxyde de sodium (soude).
- Procéder de même avec le contenu du second bécher

Doc 3b : Interprétation chimique de l'expérience (ATTENTION les photos ne correspondent pas exactement au protocole décrit ci-dessus et qui est à réaliser)



Rq : l'hématite des fers rubanés est une forme déshydratée de l'hydroxyde ferrique.

Rq : l'ajout d'hydroxyde de sodium dans une solution de Fe^{2+} forme un précipité vert d'hydroxyde ferreux $\text{Fe}(\text{OH})_2$

Question 3 : Décrire les résultats obtenus et les interpréter pour en déduire en quoi la couleur rouge est caractéristique de la présence de dioxygène dans le milieu de formation.

Doc 4 : L'origine du dioxygène

Les stromatolithes* sont de très anciennes structures résultant d'une activité biologique. Ils sont contenus dans des affleurements rocheux de Pilbara (Australie) qui datent de - 3,5 Ga (a). L'étude de leur formation se fait par comparaison avec des stromatolithes s'édifiant actuellement en milieu marin (b).



a Stromatolithes fossiles de Pilbara (Australie).



b Stromatolithes actuels de Shark Bay (Australie).

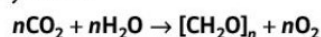
Les stromatolithes se forment grâce à l'activité photosynthétique des cyanobactéries* qu'elles contiennent (c). En effet, les cyanobactéries effectuent des échanges gazeux avec leur environnement : elles absorbent le dioxyde de carbone (CO_2) dissous dans l'eau des océans et dégagent du dioxygène (O_2).

Deux modes de croissance des stromatolithes existent.

Le premier est le piégeage mécanique de particules minérales par les tapis des colonies bactériennes, piégeage suivi du dépôt de nouveaux grains, eux-mêmes encroûtés à leur tour par les cyanobactéries (d).

Le second est la précipitation biochimique de minéraux associée à l'activité photosynthétique. Dans cette situation, deux réactions chimiques ont lieu :

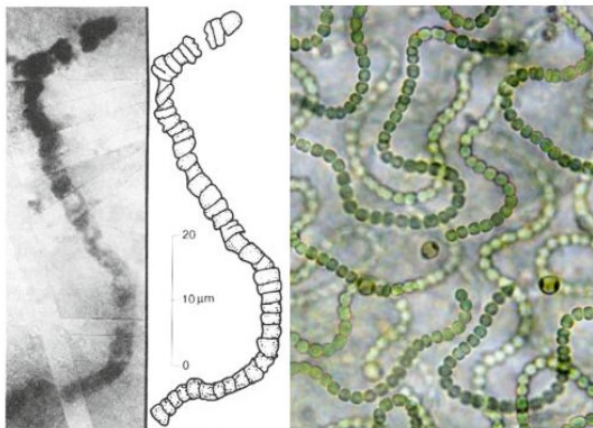
– la photosynthèse



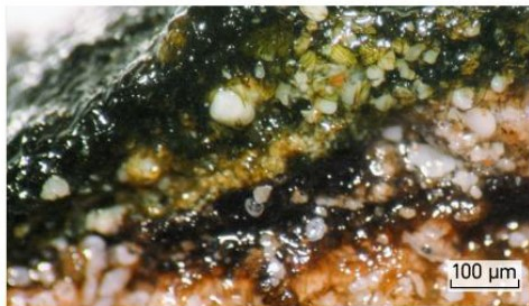
– la précipitation* des ions carbonates sous forme de calcaire



La photosynthèse, en consommant du CO_2 , favorise localement la précipitation des carbonates.



c Cyanobactéries fossiles de Pilbara (à gauche) et actuelles du genre Nostoc (à droite) vues au microscope optique.



d Coupe de la partie superficielle d'un stromatolithe actuel. Les couches vertes de cyanobactéries vivantes alternent avec des couches claires de matière minérale. ➤

Question 4 : Indiquer l'origine du dioxygène sur la planète Terre

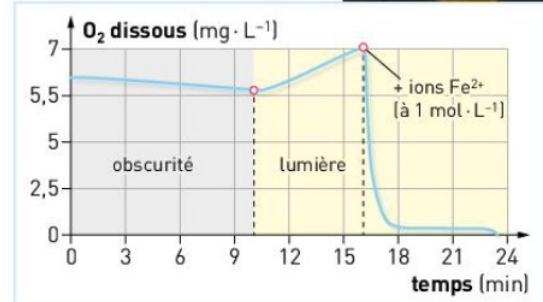
Doc 5 : Une expérience supplémentaire (qu'on ne réalise pas !)

Les premières traces de présence de dioxygène libre dans l'atmosphère remontent à – 2,4 Ga alors que les plus vieux stromatolithes datent d'au moins – 3,5 Ga. Plusieurs expériences simples (a) et (b) permettent de comprendre ce décalage temporel entre la production de dioxygène et son accumulation dans l'atmosphère.



Démarche expérimentale

- Introduire des cyanobactéries dans l'enceinte de mesure d'un dispositif ExAO, équipé d'une sonde oxy-métrique.
- Lancer les mesures dans l'obscurité puis les poursuivre avec un apport de lumière.
- Quelques minutes plus tard, injecter 2 à 3 mL d'une solution contenant des ions Fe^{2+} à $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (les ions Fe^{2+} étaient présents dans les océans où vivaient les cyanobactéries fossiles).



a Résultats des mesures et aperçu du contenu de l'enceinte de mesure en fin d'expérience.

Question 5 : Expliquer le décalage temporel existant entre l'apparition du dioxygène dans les océans et dans l'atmosphère.

Bonus (pour les plus rapides) : préparation d'une lame mince de Nostoc et observation microscopique. Utiliser les fiches techniques à votre disposition.

- Préparation de la lame mince de Nostoc
- réalisation d'une observation microscopique
- utilisation de la caméra Motic