

Règles du jeu

Les cartes sont déposées face cachée en paquet, seul leur numéro au dos est visible. Lorsqu'une carte révélée comporte des numéros correspondant à d'autres cartes du paquet, il faut aller chercher les cartes correspondantes et les révéler.

Il est possible d'ajouter les numéros de cartes comportant des pièces de puzzle complémentaires :


$$12 + 43 = 55$$

Il faut alors révéler la carte 55.



Les cartes avec un cadenas comportent un code à résoudre qui permettra d'obtenir une nouvelle carte.



Certaines cartes comportent un QR code qu'il faut scanner avec un Smartphone pour entrer la réponse.



Lorsqu'une carte comporte un personnage, il faut faire valider le résultat par l'enseignant.

THEME

1

7

THEME

1

12

THEME

1

24

THEME

1

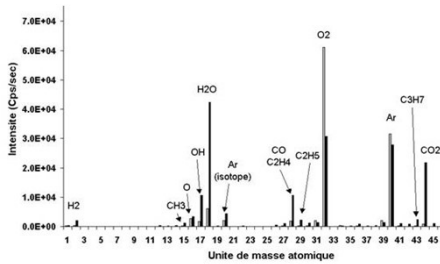
35

THEME

1

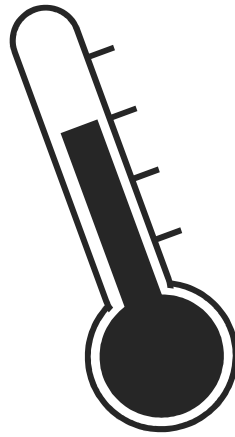
23

12



La **spectrométrie de masse** est une technique permettant d'analyser la nature et la quantité des molécules d'un échantillon en les séparant en fonction de leur masse.

7



Un **système de chauffage** à très haute température très utile pour récolter les gaz d'un échantillon de roche.

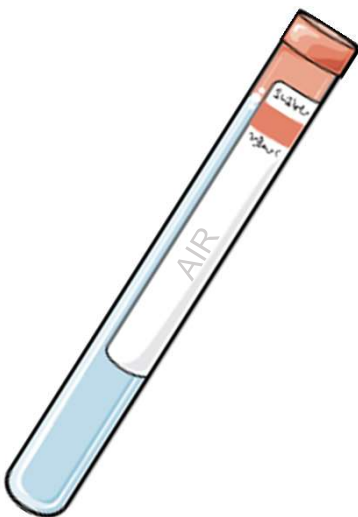
Objectifs

- Vous disposez d'une heure pour :
- 1/ Déterminer les **compositions** de l'atmosphère actuelle et de l'atmosphère primitive.
 - 2/ **Etablir une frise chronologique** des événements qui ont abouti à cette évolution.

Munissez-vous d'un papier, d'un crayon et d'un Smartphone par équipe.

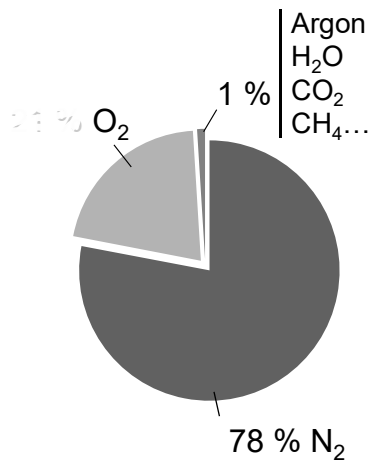
Lorsque vous êtes prêts, retournez la carte 0.

23



Un tube qui semble vide...

35



Grâce au spectromètre de masse, vous avez pu déterminer la proportion des gaz de l'atmosphère actuelle.

Défaussez la carte : **23**

24



Des documents sur un bureau et un tiroir fermé. Vous tentez de forcer pour l'ouvrir, mais il résiste.

Il va falloir trouver un autre moyen !

THEME

1

74

THEME

1

0

THEME

1

21

THEME

1

40

THEME

1

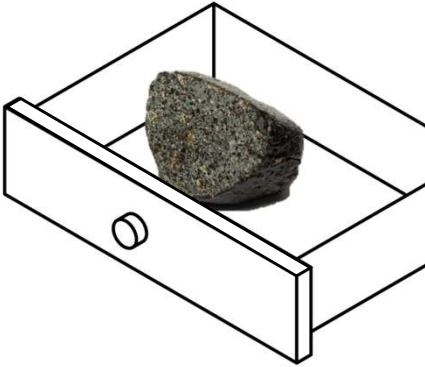
28

THEME

1

86

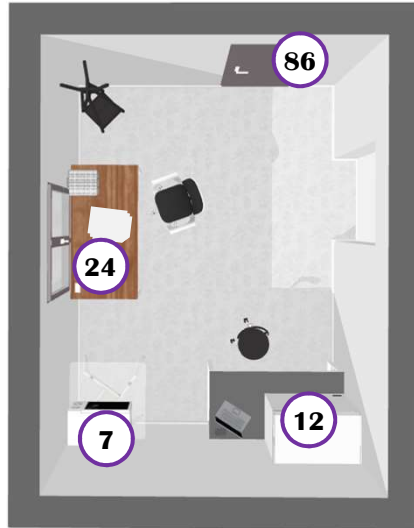
21



Le tiroir contient une **chondrite** ! Cette roche est une météorite provenant de la surface de petits astéroïdes. Elle est dite « indifférenciée », sa composition reflète celle des planètes primitives.

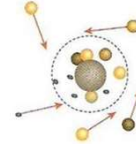
Défaussez la carte : **24**

0

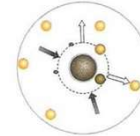


Vous êtes dans un laboratoire de géochimie, et vous vous intéressez à la **composition de l'atmosphère actuelle et primitive**.

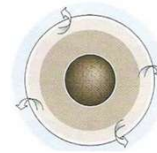
74



Croissance de la planète par accréation de poussières et d'objets de toutes tailles.



Formation des enveloppes terrestres par migration des éléments suivant leur densité.

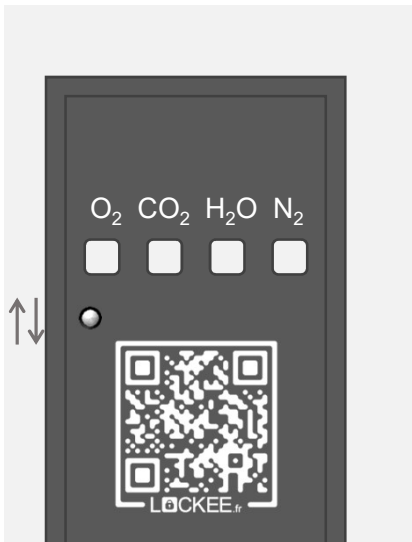


Formation de l'atmosphère par dégazage du manteau terrestre, puis apport de nouveaux gaz dégagés par des météorites et comètes issues d'un bombardement intense.

Les étapes de la formation de l'atmosphère primitive

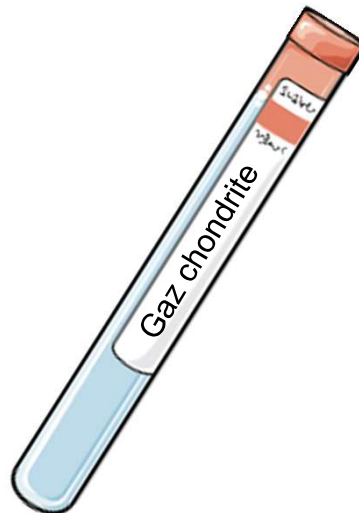
Après la formation de la Terre il y a **4,6 Ga** (Giga = milliards d'années), l'atmosphère terrestre s'est rapidement installée en moins de 150 Ma (millions d'années).

86



Une porte fermée avec d'étranges inscriptions.

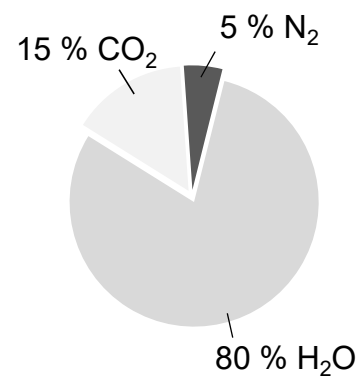
28



Après avoir chauffé les chondrites à très haute température, vous obtenez un mélange de gaz.

Défaussez les cartes : **7** **21**

40



Grâce au spectromètre de masse, vous avez pu déterminer la proportion des gaz dégagés par chauffage d'une chondrite.

Défaussez les cartes : **12** **28**

THEME

1

11

THEME

1

33

THEME

1

30

THEME

1

56

THEME

1

51

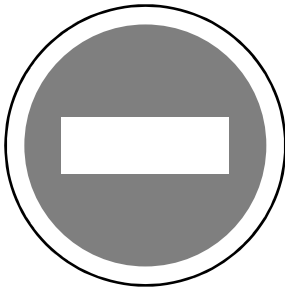
THEME

1

5

30

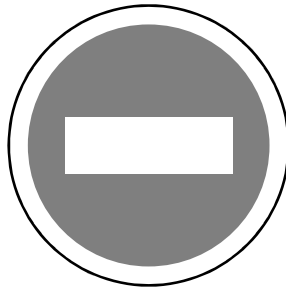
Mauvaise direction !



Pourquoi voulez-vous faire chauffer l'air ?

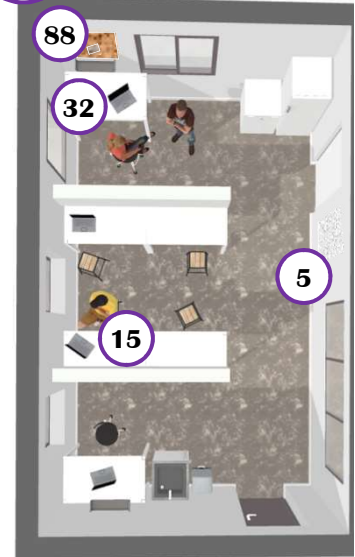
33

Mauvaise direction !



Ce n'est pas la composition même de la chondrite que l'on cherche à connaître ici.

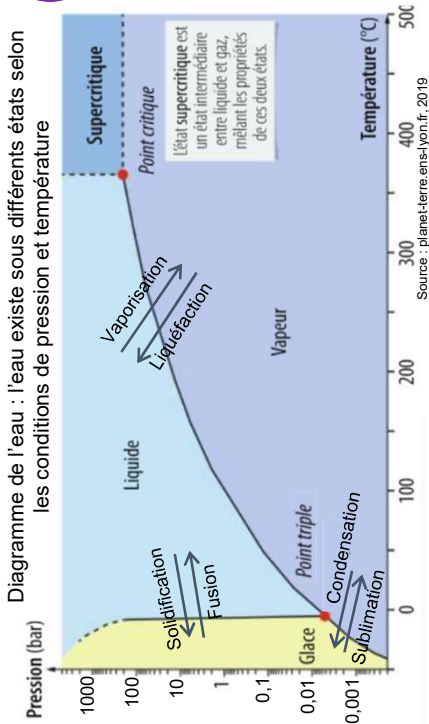
11



Vous entrez dans une nouvelle pièce du laboratoire. Votre nouvel objectif est de **comprendre ce qu'est devenue l'eau de l'atmosphère primitive**.

Défaussez la carte :

5



51



Âge de la Terre (Ga)	Température de surface (°C)	Pression atmosphérique (bar)
-4,6	> 1500	260
-4,4	350	218
-4,1	250	< 10
-3,3	100	4
0 (actuel)	15	1

Evolution des conditions de Pression et de Température sur la Terre primitive et sur la Terre actuelle

56



Comment la vapeur d'eau H₂O a-t-elle disparu de l'atmosphère ?

1 SU DEN RISAT ION

2 CON QUE SAT LIQU

3 LI PO MAT FUS

4 VA BLI FACT IDE

LOCKEE.fr

L'accès est verrouillé par un code à 4 chiffres.

THEME

1

32

THEME

1

64

THEME

1

69

THEME

1

19

THEME

1

88

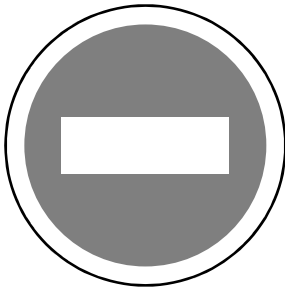
THEME

1

98

69

Mauvaise direction !



Hum... que cherchez-vous à faire ?

64



Le principe d'actualisme

« Théorie postulant que les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé »

On suppose ainsi que **les causes et les effets des phénomènes géologiques**, tels qu'on peut les observer actuellement, **étaient les mêmes dans le passé.**

32



Un ordinateur fermé avec un mot de passe.



98

Formation des océans

Plusieurs indices témoignent de l'existence d'eau liquide sur Terre peu de temps après sa formation :

- Les figures appelées « rides de courant » retrouvées dans des roches datant de 3,5 Ga se dessinent sous l'influence d'un **courant d'eau.**
- Les plus anciennes roches connues, les gneiss d'Acasta, sont des roches magmatiques se mettant en place à partir d'un **magma hydraté.**

Ces observations indiquent que l'eau contenue dans l'atmosphère sous forme de vapeur est devenue liquide, formant alors les océans. On estime que **l'hydrosphère s'est formée il y a 4,0 Ga environ grâce au refroidissement de la Terre.** Actuellement, les conditions de pression et température permettent l'existence de l'eau sous les trois états.

Défaussez les cartes :

Prenez les cartes :

88



Une carte postale des vacances accrochée au mur

19

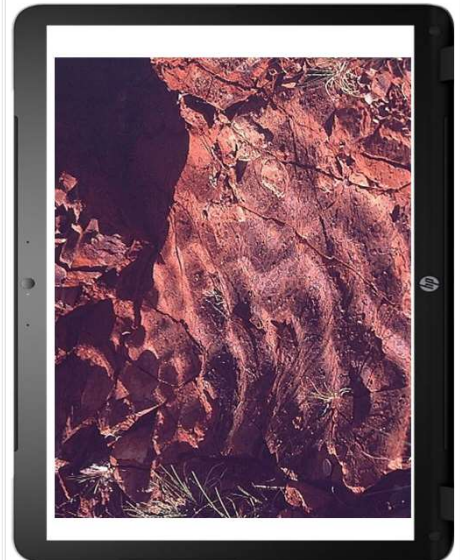


Photo d'un terrain sédimentaire retrouvé à Pilbara (Australie). Vous disposez également d'un petit échantillon de cette roche.

Défaussez la carte :

THEME

1

99

THEME

1

15

THEME

1

4

THEME

1

29

THEME

1

34

THEME

1

92

4

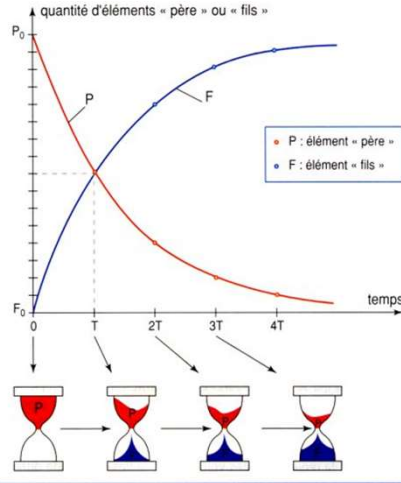


92

La porte s'ouvre sur le bureau de la directrice d'équipe.
 Votre troisième objectif est d'expliquer **ce qu'est devenu le dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère primitive.**

Défaussez les cartes : 5 11 51 56

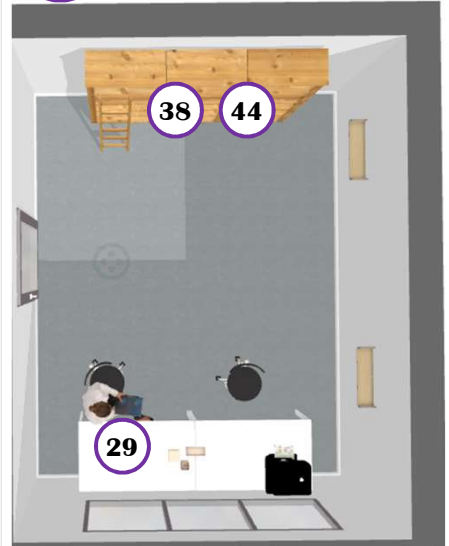
15



Cours de décroissance radioactive

La méthode de **datation par radiochronologie** permet d'identifier quand une roche s'est formée en mesurant la quantité d'éléments radioactifs « père » et « fils » dans une roche.

99



38

44

29

Vous entrez dans la salle de collection des échantillons de roches.

Votre dernier objectif est de comprendre **quand et comment le dioxygène (O₂) est apparu dans l'atmosphère.**

92



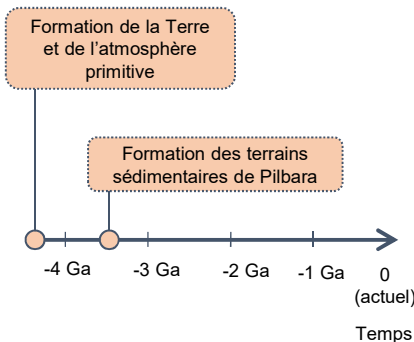
La comparaison des atmosphères de la Terre et de Vénus, dont les compositions et les histoires sont similaires, a permis d'estimer la proportion initiale de CO₂ dans l'atmosphère primitive : 10 000 à 100000 fois supérieure à la teneur actuelle !

Comment le dioxyde de carbone (CO₂) a-t-il disparu de l'atmosphère primitive ?

CO₂ (g)

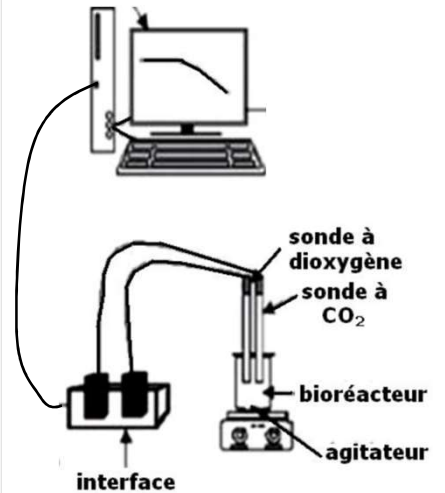
75

34



Cette roche s'est formée il y a 3,5 Ga.

29



Grâce à l'**expérimentation assistée par ordinateur** couplée à des capteurs mesurant la **concentration de gaz**, il est possible de déterminer quels gaz sont consommés ou libérés par des êtres vivants : on en déduit ainsi leur **métabolisme**, c'est-à-dire la nature des réactions chimiques intracellulaires.

THEME

1

46

THEME

1

20

THEME

1

83

THEME

1

80

THEME

1

54

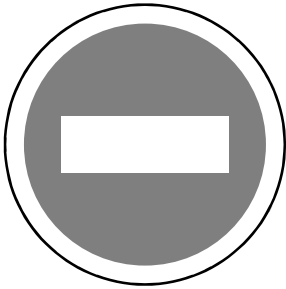
THEME

1

75

83

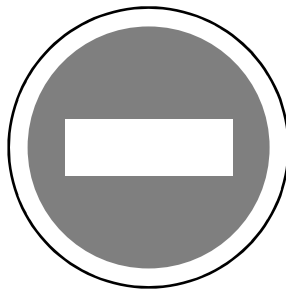
Mauvaise direction !



Pour utiliser correctement le principe d'actualisme, il faut connaître l'âge de cette roche.

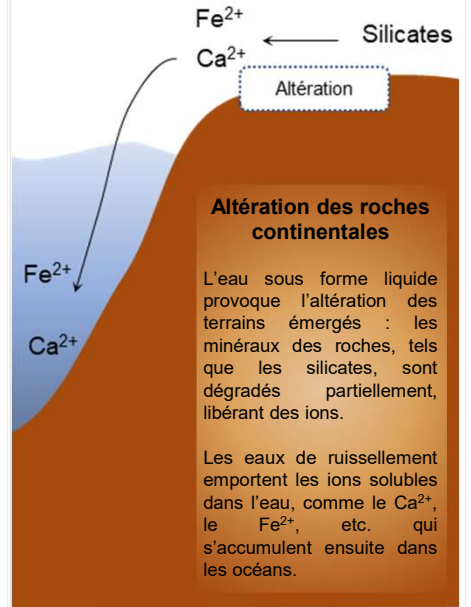
20

Mauvaise direction !

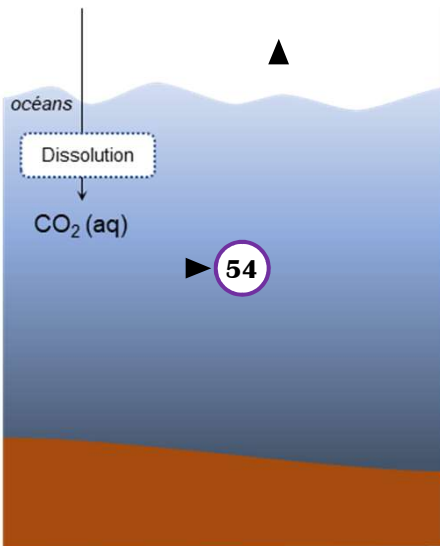


La datation permet de dater des roches, pas des diagrammes.

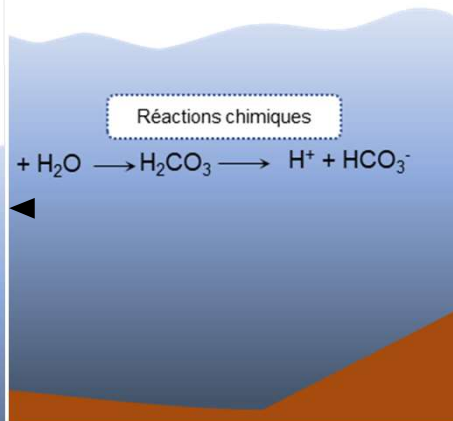
46



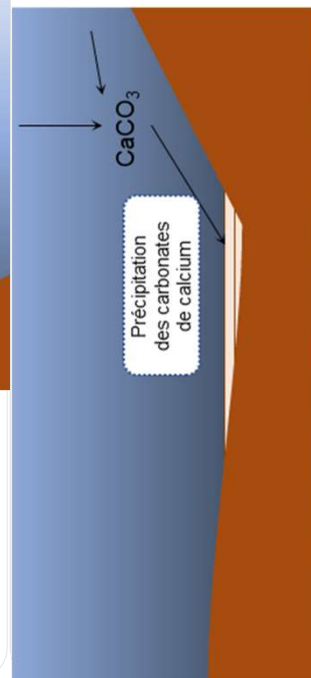
75



54



80



THEME

1

44

THEME

1

53

THEME

1

38

THEME

1

79

THEME

1

47

THEME

1

59

38

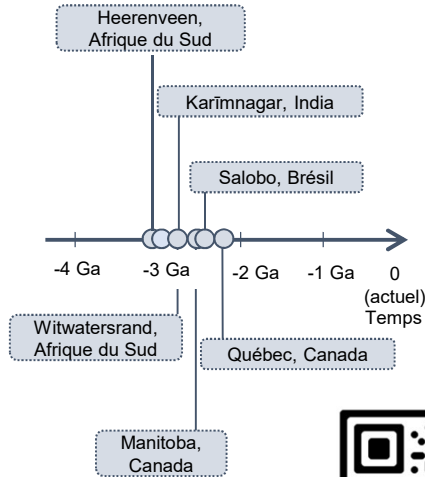


Un échantillon d'uraninite.

L'uranium contenu dans cette roche est sous forme réduite, ce qui signifie que celle-ci s'est mise en place **en absence d'oxydant tel que le dioxygène O₂**.

L'étude du gisement dans lequel cette roche a été trouvée indique qu'elle s'est formée par dépôt de roches détritiques issues du **milieu continental, en contact avec l'atmosphère**.

53



Datation de quelques gisements d'uraninite

Les gisements d'uraninite sont abondants avant -2 Ga, puis cessent de se former.

Quand le dioxygène est-il



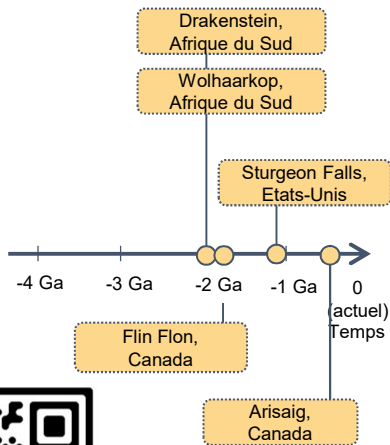
44



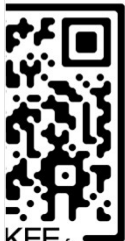
Un **sol rouge**, Blyde River Canyon (Afrique du Sud)

Ces sols, appelés *red beds*, se sont formés par altération des roches continentales **au contact de l'atmosphère**. La couleur rouge de certains de ces sols provient de la forte teneur en **hématite Fe₂O₃**, un oxyde de fer qui ne se forme **qu'en présence de dioxygène O₂**.

59



Datation de quelques sols rouges



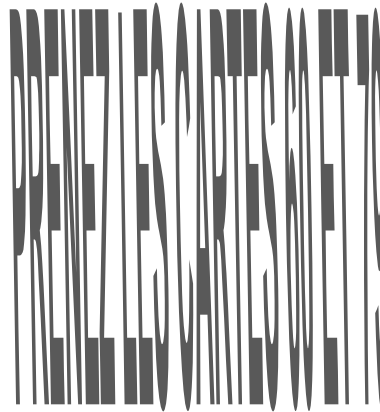
KEE.fr

apparu dans l'atmosphère ?

47

Oxygénation des océans

Bien avant l'oxygénation de l'atmosphère, certaines roches formées en milieu océanique, les fers rubanés, témoignent d'une production d'oxygène dans les océans beaucoup plus précoce dès -3,8 Ga.



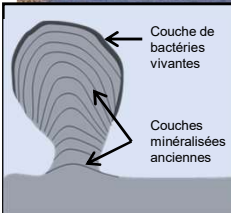
Défaussez les cartes : 15 38 44 53 59

79



2005 T.S. McCarthy, B. Rubidge

62



Stromatolithes actuels de Shark Bay (Australie)

Les stromatolithes sont des constructions de carbonates formées par superposition progressive de fines couches minéralisées. Des **cyanobactéries** peuvent être à l'origine de ces formations.

THEME

1

63

THEME

1

91

THEME

1

60

THEME

1

89

THEME

1

67

THEME

1

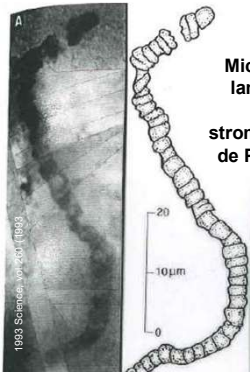
73

60



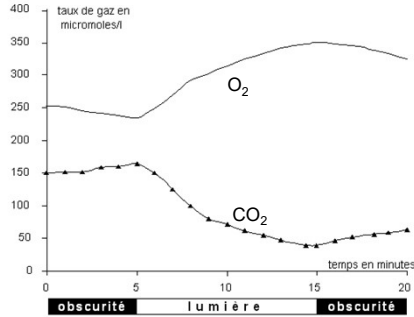
Photographie : Jean-François Moyen

Stromatolithes fossiles de Strelley Pool Cherts (Australie), datés de 3,4 Ga

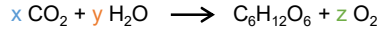


Micrographie d'une lame mince taillée dans des stromatolithes fossiles de Pilbara (Australie)

91



Votre enregistrement révèle qu'à la lumière, les cyanobactéries libèrent du dioxygène O₂ et consomment du dioxyde de carbone CO₂. Elles réalisent la **photosynthèse** selon la réaction :



Équilibrez la réaction et entrez le code XYZ



63

Oxygénation de l'atmosphère

L'apparition du dioxygène O₂ dans les océans à partir de -3,5 Ga puis l'atmosphère vers -2 Ga est étroitement liée au développement de la vie sur Terre grâce à la photosynthèse bactérienne.

Par la suite, l'oxygénation de l'atmosphère s'est accompagnée d'une diversification massive du vivant, avec l'apparition de nouveaux métabolismes comme la respiration cellulaire.

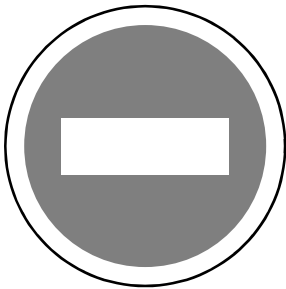
Défaussez les cartes :



Prenez la carte : **76**

73

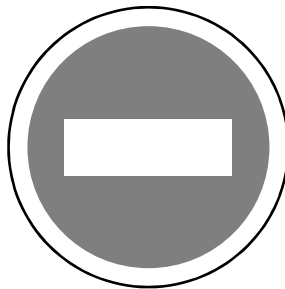
Mauvaise direction !



Non, on ne peut pas mesurer le métabolisme sur des roches !

67

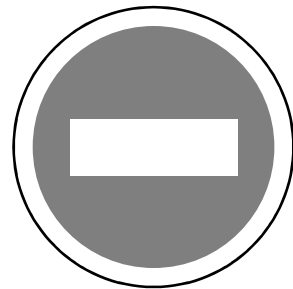
Mauvaise direction !



Non, on ne peut pas mesurer le métabolisme sur des roches !

89

Mauvaise direction !



Non, on ne peut pas mesurer le métabolisme sur des roches !

THEME

1

Indice
47

THEME

1

95

THEME

1

62

THEME

1

Indice
23

THEME

1

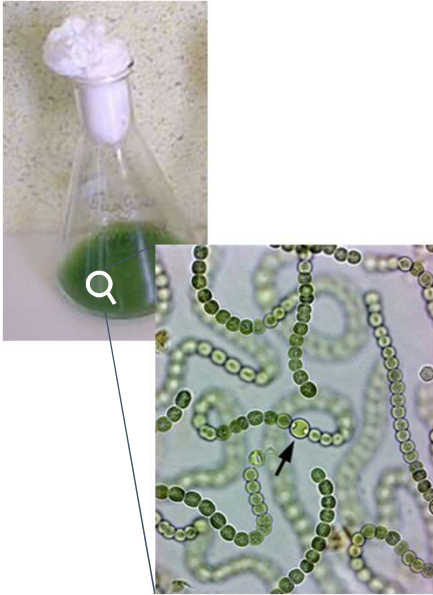
Indice
86

THEME

1

Indice
24

62



Une culture de **cyanobactéries** (genre Nostoc).

95

Le piégeage du CO₂ dans les carbonates

Après la formation de l'hydrosphère, l'altération des silicates et la précipitation des calcaires ont contribué à piéger le dioxyde de carbone CO₂ dans des roches. C'est ainsi que la teneur en CO₂ atmosphérique a baissé d'un facteur 100 000 !

Défaussez les cartes :



Prenez la carte : **99**

i

Indice 47

Parfois il suffit de changer de point de vue...

Inclinez la carte pour mieux la lire.

i

Indice 24

Avez-vous remarqué l'inscription sur le tiroir ? Il semble qu'elle permettrait de l'ouvrir, encore faut-il le déterminer...

La composition de l'atmosphère actuelle pourrait sûrement vous aider.

i

Indice 86

Des flèches vers le haut ou vers le bas : qui augmente, qui diminue ?

i

Indice 23

Est-ce que ce tube est vraiment vide ?
Comment peut-il vous aider dans vos objectifs ?

THEME

1

Indice
64

THEME

1

Indice
88

THEME

1

76

THEME

1

Indice
19

THEME

1

Indice
44

THEME

1

Indice
38

76

Et le diazote N₂ ?

On estime que sa **quantité** est restée à peu près constante au cours de l'âge de la Terre. Sa **proportion** a, elle, augmenté du fait de la disparition partielle des gaz initiaux, vapeur d'eau et dioxyde de carbone CO₂.



L'atmosphère terrestre et son évolution n'ont désormais plus de secret pour vous.

A l'aide des cartes restées sur la table, reprenez les objectifs de départ et construisez votre bilan.

i

Indice 88

Comment les rides que l'on voit sur la carte postale se sont-elles formées ?

i

Indice 64

Où voyez-vous des structures géologiques similaires ?

Que peut-on en déduire sur la formation de la roche du passé ?

i

Indice 38

Cette roche semble faire un lien avec le dioxygène O₂.

Savoir quand elle s'est formée pourrait être utile !

i

Indice 44

Cette roche semble faire un lien avec le dioxygène O₂.

Savoir quand elle s'est formée pourrait être utile !

i

Indice 19

Quand cette roche s'est-elle formée ?

THEME

1



THEME

1



THEME

1

Indice
91

THEME

1



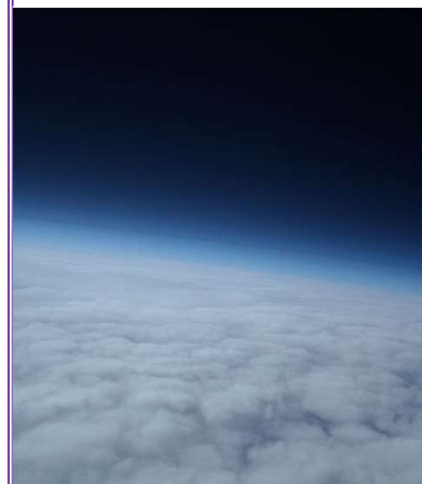
THEME

1



THEME

1



i

Indice 91

« rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »

Pour équilibrer une réaction chimique, il faut veiller à ce qu'il y ait le même nombre d'atomes de part et d'autre de la flèche :

- 1) Combien de molécules de CO_2 faut-il pour équilibrer le nombre de carbones avec $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$?
- 2) Combien de molécules d'eau H_2O faut-il pour équilibrer le nombre d'hydrogènes avec $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$?
- 3) Il reste à déterminer le nombre de molécules d' O_2 .