



COURS PI

☆ *L'école sur-mesure* ☆

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

Terminale - Module 1 - Science, climat et société

Enseignement Scientifique

v.5.1



- ✓ **Guide de méthodologie**
pour appréhender notre pédagogie
- ✓ **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

www.cours-pi.com

Paris & Montpellier



EN ROUTE VERS LE BACCALAURÉAT

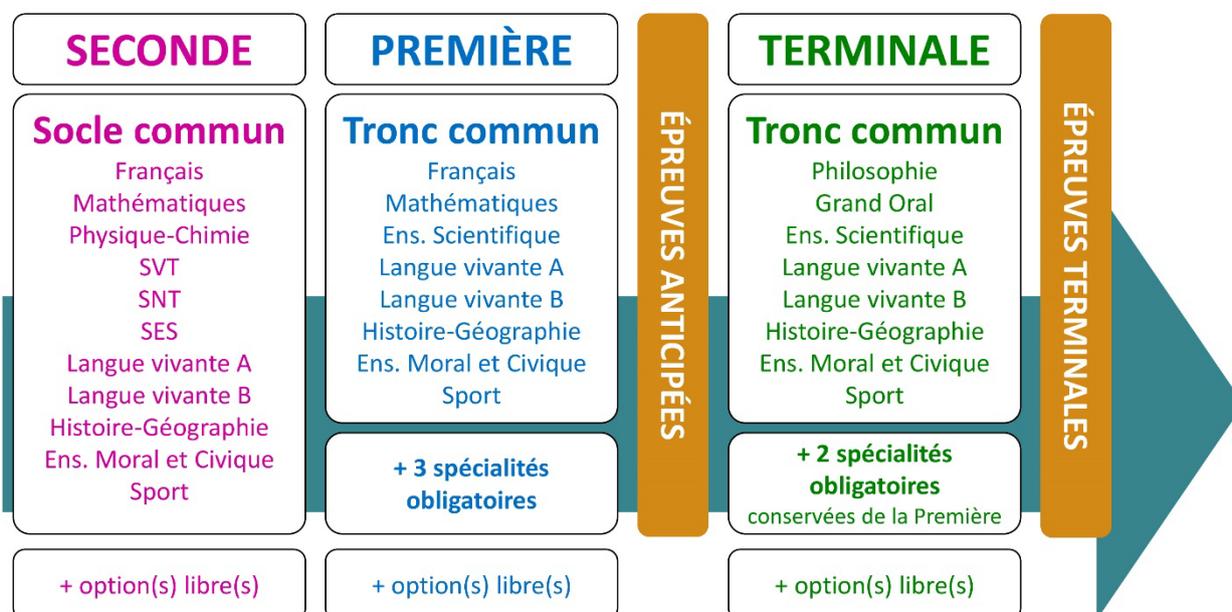
Comme vous le savez, la **réforme du Baccalauréat** est entrée en vigueur progressivement jusqu'à l'année 2021, date de délivrance des premiers diplômes de la nouvelle formule.

Dans le cadre de ce nouveau Baccalauréat, **notre Etablissement**, toujours attentif aux conséquences des réformes pour les élèves, s'est emparé de la question avec force **énergie** et **conviction** pendant plusieurs mois, animé par le souci constant de la réussite de nos lycéens dans leurs apprentissages d'une part, et par la **pérennité** de leur parcours d'autre part. Notre Etablissement a questionné la réforme, mobilisé l'ensemble de son atelier pédagogique, et déployé tout **son savoir-faire** afin de vous proposer un enseignement tourné continuellement vers l'**excellence**, ainsi qu'une scolarité tournée vers la **réussite**.

- Les **Cours Pi** s'engagent pour faire du parcours de chacun de ses élèves un **tremplin vers l'avenir**.
- Les **Cours Pi** s'engagent pour ne pas faire de ce nouveau Bac un diplôme au rabais.
- Les **Cours Pi** vous offrent **écoute** et **conseil** pour coconstruire une **scolarité sur-mesure**.

LE BAC DANS LES GRANDES LIGNES

Ce nouveau Lycée, c'est un enseignement à la carte organisé à partir d'un large tronc commun en classe de Seconde et évoluant vers un parcours des plus spécialisés année après année.



CE QUI A CHANGÉ

- Il n'y a plus de séries à proprement parler.
- Les élèves choisissent des spécialités : trois disciplines en classe de Première ; puis n'en conservent que deux en Terminale.
- Une nouvelle épreuve en fin de Terminale : le Grand Oral.
- Pour les lycéens en présentiel l'examen est un mix de contrôle continu et d'examen final laissant envisager un diplôme à plusieurs vitesses.
- Pour nos élèves, qui passeront les épreuves sur table, le Baccalauréat conserve sa valeur.

CE QUI N'A PAS CHANGÉ

- Le Bac reste un examen accessible aux candidats libres avec examen final.
- Le système actuel de mentions est maintenu.
- Les épreuves anticipées de français, écrit et oral, tout comme celle de spécialité abandonnée se dérouleront comme aujourd'hui en fin de Première.



A l'occasion de la réforme du Lycée, nos manuels ont été retravaillés dans notre atelier pédagogique pour un accompagnement optimal à la compréhension. Sur la base des programmes officiels, nous avons choisi de créer de nombreuses rubriques :

- **Suggestions de lecture** pour s'ouvrir à la découverte de livres de choix sur la matière ou le sujet
- **Réfléchissons ensemble** pour guider l'élève dans la réflexion
- **L'essentiel** et **Le temps du bilan** pour souligner les points de cours à mémoriser au cours de l'année
- **Pour aller plus loin** pour visionner des sites ou des documentaires ludiques de qualité
- Et enfin... la rubrique **Les Clés du Bac by Cours Pi** qui vise à vous donner, et ce dès la seconde, toutes les cartes pour réussir votre examen : notions essentielles, méthodologie pas à pas, exercices types et fiches étape de résolution !

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.

PRÉSENTATION

Aujourd'hui, tout scientifique est confronté à la communication. Sa recherche n'est utile pour la société que si elle est communiquée, vulgarisée et expliquée. Savoir commenter des données, argumenter un point de vue scientifique et développer un raisonnement sont des qualités indéniables d'un chercheur ou d'un ingénieur dont les fondamentaux s'apprennent depuis le plus jeune âge.

La discipline « enseignement scientifique » va non seulement permettre aux élèves de constituer leur socle de connaissances culturelles et notionnelles scientifiques, mais aussi de les préparer à analyser, commenter, communiquer et argumenter ses raisonnements, qualités utiles à tout citoyen, à une époque où les grandes questions scientifiques deviennent la responsabilité de chacun.

Ce sont ces compétences qui seront évaluées au baccalauréat et c'est à cela que va vous préparer par étapes, de façon très guidée, ce module d'enseignement scientifique.

CONSEILS A L'ÉLÈVE

Vous disposez d'un support de Cours complet : **prenez le temps** de bien le lire, de le comprendre mais surtout de **l'assimiler**. Vous disposez pour cela d'exemples donnés dans le cours et d'exercices types corrigés. Vous pouvez rester un peu plus longtemps sur une unité mais travaillez régulièrement.

LES FOURNITURES

Vous devez posséder :

- une **calculatrice graphique pour l'enseignement scientifique au Lycée comportant un mode examen (requis pour l'épreuve du baccalauréat)**.
- un **tableur** comme Excel de Microsoft (payant) ou Calc d'Open Office (gratuit et à télécharger sur <http://fr.openoffice.org/>). En effet, certains exercices seront faits de préférence en utilisant un de ces logiciels, mais vous pourrez également utiliser la calculatrice).

LES DEVOIRS

Les devoirs constituent le moyen d'évaluer l'acquisition de **vos savoirs** (« Ai-je assimilé les notions correspondantes ? ») et de **vos savoir-faire** (« Est-ce que je sais expliquer, justifier, conclure ? »).

Placés à des endroits clés des apprentissages, ils permettent la vérification de la bonne assimilation des enseignements.

Aux *Cours Pi*, vous serez accompagnés par un **professeur selon chaque matière** tout au long de votre année d'étude. Référez-vous à votre « Carnet de Route » pour l'identifier et découvrir son parcours.

Avant de vous lancer dans un devoir, assurez-vous d'avoir **bien compris les consignes**.

Si vous repérez des difficultés lors de sa réalisation, n'hésitez pas à le mettre de côté et à revenir sur les leçons posant problème. **Le devoir n'est pas un examen**, il a pour objectif de s'assurer que, même quelques jours ou semaines après son étude, une notion est toujours comprise.

Aux Cours Pi, chaque élève travaille à son rythme, parce que chaque élève est différent et que ce mode d'enseignement permet le « sur-mesure ».

Nous vous engageons à respecter le moment indiqué pour faire les devoirs. Vous les identifierez par le bandeau suivant :



Vous pouvez maintenant
faire et envoyer le **devoir n°1**



Il est **important de tenir compte des remarques, appréciations et conseils du professeur-correcteur**. Pour cela, il est **très important d'envoyer les devoirs au fur et à mesure** et non groupés. **C'est ainsi que vous progresserez !**

Donc, dès qu'un devoir est rédigé, envoyez-le aux *Cours Pi* par le biais que vous avez choisi :

- 1) Par **soumission en ligne** via votre espace personnel sur **PoulPi**, pour un envoi **gratuit, sécurisé** et plus **rapide**.
- 2) Par **voie postale** à *Cours Pi*, 9 rue Rebuffy, 34 000 Montpellier
Vous prendrez alors soin de joindre une **grande enveloppe libellée à vos nom et adresse**, et **affranchie au tarif en vigueur** pour qu'il vous soit retourné par votre professeur

N.B. : quel que soit le mode d'envoi choisi, vous veillerez à **toujours joindre l'énoncé du devoir** ; plusieurs énoncés étant disponibles pour le même devoir.

N.B. : si vous avez opté pour un envoi par voie postale et que vous avez à disposition un scanner, nous vous engageons à conserver une copie numérique du devoir envoyé. Les pertes de courrier par la Poste française sont très rares, mais sont toujours source de grand mécontentement pour l'élève voulant constater les fruits de son travail.

VOTRE RESPONSABLE PÉDAGOGIQUE

Professeur des écoles, professeur de français, professeur de maths, professeur de langues : notre Direction Pédagogique est constituée de spécialistes capables de dissiper toute incompréhension.

Au-delà de cet accompagnement ponctuel, notre Etablissement a positionné ses Responsables pédagogiques comme des « super profs » capables de co-construire avec vous une scolarité sur-mesure.

En somme, le Responsable pédagogique est votre premier point de contact identifié, à même de vous guider et de répondre à vos différents questionnements.

Votre Responsable pédagogique est la personne en charge du suivi de la scolarité des élèves.

Il est tout naturellement votre premier référent : une question, un doute, une incompréhension ? Votre Responsable pédagogique est là pour vous écouter et vous orienter. Autant que nécessaire et sans aucun surcoût.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

QUEL
EST
SON
RÔLE ?

Orienter les parents et les élèves.

Proposer la mise en place d'un accompagnement individualisé de l'élève.

Faire évoluer les outils pédagogiques.

Encadrer et **coordonner** les différents professeurs.

VOS PROFESSEURS CORRECTEURS

Notre Etablissement a choisi de s'entourer de professeurs diplômés et expérimentés, parce qu'eux seuls ont une parfaite connaissance de ce qu'est un élève et parce qu'eux seuls maîtrisent les attendus de leur discipline. En lien direct avec votre Responsable pédagogique, ils prendront en compte les spécificités de l'élève dans leur correction. Volontairement bienveillants, leur correction sera néanmoins juste, pour mieux progresser.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Une question sur sa correction ?

- faites un mail ou téléphonez à votre correcteur et demandez-lui d'être recontacté en lui laissant **un message avec votre nom, celui de votre enfant et votre numéro.**
- autrement pour une réponse en temps réel, appelez votre Responsable pédagogique.

LE BUREAU DE LA SCOLARITÉ

Placé sous la direction d'Elena COZZANI, le Bureau de la Scolarité vous orientera et vous guidera dans vos démarches administratives. En connaissance parfaite du fonctionnement de l'Etablissement, ces référents administratifs sauront solutionner vos problématiques et, au besoin, vous rediriger vers le bon interlocuteur.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

04.67.34.03.00

scolarite@cours-pi.com



CHAPITRE 1. L'atmosphère terrestre et la vie 5

Q 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 O₂ 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

Q 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 CO₂, 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

Q 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

Q 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 CO₂ 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 137



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'ÉVALUATION

« 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 DURÉE DE L'ÉPREUVE

« Durée de chaque épreuve : 2 heures ».

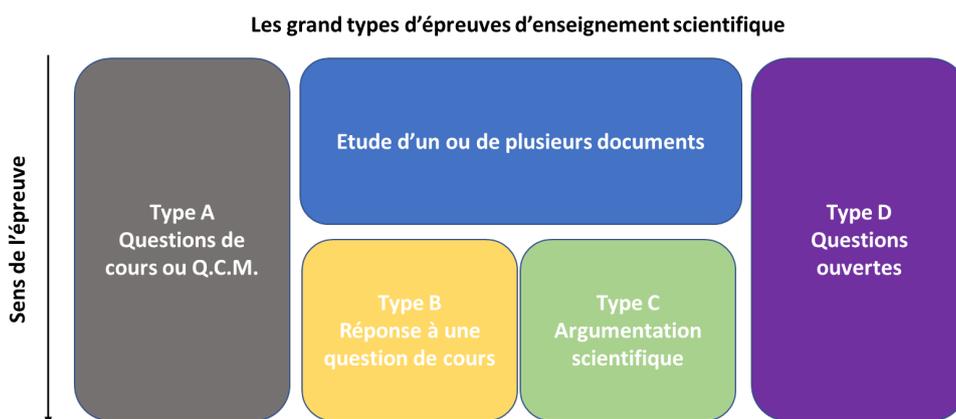
NOTATION DE L'ÉPREUVE

« 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 reconnaître 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 :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> aléatoire. | <input type="checkbox"/> prévisible. |
| <input type="checkbox"/> égale à 5730 ans. | <input type="checkbox"/> 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 :

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> du nombre initial de noyaux. | <input type="checkbox"/> du volume de l'échantillon. |
| <input type="checkbox"/> de la nature chimique des noyaux. | <input type="checkbox"/> de la température. |

Ces questions de cours ou ces questions à choix multiples ne feront jamais l'objet d'un exercice complet. Elles apparaîtront très souvent dans chaque exercice et ont pour but de rassurer l'élève, de lui permettre d'acquiescer 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

Mouchage de torche

Trait réalisé au charbon de bois



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)

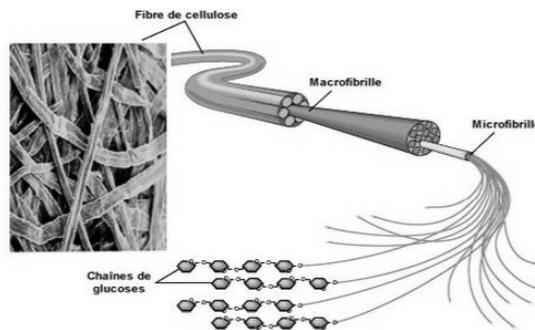
Sources : Dossier Pour La Science n°42 janvier Mars 2004

Hélène Valladas, Jean Cottés 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 enchaînement de plusieurs glucoses de formule $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 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/P_0 du nombre d'atomes ^{14}C résiduel (P) sur le nombre d'atomes présents moment de la mort (P_0) 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/P_0 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/P_0 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

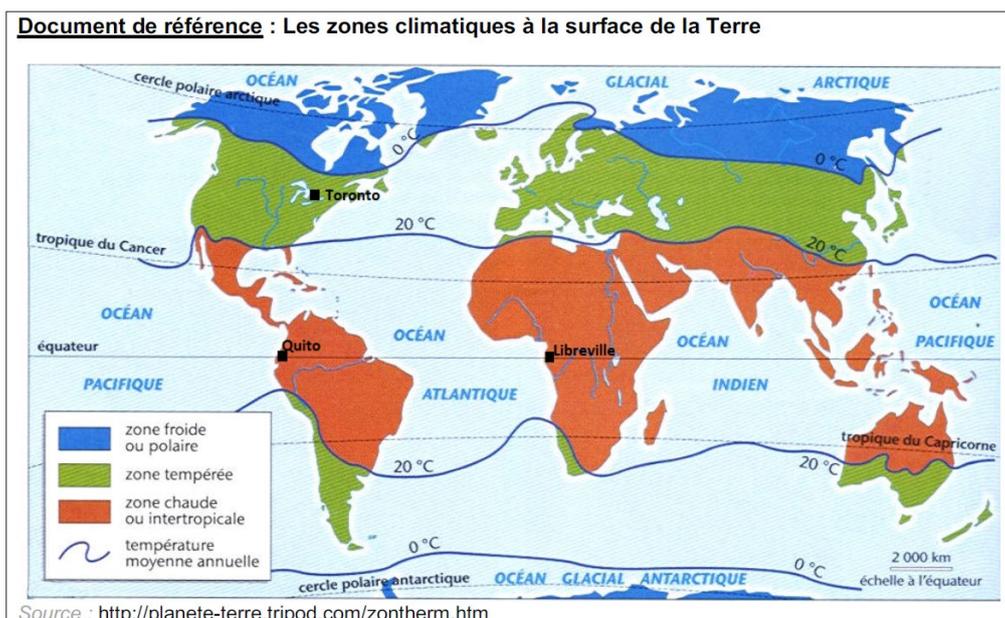
L'isotope ^{14}C de l'élément carbone se désintègre en azote ^{14}N et se régénère régulièrement en haute atmosphère à partir de l'azote de l'air : il se retrouve donc en proportion constante dans tous les milieux et tous les êtres vivants. Lorsqu'un être vivant meurt, son métabolisme s'interrompt et son carbone n'est plus renouvelé. En raison de la désintégration radioactive, pour un échantillon donné, le rapport P/P_0 du nombre d'atomes ^{14}C résiduel (P) sur le nombre d'atomes présents moment de la mort (P_0) 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/P_0 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 %.

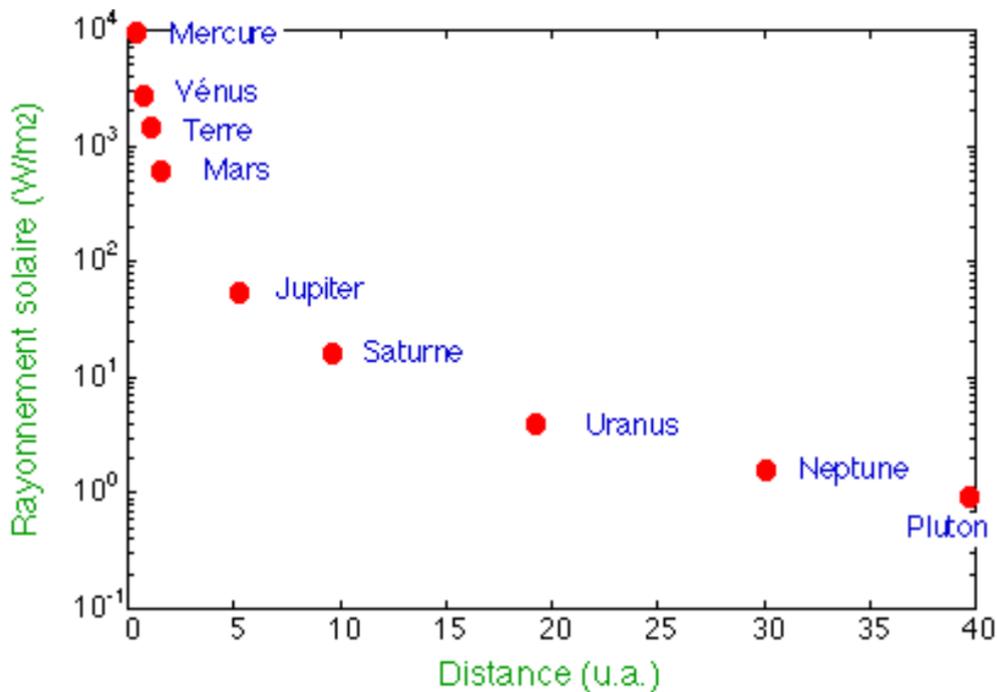
« Expliquer en quelques phrases comment la méthode de datation par le carbone 14 utilisée en archéologie illustre l'intérêt de la coopération entre plusieurs champs disciplinaires scientifiques ».

Exemple 2



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 connaître 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 apparaître avec différents paragraphes. Lors de ce genre de questions, il sera nécessaire de bien faire apparaître 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.



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.

Écriture 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 $\alpha > 0$, alors le nombre est positif.

Si $\alpha < 0$, alors le nombre est négatif.

Petite astuce ! α renvoie au nombre de 0 !

Exemple :

$10^2 = 100$ Soit deux zéros !	$10^6 = 1\ 000\ 000$ Soit six zéros !	$10^{-2} = 0,01$ Soit deux zéros !	$10^{-6} = 0,000\ 001$ Soit six zéros !
$10^4 = 10\ 000$ Soit quatre zéros !	$10^{10} = 10\ 000\ 000\ 000$ Soit dix zéros !	$10^{-4} = 0,000\ 1$ Soit quatre zéros !	$10^{-10} = 0,000\ 000\ 000\ 1$ 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 μ g (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.

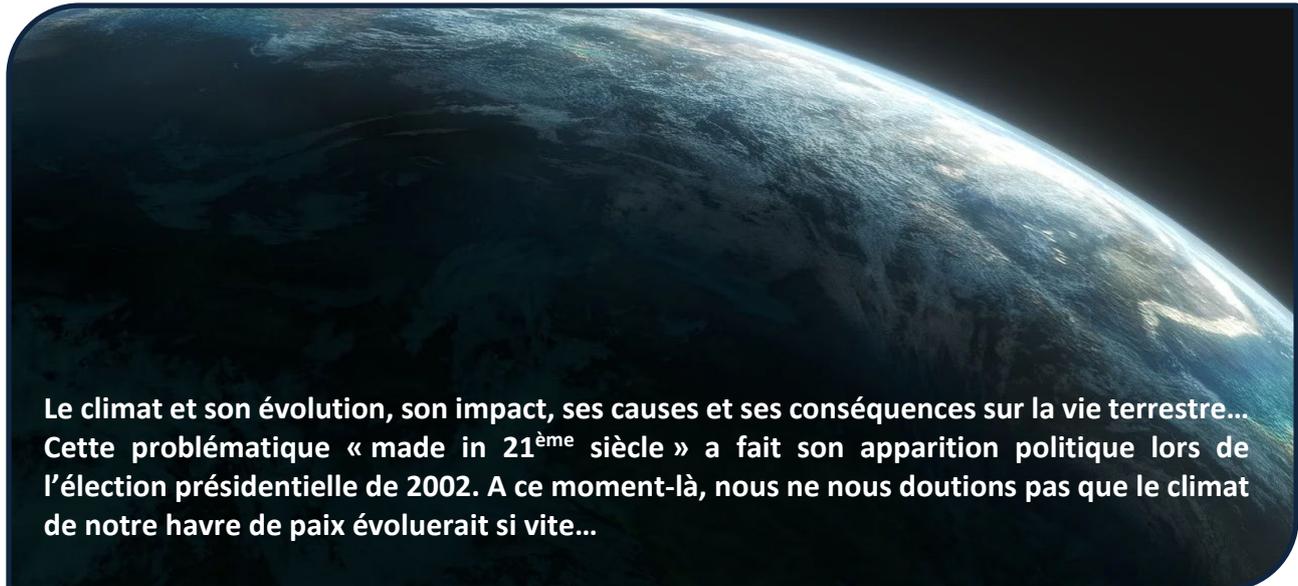
Roche

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

Minéral

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

INTRODUCTION



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.



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.

Q 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.

Q 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 FeS_2 . Au contact de l'oxygène rejeté par les cyanobactéries, il a pu s'oxyder en Fe_2O_3 ou Fe_3O_4 , 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://scienctonnante.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 (H₂O), l'oxyde nitreux (N₂O) et le méthane (CH₄). 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 ?

.....

.....

.....

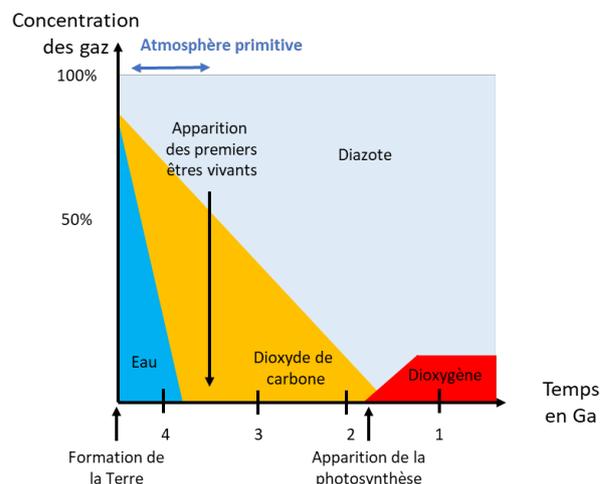
.....

.....

.....

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 (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), l'ammoniac (NH₃) et le méthane (CH₄). La caractéristique commune des différentes compositions de cette atmosphère primitive est l'absence de dioxygène (O₂).

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.



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.

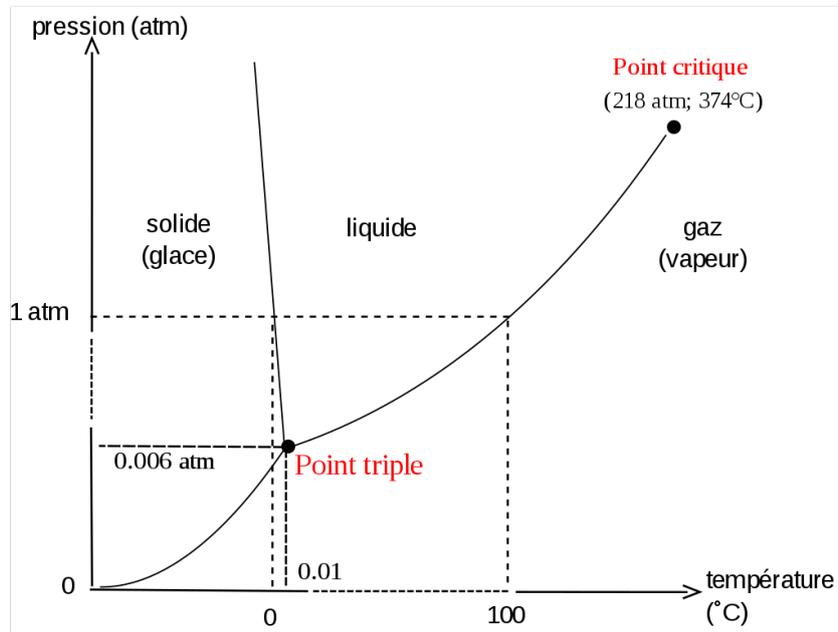
L'eau était donc présente dans l'atmosphère primitive terrestre d'un point de vue gazeux. C'est le refroidissement de la température de surface de la Terre à une température inférieure à 100°C qui a permis son passage à l'état liquide et la formation des océans. On dit que l'hydrosphère s'est formée.



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.

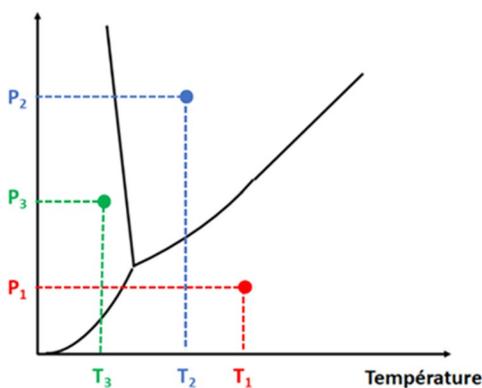


Pour rappel, l'unité « atm » renvoie à un « atmosphère » soit la pression à la surface de la Terre (1 atm = 1 bar = 1 013 hPa).



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 :

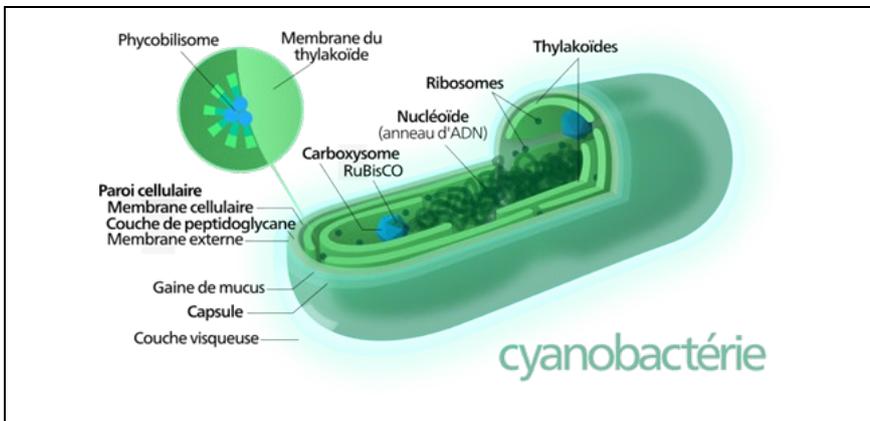
<https://www.laboiteverte.fr/point-triple-dun-liquide/>

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 milliards 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 :



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. =

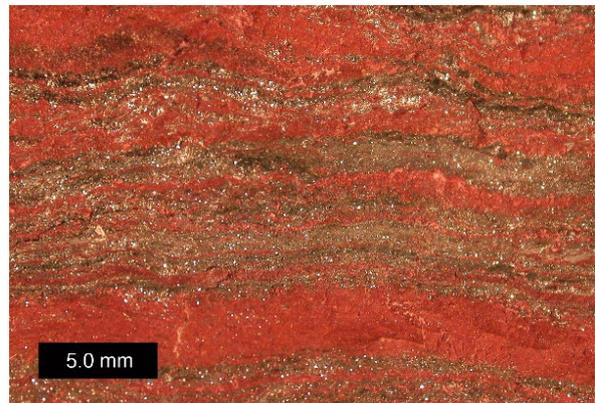
Une fois que l'eau de l'océan saturée en dioxygène, l'oxygène commença à s'accumuler dans l'atmosphère.

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 ».

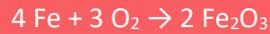
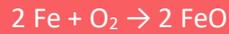
Cet énoncé reconnu se traduit de manière plus simple : il ne doit y avoir ni perte, ni gain d'atomes lors d'une réaction chimique. Autrement dit, si deux atomes de fer sont présents dans les molécules jouant le rôle de réactifs, on doit en retrouver deux dans les molécules qui sont produites lors de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



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.



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 :



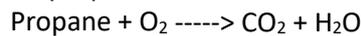
- La réaction chimique associée à la respiration est :



- 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 » :

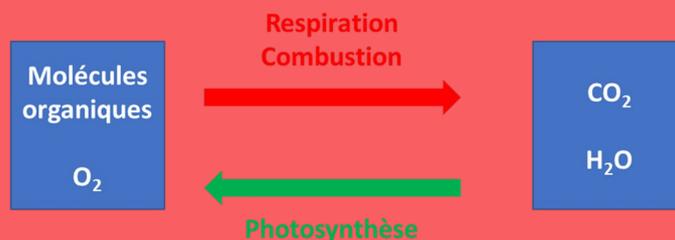


Ce qui donne d'un point de vue chimique : $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \text{ -----} \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$



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 (O₃). Cette molécule qui se forme de manière naturelle dans la haute atmosphère, peut se transformer à partir du dioxygène (O₂). 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.

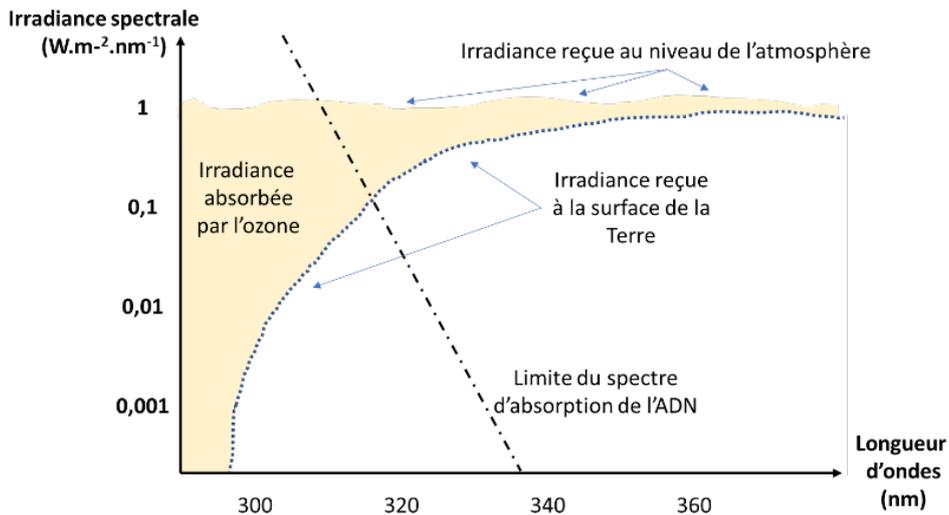
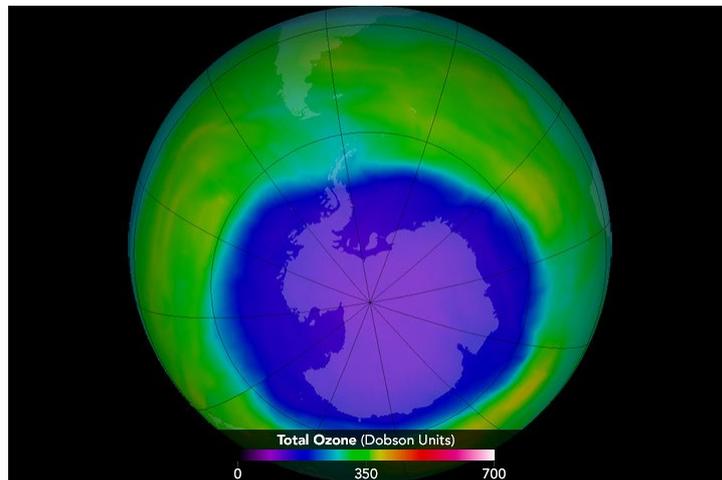


Schéma refait et tiré du livre scolaire p22 car demandé pour le BO

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.



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

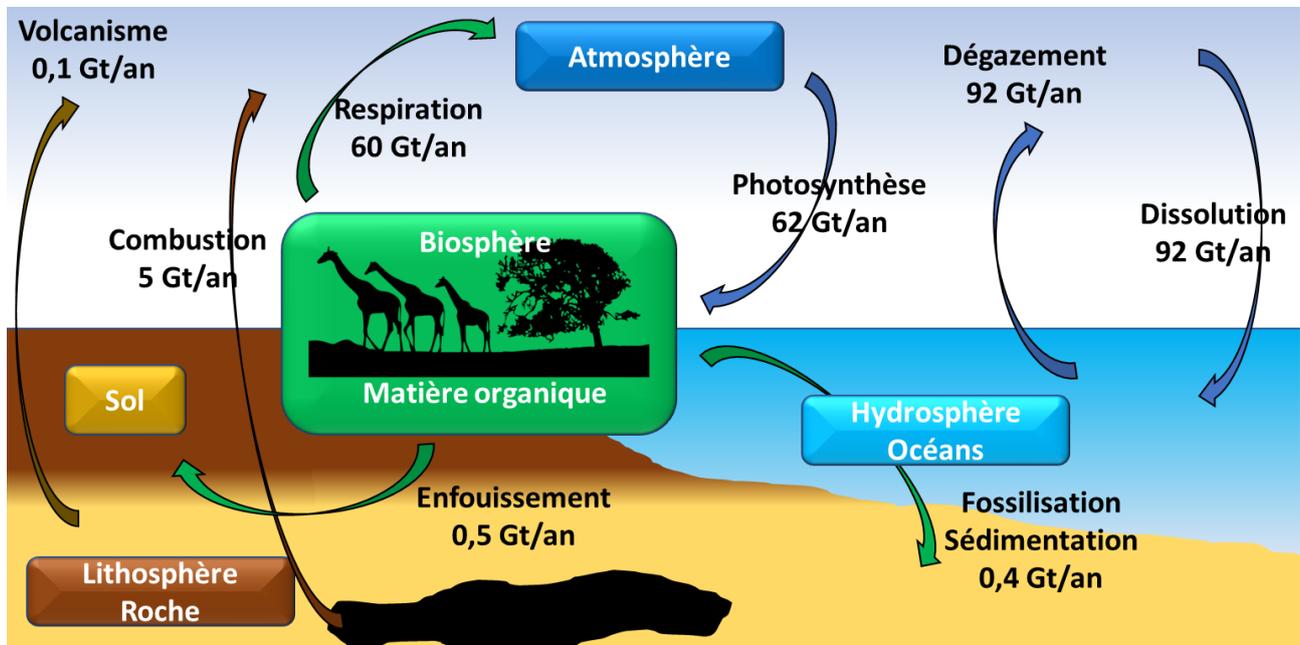
En vous appuyant sur le texte ci-dessous, définissez l'importance du carbone dans la vie terrestre.

« 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.

$$1 \text{ Gt} = 1 \times 10^{12} \text{ kg}$$

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 libérées 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.



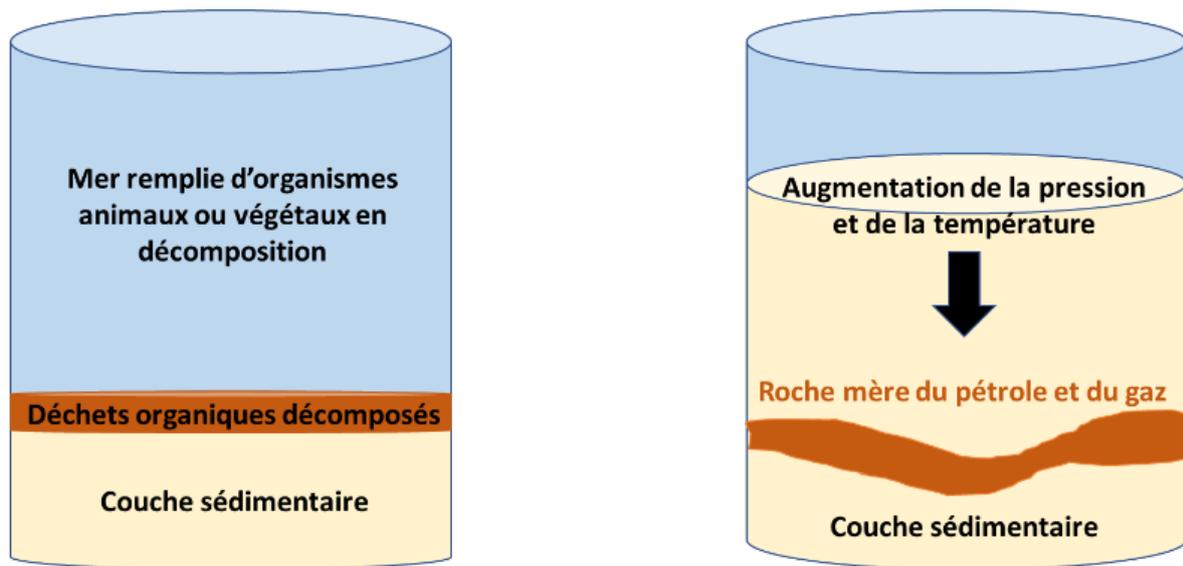
L'ESSENTIEL

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.



Plusieurs millions d'années

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

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 :
- Sont issues de la transformation de matière minérale.
 - Peuvent être des énergies renouvelables à l'échelle humaine.
 - Sont à la base du phénomène d'oxydation.
 - Sont riches en carbone et hydrogène.
10. Le diagramme de l'eau permet :
- De connaître les états physiques de l'eau selon sa concentration et sa pression.
 - De connaître les états physiques de l'eau selon sa concentration et sa température.
 - De connaître les états physiques de l'eau selon sa pression et sa température.
 - 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 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glucose) + 6 $\text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$.	
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 :

.....

.....

.....

« La Grande Oxydation est une crise écologique qui a eu lieu vers -2,4 milliards d'années, au Paléoproterozoïque, 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 ?

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

- 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 ?



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 centaines 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 conservation 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 formation 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 CO₂, 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 pétrole. 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



Pour commencer ce chapitre, nous nous intéresserons aux différences entre la climatologie et la météorologie. Nous verrons alors que le réchauffement climatique provient d'un déséquilibre radiatif et surtout les raisons de l'augmentation des températures.

Q 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.

Q PRÉREQUIS

- Equilibre radiatif de la Terre.
- Effet de serre atmosphérique.



Première approche

La fonte de la banquise

Depuis de nombreuses années, les médias alertent sur la fonte de la banquise et de la montée des eaux. Mais qu'en est-il réellement ?

Voici une infographie de la NASA ainsi que des comparaisons photographiques sur lesquelles aller pour vérifier ces hypothèses :

- Banquise : <https://youtu.be/55yvtHU-IRI>
- Glacier : <https://www.youtube.com/watch?v=kbNZXftCeK0>



RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

D'après ces vidéos, la fonte de la banquise et des glaciers est-elle scientifiquement prouvée ?

Les différents line précédents montrent bien une fonte de glaciers et de la banquise. Concernant la banquise, l'infographie de la NASA montre l'impact du réchauffement climatique mois après mois pendant près de 15 ans, passant d'environ 3 millions de kilomètres carrés à moins de 500 000 kilomètres carrés.

L'infographie sur les glaciers met en avant des images de plusieurs glaciers de la vallée du Mont-Blanc à près de 150 ans d'écart. Les comparaisons montrent une différence de taille des glaciers et aussi ici un important réchauffement climatique. La fonte des glaciers et de la banquise est bien réelle et il est intéressant de se demander l'impact de celle-ci sur le niveau de la mer.

Afin de mieux visualiser cette fonte, voici un timelapse qui concerne le recul du glacier de Columbia, en Amérique du nord. Les images sont impressionnantes.

<https://earthengine.google.com/timelapse#v=61.08289,-147.0517,8.77,latLng&t=1.71&ps=50&bt=19840101&et=20181231&startDwell=0&endDwell=0>

Cette fonte générale de la glace est annoncée comme catastrophique par les climatologues et son impact sur notre planète serait majeur. Mettons-nous à la place des climatologues le temps d'une activité et cherchons à déterminer le réel danger de la fonte des glaces !

Au cours de cette activité, nous allons différencier les deux types de glace : la « glace continentale » et la « glace des mers ». La « glace continentale » renvoie aux glaciers présents dans de très nombreux massifs à travers le monde alors que la « glace des mers » concerne la banquise que l'on peut trouver en arctique et en antarctique.

« Glace continentale »



« Glace des mers »



Au cours de cette expérience, nous allons voir l'impact de la fonte de ces deux types de glace sur le niveau des océans.

Matériel :

- 2 bouteilles d'eau en plastique.
- 1 marqueur.
- Des ciseaux.
- 1 entonnoir.
- Des glaçons.
- Des mouchoirs ou du sopalin.

Protocole :



- Découpez les bouteilles telle la photo ci-dessous.

- Remplissez les bouteilles du même niveau d'eau (par exemple 0,5L d'eau).
- Tracer un trait au marqueur sur le niveau d'eau.





- Sur la bouteille n°1 (ne pas hésiter à le signaler), placer des glaçons dans l'eau et tracer un second trait sur le niveau d'eau obtenu.

1. Qu'observez-vous lors de l'ajout des glaçons ? A quel type de glace cela peut-il correspondre ?

.....

.....

.....

.....

- Laissez fondre.

2. Qu'observez-vous ? Le niveau d'eau a-t-il augmenté ?

.....

.....

.....



- Dans la seconde bouteille (n°2), retourner l'embout découpé dans la bouteille afin qu'il serve d'entonnoir. Placer alors de la glace de la manière suivante :

3. A quel type de glace cela peut-il correspondre ? Qu'observez-vous sur le niveau d'eau ?

.....

.....

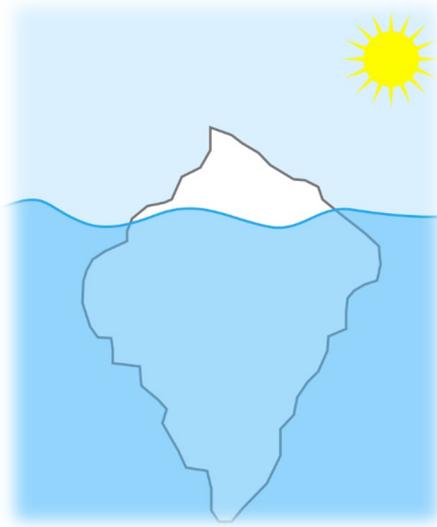
.....

.....

5. A l'échelle de la planète, la fonte de l'ensemble des glaces continentales augmenterait le niveau de la mer. Cela impacterait de nombreuses zones à faible altitude (Pays-Bas, La Camargue) comme certaines îles dans le Pacifique qui ont déjà été englouties par la montée des eaux.

Il existe cependant un biais dans notre étude : les glaçons mis dans l'eau pour simuler la « glace des mers » est totalement dans l'eau. Or la banquise est à la fois dans l'eau et hors de l'eau comme le montre le schéma ci-dessous :

Une partie de la glace est sous l'eau mais une partie est aussi en surface. Cette partie en surface peut être considérée comme une « glace continentale ». Sa fonte entraînera donc une augmentation du niveau des mers.



LA COMPLEXITÉ DU SYSTÈME CLIMATIQUE

Climatologie vs météorologie

De nombreuses personnes confondent climat et météo. Combien d'entre nous avons déjà entendu une phrase du type « On nous parle de réchauffement climatique et pourtant, il n'a jamais fait si froid ! ». Il est important de commencer ce chapitre en distinguant bien la climatologie et la météorologie.



RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Afin d'avoir une définition précise du climat, rendez-vous sur le site internet de météoFrance et plus précisément sur ce lien : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole>. Vous pourrez alors répondre à la question « qu'est-ce que le climat ? ».

Météofrance définit le climat comme « une représentation synthétique des conditions météorologiques caractérisant une région donnée. Il est défini par les valeurs moyennes, généralement sur 30 ans, et la dispersion autour de la moyenne des grandeurs météorologiques (température, pluviométrie, vent, ensoleillement...) et des phénomènes particuliers tels que le brouillard, les orages, la grêle ». Il est aussi possible de définir le climat d'une ville.

La météorologie, quant à elle, vise à comprendre les phénomènes atmosphériques à court-terme. Elle tente par exemple de décrypter la formation des nuages, du vent ou des précipitations sur quelques jours et sur un lieu précis comme une ville.



L'ESSENTIEL

La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires...).

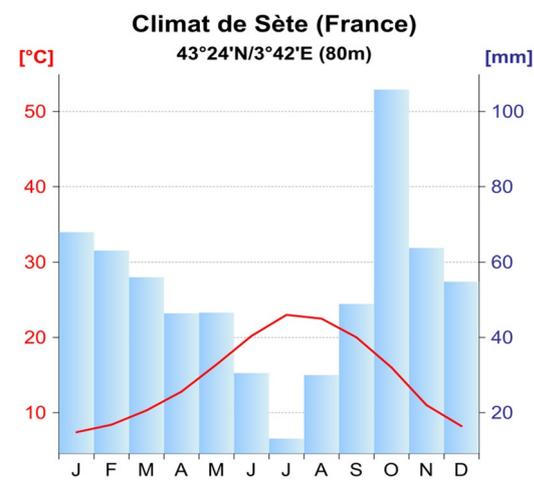
La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines).



JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Voici deux informations différentes. Relevez celle qui est liée à la climatologie et celle qui est liée à la météorologie. Justifiez.

Document 1



https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diagramme_climatique_S%C3%A8te.svg

Document 2

Ce Lundi 20 Avril après midi, la météo sera maussade avec quelques pluies et la température sera de 15°C à 17h. Le vent soufflera à 12 km/h et jusqu'à 20 km/h en rafales.

Mardi 21 Avril matin la météo sera maussade avec quelques pluies avec une température de 14°C à 08h. Le vent soufflera à 9 km/h avec des rafales à 11 km/h et sera de secteur Nord-Est.

L'après-midi la météo sera maussade avec quelques pluies avec un thermomètre affichant 14°C à 17h. Le vent sera de secteur Nord-Est avec une vitesse moyenne de 18 km/h et des pointes pouvant atteindre 18 km/h.

<https://www.meteo60.fr/previsions-meteo-france-sete.html>

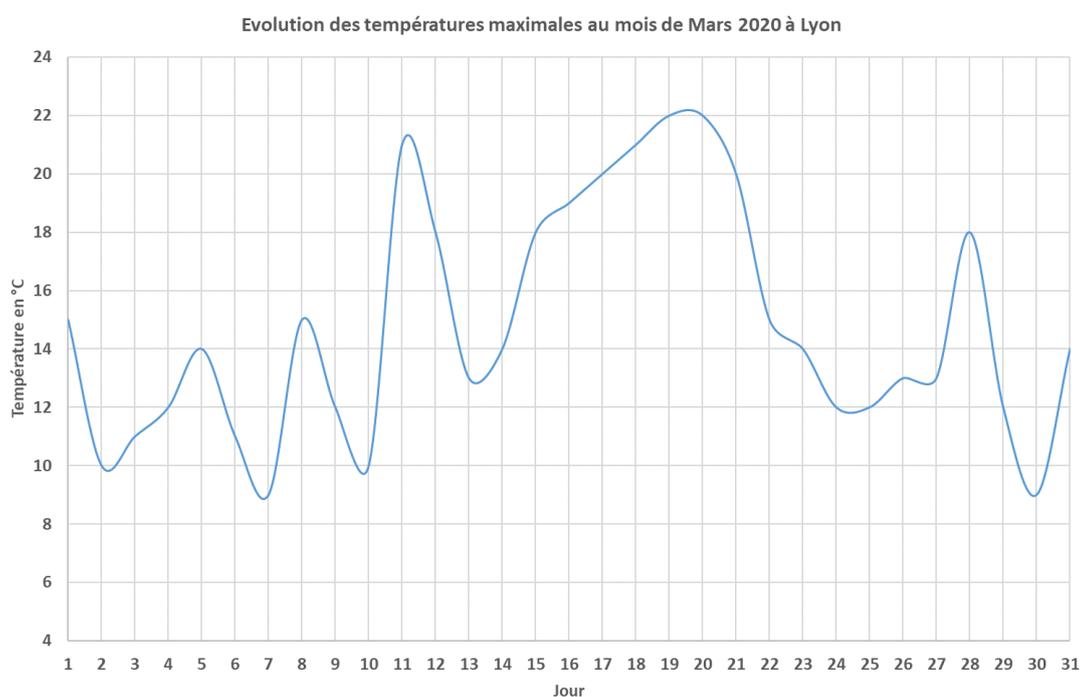
Les informations du document 1 sont de l'ordre du climat. En effet, ce sont des données mathématiques représentant des moyennes. Il a donc fallu de nombreuses données récoltées sur plusieurs années pour arriver à ces valeurs.

Le document 2 est quant à lui une donnée météorologique. Il se porte uniquement sur deux jours et sont issues des prévisions basées sur des modèles et non plus des calculs mathématiques statistiques.

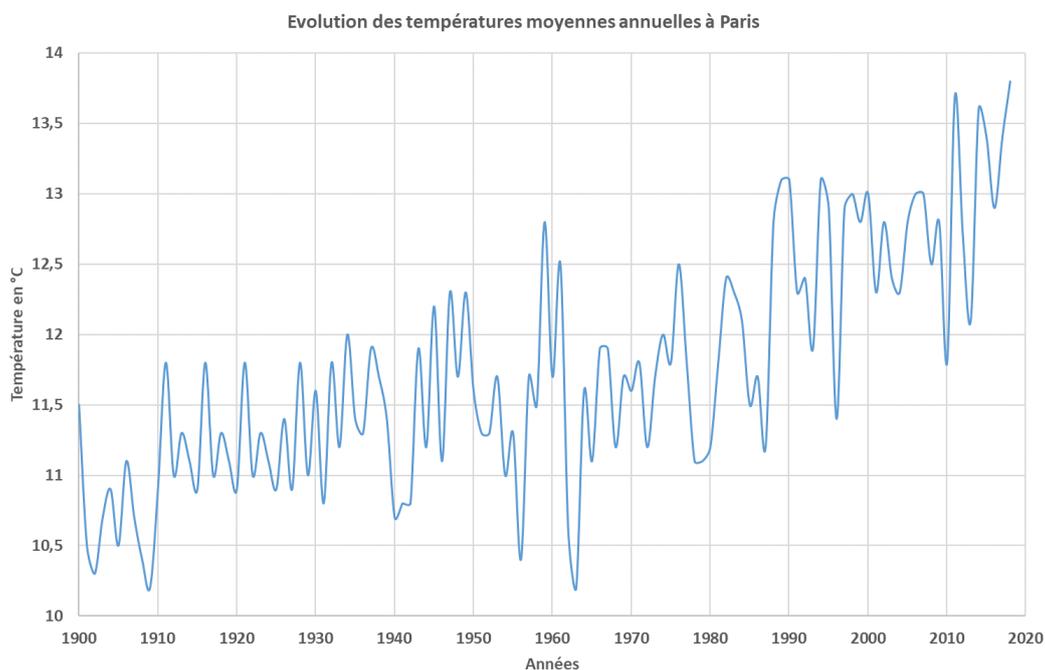
La notion de temps permet de distinguer la météorologie et de la climatologie. Cette notion de temps prend d'autant plus d'importance lorsque le réchauffement climatique est évoqué.

Prenons les trois cas de figures suivants :

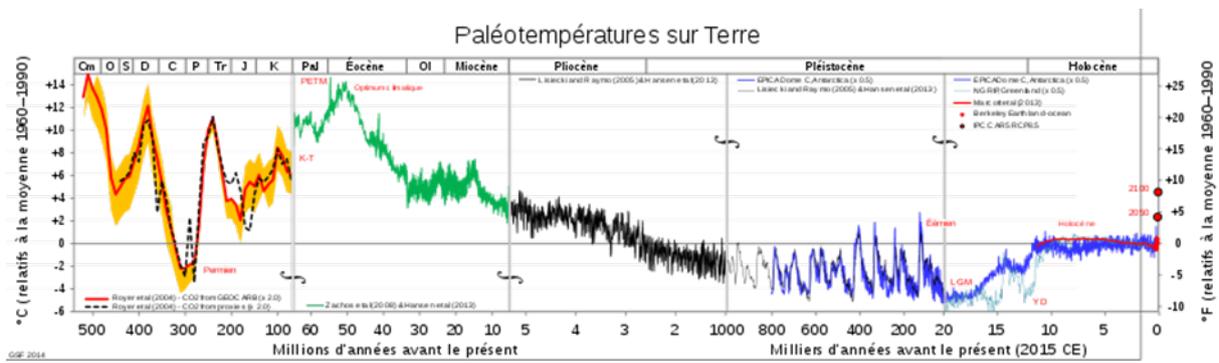
Document 1 : évolution des températures maximales au mois de Mars 2020 à Lyon



Document 2 : évolution des températures moyennes annuelles à Paris entre 1900 et 2020



Document 3 : évolution des températures sur Terre depuis 500 millions d'années



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pal%C3%A9otemp%C3%A9ratures.svg>

Ces courbes mettent en avant des évolutions différentes de la température. Le document 1 met en avant une variation de la température sans pour autant que celle-ci ait une tendance donnée. En effet, il ne s'agit que d'un relevé sur un mois.

Le document 2 nous montre une augmentation des températures alors que le dernier explique que la Terre a déjà été beaucoup plus chaude qu'aujourd'hui.

Les évolutions de températures dépendent de l'échelle de temps observée. Et il est vrai que depuis 1900, on assiste à une augmentation de la température moyenne sur Terre.



L'ESSENTIEL

La notion de temps est un élément important à prendre en compte dans l'étude de l'évolution des températures sur Terre.

Mais comment déterminer les évolutions passées du climat ?

Au-delà des carottages de glaces au niveau des pôles, il existe des marqueurs géologiques des évolutions passées.



RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

A Lyon se situe un rocher appelé « gros caillou »
La ville de Lyon indique que ce rocher a été retrouvé lors du percement d'un funiculaire.
L'étude de ce « caillou » met en évidence une roche métamorphique caractéristique des affleurements de Haute Maurienne ou en Haute Tarentaise (dans les Alpes), à plus de 175 km de Lyon. **Comment ce bloc a-t-il pu être déplacé à une telle distance ?**



Four horizontal dashed lines for writing, enclosed in a rounded rectangular box with a dotted border.

Ce bloc a donc été déplacé par les glaciers d'au moins 175 kilomètres. Un tel déplacement n'est possible que par une glaciation majeure. Le maximum glaciaire du Riss il y a -140 000 ans est l'origine de ce mouvement et à l'extension maximale des glaciers alpins, qui ont atteint la ville de Lyon, sans jamais le dépasser. Il y a 18 000 ans, ces glaciers atteignaient le site de l'aéroport de Lyon à une vingtaine de kilomètres.

Il existe un autre marqueur important : le pollen comme nous le montre le podcast suivant de « La matinale d'EUROPE 1 - le 6h – 9h30 - Rendez-vous à la ferme » du 20 février 2020. Le pollen nous permet de retracer l'histoire du changement climatique.



L'ESSENTIEL

Les relevés de températures ne datent que depuis 1900 pour les plus anciens, il existe des marqueurs géologiques de l'évolution du climat. Les roches ou les pollens permettent notamment de connaître les variations des climats passés.



JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Un élève indique que « le seul marqueur possible pour l'évolution du climat est la température ». Commentez.

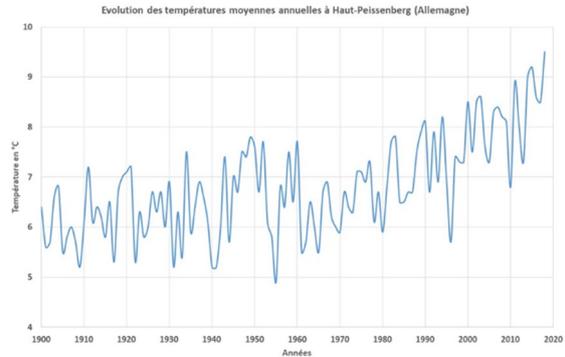
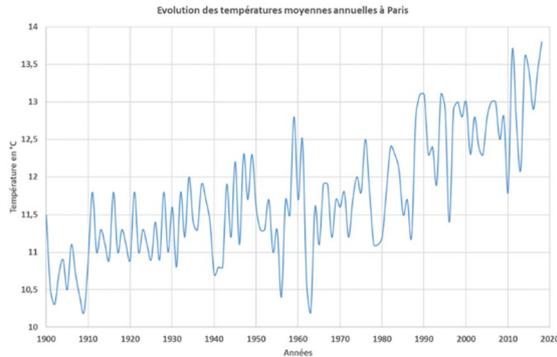
Eight horizontal dashed lines for writing, enclosed in a rounded rectangular box with a dotted border.

C'est bien évidemment faux. Le suivi de températures est un indicateur du climat mais l'Homme ne collecte des données que depuis 1900 pour les plus vieilles stations météorologiques. Il faut donc aller chercher des informations ailleurs comme avec les rochers et les pollens. Si des rochers de type « affleurement montagnard » sont retrouvés en plaine, cela signifie qu'ils ont été transportés par des glaciers. Le climat devait donc être beaucoup plus froid. La nature des pollens qui ont sédimenté aident aussi à connaître la nature des arbres en surface à une période donnée et d'en déduire le climat.



RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Voici deux courbes de températures en France et en Allemagne.



Que visualisez-vous ?

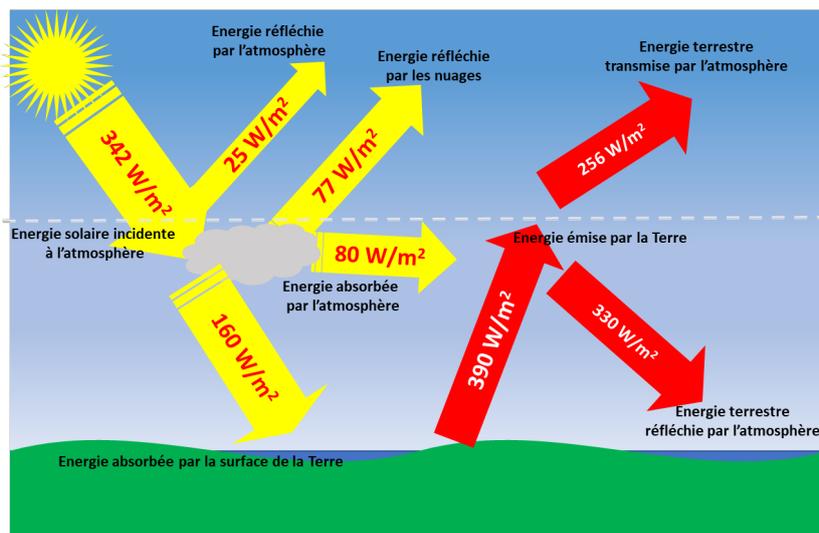
.....

.....

.....

Les deux courbes montrent l'évolution des températures en Europe en deux lieux depuis plus d'un siècle. On note une augmentation des températures de plus de 1°C. La Terre subit un réchauffement climatique.

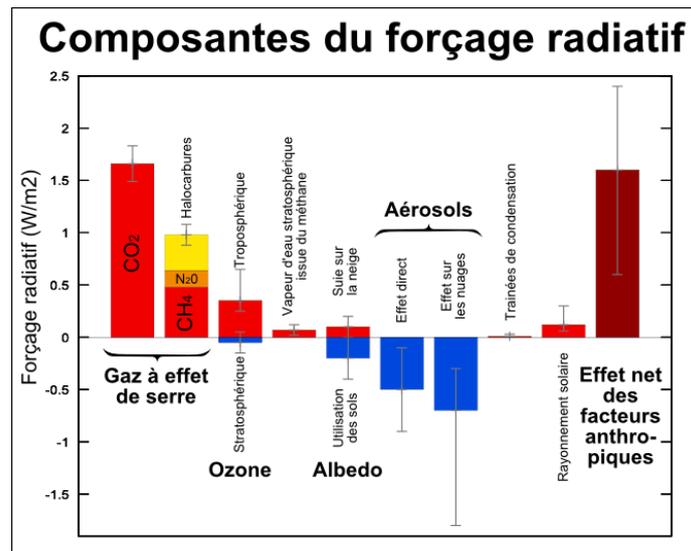
Depuis un siècle et demi, on mesure un réchauffement climatique global (environ +1°C). Ce réchauffement a une cause assez simple. La Terre et son atmosphère absorbent plus d'énergie qu'elles n'en émettent. L'atmosphère retient une partie des rayons solaires comme le montre le schéma suivant :



Cette augmentation de la température est la conséquence de l'augmentation du forçage radiatif.

Mais que signifie donc ce « forçage radiatif » ?

D'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (le GIEC), le forçage radiatif est défini comme « l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère ». Il se mesure en W/m^2 . Il met en avant les différents facteurs impactant le bilan énergétique de la Terre comme les émissions de gaz à effets de serre, l'albédo, les aérosols, etc.)



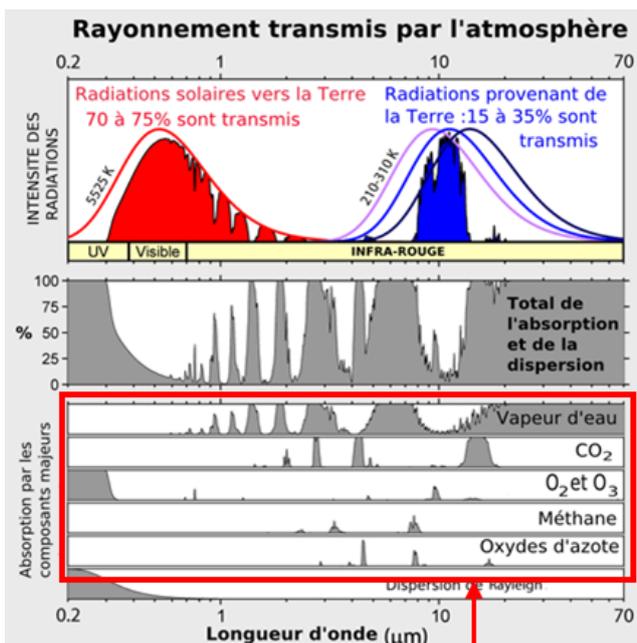
L'étude de ce graphique met en avant que les gaz à effet de serre (GES) ont un impact majeur sur ce forçage radiatif puisqu'ils en sont le principal artisan.



L'ESSENTIEL

L'augmentation de la température sur Terre est la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise) due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère : CO_2 , CH_4 , N_2O et vapeur d'eau principalement.

Ces gaz vont participer au réchauffement climatique en absorbant le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre comme le montre le graphique ci-dessous.



Spectre d'absorption des gaz à effet de serre

Ces gaz présents dans l'atmosphère absorbent donc le rayonnement infrarouge émis par la Terre. Ce rayonnement reste donc dans l'atmosphère terrestre et s'additionne au rayonnement reçu de la part du Soleil.

Or si cette concentration en gaz à effet de serre augmente, alors l'atmosphère absorbera une plus grande quantité de rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre.

L'énergie alors reçue par la surface terrestre de la part de l'atmosphère est, elle aussi, plus grande. Cette puissance additionnelle entraîne une perturbation de l'équilibre radiatif qui existait à l'ère préindustrielle.



L'ESSENTIEL

Lors de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES), l'atmosphère absorbe une plus grande quantité du rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la Terre. Ceci provoque une augmentation de la puissance radiative reçue par le sol de la part de l'atmosphère.



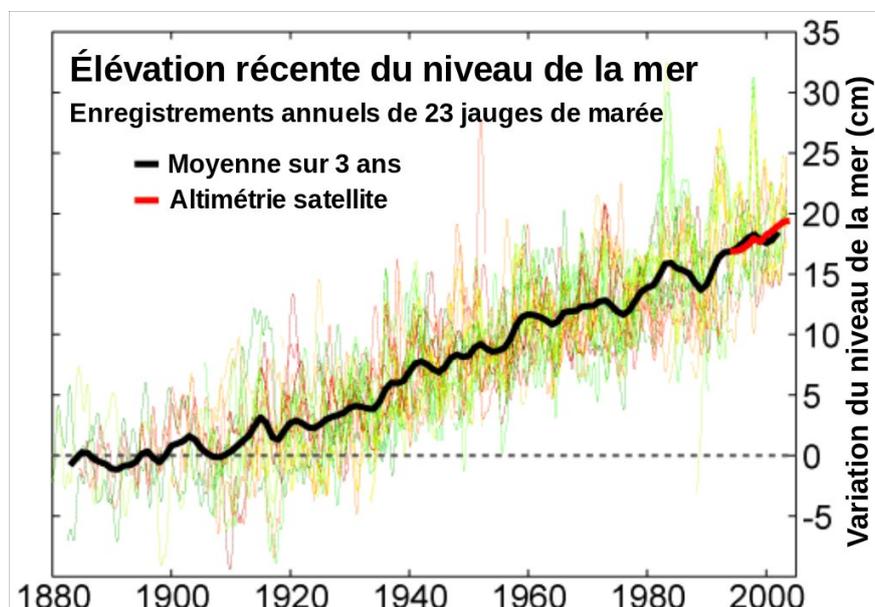
JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Expliquer la notion de forçage radiatif, son origine et son impact sur Terre.

Le phénomène de forçage radiatif correspond à la différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise. Celle-ci augmente depuis près d'un siècle à cause des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère (CO_2 , CH_4 , N_2O et vapeur d'eau). Ces gaz absorbent le rayonnement infrarouge émis par la Terre et le renvoie vers celle-ci. Ce forçage radiatif a pour effet une augmentation de la température à la surface de la Terre à l'origine du réchauffement climatique.

Mais quel est le devenir de cet « excès » d'énergie ?

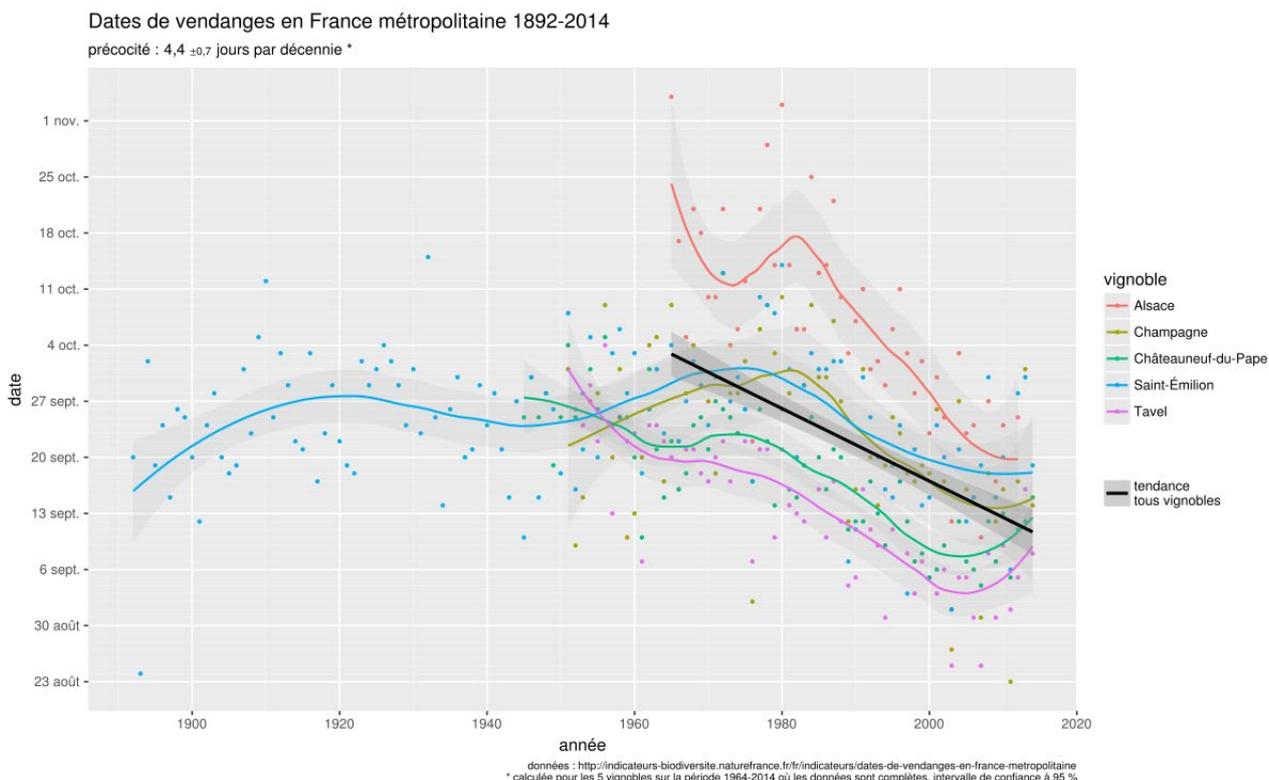
Celle-ci est essentiellement stockée par les océans mais aussi dans l'air et les sols. Ce surplus d'énergie provoque donc une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et une montée du niveau des océans. Cette évolution est visible sur de nombreux aspects. On assiste tout d'abord à une augmentation du niveau de la mer



Les glaciers sont aussi fortement impactés comme nous le montre cette infographie sur le recul de la Mer de Glace en France (<https://www.lci.fr/planete/video-chamonix-focus-sur-la-fonte-de-la-mer-de-glace-2145362.html>).

Cette vidéo montre le recul du glacier depuis 1900 et une projection sur les années futures. L'impact de la hausse est évident puisque la vitesse de recul du glacier augmente considérablement depuis 1990 et il est fort probable que d'ici quelques dizaines d'années, ce glacier ait disparu.

Cependant, d'autres signes sont aussi évidents : l'un d'eux est la date de vendanges. Voici ci-dessous un graphique sur l'évolution de la date des vendanges en France entre 1892 et 2014 :



Quel que soit le vignoble, on voit une avancée de la date des vendanges. Mais quel rapport avec l'augmentation des températures ? Tout simplement, les vendanges ont lieu quand le raisin est mur afin que le vin ne soit pas acide.

Or afin d'obtenir cette maturité, le raisin a besoin de soleil et de chaleur ! Plus la date des vendanges est tôt, plus l'ensoleillement et la chaleur nécessaires ont été apportés rapidement par le climat.



L'ESSENTIEL

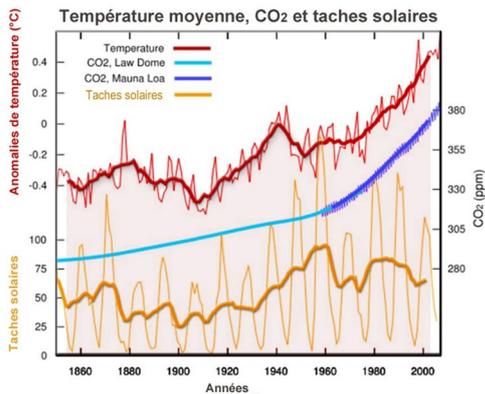
L'énergie supplémentaire associée est essentiellement stockée par les océans, mais également par l'air et les sols, ce qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et la montée du niveau des océans. Cette augmentation de température a pour effet une augmentation du niveau de la mer, une fonte des glaciers ou encore des dates de vendanges de plus en plus précoces.

Intéressons-nous à la corrélation entre gaz à effets de serre et augmentation de la température.

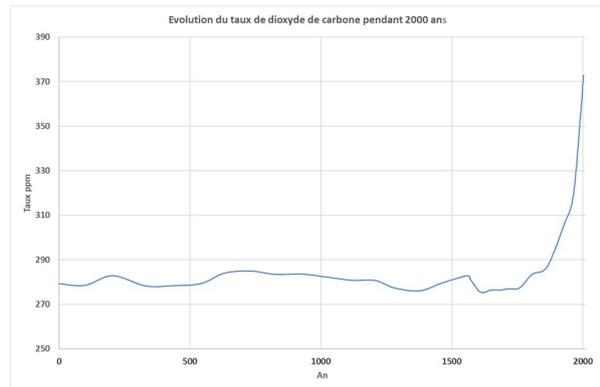


RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Voici deux courbes ci-dessous. Quels liens est-il possible de faire entre température sur Terre, dioxyde de carbone et révolution industrielle ?



Graphique 1



Graphique 2

Données : Les taches solaires sont caractéristiques de l'activité solaire. Plus celles-ci sont nombreuses, plus le Soleil a une activité importante et émet de la chaleur.

Le graphique 1 met en avant une corrélation entre augmentation des températures et taux de dioxyde de carbone. En effet, bien que le taux de taches solaires se soit stabilisé après 1980, la température a, quant à elle, continué d'augmenter. L'étude du taux de CO₂ dans notre atmosphère montre une certaine stabilité depuis l'an 0 à la fin du 18^{ème}-début du 19^{ème} siècle. La concentration de dioxyde de carbone a alors augmenté de manière exponentielle jusqu'à aujourd'hui. Cette augmentation est à mettre en lien avec la révolution industrielle où l'Homme a alors cherché à développer son activité par des moyens mécaniques.



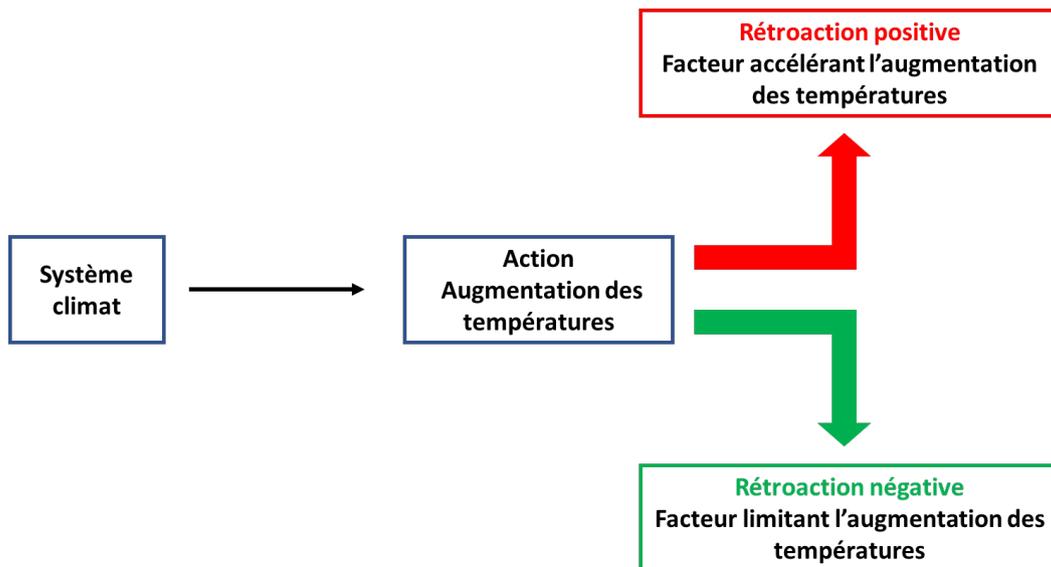
LA COMPLEXITÉ DU SYSTÈME CLIMATIQUE

Les raisons de l'augmentation des températures

Intéressons-nous de manière plus complète aux mécanismes à l'origine de l'augmentation de la température à la surface terrestre. L'augmentation du CO₂ est en effet en partie à l'origine du forçage terrestre mais l'augmentation de la température est un phénomène bien plus complexe où des termes comme « système », « action » et « rétroaction » apparaissent...

Le système « climat » subit donc une action qui est « l'augmentation des températures ». Différents phénomènes sur Terre vont favoriser l'action, c'est-à-dire accélérer la vitesse d'augmentation des températures. On parle alors de « rétroaction positive ».

D'autres phénomènes vont avoir pour but de limiter l'augmentation des températures : on parle de « rétroaction négative ».



Intéressons-nous à quelques phénomènes ayant une rétroaction positive et favorisant l'augmentation des températures sur Terre :

- Le taux de vapeur d'eau dans l'air :

La Terre est la seule planète à avoir de l'eau liquide à sa surface. Cependant, l'eau n'y est pas que liquide ou solide comme aux pôles. Elle est en effet gazeuse dans l'atmosphère. Or si la température sur Terre augmente, la quantité d'eau gazeuse va aussi augmenter. La vapeur d'eau étant aussi un gaz à effet de serre, elle va avoir tendance à absorber une partie de l'énergie infrarouge issue de la Terre, donc à une augmentation de la température et une évaporation de l'eau supplémentaire. La vapeur d'eau participe donc à une rétroaction positive.

- La décroissance de la surface couverte par les glaces et diminution de l'albédo terrestre

La fonte de la glace va soit engendrer la formation d'eau liquide, soit la mise en avant de surface solide type roche ou terre. Or que ce soit de l'eau liquide ou la surface solide de la Terre, ces surfaces reflètent beaucoup moins d'énergie que la glace comme le montre leurs albédos.



RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Rappeler la définition de l'albédo ainsi que les valeurs correspondant aux albédos de la glace, de l'eau liquide et de la terre.

L'albédo caractérise la capacité qu'a un corps à réfléchir la lumière. Il est déterminé par le rapport énergie lumineuse réfléchi sur énergie lumineuse incidente. Plus l'albédo est grand, plus la quantité d'énergie réfléchi est grande. Albédo de la neige : 0,70 ; Albédo de la glace : 0,60 ; Albédo de l'eau liquide : entre 0,05 et 0,15 ; Albédo du sol : 0,05 à 0,15.

La fonte de la glace entraîne donc une absorption plus importante des rayons solaires et donc une augmentation de la température sur Terre. Cette dernière provoque alors l'augmentation de la fonte de glace et le cycle s'intensifie. Ce type de rétroaction explique pourquoi les rapports du GEIC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) attendent une augmentation de la température au pôle Nord deux fois plus importante qu'ailleurs dans le monde.

- Le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de Gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Le permafrost est le nom donné au sol recouvert de glace pendant au moins deux ans et qui de ce fait est imperméable. Or aux hautes latitudes, le dégel du pergisol (synonyme de permafrost) va libérer une grande quantité de gaz à effet de serre et en particulier du méthane. Il s'agit d'une rétroaction positive : plus le réchauffement climatique s'intensifie, plus le pergélisol des hautes latitudes dégèle, libérant ainsi du dioxyde de carbone et du méthane que le sol renferme, ce qui à son tour intensifie le réchauffement mondial.



L'ESSENTIEL

L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs comme :

- l'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ;
- la décroissance de la surface couverte par les glaces et diminution de l'albédo terrestre ;
- le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère.



JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Définissez les termes de rétroaction :

Lorsqu'un système subit une action, certains éléments extérieurs vont jouer le rôle de rétroaction. Si ces phénomènes favorisent l'action, on parle de « rétroaction positive ». S'ils vont à l'encontre de l'action, on parle de « rétroaction négative ».



Pour aller plus loin :

Voici une vidéo sur les dangers du dégel du permafrost :
<https://www.youtube.com/watch?v=othd0BzpnQI>

Attention !

Il ne faut pas analyser le terme « positif » de « rétroaction positive » dans le sens premier du terme. Le réchauffement climatique est une action négative pour l'équilibre de la Terre. Une « rétroaction positive » n'est donc pas un phénomène dans le bon sens du terme, il s'agit d'une évolution qui va dans le sens de l'action.

L'océan joue un rôle primordial lors de ce réchauffement climatique. En effet, ses échanges avec l'atmosphère sont permanents et l'océan va absorber la majeure partie de l'énergie reçue lorsque la Terre se réchauffe. Les scientifiques considèrent qu'il absorbe et stocke près de 90% de l'excès d'énergie dû au réchauffement climatique. Il a donc un rôle d'amortisseur.

Cependant, cette accumulation conduit à une augmentation du niveau de la mer, et ce, pour deux raisons : Tout d'abord, une augmentation de la température de l'eau entraîne une dilatation thermique de celle-ci. Un même volume d'eau va prendre une place plus importante à une température plus élevée.

Ce phénomène d'augmentation du niveau de la mer va être amplifié par la fonte des glaces puisque la température moyenne de la Terre se réchauffe. Ce réchauffement et donc cette accumulation d'énergie rendent le réchauffement climatique irréversible sur des temps longs comme des siècles... Il n'a pas fallu un an pour que la banquise se forme mais des millénaires...



L'ESSENTIEL

L'océan a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie, près de 90%. Cela conduit à une élévation du niveau de la mer causée par la dilatation thermique de l'eau. Celle-ci est amplifiée par la fonte des glaces dues à l'augmentation de la température moyenne sur Terre. Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles.

Mais comment limiter l'augmentation de la température de la Terre pour chercher à limiter les dégâts futurs ?



RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Définissez le terme « puits de CO₂ » ?

Les puits de carbone désignent les techniques de stockage du CO₂. Une des plus connues est l'utilisation des végétaux capables de photosynthèse. Lors de ces procédés biochimiques, le dioxyde de carbone est absorbé au profit du dioxygène. Cette technique permet de limiter la quantité de dioxyde de carbone présente dans l'atmosphère et par ce moyen, de limiter la présence de gaz à effet de serre.

La présence de ces puits de CO₂ est donc un exemple de phénomène de rétroaction négative.



L'ESSENTIEL

À court terme, un accroissement de la végétalisation constitue un puits de CO₂ et a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).

LE TEMPS DU BILAN

- La climatologie étudie les variations du climat local ou global à moyen ou long terme (années, siècles, millénaires...).
- La météorologie étudie les phénomènes atmosphériques qu'elle prévoit à court terme (jours, semaines).
- La notion de temps est un élément important à prendre en compte dans l'étude de l'évolution des températures sur Terre.
- Les relevés de températures ne datant que depuis 1900 pour les plus anciens, il existe des marqueurs géologiques de l'évolution du climat. Les roches ou les pollens permettent notamment de connaître les variations des climats passés.
- L'augmentation de la température sur Terre est la réponse du système climatique à l'augmentation du forçage radiatif (différence entre l'énergie radiative reçue et l'énergie radiative émise) due aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère : CO₂, CH₄, N₂O et vapeur d'eau principalement.
- Lors de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES), l'atmosphère absorbe une plus grande quantité du rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la Terre. Ceci provoque une augmentation de la puissance radiative reçue par le sol de la part de l'atmosphère.
- L'énergie supplémentaire associée est essentiellement stockée par les océans, mais également par l'air et les sols, ce qui se traduit par une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre et la montée du niveau des océans. Cette augmentation de température a pour effet une augmentation du niveau de la mer, une fonte des glaciers ou encore des dates de vendanges de plus en plus précoces.
- L'évolution de la température terrestre moyenne résulte de plusieurs effets amplificateurs comme :
 - L'augmentation de la concentration en vapeur d'eau (gaz à effet de serre) dans l'atmosphère ;
 - La décroissance de la surface couverte par les glaces et diminution de l'albédo terrestre ;
 - Le dégel partiel du permafrost provoquant une libération de GES dans l'atmosphère.
- L'océan a un rôle amortisseur en absorbant à sa surface une fraction importante de l'apport additionnel d'énergie, près de 90%. Cela conduit à une élévation du niveau de la mer causée par la dilatation thermique de l'eau. Celle-ci est amplifiée par la fonte des glaces dues à l'augmentation de la température moyenne sur Terre. Cette accumulation d'énergie dans les océans rend le changement climatique irréversible à des échelles de temps de plusieurs siècles. À court terme, un accroissement de la végétalisation constitue un puits de CO₂ et a donc un effet de rétroaction négative (stabilisatrice).

Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances.
Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

EXERCICE

11

Répondez à ces quelques questions à choix multiple.

1. La distinction entre climatologie et météorologie réside :
 - a) Dans la notion de temps.
 - b) Dans la notion de lieu.
 - c) Dans la notion de température.
2. Le réchauffement climatique peut déterminer sur une étude d'une durée de :
 - a) Quelques mois.
 - b) Quelques années.
 - c) Quelques dizaines d'années.
 - d) D'un siècle.
3. Les marqueurs géologiques permettent de connaître :
 - a) Les variations de pression sur terre.
 - b) Les variations de concentration en gaz à effet de serre.
 - c) Les variations du climat.
 - d) Les variations des cycles solaires.
4. Lors de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES), l'atmosphère absorbe :
 - a) Une plus grande quantité du rayon de soleil.
 - b) Une plus grande quantité du rayonnement thermique infrarouge émis par la surface de la terre.
 - c) Une plus grande quantité de rayons cosmiques.
5. Le forçage radiatif dépend surtout :
 - a) Du dioxyde de carbone.
 - b) Du méthane.
 - c) De l'ozone.
 - d) De la vapeur d'eau.
6. L'excès d'énergie issu du forçage radiatif dans l'atmosphère est :
 - a) Évacué lentement vers l'espace.
 - b) Absorbé par la terre.
 - c) Absorbé par l'océan.
 - d) Uniquement statique dans l'air.
7. Quelle rétroaction est dite négative ?
 - a) Le taux de vapeur d'eau dans l'air.
 - b) La décroissance de la banquise.
 - c) Le dégel de permafrost.
 - d) La végétation.
8. Un puits de carbone est :
 - a) Une source de CO₂.
 - b) Un réservoir dans le cycle du carbone.
 - c) Une réserve de sources fossiles.
 - d) Une technique de stockage du CO₂.

9. Le dégel du permafrost va :
- Entraîner une libération importante de gaz à effet de serre.
 - Permettre de capter du CO_2 présent dans l'atmosphère.
 - Avoir un impact négligeable sur l'évolution du climat.
 - Avoir une rétroaction négative.
10. Depuis plus d'un siècle, la température moyenne sur Terre a augmenté :
- De moins de 1°C .
 - De $1,5^\circ\text{C}$.
 - De 2°C .
 - De plus de 2°C .

EXERCICE

12

Vrai ou Faux ?

	V / F
1. Les marqueurs géologiques des évolutions passées du climat consistent uniquement en l'étude des carottes de glaces issues de la banquise.	
2. L'atmosphère ne capte comme rayonnement uniquement celui issu du Soleil.	
3. Le « forçage radiatif » n'est pas anthropique.	
4. Le surplus d'énergie dû au forçage radiatif est principalement stocké dans l'air, d'où le réchauffement climatique.	
5. Le réchauffement climatique impacte la nature.	
6. Une rétroaction positive favorise l'augmentation de température.	
7. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre.	
8. La fonte de la taille de la banquise n'impacte pas l'albédo terrestre.	
9. Les marqueurs géologiques des évolutions passées du climat consistent uniquement en l'étude des carottes de glaces issues de la banquise.	
10. L'atmosphère ne capte comme rayonnement uniquement celui issu du Soleil.	

EXERCICE

13

Rétroaction

Expliquez en quelques lignes le phénomène de rétroaction.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

EXERCICE

18

Volcanisme et climat

Document 1 :

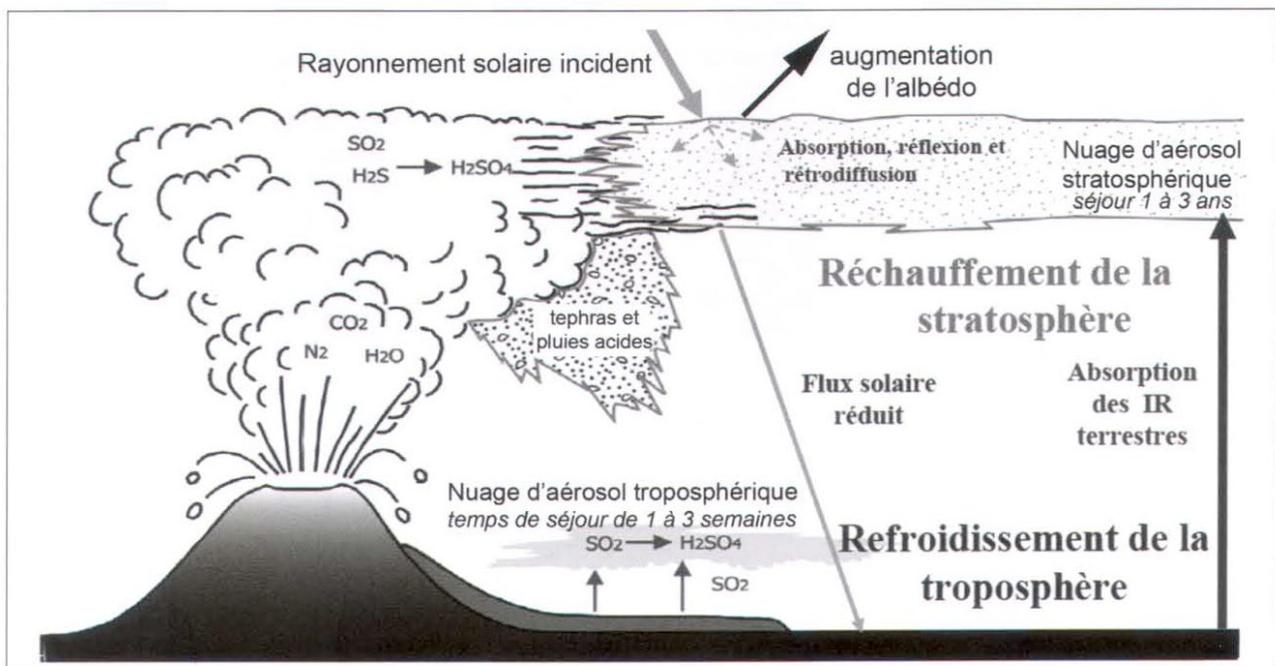


Fig. 1 - Représentation schématique des principales interactions volcan-atmosphère. D'après V. Courtillot 2009, modifié.

Document 2 :

« Les changements de la composition chimique de l'atmosphère modifient son albédo. De 31% en période normale, celui-ci peut être perturbé par les gaz à effet de serre. Dans ce contexte, quelles sont les conséquences du volcanisme à caractère explosif qui injecte dans la haute atmosphère (stratosphère) un volume important de particules et de gaz à effet de serre (H_2O , CO_2 , CH_4 , SO_2 notamment) ? Leur impact climatique semble encore difficile à évaluer, car l'observation précise des modifications atmosphériques induites par le volcanisme fait appel à l'analyse satellitaire où l'on ne possède pas encore un recul suffisant. Cependant, les éruption pliniennes et ultrapliniennes provoquent une baisse sensible de la température moyenne sur le globe qui perdure pendant quelques années :

- L'éruption du Krakatau (1883) a entraîné un forçage de 3 W.m^2 et une baisse de $0,4^\circ\text{C}$ sur toute la surface du globe.
- L'éruption du Pinatubo (1990) a provoqué un forçage de 2 W.m^2 et la température a baissé de $0,2$ à $0,4^\circ\text{C}$ pendant 2 ou 3 ans.
- L'éruption du Chicon au Mexique, en 1982, a imposé une baisse de 35 W.m^2 .
- L'éruption du Tambora (1815) a produit 150 km^3 de projection et détient un record historique. De ce fait, en 1816, il neigeait à Londres et des récoltes furent perdues aux Etats-Unis et en Europe. En

Europe, l'année 1815 a été baptisée « l'année sans été ». On estime que l'éruption a imposé un refroidissement de 3-5°C.

- L'éruption du Huaynaputina, au Pérou, en 1600, a entraîné un épisode de froid prononcé dans l'hémisphère nord.

Les émissions volcaniques paroxystiques injectent une quantité importante de CO₂ dans l'atmosphère. Cependant, les estimations ne dépassent pas le seuil de 0,44 Gt.an⁻¹, ce qui reste faible par rapport aux émissions anthropiques (1/80). ».

Extrait de *Impact du volcanisme sur le climat passé et présent de la Terre* de Michel Detay issu de la Revue de l'Association Volcanologique européenne.

En vous basant sur ces documents, expliquez pourquoi on peut considérer les volcans comme des mécanismes de rétroactions négatifs.

EXERCICE 19

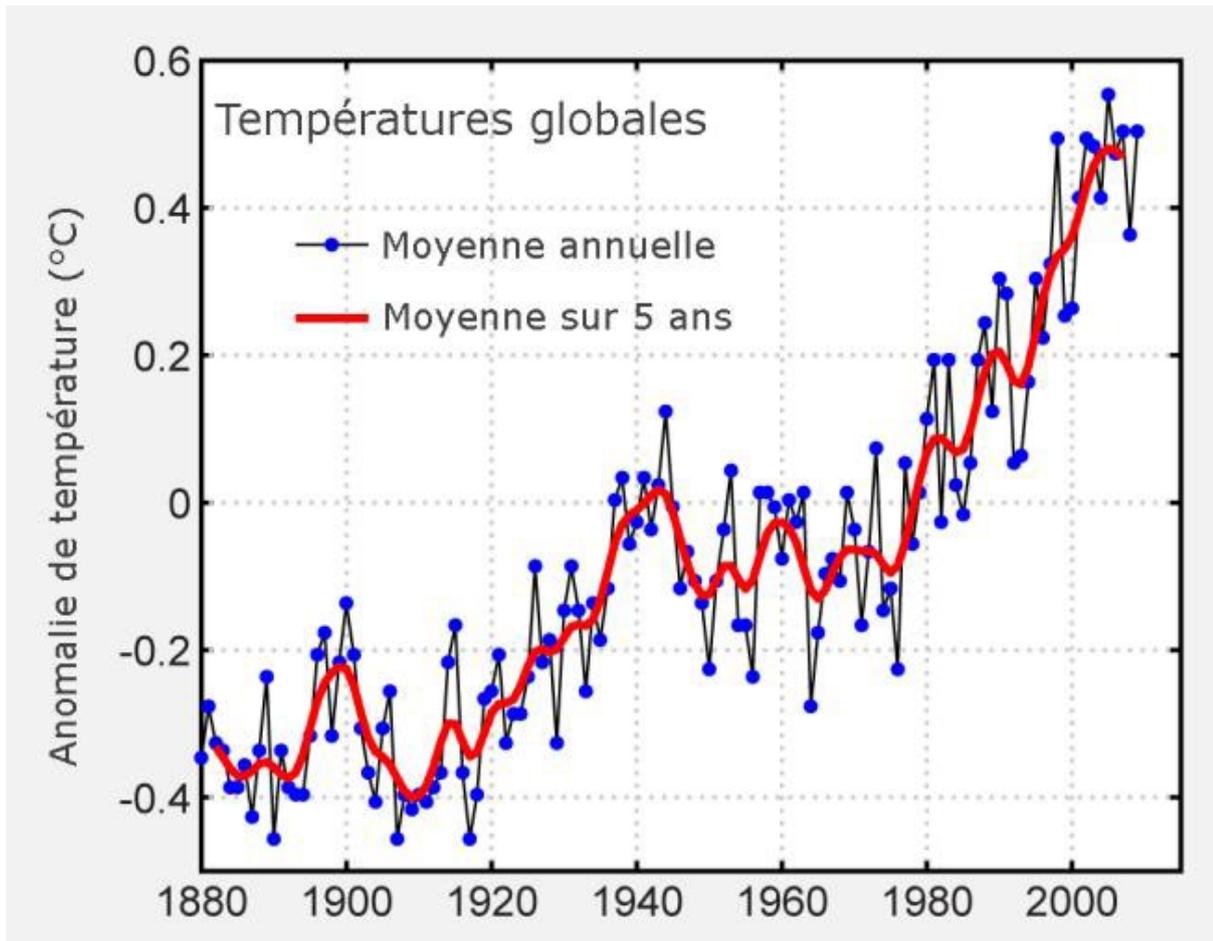
Des marqueurs de l'évolution du climat

« C'est parce que le climat influe sur la morphologie des cernes de croissance des arbres qu'il est possible de se servir de ces cernes pour dater le bois. À l'inverse, on peut donc utiliser ces cernes de croissance pour reconstituer le climat passé : faire de la dendroclimatologie à partir des données de la dendrochronologie. Les experts raisonnent cette fois sur une très longue échelle de temps.

Élévation des océans

Le tableau suivant donne l'évolution du volume d'un kilogramme d'eau en fonction de la température.

Température en °C	Volume de 1 kg d'eau en m ³
10	$1,00035 \cdot 10^{-3}$
11	$1,00045 \cdot 10^{-3}$
12	$1,00056 \cdot 10^{-3}$
13	$1,00068 \cdot 10^{-3}$
14	$1,00085 \cdot 10^{-3}$



Différence de température globale moyenne de surface par rapport à la moyenne 1961-1990, sur la période 1880-2009. Source <http://wikipedia.org>

Estimer la variation du volume d'un kilogramme d'eau liquide consécutif à une augmentation de température de 1°C, puis la variation relative de ce volume (c'est-à-dire la variation de volume rapportée au volume total) correspondante.

Donnée :

- Volume = surface x hauteur
- Profondeur moyenne des océans : 3 km

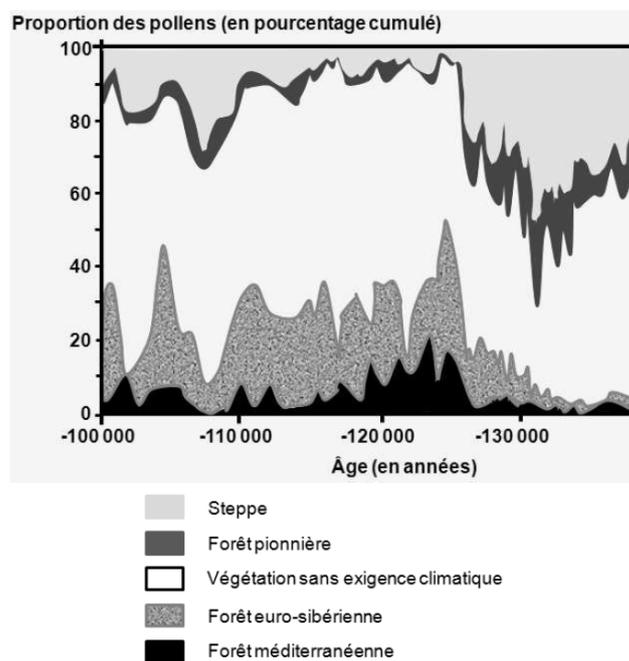
EXERCICE

21

Pollen sujet SVT ASIE 2017 (documents tirés du Bac S – Sujet de SVT Spécialité – Session 2017 – Asie)

Les deux documents ci-dessous sont des données palynologiques relevées au Portugal.

Document 1 : étude des proportions de pollens de végétaux regroupés selon les affinités climatiques





L'ÉTAT DES LIEUX D'UN DOCUMENT

Un des objectifs de cette matière est l'exploitation de documents scientifiques. Derrière cette désignation réside l'étude et la compréhension de documents afin de confirmer ou infirmer (contredire) une hypothèse scientifique.

Cet exercice, assez simple en apparence, est souvent mal réussi par les élèves et ce, quelle que soit la matière... De nombreux pièges résident dans cet exercice où les élèves tombent régulièrement comme la paraphrase, l'oubli d'informations essentielles, le manque de précision ou un manque de méthodologie...

Pour préparer cet exercice, les Cours Pi proposent une méthodologie progressive qui permettra à un élève d'analyser, commenter et exploiter n'importe quel document. Cette méthode sera travaillée de manière progressive au fur et à mesure des chapitres. Ces points fondamentaux seront travaillés à plusieurs reprises.

Mais que se cache-t-il derrière l'expression « L'état des lieux d'un document », titre de ce point méthodologie ?

« L'état des lieux d'un document » est une série de questions auxquelles doivent répondre les élèves mentalement. A l'issue de ces questions, l'élève aura recueilli l'ensemble des informations nécessaires au résumé d'un document pouvant faire office par la suite d'analyse ou de support d'exploitations d'un document.

Cet état des lieux sera à faire le jour de l'épreuve mentalement ou sur votre brouillon afin d'extraire toutes les informations nécessaires et devra durer le jour du bac un temps maximum de 5 minutes. L'objectif est une simple description du document sans commentaire, sans analyse. Ces questions permettront par la suite à l'élève de décrire un document ou d'utiliser cette description pour confirmer ou infirmer une hypothèse.

Voici les questions auxquelles vous devrez répondre avec des éléments de réponses :

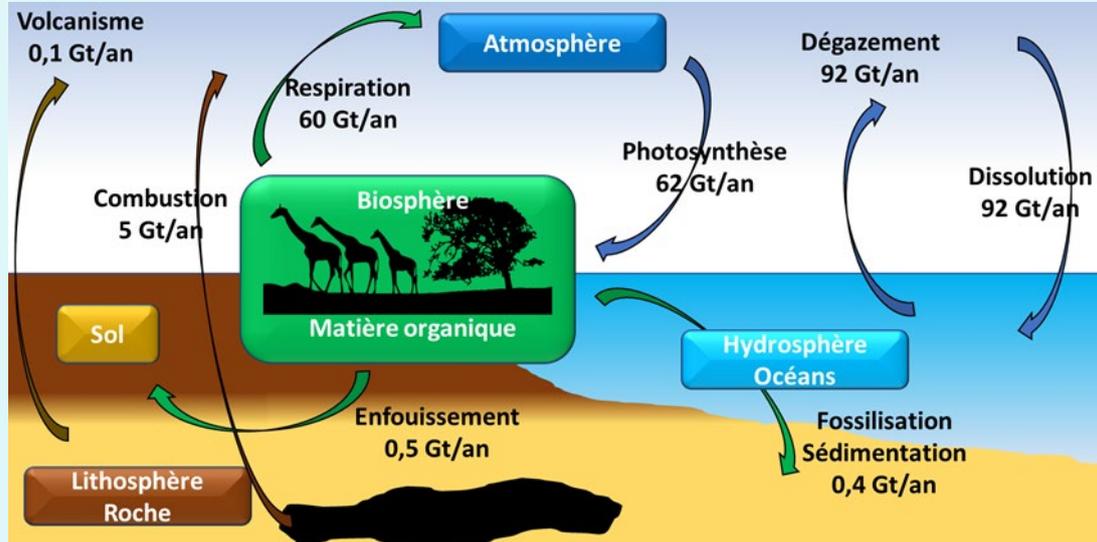
- **Type de document :**
Graphique, texte, carte, photographie, coupe géologique, protocole.
- **Auteur du document :**
Noms de l'auteur, fonction, métiers, s'il s'agit d'une personne connue. Attention toutes ces données ne sont pas forcément présentes.
- **Origine du document :**
Texte tiré d'un livre, d'une biographie, de mémoires ; Site internet ; Encyclopédie. Attention toutes ces données ne sont pas forcément présentes.
- **Date du document :**
Document contemporain d'une découverte ou a posteriori. Attention toutes ces données ne sont pas forcément présentes.
- **Grossissement de la photo, nature des axes du graphique :**
S'il s'agit d'un graphique, il faut indiquer la nature des axes avec les unités. S'il s'agit d'une coupe géologique ou biologique, il faut indiquer l'échelle voire le grossissement. Ces données ne sont présentes que sur des documents purement scientifiques.
- **Légende du document :**
S'il s'agit d'une carte, il est nécessaire de décrire la légende.
- **Idée principale du document :**
Dans cette partie, il faut décrire l'objectif du document. Cela peut être d'expliquer la courbe observée, le choix d'une légende sur un schéma, sortir l'idée principale d'un texte etc.

- **Tendance dégagée par le document :**

Cette partie est une des plus importantes. Il faut expliquer l'idée principale du document. Quel est le phénomène décrit par l'auteur ? Quels sont les mots-clés ? Comment se compose la carte ? Comment évolue le graphique ? Il s'agit tout simplement de décrire le phénomène principal du document, sans en prendre parti.

Si des éléments de réponses ne sont pas donnés, n'hésitez pas de le marquer afin de ne pas les oublier.

Exemple :



- **Type de document :**

Ce document est un schéma indiquant l'ensemble des échanges et des réservoirs de carbone sur Terre.

- **Auteur du document :**

Pas d'auteur indiqué.

- **Origine du document :**

Pas de source indiquée.

- **Date du document :**

Le document ne comporte pas de date.

- **Grossissement de la photo, nature des axes du graphique :**

Ne concerne pas notre carte.

- **Légende du document :**

Ce schéma décrit les différents réservoirs de carbone sur Terre (atmosphère, biosphère, hydrosphère, lithosphère et sol) mais aussi les échanges qui régissent le cycle du carbone. Les flux de carbone sont aussi quantifiés en Gt par an.

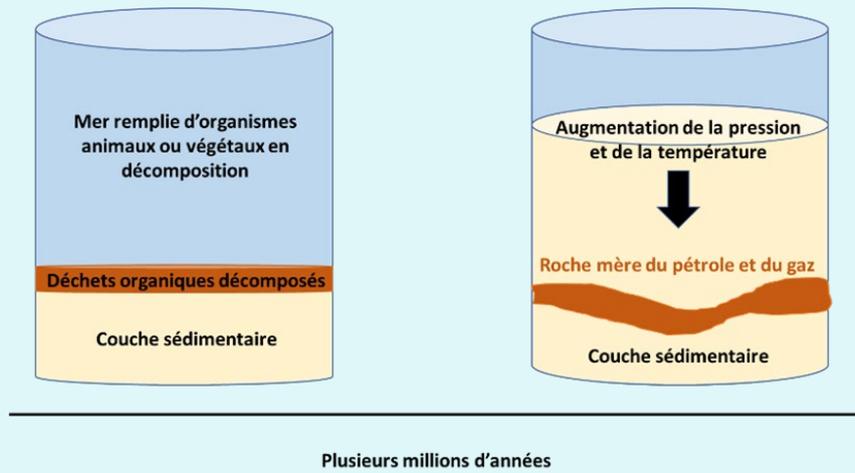
- **Idée principale du document :**

L'objectif de ce schéma est d'expliquer le cycle du carbone sur Terre.

- **Tendance dégagée par le document :**

Après avoir permis de déterminer les flux les plus importants du cycle du carbone ainsi que les différents réservoirs, il est possible de se rendre compte que si les quantités de carbone captées et libérées par la Terre sont égales, alors on considère que les quantités de carbone dans les différents réservoirs sont constantes.

A votre tour : Pas à Pas



- **Type de document :**

.....

.....

- **Auteur du document :**

.....

- **Origine du document :**

.....

- **Date du document :**

.....

- **Grossissement de la photo, nature des axes du graphique :**

.....

- **Légende du document :**

.....

.....

- **Idée principale du document :**

.....

.....

.....

.....

- **Tendance dégagée par le document :**

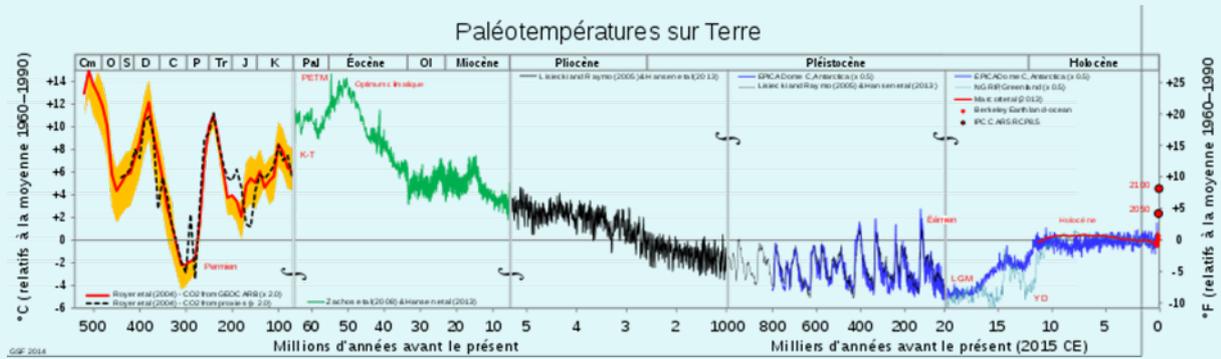
.....

.....

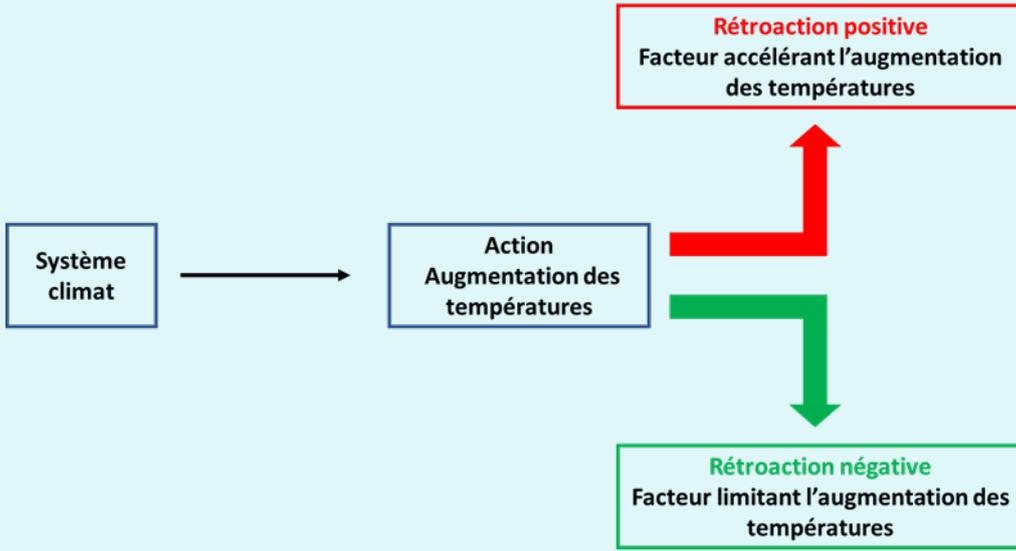
Applications

Faites l'état des lieux des documents

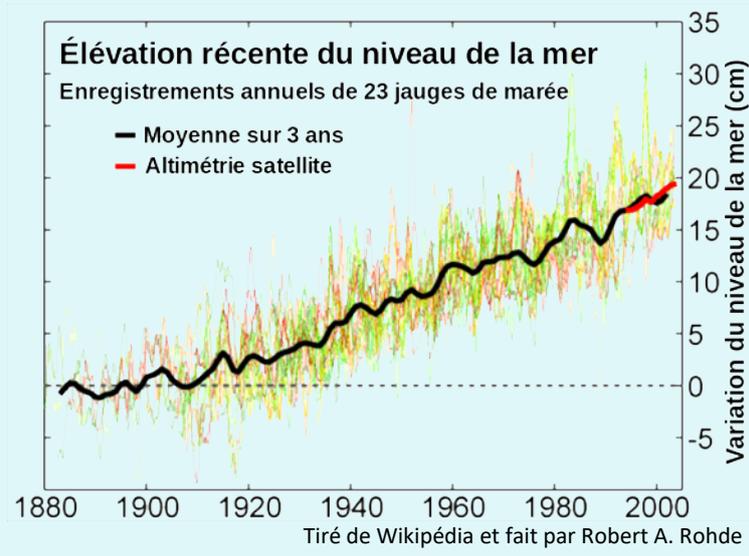
Document 1 :



Document 2 :



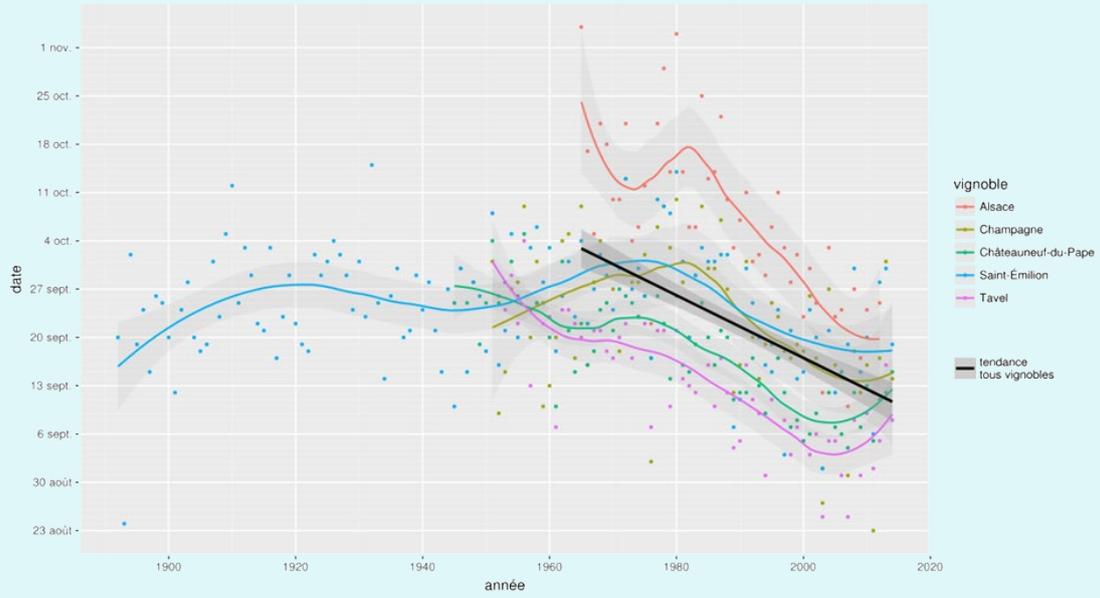
A series of horizontal dashed lines for writing.



Area with horizontal dashed lines for writing.

Document 5 :

Dates de vendanges en France métropolitaine 1892-2014
précocité : 4,4 ±0,7 jours par décennie *



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Vous pouvez maintenant faire et envoyer le **devoir n°1**

