



## POUR COMMENCER

### *Testez votre culture scientifique*

Identifiez la bonne réponse

**1. La distance entre la Terre et le Soleil est de :**

- a. 150 millions de kilomètres
- b. 300 millions de kilomètres
- c. 150 milliards de kilomètres

**2. La conversion de  $\lambda = 12 \mu\text{m}$  en nm est :**

- a.  $12 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$
- b.  $12 \cdot 10^3 \text{ nm}$
- c.  $12 \cdot 10^{-3} \text{ nm}$

**3. Un T-shirt blanc absorbe :**

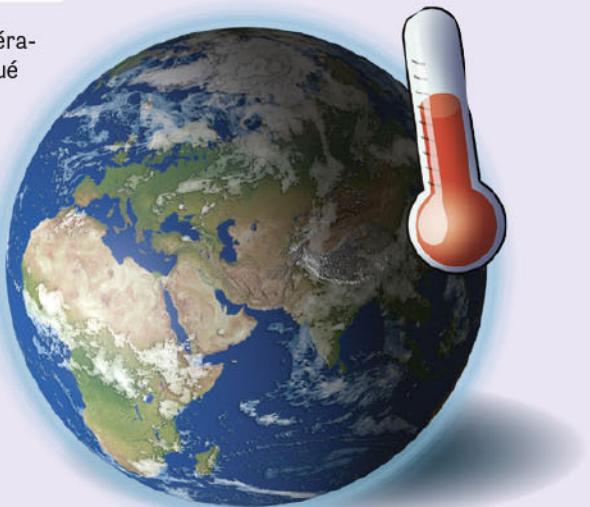
- a. plus de chaleur qu'un T-shirt noir
- b. moins de chaleur qu'un T-shirt noir
- c. autant de chaleur qu'un T-shirt noir

**4. L'effet de serre est une conséquence :**

- a. de la pollution
- b. des nuages
- c. de l'atmosphère terrestre

### *Recherches Internet*

Recherchez comment la température moyenne sur Terre a évolué depuis le début du xx<sup>e</sup> siècle et quelles ont été les trois années les plus chaudes de cette période.



Un brise-glace.





**UNITÉ 1** Le rayonnement solaire  
reçu par la Terre

**UNITÉ 2** L'albédo terrestre

**UNITÉ 3** Atmosphère et  
rayonnement terrestre

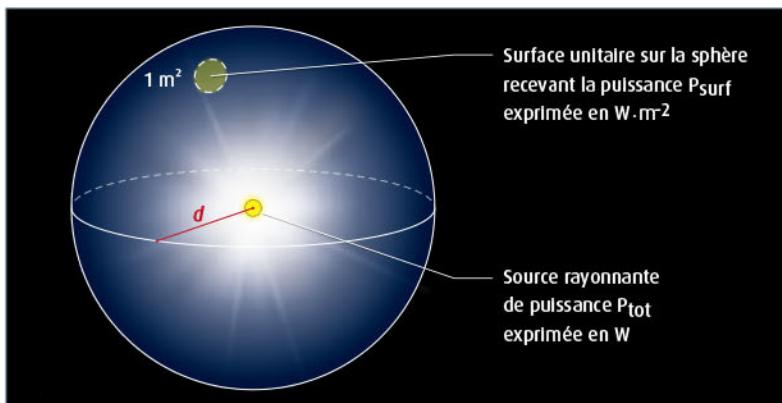
**UNITÉ 4** L'équilibre dynamique  
de la Terre

# Le rayonnement solaire reçu par la Terre

La Soleil est la principale source d'énergie du système solaire et toutes les planètes reçoivent une partie de la puissance qu'il rayonne.

Quelle est la puissance solaire reçue par la Terre ?

## Calcul de la puissance solaire par unité de surface



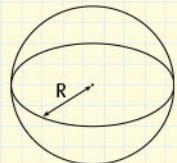
### focus maths

Surface d'un disque

$$S = \pi R^2$$

Surface d'une sphère

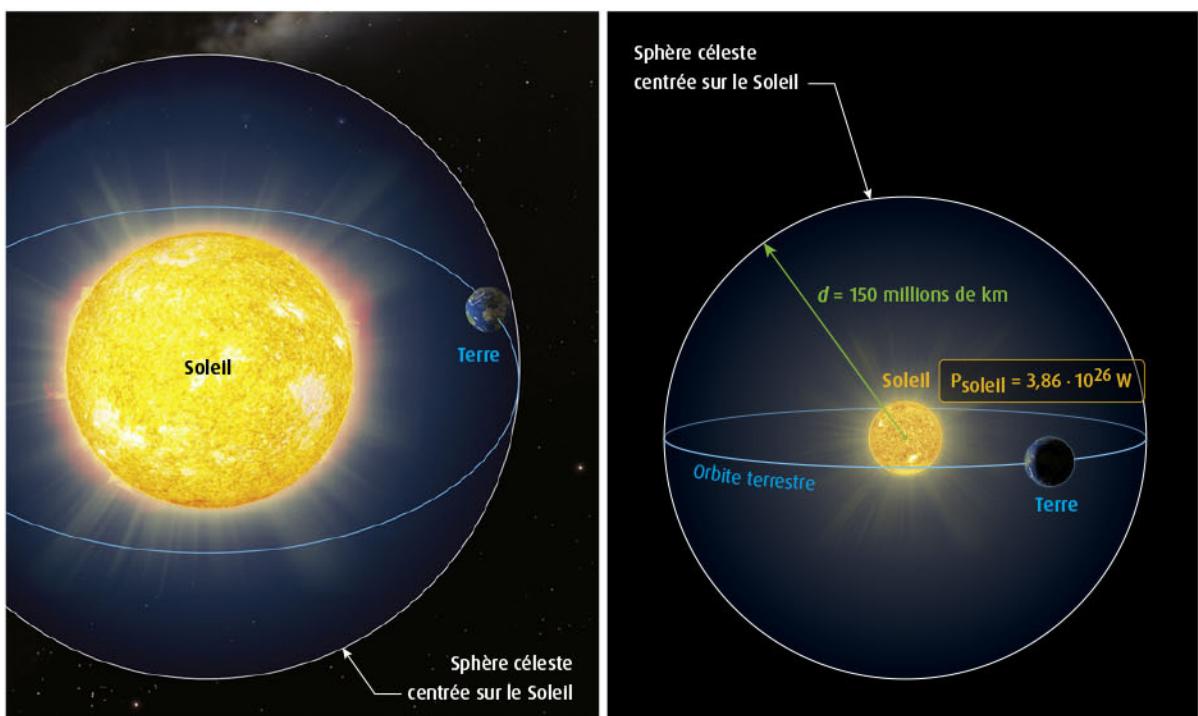
$$S = 4\pi R^2$$



### DOC 1 Répartition, sur une sphère, de la puissance émise par une source rayonnante.

La puissance  $P_{\text{tot}}$  est émise par la source dans toutes les directions de l'espace. À une distance  $d$  de la source, elle est donc équitablement répartie sur l'ensemble de la sphère fictive de rayon  $d$ .

La puissance par unité de surface  $P_{\text{surf}}$  est la puissance reçue par une surface de  $1 \text{ m}^2$  sur cette sphère.



### DOC 2 Deux représentations de l'orbite terrestre autour du Soleil.

## Calcul de la puissance solaire totale



Protocole

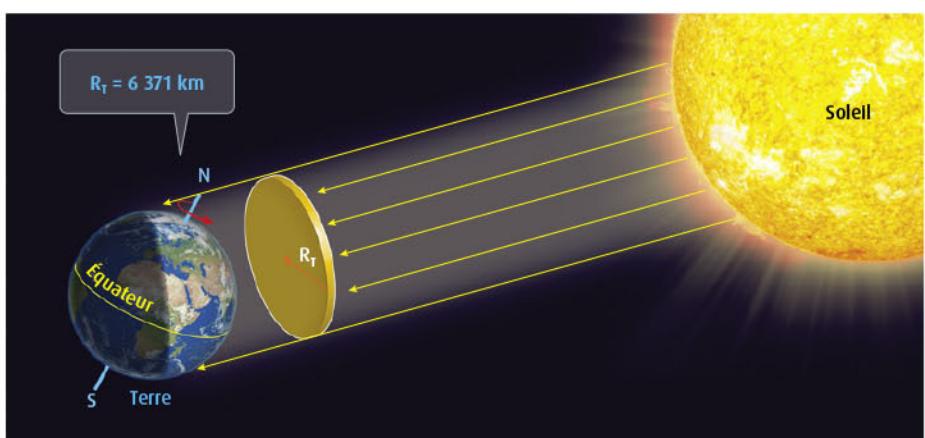
### EXPÉRIMENTATION

**DOC 3 Ombres portées d'une sphère et d'un disque de même rayon.**

Lorsqu'un obstacle est placé entre la lampe et le sol, une partie de la puissance émise par la lampe est interceptée par l'obstacle, d'où la formation d'une ombre.



**DOC 4 Représentation d'un disque recevant une puissance solaire égale à celle reçue par la Terre.** Le disque fictif, de même rayon  $R_T$  que la Terre, est situé à la même distance du Soleil que la Terre.



	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Puissance reçue (W)	$1,68 \cdot 10^{17}$	$3,03 \cdot 10^{17}$	$1,74 \cdot 10^{17}$	$2,14 \cdot 10^{16}$	$8,1 \cdot 10^{17}$	$1,71 \cdot 10^{17}$	$7,61 \cdot 10^{15}$	$2,96 \cdot 10^{15}$
Distance au Soleil (UA)	0,39	0,72	1,00	1,52	5,20	9,54	19,19	30,07
Rayon (km)	2 439	6 052	6 371	3 397	71 492	60 268	25 559	24 961

**DOC 5 Tableau comparatif de la puissance reçue par les planètes.**

Une unité astronomique (UA) vaut  $1,50 \cdot 10^{11}$  m et est égale à la distance entre la Terre et le Soleil. Elle est utilisée pour exprimer les distances dans l'Univers.

### ACTIVITÉ GUIDÉE

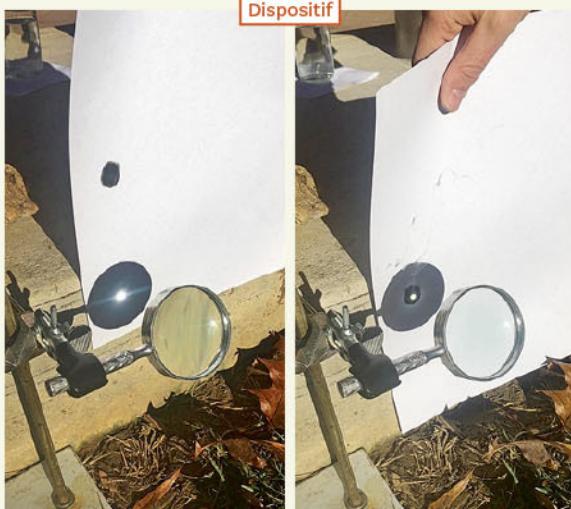
1. Établissez la formule littérale qui donne la puissance  $P_{\text{surf}}$  en fonction de la puissance totale  $P_{\text{tot}}$  et du rayon  $d$  de la sphère (DOC. 1).
2. En déduire la puissance par unité de surface  $P_{S-T}$  reçue du Soleil au niveau de l'orbite de la Terre (DOC. 2).
3. Mesurez les diamètres des deux ombres du doc. 3 et en déduire la relation entre la puissance reçue par une sphère et un disque de même rayon.
4. Grâce à cette relation et au calcul de  $P_{S-T}$ , calculez la puissance totale qui atteint la Terre (DOC. 4).
5. Déterminez les deux paramètres qui influencent la puissance solaire reçue par une planète et lequel semble avoir le plus d'impact (DOCS 2, 4 ET 5).

## L'albédo terrestre

Toute surface réfléchit une partie de l'énergie solaire qu'elle reçoit. Ainsi, la Terre renvoie 30 % de l'énergie solaire qui l'atteint.

Comment le pouvoir réfléchissant des différentes surfaces terrestres influence la puissance solaire absorbée par la Terre ?

### Le pouvoir réfléchissant des surfaces



Vidéo de l'expérience

#### EXPÉRIMENTATION

- A l'extérieur, placez au soleil une feuille de papier blanc devant une loupe.
- Chronométrez le temps qu'il faut pour que le papier blanc s'enflamme.
- Coloriez une petite partie de la feuille en noir et la placez derrière la loupe.
- Chronométrez le temps qu'il faut pour que le papier noir s'enflamme.

#### Résultats

	Papier blanc	Papier noir
Durée avant le début de la combustion	1 à 3 minutes	1 à 2 secondes

**DOC 1 Combustion de papiers noir et blanc avec une loupe.** La puissance rayonnée par le Soleil peut être concentrée en un point grâce à une loupe. La tâche lumineuse sur le papier blanc est plus intense que sur le papier noir.



**DOC 2 Photo satellite de la Méditerranée et de sa côte.** Les mers et les océans apparaissent noirs sur les photos prises par des satellites qui se trouvent à la verticale du lieu.



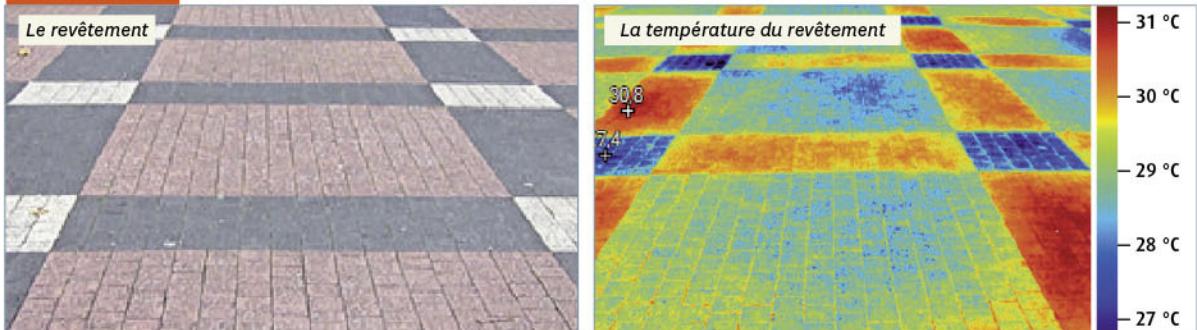
**DOC 3 Un skieur sur les pistes.** À la montagne en hiver, il est vivement conseillé de porter de la crème solaire et des lunettes de soleil pour éviter de prendre des coups de soleil.

## L'albédo et son importance pour la planète

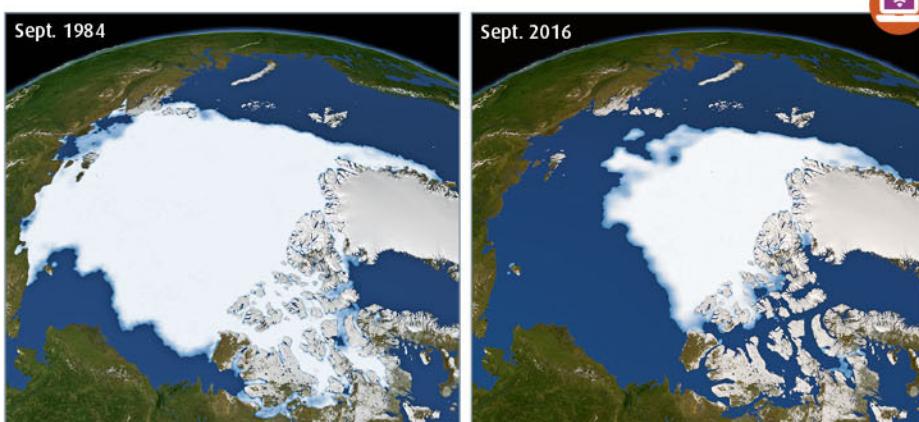
Surface	Neige fraîche, Soleil haut	Neige fraîche, Soleil bas	Sable	Forêt	Eau, Soleil horizontal	Eau, Soleil vertical	La planète Terre
Albédo	0,8 – 0,85	0,9 – 0,95	0,2 – 0,3	0,05 – 0,1	0,5 – 0,8	0,03 – 0,05	0,3

**DOC 4 Valeurs d'albédo de quelques surfaces.** Le pouvoir réfléchissant d'une surface est appelé albédo. C'est une grandeur sans dimension comprise entre 0 et 1. Un albédo de 0,4 signifie que la surface réfléchit 40 % de la puissance reçue. L'albédo terrestre est la moyenne de l'albédo de chaque type de surface pondérée par sa proportion relative sur Terre.

### Sciences et Société



**DOC 5 La température de revêtement de différentes couleurs en été à 22 heures.** En ville, entre les espaces verts et les zones sans végétation, la température nocturne peut varier de 8 °C en période de canicule. C'est ce qu'on appelle l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Alors que la végétation contribue à abaisser la température du lieu, en ville, les surfaces de béton ou d'asphalte, emmagasinent la chaleur durant la journée et la relâchent dans l'air pendant la nuit. Une solution consiste à modifier la couleur des revêtements en ville.



**DOC 6 Photos satellites de la banquise du pôle Nord prises par la NASA.**

### TÂCHE COMPLEXE

#### Mission

Réalisez un PowerPoint expliquant comment le pouvoir réfléchissant des différents types de surfaces terrestres influence son albédo et sa température.

#### Pistes de réalisation

- Calculez la puissance solaire absorbée par le sol, sachant que la puissance solaire totale reçue par la Terre est de  $1,74 \cdot 10^{17}$  W.
- À l'aide des documents, illustrez la notion d'albédo et son impact sur la température au sol.
- Discutez de l'évolution possible de l'albédo terrestre dans le futur et de ses conséquences.

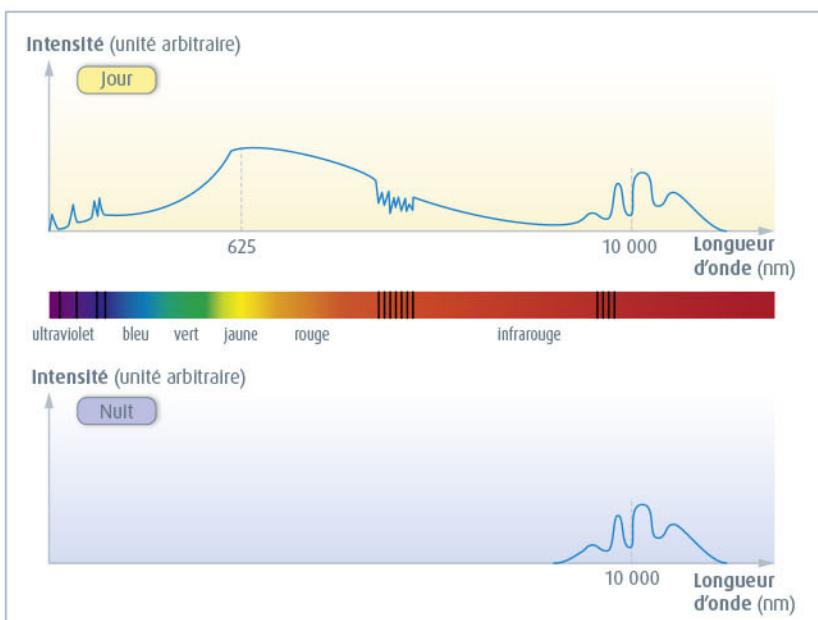


# Atmosphère et rayonnement terrestre

Du fait de sa température, la Terre émet un rayonnement thermique. Lorsqu'il atteint l'atmosphère, ce rayonnement est modifié par les molécules qui constituent notre enveloppe gazeuse.

Quelles sont les caractéristiques du rayonnement émis par la Terre et comment l'atmosphère l'influence-t-il ?

## Le spectre du rayonnement terrestre



**DOC 1** Spectres du rayonnement terrestre le jour et la nuit. La Terre, comme tout corps de température non-nulle, émet un rayonnement thermique.

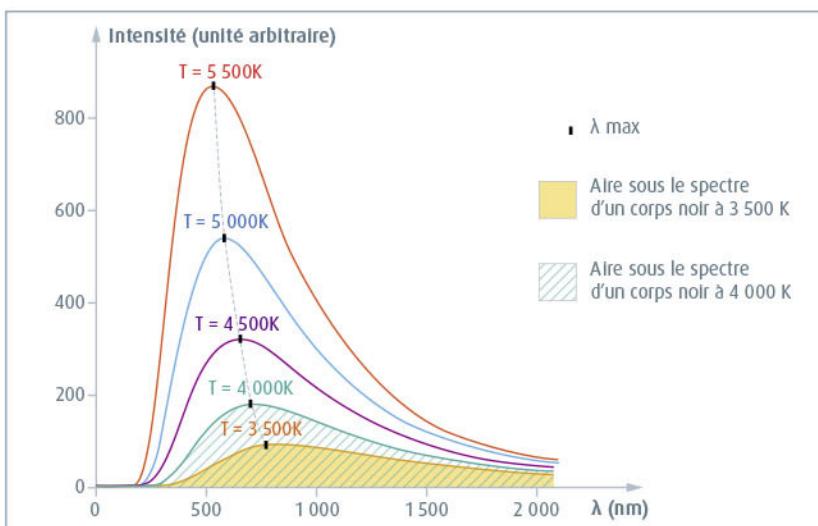
### rappel

#### La loi de Wien

La longueur d'onde maximale  $\lambda_{\max}$  du rayonnement d'un corps noir (en mètres) est inversement proportionnelle à la température absolue ( $T$  en kelvin) de sa surface :

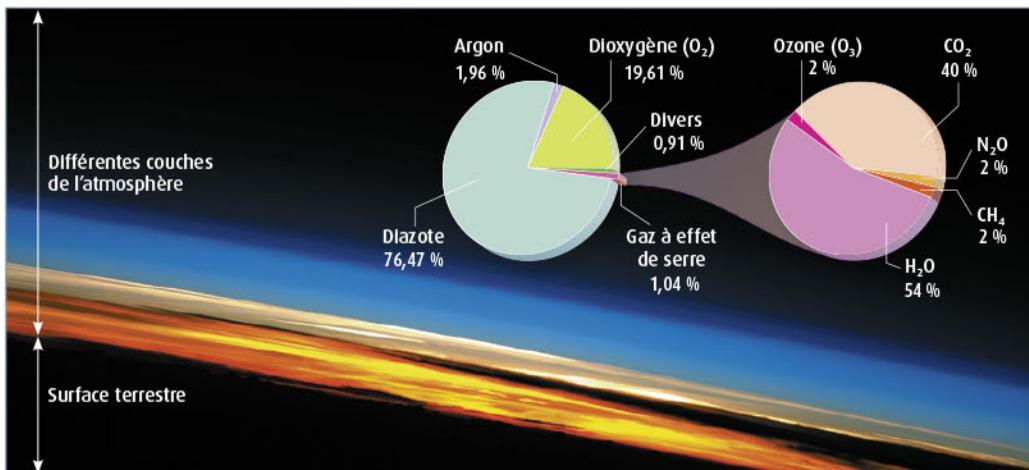
$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^3}{T}$$

Quand on applique cette loi, on ne prend pas en compte le rayonnement issu de phénomènes de réflexion.

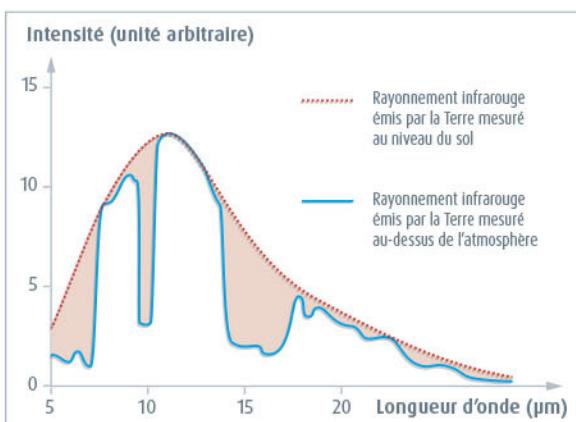


**DOC 2** Spectres d'émission de corps noirs à différentes températures. On démontre, en physique théorique, que plus la puissance par unité de surface émise par un corps noir est importante, plus l'aire sous la courbe de son spectre est grande.

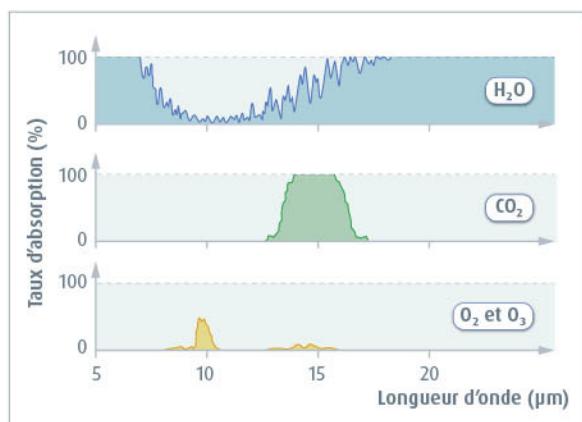
## Le rôle de l'atmosphère



**DOC 3 Photo satellite et composition de l'atmosphère terrestre.** L'atmosphère terrestre, qui tire son nom du grec *atmós* (vapeur) et *sphaira* ( sphère), est composée de différents gaz.



**DOC 4 Comparaison des spectres d'émission terrestres au niveau du sol et au-dessus de l'atmosphère.** On constate un écart conséquent entre le spectre d'émission mesuré au niveau du sol et le spectre mesuré au-dessus de l'atmosphère. L'écart est matérialisé en rouge sur le graphe.



**DOC 5 Absorption du rayonnement infrarouge par certains gaz de l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde.** Ces gaz sont dits à «effet de serre».

### ACTIVITÉ GUIDÉE

1. Décrivez les spectres de jour et de nuit, en précisant leurs domaines de longueurs d'onde, et en déduire quelles parties correspondent à l'albédo et au rayonnement thermique émis par la Terre (DOC. 1).
2. En appliquant la loi de Wien à la Terre, estimatez la température moyenne du sol en degrés Celsius (DOC. 1).
3. Expliquez comment la puissance par unité de surface émise par un corps noir varie en fonction de sa température (DOC. 2).
4. Expliquez avec précision l'écart entre le spectre d'émission mesuré au niveau du sol et le spectre mesuré au-dessus de l'atmosphère (DOCS 3, 4, ET 5).

# L'équilibre dynamique de la Terre

Certains gaz atmosphériques absorbent une partie du rayonnement émis par la Terre. Ce processus est à l'origine de l'effet de serre.

**Qu'est-ce que l'effet de serre et quelles sont ses conséquences sur la température de notre planète ?**

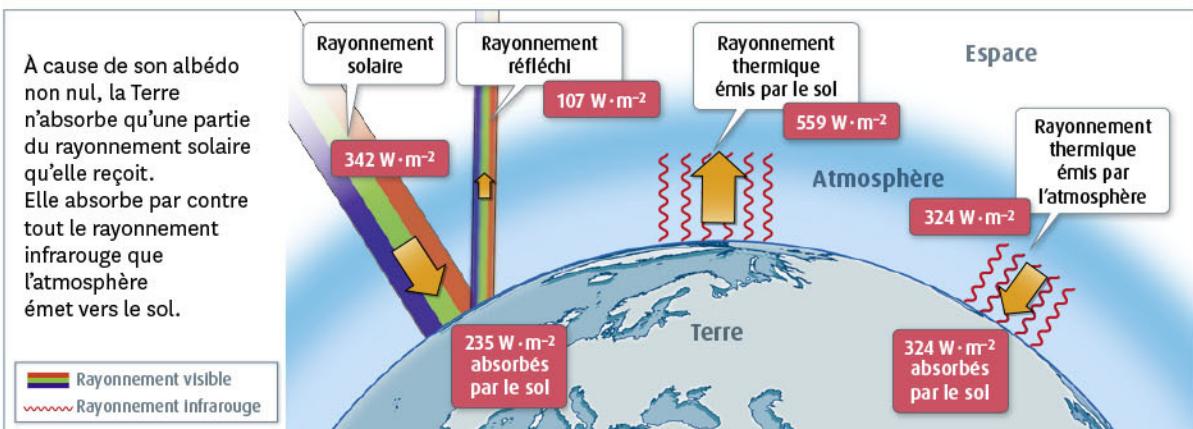
## L'effet de serre



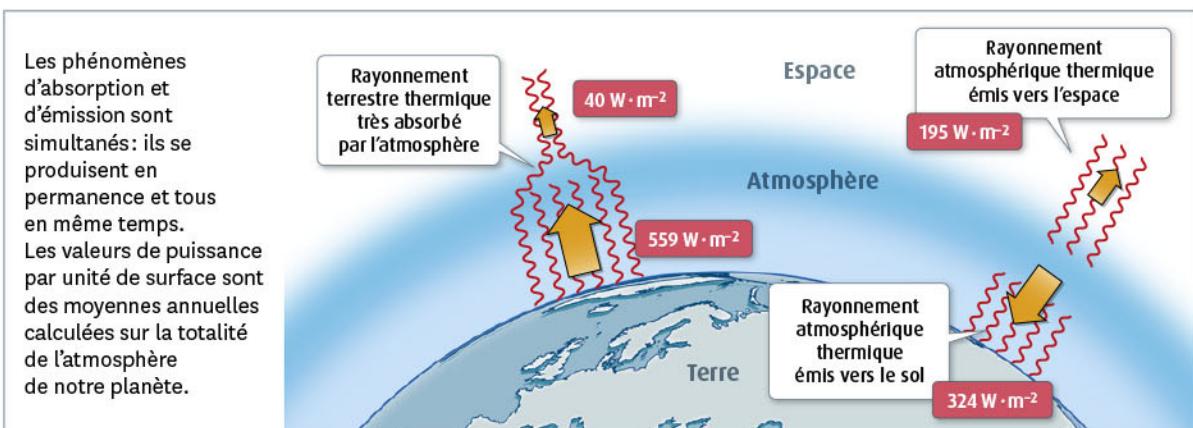
Le mécanisme d'effet de serre est introduit en 1824 par Joseph Fourier. Ce dernier explique que l'atmosphère laisse passer la majorité du rayonnement solaire visible qui vient réchauffer le sol, mais bloque et absorbe en grande partie le rayonnement terrestre thermique infrarouge. Ceci a pour effet de maintenir la Terre à une température assez élevée. L'analyse de l'effet de serre de Fourier était toutefois incomplète puisqu'elle ne mentionnait pas que, sous l'effet du rayonnement terrestre absorbé, l'atmosphère émet à son tour un rayonnement thermique infrarouge dirigé vers le sol. L'effet de serre est expliqué docs 2 et 3.

### Histoire des sciences

**DOC 1** Définition de l'effet de serre par Fourier.



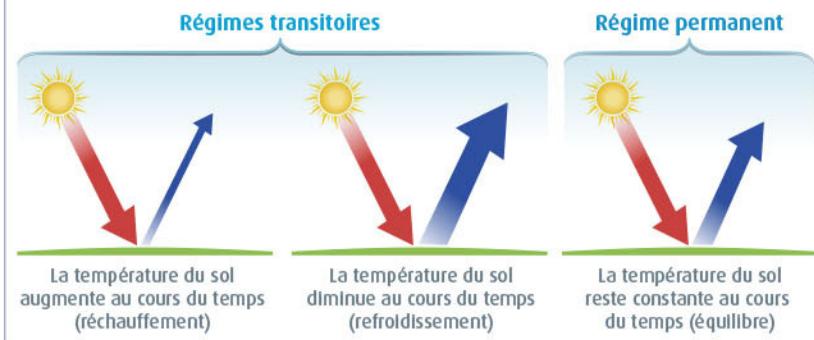
**DOC 2** Schéma simplifié des absorptions et émissions radiatives au niveau du sol terrestre.



**DOC 3** Schéma simplifié des absorptions et émissions radiatives au niveau de l'atmosphère terrestre.

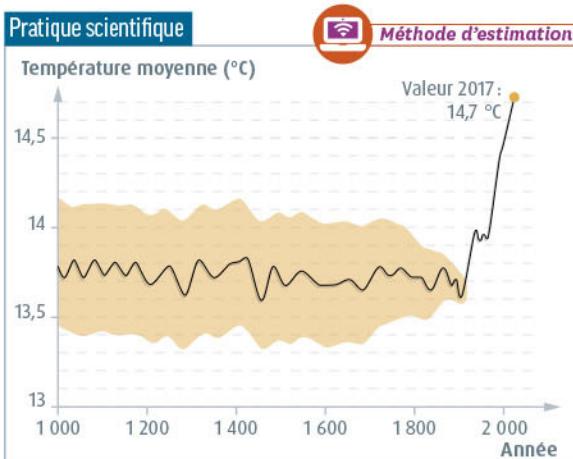
## La température de la Terre

Un corps à l'équilibre, ou en régime permanent, reçoit la même puissance qu'il renvoie. Il n'y a pas d'accumulation ou de perte de chaleur. On parle d'équilibre dynamique si ce corps est en interaction avec l'extérieur, c'est-à-dire qu'il échange en permanence de l'énergie avec l'extérieur.

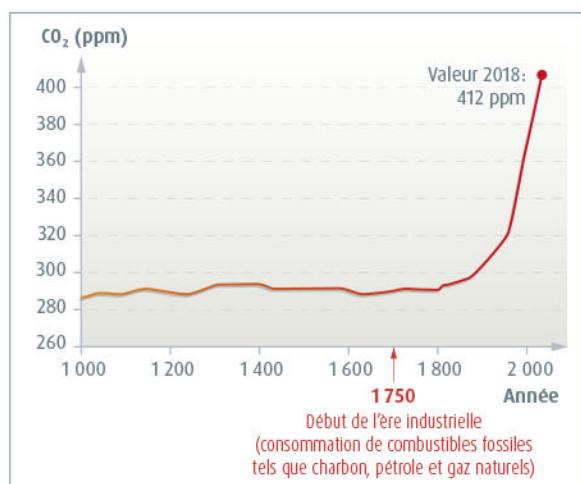


**DOC 5 Températures moyennes sur la Terre et la Lune.** La Terre et la Lune se trouvent quasiment à la même distance du Soleil.

### DOC 4 Modélisation de régimes transitoires et permanent.



**DOC 6 Température moyenne sur Terre de l'an 1000 à 2017.** Le nuage orange sur le graphique représente l'incertitude des estimations.



**DOC 7 Teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre de l'an 1000 à 2018.**

### ACTIVITÉ GUIDÉE

- Identifiez les sources de puissance absorbée par le sol terrestre (DOC. 2).
- Construisez un schéma qui résume tous les rayonnements émis et reçus par le sol, l'atmosphère et l'espace (DOCS 2 ET 3).
- À partir de ce schéma, faites un bilan des puissances arrivant dans et repartant du système sol-atmosphère afin de montrer que la planète est théoriquement à l'équilibre dynamique (DOC. 4).
- Expliquez l'influence de l'atmosphère sur la température terrestre (DOCS 1 ET 5).
- Déterminez le régime dans lequel se trouve la Terre depuis les années 1900, ainsi que la cause de ce régime (DOCS 4, 6 ET 7).



### 1. Le rayonnement solaire reçu par la Terre > UNITÉ 1

- ▶ Le Soleil émet une énergie rayonnante qui se répartit uniformément autour de lui. Une planète n'intercepte qu'une petite partie de ce rayonnement solaire.
- ▶ Le rayonnement solaire intercepté par une planète dépend de la distance Soleil-planète : plus la planète est loin du Soleil, plus l'énergie solaire par unité de surface au niveau de la planète est faible. Il dépend aussi du rayon de la planète : plus le rayon est grand, plus la planète intercepte le rayonnement solaire.

### 2. L'albédo terrestre > UNITÉ 2

- ▶ La Terre réfléchit et diffuse une partie du rayonnement solaire incident, et absorbe le reste.
- ▶ L'**albédo** est la proportion de lumière renvoyée par un corps qui est éclairé (entre 0 et 100 %). L'albédo moyen de la Terre est de 30 % environ.

### 3. Atmosphère et rayonnement terrestre > UNITÉ 3

- ▶ Le sol terrestre émet un **rayonnement thermique infrarouge** (IR) qui est fonction de sa température. Plus la température du sol est élevée, plus la puissance qu'il émet est importante.
- ▶ Une grande partie de ce rayonnement est absorbée au niveau de l'atmosphère terrestre par les **gaz à effet de serre**. En retour, l'atmosphère émet un rayonnement thermique IR dont une partie est absorbée par le sol.
- ▶ Ainsi, le sol reçoit à la fois un rayonnement dans le visible venant du Soleil et un rayonnement IR venant de l'atmosphère. On appelle « **effet de serre** » l'échange continual d'énergie sous forme de rayonnement IR entre le sol terrestre et l'atmosphère.

### 4. L'équilibre dynamique de la Terre > UNITÉ 4

- ▶ Un système est en situation d'équilibre lorsque sa température moyenne ne varie pas dans le temps. On parle d'**équilibre dynamique** si le système échange de l'énergie avec l'extérieur et si l'énergie entrante est égale à l'énergie sortante.
- ▶ Vue de l'espace, la Terre est régie par un équilibre dynamique : la puissance absorbée par la planète provenant du Soleil est égale à la puissance renvoyée par la planète vers l'espace.
- ▶ Au sol, la situation est plus complexe car l'atmosphère joue un rôle important (effet de serre). À l'heure actuelle, la température moyenne du sol terrestre est de + 15 °C. Le renforcement de l'effet de serre lié aux activités humaines entraîne une augmentation de cette température moyenne (réchauffement climatique).

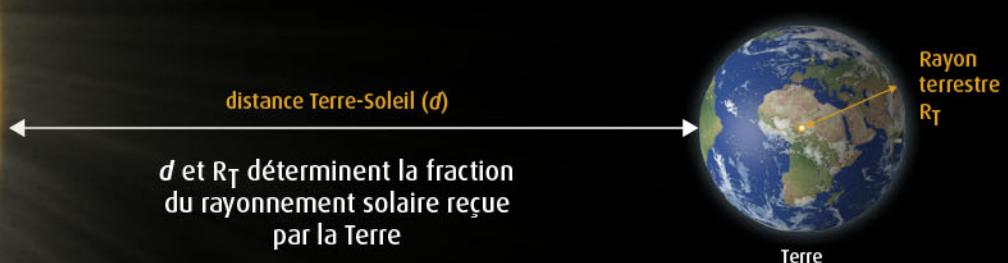
#### Les mots-clés du chapitre

**Albédo • Effet de serre • Équilibre dynamique • Gaz à effet de serre • Rayonnement thermique infrarouge**

► Lexique p. 251

## *l'essentiel par l'image*

### Le rayonnement solaire reçu par la Terre



### Les échanges d'énergie au niveau de l'atmosphère et du sol

Rayonnement solaire incident

=

Rayonnement ré-émis vers l'espace

Atmosphère

Rayonnement solaire réfléchi (du à l'albédo)

Rayonnement thermique terrestre

Rayonnement thermique atmosphérique

EFFET DE SERRE

Rayonnement visible  
Rayonnement Infrarouge

## Tester ses savoirs

### 1 Vrai/Faux

Identifiez les affirmations fausses et rectifiez-les.

- Une puissance par unité de surface s'exprime en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ .
- Une surface claire吸ue plus d'énergie solaire qu'une surface sombre.
- L'albédo terrestre a une influence sur la température de la Terre.
- Les spectres du rayonnement terrestre sont identiques le jour et la nuit.
- Dans un régime permanent, la température varie au cours du temps.

### 2 Légender un schéma

Proposez une légende pour chaque numéro du schéma et nommez les domaines de longueurs d'onde impliqués.



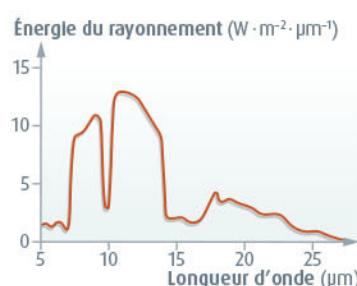
### 3 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la bonne réponse.

- La puissance solaire reçue par une planète dépend:**
  - de son rayon
  - de sa distance au Soleil
  - ni de l'un, ni de l'autre
  - des deux à la fois

- Le spectre ci-dessous représente:**

- le rayonnement infrarouge émis par la Terre
- le rayonnement visible réfléchi par la Terre
- le rayonnement solaire
- le rayonnement infrarouge de la Terre observé au-dessus de l'atmosphère



- Si l'albédo terrestre moyen augmente, la température moyenne de la planète:**

- augmente
- diminue
- reste constante

- L'atmosphère terrestre absorbe beaucoup:**

- dans l'infrarouge à cause du diazote et du dioxygène
- dans l'infrarouge à cause de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone
- dans le visible à cause du diazote et du dioxygène
- dans le visible à cause de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone

- L'effet de serre correspond à l'échange d'énergie:**

- dans le visible entre la Terre et le Soleil
- dans le visible entre le sol et l'atmosphère
- dans l'infrarouge entre la Terre et le Soleil
- dans l'infrarouge entre le sol et l'atmosphère

### 4 Question de synthèse

Expliquez, dans un paragraphe d'une dizaine de lignes, les mécanismes qui régissent la température de la Terre.

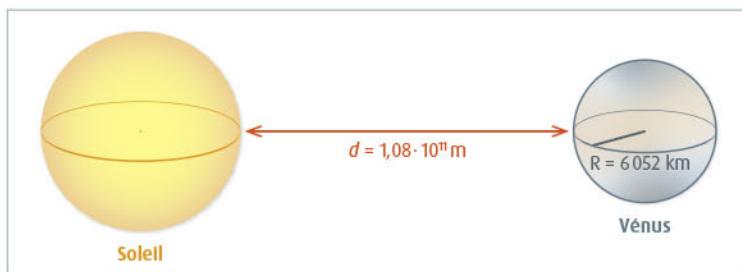
#### Critères de réussite

- ✓ J'ai mentionné le Soleil comme source principale d'énergie.
- ✓ J'ai montré l'importance de l'albédo et de l'effet de serre.
- ✓ J'ai respecté les règles de grammaire et d'orthographe.

## 5 Calculer

## L'albédo de Vénus

L'albédo n'est pas identique pour toutes les planètes du système solaire. Alors que celui de la Terre vaut 0,3, celui de Mercure vaut 0,12. On cherche à déterminer l'albédo de Vénus.



## QUESTIONS

- Sachant que la puissance totale émise par le Soleil vaut  $3,86 \cdot 10^{26}$  W, calculez la puissance solaire par unité de surface reçue par Vénus.
- Calculez la puissance solaire totale reçue par Vénus.
- Sachant que Vénus réfléchit  $2,27 \cdot 10^{17}$  W de la puissance solaire reçue, calculez son albédo.
- Déterminez si Vénus réfléchit plus ou moins de puissance solaire que la Terre et que Mercure.

**DOC 1** Rayon et distance au Soleil de Vénus.

## AIDE

- Surface d'une sphère :  $S = 4\pi R^2$

## 6 Analyser des données et rédiger

## La température des planètes

Pour certaines planètes, il y a un écart important entre la température moyenne mesurée en surface et la température moyenne calculée en assimilant la planète à un corps noir de la même taille.



Distance au soleil (UA)	0,38	0,72	1,00	1,00	1,52
Puissance solaire par unité de surface reçue ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )	9,2	2,6	1,4	1,4	0,6
Température moyenne calculée ( $^{\circ}\text{C}$ )	180	30	-17	-17	-60
Température moyenne mesurée ( $^{\circ}\text{C}$ )	180	460	15	-17	-50
Atmosphère	Non	Épaisse et partiellement opaque	Épaisse et transparente	Non	Fine

## QUESTION

À l'aide des données et de vos connaissances, rédigez un paragraphe d'une dizaine de lignes pour expliquer ces écarts.

**DOC 1** Caractéristiques de plusieurs astres du système solaire.

## 7 Raisonner et rédiger

## La chaleur des mains

Lorsque l'on approche ses mains l'une face à l'autre à environ 1 centimètre d'écart, on ressent de la chaleur. Mais les deux mains étant à 37 °C, ce n'est pas un échange de chaleur d'un corps chaud vers un corps froid.

**DOC 1** Mains séparées de quelques centimètres.



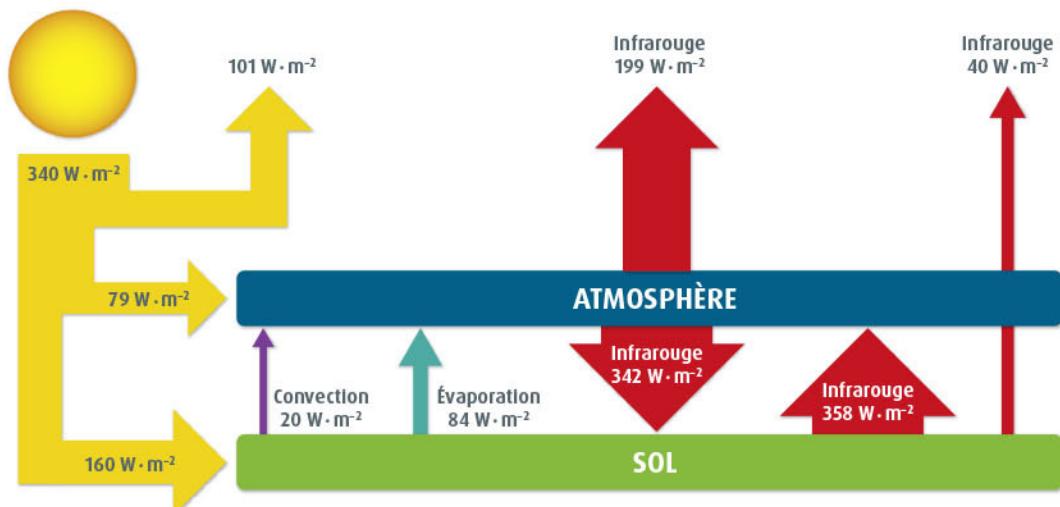
## QUESTIONS

- Déterminez à quoi correspond la chaleur émise par les mains.
- Rédigez un paragraphe de quelques lignes pour expliquer l'analogie entre les mains, et le sol et l'atmosphère terrestres.

## 8 Analyser des données et raisonner

## Les bilans radiatifs terrestres

La surface terrestre émet un rayonnement thermique. Elle perd également de l'énergie par évaporation à la surface des océans, et par le phénomène de convection. Le schéma ci-dessous présente de façon plus détaillée les échanges figurés docs 2 et 3 p. 88.



**DOC 1** Schéma des rayonnements émis et reçus par la Terre.

## QUESTIONS

- Faites un bilan des puissances par unité de surface des rayonnements qui arrivent et qui repartent du système Terre-atmosphère.
- Faites un bilan des puissances par unité de surface des rayonnements qui arrivent et qui repartent de l'atmosphère.
- Faites un bilan des puissances par unité de surface des rayonnements qui arrivent et qui repartent de la surface terrestre.
- Déterminez alors si la Terre est en régime permanent ou transitoire et comment évolue sa température.

## Histoire d'un nom



Une serre agricole

### Menez l'enquête

Recherchez pourquoi, dans le cas d'une serre en verre, le phénomène se rapproche davantage de ce qui se produit sur Terre.

## L'effet de serre, ce mal nommé !

L'atmosphère laisse passer la lumière visible reçue du Soleil, mais bloque le rayonnement infrarouge réémis par la Terre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre et qui permet à la Terre de conserver une température moyenne de 15 °C. Ce phénomène est appelé ainsi par analogie avec les serres agricoles, qui permettent de maintenir une température plus élevée que la température extérieure pour faire pousser certaines cultures. Les phénomènes physiques sur Terre et dans la serre sont toutefois différents. Contrairement à l'atmosphère, la bâche en plastique qui recouvre la serre ne bloque pas les infrarouges. En revanche, elle bloque l'air chaud qui, sans cela, plus léger que l'air froid, repartirait vers le haut. Il y a donc un réchauffement local dans les deux cas, ce qui explique l'abus de langage.



Pour en savoir plus Un article du magazine *Pour la Science*

## Climat

### La silice au secours de l'Arctique

La banquise de l'Arctique agit comme un bouclier thermique pour la planète. En effet, la glace brillante a un albédo de 0,9, contre 0,09 pour l'océan. Mais depuis 1979, l'Arctique a perdu 80 % de son volume de glace, contribuant ainsi à 30 % de l'élévation de la température globale. La banquise pourrait même avoir disparu d'ici à 2030. Afin d'éviter d'en arriver là, l'équipe du projet Ice911 a mis au point des microsphères de silice, capables de flotter et d'imiter la glace brillante. Leur utilisation permettrait de favoriser la formation initiale de glace à la surface de l'océan en la protégeant des rayons du soleil, et donc de laisser la banquise se reconstituer au fur et à mesure des années. La silice, principal constituant de 95 % des roches terrestres, présente l'avantage d'être sans danger pour la biodiversité et bon marché. Après dix années de tests et de modélisations climatiques, le projet attend maintenant d'obtenir les autorisations nécessaires pour être mis en place.



Pour en savoir plus Site web du projet Ice911  
+ Un article du magazine *Usbek et Rica*



Fragmentation de la banquise de l'Arctique.

### Menez l'enquête

Ce projet appartient au domaine de la géo-ingénierie douce. Recherchez pourquoi la géo-ingénierie «dure» a été décrite comme «irrationnelle et irresponsable» par l'Académie Nationale des Sciences Américaine en 2015.