

La Terre vue comme système énergétique

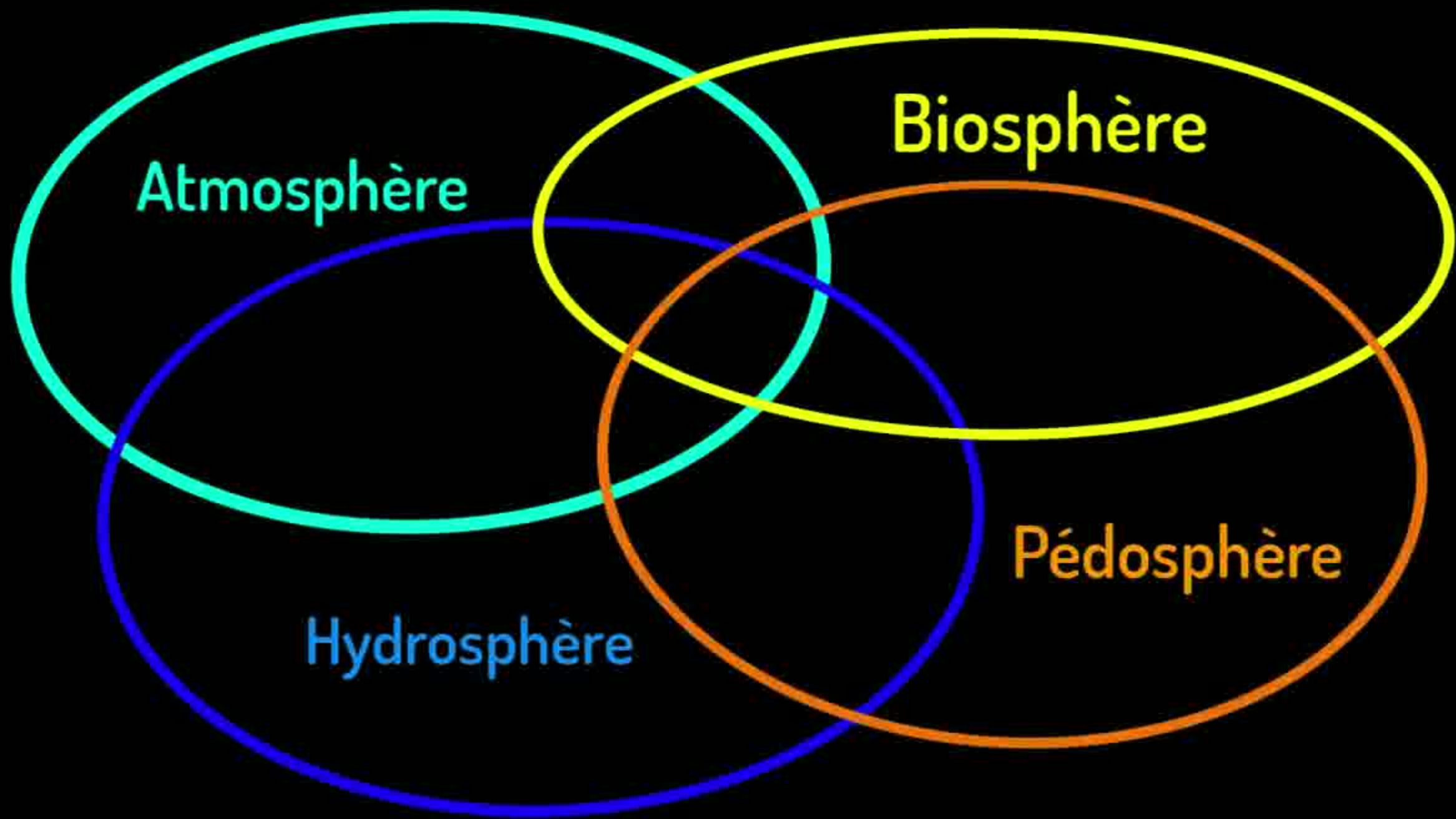


La Terre vue comme système énergétique



on ne considère ici que les
couches les plus externes





La pédosphère

= les sols



Flux énergétiques

Planète active

Structures dissipatives

Deux grandes sources d'énergie animent la Terre

1) l'énergie externe en
provenance du Soleil

2) l'énergie interne en
provenance des
profondeurs terrestres

Négligeable





On néglige l'énergie interne terrestre

Seule l'énergie solaire nous intéresse ici

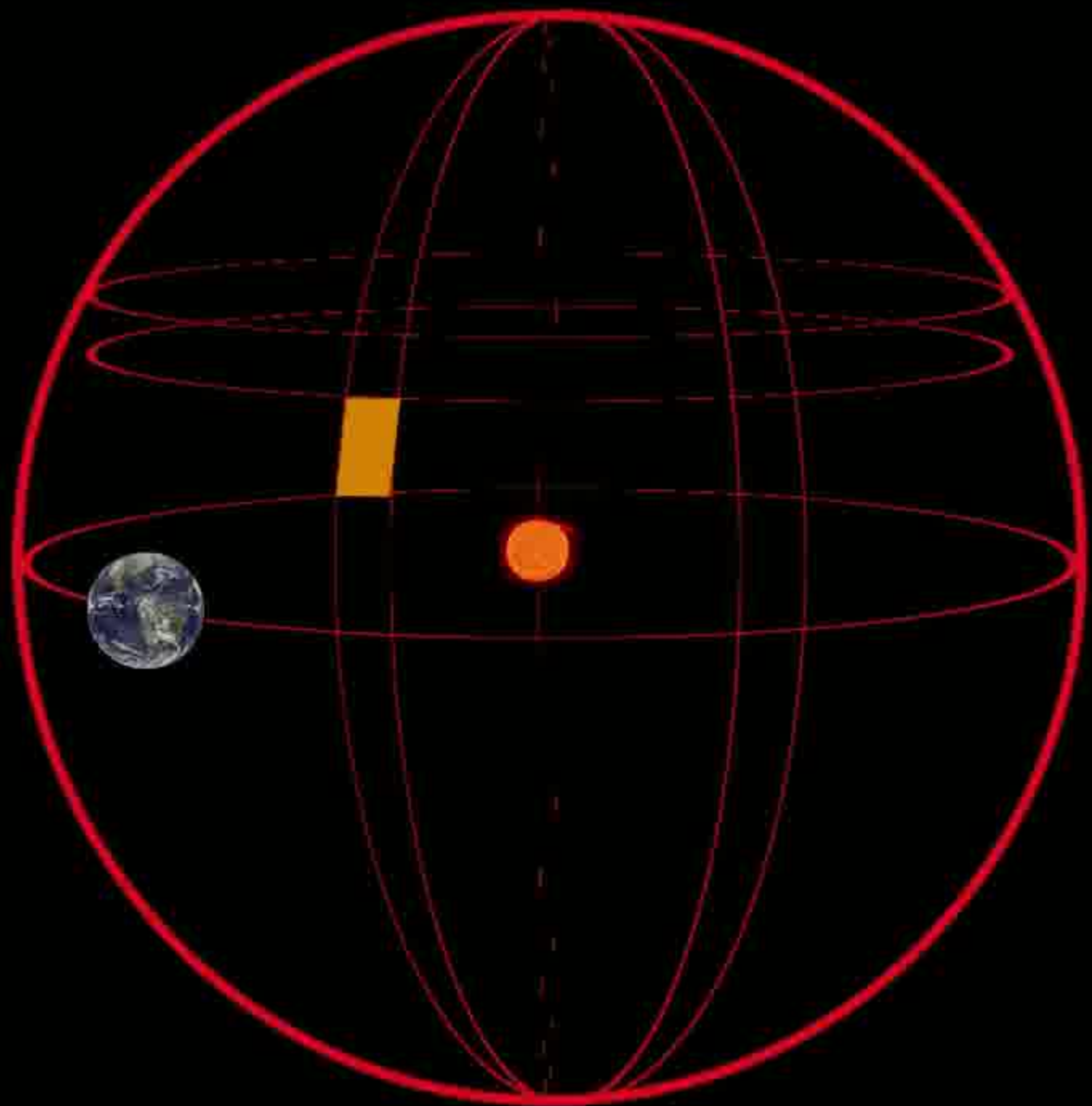


La constante solaire

$$L = 1370 \text{ W/m}^2$$

**Flux énergétique (W/m²) reçu
par un m² de surface**

- situé à 150 millions de km du Soleil,
- orienté perpendiculairement aux rayons du Soleil,
- et en l'absence d'atmosphère

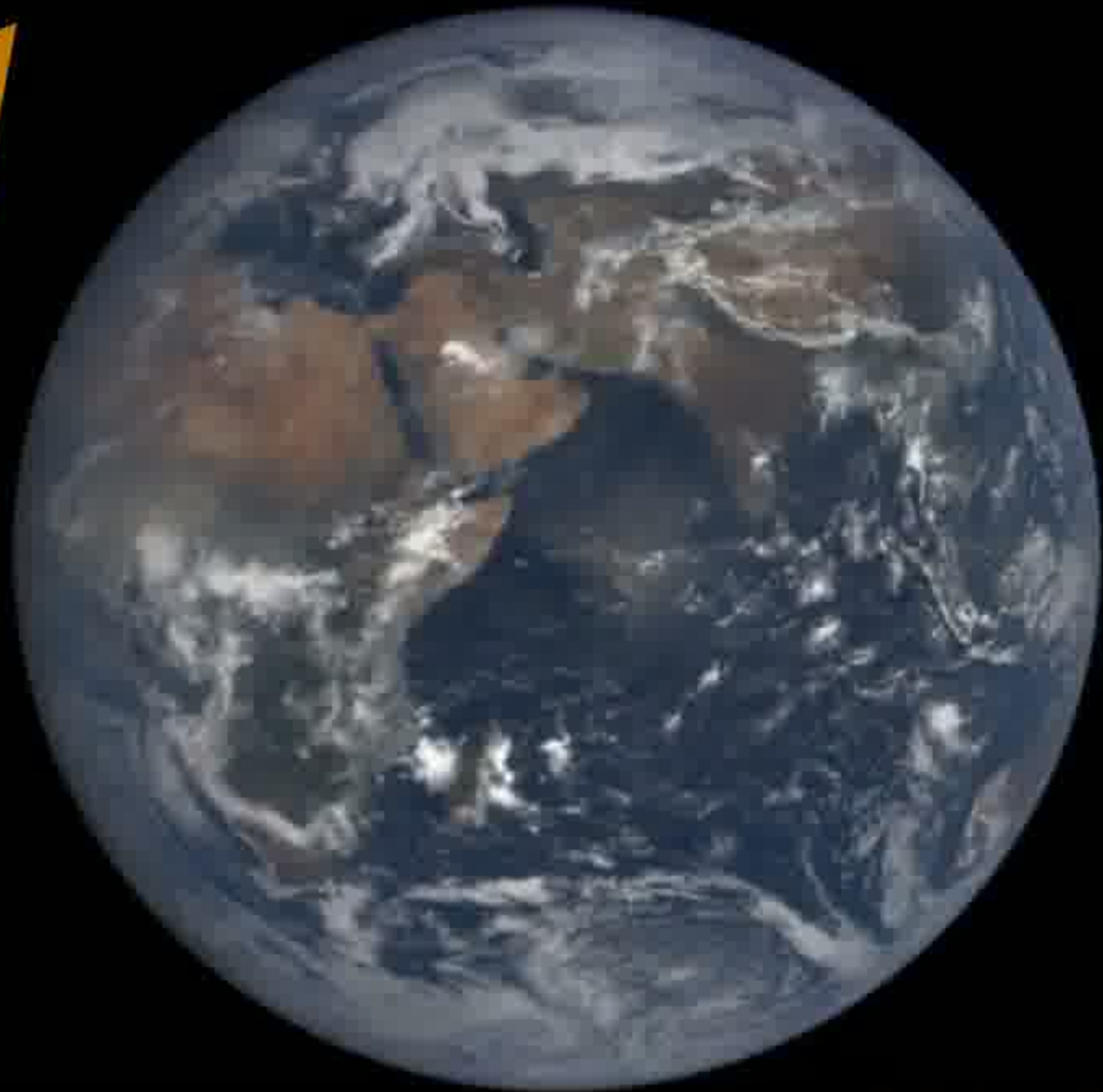


Quelle est la valeur
moyenne du flux solaire
reçu par 1 m² de surface
terrestre ?





Le flux solaire est
réparti sur une
sphère en rotation,
et avec un axe de
rotation incliné par
rapport au Soleil



Flux d'énergie capté par la Terre

$$L \times \pi \times r^2$$

Distance de
150 millions de
km

Disque de
rayon r



Soleil

r = rayon terrestre moyen = 6380 km



La Terre est une sphère



$$\pi \times r^2$$



La Terre vue par les
platistes

La surface de
la sphère est

$$4 \times \pi \times r^2$$



I , flux solaire moyen
reçu par un m^2 de surface

$$L \pi r^2 = I \times 4\pi r^2$$

$$L = 4 I$$

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

$$I = L/4$$

**Flux solaire moyen
théorique reçu par un m² de
surface terrestre**

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

On moyenne tous les effets liés à la latitude et la non-perpendicularité des rayons par rapport à la surface

On moyenne tous les effets liés aux alternances jour-nuit

On moyenne tous les effets liés à l'obliquité de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'écliptique (saisons)

**C'est une
moyenne !**

Deux valeurs à retenir

- la constante solaire
- le flux solaire moyen capté dans les hautes couches de l'atmosphère

$$L = 1370 \text{ W/m}^2$$

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Quel est le flux solaire réel
reçu à la surface de la Terre ?

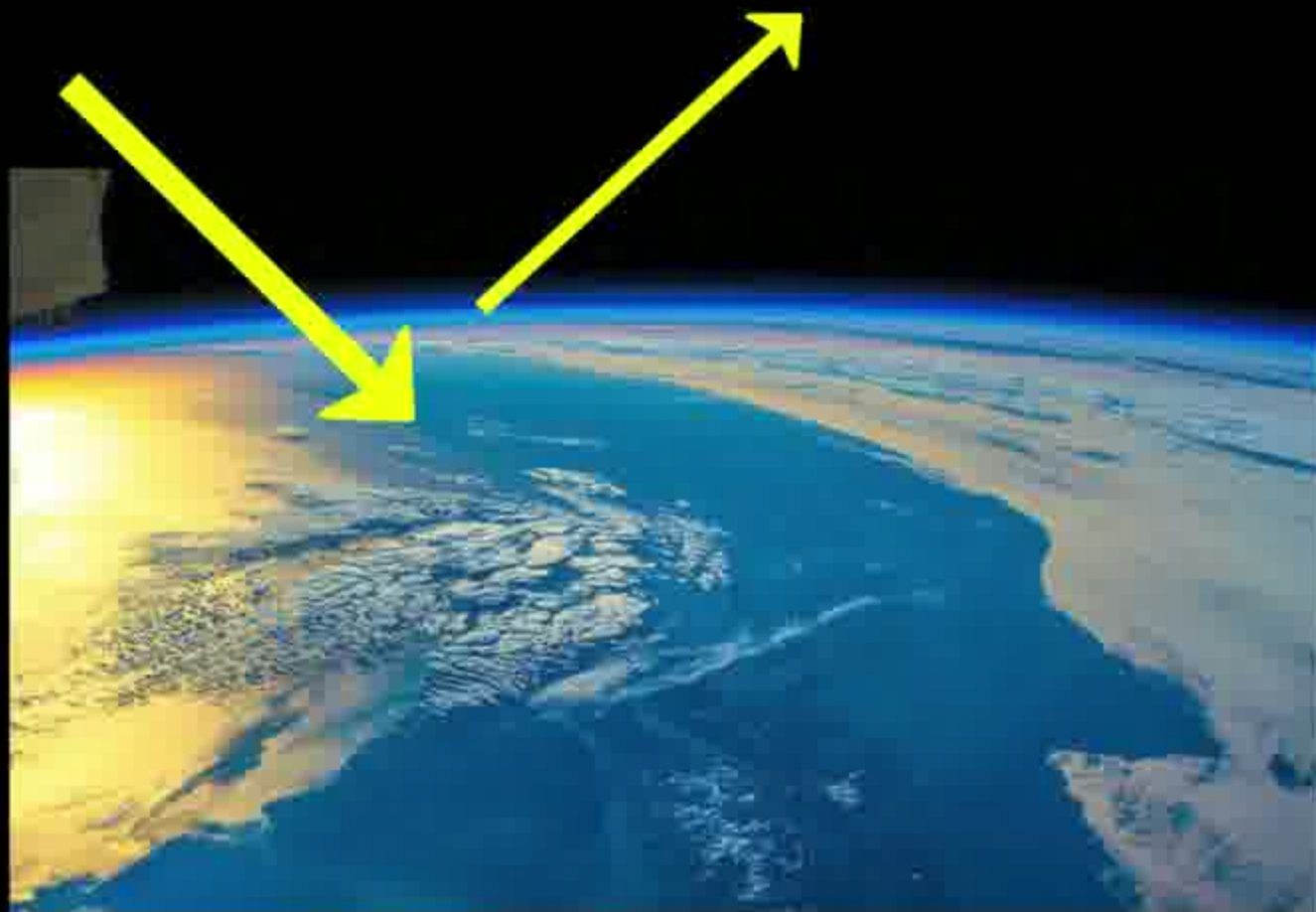
Flux
incident



Quel est le flux solaire réel
reçu à la surface de la Terre ?

Flux
incident

Flux renvoyé
vers l'espace



L'albedo

= pouvoir réfléchissant

= proportion de rayons réfléchis vers l'espace

Flux
incident

Flux renvoyé
vers l'espace

Albedo de 1 :
tout est réfléchi



L'albedo

= pouvoir réfléchissant

= proportion de rayons réfléchis vers l'espace

Flux
incident

Flux renvoyé
vers l'espace

Albedo de 0 :
tout est absorbé



L'albedo

= pouvoir réfléchissant

= proportion de rayons réfléchis vers l'espace

Flux
incident

Flux renvoyé
vers l'espace

Albedo moyen de la Terre autour de 0,3

Albedo α

αI

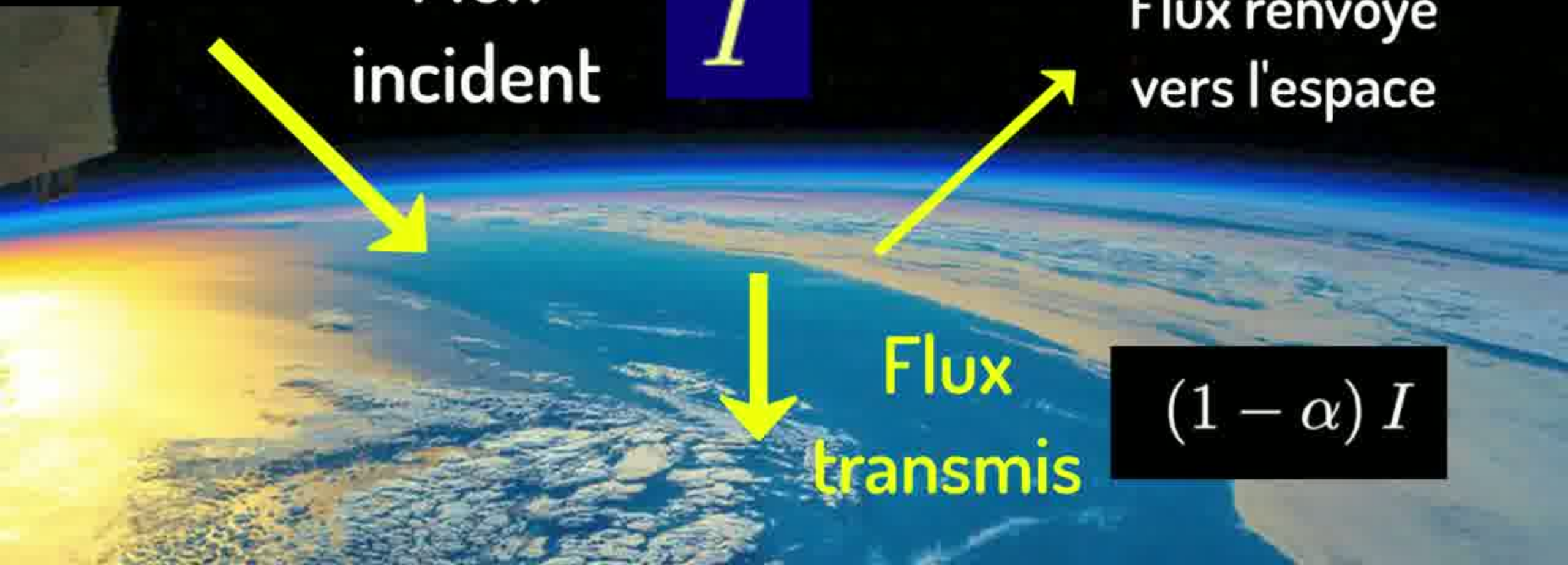
Flux
incident

I

Flux renvoyé
vers l'espace

Flux
transmis

$(1 - \alpha) I$



Le flux absorbé

Énergie
électromagnétique

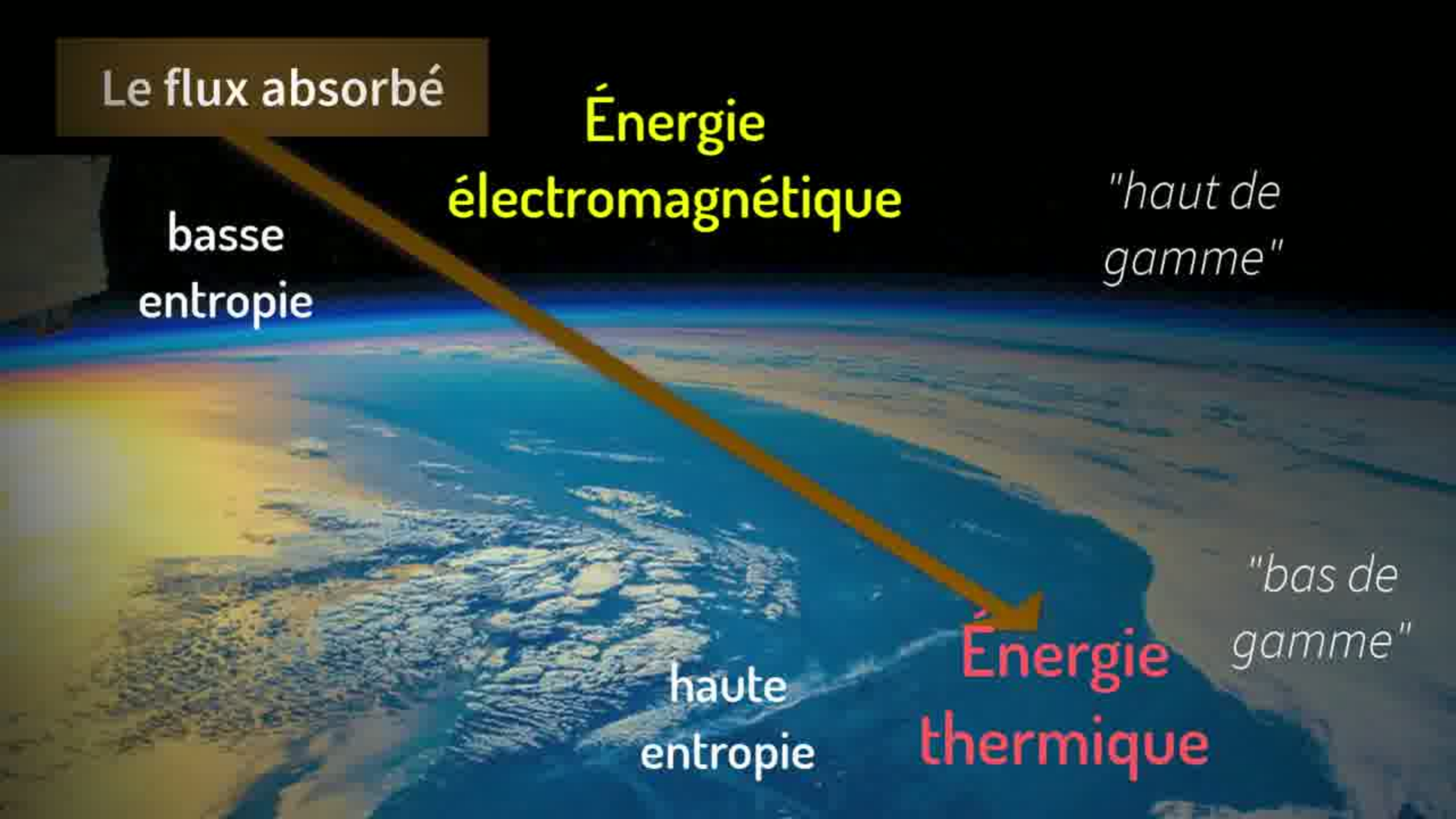
*"haut de
gamme"*

basse
entropie

*"bas de
gamme"*

haute
entropie

Énergie
thermique



Le flux absorbé

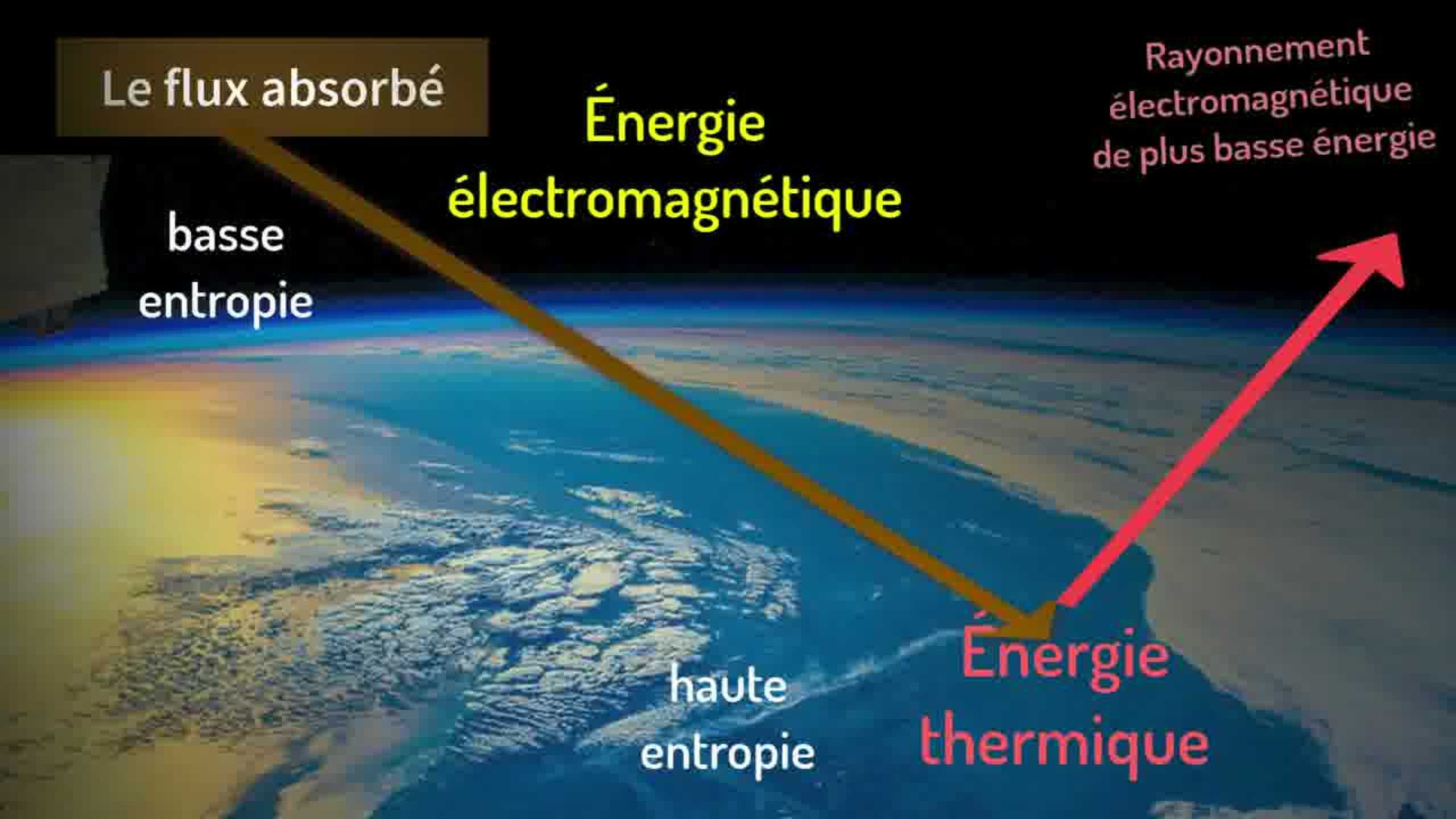
Énergie
électromagnétique

Rayonnement
électromagnétique
de plus basse énergie

basse
entropie

haute
entropie

Énergie
thermique



Loi de Stefan ou loi de Stefan-Boltzmann

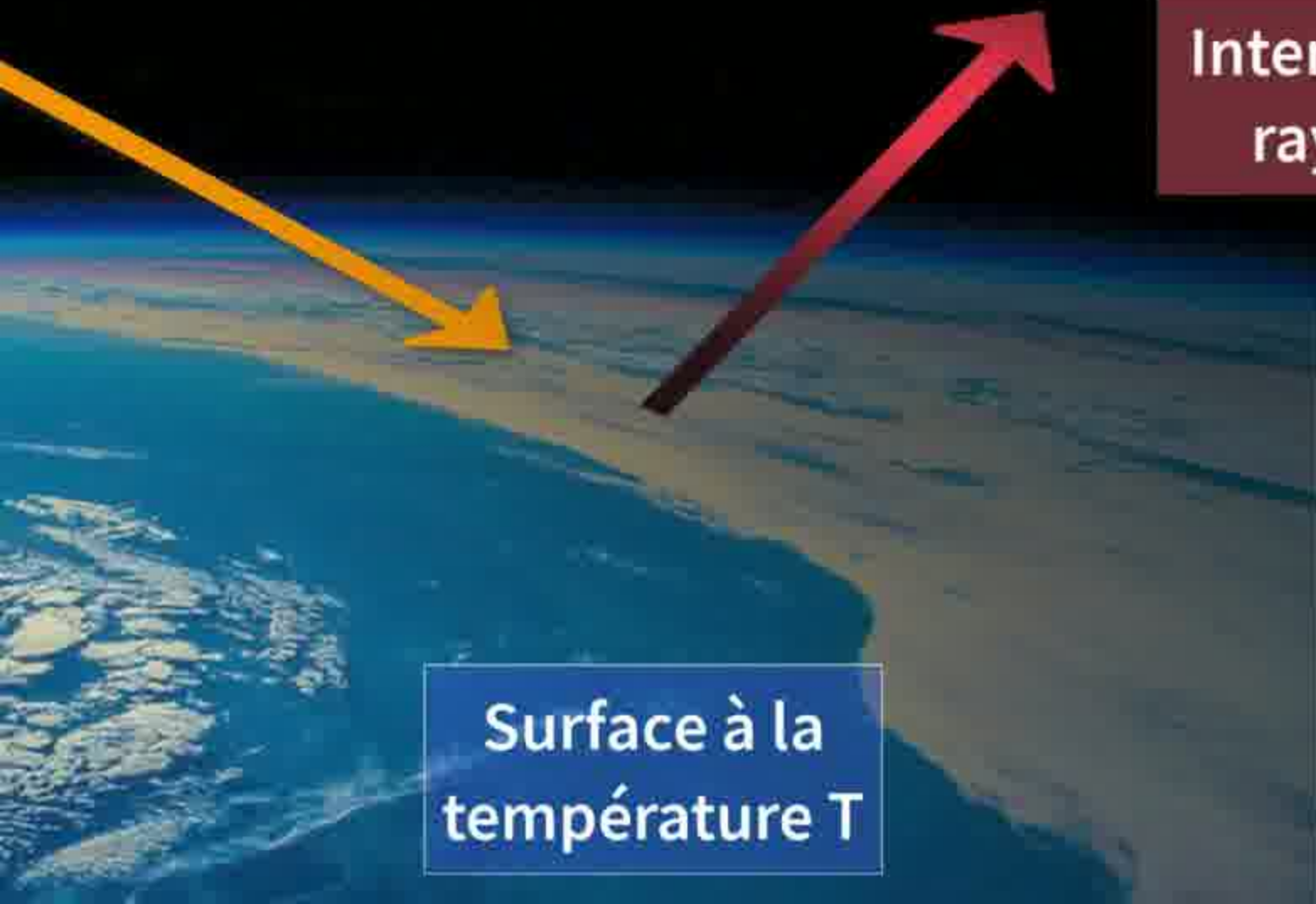
$$I_e = \sigma T^4$$

Intensité énergétique du rayonnement réémis

Constante
de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.670\,374 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}$$

Surface à la
température T



Conservation de l'énergie

en régime stationnaire

$$(1 - \alpha) I = \sigma T^4$$



Conservation de l'énergie

en régime stationnaire

$$(1 - \alpha) I = \sigma T^4$$

Formule qui nous donne la température moyenne de la surface terrestre

1er calcul de la température moyenne de la surface terrestre

$$T_s = 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C}$$



La Terre, boule de glace ?



La Terre, boule de glace ?

Des glaciers sur les continents

De la banquise sur les océans



La Terre, boule de glace ?

La glace a un albedo
proche de 60%

La neige fraîche a un
albedo proche de 90%



La Terre, boule de glace ?

Refaisons le calcul avec
un albedo proche de 0.6

$$\alpha = 0.6$$

$$T_s \simeq -50^{\circ}\text{C}$$



La Lune noire

La Lune a un albedo
d'environ 10%

Cela correspond à
un noir profond

un noir profond
cela correspond à



La Lune noire



Peinture de Pierre Soulages



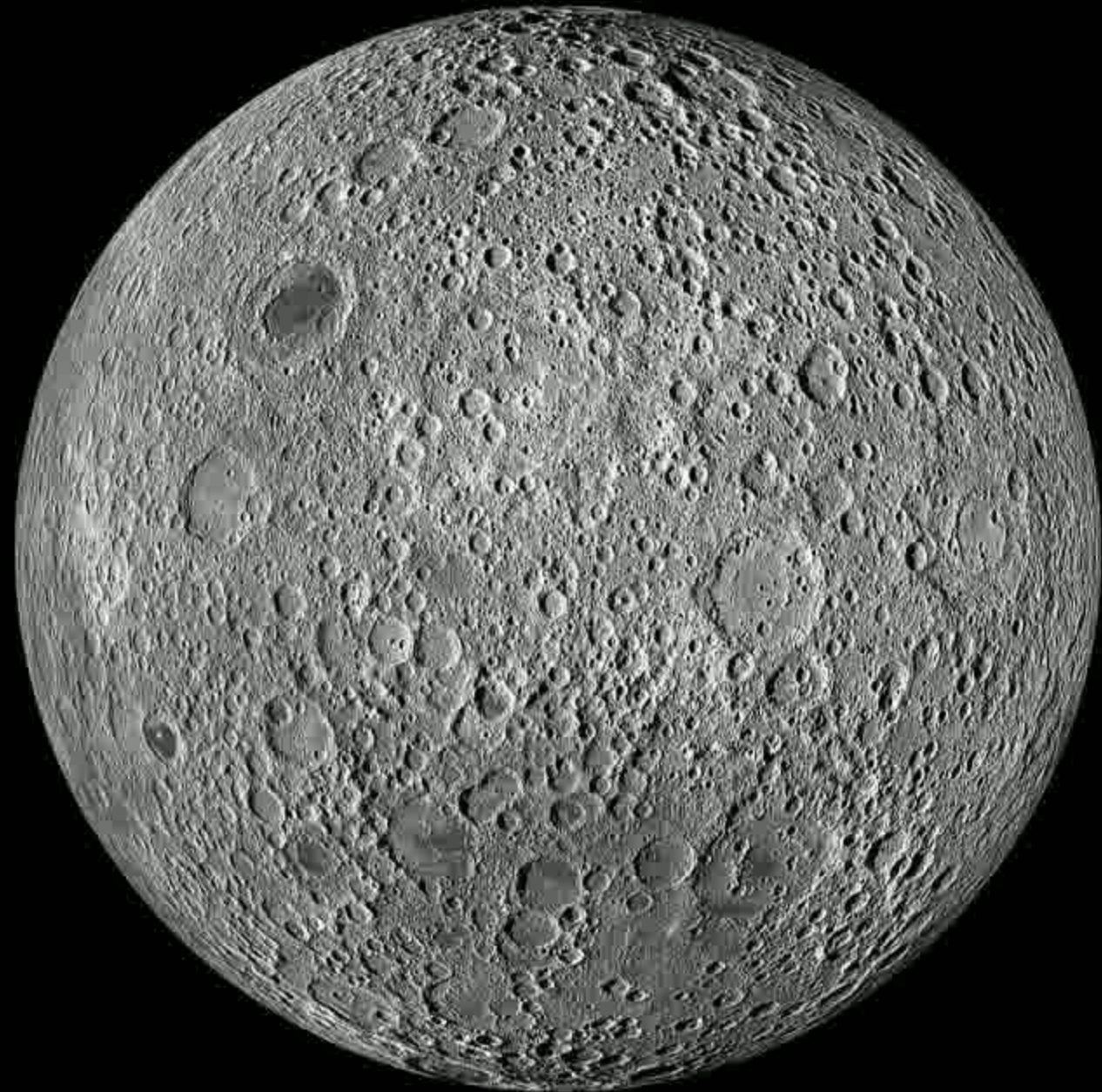
Albedo et température moyenne de la Lune

$$\alpha = 0.1$$

Valeur calculée

$$T_s \simeq 0^{\circ}\text{C}$$

À l'ombre: $\sim -150^{\circ}\text{C}$
En plein Soleil: $> 100^{\circ}\text{C}$



Face cachée de la Lune

STOP !

**On discute
d'albedo !**

**Mais les températures calculées
ne correspondent pas !**



L'atmosphère !

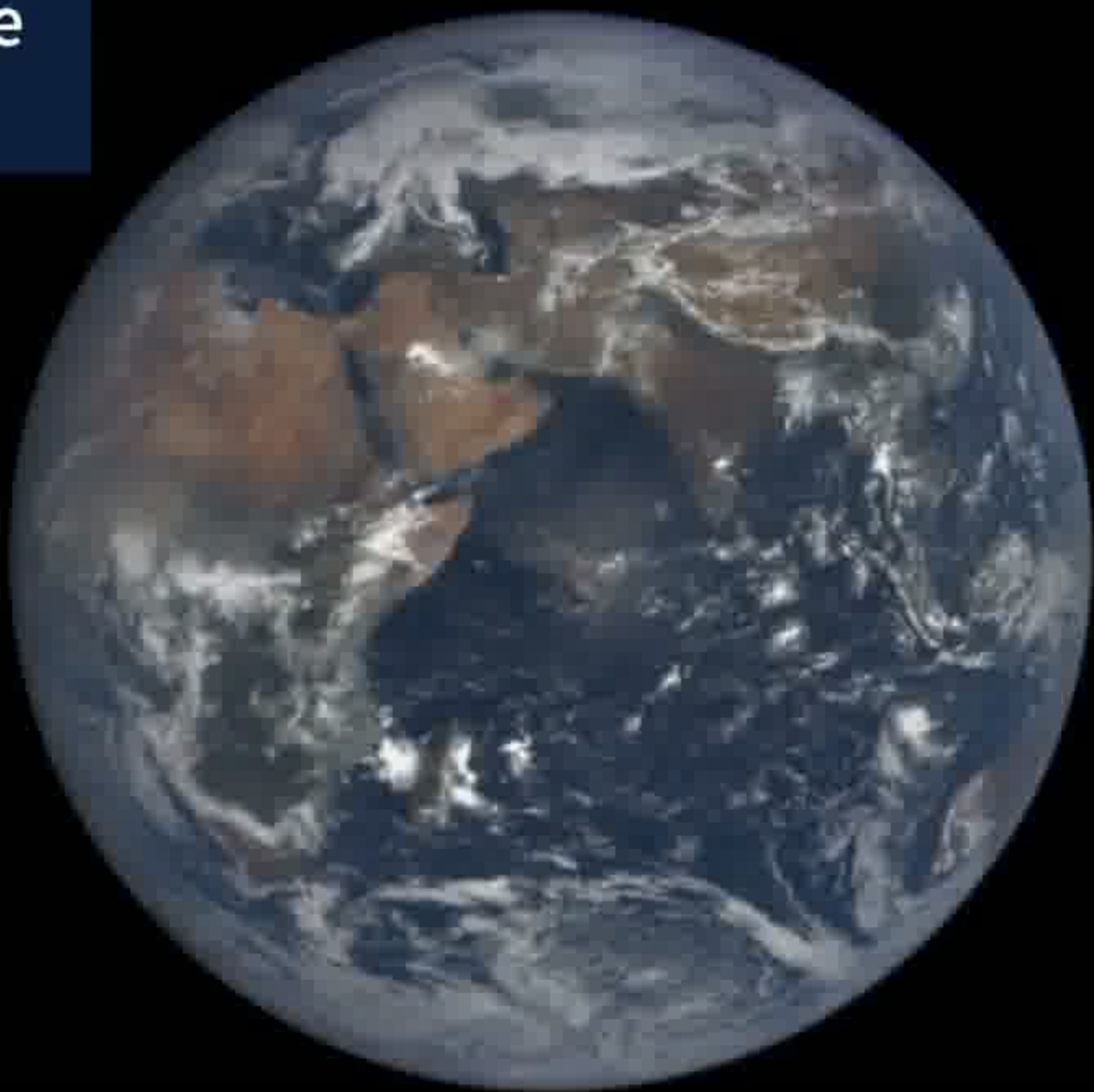


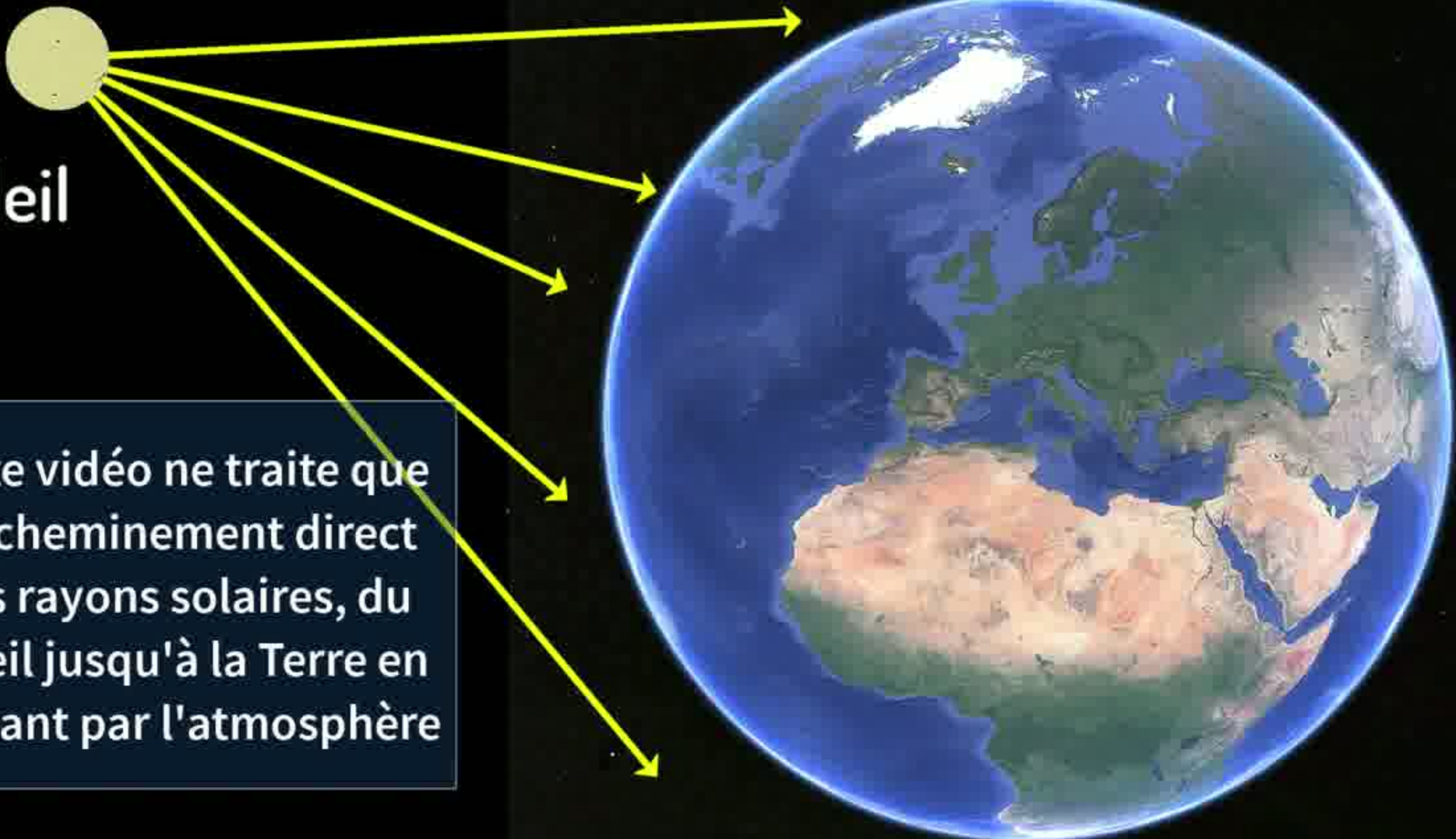
Comment tenir compte de l'atmosphère ?

L'atmosphère modifie l'albedo

L'atmosphère absorbe une partie du rayonnement électromagnétique

L'atmosphère crée un effet de serre





The diagram shows a yellow circle representing the Sun on the left, labeled 'Soleil'. Five yellow arrows originate from the Sun and point towards the Earth on the right. The Earth is shown as a blue and green sphere with visible continents, including Europe and Africa. The arrows represent the direct path of solar radiation from the Sun to the Earth's surface, passing through the atmosphere.

Soleil

Cette vidéo ne traite que
du cheminement direct
des rayons solaires, du
Soleil jusqu'à la Terre en
passant par l'atmosphère

Quel est le devenir des rayons du Soleil ?



la lumière est
réfléchie

la lumière est
absorbée

la lumière est
transmise

La réflexion des rayons solaires

c'est contrôlé par l'albedo

L'**atmosphère** est le principal contributeur de l'albedo terrestre

les nuages

les aérosols

les molécules
atmosphériques

La réflexion des rayons solaires

c'est contrôlé par l'albedo

L'**atmosphère** est le principal contributeur de l'albedo terrestre

L'albedo de la surface terrestre compte peu

On peut retenir un albedo global de 30%

La réflexion des rayons solaires

Rayons incidents

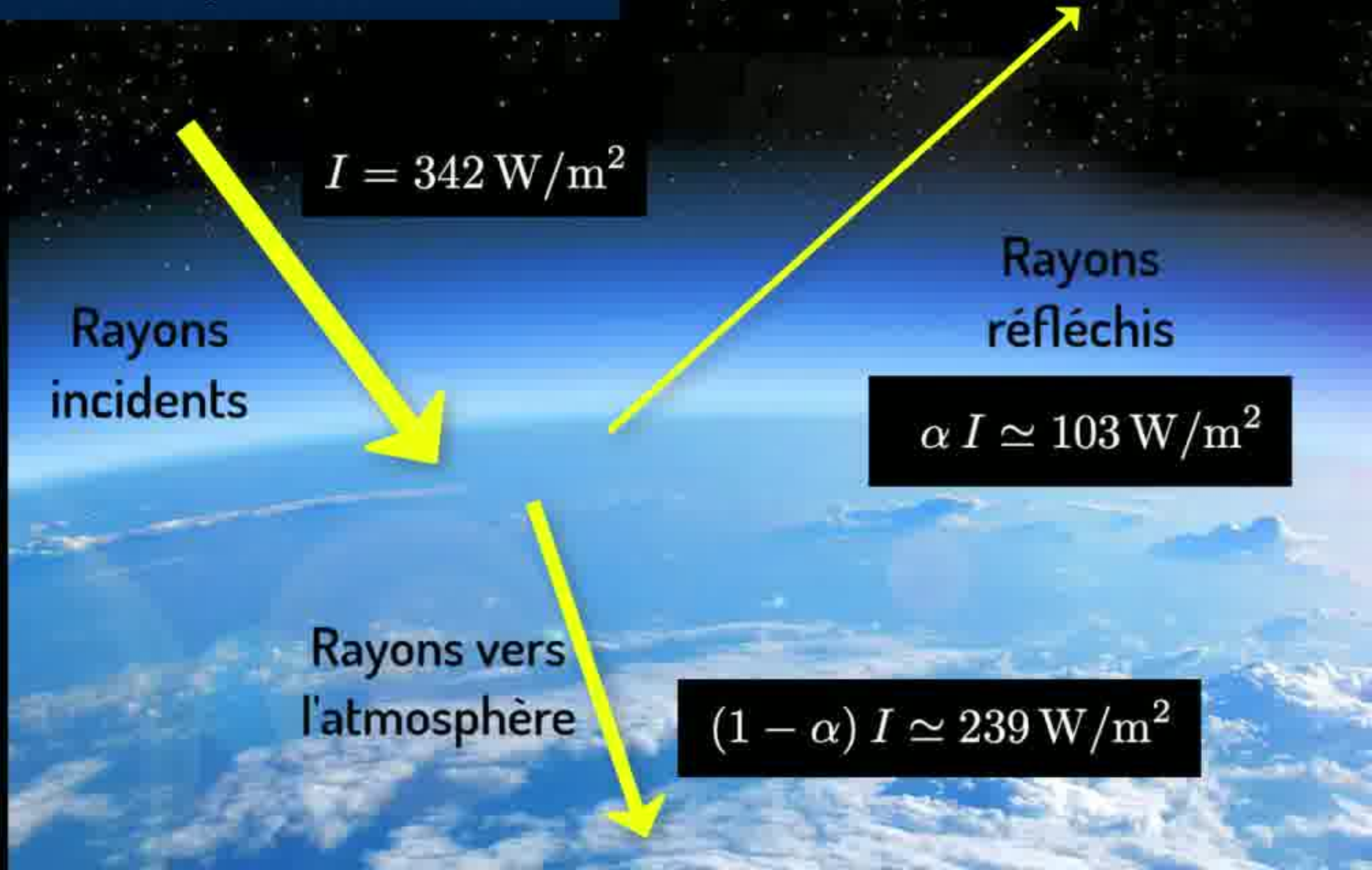
$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Rayons réfléchis

$$\alpha I \simeq 103 \text{ W/m}^2$$

Rayons vers l'atmosphère

$$(1 - \alpha) I \simeq 239 \text{ W/m}^2$$

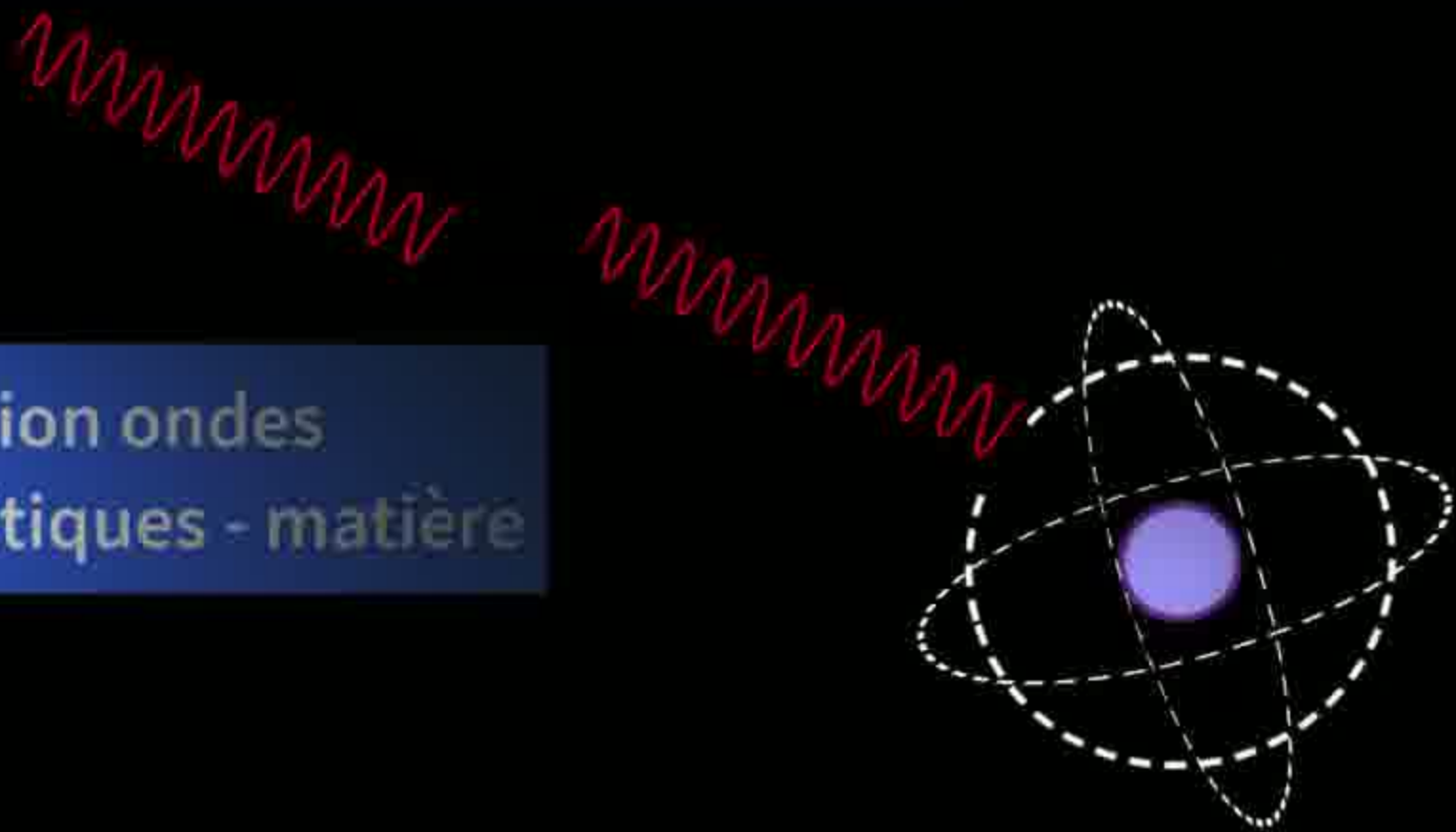


L'absorption des rayons solaires

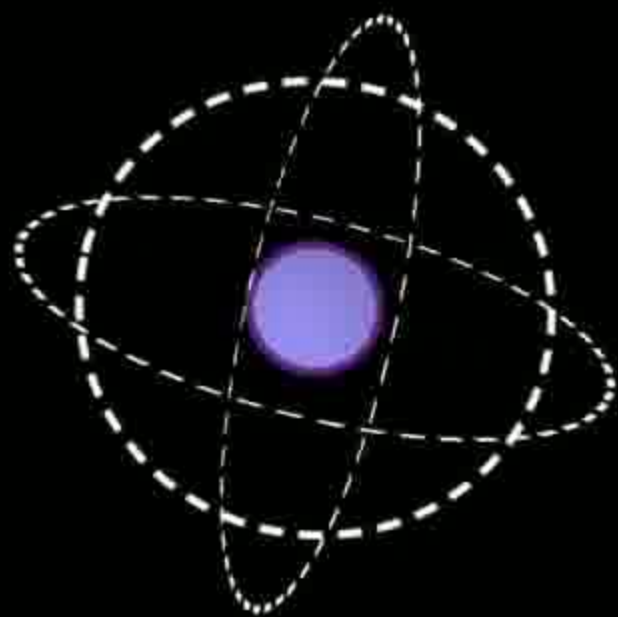
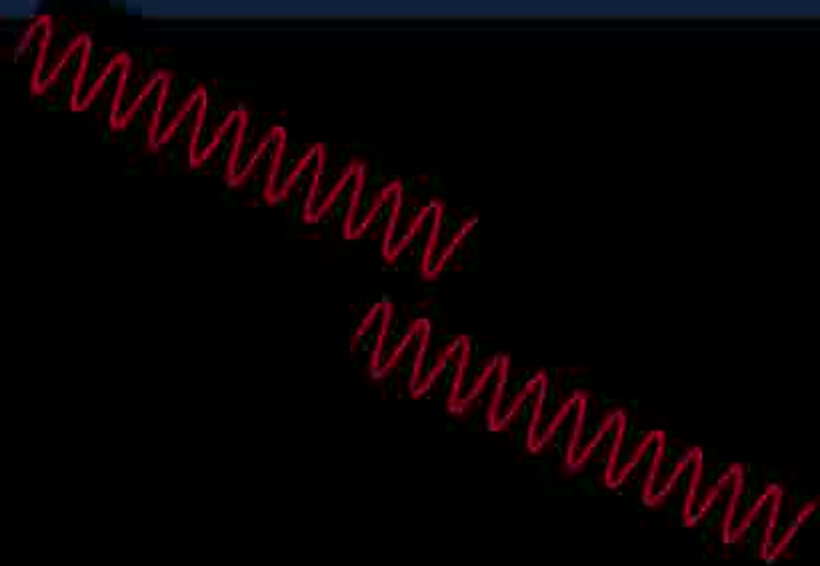


L'absorption des rayons solaires

Interaction ondes
électromagnétiques - matière



L'absorption des rayons solaires



L'absorption des rayons solaires

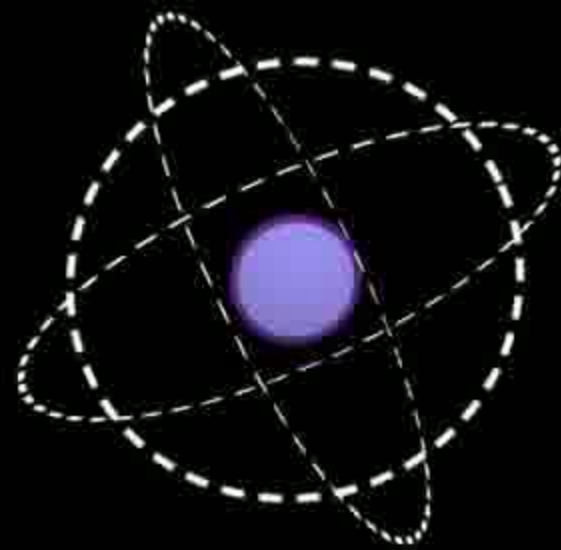
Montée de la
température

Absorption

Chaleur

Réémission d'ondes
électromagnétiques

Vibration



L'absorption atmosphérique

Coefficient d'absorption β

$$\beta = 30\%$$

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Rayons incidents

Rayons réfléchis

$$\alpha I \simeq 103 \text{ W/m}^2$$

Rayons vers l'atmosphère

$$(1 - \alpha) I \simeq 239 \text{ W/m}^2$$

$$\beta (1 - \alpha) I = 30\% \times 239 = 72 \text{ W/m}^2$$

Rayons absorbés

Rayons incidents

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Rayons réfléchis

$$\alpha I \simeq 103 \text{ W/m}^2$$

Rayons traversant l'atmosphère

Rayons absorbés par l'atmosphère

$$(1 - \alpha) I \simeq 239 \text{ W/m}^2$$

$$\beta (1 - \alpha) I = 30\% \times 239 = 72 \text{ W/m}^2$$

Rayons vers la surface

$$342(1 - \alpha)(1 - \beta) = 342 \times 0.7 \times 0.7 = 167 \text{ W/m}^2$$

$$342 - 103 - 72 = 167 \text{ W/m}^2$$

Rayons incidents

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Rayons réfléchis 103 W/m^2

Rayons traversant l'atmosphère

Rayons absorbés par l'atmosphère

$$239 \text{ W/m}^2$$

$$72 \text{ W/m}^2$$

Rayons vers la surface

$$167 \text{ W/m}^2$$



De la constante
solaire...



$$L = 1370 \text{ W/m}^2$$

on divise par 4

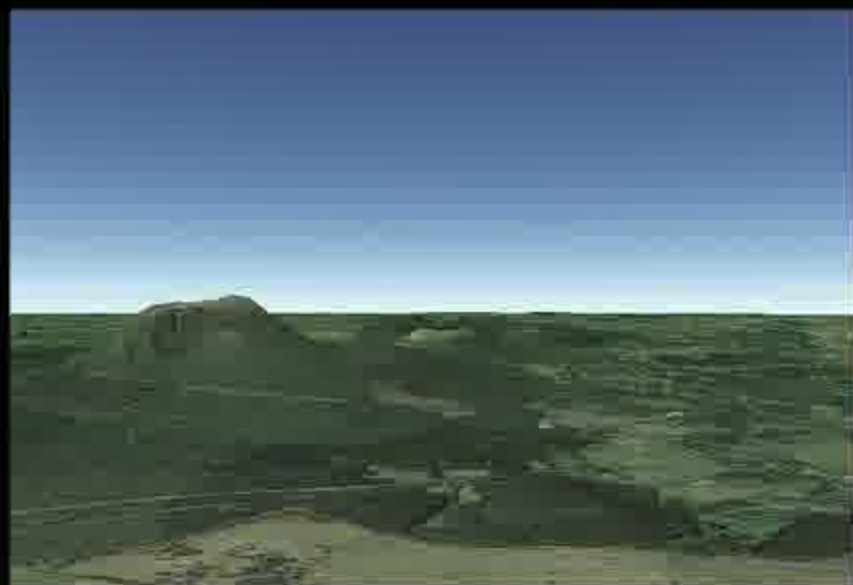
au flux dans les
hautes couches
de l'atmosphère



$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

puis on divise par 2

et au flux reçu
par la surface



$$167 \text{ W/m}^2$$

Photosynthèse



Biomasse



Énergies
fossiles

Solaire thermique
et photovoltaïque



Machinerie
climatique
et océanique



Le flux solaire moyen reçu à la surface de la Terre



167 W/m^2

une valeur moyennée sur
la journée et sur l'année

$167 \text{ W} \times 24 \text{ h} \simeq 4000 \text{ W h}$

4 kW h

sur 24 heures

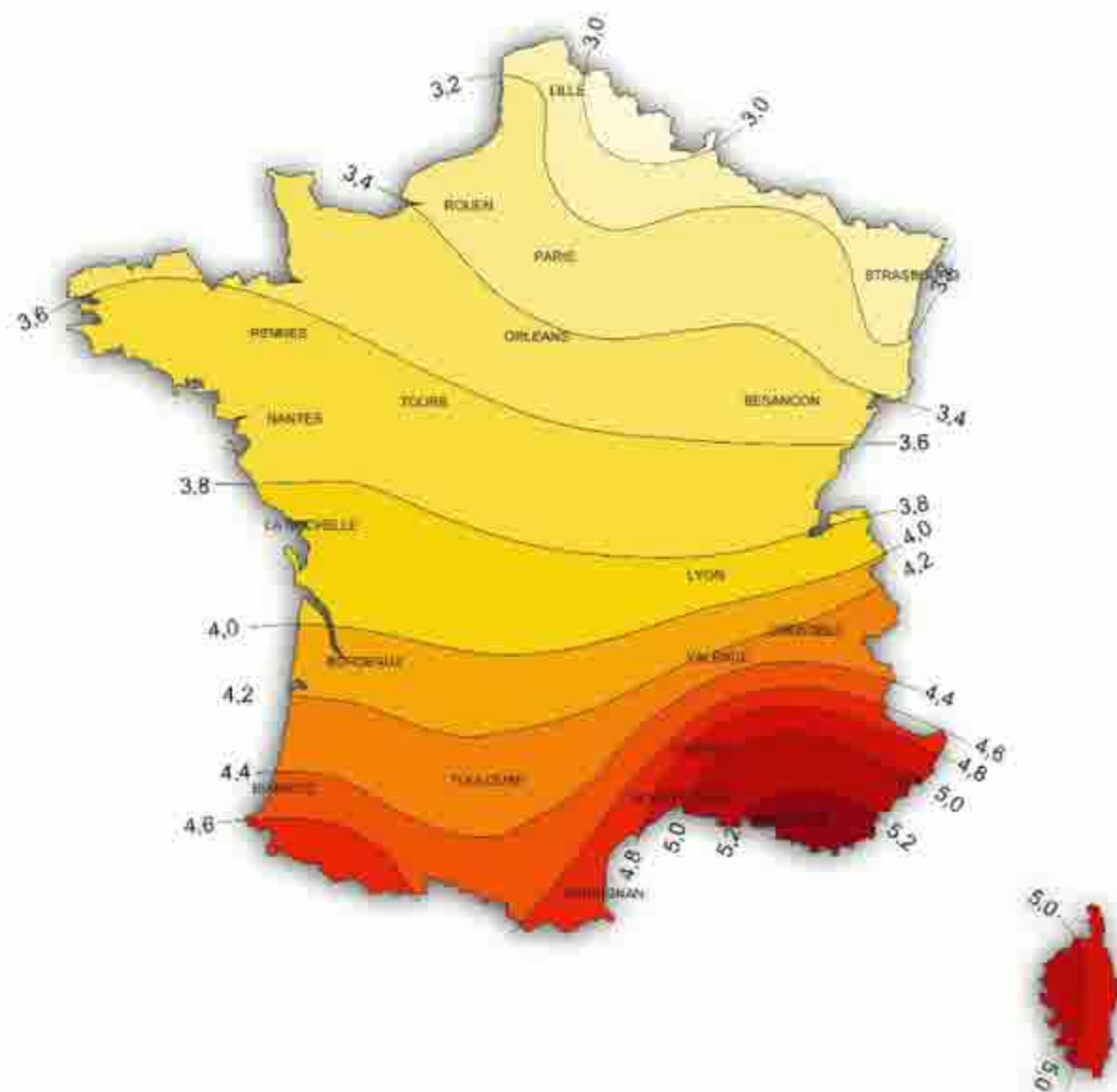
Énergie moyenne reçue par un
m² de surface en une journée

4 kWh

Attention: un panneau solaire
ne pourra utiliser qu'une
fraction de cette énergie !

CARTE DU POTENTIEL SOLAIRE EN FRANCE

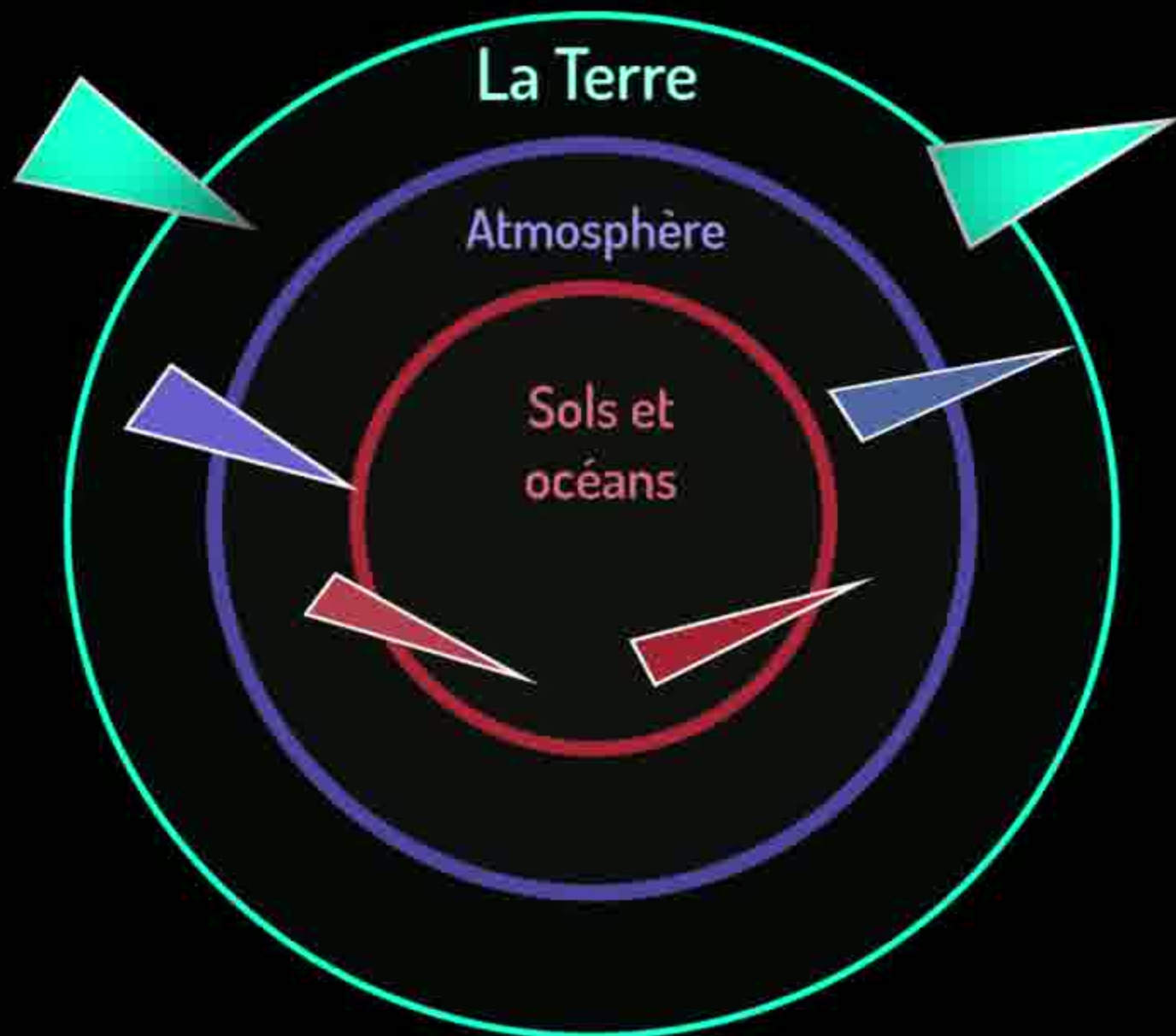
Moyennes annuelles en KWh/m²/jour
Selon l'Atlas Européen du Rayonnement Solaire



Soleil

Énergie
radiative

Bilan
énergétique du
Soleil à la Terre



Univers

Énergie
radiative

Soleil

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Univers

Lumière
visible

Bilan
énergétique du
Soleil à la Terre

La Terre

Atmosphère

Sols et
océans

Rayons
infra-rouge



Soleil

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

La Terre

$$I = 342 \text{ W/m}^2$$

Univers

Atmosphère

$$239 \text{ W/m}^2$$

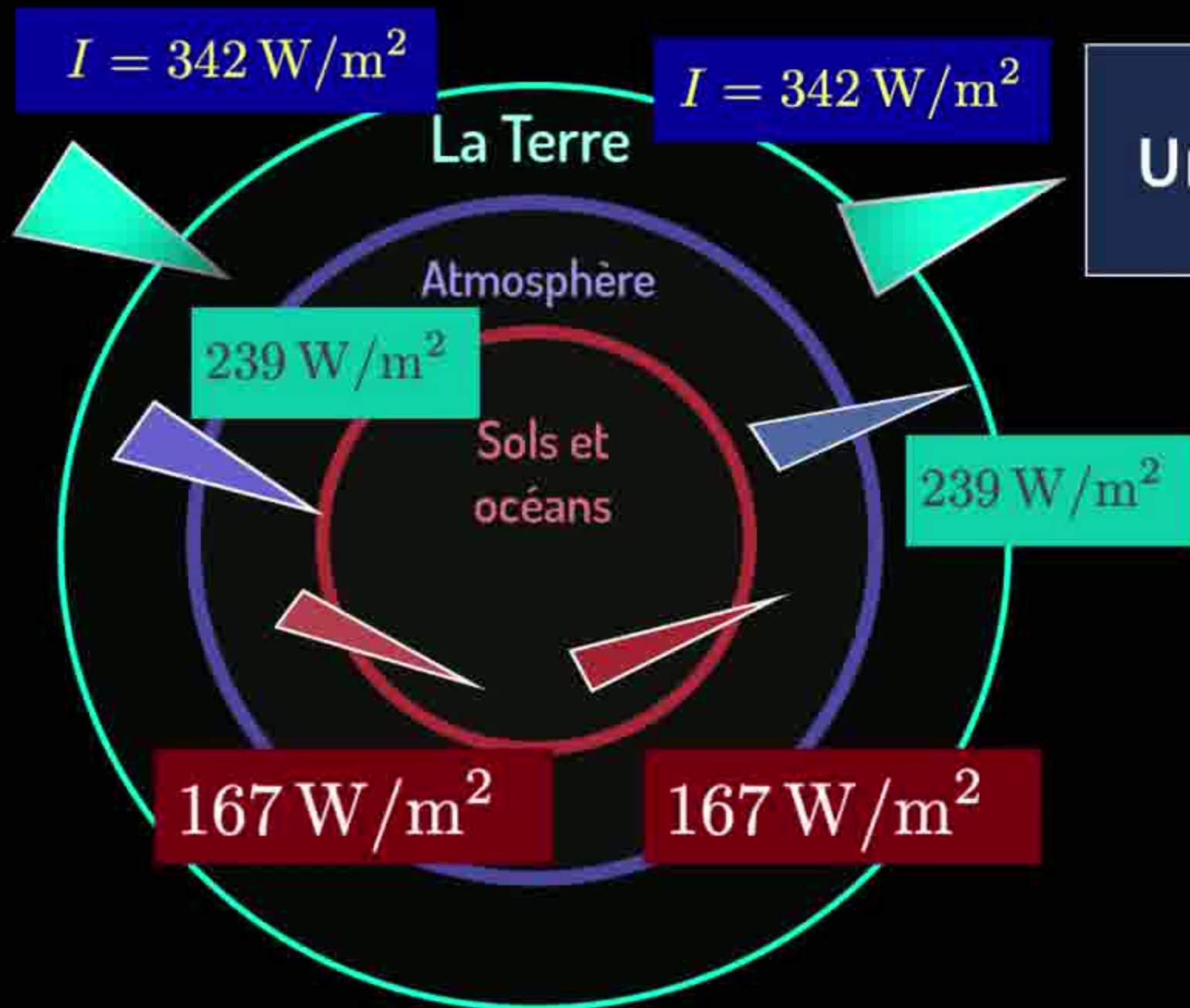
Sols et
océans

$$239 \text{ W/m}^2$$

$$167 \text{ W/m}^2$$

$$167 \text{ W/m}^2$$

Bilan
énergétique du
Soleil à la Terre

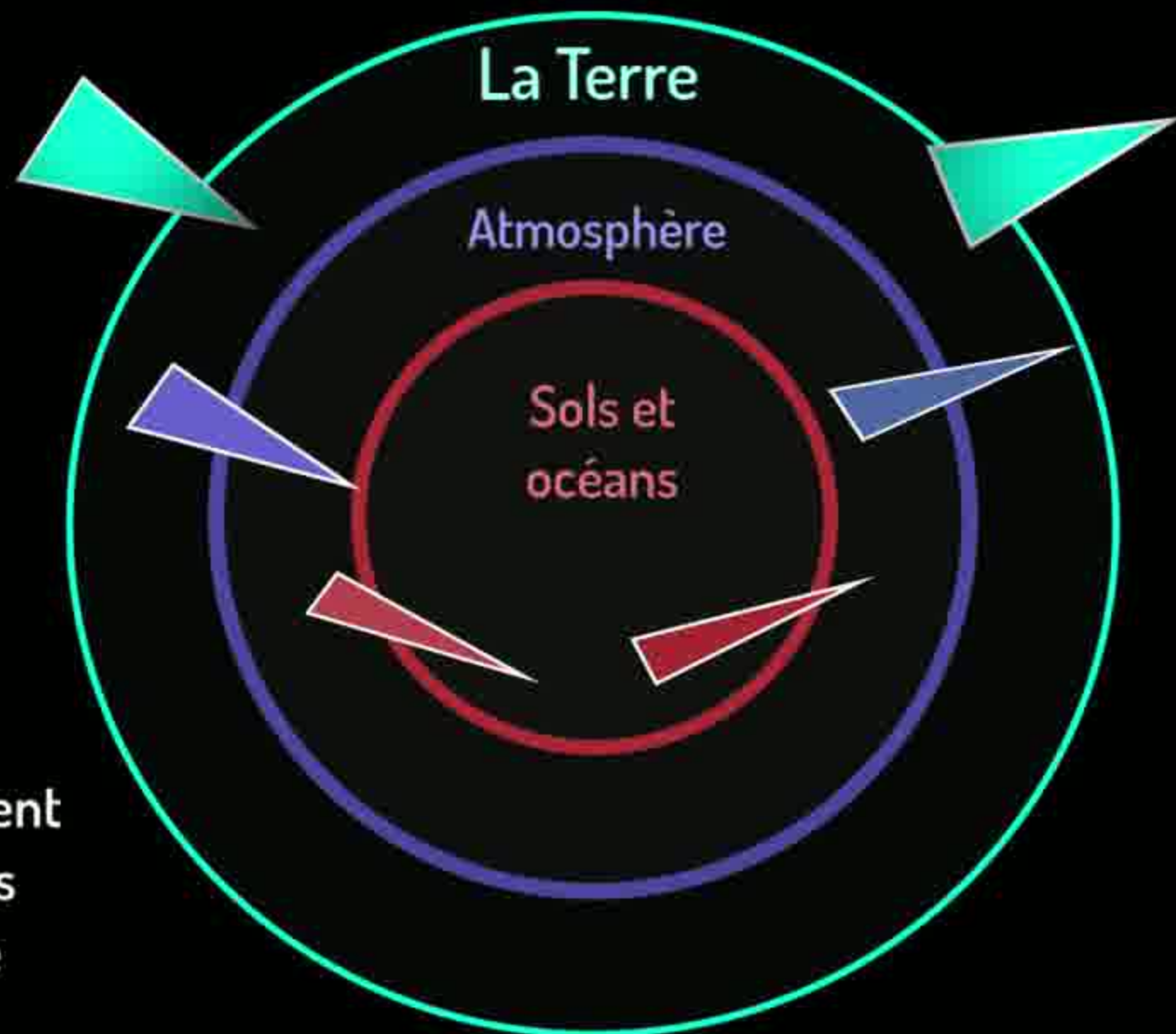


Soleil

Univers

Des
structures
dissipatives

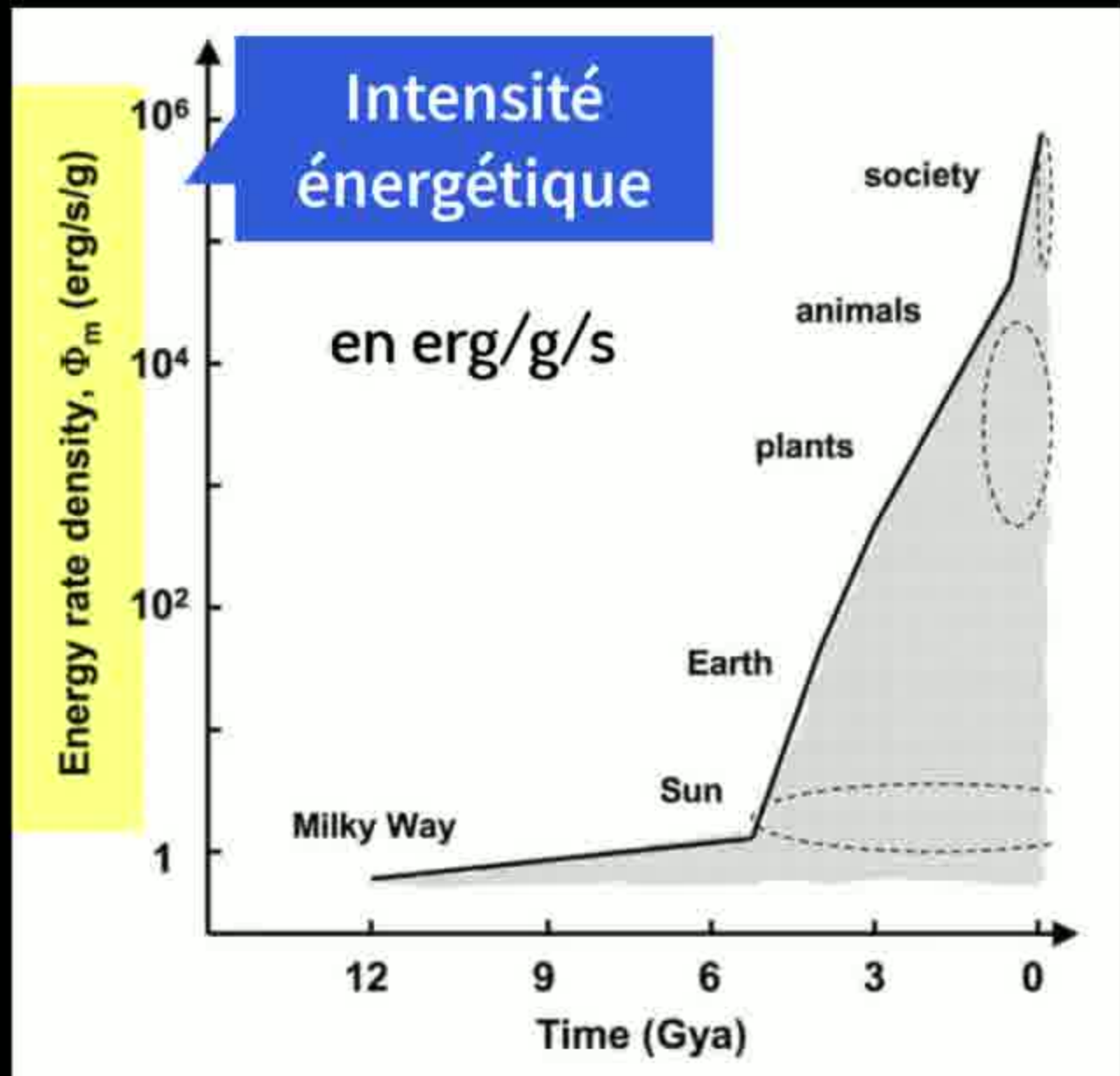
qui s'auto-organisent
pour évacuer ces
flux au plus vite



La complexité des structures dissipatives



Energy rate densities, Φ_m , for those representative systems listed in Table 1, plotted here semilogarithmically at the time of their origin, display a clear increase for a wide spectrum of objects observed in Nature. The shaded area includes a whole array of Φ_m values as systems evolve. The three dashed ovals from bottom to top outline parts of this graph that are further explored in greater detail for physical, biological, and cultural evolution in Figures 3, 4, and 5, respectively.



Masse de l'atmosphère

$$5 \times 10^{18} \text{ kg}$$

Masse des 30 premiers
mètres de l'océan

$$1 \times 10^{19} \text{ kg}$$

Puissance énergétique
de l'atmosphère

$$239 \text{ W/m}^2 \times 4\pi \times (6400 \times 10^3)^2$$

$$1.2 \times 10^{17} \text{ W}$$

Puissance
énergétique du sol et
de l'océan

$$167 \text{ W/m}^2 \times 4\pi \times (6400 \times 10^3)^2$$

$$0.7 \times 10^{17} \text{ W}$$

Intensité énergétique
de l'atmosphère

240 erg/g/s

$$\frac{1 \times 10^{17}}{5 \times 10^{18}} = 0.024 \text{ W kg}^{-1}$$

80 fois supérieur à celle du
Soleil

Intensité énergétique
du sol et de l'océan

70 erg/g/s

$$\frac{0.7 \times 10^{17}}{1 \times 10^{19}} = 0.007 \text{ W kg}^{-1}$$

30 fois supérieur à celle du
Soleil

Intensité énergétique
de l'atmosphère

240 erg/g/s

Intensité énergétique
du sol et de l'océan

70 erg/g/s

