

1ES

Thème 2 : Le soleil, notre source d'énergie

## Chapitre 2-2 : Le bilan radiatif terrestre

### Problématique :

Quels paramètres déterminent la puissance solaire reçue par la Terre ? Quels sont les différents facteurs qui conditionnent la température moyenne à la surface du globe ?

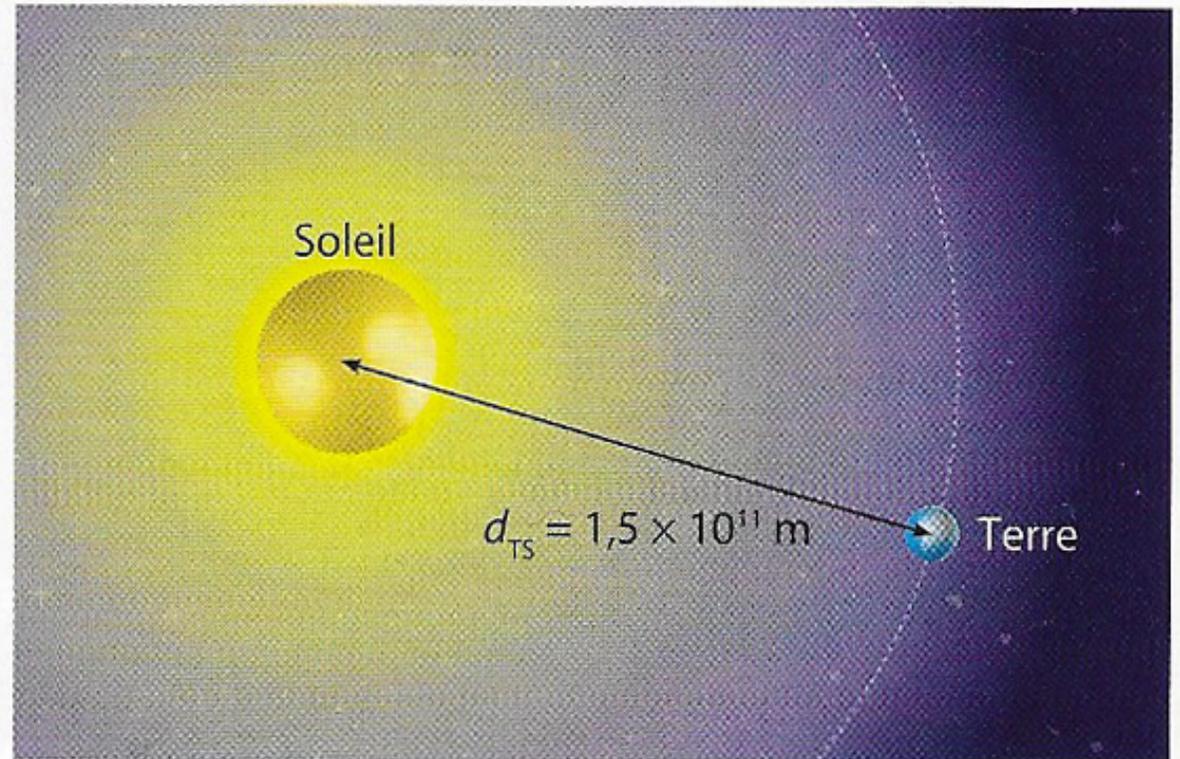
# I. L'énergie solaire reçue par la terre

La surface du Soleil émet un rayonnement de puissance totale  $P_{\text{Soleil}} = 3,87 \times 10^{26} \text{ W}$ .

La puissance reçue par la Terre  $P_{\text{Terre}}$  dépend de deux paramètres : la distance Terre-Soleil et le rayon de la Terre.

- **Influence de la distance Terre-Soleil**

Le rayonnement solaire est émis uniformément à partir de la surface du Soleil : il se propage dans toutes les directions de l'espace et se répartit sur la sphère de rayon  $d_{\text{TS}}$ , c'est-à-dire la distance Terre-Soleil.



Rappels :

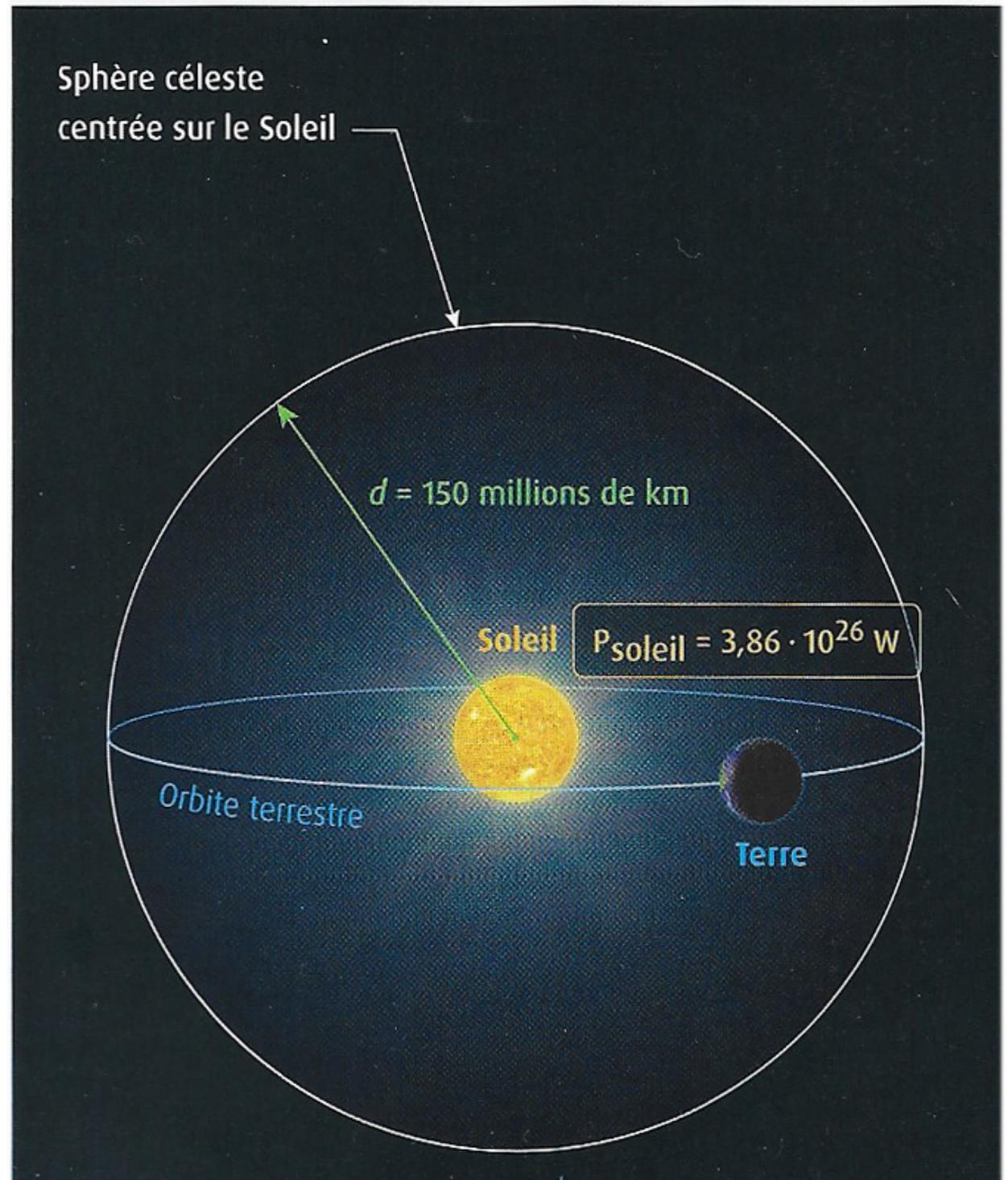
Surface d'un disque :  $\pi R^2$

Surface d'une sphère :  $4\pi R^2$

La puissance surfacique  $P_s$  diminue lorsque la distance au Soleil augmente.

L'influence de la distance Terre-Soleil : Calcul de la puissance surfacique reçue par la terre

= Puissance reçue par une surface de  $1 \text{ m}^2$  sur cette sphère céleste : unité  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$



Calcul de la puissance surfacique  
reçue par la terre

Sa puissance surfacique\*  $P_S$  est donnée par la formule :

$$P_S = \frac{P_{\text{Soleil}}}{S_{\text{sphère}}} = \frac{3,87 \times 10^{26}}{4 \times \pi \times d_{TS}^2}$$

où  $S_{\text{sphère}}$  est la surface de la sphère de rayon  $d_{TS}$ .

$$\begin{aligned} P_{\text{surf}} &= P_{\text{soleil}} / \text{Surface sphère céleste} \\ &= 3,87 \cdot 10^{26} / 4 \cdot \pi \cdot (\text{distance}_{\text{T-S}})^2 \\ &= 3,87 \cdot 10^{26} / 4 \cdot \pi \cdot (150 \cdot 10^9 \text{ m})^2 \\ &= 1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

## • Influence du rayon de la Terre

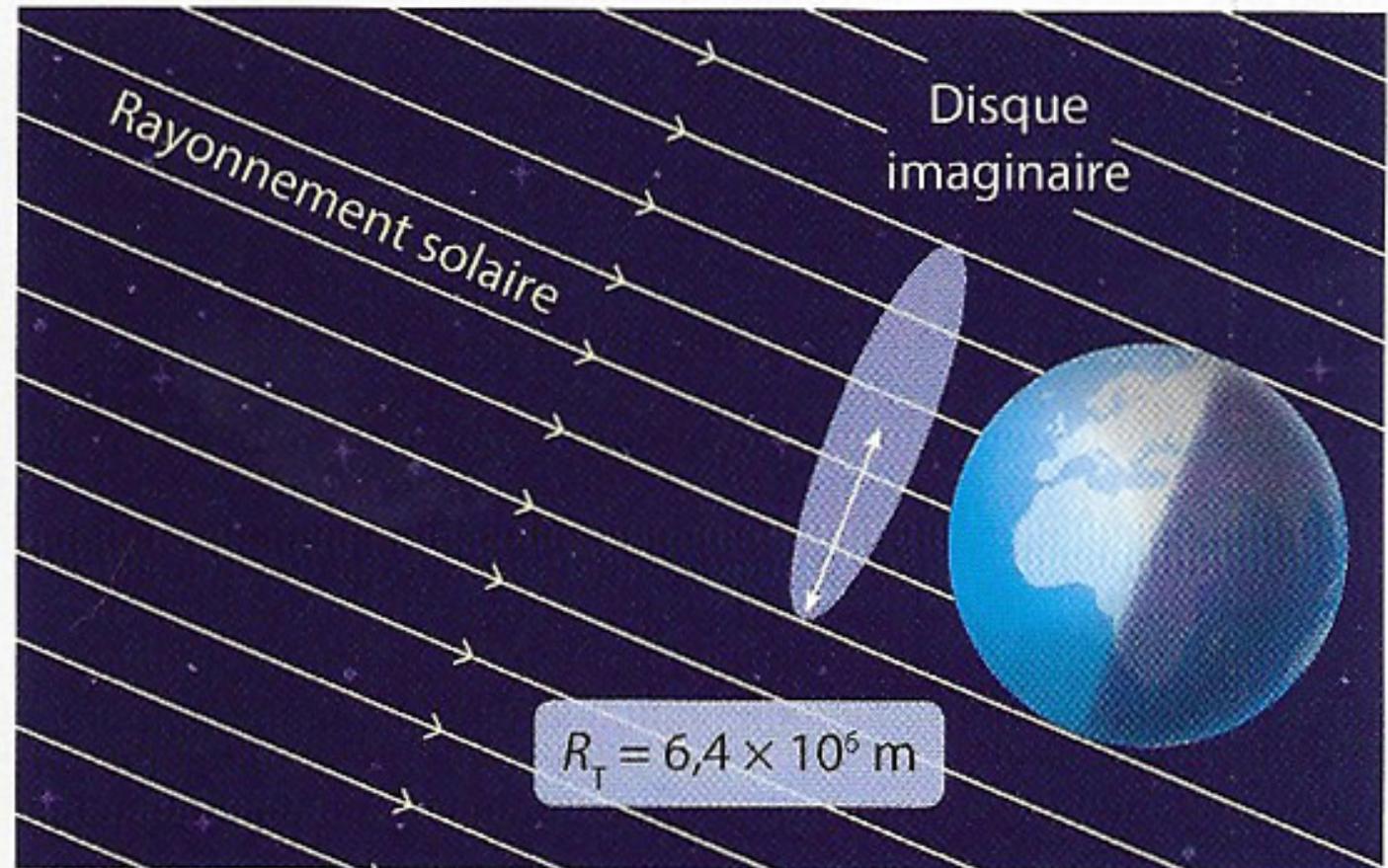
Connaissant la puissance surfacique  $P_S$  du Soleil à une distance  $d_{TS}$ , il est alors possible de déterminer la puissance du rayonnement solaire reçu effectivement par la Terre :  $P_{Terre}$ . Seuls les rayons qui traversent le disque imaginaire de rayon égal à celui de la Terre ( $R_T$ ) atteignent la Terre. La puissance  $P_{Terre}$  est donc proportionnelle à la surface de ce disque imaginaire.

Rappels :

Surface d'un disque :  $\pi R^2$

Surface d'une sphère :  $4\pi R^2$

Rayon terrestre : 6371 km



La puissance  $P_{Terre}$  dépend du rayon terrestre.

Calcul de la puissance reçue par la terre :

$$P_{\text{Terre}} = P_S \times S_{\text{disque}} = P_S \times \pi \times R_T^2 = 9,68 \times 10^{25} \times \left(\frac{R_T}{d_{TS}}\right)^2$$

avec  $P_S$  la puissance surfacique précédemment déterminée.

$$\begin{aligned} P_{\text{reçue}} &= P_S \times S_{\text{disque terrestre}} \\ &= P_S \times \pi R_T^2 \\ &= 1370 \times \pi \times (6371 \cdot 10^3 \text{ m})^2 \\ &= \mathbf{1,74 \cdot 10^{17} \text{ W}} \end{aligned}$$

Mise en évidence de la puissance réellement reçue par la terre :

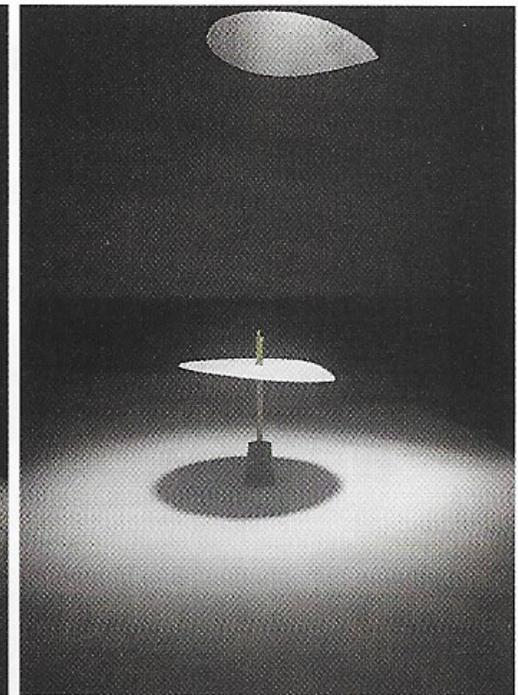
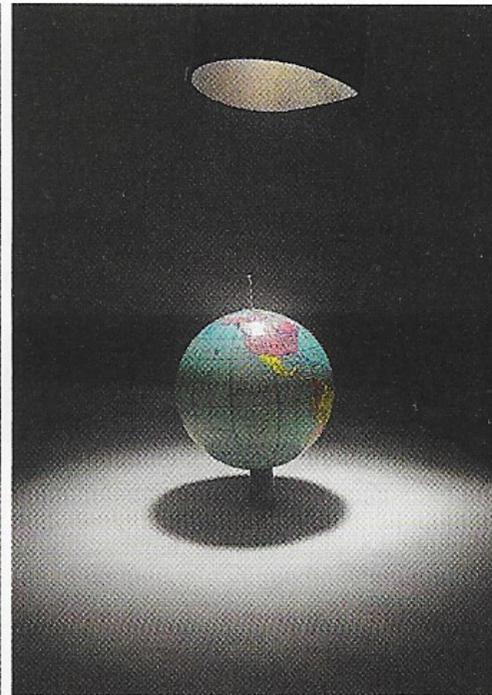
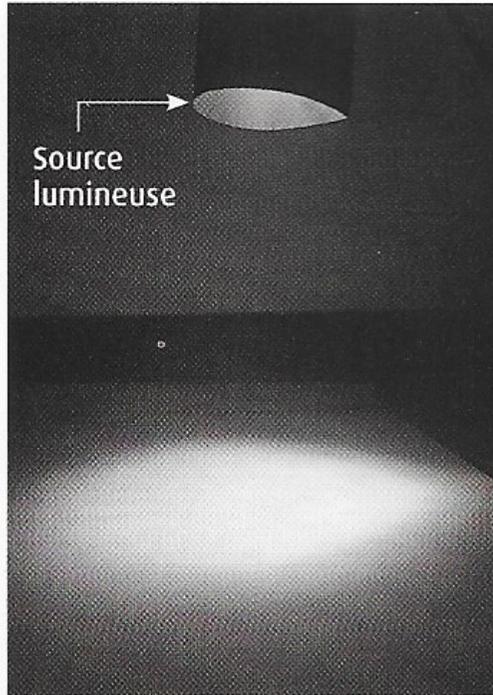


Protocole

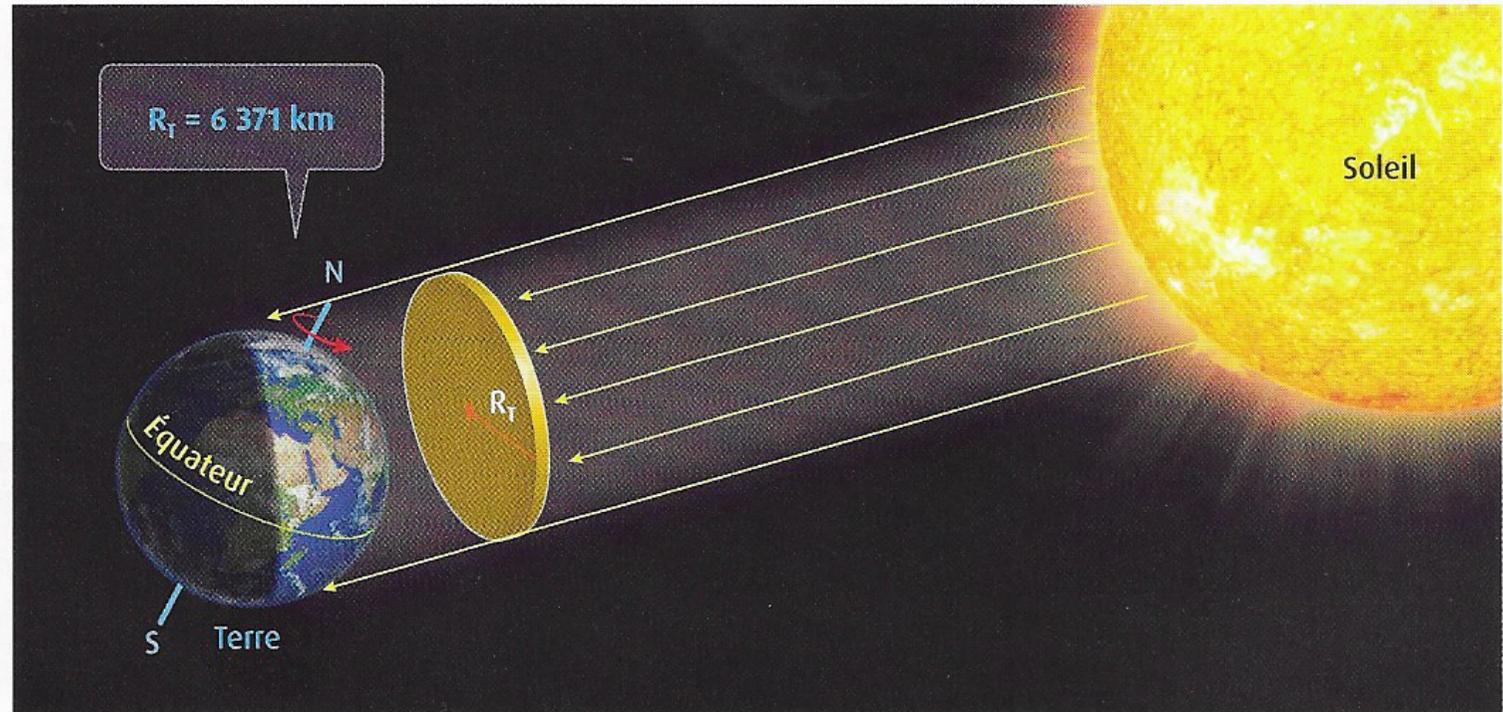
## EXPÉRIMENTATION

### 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.

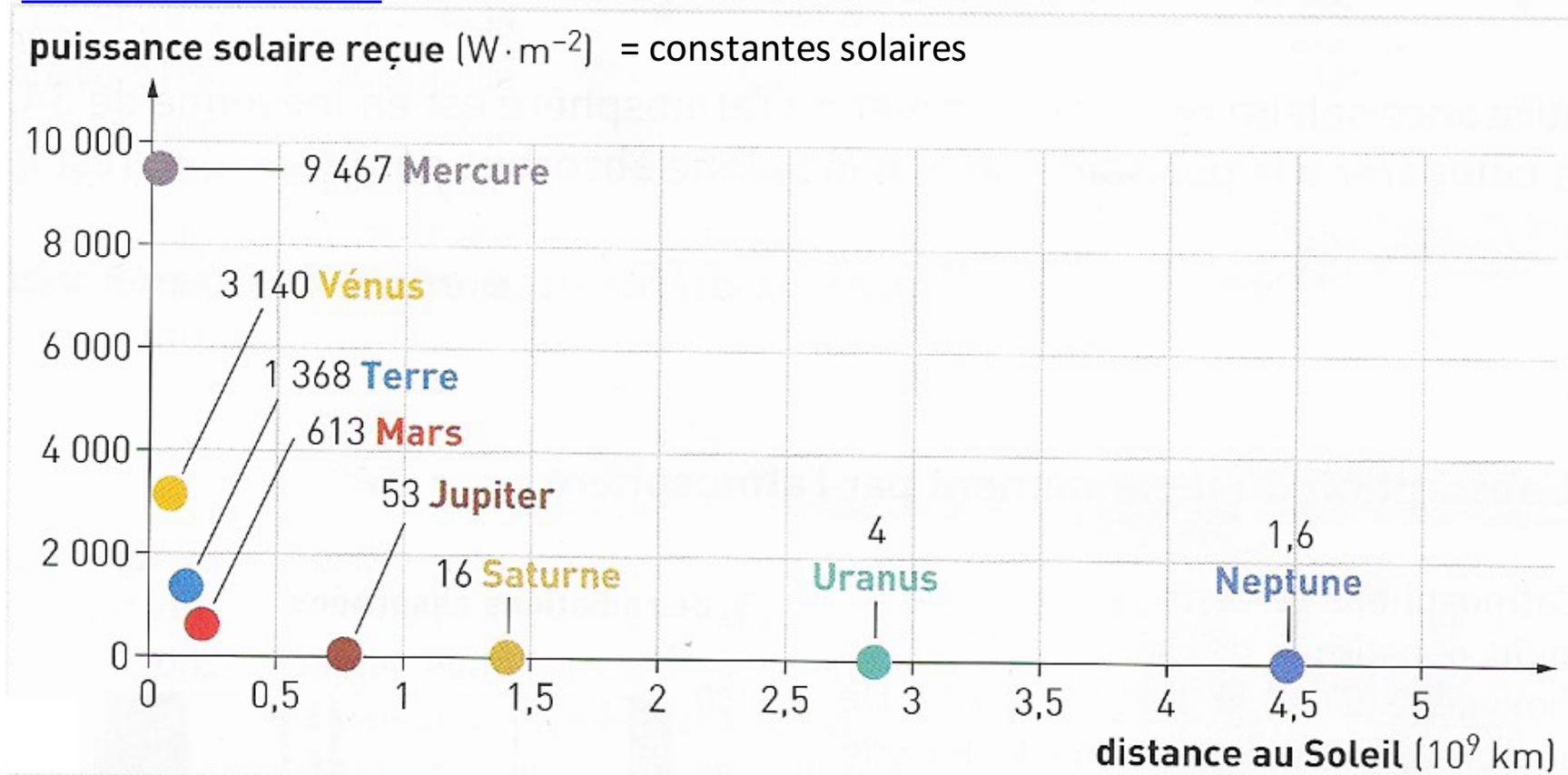


## Tableau récapitulatif des puissances reçues par les différentes planètes du système solaire :

	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.

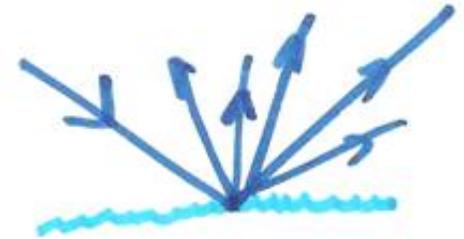
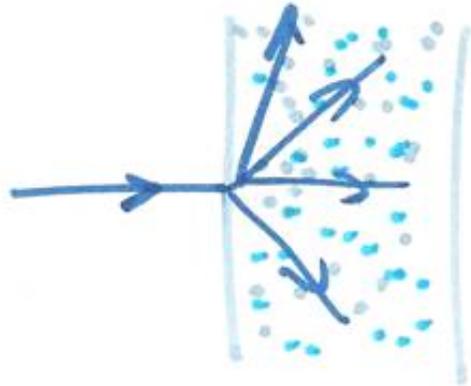
## Graphique présentant les constantes solaires des 8 planètes du système solaire en fonction de la distance au soleil



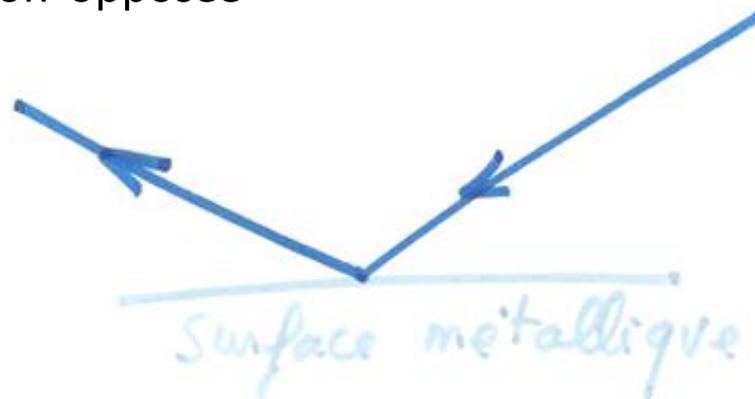
Quel est le devenir du rayonnement solaire incident qui arrive jusqu'à l'atmosphère terrestre ?

Rappel : La puissance solaire reçue par un corps se répartit en :

- Puissance **absorbée** par le corps : les molécules absorbent le rayonnement dans certaines gammes de longueurs d'ondes, elles voient alors leur énergie augmenter et s'agitent plus rapidement. Au niveau macroscopique, le corps se réchauffe.
- Puissance **diffusée** par le corps : les molécules renvoient les rayonnements dans toutes les directions



Certains de ces rayonnements diffusés sont **réfléchis** par le corps : les rayonnements repartent dans la direction opposée

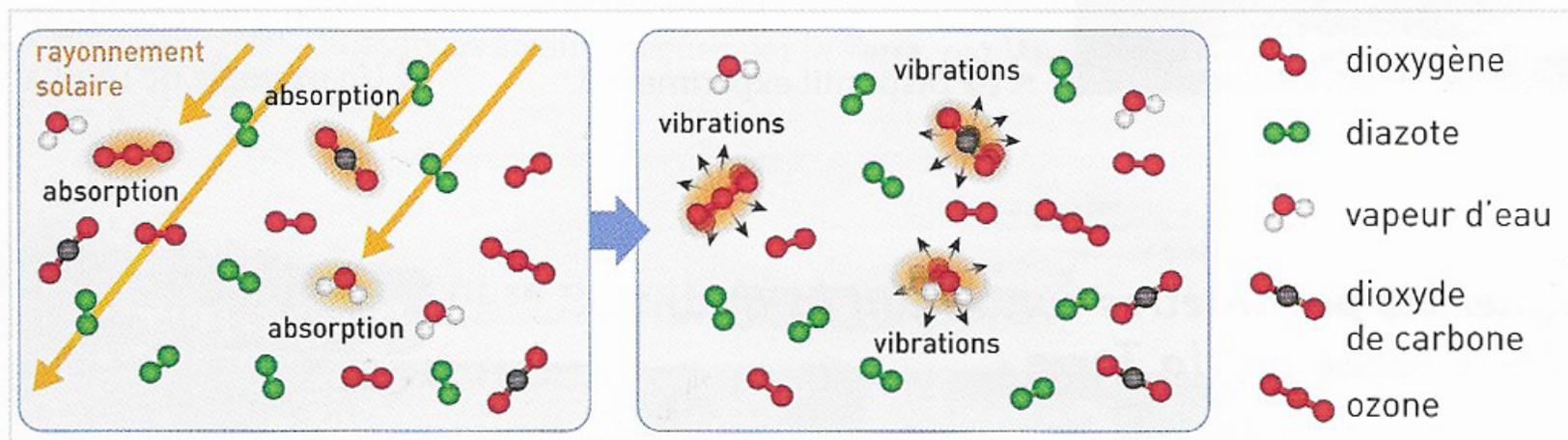


## L'absorption du rayonnement par l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est constituée :

- De **diazote** : 78%
- De **dioxygène** : 21%
- De nombreux autres gaz : 1% (dioxyde de carbone, ozone, vapeur d'eau ...)

Ces gaz atmosphériques **absorbent** une partie du rayonnement solaire incident dans certaines gammes de longueurs d'ondes.



**b** L'atmosphère absorbe une partie de la puissance solaire reçue.

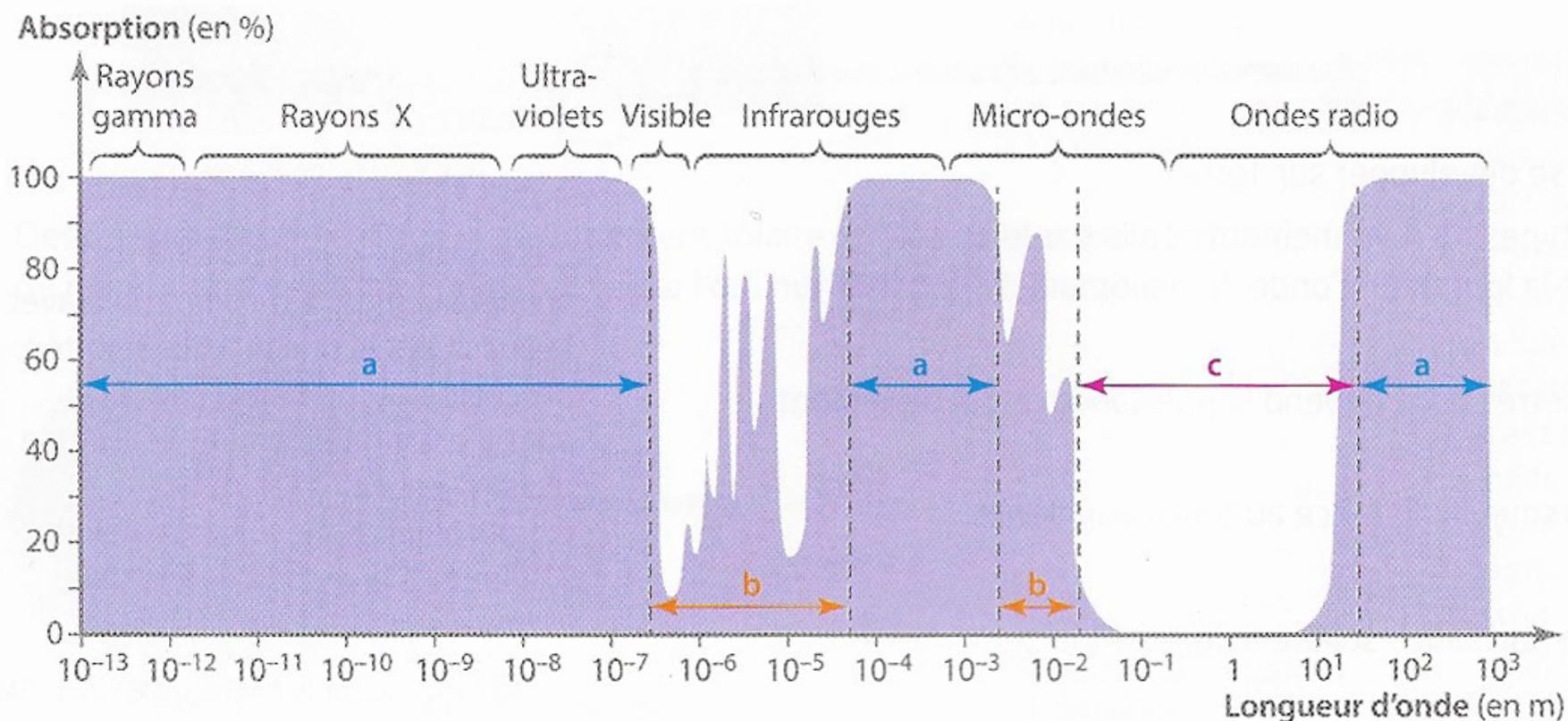
## L'absorption du rayonnement solaire par l'atmosphère selon la longueur d'onde

Les gaz comme la vapeur d'eau, le dioxygène et l'ozone présents dans l'atmosphère terrestre absorbent environ 20 % du rayonnement solaire, soit l'équivalent de  $65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Selon le domaine de longueurs d'onde, l'atmosphère est dite « opaque » lorsque le rayonnement est totalement absorbé (a) alors qu'elle est dite « transparente » lorsqu'il ne l'est pas (c).

Il existe aussi des domaines de longueurs d'onde où le rayonnement solaire est partiellement absorbé (b).

Ainsi, les rayonnements les plus dangereux pour la vie sur Terre (rayons gamma, rayons X et une partie des ultraviolets) sont absorbés par les entités chimiques comme l'ozone dès leur arrivée au sommet de l'atmosphère.



Courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde.

## **II. L'albédo terrestre**

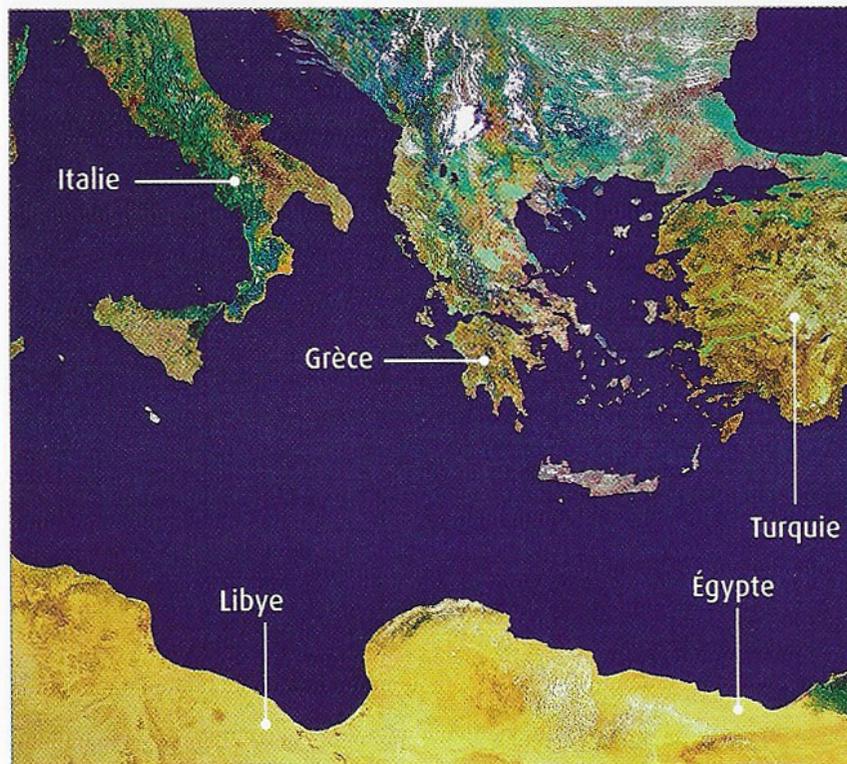
## L'albédo terrestre : le pouvoir réfléchissant de la terre

L'albédo est une grandeur physique sans unité comprise entre 0 et 1 qui caractérise l'aptitude d'une surface (solide, liquide ou gazeuse) à diffuser (réfléchir) le rayonnement qui lui parvient.

Albédo = 0 : surface qui ne réfléchit pas le rayonnement, absorption totale

Albédo = 1 : surface qui réfléchit la totalité du rayonnement, aucune absorption

L'albédo moyen terrestre est de 0,3 (30%)



**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.

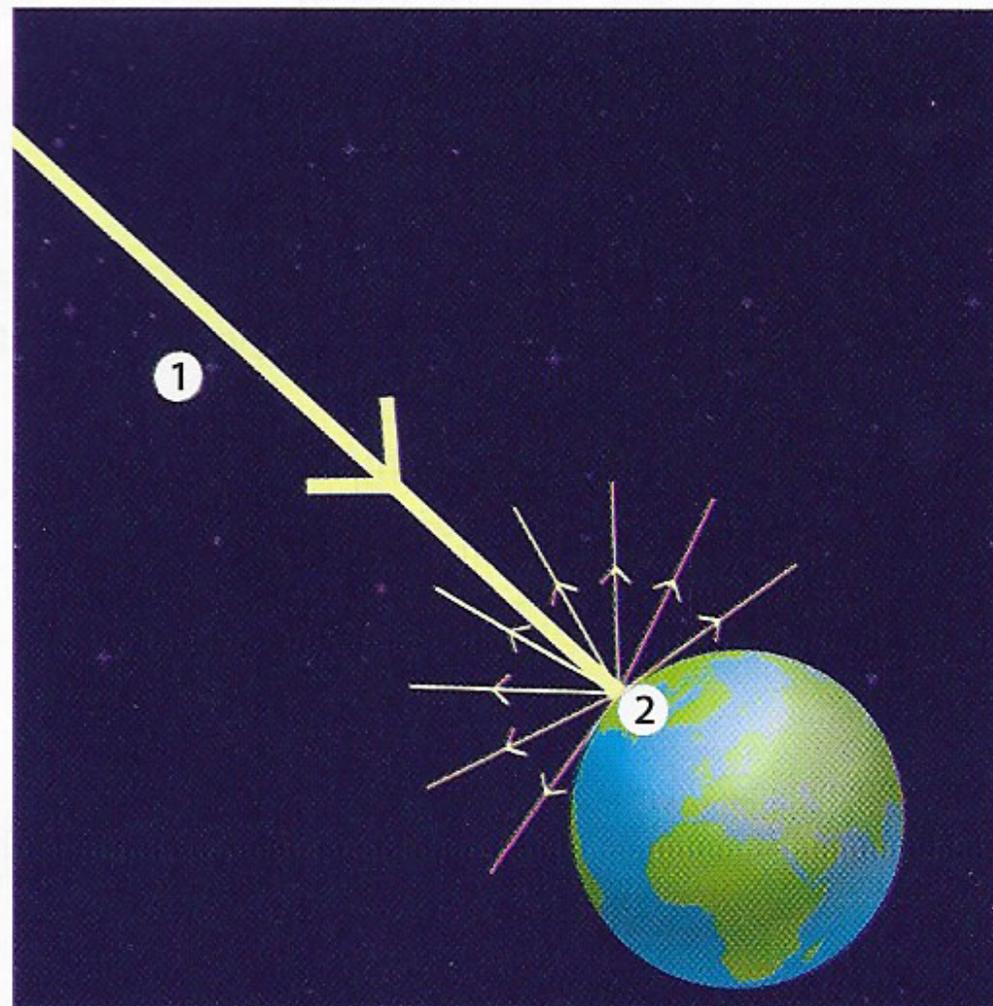


**DOC 3** Un skieur sur les pistes. À la montagne en hiver, il est vivement conseillé de porter de la crème solaire et des lunettes de soleil pour éviter de prendre des coups de soleil.

## Calcul de l'albédo :

Il est égal au rapport entre la puissance du rayonnement solaire diffusé vers l'espace  $P_{\text{diffusée}}$  et la puissance  $P_{\text{Terre}}$  reçue :

$$A = \frac{P_{\text{diffusée}}}{P_{\text{Terre}}}$$



## Albédo de quelques surfaces terrestres :

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

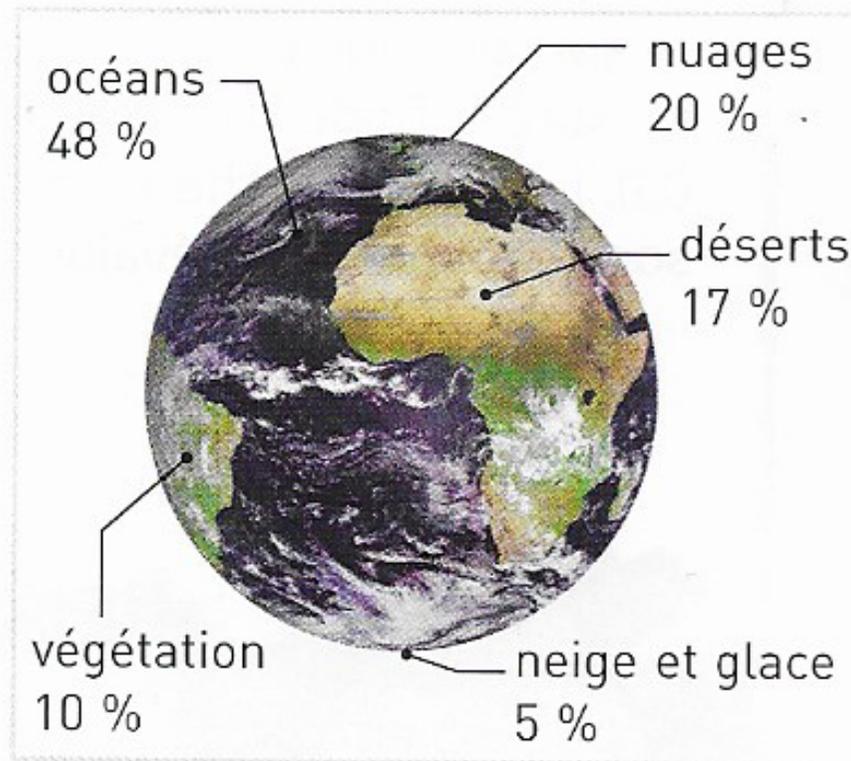
**DOC 4 Valeurs d'albédo de quelques surfaces.** Le pouvoir réfléchissant d'une surface est appelé albédo. C'est une grandeur sans dimension comprise entre 0 et 1. Un albédo de 0,4 signifie que la surface réfléchit 40% de la puissance reçue. L'albédo terrestre est la moyenne de l'albédo de chaque type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

## Albédo de quelques surfaces terrestres :

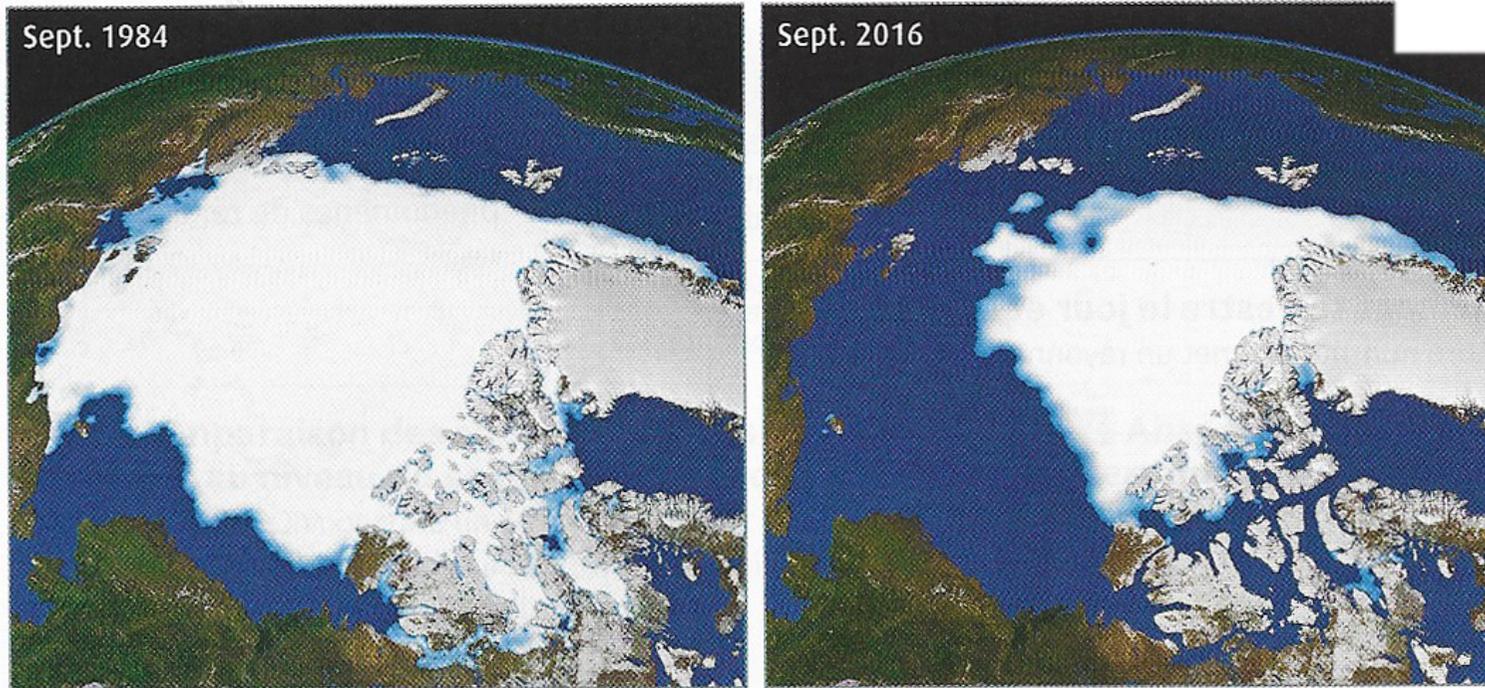
Surface	Neige fraîche, Soleil haut	Neige fraîche, Soleil bas	Sable	Forêt	Eau, Soleil horizontal	Eau, Soleil vertical	La planète Terre
Albédo	0,8 - 0,85	0,9 - 0,95	0,2 - 0,3	0,05 - 0,1	0,5 - 0,8	0,03 - 0,05	0,3

**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.

## Proportions moyennes des différents types de surfaces terrestres :



## Un effet amplificateur de l'albédo ....



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

### III. L'effet de serre

La terre et la lune sont quasiment situées à la même distance moyenne du soleil.

Distance terre-soleil : 150 000 000 km

Distance terre-lune : 384 400 km

Température moyenne sur terre : +15°C

Température moyenne sur la lune : -20°C

Comment expliquer cette différence ?

## Les infrarouges

Dans le spectre des ondes électromagnétiques, au-delà du rouge, commence le domaine des **rayonnements infrarouges** (notés IR). Ils correspondent à une plage de longueurs d'onde de 780 nm à 1 mm environ et sont invisibles pour l'œil humain.

Tout corps, de par sa température, émet un rayonnement thermique.

Ce rayonnement peut être mesuré à l'aide d'un appareil dédié, et visualisé en fausses couleurs (b). Les caméras thermiques, en mesurant l'intensité du rayonnement, sont capables d'en évaluer la température (c).

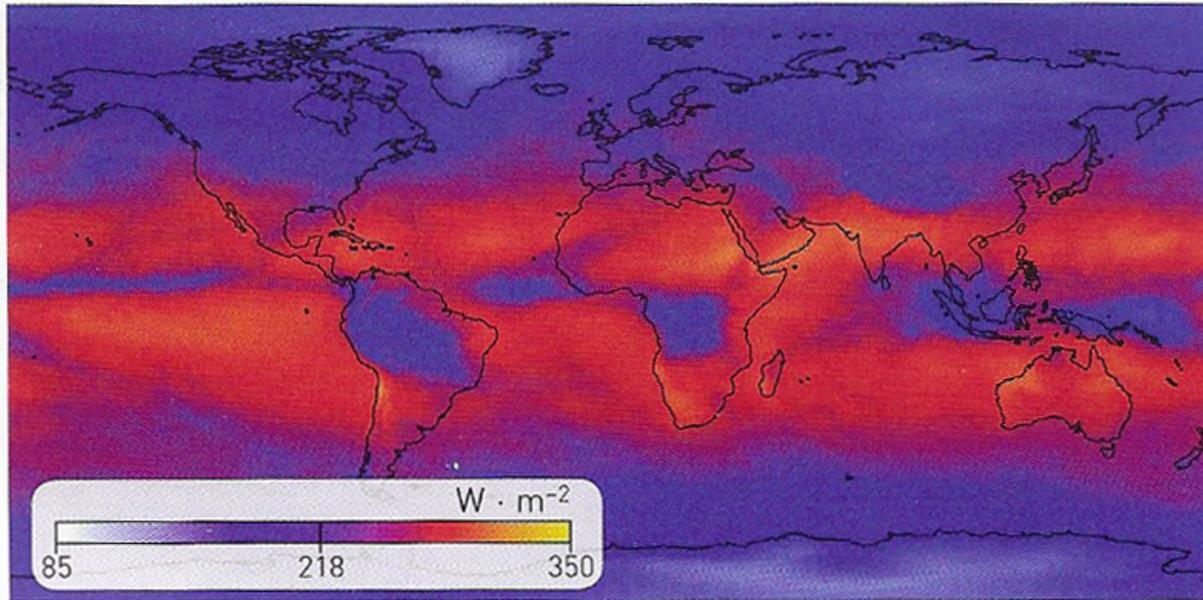


**b** Une caméra infrarouge visualise le rayonnement IR-C d'un bâtiment afin d'en évaluer les pertes thermiques (les zones qui rayonnent le plus sont repérées en rouge).



**c** Une mesure de température par thermographie. Les objets de la pièce (en bleu) sont à température ambiante, contrairement à l'écran d'ordinateur et à l'utilisateur.

## La terre émet un rayonnement infrarouge IR



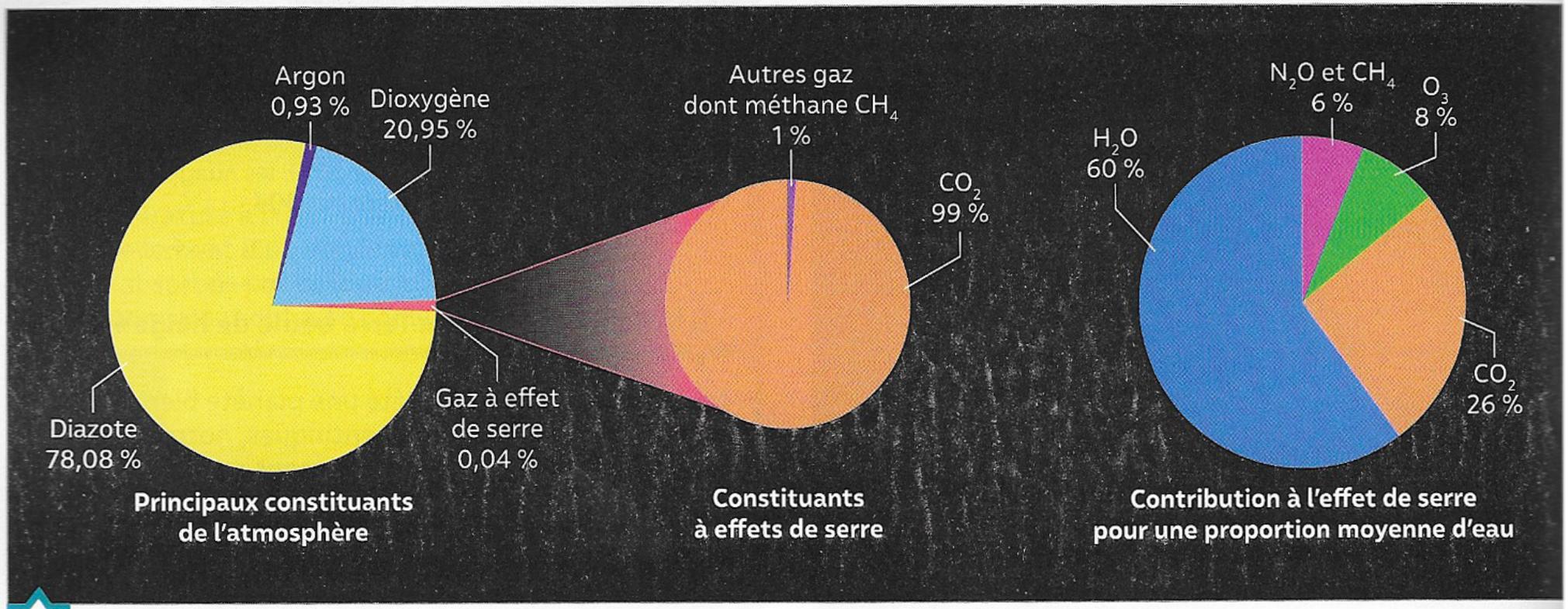
Des satellites observent en permanence le rayonnement IR émis par la surface terrestre et par son atmosphère.

On estime que la Terre émet un rayonnement IR d'une puissance moyenne de  $240 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

 Puissance moyenne du rayonnement IR lointain émis par la Terre en novembre 2018.

Que deviennent ces rayonnements infrarouges émis par le sol terrestre ?

## Les gaz à effet de serre : les GES



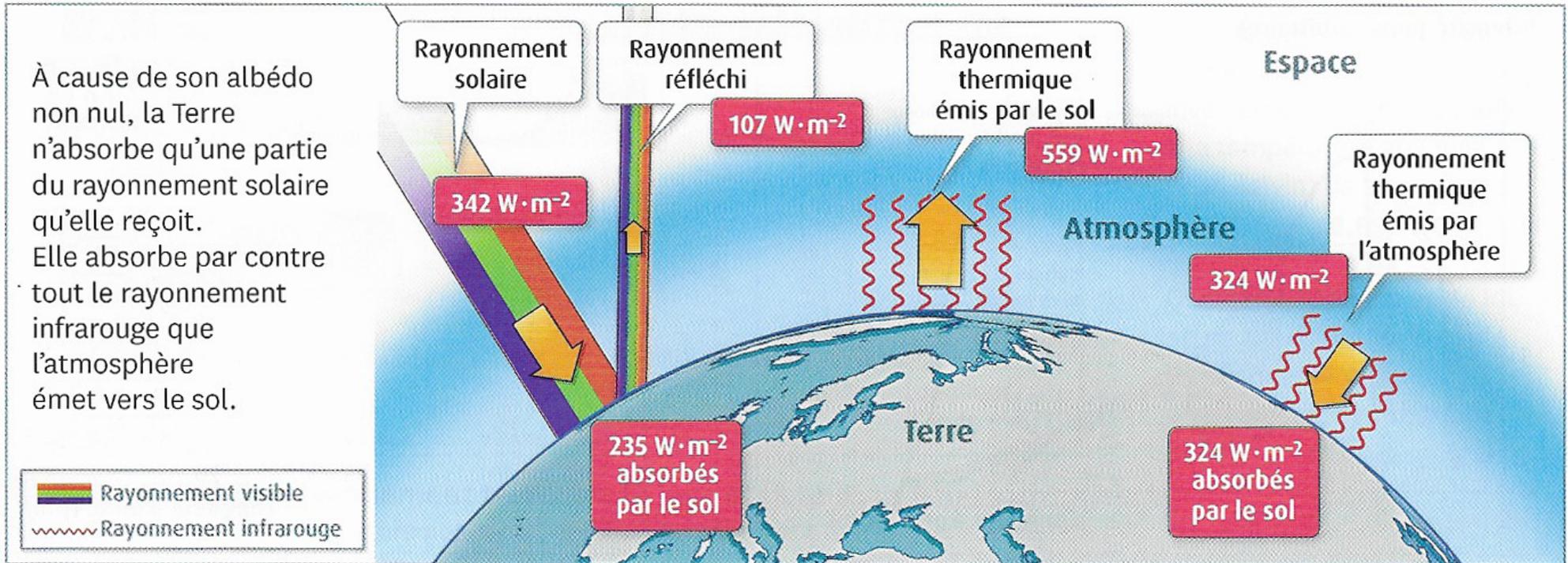
Répartition des gaz dans l'atmosphère sèche.

L'eau est le gaz à effet de serre le plus abondant. Sa proportion dans l'atmosphère n'est pas représentée car elle est variable : de 1 à 5%

Les rayonnements IR peuvent être absorbés par les GES qui vont ainsi s'échauffer puis réémettre des IR vers le sol : **c'est le principe de l'effet de serre**

## **IV. Le bilan radiatif de la terre**

A partir du schéma, faites un bilan des puissances arrivant et repartant du système sol-atmosphère afin de montrer que la planète est théoriquement à l'équilibre dynamique.



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

## Réponse :

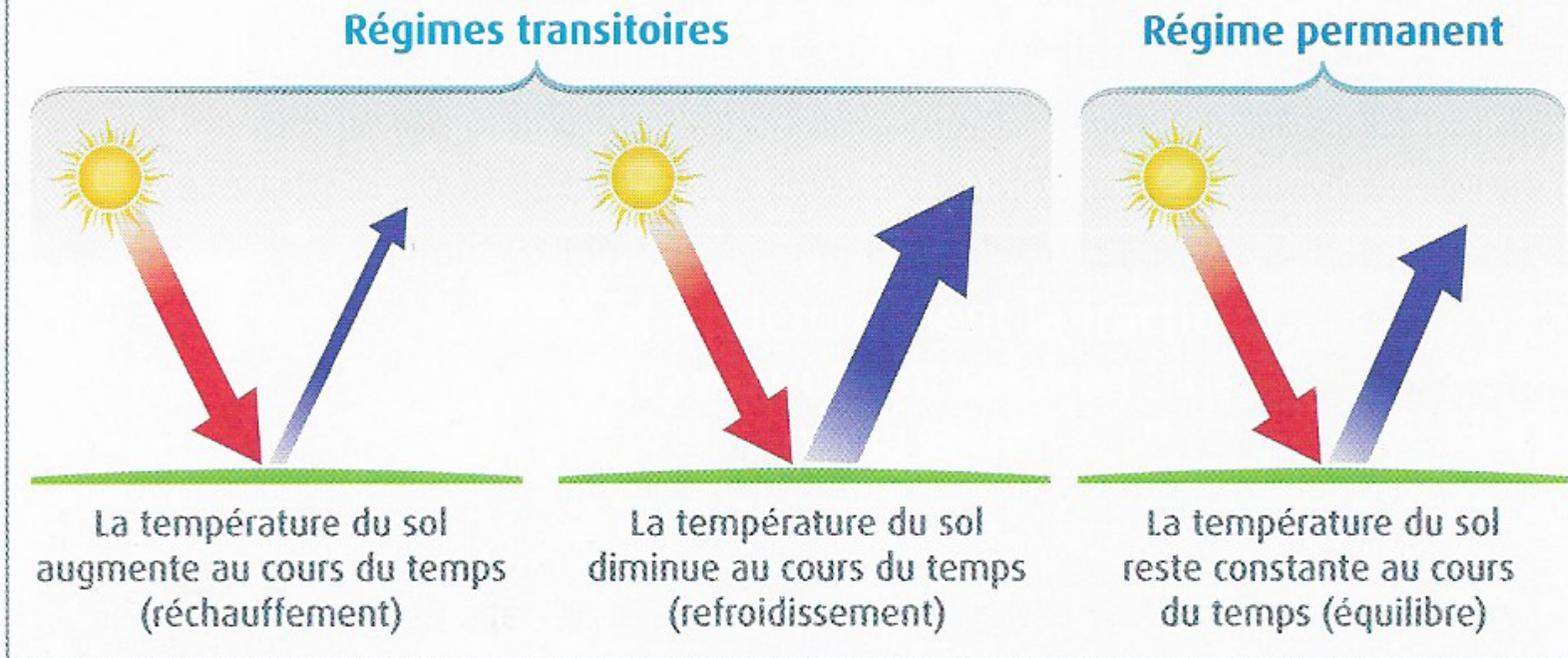
Energie solaire visible absorbée :  $342 - 107$  (réfléchi) =  $235 \text{ W.m}^{-2}$

Energie thermique émise (IR) :  $559 - 324$  (rémission vers le sol par les GES) =  $235 \text{ W.m}^{-2}$

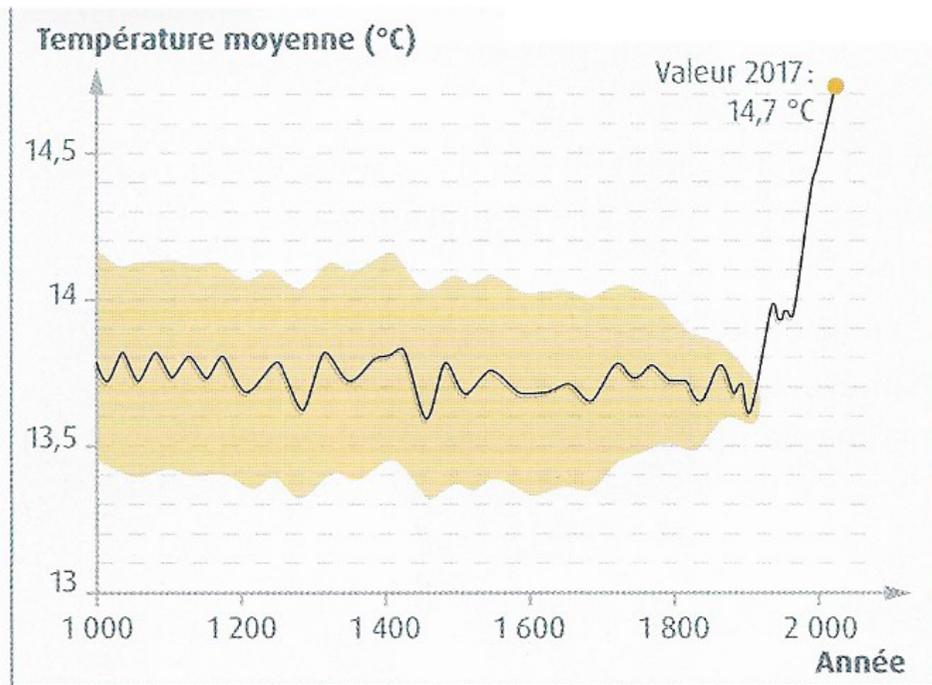
Interprétation : Puissance reçue = puissance émise

donc équilibre thermique.

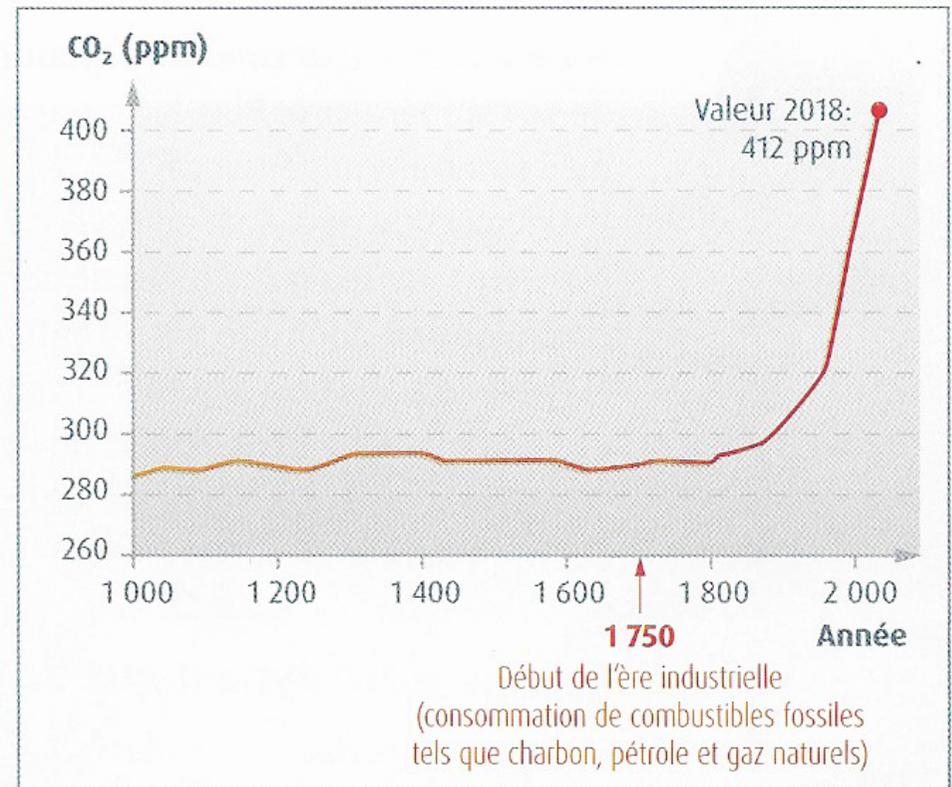
Un corps à l'équilibre, ou en régime permanent, reçoit la même puissance qu'il renvoie. Il n'y a pas d'accumulation ou de perte de chaleur. On parle d'équilibre dynamique si ce corps est en interaction avec l'extérieur, c'est-à-dire qu'il échange en permanence de l'énergie avec l'extérieur.



## Les constats récents concernant la température sur Terre :



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

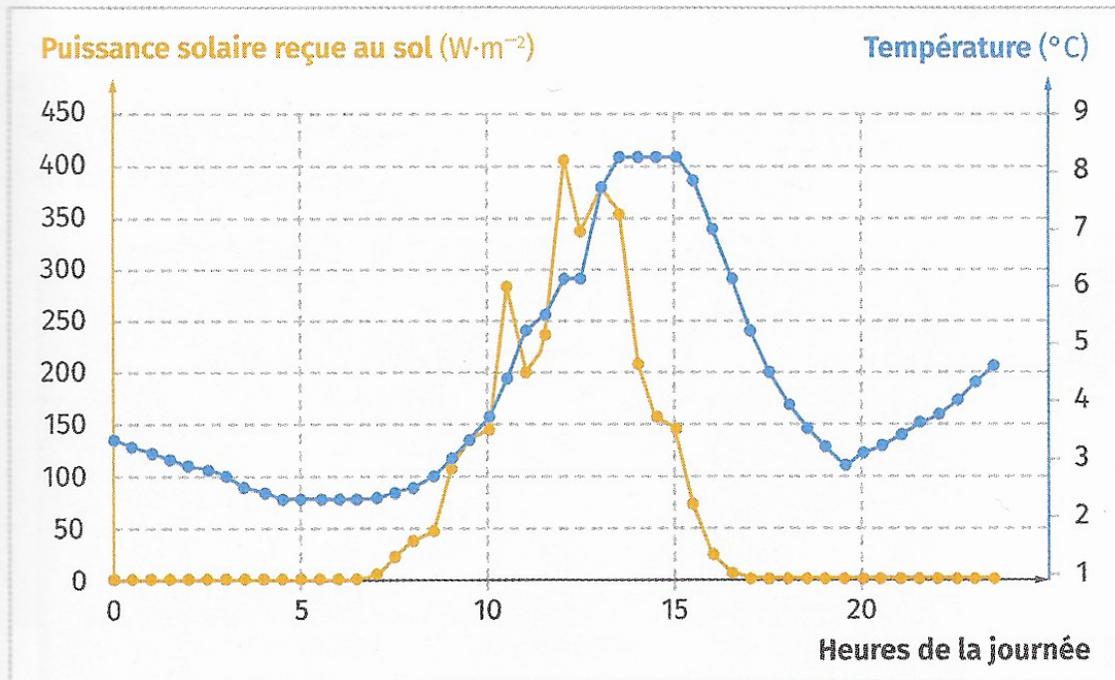


**DOC 7** Teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre de l'an 1000 à 2018.

## V. Une inégale répartition de la puissance solaire reçue

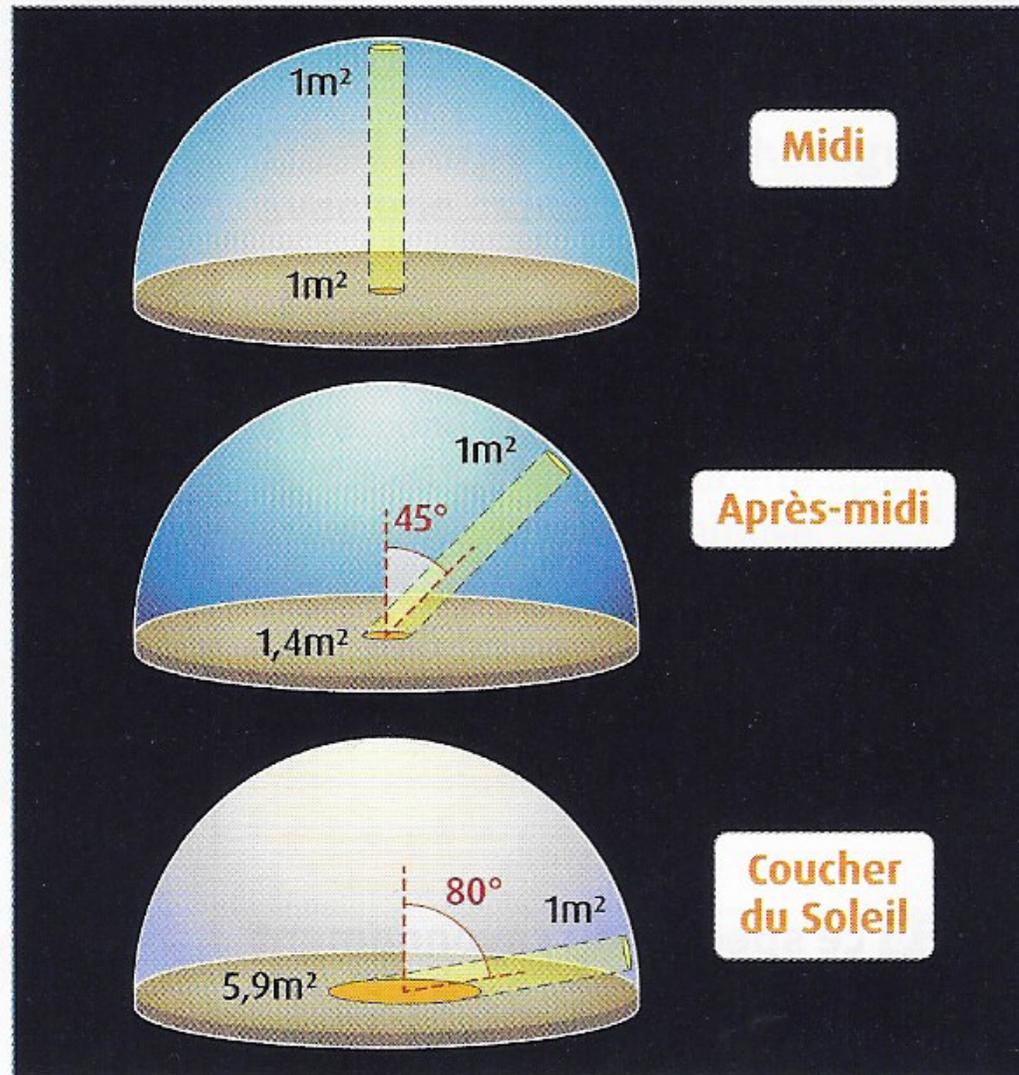
## A. Variation de la quantité d'énergie reçue selon l'heure de la journée

## Évolution de la température et de la puissance solaire reçue suivant l'heure



► Mesures effectuées la journée du 29 octobre 2018 au lycée Clément Ader à Bernay (Normandie). Ce lycée participe, comme des dizaines d'autres établissements, à la collecte de données météorologiques au sein du réseau « Météo à l'école ».

L'angle des rayons solaires selon l'heure de la journée

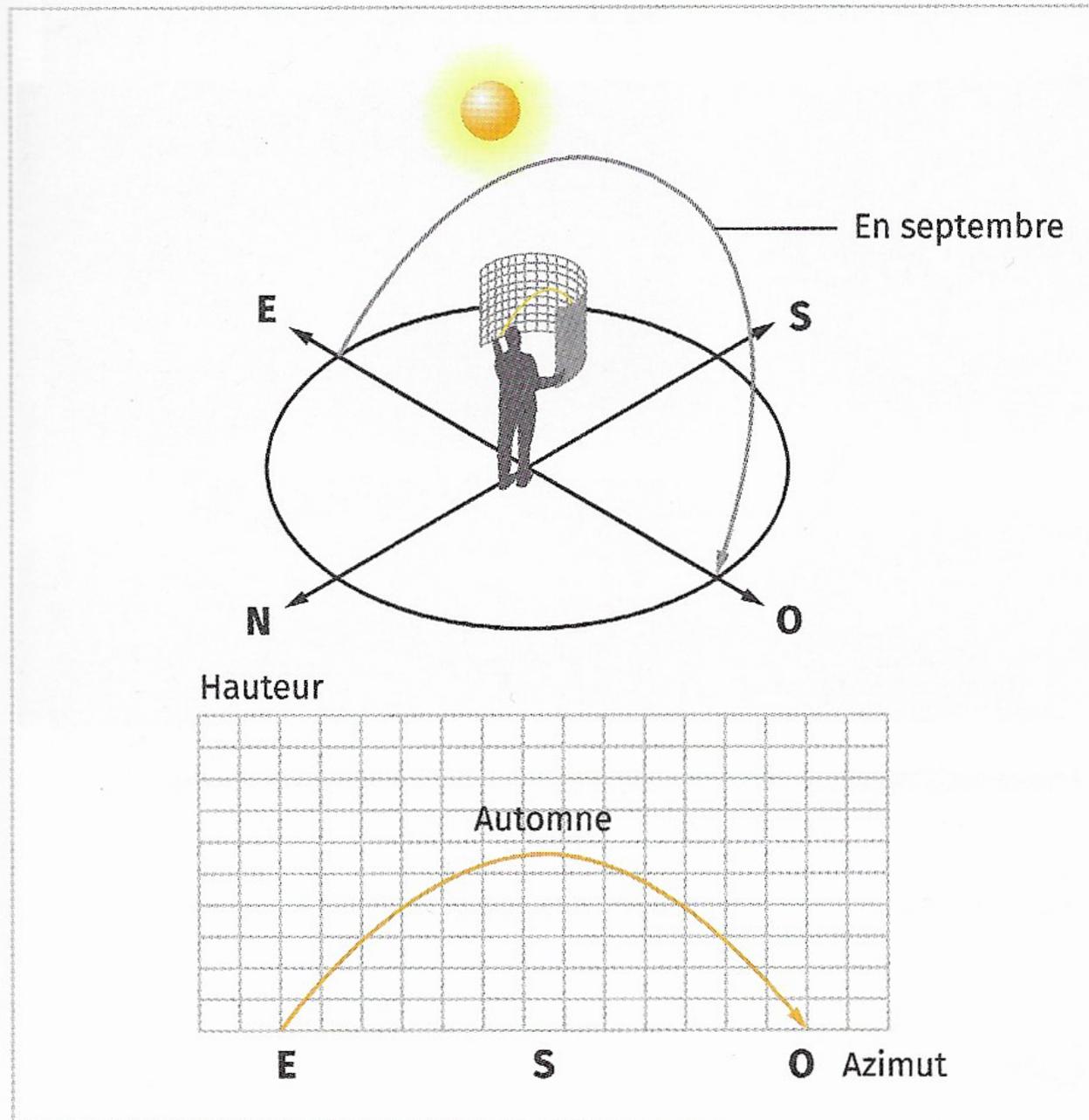


**DOC 2** Comparaison de la surface éclairée à l'équateur par un faisceau lumineux de même diamètre à différentes heures de la journée.

Entre son lever et son coucher, le Soleil décrit une trajectoire circulaire dans le ciel (voir **DOC. 4**).

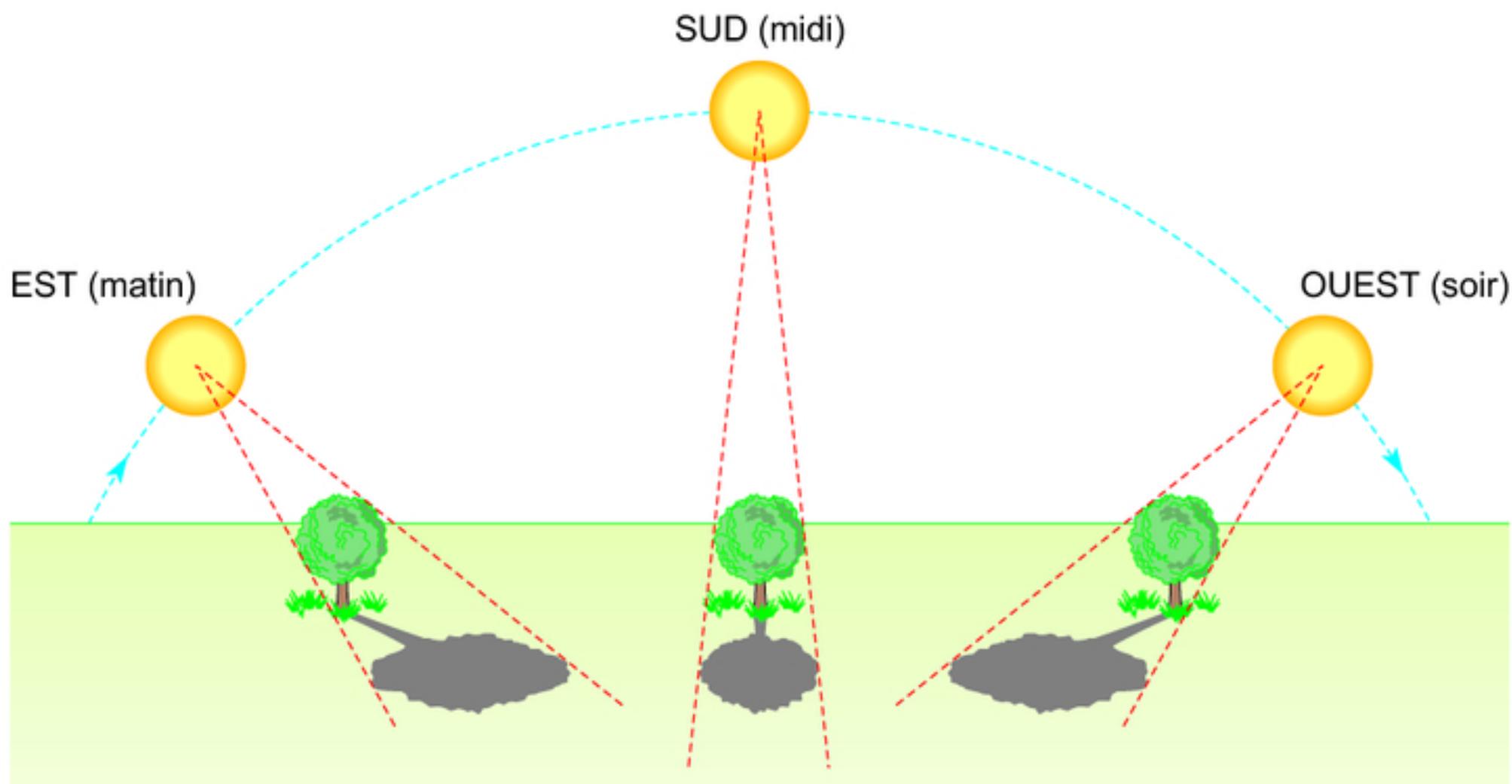
Aussi, l'angle entre les rayons solaires et la normale à la surface du sol varie.

# Position apparente du Soleil



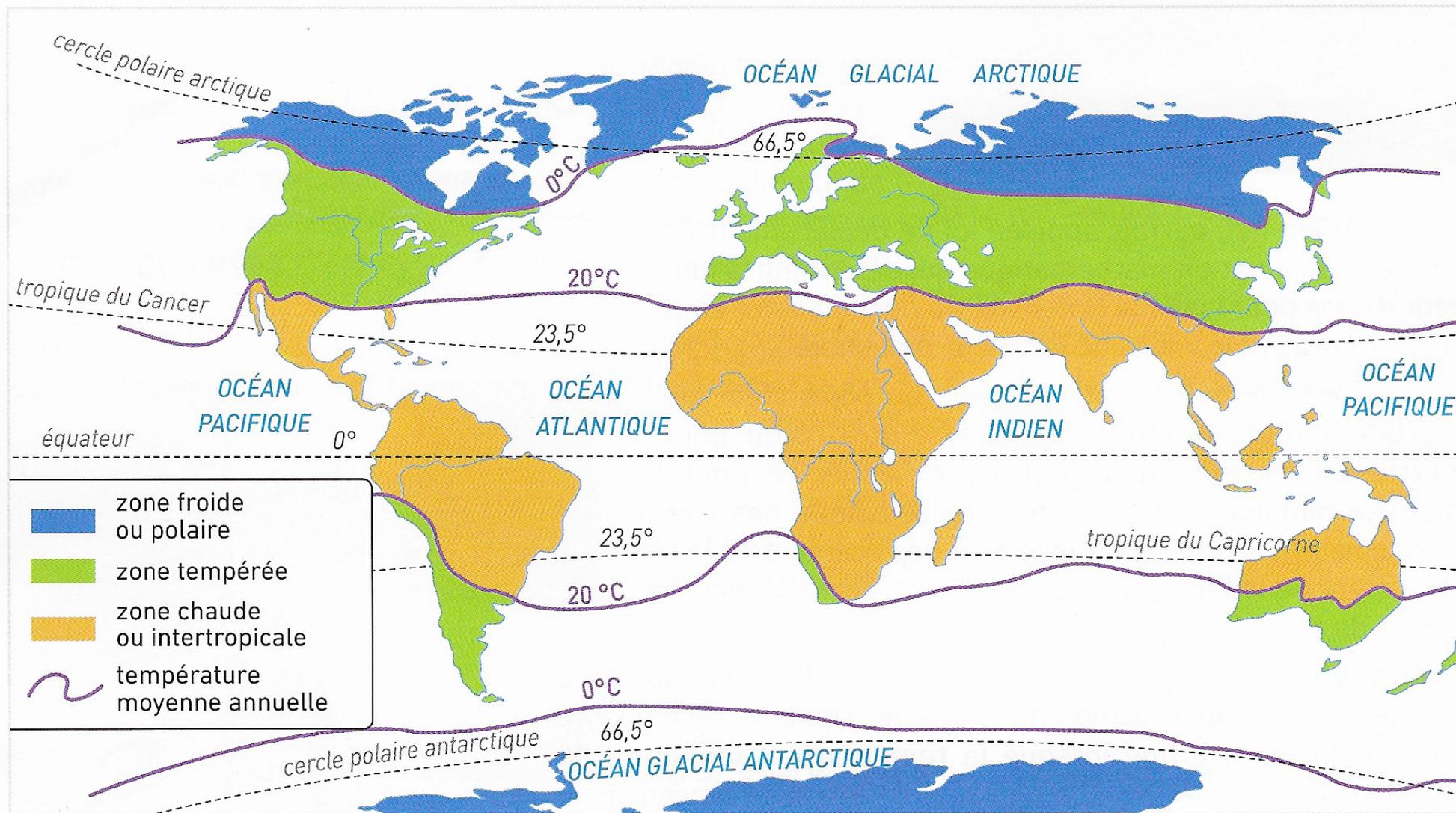
► Tracé de la trajectoire apparente du Soleil en France en automne.

## Les positions du soleil au cours de la journée

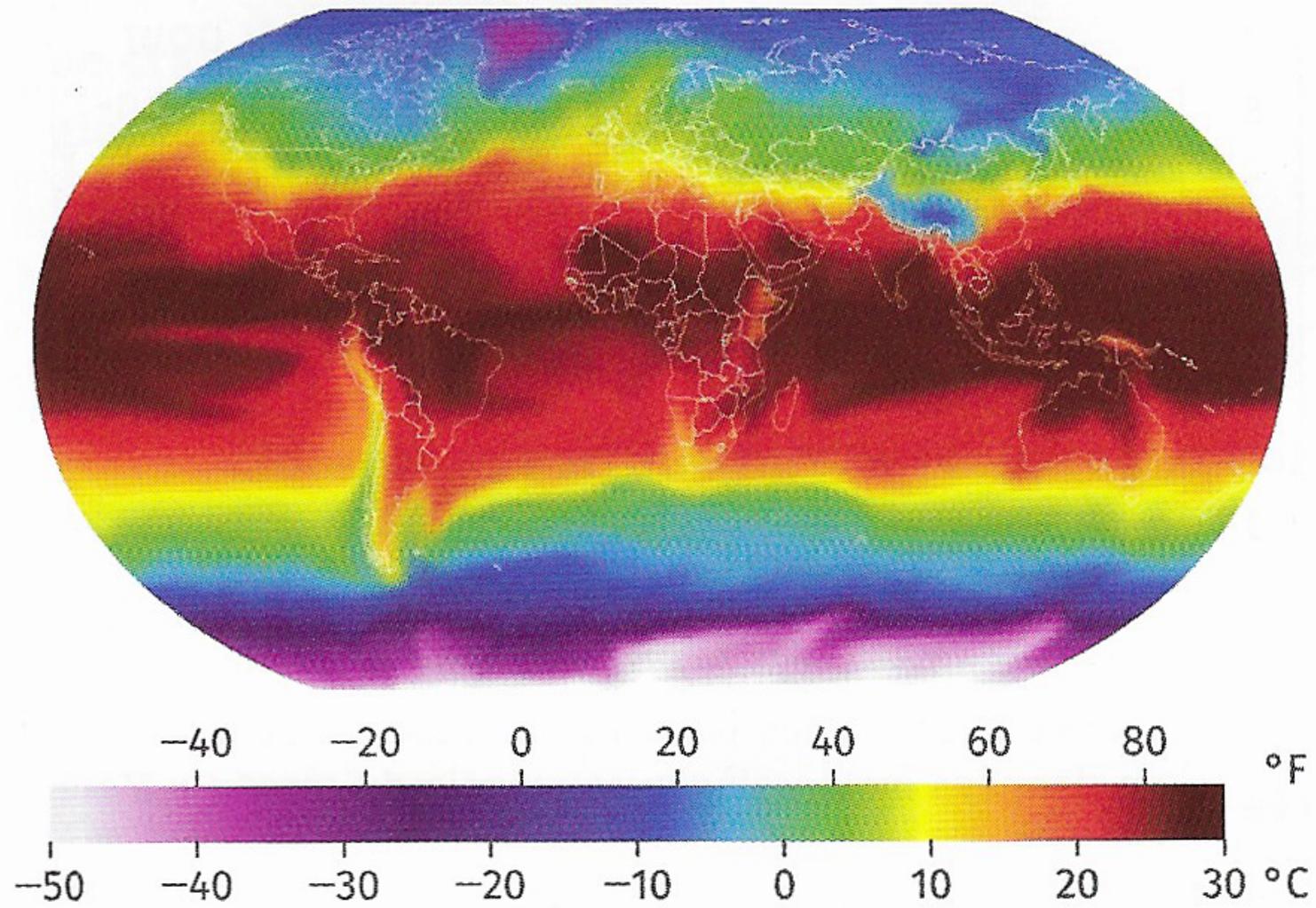


## B. Variation de la quantité d'énergie reçue selon la latitude

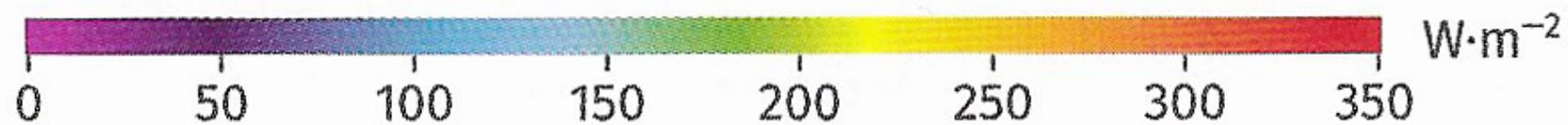
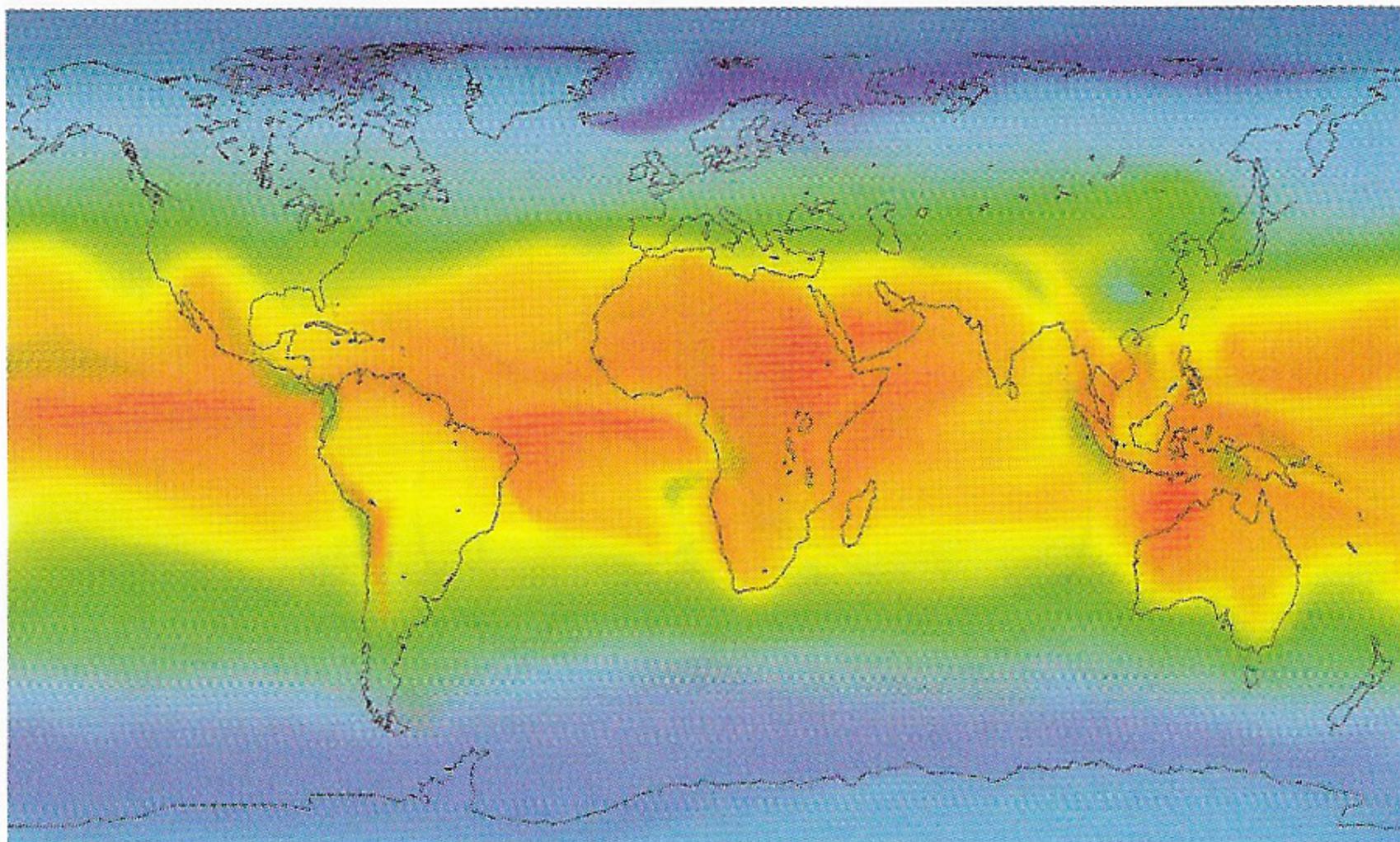
## Carte des zones climatiques terrestres



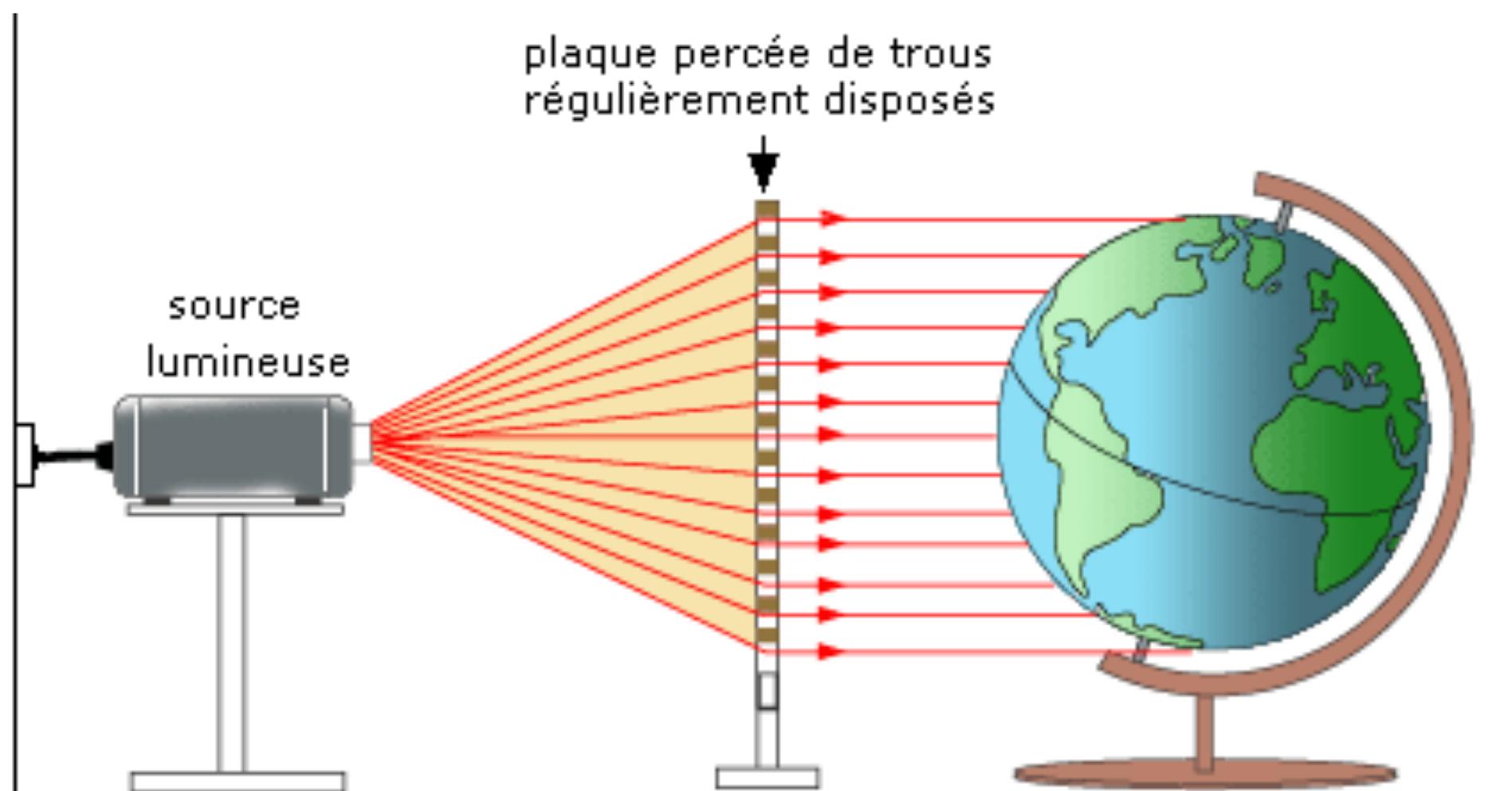
## Planisphère des températures moyennes de la Terre



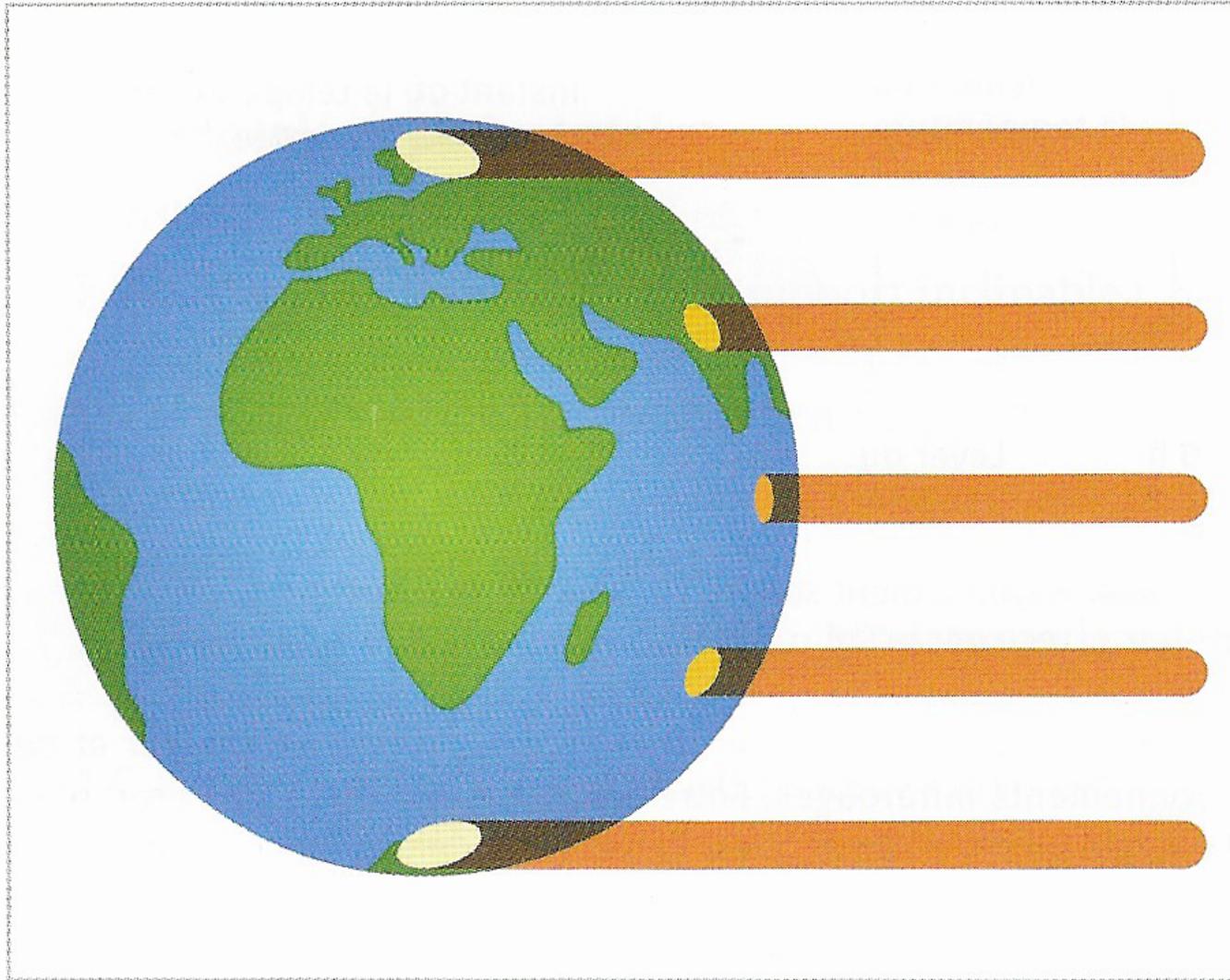
## Carte mondiale de l'insolation terrestre



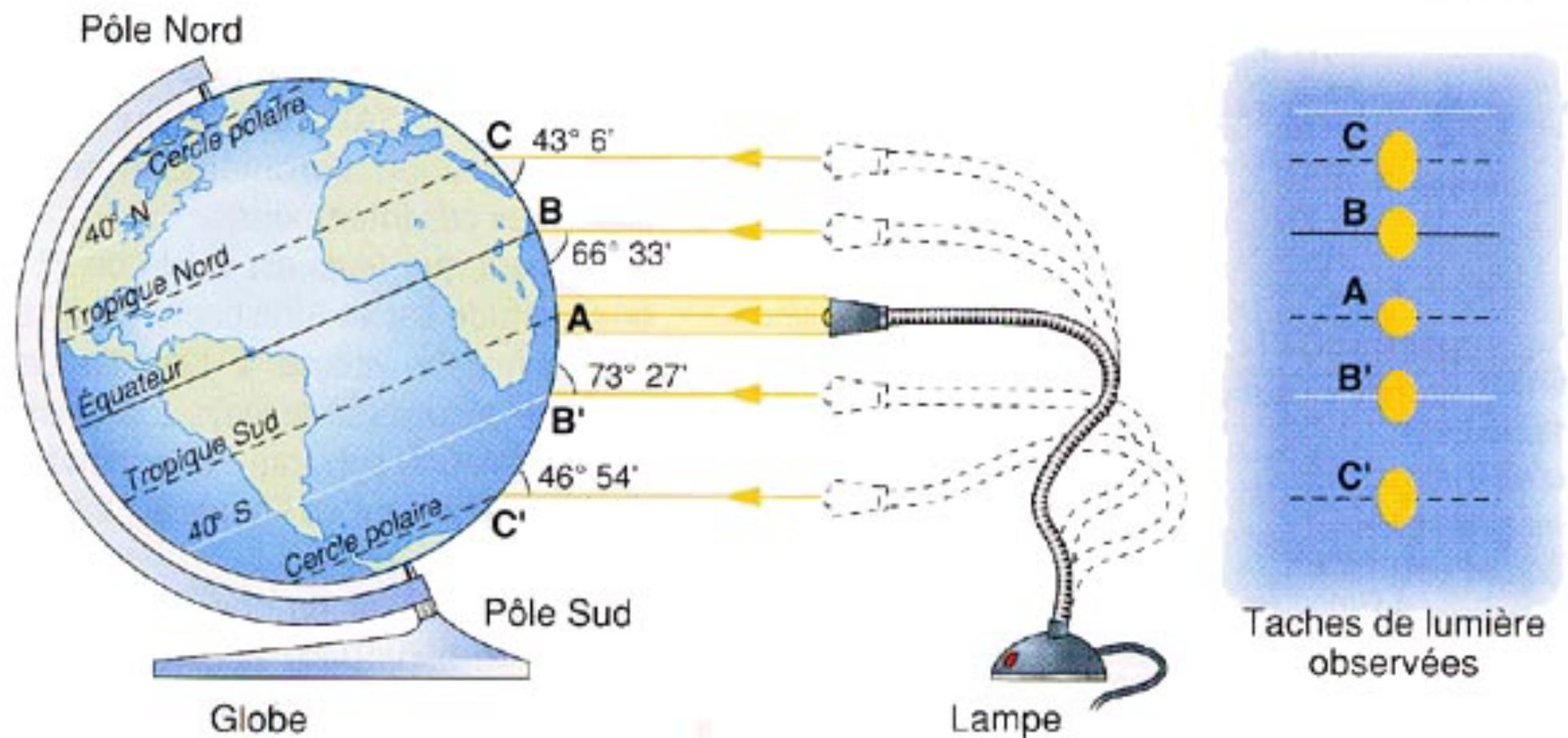
► Puissances surfaciques moyennes reçues sur une année.



## Répartition de l'énergie incidente équivalente sur un objet sphérique



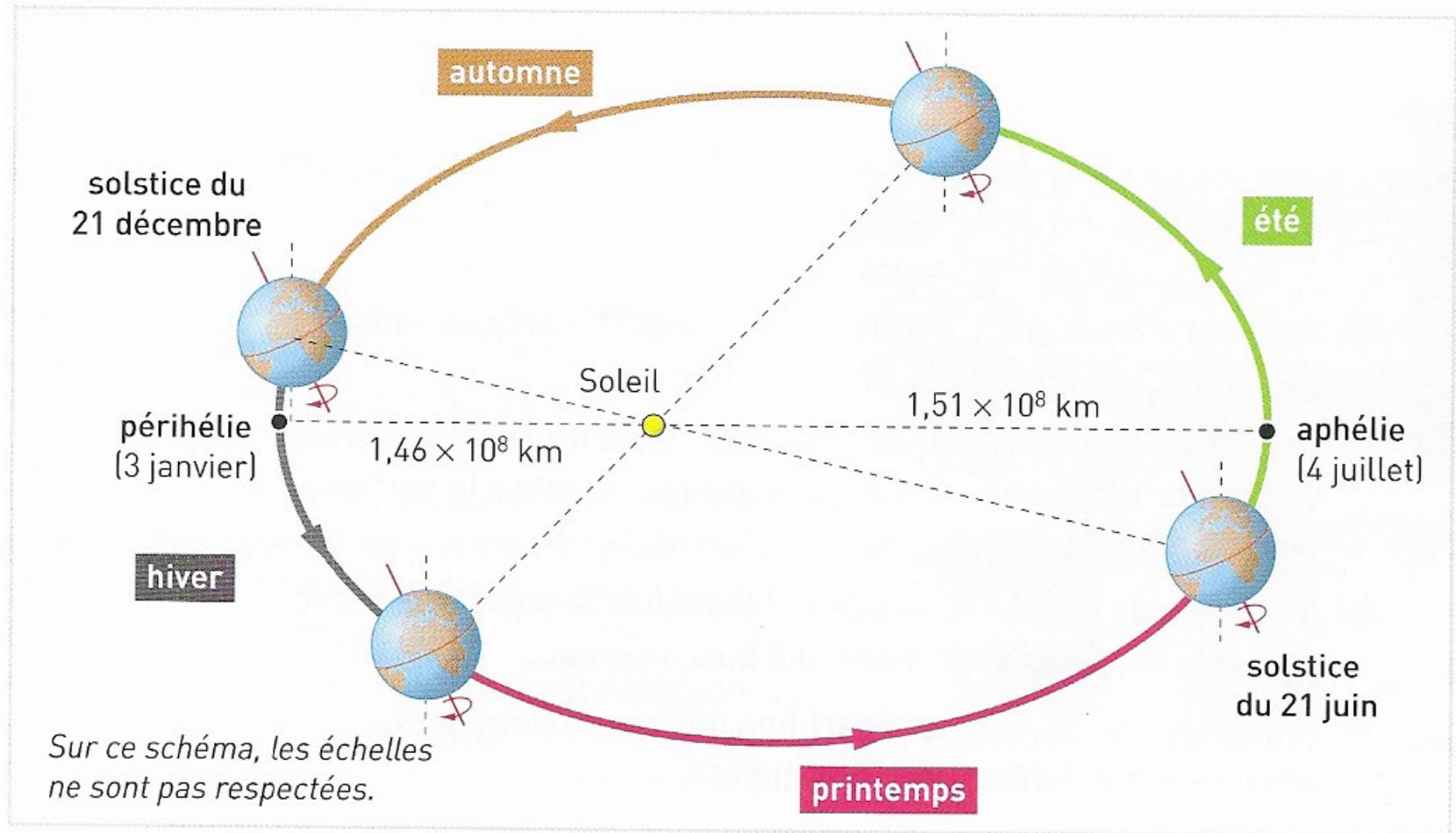
► Un même faisceau lumineux représente ici une même quantité d'énergie incidente.



## C. Variation de la quantité d'énergie reçue selon la saison

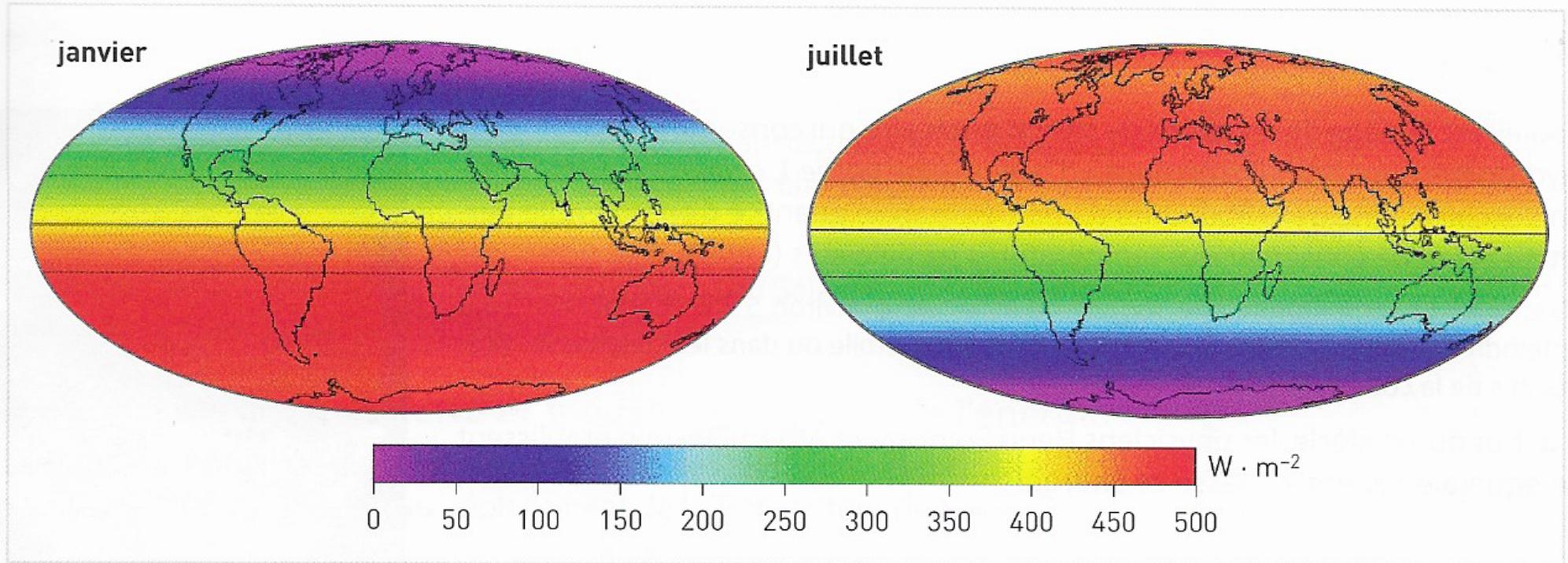
## Mouvement de la Terre sur son orbite au cours d'une année

La figure ci-contre représente la position de la Terre sur son orbite lors de quatre saisons en zone tempérée.



## Puissance solaire reçue sur Terre en janvier (périhélie) et juillet (aphélie)

Les figures ci-dessous représentent la puissance solaire reçue selon la latitude à deux moments de l'année. Les valeurs indiquées sont égales à la puissance reçue par une surface de 1 m<sup>2</sup>.

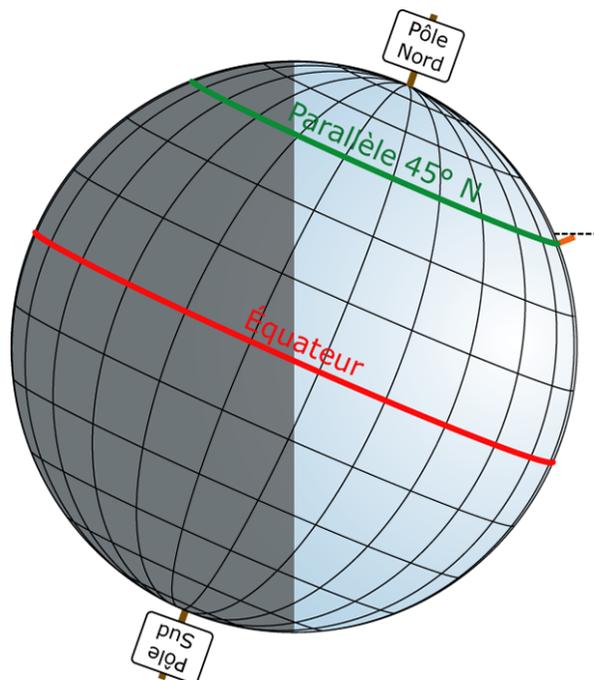


■ Puissance solaire reçue sur Terre en janvier et en juillet.

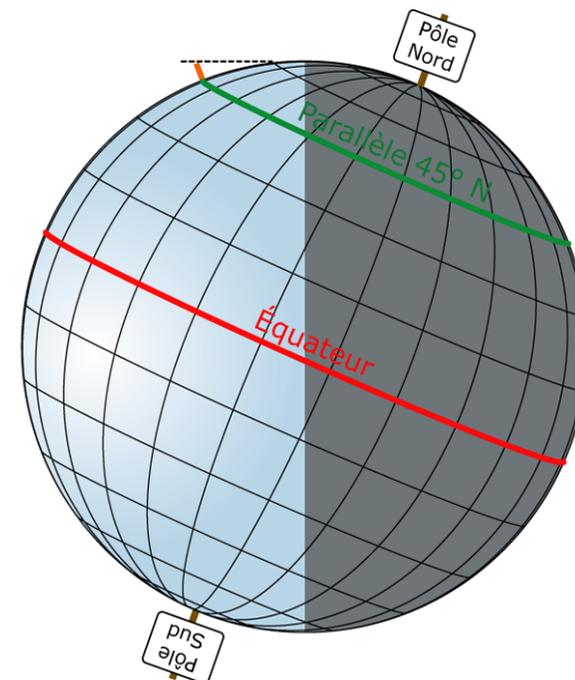
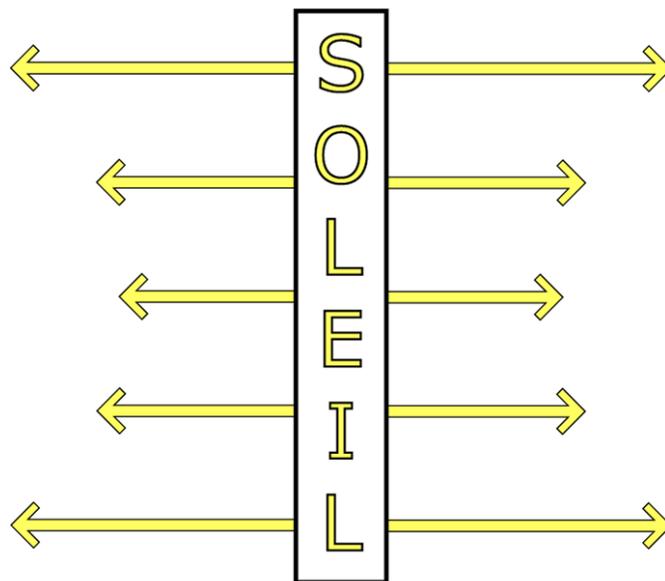
## Surfaces éclairées selon les saisons



## Les solstices : zones éclairées

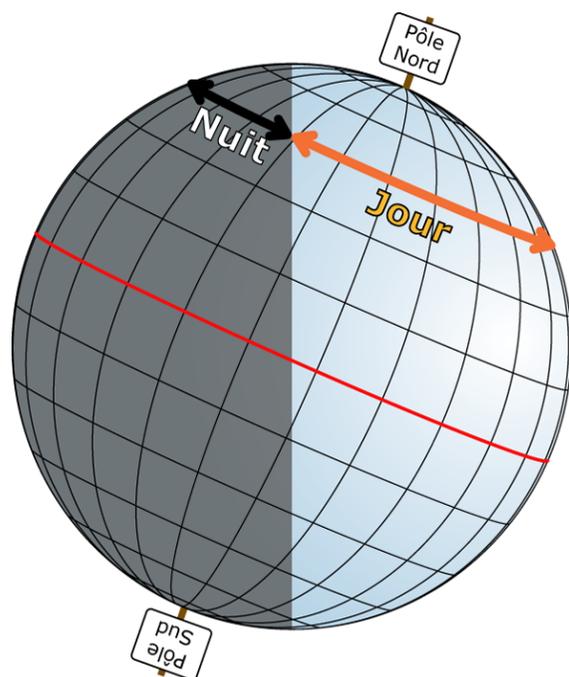


21 juin

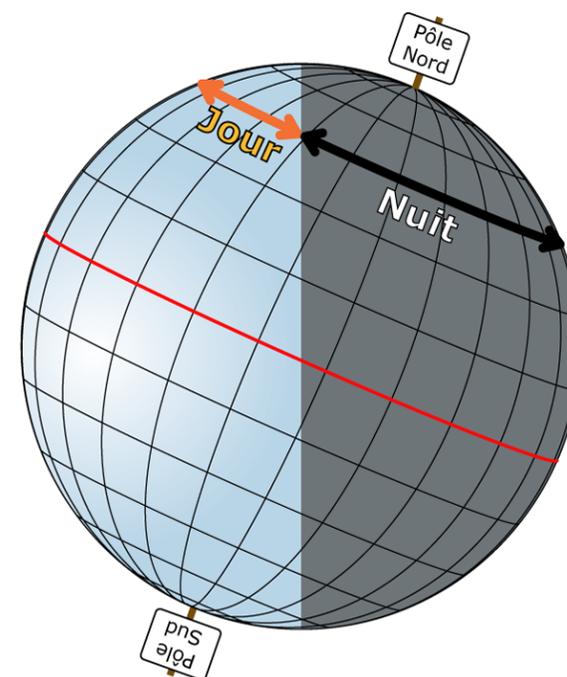
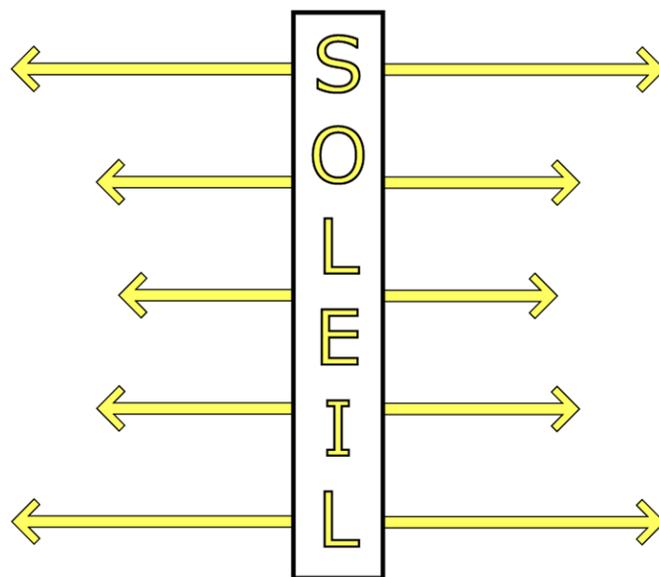


21 décembre

## Les solstices : Durée du jour



21 juin



21 décembre