Act n°2

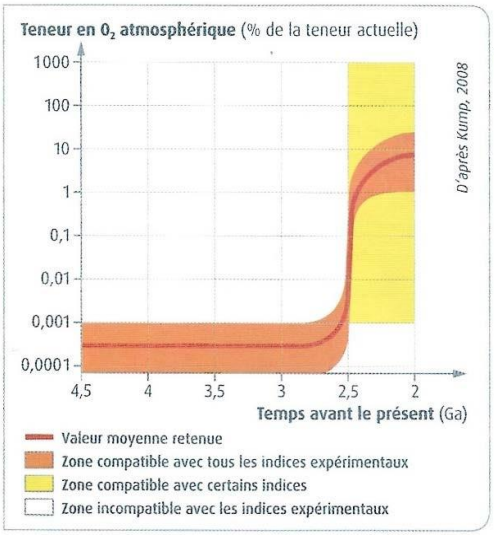
L'origine du dioxygène terrestre

Connaissances à acquérir

Les premières traces de bactéries photosynthétiques sont datées d'il y a au moins 3,5 milliards d'années. Pleur métabolisme photosynthétique, ces bactéries ont contribué à l'oxygénation de l'atmosphère terrestre il y a 2,4 milliards d'années. Les interactions entre l'atmosphère et la biosphère ont contribué à des modifications de la biodiversité.

But de l'activité

Mettre en relation la production de dioxygène dans l'atmosphère avec des indices géologiques. Suivre l'évolution de la teneur atmosphérique en dioxygène au cours des temps géologiques et la relier à l'évolution de la biodiversité.



Document introductif

DOC 5 Estimations de l'évolution de la teneur en O_2 de l'atmosphère terrestre entre 4,5 et 2 milliards d'années avant le temps présent.

On sait que l'atmosphère primitive était composée de gaz en quantité et en qualité différentes de l'atmosphère actuelle. Par exemple, le dioxygène atmosphérique était absent de l'atmosphère terrestre au début de la vie de notre planète. Il est apparu il y a 2,5 Ga, et les premiers êtres vivants vers -3,5 Ga.

Comment obtenir des informations sur l'évolution du dioxygène atmosphérique ? Quelle est l'origine du dioxygène atmosphérique ?

1. Compléter le tableau distribué à l'aide des ressources disponibles en **annexe**. / 6

Questions pour vous aider (utiles seulement comme aides pour le tableau - non évaluées) :

a) *Doc. 1b & c -* ***Identifier le mécanisme responsable de la libération d'O_2 par les stromatolithes.***

b) *Doc. 1a & b -* ***Déterminer la date d'apparition du dioxygène sur Terre et montrer qu'elle est liée à l'apparition de la vie.***

c) *Doc. 2a & b –* ***Expliquer les résultats de l'expérience présentée dans la vidéo.***

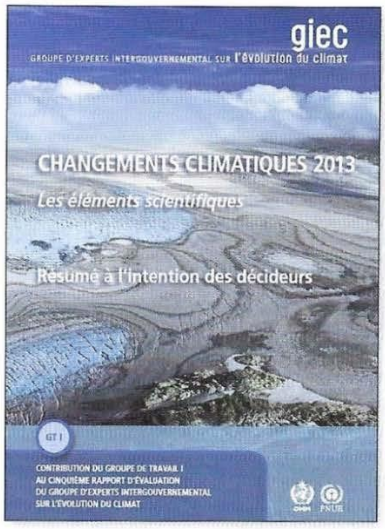
d) *Doc. 2b & c -* ***Identifier le lieu de formation (océan ou continent) de chacune de ces roches. Déterminer les conditions nécessaires (fer, O_2) à la formation de ces roches.***

e) *Doc. 2d -* ***Expliquez pourquoi les paléosols rouges ne se forment pas en même temps que les fers rubanés.***

2. Expliquer à quoi correspondent les plages orange et jaune du document d'introduction ci-dessus, à l'aide des ressources disponibles ci-dessous. / 2

4. Savoir scientifique et incertitudes : ce n'est pas tabou !

Il n'existe pas d'instrument de mesure infiniment précis. Ainsi, un pèse-personne indiquant 71 kg ne signifie pas que la personne pèse 71,000 000 0 kg. Chaque instrument de mesure donne une estimation de la valeur mesurée : c'est l'incertitude de mesure. Le niveau de confiance est la probabilité que la valeur mesurée se trouve dans un certain intervalle, appelé l'intervalle de confiance. La modélisation quant à elle implique une simplification obligatoire : si on ne négligeait ou ne simplifiait rien, on ne pourrait rien faire. Ainsi, l'incertitude liée aux mesures ou à la modélisation est centrale en sciences. **Un fait scientifique ne peut s'établir qu'en confrontant des mesures de différents opérateurs indépendants, et en les discutant.** Comme il est impossible que deux mesures indépendantes soient exactement identiques, il faut donc connaitre les incertitudes de chacune des mesures pour pouvoir conclure si elles sont compatibles. Pour chaque résultat publié, les scientifiques indiquent de façon transparente les incertitudes et le niveau de confiance : c'est ainsi que se construit le savoir scientifique.



Rapport du GIEC 2013

Dans ce rapport, on lit la précision suivante : « La probabilité d'un résultat est indiquée selon les termes suivants : quasi-certain = 99-100 % de probabilité, très probable = 90-100 % de probabilité, probable = 66-100 % de probabilité, incertain = 33-66 % de probabilité, peu probable = 0-33 % de probabilité, très peu probable = 0-10 % de probabilité, très improbable = 0-1 % de probabilité. »

Les incertitudes en sciences

Période	Dioxygène présent dans les océans	Dioxygène présent dans l'atmosphère	Indices géologiques et mécanismes chimiques ou biochimiques impliqués
4,6 - 3,5 Ga	oui / non	oui / non	Aucun indice ne témoigne de la moindre présence de dioxygène sur Terre, que ce soit dans l'atmosphère ou dans les océans. Présence de fer dissous dans les océans (doc 1b).
3,5 - 2,2 Ga	oui / non	oui / non	
2,2 - 0 Ga	oui / non	oui / non	

Période	Dioxygène présent dans les océans	Dioxygène présent dans l'atmosphère	Indices géologiques et mécanismes chimiques ou biochimiques impliqués
4,6 - 3,5 Ga	oui / non	oui / non	Aucun indice ne témoigne de la moindre présence de dioxygène sur Terre, que ce soit dans l'atmosphère ou dans les océans. Présence de fer dissous dans les océans (doc 2b).
3,5 - 2,2 Ga	oui / non	oui / non	

2,2 - 0 Ga	oui / non	oui / non	

Document 1 - Des témoins d'une activité biologique : les stromatolites

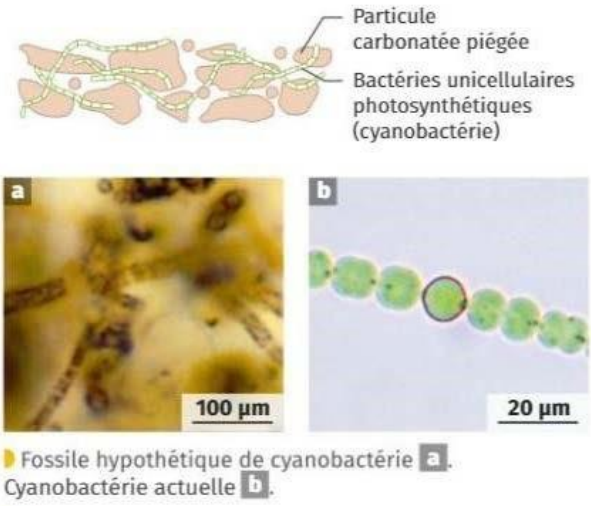
Document 1a - Des roches sédimentaires témoins d'une oxydation de l'océan

Stromatolites actuels, Bay Shark en Australie.

Stromatolites fossiles de Reivilo (Afrique du Sud) âgés de 2,51 Ga à 2,55 Ga.

Les **stromatolites** sont des formations que l'on retrouve dans certains milieux marins ou d'eau douce peu profonds. Ils sont caractérisés par une alternance de carbonate de calcium $CaCO_3$ (bandes claires) et de matière organique (bandes noires) correspondant à des restes de **cyanobactéries** (bactéries **photosynthétiques**).

Document 1b – Organisation et croissance des stromatolites



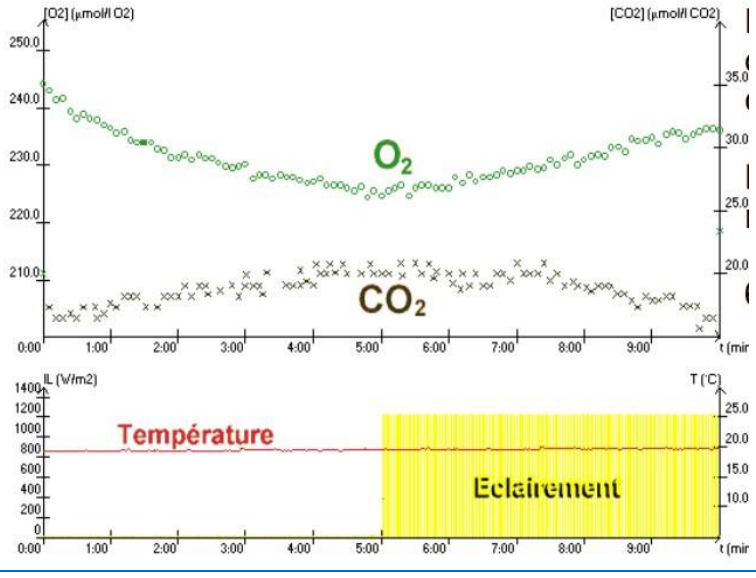
Fossile hypothétique de cyanobactérie **a**.
Cyanobactérie actuelle **b**.

https://drive.google.com/file/d/1uigOmGBDbIcaqMJY0Wm0ntvXiQ8ITrYr/view

Remarque : cette vidéo n'a pas de son vous n'aurez pas besoin
de vos écouteurs…

Document 1c - Mesure d'échanges gazeux dans une culture de cyanobactéries

Une culture de cyanobactéries est placée dans une enceinte hermétique. Les teneurs en dioxygène et en dioxyde de carbone sont enregistrées en différentes conditions.



Document 2 - Des indices géologiques témoins d'une oxydation du fer

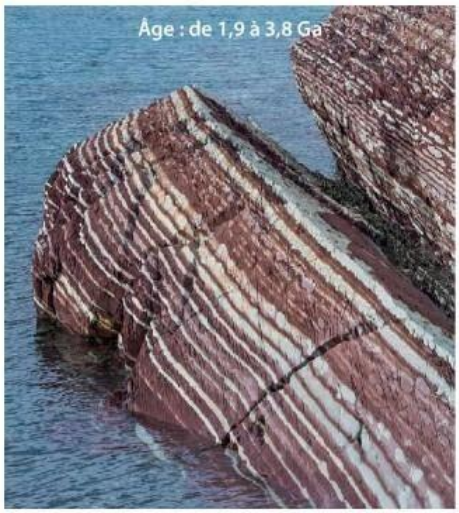
Document 2a – une réaction chimique à comprendre… pour comprendre le reste !

Le **dioxygène** est un oxydant fort, c'est-à-dire qu'il peut réagir avec de nombreuses espèces chimiques dites réductrices selon une réaction d'oxydoréduction. C'est notamment le cas du **fer**. Celui-ci réagit avec le dioxygène pour former des **oxydes de fer** (de formule générale Fex Oy et pouvant être **rouges**)

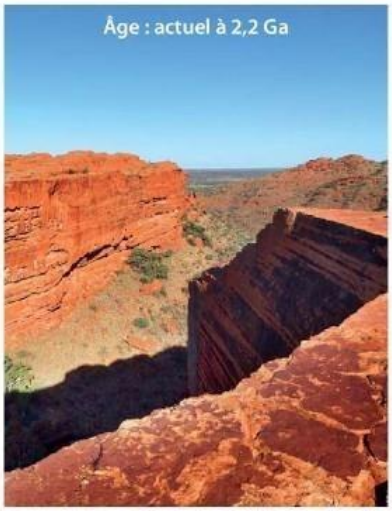
$$4\,Fe + 3\,O_2 \rightarrow 2\,Fe_2O_3$$

Remarque : cette vidéo n'a pas de son vous n'aurez pas besoin de vos écouteurs…https://drive.google.com/file/d/1uigOmGBDbIcaqMJY0Wm0ntvXiQ8ITrYr/view

Document 2b - Des roches sédimentaires témoins d'une oxydation tardive de l'atmosphère



Fers rubanés, roches sédimentaires, d'origine marine. Ces roches sont constituées d'une alternance de silice (bandes claires) et d'hématite Fe_2O_3 (bandes sombres).



Sols rouges continentaux actuels riches en oxydes de fer de type hématite (rouge). Ces sols témoignent de la présence d'une **atmosphère oxydante.**

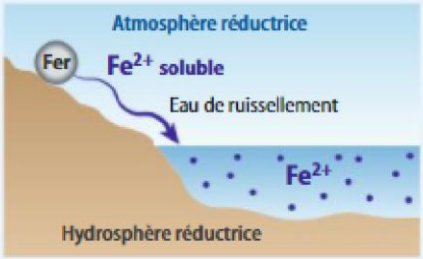
Lors de l'altération par l'eau des roches continentales, des ions fer II (Fe^{2+}) sont libérés. Deux cas de figures peuvent alors se présenter :

- En présence d'une **atmosphère dépourvue de O_2**, ils persistent sous cette forme et sont transportés jusqu'aux océans. Dès qu'ils rencontrent des conditions oxydantes (présence de O_2), ils s'oxydent en ions fer III et peuvent alors précipiter localement sous forme d'hématite (fers rubanés) :

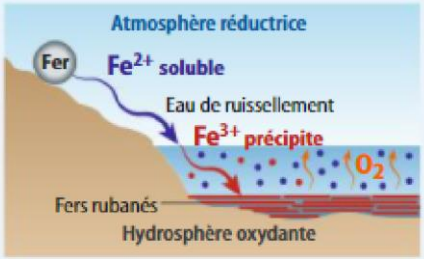
$$4\,Fe^{2+} + O_2 + 4\,H_2O \longrightarrow 2\,Fe_2O_3 + 8\,H^+$$
(hématite)

- En présence d'une **atmosphère oxydante***, les ions Fe^{2+} s'oxydent directement au niveau des continents (formation d'hématite) et n'atteignent donc pas les océans.

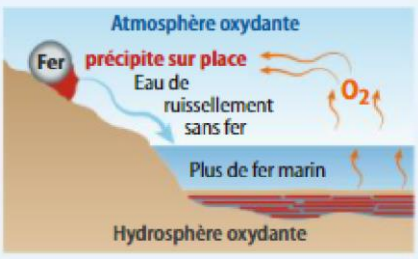
Document 2c - Des mécanismes chimiques d'oxydation du fer



Période 1 - Milieu non oxydant
La présence de fer dissous sous forme d'ions Fe^{2+} dans les océans témoigne d'un milieu non oxydant (absence d'oxygène).



Période 2 - Oxydation dans les océans
Un processus à l'origine d'un dégagement de dioxygène dans les océans entraîne une oxydation des ions Fe^{2+} en ions Fe^{3+} peu solubles, qui précipitent et sont sédimentés.

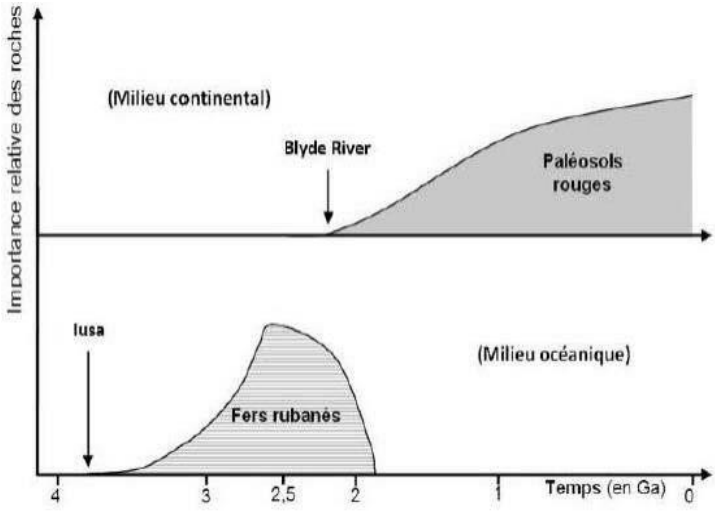


Période 3 - Dioxygène atmosphérique
Après consommation totale du fer marin, le dioxygène se répand vers l'atmosphère. Le fer n'est plus transporté vers les océans car il précipite alors directement sur les continents.

Document 2d
Principe d'actualisme

Penser la science

Exercer son esprit critique

Le principe d'actualisme est une méthode qui postule que les lois régissant les phénomènes géologiques et biologiques actuels étaient également valables dans le passé. Par exemple, on admet que les espèces fossiles vivaient dans des milieux similaires à ceux de leurs équivalents actuels. Le présent serait la clé du passé.

Document 2e - Extension temporelle des gisements de fer