COURS PI

L'école sur-mesure

de la Maternelle au Bac, Établissement d'enseignement privé à distance, déclaré auprès du Rectorat de Paris

Term. Générale

Enseignement Scientifique

Module 1 - Science, climat et société



- ***Leçons détaillées*** *pour apprendre les notions en jeu*
- ***Exemples et illustrations*** *pour comprendre par soi-même*
- ***Prolongement numérique*** *pour être acteur et aller + loin*
- ***Exercices d'application*** *pour s'entraîner encore et encore*
- ***Corrigés des exercices*** *pour vérifier ses acquis*





ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE TERMINALE

Module 1 – Science, climat et société

L'AUTEUR



Mathieu MEYER

« Le discours d'un professeur doit s'adapter aux besoins des élèves ». Enseignant expérimenté, Docteur en Chimie et Physico-chimie, il s'adapte facilement à tout public et accompagne élèves et étudiants dans leurs challenges. Doté d'un esprit positif, son approche de l'enseignement scientifique est axée sur le raisonnement, la compréhension, les applications et la manipulation.
Passionné de football et supporter de Lyon depuis toujours, il est aussi un coureur de fond et de trail dont les temps laissent rêveur... 36min sur 10km, 1h18 sur semi-marathon.

LE MOT DE L'AUTEUR

Le climat et son évolution, son impact, ses causes et ses conséquences sur la vie terrestre…
Cette problématique « made in 21ème siècle » a fait son apparition politique lors de l'élection présidentielle de 2002. A ce moment-là, nous ne nous doutions pas que le climat de notre havre de paix évoluerait si vite…

Depuis l'augmentation du nombre de catastrophes (tsunamis, crues, éboulements, tempêtes), la hausse des températures ainsi que la fonte des glaciers et de la banquise ont imposé le climat comme LA problématique majeure de ce début de millénaire.

Pourtant, de nombreux débats parsèment cet équilibre si fragile qu'est notre atmosphère. Loin de ceux-ci, ce cours a pour vocation comprendre les rouages de notre atmosphère, son évolution passée mais aussi de s'intéresser à ses perspectives futures.

Une thématique pa-ssio-nnante dans laquelle nous plongeons sans tarder !
En route !

TERMINALE GÉNÉRALE
ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

Module 1 • Science, climat et société

CHAPITRE 1. L'atmosphère terrestre et la vie 5

COMPÉTENCES VISÉES

- Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.
- Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression donnée à partir de son diagramme d'état.
- Mettre en relation la production de O_2 dans l'atmosphère avec des indices géologiques (oxydes de fer rubanés, stromatolithes...).
- Ajuster les équations des réactions chimiques d'oxydation du fer par le dioxygène.
- Interpréter des spectres d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet.
- Analyser un schéma représentant le cycle biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non.

Première approche – D'où vient l'oxygène de l'air ? 6

1. L'atmosphère terrestre : une atmosphère en perpétuelle évolution 10

2. Le refroidissement de la surface terrestre : source de vie 11

3. L'ozone : une conséquence du dioxygène 16

4. Le cycle du carbone 19

Le temps du bilan 23

Exercices 24

CHAPITRE 2. La complexité du système climatique 33

COMPÉTENCES VISÉES

- Distinguer sur un document des données relevant du climat d'une part, de la météorologie d'autre part.
- Identifier des tendances d'évolution de la température sur plusieurs échelles de temps à partir de graphiques.
- Identifier des traces géologiques de variations climatiques passées (pollens, glaciers).
- Déterminer la capacité d'un gaz à influencer l'effet de serre atmosphérique à partir de son spectre d'absorption des ondes électromagnétiques
- Interpréter des documents donnant la variation d'un indicateur climatique en fonction du temps (date de vendanges, niveau de la mer, extension d'un glacier...).
- Analyser la variation au cours du temps de certaines grandeurs telles que l'augmentation de la teneur atmosphérique en CO_2, la variation de température moyenne, des indicateurs de l'activité économique mondiale.
- Identifier les relations de causalité (actions et rétroactions) qui sous-tendent la dynamique d'un système.
- Réaliser et interpréter une expérience simple, mettant en évidence la différence d'impact entre la fusion des glaces continentales et des glaces de mer.
- Estimer la variation du volume de l'océan associée à une variation de température donnée, en supposant cette variation limitée à une couche superficielle d'épaisseur donnée.

Première approche – La fonte de la banquise 34
1. Climatologie vs météorologie 38
2. Le réchauffement climatique : un déséquilibre radiatif 43
3. Les raisons de l'augmentation des températures 47
Le temps du bilan 51
Exercices 52
Les Clés du Bac 64

CHAPITRE 3. Le climat du futur 73

COMPÉTENCES VISÉES

- Mettre en évidence le rôle des différents paramètres de l'évolution climatique, en exploitant un logiciel de simulation de celle-ci, ou par la lecture de graphiques.
- Exploiter les résultats d'un modèle climatique pour expliquer des corrélations par des liens de cause à effet.

Première approche – Simclimat 74
1. Qu'est-ce qu'un modèle climatique ? 77
2. Les projections des modèles 79
Le temps du bilan 86
Exercices 87
Les Clés du Bac 93

CHAPITRE 4. Énergie, choix de développement et futur climatique 103

COMPÉTENCES VISÉES

- Utiliser les différentes unités d'énergie employées (Tonne Équivalent Pétrole (TEP), kWh…) et les convertir en joules, les facteurs de conversion étant fournis.
- Exploiter des données de production et d'utilisation d'énergie à différentes échelles (mondiale, nationale, individuelle…).
- Comparer quelques ordres de grandeur d'énergie et de puissance : corps humain, objets du quotidien, centrale électrique, flux radiatif solaire…
- Calculer la masse de dioxyde de carbone produite par unité d'énergie dégagée pour différents combustibles (l'équation de réaction et l'énergie massique dégagée étant fournies).
- À partir de documents épidémiologiques, identifier et expliquer les conséquences sur la santé de certains polluants atmosphériques, telles les particules fines résultant de combustions
- Comparer sur l'ensemble de leur cycle de vie les impacts d'objets industriels (par exemple, voiture à moteur électrique ou à essence).
- À partir de documents, analyser l'empreinte carbone de différentes activités humaines et proposer des comportements pour la minimiser ou la compenser.
- Analyser l'impact de l'augmentation du CO_2 sur le développement de la végétation.
- Analyser des extraits de documents du GIEC ou d'accords internationaux proposant différents scénarios.

Première approche – Le dioxyde de carbone 104
1. L'énergie dans notre société 105
2. La combustion et son impact 111
3. L'empreinte carbone 115

4. Les scénarios de transition écologique 117
Le temps du bilan 121
Exercices 122
Les Clés du Bac 129

CORRIGÉS des exercices & activités 137



Toutes les applications proposées dans ce module disposent de corrigés-types.

- Dans la **version papier**, vous les retrouverez regroupés en toute fin du fascicule, et les repérerez à leur impression sur **papier de couleur**.
- Dans la **version numérique** de l'ouvrage, ils vous sont accessibles en scannant le QR code ci-contre.

SUGGESTIONS CULTURELLES



BIBLIOTHÈQUE THÉMATIQUE

Une sélection de ressources à explorer librement et goulûment

ESSAIS

- **Histoire du climat depuis l'an mil** *Emmanuel Le Roy Ladurie*
- **L'événement anthropocène. La Terre, l'histoire et nous** *Christophe Bonneuil et Jean-baptiste Fressoz*
- **Réchauffement climatique** *François-Marie Bréon*
- **L'Humanité en péril** *Fred Vargas*
- **Le plus grand défi de l'histoire de l'humanité** *Aurélien Barreau*

DOCUMENTAIRES AUDIOVISUELS

- **Pouvons-nous refroidir la planète ?** *de Jen Schneider, Ben Kalina*
- **Réchauffement climatique : les trois chiffres clés (2 épisodes)** *de Alex Freeman et Jonathan Renouf*
- **« 2 degrés avant la fin du monde » – Long format #DATAGUEULE**
- **Inondations : une menace planétaire** *de Marie Mandy*

PODCASTS

- **Le climat en questions - Arte Radio audio blog** *https://audioblog.arteradio.com/blog/159187/le-climat-en-questions*
- **En route... ! Le podcast du Climat** *https://podcast.ausha.co/bbg*
- **La méthode scientifique** *France Culture*
- **Futura dans les étoiles de Futura sciences** *https://podcasts.futura-sciences.com/futura-futura-dans-les-etoiles/*

I) LES ATTENDUS DU PROGRAMME

L'OBJECTIF DE L'EVALUATION

« Le sujet évalue les compétences suivantes : exploiter des documents ; organiser, effectuer et contrôler des calculs ; rédiger une argumentation scientifique. Chaque exercice évalue plus particulièrement une ou deux de ces compétences. Toute formulation de question est envisageable : de la question ouverte jusqu'au questionnaire à choix multiples. »

LES MODULES CONCERNES

« Le sujet de cette épreuve est un des sujets des épreuves communes de contrôle continu de première ou de terminale, issu de la banque nationale de sujets ».

LA DUREE DE L'EPREUVE

« Durée de chaque épreuve : 2 heures ».

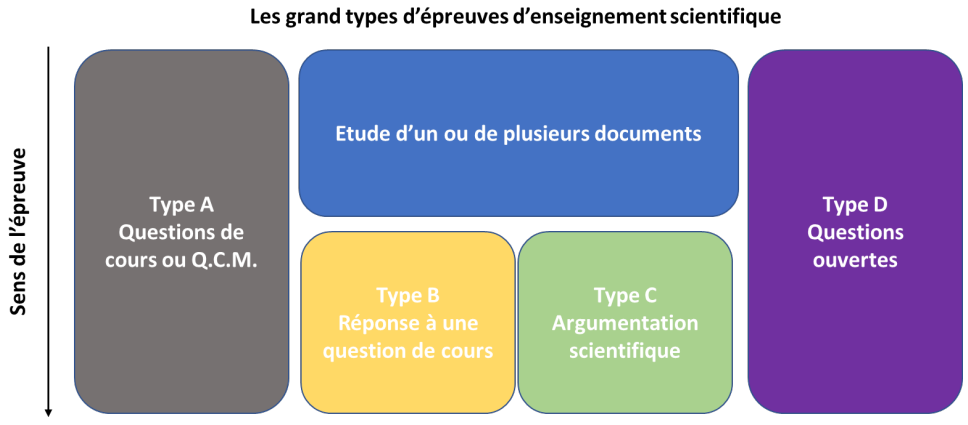
NOTATION DE L'EPREUVE

« Chaque épreuve est notée sur 20 points. Chaque exercice est noté sur 10 points ».

II) LES TYPES D'ÉPREUVES

Quatre grands types d'exercices vont être rencontrés lors de ce module :

- La question de cours ou Q.C.M. (type A)
- Le document ou l'ensemble de document avec une question de cours. (Type B)
- Le document ou l'ensemble de document avec une argumentation scientifique. (Type C)
- Une question ouverte. (Type D)



L'objectif de ce manuel est de travailler ensemble la méthode pour répondre à ces trois types d'exercices. Les méthodes d'études de documents, de rédaction et d'argumentation vont être décortiquées, expliquées et un travail d'accompagnement graduel de l'élève pour maîtriser ces méthodes va être effectué.

III) RECONNAÎTRE LES DIFFÉRENTS TYPES D'EXERCICES

La première étape de la résolution de tous ces exercices est bien évidemment d'arriver à reconnaitre le type d'exercice rencontré afin d'effectuer la bonne méthodologie.
Malgré des similitudes pour certains, tous ces exercices sont assez différents et facilement identifiables.

QUESTIONS DE TYPE A :

Les questions de type A telles qu'une question de cours ou une question à choix multiples (Q.C.M.) sont facilement reconnaissables par leurs formes. Voici un exemple d'une question de cours tirée des sujets 0 fournis par l'Education Nationale :
« Nommer le mécanisme biologique à l'origine de la synthèse du glucose par les plantes terrestres et donner l'équation de réaction de cette synthèse de matière végétale (on veillera à ajuster les nombres stœchiométriques de l'équation). Préciser les organes impliqués dans les échanges entre la plante et son milieu. »

Ce type de question fait appel uniquement aux notions vues dans le manuel. L'élève doit y répondre de manière synthétique, par des phrases claires et assez courtes (il vaut mieux éviter les phrases de 5 lignes où le correcteur risque de se perdre).
Les questions à choix multiples (Q.C.M.) sont, elles, reconnaissables par leurs formes bien à elles comme nous le montre toujours les sujets 0 :

QCM1 : La date de désintégration d'un noyau individuel de ^{14}C dont on connaît la date de création (prise comme origine) est :

- ☐ aléatoire.
- ☐ égale à 5730 ans.
- ☐ prévisible.
- ☐ comprise avec certitude entre 100 et 10000 ans.

QCM2 : La durée nécessaire à la désintégration radioactive de la moitié des noyaux radioactifs d'un échantillon dépend :

- ☐ du nombre initial de noyaux.
- ☐ de la nature chimique des noyaux.
- ☐ du volume de l'échantillon.
- ☐ de la température.

Ces questions de cours ou ces questions à choix multiples ne feront jamais l'objet d'un exercice complet. Elles apparaitront très souvent dans chaque exercice et ont pour but de rassurer l'élève, de lui permettre d'acquérir des points mêmes si le reste de l'exercice lui semble incompréhensible. Dans le cadre d'une épreuve de bac, il est même conseillé de commencer par celles-ci afin d'être certain de ne les avoir faites en cas de manque de temps.
Dans le cadre de ce partie méthodologie, ces questions ne seront pas abordées.

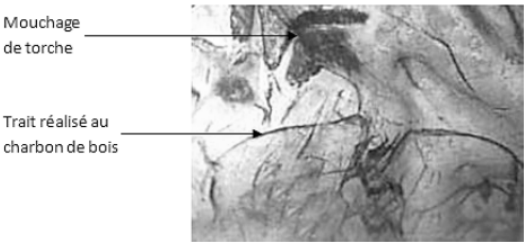
QUESTION DE TYPE B

La question de type B sera (avec la question de type C) la question la plus répandue. Elle vise à vérifier la capacité des élèves d'étudier des documents inconnus et à les lier avec les notions vues dans le cours. De nombreuses qualités d'observations, d'études et d'organisations de réponses sont nécessaires sur ce type de questionnement. Les élèves en sont généralement tous capables mais de cruels manques de méthodes sont souvent la cause des difficultés.
L'idée de ce genre d'exercices est d'utiliser le cours et de nouvelles informations pour répondre à une question. Dans ce genre de question, il ne faut pas faire d'argumentation scientifique, il faut juste analyser le document et répondre à la question en justifiant la réponse.
Voici plusieurs exemples tirés des sujets 0 :

Exemple 1

« A partir de vos connaissances et des informations apportées par les documents 1 et 2, répondre à la question suivante.

Document 1 : Deux rhinocéros qui s'affrontent représentés sur le panneau des chevaux dans la salle Saint-Hilaire de la grotte Chauvet



Un mouchage est un frottement de la torche sur la paroi de la grotte pour retirer la partie carbonisée qui asphyxie la flamme.

Les analyses des pigments ont révélé que les peintures ont été réalisées avec des fragments de charbon de bois (traits noirs) et des minéraux :

- Le rouge est constitué d'oxydes de fer (Fe_2O_3)
- Le noir de dioxyde de manganèse (MnO_2)

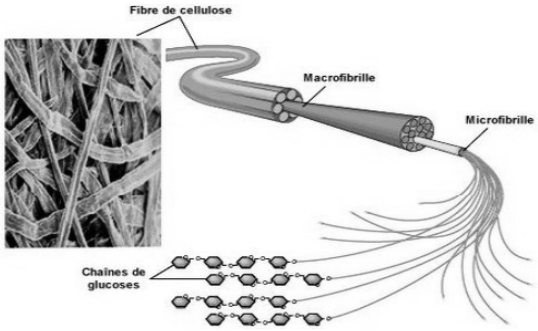
Sources : Dossier Pour La Science n°42 janvier Mars 2004

Hélène Valladas, Jean Cottes et Jean-Michel Geneste

Document 2 : Les constituants du bois

Les parois cellulaires très épaisses donnent au bois ses propriétés. Ces parois sont formées de deux constituants principaux, la cellulose et la lignine.

La cellulose est une macromolécule composée d'un enchainement de plusieurs glucoses de formule $C_6H_{12}O_6$, comme le montre le schéma ci-contre.



Source :http://p7.storage.canalblog.com/70/91/309207/14102700_p.jpg

Justifier que les oxydes minéraux ne peuvent pas être datés par la méthode du carbone 14, alors que la datation est possible pour le charbon de bois. »

Exemple 2

Document 3 : datation par le carbone 14

L'isotope ^{14}C de l'élément carbone se désintègre en azote ^{14}N et se régénère régulièrement en haute atmosphère à partir de l'azote de l'air : il se retrouve donc en proportion constante dans tous les milieux et tous les êtres vivants. Lorsqu'un être vivant meurt, son métabolisme s'interrompt et son carbone n'est plus renouvelé. En raison de la désintégration radioactive, pour un échantillon donné, le rapport P/ P0 du nombre d'atomes ^{14}C résiduel (P) sur le nombre d'atomes présents moment de la mort (P0) décroît au cours du temps.

Deux ensembles de mesures ont été réalisés pour la grotte Chauvet.

- le premier, réalisé sur des fragments de charbon de bois prélevés sur les peintures, fournit des valeurs P/P0 comprises entre 1,5 % et 2,5 %.

- le second ensemble de mesures, réalisé à partir des prélèvements sur les mouchages de torche, fournit des valeurs comprises entre 3,5 % et 4,5 %.

« Un graphique représentant le rapport P/P0 du nombre d'atomes ^{14}C résiduel sur le nombre d'atomes ^{14}C présent au moment de la mort en fonction du nombre d'années écoulées depuis la mort est donné sur la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie.
Estimer par un encadrement l'ancienneté des traces de l'habitation de la grotte Chauvet par les êtres humains préhistoriques en datant les mouchages de torche et les traits réalisés à l'aide de charbons de bois. »

Ce type de question fait surtout appel à l'analyse de documents. Les liens entre le document et le cours fournis par l'élève seront très prononcés.

⚠ Dans certains exercices, un même document peut générer plusieurs questions de type B ou de type C.

QUESTION DE TYPE C

La question de type C se base toujours sur un ou des documents ceux-ci ne sont que des supports à un raisonnement scientifique. L'élève est noté sur sa capacité après lecture d'un document inconnu à répondre à une question en proposant une argumentation scientifique. La réponse doit lier des informations du document, des notions du cours ainsi qu'une argumentation basée sur des faits scientifiques. La réponse doit contenir une hypothèse de départ (ou une problématique), un plan, une étude de documents et une réponse argumentée.
Ces questions sont beaucoup plus compliquées que les élèves ne le pensent. Il ne suffit pas d'avoir compris le document et trouver un argument. La rédaction, le raisonnement et le fil conducteur de votre réponse seront autant d'éléments importants pour acquérir un maximum de points.
Voici de potentielles questions :

Exemple 1

Document 3 : datation par le carbone 14

L'isotope ^{14}C de l'élément carbone se désintègre en azote ^{14}N et se régénère régulièrement en haute atmosphère à partir de l'azote de l'air : il se retrouve donc en proportion constante dans tous les milieux et tous les êtres vivants. Lorsqu'un être vivant meurt, son métabolisme s'interrompt et son carbone n'est plus renouvelé. En raison de la désintégration radioactive, pour un échantillon donné, le rapport P/ P0 du nombre d'atomes ^{14}C résiduel (P) sur le nombre d'atomes présents moment de la mort (P0) décroît au cours du temps.

Deux ensembles de mesures ont été réalisés pour la grotte Chauvet.

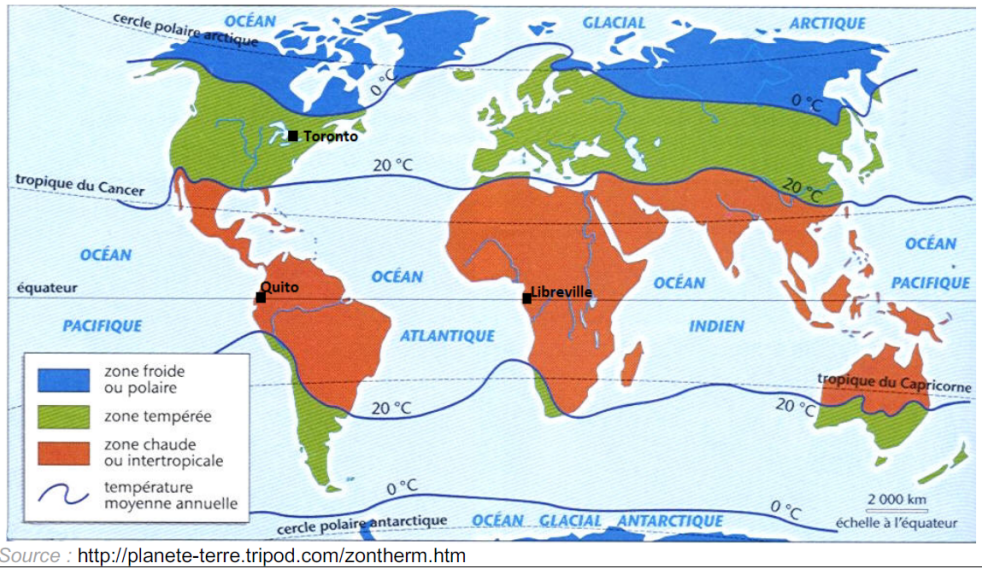
- le premier, réalisé sur des fragments de charbon de bois prélevés sur les peintures, fournit des valeurs P/P0 comprises entre 1,5 % et 2,5 %.

- le second ensemble de mesures, réalisé à partir des prélèvements sur les mouchages de torche, fournit des valeurs comprises entre 3,5 % et 4,5 %.

« Expliquer en quelques phrases comment la méthode de datation par le carbone 14 utilisée en archéologie illustre l'intérêt de la coopération entre plusieurs champs disciplinaires scientifiques ».

Exemple 2

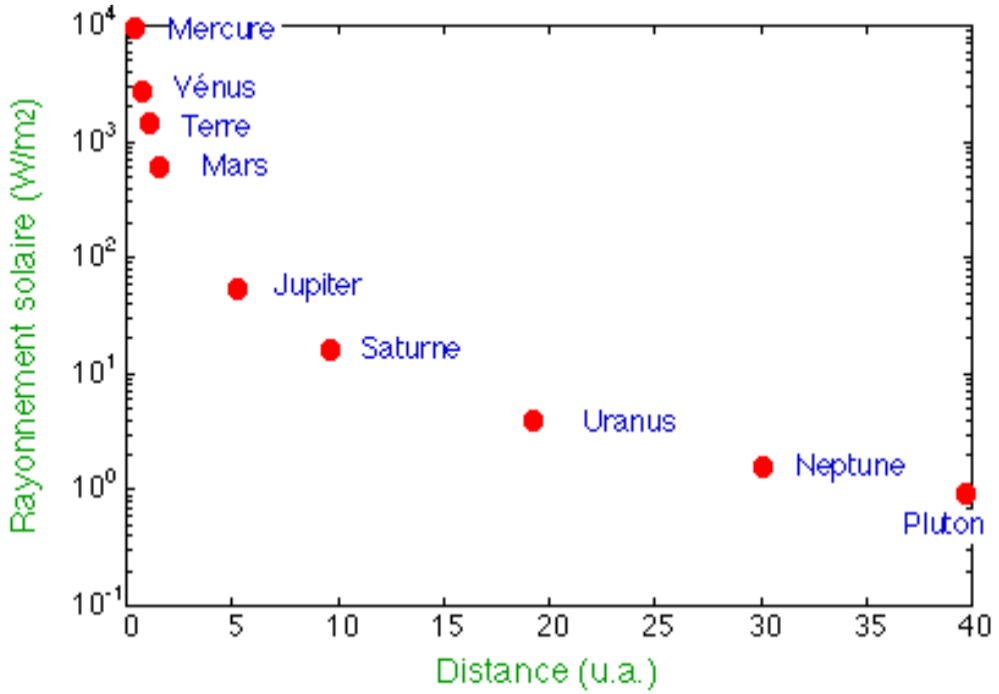
Document de référence : Les zones climatiques à la surface de la Terre



Source : http://planete-terre.tripod.com/zontherm.htm

Sur cette carte, on constate que Quito et Libreville, qui sont à la même latitude, sont dans une zone chaude intertropicale. Pour Toronto, situé à la même longitude que Quito, la température moyenne annuelle est plus froide.

Document 3 : **Puissance solaire reçue en fonction de la distance au Soleil (en unités astronomiques u.a. 1u.a. = 1,5×10⁸ km)**



Source : http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/explication-temperature.xml

Document 4 : **Puissance solaire reçue par unité de surface en fonction de la latitude**



Résultat observé pour un même éclairage de l'équateur (à gauche) et des pôles (à droite)

latitude	0°	45° nord	60° nord	89° nord
Pays, régions, villes correspondant à la latitude	Equateur, Brésil, Kenya	Bordeaux	Oslo, St Pétersbourg	Pôle nord
Surface recevant une même quantité d'énergie (m²)	1	1,4	2	57
Puissance solaire reçue en moyenne par unité de surface (W / m²)	420	420 X 1 / 1,4 = 300	420 X 1 / 2 = 210	420 X 1 / 57 = 7,36

Tableau de correspondance entre la latitude et l'énergie solaire reçue par unité de surface

Source : D'après http://www.ac-grenoble.fr/armorin.crest/

Afin d'expliquer ces différences climatiques, un élève a proposé comme hypothèse :
« Il fait plus chaud à l'équateur qu'aux pôles parce que La Terre est plus proche du Soleil à l'équateur qu'aux pôles ».

À partir des connaissances acquises et des informations issues des documents 3 et 4, rédiger un paragraphe argumenté permettant à la fois d'expliquer qu'il fait plus chaud à l'équateur qu'aux pôles et d'invalider l'hypothèse émise par cet élève.
La justification des arguments pourra s'appuyer sur des schémas explicatifs.

QUESTION DE TYPE D

Un dernier type de questions peut vous être posé. Il s'agit d'une question ouverte sans document. Cette question, plus rare, nécessite de parfaitement connaitre vos différents cours. Le notionnel est important mais il est vital lors de ce genre de question d'avoir une réponse organisée. La lisibilité de votre fil conducteur d'argumentation sera nécessaire.
Un plan précis doit apparaitre avec différents paragraphes. Lors de ce genre de questions, il sera nécessaire de bien faire apparaitre une introduction avec la problématique énoncées, une annonce du plan, des paragraphes correspondant à ce plan et une conclusion apportant une réponse ou justifiant à cette problématique.
Voici des exemples de questions possibles :

Exemple 1
« A travers l'utilisation de la lunette de Galilée ou l'histoire de la datation de la Terre, justifier que le progrès technologique a permis d'améliorer le savoir scientifique ».

Exemple 2
« A travers l'histoire de l'âge de la datation de la Terre et ses grandes controverses, montrer que les grandes questions scientifiques nécessitent la coopération entre plusieurs champs disciplinaires scientifiques.


Le Cours

RAPPELS MATHÉMATIQUES

Calcul de produit en croix

Un outil mathématique va être beaucoup utilisé dans ce chapitre. Il s'agit du produit en croix. Voici quelques petits rappels de son utilisation.

18	x
25	100

La détermination de x va se faire de la manière suivante :

$$x = \frac{100 \times 18}{25} = 72$$

RAPPELS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Atomes

L'atome est, pour les chimistes, la pièce angulaire de la matière. Le terme vient d'ailleurs d'un mot grec qui signifie « indivisible ».

Les atomes sont constitués de protons et neutrons dans leurs noyaux autour desquels gravitent des électrons. Le tableau périodique de Mendeleïev recense 118 atomes qui sont tous différents par leurs nombres de protons.

L'ordre de grandeur de l'atome est de 10^{-10} mètre.

Molécules

La molécule est la structure de base de la matière et ce quel que soit son état physique (gazeux, liquide ou solide). Les molécules sont constituées d'au moins deux atomes. Les plus connues sont l'eau H_2O, le dioxyde de carbone CO_2 et le dioxygène O_2 que nous reverrons dans ces différents chapitres.

Entités chimiques

Certains scientifiques utilisent le terme d'entités chimiques. Celui-ci est généralement mal compris des élèves. Une entité chimique est un terme générique utilisé par les scientifiques pour désigner un atome ou une molécule.

Conservation d'énergie au cours d'une réaction

Au cours d'une réaction, l'énergie se conserve. Cette conservation est souvent décrite par les professeurs de la manière suivante : « Au cours d'une réaction, rien ne se crée, rien ne se perd et tout se transforme » (Principe de Lavoisier).

Cela signifie que l'énergie du système (de l'objet) étudié sera toujours la même. Elle aura peut-être simplement changé de forme ou aura été transmise à un autre système.

Ecriture en puissance

Les nombres manipulés ici seront souvent très petits ou très grands. Pour gagner en lisibilité, les scientifiques ont élaboré une écriture en puissance.

$$10^{\alpha}$$

Deux cas de figures :

Si α>0, alors le nombre est positif.

Si α<0, alors le nombre est négatif.

Petite astuce ! α renvoie au nombre de 0 !

Exemple :

$10^2 = 1\mathbf{00}$ Soit deux zéros !	$10^6 = 1\,\mathbf{000\,000}$ Soit six zéros !	$10^{-2} = \mathbf{0,}01$ Soit deux zéros !	$10^{-6} = \mathbf{0,000\,00}1$ Soit six zéros !
$10^4 = 1\mathbf{0\,000}$ Soit quatre zéros !	$10^{10} = 1\mathbf{0\,000\,000\,000}$ Soit dix zéros !	$10^{-4} = \mathbf{0,000}\,1$ Soit quatre zéros !	$10^{-10} = \mathbf{0,000\,000\,000}\,1$ Soit dix zéros !

Tableau de conversions

Prenons le gramme comme unité principale :
1 Gg (giga) : 1 000 000 000 grammes soit 10^9 grammes
1 Mg (méga) : 1 000 000 grammes soit 10^6 grammes
1 kg (kilo) : 1 000 grammes soit 10^3 grammes
1 mg (mili) : 0,001 gramme soit 10^{-3} gramme
1 µg (micro) : 0,000 001 gramme soit 10^{-6} gramme
1 ng (nano) : 0,000 000 01 gramme soit 10^{-9} gramme
1 pg (pico) : 0,000 000 000 001 gramme soit 10^{-12} gramme
1 fg (fento) : 0,000 000 000 000 001 gramme soit 10^{-15} gramme

RAPPELS BIOLOGIQUES

Photosynthèse
Processus par lequel les plantes vertes synthétisent des matières organiques grâce à l'énergie lumineuse, en absorbant le dioxyde de carbone de l'air et en produisant du dioxygène.

Respiration
Processus résultant de l'oxydation complète de molécules tel le glucose en présence de dioxygène pour former de l'énergie et dioxyde de carbone.

Fermentation
Processus résultant de l'oxydation de molécules tel le glucose en absence de dioxygène pour former de l'énergie.

Sédimentation
Processus dans lequel des particules de matière cessent progressivement de se déplacer et se réunissent en couches au niveau du sol ou du fond des océans par l'effet de la gravité.

Combustible fossile
Produit d'une très lente transformation au cours des temps géologiques de débris d'organismes accumulés dans certains sédiments. Ils sont riches en carbone. On trouve le charbon, le pétrole et le gaz naturel.

Roche
Matériau de la croûte terrestre formé d'un assemblage de minéraux.

Minéral
Élément ou composé naturel inorganique, constituant de l'écorce terrestre.

CHAPITRE 1
L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE ET LA VIE



Dans un premier temps, nous aborderons l'atmosphère terrestre et son évolution continue. Nous verrons alors comment la vie a pu apparaître sur Terre. Par la suite, nous étudierons l'importance de l'ozone dans l'équilibre terrestre et enfin nous nous arrêterons sur le cycle du carbone.

COMPÉTENCES VISÉES

- Analyser des données, en lien avec l'évolution de la composition de l'atmosphère au cours des temps géologiques.
- Déterminer l'état physique de l'eau pour une température et une pression donnée à partir de son diagramme d'état.
- Mettre en relation la production de O_2 dans l'atmosphère avec des indices géologiques (oxydes de fer rubanés, stromatolithes...).
- Ajuster les équations des réactions chimiques d'oxydation du fer par le dioxygène.
- Interpréter des spectres d'absorption de l'ozone et de l'ADN dans le domaine ultraviolet.
- Analyser un schéma représentant le cycle biogéochimique du carbone pour comparer les stocks des différents réservoirs et identifier les flux principaux de carbone d'origine anthropique ou non.

PRÉREQUIS

- La photosynthèse.
- Le rayonnement infrarouge.
- L'effet de serre et son équilibre.



Première approche
D'où vient l'oxygène de l'air ?

D'où vient l'oxygène de l'air que nous respirons ?

« Sans oxygène, pas de vie. » Voilà une affirmation qui semble être frappée au coin du bon sens. Et pourtant, vous êtes-vous déjà demandé d'où vient cet oxygène qui nous est si précieux ?
Eh bien vous allez découvrir qu'il n'a pas toujours été présent sur Terre, loin de là, et qu'il faudrait même renverser l'affirmation initiale : sans vie, pas d'oxygène !

L'atmosphère primordiale

Aujourd'hui, notre atmosphère est composée d'environ 21 % d'oxygène, 78% d'azote, et 1% de faibles quantités de divers gaz. Mais il n'en a pas toujours été ainsi ! On estime que l'atmosphère primordiale de la Terre – il y a environ 4,5 milliards d'années – était plutôt composée en majorité d'hydrogène, d'azote, de dioxyde de carbone (CO_2), d'ammoniac (NH_3) et de méthane (CH_4). Pas d'oxygène, donc ! Ou alors en quantités infimes, de l'ordre de seulement 0,0001%.

Attention, il faut faire une clarification à ce stade. Quand je dis « pas d'oxygène », je devrais plutôt dire « pas de dioxygène ». Car c'est bien de l'absence du gaz O_2 dont nous parlons. Les atomes d'oxygène étaient bien là eux, il s'agit même d'un des éléments les plus abondants sur Terre. Mais pour la plupart ils étaient liés au carbone pour former du CO_2 ou emprisonnés dans les roches de la croûte et du manteau terrestre.

Bref, une atmosphère dépourvue d'oxygène, et les choses en seraient certainement restées là, si tout cela n'avait pas été bouleversé par un événement incroyable et extraordinaire : l'apparition de la vie !

La photosynthèse

Une des raisons pour lesquelles on ne trouvait pas de dioxygène dans l'atmosphère primordiale, c'est que l'atome d'oxygène a un cœur d'artichaut : il aime se lier à tout autre atome qui passe. Il n'existe donc presque pas de réactions chimiques naturelles qui produisent du dioxygène libre.

Mais tout cela a changé avec l'apparition de la vie il y a environ 3,5 milliards d'années. Un élément clés de la vie telle qu'on la connaît, c'est la capacité à produire des molécules organiques carbonées (comme les glucides, les protéines ou les lipides), qui servent notamment de sources d'énergie. Pour les fabriquer, les organismes vivants doivent trouver du carbone. Les premières bactéries trouvaient leur carbone en ramassant ce qui passait à leur portée comme nutriments (les humains font pareil). Mais il y a environ 2,7 milliards d'années, un nouveau type de bactéries fit son apparition : les cyanobactéries.

Les cyanobactéries furent les premières à inventer la photosynthèse telle qu'on la connaît. A partir de CO_2, d'eau et d'énergie solaire, ces bactéries – qu'on appelle parfois aussi algues bleu-vert – furent capable de capturer le carbone contenu dans le CO_2, tout en rejetant… du dioxygène !

On peut penser que ce fut le début de l'élévation de la concentration en oxygène dans l'atmosphère. Mais non ! Je vous l'ai dit, l'oxygène aime se lier avec tous les autres atomes. Et quand les cyanobactéries ont commencé à en rejeter, il se trouvait autour plein d'éléments trop heureux de se marier avec l'oxygène, par exemple l'hydrogène, le carbone, le soufre et le fer.

Une des preuves les plus spectaculaires des premiers rejets d'oxygène par les cyanobactéries, c'est l'apparition des gisements de fer rubané. A cette époque, le fer était présent dans l'océan sous forme dissoute, ou dans le sol sous forme de pyrite FeS2. Au contact de l'oxygène rejeté par les cyanobactéries, il a pu s'oxyder en Fe2O3 ou Fe3O4, pour former ces structures sédimentaires noires et rouges, rappelant la rouille.

La grande oxydation

Pendant quelques centaines de millions d'années, nos cyanobactéries ont donc produit de l'oxygène qui s'est retrouvé immédiatement capté par les différents éléments environnants, notamment le fer. Mais ça n'a pas duré. Une fois tout ce petit monde rassasié, il y a environ 2,4 milliards d'années, l'oxygène a enfin pu se répandre librement dans l'atmosphère, et a finalement atteint le niveau énorme de… 0.1%.

Cela ne paraît pas beaucoup, mais il s'agit d'un changement suffisant pour que l'on nomme cet événement « la grande oxydation ». Certains l'appellent même « la catastrophe de l'oxygène » ou « la crise de l'oxygène ». Pourquoi ? Car l'oxygène est un poison !

Pour les cyanobactéries, l'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère n'a pas été un grand bouleversement. Mais pour toutes les autres bactéries, ce fut une catastrophe. De la même manière que l'oxygène aime se lier à tout ce qui passe, il attaque la matière organique (c'est pourquoi on nous bassine tant avec les antioxydants pour lutter contre le vieillissement). L'oxygène a donc rapidement provoqué l'extinction de la plupart des autres espèces, laissant tout le champ libre aux cyanobactéries.

Autre changement catastrophique, le dioxygène de l'atmosphère a réagi avec le méthane (CH_4) de l'atmosphère pour former de l'eau et du CO_2. Or comme on l'entend parfois, le méthane est un très puissant gaz à effet de serre, bien plus que le CO_2 ou l'eau. Sa disparition de l'atmosphère a donc provoqué un refroidissement important et une des plus importantes glaciations de l'histoire de la Terre, la glaciation Huronienne, qui a duré de -2,4 à -2,1 milliards d'années.

Mais au rayon des bonnes nouvelles, l'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère a aussi permis la constitution de la couche d'ozone (O_3), qui comme vous le savez nous protège des effets néfastes des rayons UV du soleil.

Extrait de « D'où vient l'oxygène de l'air que nous respirons ? », David Louapre, 16 juin 2014
https ://sciencetonnante.wordpress.com/

- Quels sont les gaz les plus présents dans l'atmosphère actuelle et dans l'atmosphère primitive ? Quelle est la principale différence entre les deux atmosphères ?

- La vie complexe telle que nous la connaissons aujourd'hui (animaux, Homme) aurait-elle pu se développer sur Terre avec l'atmosphère primitive ?

- Quelles sont les seules espèces à pouvoir se développer dans l'atmosphère primitive ?

- Expliquer le procédé biochimique caractéristique des cyanobactéries.

- Donner le nom de la période caractéristique de l'augmentation de l'oxygène.

- Expliquer l'origine de fer rubané. Quelles sont ses caractéristiques ?

- Quelle molécule chimique le dioxygène a-t-il pu créer ? Expliquer son importance dans le développement de la vie.

CORRECTION

- **Quels sont les gaz les plus présents dans l'atmosphère actuelle et dans l'atmosphère primitive ? Quelle est la principale différence entre les deux atmosphères ?**

Les gaz les plus présents dans l'atmosphère terrestre sont l'azote et l'oxygène. Ils représentent à eux deux près de 99% des gaz de l'atmosphère. Cependant, le texte nous apprend que cette composition a évolué au cours du temps. Il y a 4,5 milliards d'années, elle était plutôt composée de majorité d'hydrogène, d'azote, de dioxyde de carbone, d'ammoniac et de méthane. L'oxygène, si important pour la vie terrestre, n'était donc pas présent.

- **La vie complexe telle que nous la connaissons aujourd'hui (animaux, Homme) aurait-elle pu se développer sur Terre avec l'atmosphère primitive ?**

La vie complexe (végétaux, animaux et Homme) telle que nous la connaissons n'aurait donc pas pu se développer puisque l'oxygène est indispensable à la respiration.

- **Quelles sont les seules espèces à pouvoir se développer dans l'atmosphère primitive ?**

Les seules espèces à avoir pu se développer sont des bactéries. Les bactéries sont des organismes de taille microscopique (de taille inférieure à de 2 micromètres), souvent unicellulaire et qui vivent en groupes.

- **Expliquer le procédé biochimique caractéristique des cyanobactéries.**

Les cyanobactéries ont la capacité biochimique de photosynthèse. A partir de dioxyde de carbone, d'eau et d'énergie solaire, ces bactéries peuvent produire du dioxygène. Cet oxygène est très réactif et fut surtout très toxique pour les nombreuses bactéries contemporaines qui disparurent et permirent le développement des cyanobactéries en grand nombre.

- **Donner le nom de la période caractéristique de l'augmentation de l'oxygène.**

La période où le taux d'oxygène augmenta fortement s'appelle la grande oxydation.

- **Expliquer l'origine de fer rubané. Quelles sont ses caractéristiques ?**

Les gros blocs de fer rubané sont issus de l'oxydation du fer dissous dans l'océan. En effet, le fer se trouve alors sous forme ionique (Fe^{2+}, Fe^{3+}). La réaction de l'oxygène le fait alors précipiter et former d'importants blocs de fer solide couleur « rouille ».

- **Quelle molécule chimique le dioxygène a-t-il pu créer ? Expliquer son importance dans le développement de la vie.**

Le dioxygène, une fois présent dans l'atmosphère et sous l'important rayonnement solaire, a réagi et s'est formé en molécule d'ozone (O_3). Autant à basse altitude, la molécule d'ozone est toxique, autant à haute altitude elle est vitale pour le développement de la vie terrestre. L'ozone absorbe une partie des rayons ultra-violet issus du soleil et en particulier les plus « énergétiques ». L'ozone permet par son action de limiter le développement de maladies sur Terre comme les cancers.

L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE ET LA VIE

L'atmosphère terrestre : une atmosphère en perpétuelle évolution

L'atmosphère terrestre est aujourd'hui un mélange de gaz. Sa composition est la suivante :

Gaz	Composition
Diazote (N_2)	78,087 %
Dioxygène (O_2)	20, 950%
Argon (Ar)	0,930%
Dioxyde de carbone (CO_2)	0,041%

D'autres composés sont présents à l'état de traces comme la vapeur d'eau (H_2O), l'oxide nitreux (N_2O) et le méthane (CH_4). Cependant, cette composition stable à l'échelle d'une vie n'a cessé d'évoluer depuis la formation de la Terre il y a 4,57 milliards d'années.

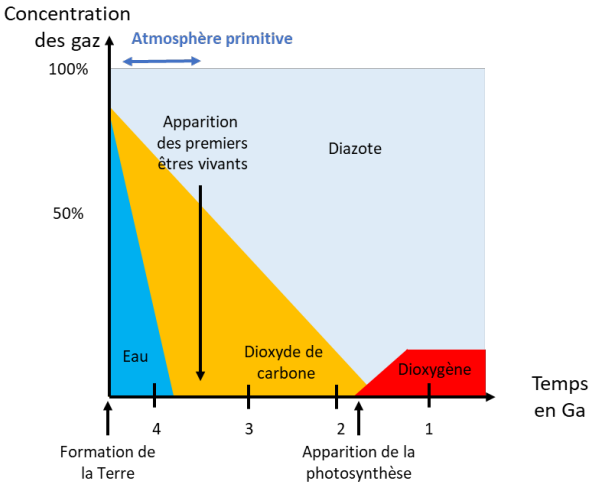
En effet, la Terre a subi d'importantes évolutions au cours de sa formation et de ses premières années de vie. Son atmosphère primitive était très différente de celle d'aujourd'hui.

RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Selon vos recherches, à quoi correspond l'atmosphère primitive ? Quelle est sa composition exacte ?

Les scientifiques pensent que l'atmosphère terrestre initiale était composée de gaz plutôt légers comme l'hydrogène, l'hélium ou l'azote. Cependant, la gravité de la Terre étant relativement faible, les molécules d'hydrogène et d'hélium se sont dispersées dans l'espace. Puis le refroidissement de l'océan magmatique, qui a recouvert la surface de la Terre à un moment donné, a provoqué la formation de molécules gazeuses de taille plus importante comme la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), l'ammoniac (NH_3) et le méthane (CH4). La caractéristique commune des différentes compositions de cette atmosphère primitive est l'absence de dioxygène (O_2).

Voici un schéma pour visualiser les grandes lignes de l'évolution de l'atmosphère depuis la formation de la Terre :



L'ESSENTIEL

L'atmosphère terrestre n'a cessé d'évoluer depuis la formation de la Terre, passant d'une atmosphère primitive à l'atmosphère actuelle. Sa composition est passée d'une composition de gaz dits légers à des gaz plus lourds. La caractéristique majeure de l'atmosphère primitive est l'absence d'oxygène.

JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Quelle est la principale caractéristique de l'atmosphère primitive de la Terre durant toute son évolution ?

Bien que la composition de l'atmosphère primitive de la Terre ait énormément évolué, il est important de mettre en évidence que, quelle que soit la période, celle-ci n'a jamais comporté de dioxygène.

02

L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE ET LA VIE

Le refroidissement de la surface terrestre : source de vie

De nombreux scientifiques avancent que la Terre s'est formée par un mécanisme d'accrétion (d'agglomération) de poussières issues de météorites. Ce mécanisme a généré une température particulièrement élevée (> 5 000°C) lors du début de l'histoire de la Terre. Progressivement, la température à sa surface a alors diminué.

RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Regardez la vidéo suivante et expliquez l'origine de la présence d'eau sur Terre.
https://www.youtube.com/watch?v=hTQ01oVFnXA

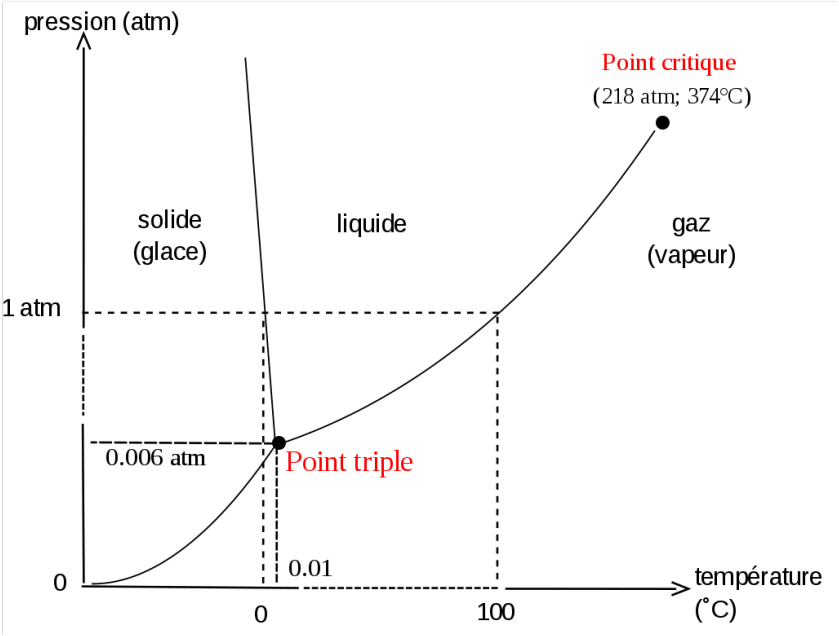
La Terre est trop proche du Soleil pour s'être formée avec de l'eau dans son atmosphère. Ce sont des corps externes comme des comètes qui, venant s'écraser sur Terre, ont amené les molécules d'eau sur Terre.

L'eau était donc présente dans l'atmosphère primitive terrestre d'un point de vue gazeux. C'est le refroidissement de la température de surface de la Terre à une température inférieure à 100°C qui a permis son passage à l'état liquide et la formation des océans. On dit que l'hydrosphère s'est formée.

L'ESSENTIEL

L'eau présente dans l'atmosphère primitive de la Terre va se liquéfier sous l'effet du refroidissement de la température à la surface de la planète. Ce changement d'état physique a provoqué la formation des océans. On parle de formation de l'hydrosphère.

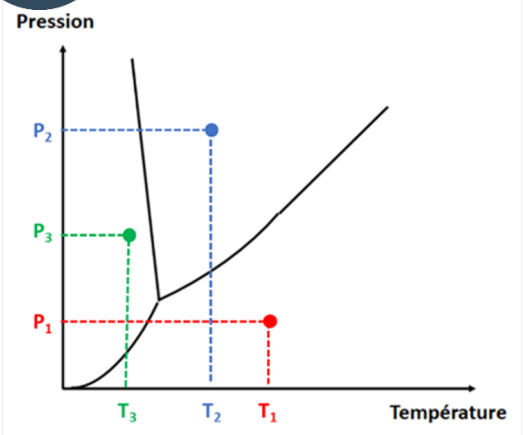
Il est possible d'un point de vue scientifique de connaître l'état physique que va prendre une molécule d'eau selon les conditions de pression et de températures. Cet outil est le diagramme d'état de l'eau.



Pour rappel, l'unité « atm » renvoie à un « atmosphère » soit la pression à la surface de la Terre (1 atm = 1 bar = 1 013 hPa).

RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Voici trois points caractérisés par un couple de coordonnées (température ; pression). Pour chacun de ces points, définissez l'état physique des molécules.



Point n°	Couleur	Etat physique
1	Rouge	
2	Bleu	
3	Vert	

Selon la valeur de températures et de pressions, l'état physique de l'eau peut varier. Pour une température donnée, une variation de pression peut changer son état physique (et vice-versa).

Point n°	Couleur	Etat physique
1	Rouge	**Gaz**
2	Bleu	**Liquide**
3	Vert	**Solide**

Dans un diagramme d'état apparaissent deux points « particuliers » : le point triple et le point critique. Mais qui sont-ils ?

Le point triple est un point unique où la matière est à la fois solide, liquide et gazeuse. Elle présente donc les caractéristiques des trois états physiques en même temps. Voici un lien pour cette expérience particulière et découvrir le comportement d'un liquide (le cyclohexane) à ce point précis :

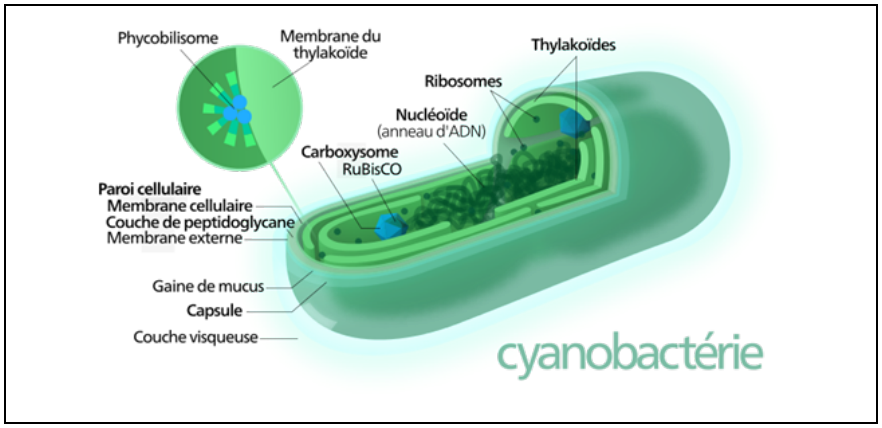
https ://www.laboiteverte.fr/point-triple-dun-liquide/

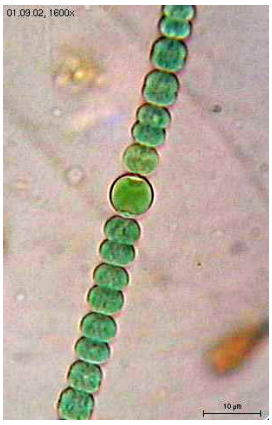
Le point critique est quant à lui, la température et la pression où la densité de l'eau liquide égalise celle de l'eau gazeuse. A l'issue de ce point, il est impossible de distinguer une phase gazeuse d'une phase liquide. Le mélange devient homogène comme le montre la vidéo suivante :

https ://www.youtube.com/watch ?v=-AXJISFdC2E

Bien que l'hydrosphère se soit formée comme le montre la présence d'un océan primitif il y a 4 milliards d'années, la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui était toujours impossible. En effet, le dioxygène était encore le grand absent de cette période.

Pourtant, les premières traces de vie apparaissent il y a 3,5 milliards d'années. De premières cellules apparaissent puis des bactéries. Celles-ci évolueront pour se transformer en cyanobactéries il y a 2,5-3 millions d'années. Ce sont à ces cyanobactéries que nous devons la vie complexe actuelle. En effet, leur métabolisme photosynthétique, a permis de produire du dioxygène.





RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Rappeler la définition et le mécanisme de la photosynthèse.

La photosynthèse est un processus par lequel des espèces chlorophylliennes synthétisent des matières organiques grâce à l'énergie lumineuse, en absorbant le dioxyde de carbone de l'air et en produisant du dioxygène. La réaction chimique correspondante à ce mécanisme est :

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \text{ -----> } C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6\ O_2$$

L'apparition de l'oxygène change radicalement l'image de la Terre : on parle alors de la période de la grande oxydation. L'environnement terrestre alors très réducteur va devenir petit à petit oxydant. En effet, le pouvoir oxydant de l'oxygène est tellement important que le fer se transforme en oxyde de fer et se dépose dans les fonds marins en couches successives. =

Une fois que l'eau de l'océan saturée en dioxygène, l'oxygène commença à s'accumuler dans l'atmosphère.

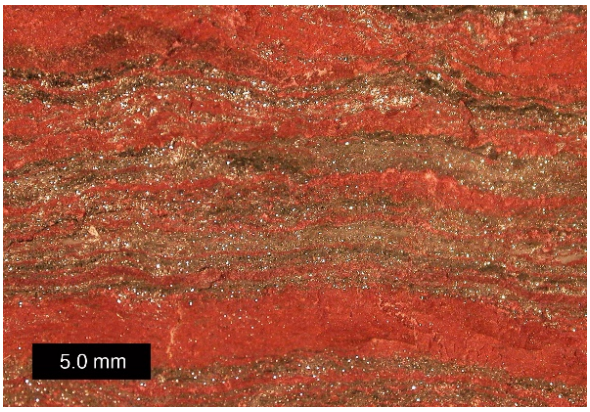
Le dioxygène s'est accumulé à partir de 2,4 milliards d'années dans l'atmosphère. Sa concentration atmosphérique actuelle a été atteinte il y a 500 millions d'années environ. Il s'agit donc d'un long processus d'évolution.

Plusieurs structures géologiques visibles aujourd'hui résultent de cette « grande oxydation ». Plus particulièrement, deux structures caractéristiques sont très visibles :

- Les oxydes de fer rubanés.
- Les stromatolithes.

Les oxydes de fer rubanés sont issus des plus grands gisements de fer sur Terre. Certains font plusieurs dizaines de mètres de haut comme celui de la région de Hamersley en Australie Occidentale. Ceux-ci sont issus de la précipitation d'ion Fe^{3+} de l'océan en présence de dioxygène formé par les cyanobactéries.





Les stromatolithes sont, quant à elles, des roches caractéristiques calcaires, formées dans des eaux chaudes (27-35°C). Elles sont faites de cyanobactéries, qui précipitent le bicarbonate en carbonate de calcium lors de réactions chimiques.







L'ESSENTIEL

Ce sont les cyanobactéries qui par leurs activités photosynthétiques ont permis l'apparition du dioxygène. La photosynthèse en présence de lumière a permis l'oxydation de l'eau et la formation du dioxygène. L'environnement marin s'est d'abord oxydé formant ainsi des dépôts de couches sédimentaires successifs. Une fois l'océan saturé, le dioxygène a fait son apparition dans l'atmosphère terrestre jusqu'à atteindre la concentration actuelle il y a 500 millions d'années.

JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Expliquez le rôle des cyanobactéries dans l'évolution de l'atmosphère primitive de la Terre ?

L'atmosphère primitive de la Terre n'était pas composée de dioxygène. Cependant, à la suite de la formation de l'hydrosphère, des microorganismes ont fait leur apparition dans les océans et notamment les cyanobactéries. Celles-ci ont la capacité d'avoir une activité photosynthétique et de former par ce biais du dioxygène. Celui-ci a tout d'abord oxydé les fonds marins. Une fois ce milieu saturé, il a alors fait son apparition dans l'atmosphère terrestre jusqu'à atteindre la concentration actuelle.

Intéressons-nous maintenant à la formation de ces blocs d'oxydes de fer rubanés et de stromatolithes et plus particulièrement aux équations de réactions chimiques d'oxydation du fer par le dioxygène. Pour rappel, une réaction chimique relie des réactifs (qui disparaissent) à des produits qui apparaissent :

Réaction chimique

Réactifs ⟶ **Produits**



Quelques règles régissent ces réactions. Le principal principe est celui de Lavoisier « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

Cet énoncé reconnu se traduit de manière plus simple : il ne doit y avoir ni perte, ni gain d'atomes lors d'une réaction chimique. Autrement dit, si deux atomes de fer sont présents dans les molécules jouant le rôle de réactifs, on doit en retrouver deux dans les molécules qui sont produites lors de la réaction.

Dans le cas présent, une réaction dite d'oxydation est une réaction entre un métal comme le fer et du dioxygène O_2.

L'ESSENTIEL

Le fer peut être oxydé par du dioxygène sous forme d'oxyde de fer de formule générale Fe_xO_y. Il existe trois oxydes de fer : FeO, Fe_2O_3 et Fe_3O_4. Ceux-ci sont obtenus par les réactions suivantes :

$$2\ Fe + O_2 \rightarrow 2\ FeO$$
$$4\ Fe + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Fe_2O_3$$
$$3\ Fe + 2\ O_2 \rightarrow Fe_3O_4$$

JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Expliquez le phénomène à l'origine des blocs de fers rubanés.

L'océan primitif avait une concentration importante d'ion ferreux dissous. Or en présence de dioxygène, ce fer dissous se transforme en oxyde de fer qui lui est solide. L'oxydation de fer ionique forme donc des blocs de fer solides qui sont tout simplement des oxydes de fer rubanés.

03 L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE ET LA VIE

L'ozone : une conséquence du dioxygène

Depuis 500 millions d'années, le taux d'oxygène dans l'atmosphère est constant. Mais quels sont donc les mécanismes actuels à l'origine de cette stabilité ?

RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Rappeler la définition et le mécanisme de la photosynthèse.

- Rappeler le mécanisme de photosynthèse ?
- Rappeler le mécanisme de la respiration ?

- Que pouvez-vous remarquer ?

- La réaction chimique correspondant au mécanisme de photosynthèse est :

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \text{ -----> } C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6\ O_2$$

- La réaction chimique associée à la respiration est :

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6\ O_2 \text{ -----> } 6\ CO_2 + 6\ H_2O$$

- Ce sont deux réactions inverses qui se compensent. Un cycle se forme et maintient le taux d'oxygène et de dioxyde de carbone constant sur Terre.

Un autre phénomène participe à cet équilibre : il s'agit de la combustion. Une combustion est la réaction chimique caractéristique des incendies. Un carburant (comme le bois, de l'essence etc) va réagir avec le dioxygène (un comburant) pour former du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

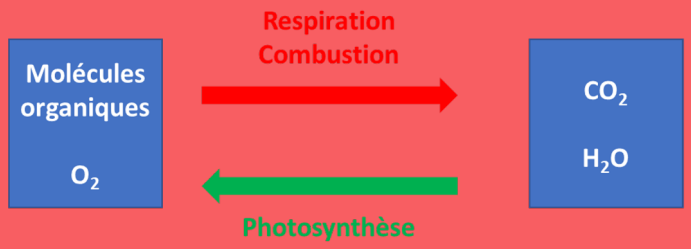
Prenons l'exemple d'un gaz de ville type « propane » :

$$\text{Propane} + O_2 \text{ -----> } CO_2 + H_2O$$

Ce qui donne d'un point de vue chimique : $C_3H_8 + 5O_2$ -----> $3CO_2 + 4H_2O$

L'ESSENTIEL

Plusieurs mécanismes naturels consomment ou créent du dioxyde de carbone et du dioxygène.



D'une manière générale :

- Un puits de dioxygène est un élément naturel qui consomme du dioxygène (homme, animaux).
- Une source de dioxygène est un élément naturel qui crée du dioxygène (plante lors de la photosynthèse).

Un autre gaz est présent dans l'atmosphère : l'ozone (O_3). Cette molécule qui se forme de manière naturelle dans la haute atmosphère, peut se transformer à partir du dioxygène (O_2). L'ozone se trouve en haute atmosphère sous forme de couche permanente appelée « couche d'ozone ».
Ce gaz et sa présence sont essentiels à la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui. En effet, la couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement ultraviolet.

En cas d'absence de cette couche de gaz, l'ultraviolet (ou UV) serait responsable de mutations génétiques chez les êtres vivants pouvant provoquer des brûlures, des conjonctivites comme d'importantes maladies comme des cancers, des vieillissements de peau ou des maladies du système immunitaire. En effet, les UV sont des rayonnements à très haute intensité.

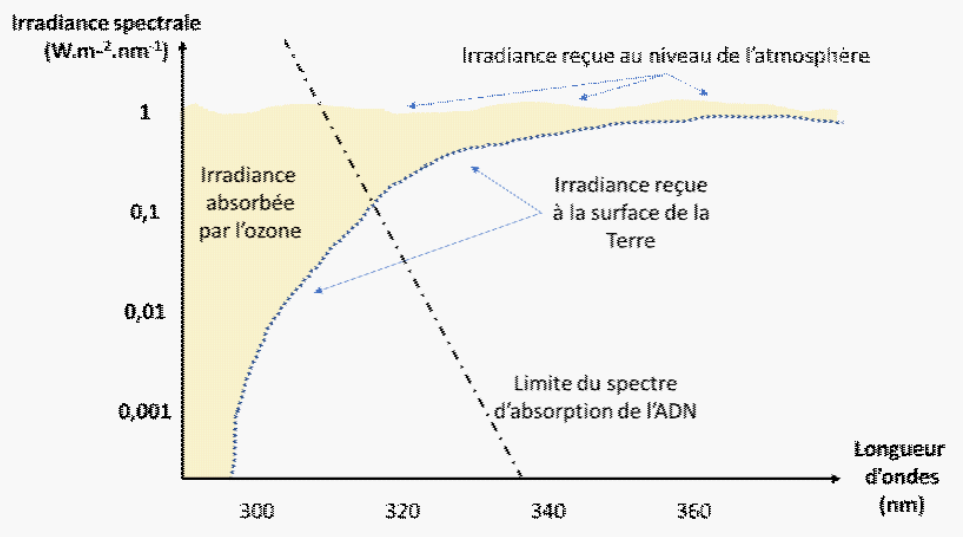
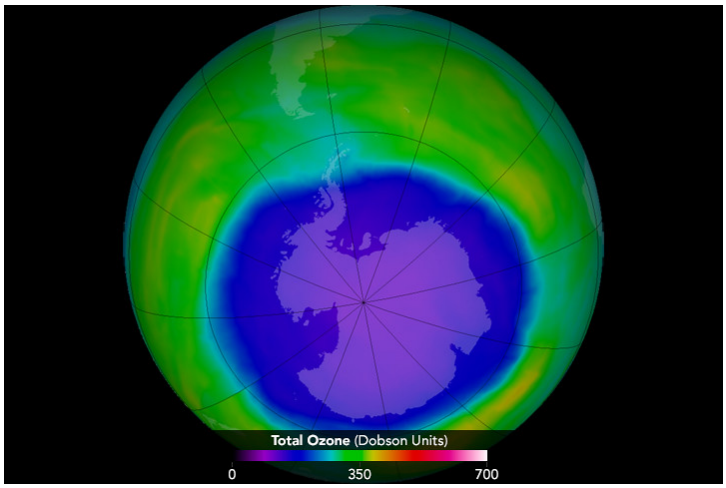


Schéma refait et tiré du livre scolaire p22 car demandé pour le BO

Cependant, la couche d'ozone n'a pas toujours été présente de manière homogène. Plusieurs fois un déficit d'ozone s'est soldé par l'apparition d'un trou de la couche d'ozone notamment au-dessus du pôle sud comme nous montre cette image.

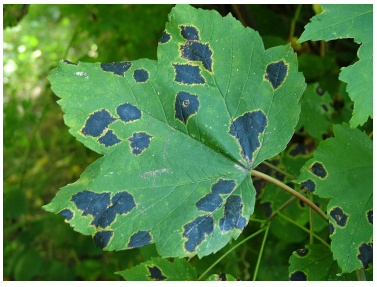


L'ESSENTIEL

Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le dioxygène peut se transformer par réaction chimique en ozone. Celui-ci forme une couche permanente de concentration maximale située à une altitude d'environ 30 km. La couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.

Voici quelques images des risques naturels liés au trou de la couche d'ozone comme la formation de pluie acide qui détruisent les forêts et provoquent la dépigmentation des plantes :





JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Expliquer la nature et le rôle de l'ozone dans l'équilibre terrestre en utilisant les termes dioxygène, rayonnement ultra-violet, couche d'ozone, mutation, ADN et cancers.

L'ozone est une molécule issue du dioxygène. A haute atmosphère, celle-ci permet la formation d'une couche qui absorbe une partie des rayonnements ultra-violet. Ces rayonnements sont de haute-intensité pouvant créer des mutations dans l'ADN. Celles-ci peuvent rester silencieuses, mais peuvent aussi provoquer des maladies comme des cancers. L'ozone est donc une protection pour la vie terrestre et permet son développement.

04 L'ATMOSPHÈRE TERRESTRE ET LA VIE

Le cycle du carbone

L'oxygène n'est pas le seul atome vital pour la vie terrestre. Un autre est fondamental : le carbone.

RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

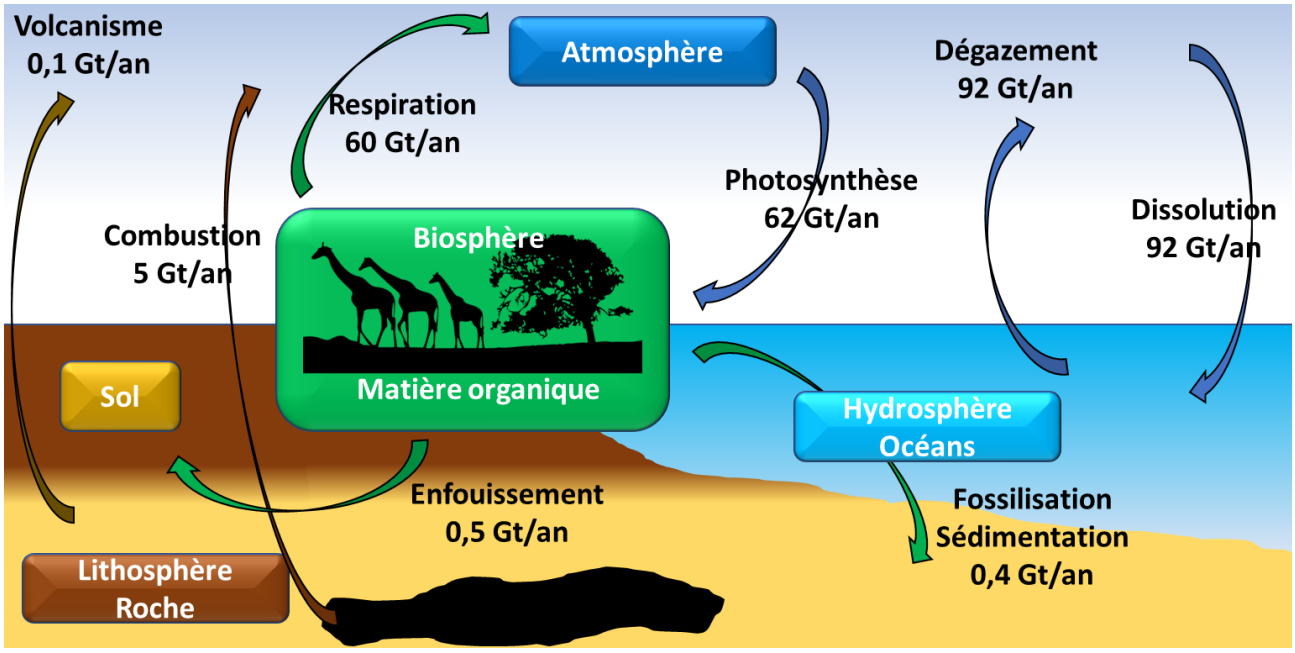
En vous appuyant sur le texte ci-dessous, définissez l'importance du carbone dans la vie terrestre.

« Le carbone forme la charpente de toutes les molécules organiques composant les êtres vivants, en association avec l'oxygène, l'azote, le phosphate et l'hydrogène, notamment. C'est grâce à la photosynthèse que le carbone présent dans l'air sous forme inorganique - le dioxyde de carbone (CO_2, le fameux gaz à effet de serre) - est capté par les végétaux et transformé en matière organique. C'est cette forme organique qui permet aux animaux herbivores de fabriquer les sucres, les lipides et les protéines qui les constituent. D'autres animaux, dont les humains, en profitent aussi, en consommant des végétaux et des herbivores. »

Docteur Elisa Radosta, 28 avril 2016, https://www.rts.ch/decouverte/sante-et-medecine/corps-humain/7684512-quel-est-le-role-du-carbone-dans-l-organisme-.html

Le carbone est l'atome de base de toutes les molécules organiques sur Terre. Or ces molécules organiques permettent notamment la fabrication de sucres, de lipides et de protéines. Une fois que ces stocks sont formés, toute la chaîne alimentaire en profite jusqu'à l'Homme. Le carbone est donc un atome vital pour la vie terrestre.

Ce carbone se trouve stocké dans de nombreux endroits sur Terre comme l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches (appelées aussi lithosphère). De multiples échanges ont lieu entre les différents réservoirs comme le montre le réservoir suivant.



Reformulé à partir de celui fertilisation-edu.fr

L'ensemble de ces échanges constitue le cycle du carbone sur Terre. Ces échanges entre les différents réservoirs présentés sont quantifiés par des flux (Gigatonne/an).

RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Convertissez en écriture scientifique une gigatonne en kilogrammes.

1 Gt = $1x10^{12}$ kg

Si les flux mis en avant par ce schéma sont si importants, c'est tout simplement que les réservoirs sur Terre de carbone sont massifs. Plus exactement, quatre réservoirs sont présents :

- La lithosphère : 37 000 000 Gt.
- La biosphère : 39 000 Gt.
- La biomasse : 2 000 Gt.
- L'atmosphère : 750 Gt.

On considère que les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes si les quantités de carbone captées et libérées par la Terre sont égales. Les échanges de carbone ainsi que les réservoirs forment le cycle du carbone sur Terre.

L'ESSENTIEL

Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches. Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des flux (tonnes/an). Les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes lorsque les flux sont équilibrés. L'ensemble de ces échanges constitue le cycle du carbone sur Terre.

JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

A partir du schéma de la page précédente, déterminer les quantités de carbone captées et libérée par la Terre par an

Que remarquez-vous ?

Quantité de carbone captée par la Terre = dissolution + photosynthèse + fossilisation / sédimentation + enfouissement = 154,9 Gt/an. Quantité de carbone libérée par la Terre = volcanisme + combustion + respiration + dégazement = 157,1 Gt/an. Les valeurs calculées sont très similaires. Les flux sont quasiment équilibrés ce qui crée un cycle perpétuel de formation du carbone.

Intéressons-nous maintenant plus précisément à l'enfouissement de la matière organique terrestre et aquatique. Celle-ci se décompose et forme des combustibles fossiles de deux types : le charbon et le pétrole.

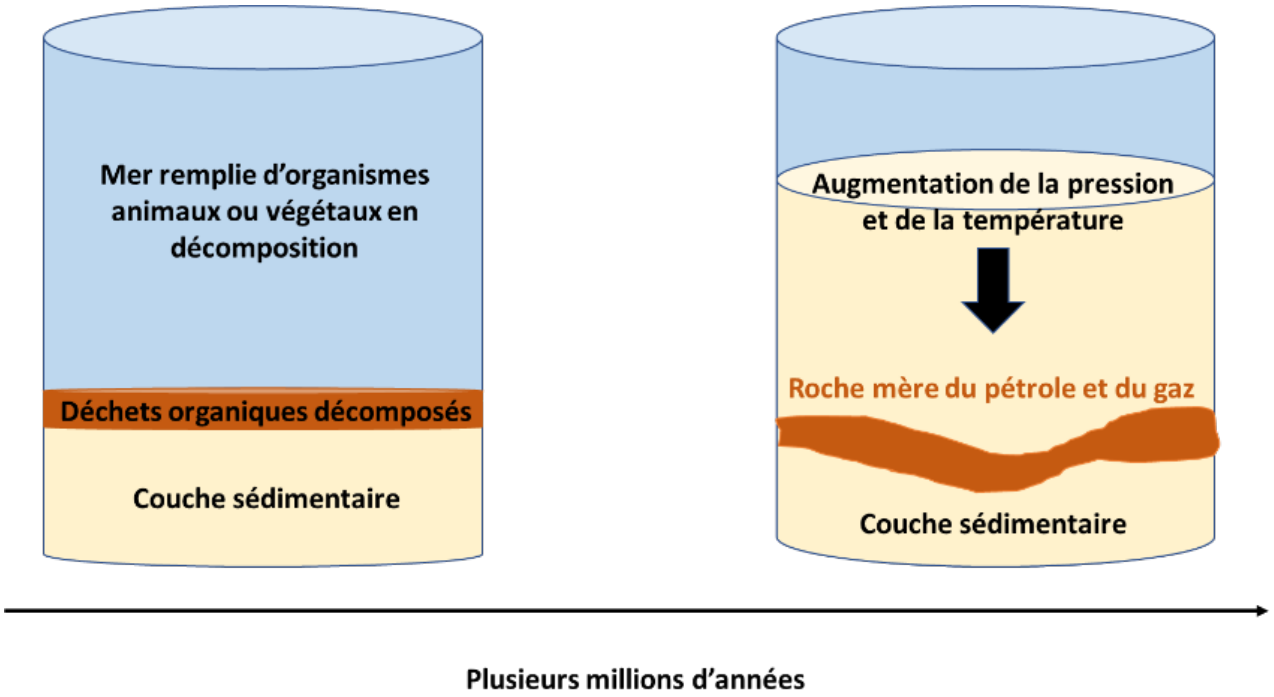
L'ESSENTIEL

On appelle « énergie fossile » l'énergie produite par la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel. Ces combustibles, riches en carbone et hydrogène, sont issus de la transformation de matières organiques enfouies dans le sol pendant des millions d'années (d'où le terme "fossiles"). Ce sont des énergies non renouvelables à échelle humaine puisqu'elles sont utilisées de manière beaucoup plus rapide que le temps qu'il a fallu pour qu'elles se forment.

Plus exactement, il existe deux grands types d'énergies fossiles : le charbon et le pétrole. Ces hydrocarbures ont deux origines différentes.

Le charbon est issu de l'enfouissement rapide de matière organique au niveau des continents. La plupart des charbons exploitables se sont formés il y a 360 à 300 millions d'années. Leur processus de formation est donc très long.

Le pétrole et le gaz sont aussi issus d'un processus qui s'étend aussi sur des millions d'années. Il débute par l'accumulation de matières organiques dans les océans qui sous l'action de bactéries se transforment en boues puis en « roches-mères ». Les hydrocarbures (pétrole et gaz) s'y forment puis entament une migration vers la surface pour se concentrer en gisements.



Afin de mieux comprendre la formation du pétrole, voici ci-joint la méthode de formation du pétrole en vidéo. https ://www.youtube.com/watch ?v=TCIO38TCspk « C'est pas sorcier » sur le pétrole. La formation du pétrole y est expliquée à partir de 2'20''.



POUR ALLER PLUS LOIN

« Le Trou d'ozone en Antarctique De la découverte au rétablissement, un Voyage Scientifique »

L'UN Environnement Program propose un reportage sur l'histoire du trou de la couche d'ozone

Retrouver sur Youtube.

https://www.youtube.com/watch?time_continue=70&v=2PaqpLzjR7w&feature=emb_logo

LE TEMPS DU BILAN

- L'atmosphère terrestre n'a cessé d'évoluer depuis la formation de la Terre, passant d'une atmosphère primitive à l'atmosphère actuelle. Elle a évolué passant d'une composition de gaz dits légers à des gaz plus lourds. La caractéristique majeure de l'atmosphère primitive est l'absence d'oxygène.

- L'eau présente dans l'atmosphère primitive de la Terre va se liquéfier sous l'effet du refroidissement de la température à la surface de la planète. Ce changement d'état physique a provoqué la formation des océans. On dit que l'hydrosphère s'est formée.

- Ce sont les cyanobactéries qui par leurs activités photosynthétiques ont permis l'apparition du dioxygène. La photosynthèse en présence de lumière a permis l'oxydation de l'eau et la formation du dioxygène. L'environnement marin s'est d'abord oxydé formant ainsi des dépôts de couches sédimentaires successifs. Une fois l'océan saturé, le dioxygène a fait son apparition dans l'atmosphère terrestre jusqu'à atteindre la concentration actuelle il y a 500 millions d'années.

- Le fer peut être oxydé par du dioxygène sous forme d'oxyde de fer de formule générale Fe_xO_y. Il existe trois oxydes de fer : FeO, Fe_2O_3 et Fe_3O_4. Ceux-ci sont obtenus par les réactions suivantes :

  - $2\ Fe + O_2 \rightarrow 2\ FeO$ $\quad 4\ Fe + 3\ O_2 \rightarrow 2\ Fe_2O_3$ $\quad 3\ Fe + 2\ O_2 \rightarrow Fe_3O_4$

- Plusieurs mécanismes naturels consomment ou créent du dioxyde de carbone et du dioxygène comme la respiration, la combustion et la photosynthèse. D'une manière générale :

  - Un puits de dioxygène est un élément naturel qui consomme du dioxygène (homme, animaux).
  - Une source de dioxygène est un élément naturel qui crée du dioxygène (plante lors de la photosynthèse).

- Sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, le dioxygène peut se transformer par réaction chimique en ozone. Celui-ci forme une couche permanente de concentration maximale située à une altitude d'environ 30 km. La couche d'ozone absorbe une partie du rayonnement ultraviolet solaire et protège les êtres vivants de ses effets mutagènes.

- Le carbone est stocké dans plusieurs réservoirs superficiels : l'atmosphère, les sols, les océans, la biosphère et les roches. Les échanges de carbone entre ces réservoirs sont quantifiés par des flux (tonne/an). Les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes lorsque les flux sont équilibrés. L'ensemble de ces échanges constitue le cycle du carbone sur Terre.

- On appelle « Combustible fossile » l'énergie produite par la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel. Ces combustibles, riches en carbone et hydrogène, sont issus de la transformation de matières organiques enfouies dans le sol pendant des millions d'années (d'où le terme "fossiles").

- Ce sont des énergies non renouvelables à échelle humaine puisqu'elles sont utilisées de manière beaucoup plus rapide que le temps qu'il a fallu pour qu'elles se forment.

EXERCICES

Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances.
Les exercices ont été classés dans un ordre d'approfondissement croissant.
Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

EXERCICE 01

Répondez à ces quelques questions à choix multiple.

1. L'atmosphère primitive était composée :
   a) Du diazote, de dioxygène et de l'argon.
   b) Du dioxyde de carbone, du dioxygène et de l'argon.
   c) De la vapeur d'eau, de l'oxyde nitreux et du méthane.
   d) De l'ozone, du méthane et du dioxyde de carbone.

2. Quel est le gaz majeur absent de l'atmosphère primitive ?
   a) Le diazote.
   b) Le dioxygène
   c) Le dioxyde de carbone.
   d) La vapeur d'eau.

3. Quel phénomène est à l'origine de la formation de l'hydrosphère ?
   a) Le refroidissement de la surface de la planète.
   b) Le réchauffement de la surface de la planète.
   c) L'apparition de la vie.
   d) L'impact de météorites.

4. Le dioxygène est issu de la photosynthèse :
   a) De la réaction chimique de l'eau avec elle-même.
   b) De la photosynthèse de cyanobactéries.
   c) De la respiration des animaux.
   d) D'une réaction chimique entre l'eau et les stromatolithes.

5. La grande oxydation est :
   a) L'apparition du dioxygène dans l'air puis dans l'eau.
   b) L'apparition du dioxygène dans l'eau puis dans l'air.
   c) La disparition du dioxygène de l'air puis dans l'eau.
   d) La disparition du dioxygène dans l'eau puis dans l'air.

6. L'ozone est :
   a) Un gaz de l'atmosphère primitive.
   b) Un gaz sans importance particulière pour la vie terrestre.
   c) Un gaz qui rayonne du rayonnement ultraviolet.
   d) Un gaz qui absorbe du rayonnement ultraviolet.

7. Le cycle du carbone est :
   a) Le cycle chimique d'apparition et de disparition du carbone lors de réactions.
   b) L'ensemble des échanges du carbone sous différentes formes entre les réservoirs présents sur terre.
   c) Le nom du cycle à l'origine du dioxyde de carbone.
   d) Le nom des différentes réactions physiques du carbone lors de ces changements d'états.

8. Lors d'une réaction de combustion sont formés :
   a) Le carbone et la vapeur d'eau.
   b) Le dioxygène et de l'eau.
   c) Le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau.
   d) Le dioxygène et la vapeur d'eau.

9. Les énergies fossiles :
   a) Sont issues de la transformation de matière minérale.
   b) Peuvent être des énergies renouvelables à l'échelle humaine.
   c) Sont à la base du phénomène d'oxydation.
   d) Sont riches en carbone et hydrogène.

10. Le diagramme de l'eau permet :
   a) De connaître les états physiques de l'eau selon sa concentration et sa pression.
   b) De connaître les états physiques de l'eau selon sa concentration et sa température.
   c) De connaître les états physiques de l'eau selon sa pression et sa température.
   d) De connaître les états physiques de l'eau selon sa pureté et sa pression.

EXERCICE 02

Vrai ou Faux ?

	V / F
1. L'atmosphère terrestre actuelle est différente de l'atmosphère dite « primitive » de la Terre.	
2. Le dioxygène a toujours été présent dans l'atmosphère.	
3. La Terre n'a subi aucune variation de température.	
4. Les premières traces de vies sont apparues avant la formation du dioxygène.	
5. Les oxydes de fer rubanés, ces grands blocs de pierre, sont issus de la précipitation d'ions Fe^{3+} en fer solide.	
6. Le mécanisme de photosynthèse est $C_6H_{12}O_6$ (glucose) + 6 O_2 → 6 CO_2 + 6 H_2O.	
7. Un puits de dioxygène est un élément naturel qui consomme du dioxygène (homme, animaux).	
8. Une source de dioxygène est un réservoir de dioxygène.	
9. On appelle « énergie fossile » l'énergie produite par la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel.	
10. Le trou dans la couche d'ozone est un danger pour la vie terrestre.	

EXERCICE 03

Définissez les mots suivants :

L'hydrosphère : .....

La Grande Oxydation : .....

.....

Un puits de dioxygène : .....

Une source de dioxygène : .....

Une énergie fossile : .....

.....

.....

.....

EXERCICE 04

« La Grande Oxydation est une crise écologique qui a eu lieu vers -2,4 milliards d'années, au Paléoprotérozoïque, dans les océans et l'atmosphère terrestre. Elle se serait produite au moment où les organismes photosynthétiques, comme ceux à l'origine des stromatolithes, seraient devenus suffisamment nombreux pour libérer de grandes quantités d'oxygène dans les océans. L'océan mondial contenait alors beaucoup de fer en solution et celui-ci a naturellement réagi avec l'oxygène massivement dégagé pour ensuite précipiter. Les gisements de fer rubanés, preuve de la Grande Oxydation. On en a des preuves avec les célèbres gisements de fer rubanés (en anglais, banded iron formation, abrégé en Bif) qui se sont déposés à cette période. Comme le fer n'a rapidement plus été en mesure de capturer l'oxygène dégagé, celui-ci est parti dans l'atmosphère qui s'est brutalement enrichie en O2. À cette époque, les plages avaient donc la couleur de la rouille. Les spécialistes en géosciences ont aussi désigné cet événement par le terme de crise de l'oxygène car pour beaucoup d'organismes vivants de l'époque, une telle quantité d'oxygène était toxique. »

Extrait de futura-science.com (https ://www.futura-sciences.com/planete/definitions/geologie-grande-oxydation-11051/)

- A quel phénomène renvoie l'expression « Grande Oxydation » ?

- Quel phénomène biochimique est mis en avant ?

- Une fois l'oxygène dissous ayant atteint sa concentration maximale dans l'eau, que s'est-il passé ?

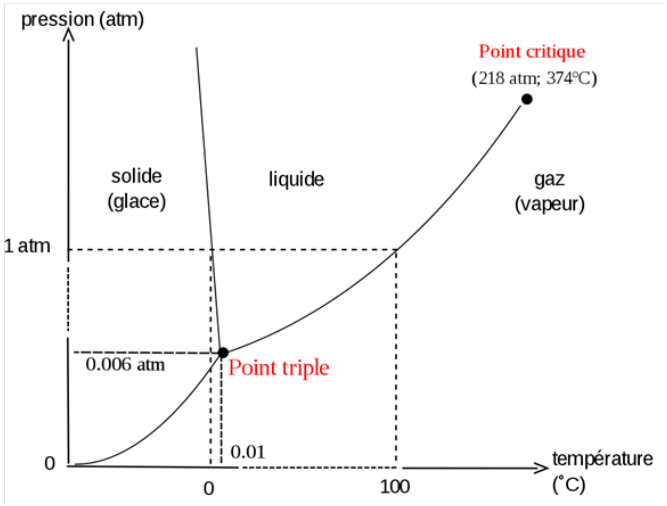
EXERCICE 05

Atmosphère et planètes

Document 1 : caractéristiques des planètes telluriques

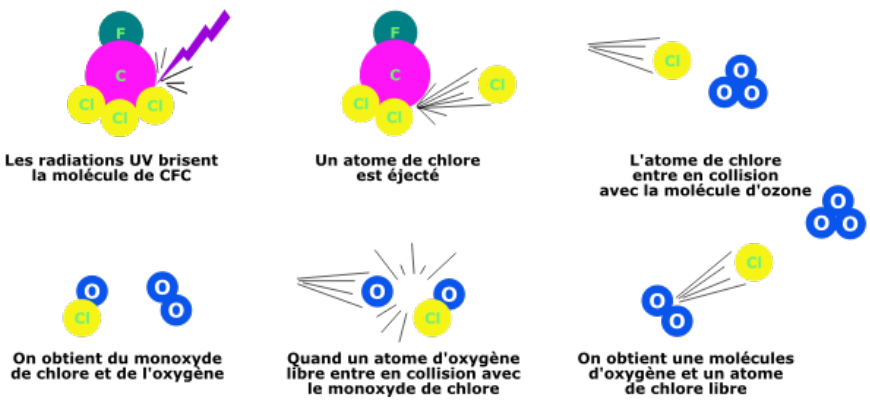
	Terre	Mars	Vénus
Température (°C)	15	-50	460
Pression (atm)	1	0,006	90
Concentration en dioxygène	21%	0,15%	Pas de dioxygène
Présence d'eau	Sous les trois formes mais majoritairement liquide	Majoritairement sous forme de glace	Traces de vapeur d'eau dans l'atmosphère

Document 2 : diagramme de l'état de l'eau



A partir de ces documents, justifier la disparité de présence d'eau sur les planètes telluriques.

EXERCICE 06



Ce document justifie-t-il l'interdiction des CFC en 1987 ?

EXERCICE 07

Oxydoréduction

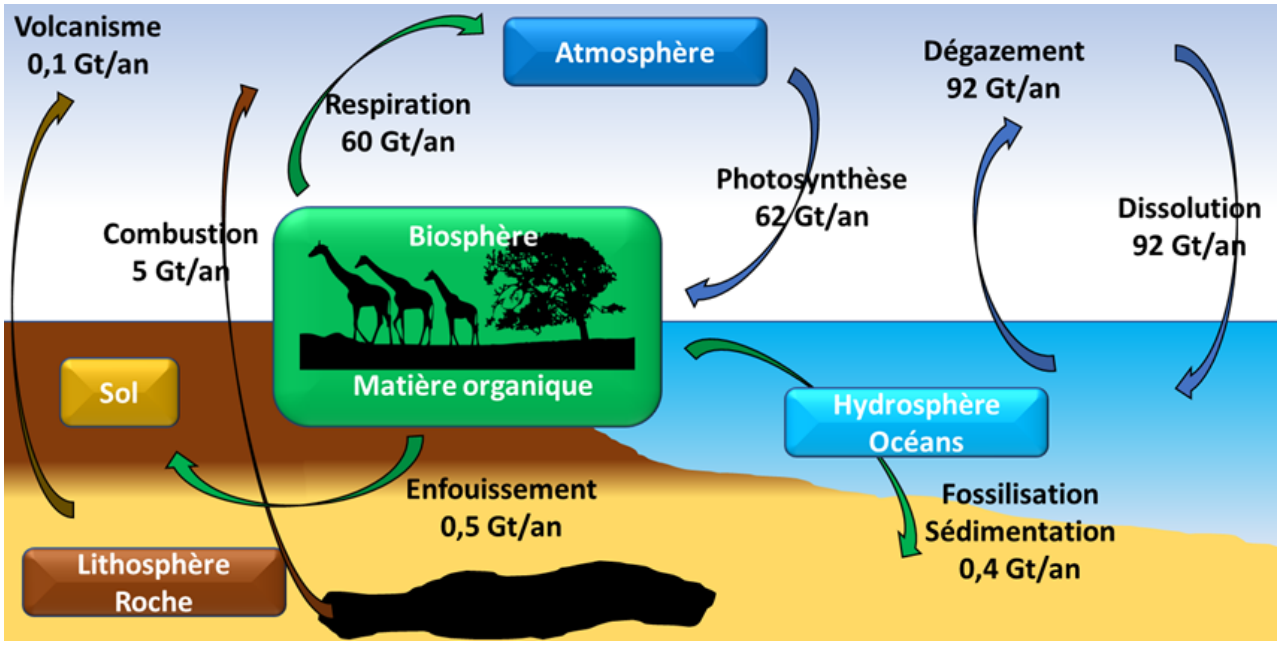
Ajuster les équations suivantes :

… Fe +… O_2 →… FeO
… Fe +… O_2 →… Fe_2O_3
… Fe +… O_2 →… Fe_3O_4

Le principe de Lavoisier stipule que chaque atome doit être présent en même quantité dans les réactifs et les produits.

EXERCICE 08

Les flux autour du carbone.



- A quoi correspond ce schéma ?

- Quel est la caractéristique du cycle valorisé par ce schéma ?

- D'après vos connaissances, quels sont les quatre réservoirs principaux en carbone ? Lequel est le plus important ?

EXERCICE 09

Les énergies fossiles

Au fil des siècles, des fragments de roches et des minéraux issus de l'érosion ainsi que de la matière organique, essentiellement du plancton et du phytoplancton, se déposent sous forme de sédiments.

Des sédiments à la roche-mère

Ceux-ci sont progressivement enfouis sous plusieurs centain es de kilomètres d'autres couches sédimentaires. Le processus peut prendre plusieurs millions d'années (soixante en moyenne) et plus il est lent, meilleure est la conserva tion de la matière organique. Si les conditions sont bonnes, on observe la formation d'une roche -mère qui renferme dans ses porosités de la matière organique préservée.

La présence dans les sédiments de 1 à 2 % de matière organique suffit à espérer la form ation d'hydrocarbures. Cependant, plus il y a de matière organique dans les sédiments , plus le potentiel de formation d'hydrocarbures est important.

À un kilomètre sous terre, la température atteint environ 60 °C et la pression quelque 250 bars. La matière organique se transforme alors en kérogène, un mélange d'eau, de CO_2, d'hydrogène et de carbone dans des proportions diverses.

Lorsque la température et la pression augmentent encore avec l'enfouissement, entre 2.000 et 3.800 mètres, les roches-mères entrent dans ce que l'on appelle « la fenêtre à huile ». Les liaisons chimiques du kérogène se brisent. Les atomes de carbone et d'hydrogène se recombinent pour former du pétrol Selon la composition initiale du kérogène et les conditions thermodynamiques de l 'environnement, cela se produit à une température comprise entre 60 et 120 °C.

Extrait de futura-science.com, Nathalie Mayer, le 14/05/2017

Expliquer à partir de ce document et de vos connaissances, le caractère non-durable du pétrole mais aussi ses dangers au niveau de l'environnement et du climat.

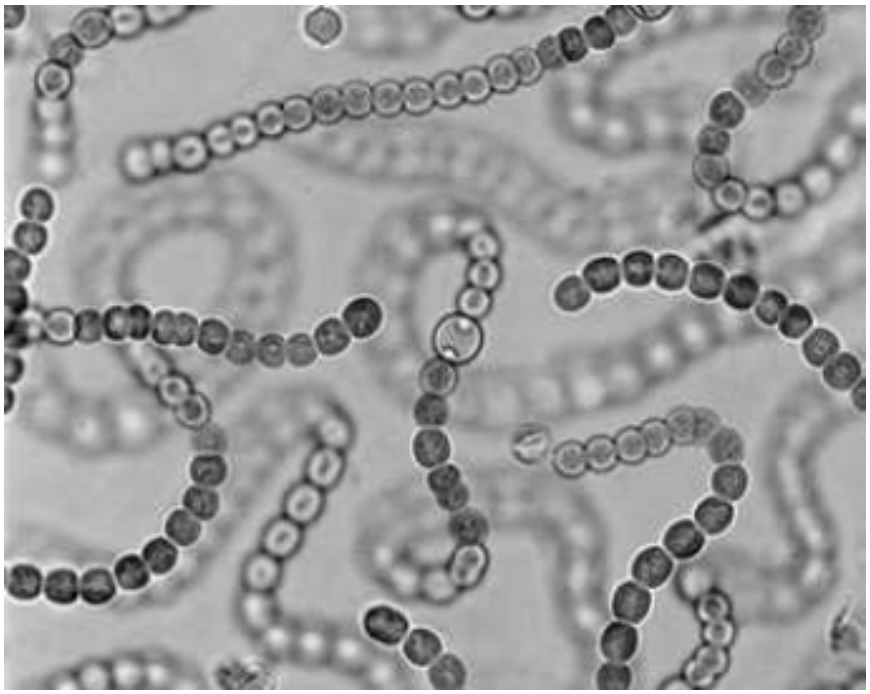
EXERCICE 10

Les cyanobactéries

Document 1 : caractéristiques des cyanobactéries actuelles

Les cyanobactéries sont des organismes microscopiques procaryotes. Leur cytoplasme contient notamment des pigments chlorophylliens.

Photographie au microscope optique de cyanobactéries actuelles (genre Nostoc)

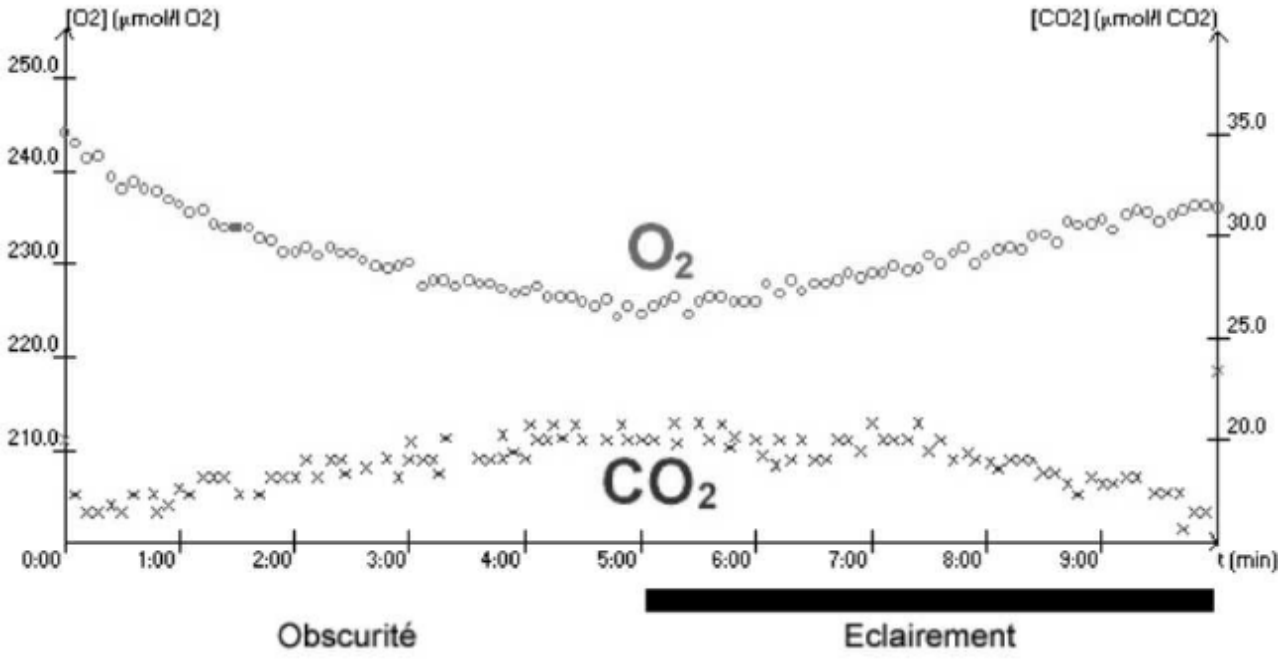


D'après le site http://www.pasteur.fr

Document 2 : métabolisme des cyanobactéries actuelles

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

Évolution des teneurs en dioxygène et dioxyde de carbone de la culture de cyanobactéries



Justifier à partir de ce document une potentielle origine du dioxygène à l'origine de la « Grande Oxydation » et le phénomène dont il est issu.