

UE Sciences de la Terre :  
« Système Terre, Climat, Energies »  
L1 - PCST

**Alison Pereira**

[Alison.pereira@universite-paris-saclay.fr](mailto:Alison.pereira@universite-paris-saclay.fr)



# Introduction

## METHODOLOGIE : Approche pluridisciplinaire

Responsables de l'UE : **Alison PEREIRA**  
[Alison.pereira@universite-paris-saclay.fr](mailto:Alison.pereira@universite-paris-saclay.fr)

### « Climat, Energies »

10 CMs d'1h30

4 TPs de 2h

1 TP de 2h d'accompagnement

### **Modalités de contrôle des connaissances et compétences :**

Evaluation continue non intégrale = examen final + examen à mi-semester + TP

Le climat c'est quoi...

Météorologie ≠ Climatologie

## Introduction

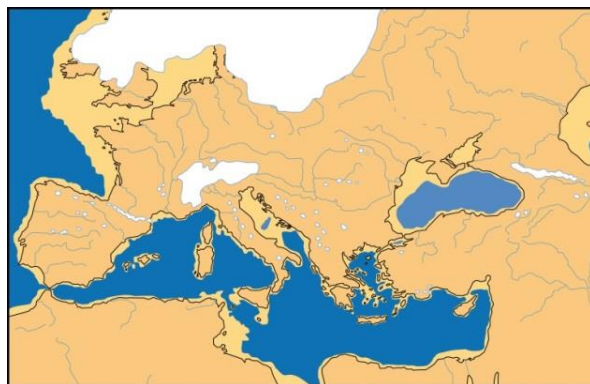
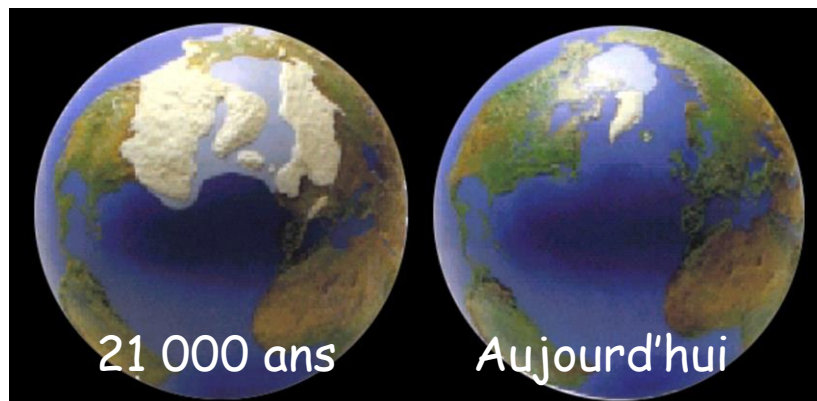
**Météorologie** : étude des phénomènes atmosphériques (température, de l'air et des précipitations) en différents points du Globe. Echelle de temps de quelques heures ou jours



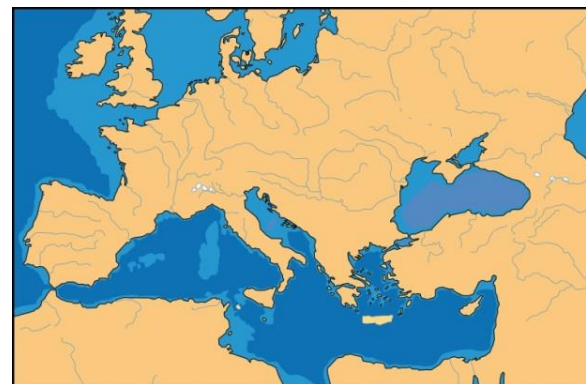
Introduction

Le climat c'est quoi...

**Climat** : successions des phénomènes météorologiques sur **une longue période de temps** (précipitations (eau et/ou neige); couverture de glace, vents, température) (*minimum 30 ans*)



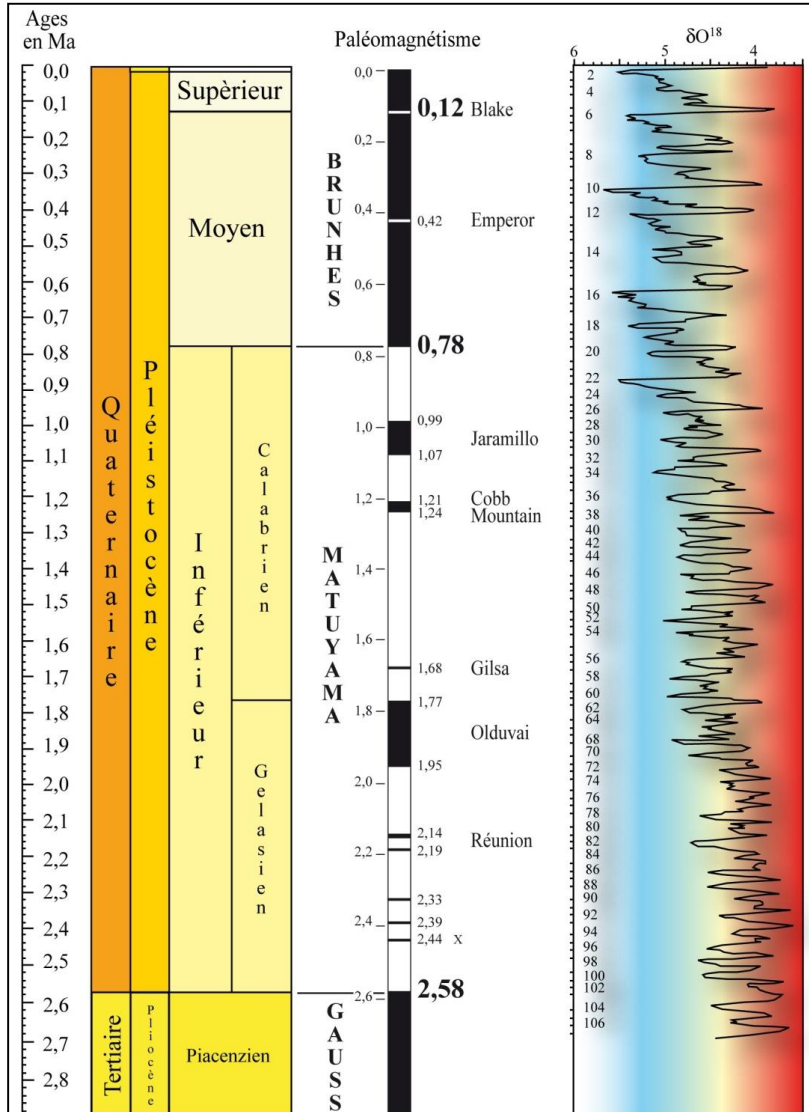
période glaciaire



période interglaciaire

Introduction

# Cyclicité des climats

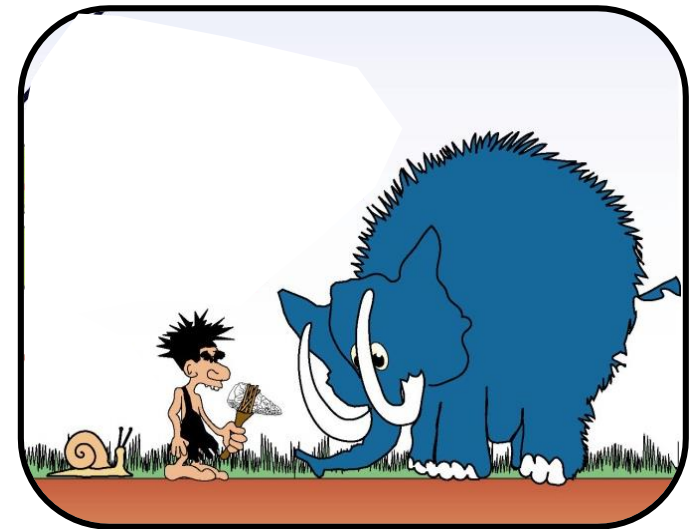


330 000 ans



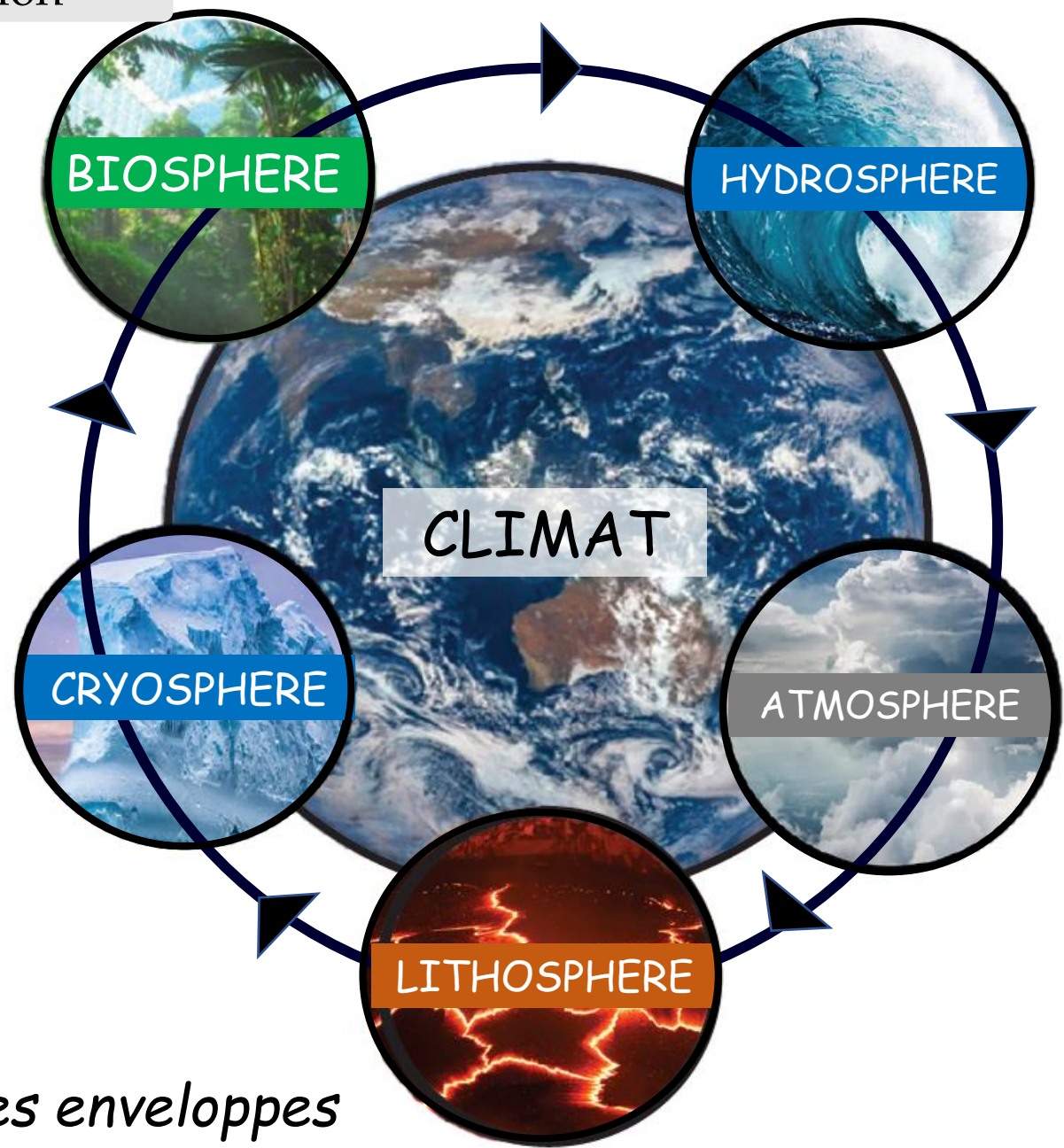
18 000 ans

Europe occidentale



Changements naturels quaternaires <sup>7</sup>

Introduction



*différentes enveloppes*

Introduction

# Causes naturelles des variations du climat

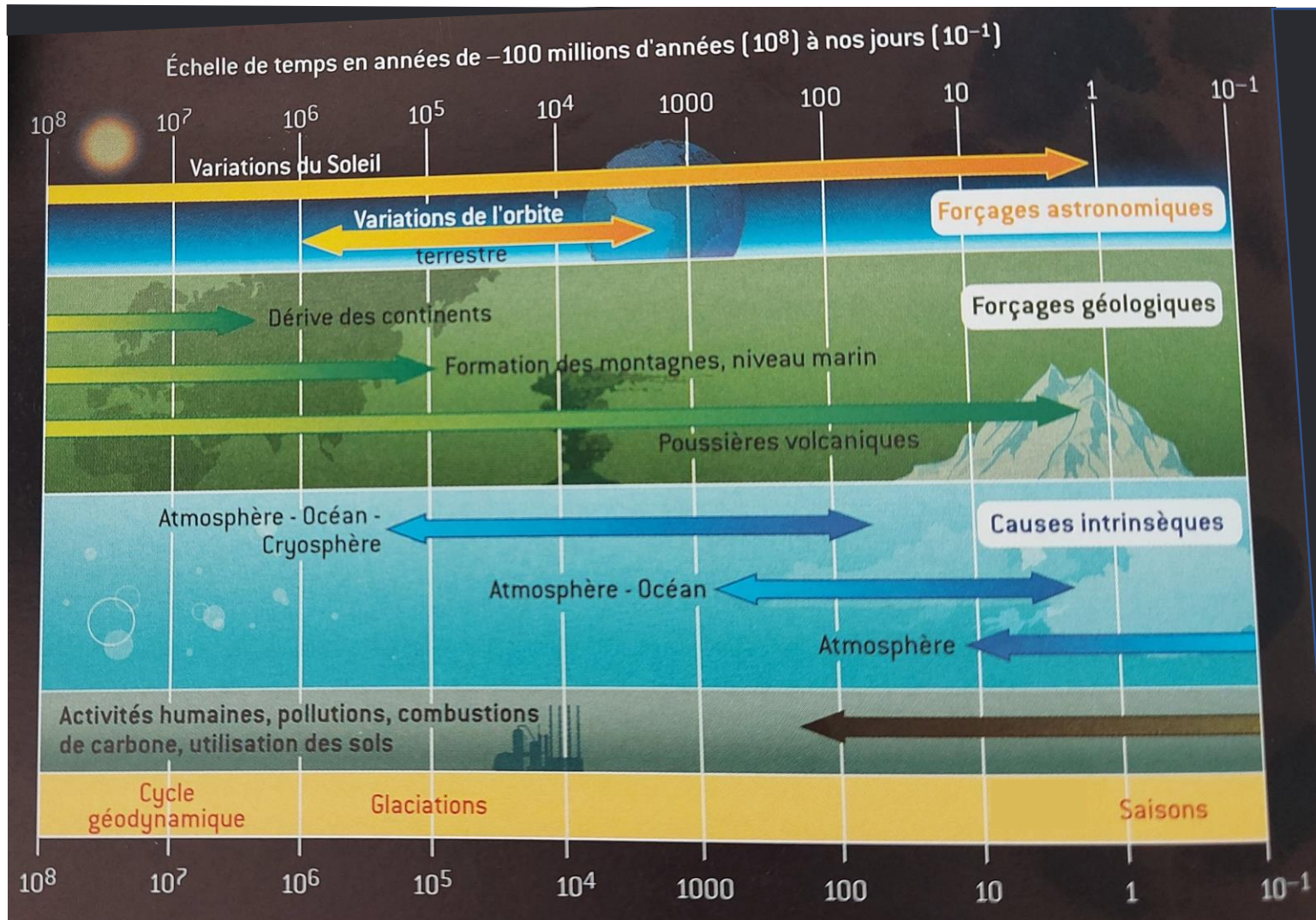


Image d'après « Atmosphère, Océan et Climat (R. Delmas et al.,) »

## Causes naturelles des variations du climat

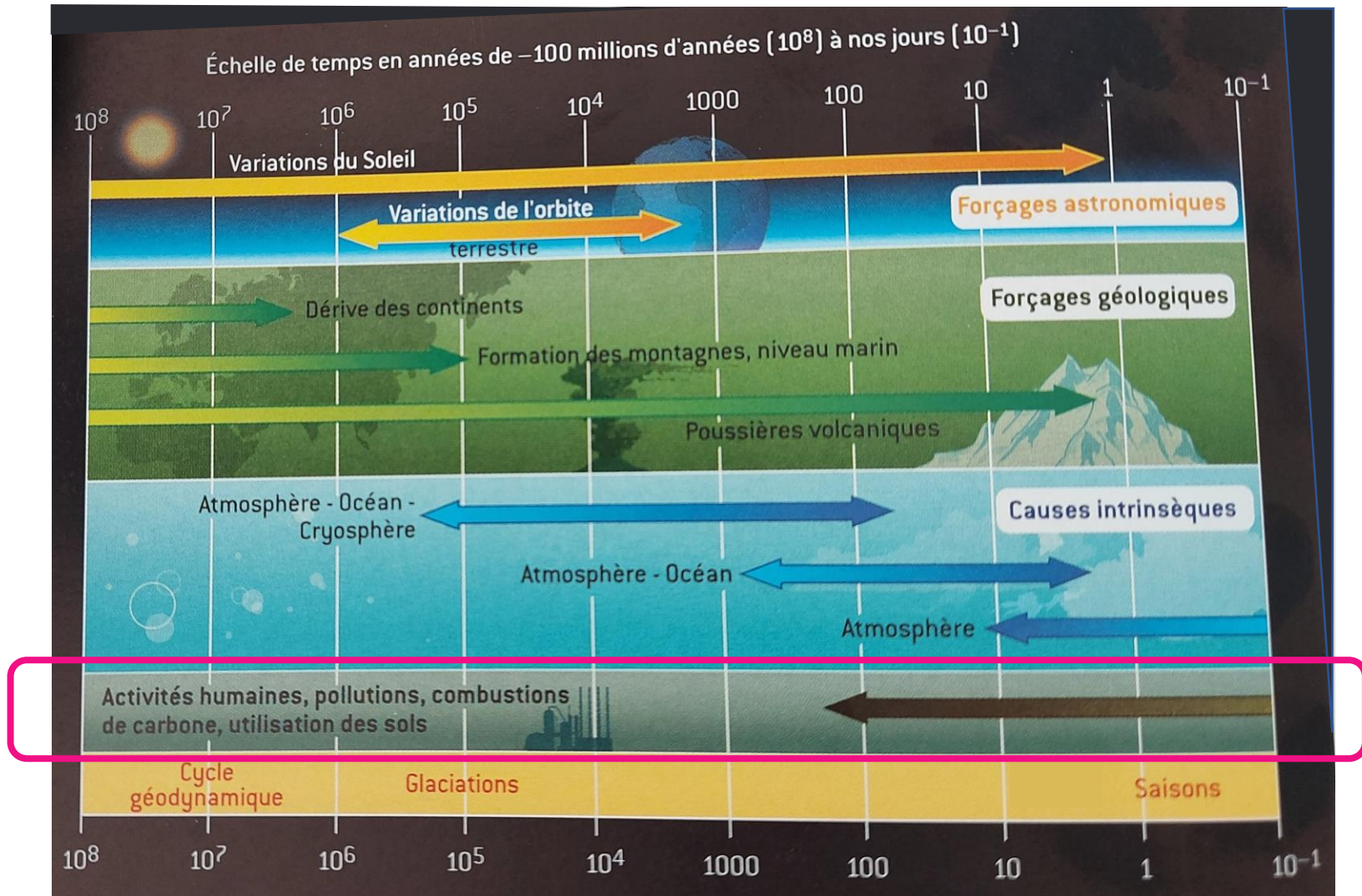
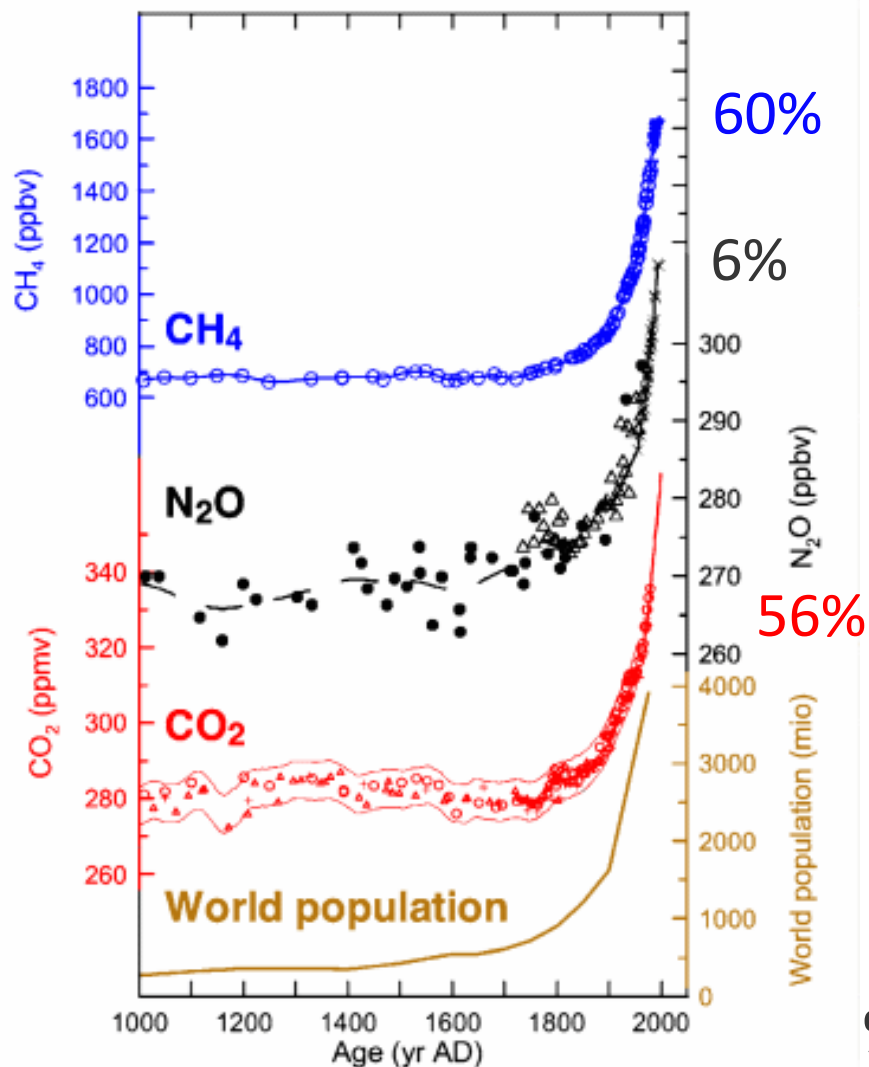


Image d'après « Atmosphère, Océan et Climat (R. Delmas et al.,) »

Introduction

Aujourd'hui l'Homme est moteur du climat



Variation des concentrations de gaz à effet de serre entre l'an 1000 et l'an 2000

% part anthropique

## Aujourd'hui l'Homme est moteur du climat

Variation du glacier du Rhône entre 1900 et 2005

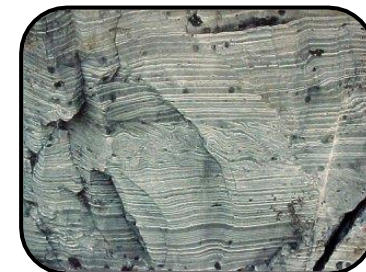
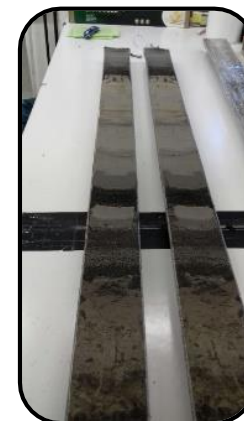
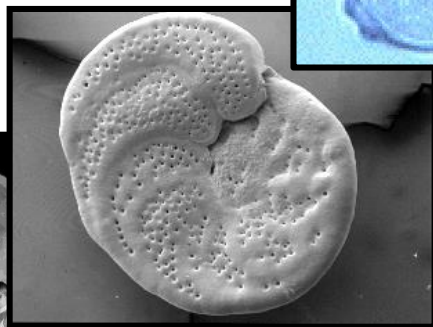


- Diminution de 1415 m de « longueur de glace » entre 1879 et 2017.
- Mise en place de bâches blanches en 2020.
- Disparition à 90 % d'ici 2100

Introduction

Climatologues :

Analyse de l'ensemble des enveloppes **fluides** et **solides** de la Terre pour comprendre les variations du climat.



*Archives climatiques*

Introduction

**Climatologues :**

Analyse de l'ensemble des enveloppes **fluides** et **solides** de la Terre pour comprendre les variations du climat.



Pour comprendre et **modéliser** les changements climatiques actuels et futurs on s'intéresse aux archives paléoclimatiques. **PALEOCLIMATOLOGIE**



*Archives climatiques*

## PARTIE 2 "Climat, Energies"

Chapitre 1 - Le système climatique actuel (CM1 à 4 + TP1)

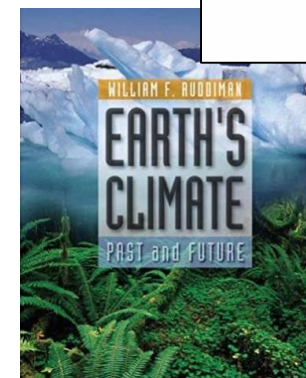
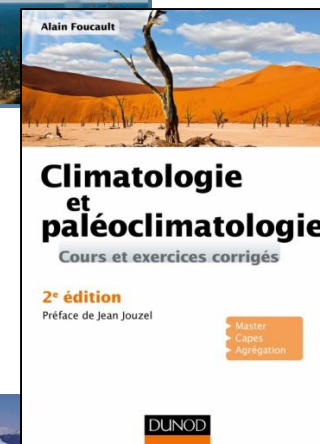
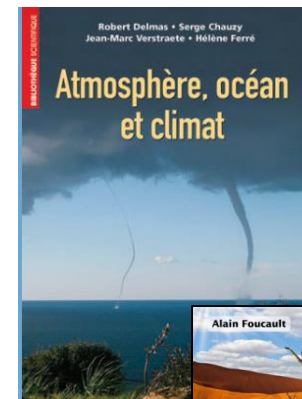
Chapitre 2 - Les climats du passé (CM5 à 7 + TP2)

Chapitre 3 - Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (CM8 + TP3)

Chapitre 4 - Les énergies nouvelles (CM9 et 10 + TP4)  
+ 1 TP d'accompagnement

## Ouvrages de référence

- 1 « **Atmosphère, océan et climat** »  
R. Delmas, S. Chauzy, J.M. Verstraete et H. Ferré - Editions Belin
- 2 « **Climatologie et Paléoclimatologie** »  
A. Foucault, - Editions Dunod
- 3 « **Earth's Climate Past and Future** »  
W.F. Ruddiman, - Editions W.H. Freeman and Company



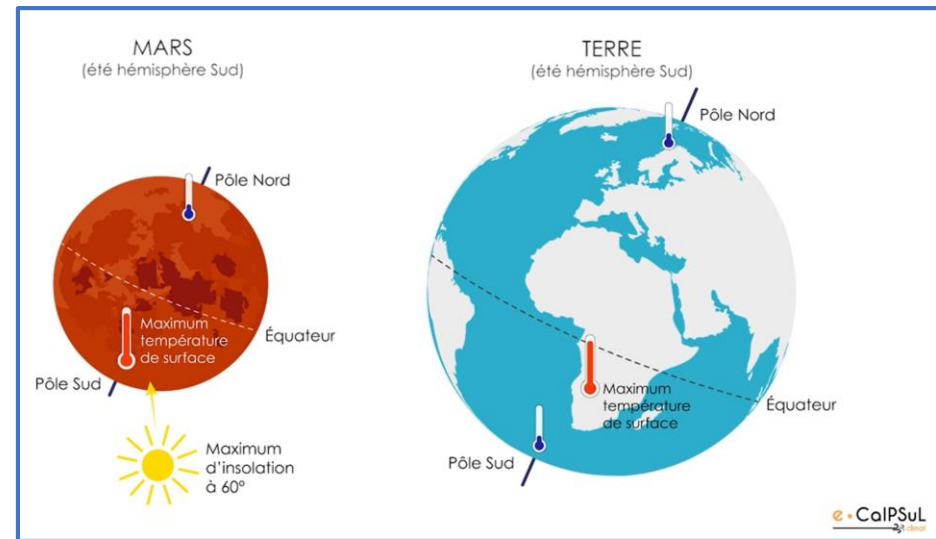
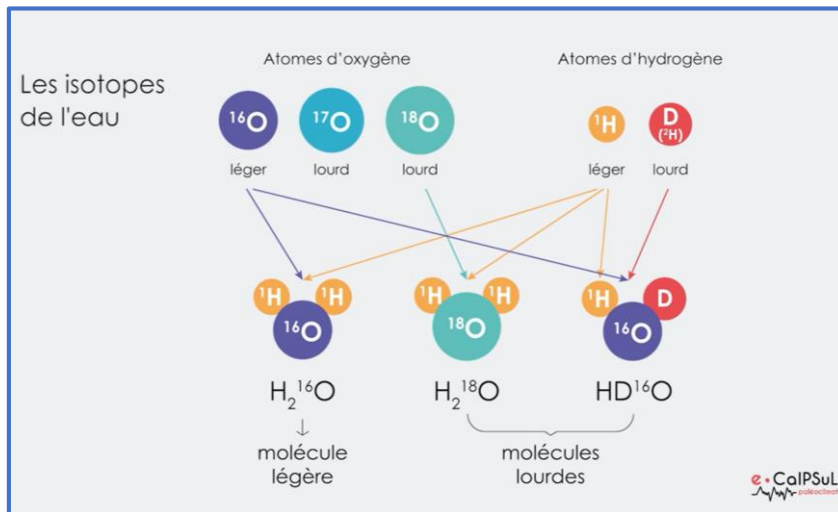
# Pensez aux capsules IPSL !



Institut  
*Pierre  
Simon  
Laplace*



[https://www.canal-u.tv/producteurs/ipsl/videos\\_courtes\\_spoc\\_niveau\\_licence](https://www.canal-u.tv/producteurs/ipsl/videos_courtes_spoc_niveau_licence)





# CM1 – Energie solaire et Bilan radiatif

# Plan

Introduction

I/ L'énergie solaire

II/ La composition atmosphérique

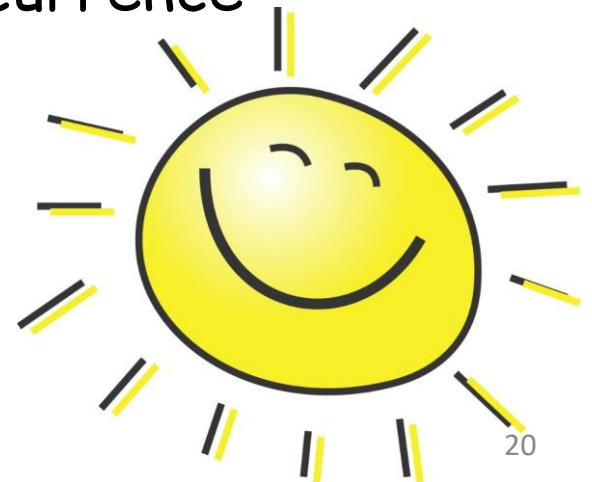
III/ Le bilan radiatif

# CLIMAT

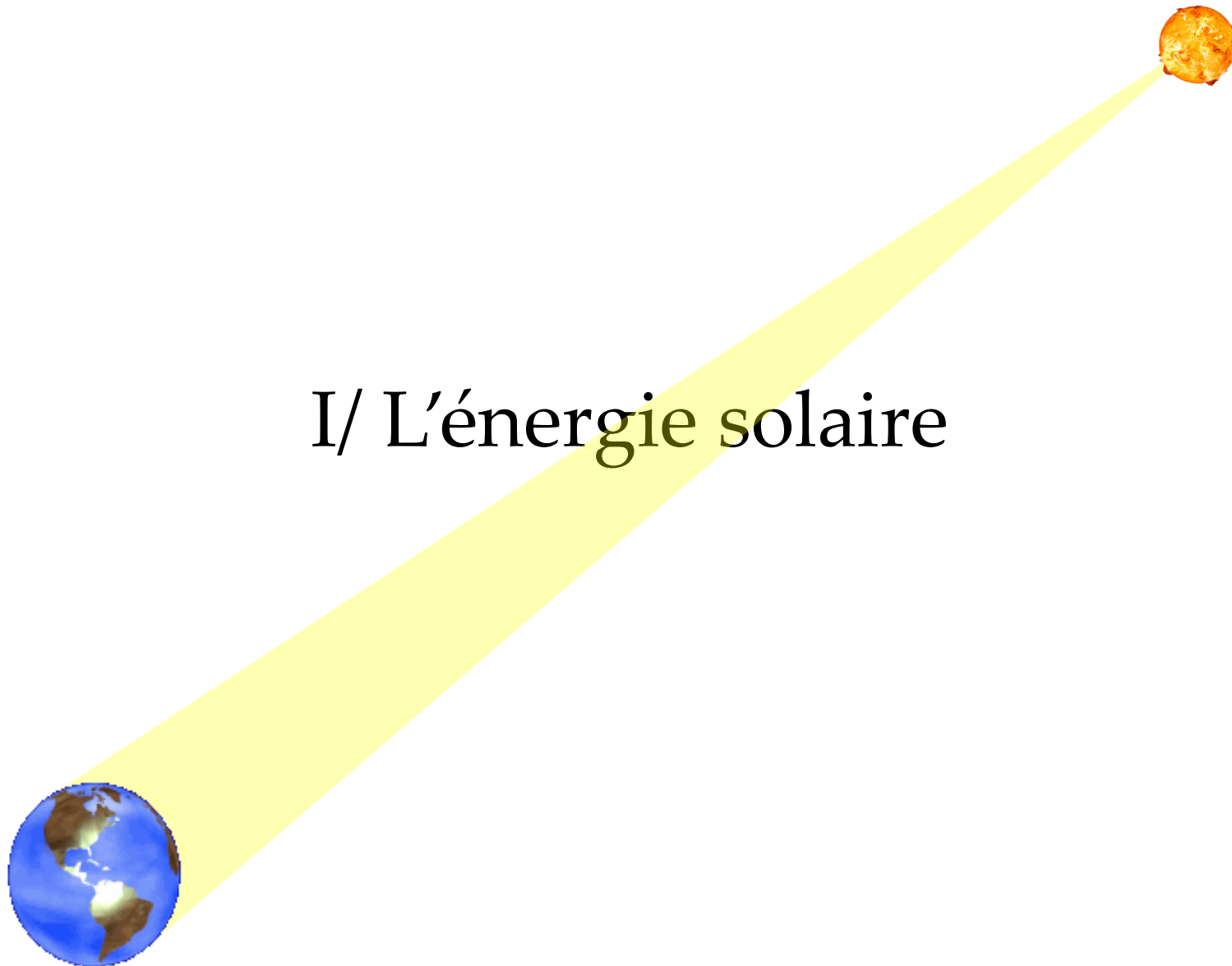
Vient du grec « klima » qui signifie inclinaison



Des rayons du SOLEIL en l'occurrence



I/ Le Bilan radiatif



I/ L'énergie solaire

## I/ L'énergie solaire

### Rayonnement solaire non uniforme

Polaire

Tempérée

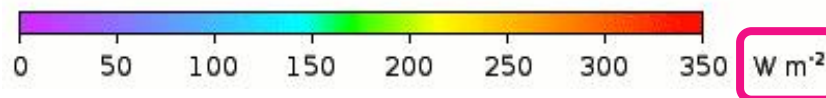
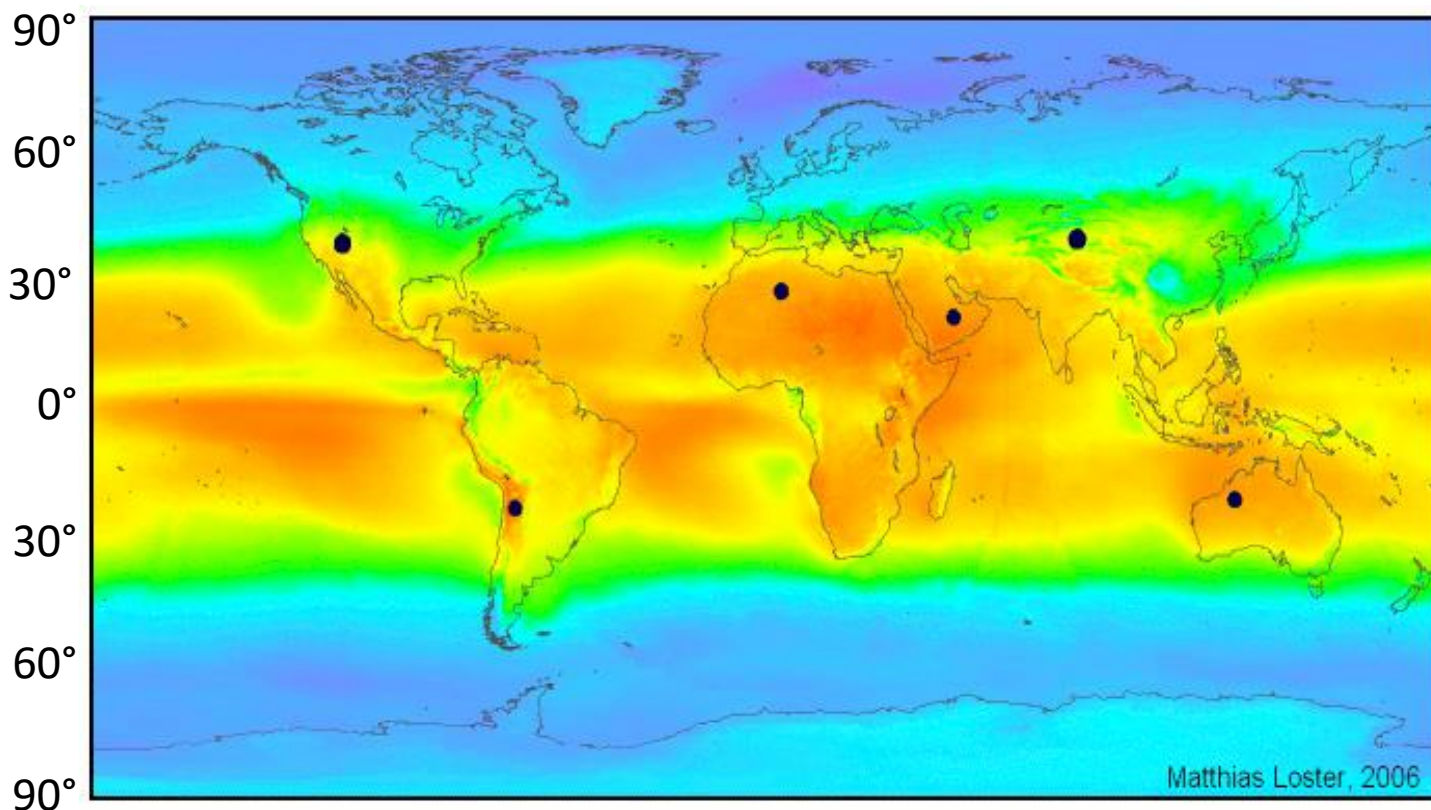
Tropicale

Equatoriale

Tropicale

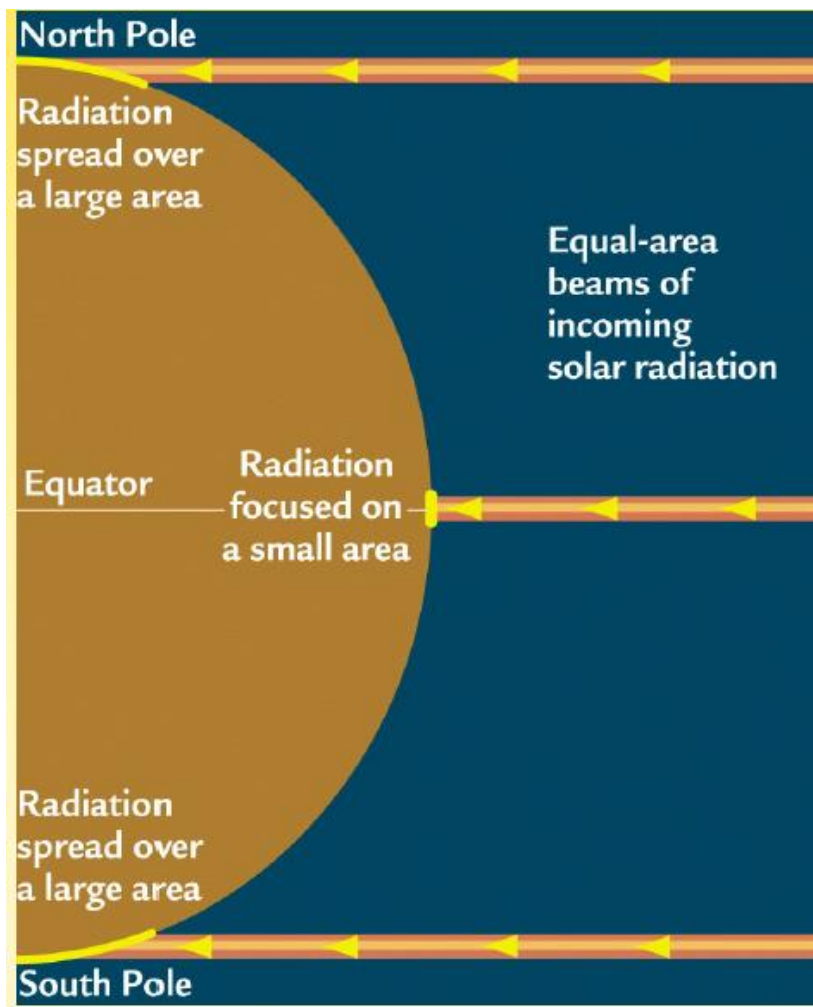
Tempérée

Polaire

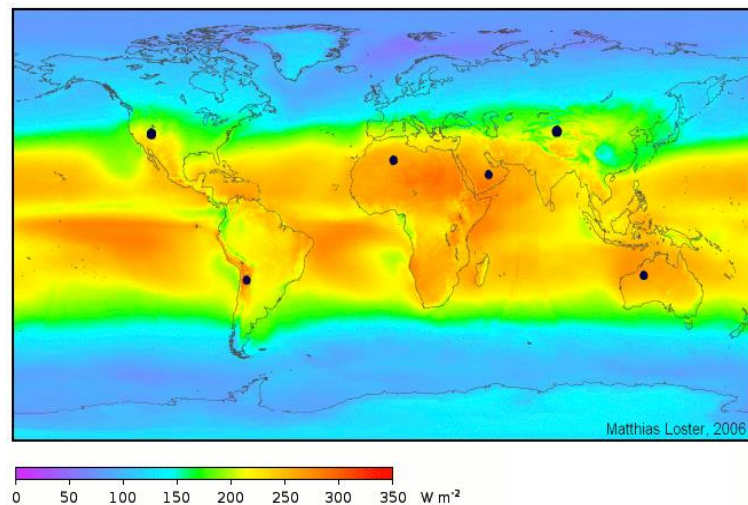


Création de **Zones Climatiques**

## I/ L'énergie solaire



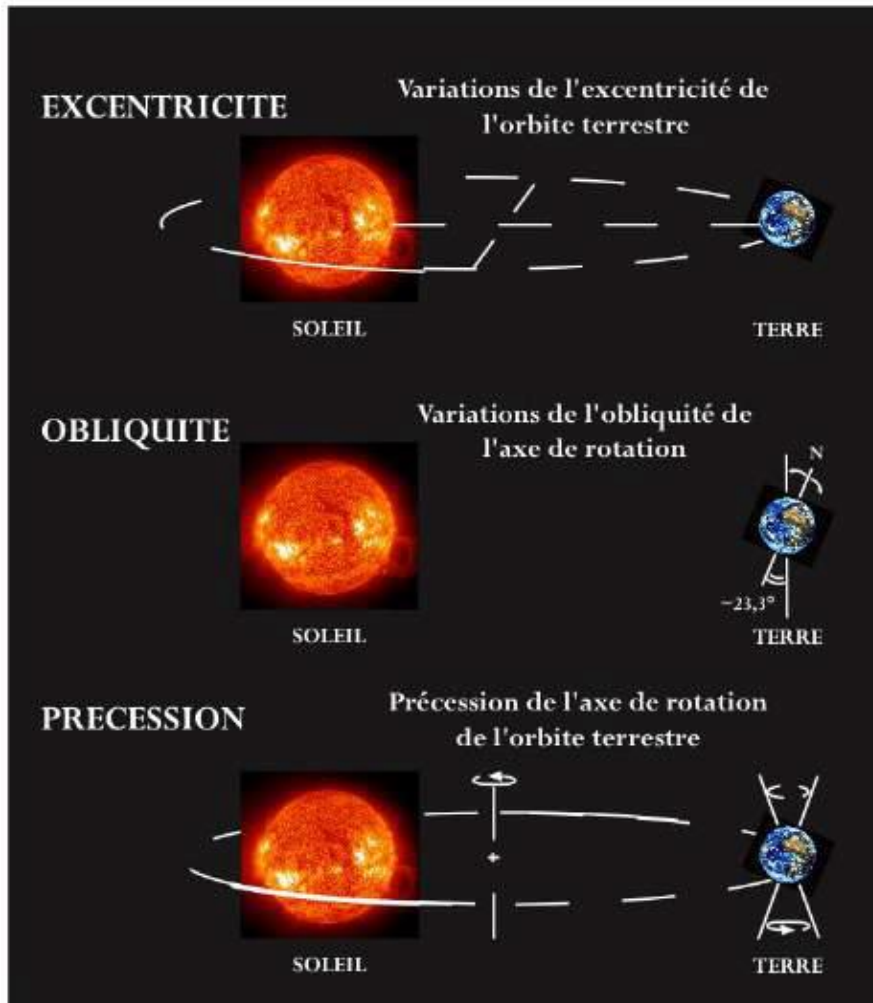
La Terre est une sphere ( **ROTONDITE** )



Energie solaire d'1 m<sup>2</sup> dépend de l'angle entre la surface et le rayonnement

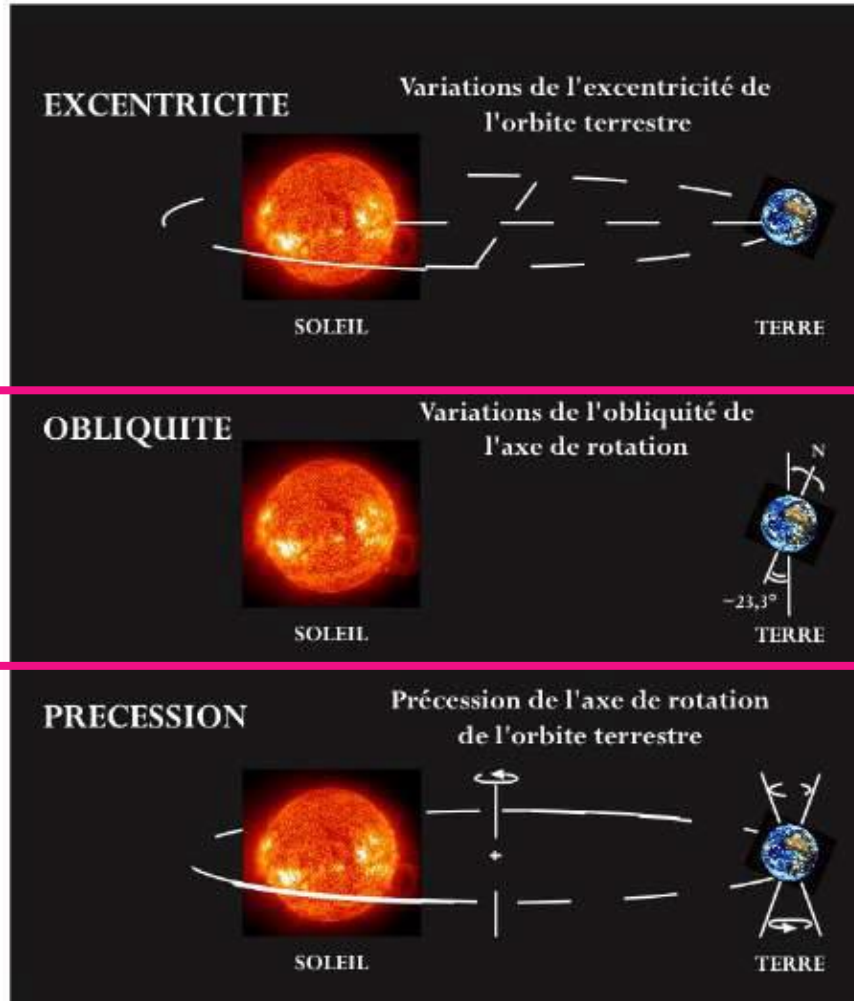
# I/ L'énergie solaire

## Les cycles de Milankovitch



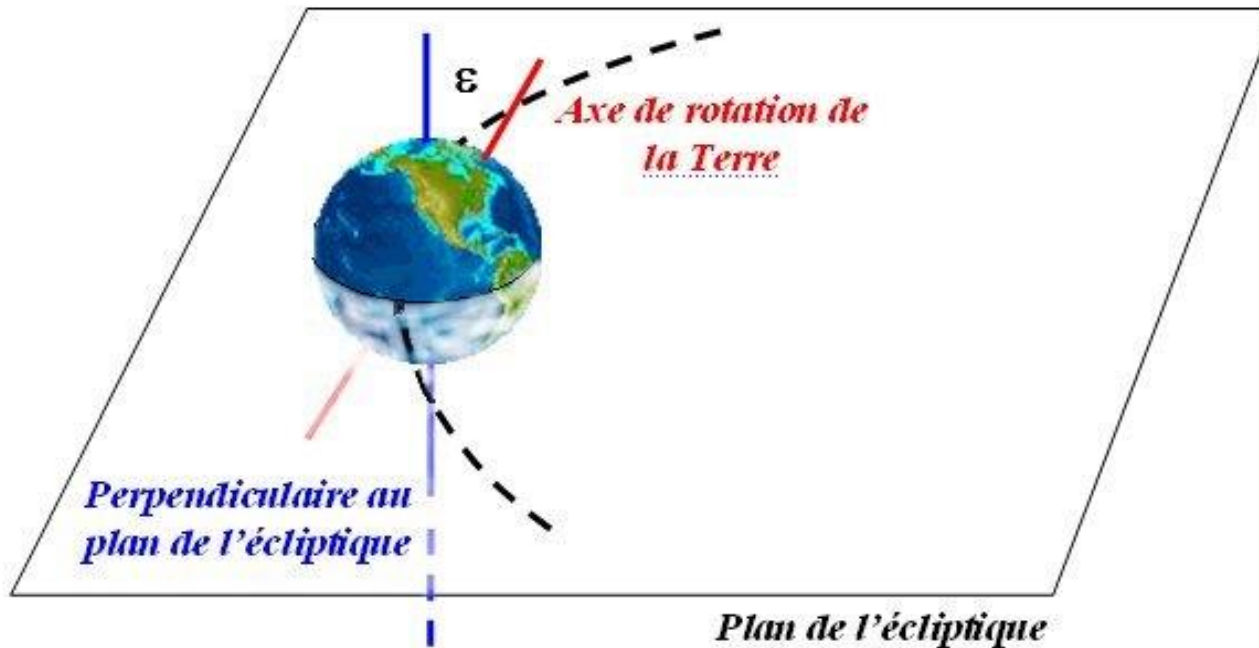
# I/ L'énergie solaire

## Les cycles de Milankovitch



## I/ L'énergie solaire

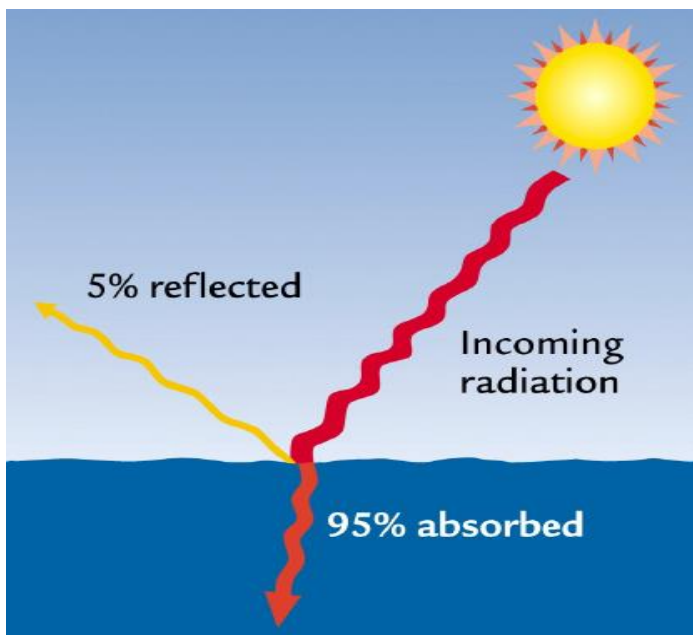
### Importance du paramètre d'Obliquité



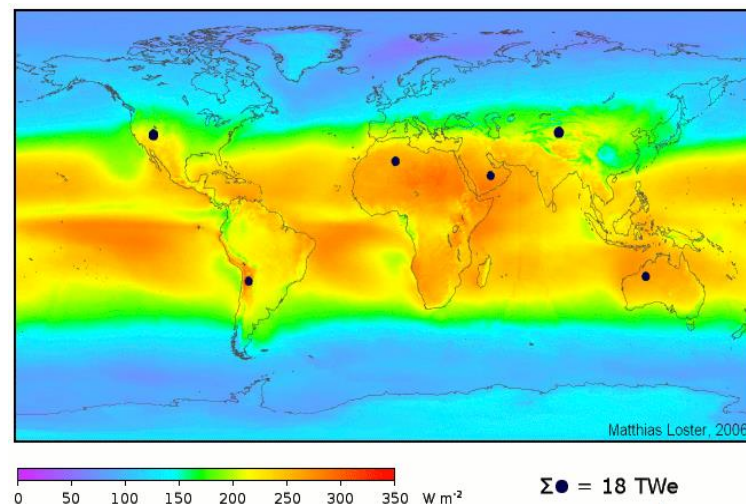
Inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'écliptique.

# I/ L'énergie solaire

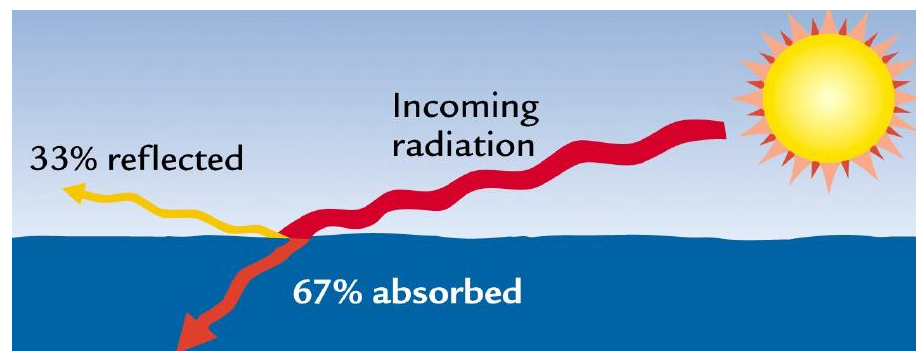
## La Terre est une sphère



### Basse Latitudes



Energie solaire d'1 m<sup>2</sup> dépend de l'angle entre la surface et le rayonnement



### Hautes Latitudes

## Introduction

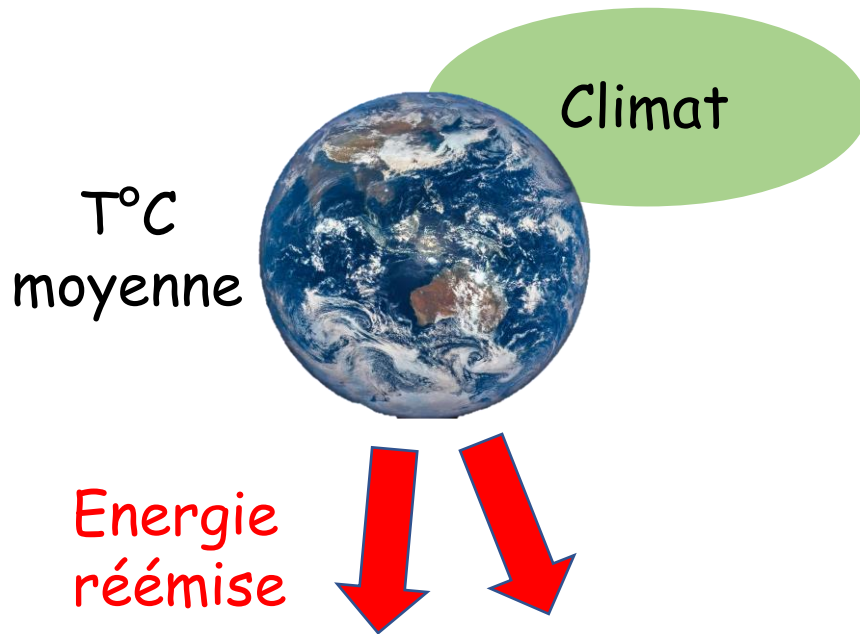
La **Température globale** d'une planète est fonction de **l'énergie qu'elle reçoit** et de **l'énergie qu'elle émet**

### Facteurs à prendre en compte

- 1 Les facteurs astronomiques
- 2 L'atmosphère
- 3 L'hydrosphère/cryosphère
- 4 La biosphère
- 4 La lithosphère

## I/ L'énergie solaire

la Terre intercepte **deux milliardièmes** du rayonnement solaire total

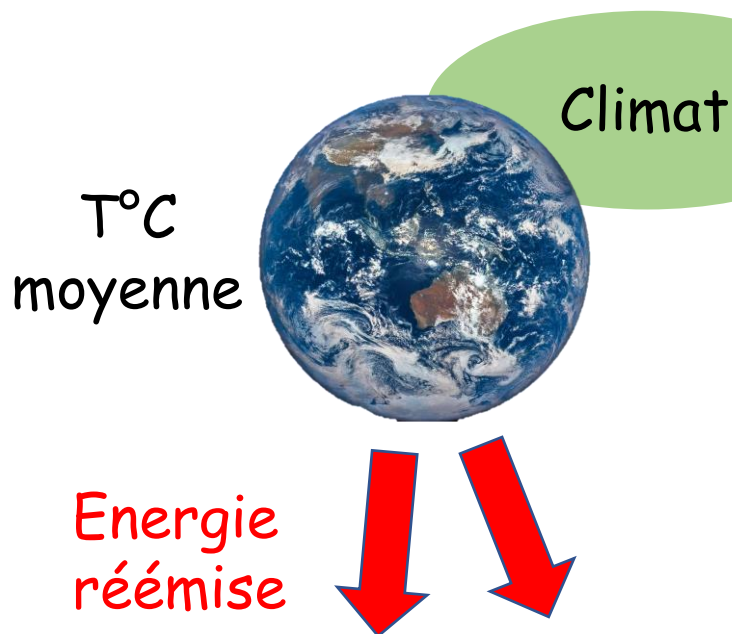


Energie solaire  
(**99.7 %** de l'énergie entrante sur Terre !)

+ énergie géothermique  
(environ  $0.05W/m^2$ )

## I/ L'énergie solaire

la Terre intercepte **deux milliardièmes** du rayonnement solaire total


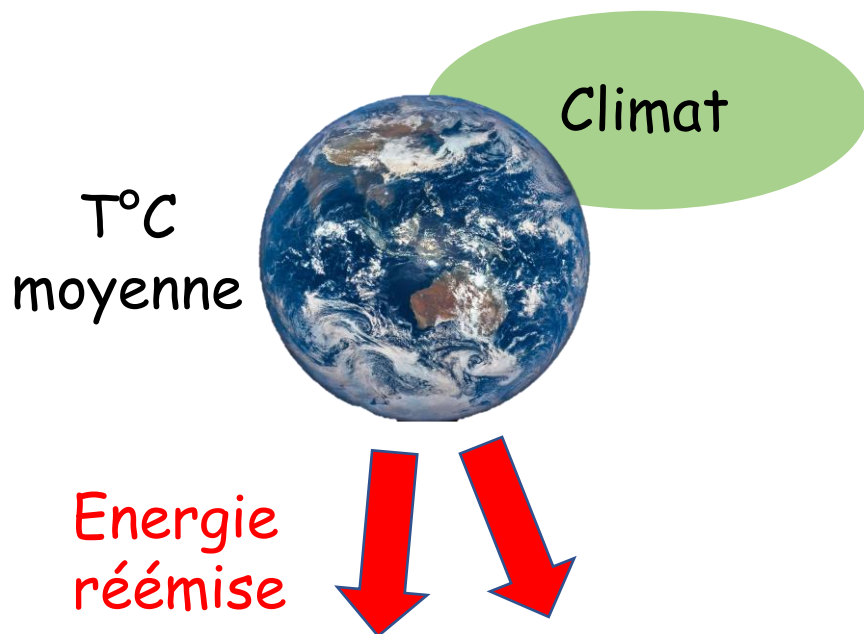


Energie solaire  
(**99.7 %** de l'énergie entrante sur Terre !)

**Bilan radiatif** : bilan quantifiant l'énergie reçue et perdue par le système climatique terrestre. Lorsque le bilan est nul, la température moyenne de notre planète reste stable.

## I/ L'énergie solaire

la Terre intercepte **deux milliardièmes** du rayonnement solaire total

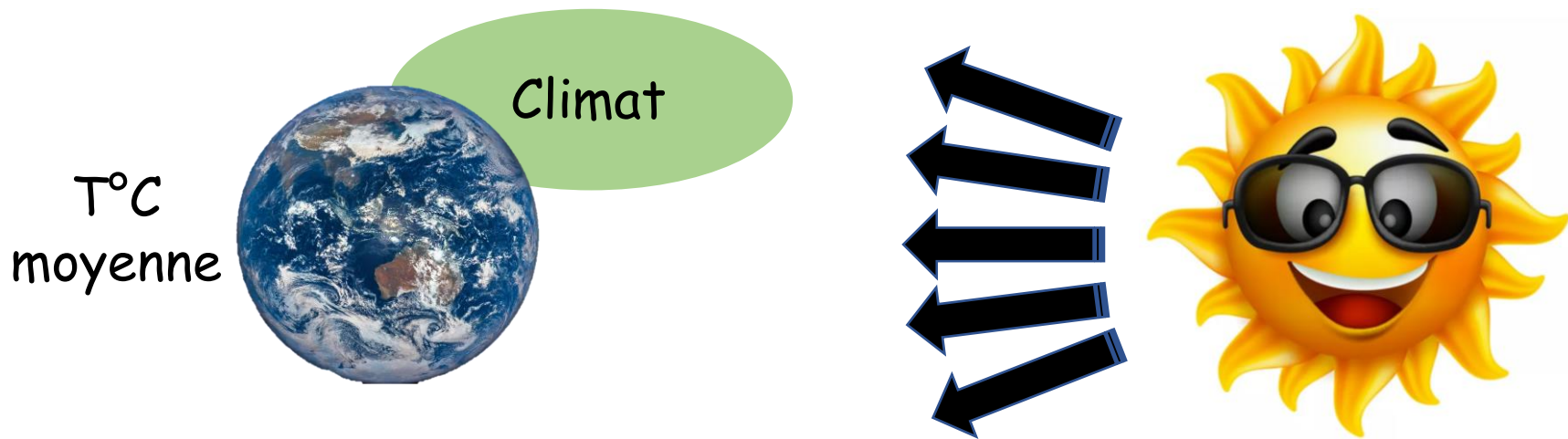


Pourquoi la Terre réémet/perd de l'énergie?

sur Terre !)

**Bilan radiatif** : bilan quantifiant l'énergie reçue et perdue par le système climatique terrestre. Lorsque le bilan est nul, la température moyenne de notre planète reste stable.

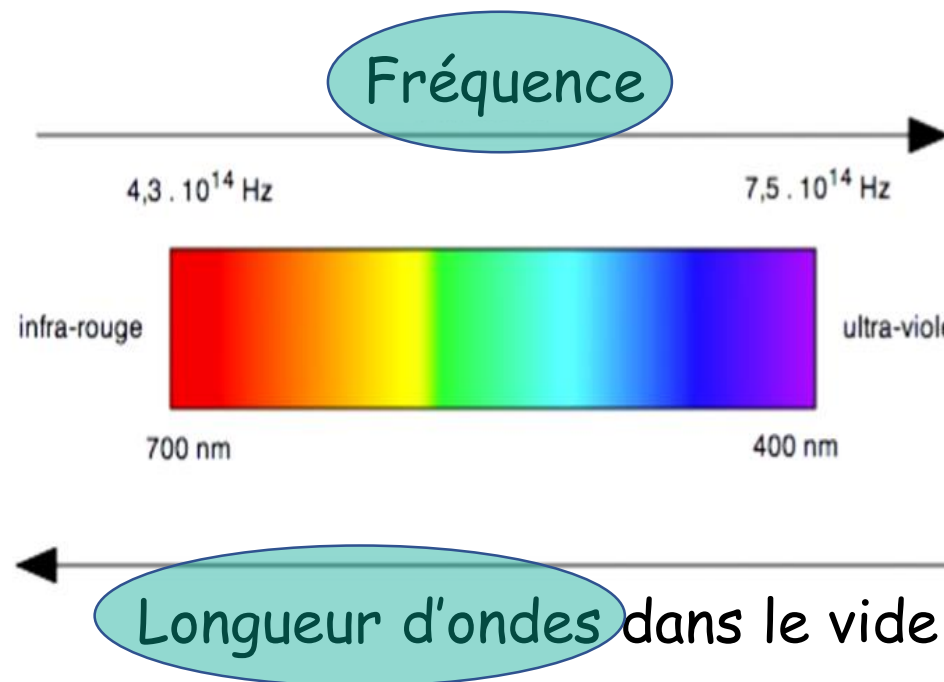
## I/ L'énergie solaire



Généralité: Tout corps avec une **température** supérieure au zéro absolu (environ  $-273^{\circ}\text{C}$ ) émet un **rayonnement électromagnétique** qui transporte de **l'énergie**.

# I/ L'énergie solaire

Ondes électromagnétiques



Températures basses

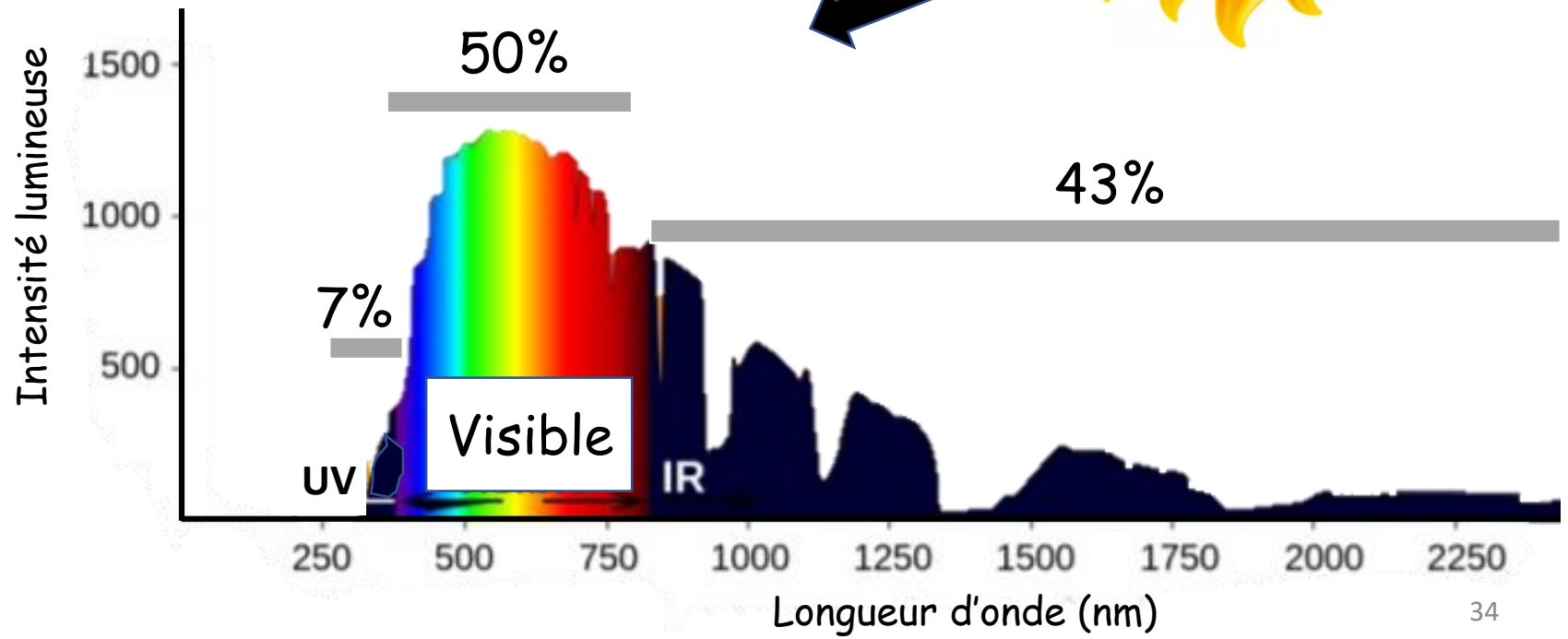


Températures élevées

# I/ L'énergie solaire

Température moyenne **6000°K**

Rayonnement solaire terrestre

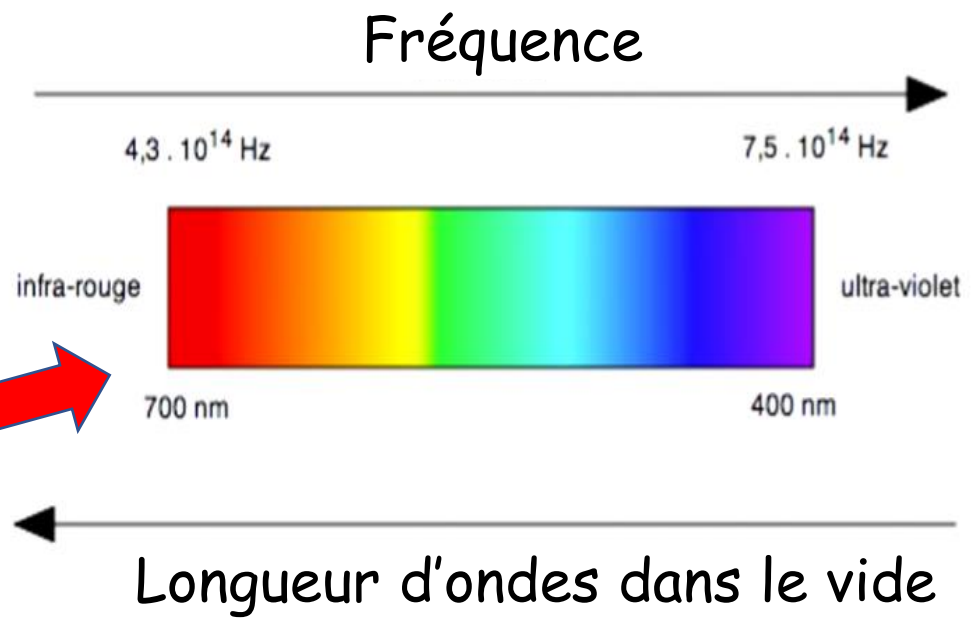


# I/ L'énergie solaire

Température moyenne  
**15°C (288°K)**

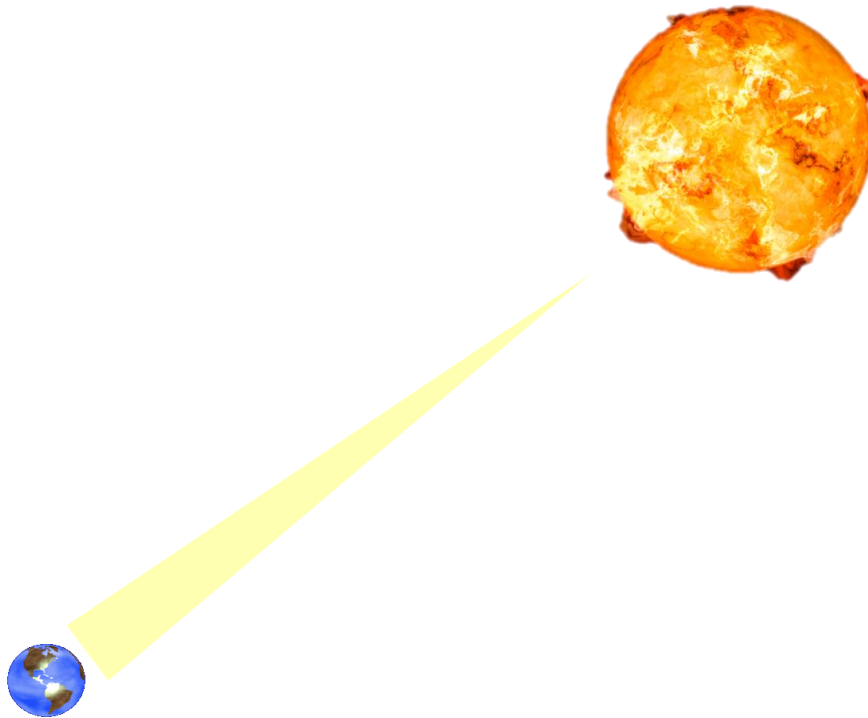


**Infra Rouge**  
(moyenne 15 μm)



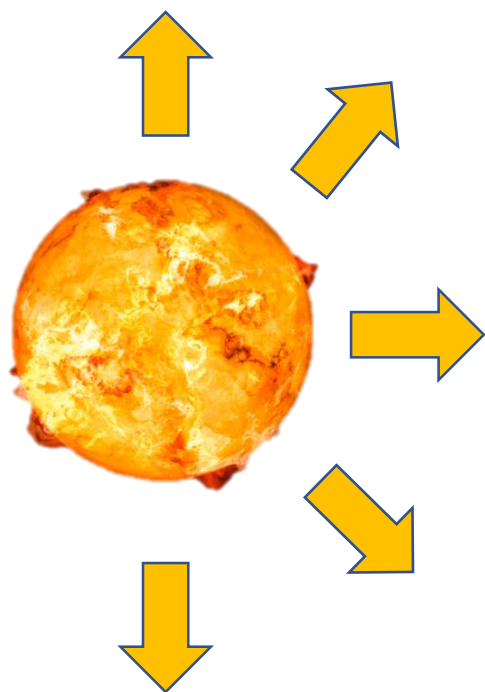
## I/ L'énergie solaire

Objectif: Quantifier l'énergie  
solaire reçue sur Terre



## I/ L'énergie solaire

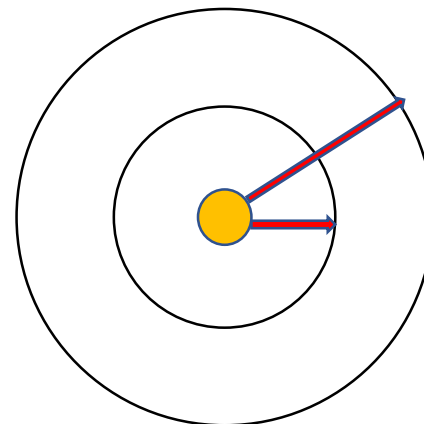
### ENERGIE SOLAIRE



Rayonnement solaire **uniforme**  
dans toutes les directions

**Puissance solaire** émise (énergie émise dans  
toutes les directions de l'espace par le  
Soleil - VALEUR CONSTANTE)  
=  $3.84 \times 10^{26}$  W (J/s)

 Atténuation de l'énergie  
reçue par un objet avec la  
**distance** au Soleil



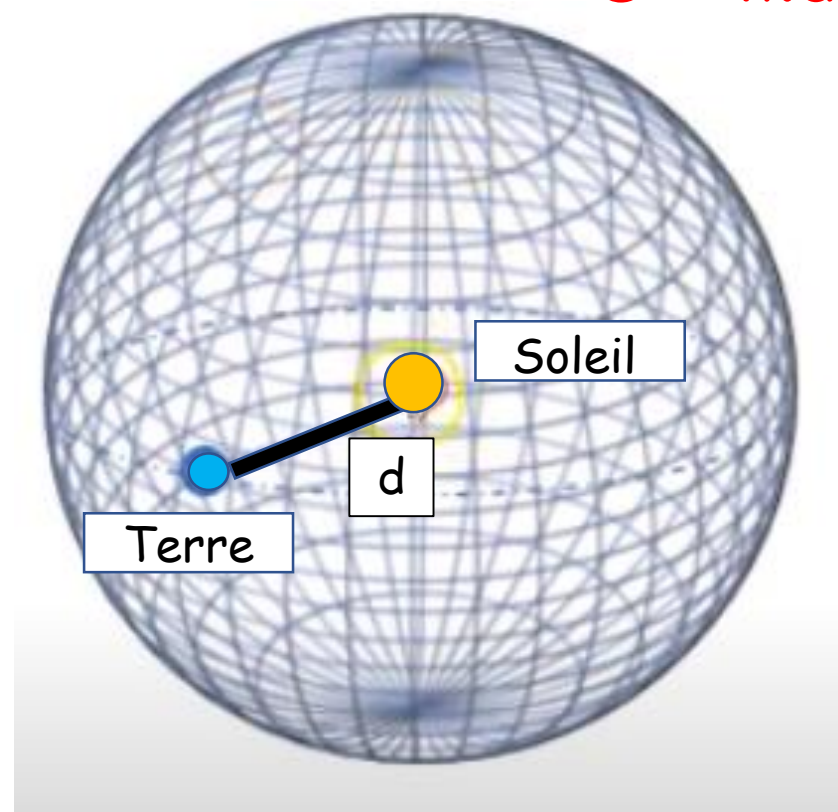
## I/ L'énergie solaire

### ENERGIE REÇUE POUR UN METRE A LA DISTANCE T-S

Sphère fictive de la puissance totale du Soleil à la distance Terre-Soleil

Surface sphère  
 $S = 4\pi d^2$

$$S = 4\pi d^2 = 2.81 \times 10^{23} \text{m}^2$$



$d =$  distance Terre/Soleil ( $150 \times 10^9 \text{m}$ )

I/ L'énergie solaire

ENERGIE REÇUE POUR UN METRE A LA DISTANCE T-S

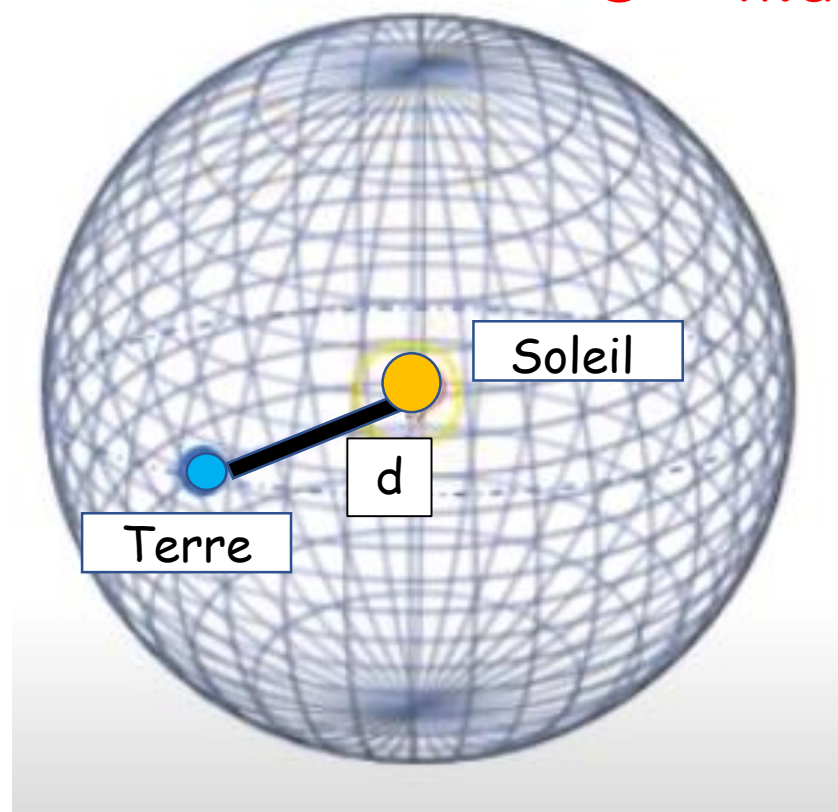
Sphère fictive de la puissance totale du Soleil à la distance Terre-Soleil

Surface sphère  
 $S = 4\pi d^2$

$$S = 4\pi d^2 = 2.81 \times 10^{23} \text{m}^2$$

Puissance reçue à la distance T-S  
 $= 3.84 \times 10^{26} / 2.81 \times 10^{23} \text{m}^2$   
 $\sim 1365 \text{ W/m}^2$

(Constante solaire)



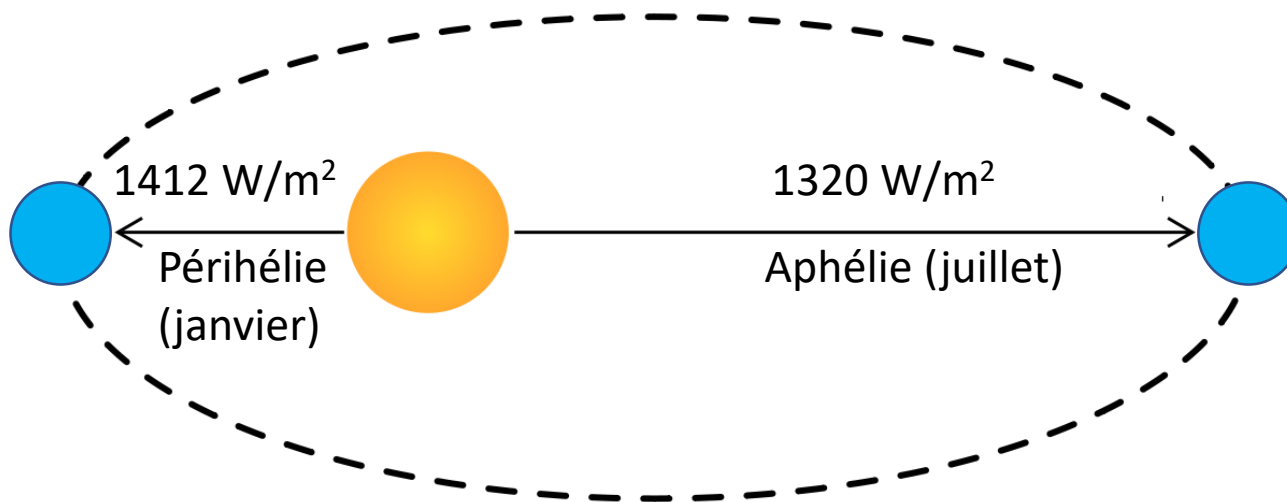
$d =$  distance Terre/Soleil (=1UA) ( $150 \times 10^9 \text{m}$ )

## I/ L'énergie solaire

### ENERGIE REÇUE POUR UN METRE A LA DISTANCE T-S

#### Constante solaire :

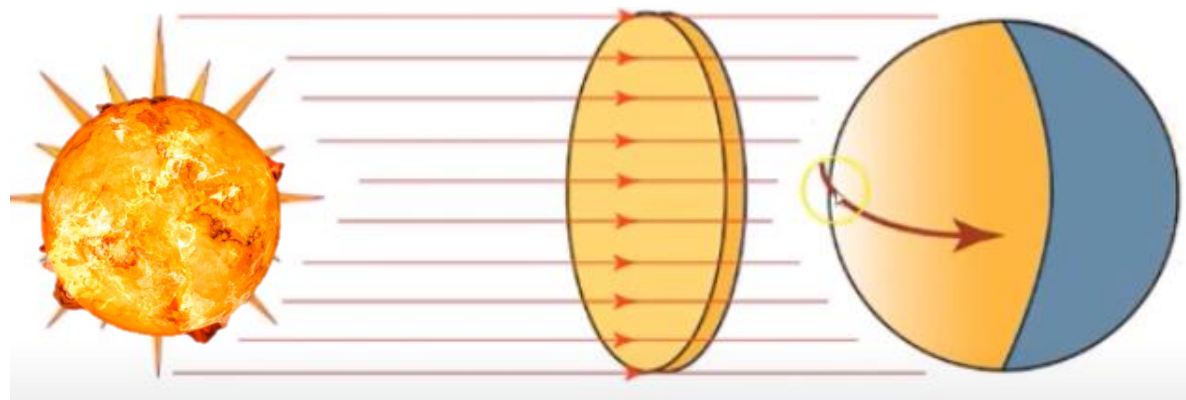
flux solaire reçu sur une surface d' $1\text{m}^2$  située à 1 Unité Astronomique (UA) du Soleil et exposée perpendiculaire aux rayons.  
 $\sim 1365 \text{ W/m}^2$



## I/ L'énergie solaire

# PUISSANCE SOLAIRE REÇUE PAR LA TERRE

Disque plat immobile  
(surface =  $\pi r^2$ )



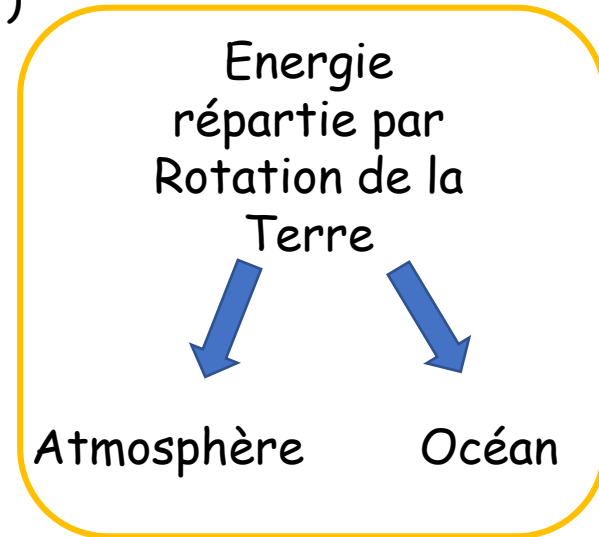
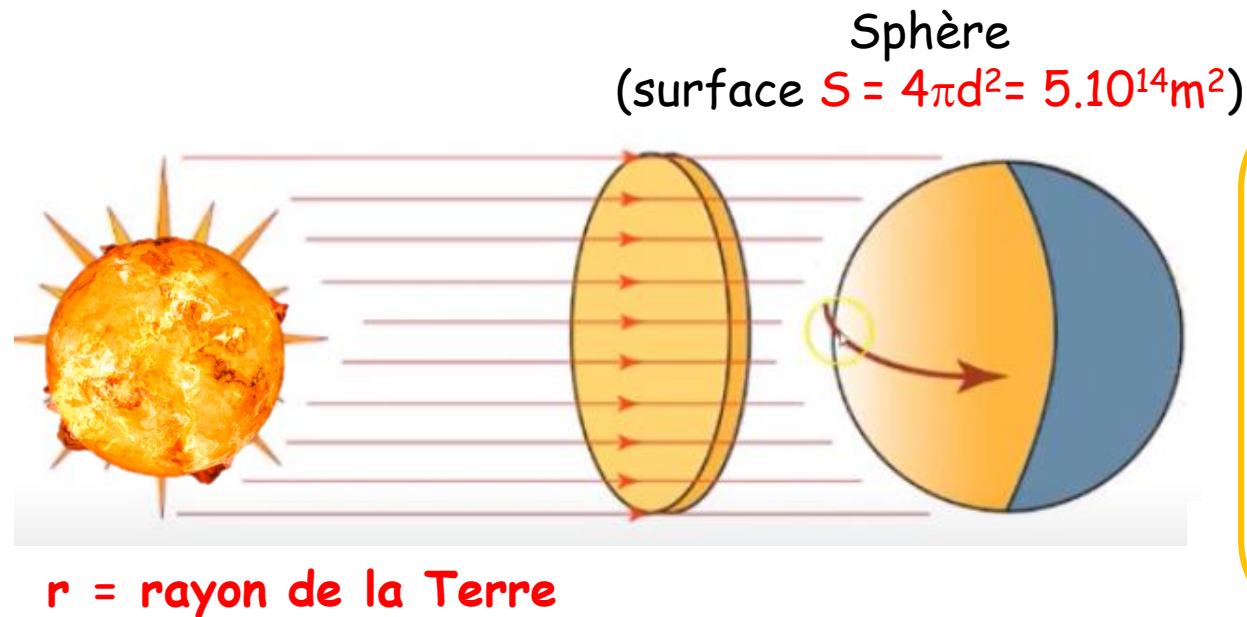
Surface disque  
 $S = \pi \times (6370 \cdot 10^3)^2$   
 $S = 1.27 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$

$r$  = rayon de la Terre (6370 km)

Puissance reçue sur Terre = Constante solaire  $\times$  surface disque  
 $= 1365 \times 1.27 \cdot 10^{14} = 1.74 \cdot 10^{17} \text{ W}$

## I/ L'énergie solaire

### PUISSANCE SOLAIRE REÇUE PAR LA TERRE/m<sup>2</sup>



$$\begin{aligned} \underline{\text{Puissance reçue sur Terre/m}^2} &= \text{Puissance reçue sur Terre/surface} \\ &\quad \text{Terre} \\ &= 1.74.10^{17} / 5.10^{14} = 342 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

I/ L'énergie solaire

PUISSANCE SOLAIRE REÇUE PAR LA TERRE/m<sup>2</sup>

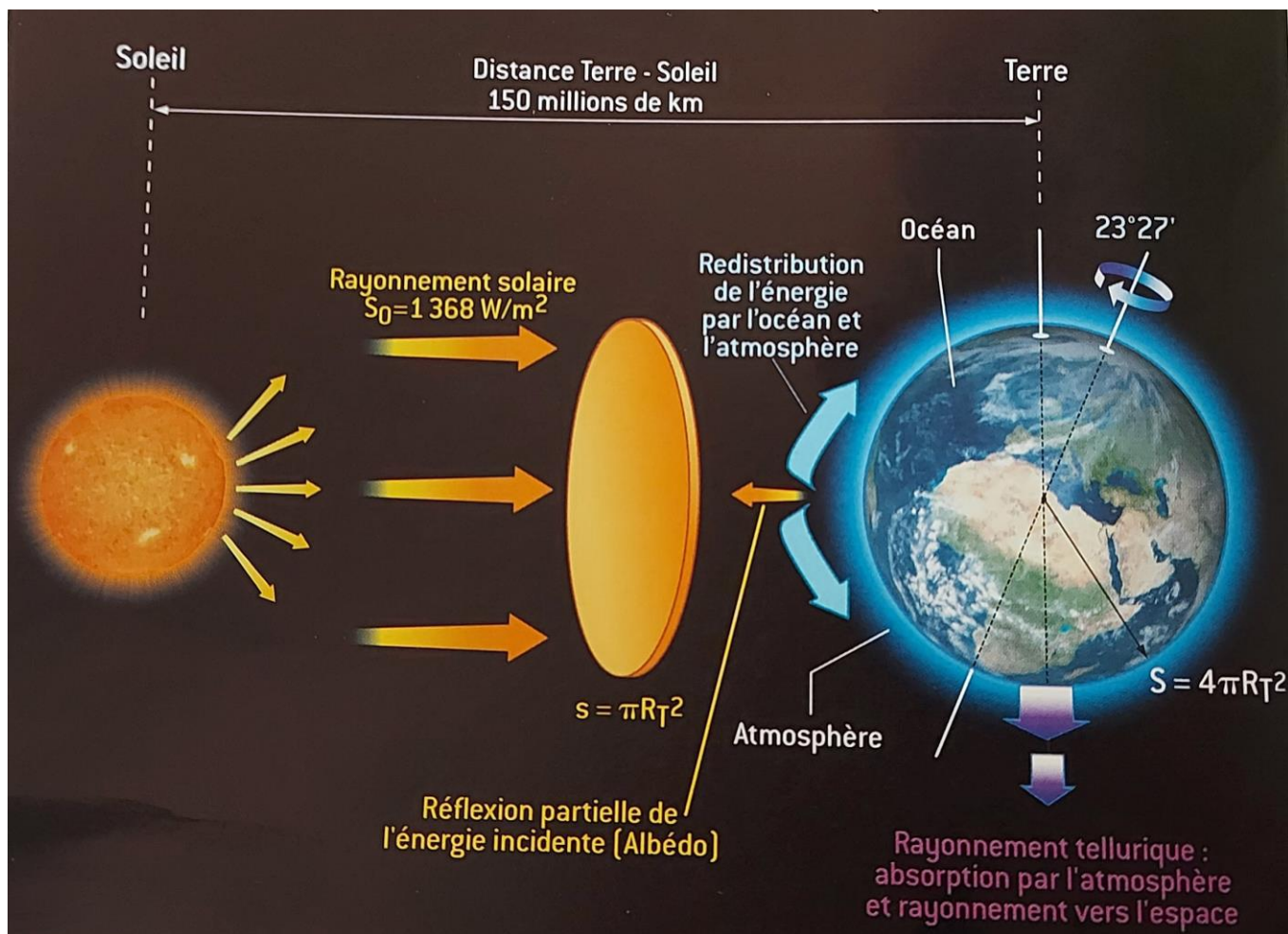
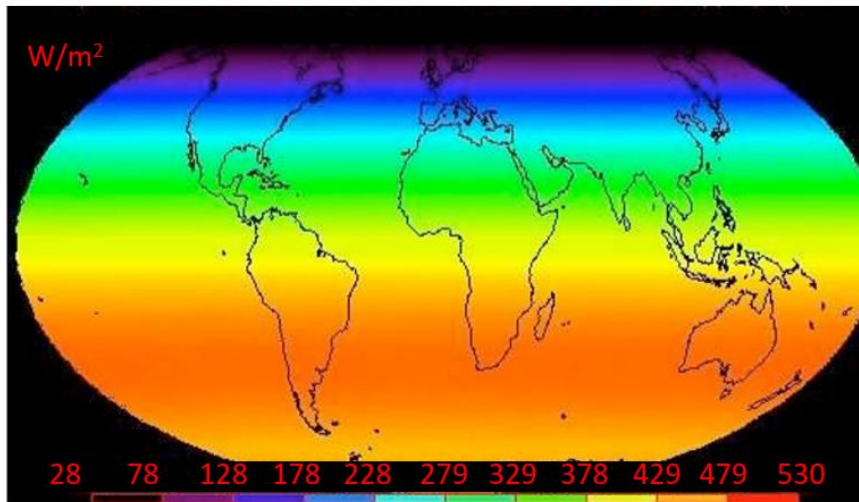


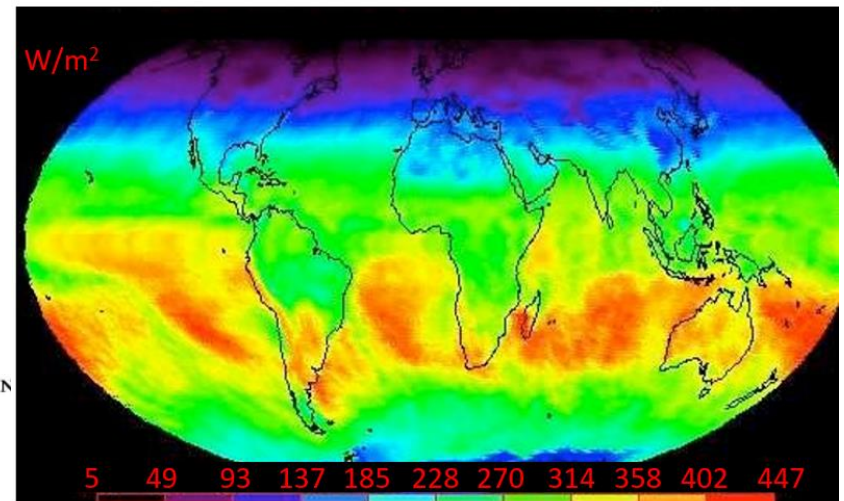
Image d'après « Atmosphère, Océan et Climat (R. Delmas et al.,)

## I/ L'énergie solaire

# Répartition de l'énergie reçue et de son absorption non uniforme



Energie moyenne quotidienne que la Terre reçoit du Soleil en **Janvier** 2004. Photo NOAA



Energie solaire absorbée par la Terre (W/m2) en **Janvier** 2004. Photo NOAA

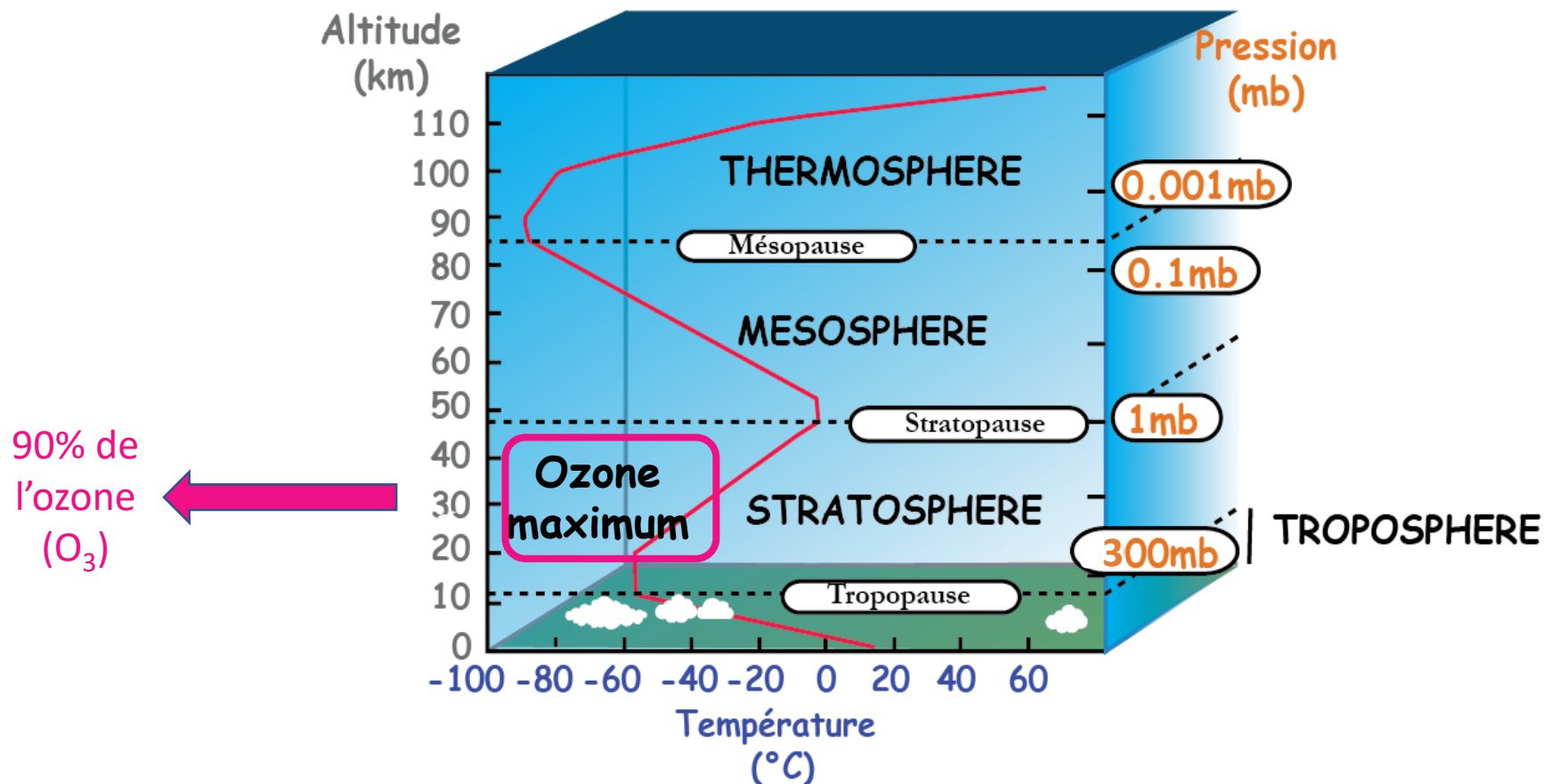
## II/ Composition atmosphérique

A wide-angle aerial photograph of Earth's atmosphere, showing a vast expanse of white and light blue clouds over a dark blue ocean. The horizon line is visible, separating the dark blue sky from the lighter blue atmosphere. A semi-transparent white rectangular box is centered over the image, containing the text 'II/ La composition atmosphérique' in a black serif font.

## II/ La composition atmosphérique

## II/ Composition atmosphérique

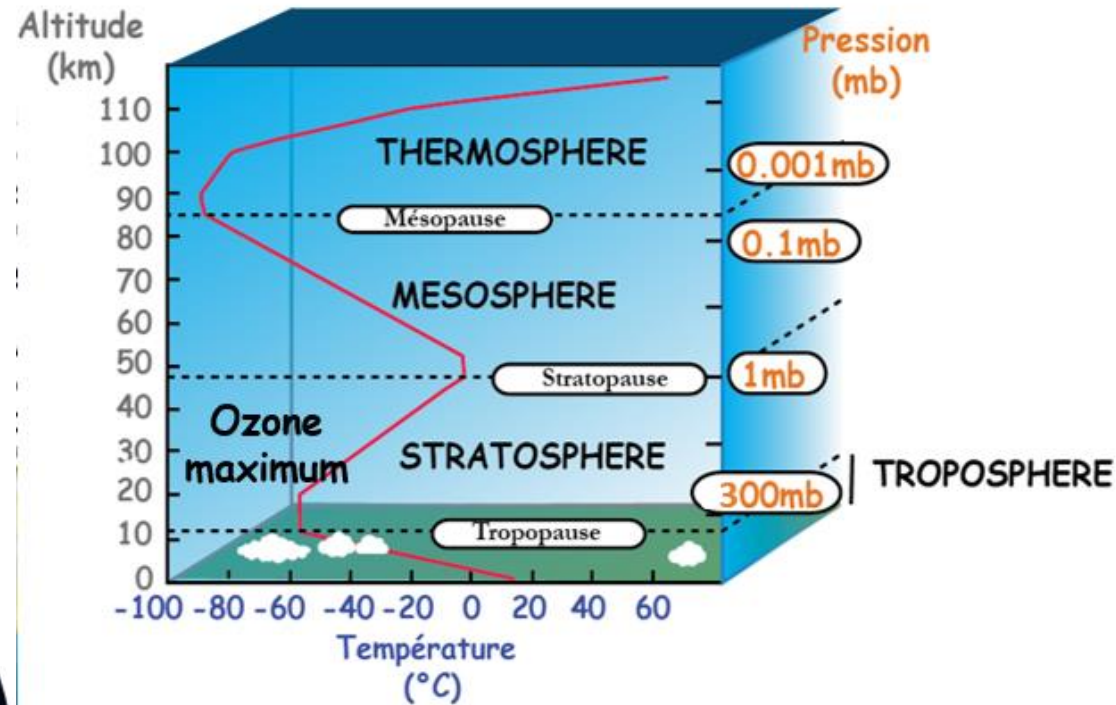
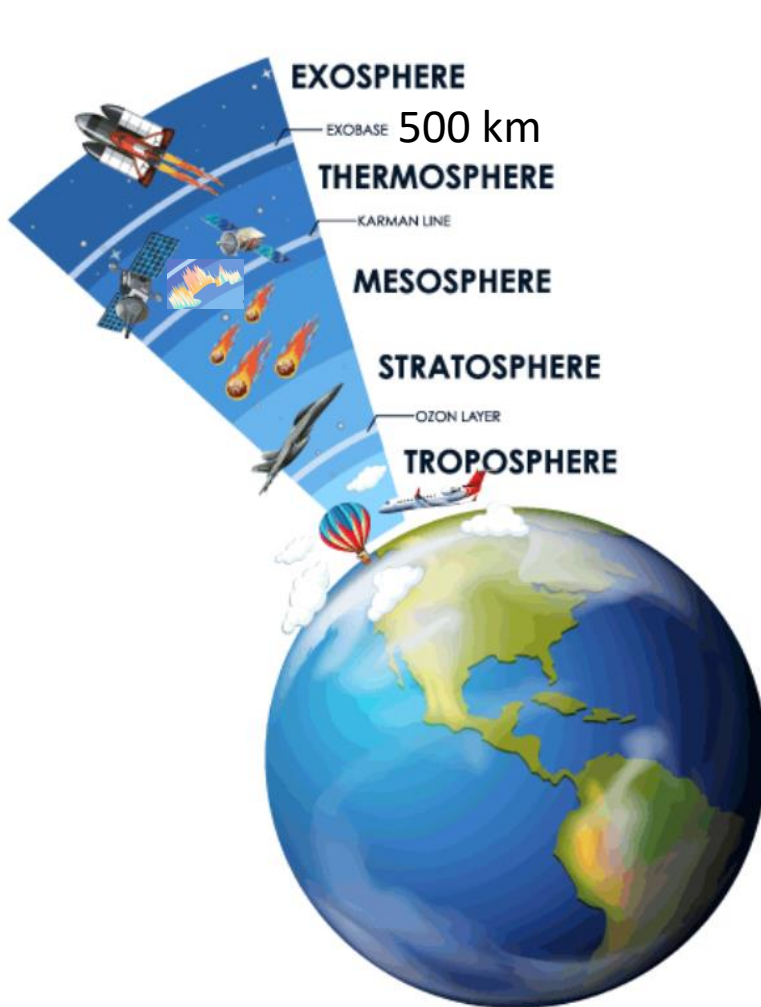
L'Atmosphère Grec: *atmos* (vapeurs) + *sphere* (boule)



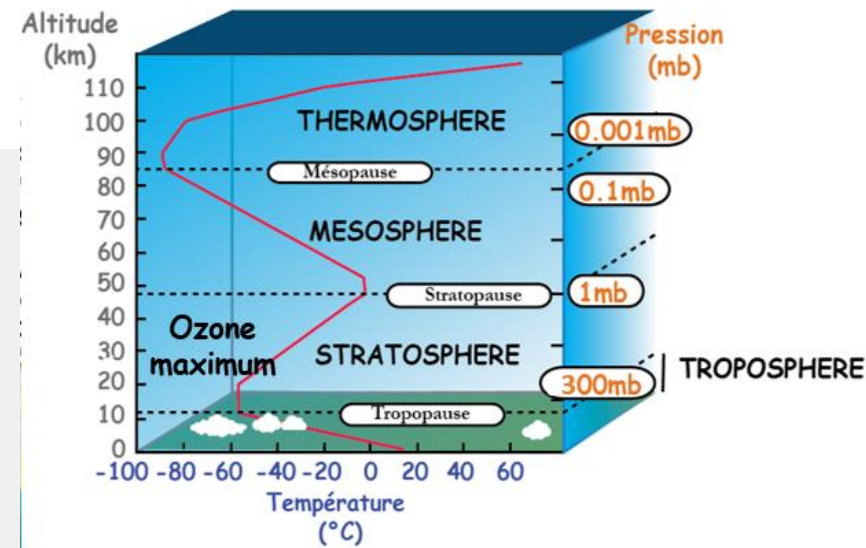
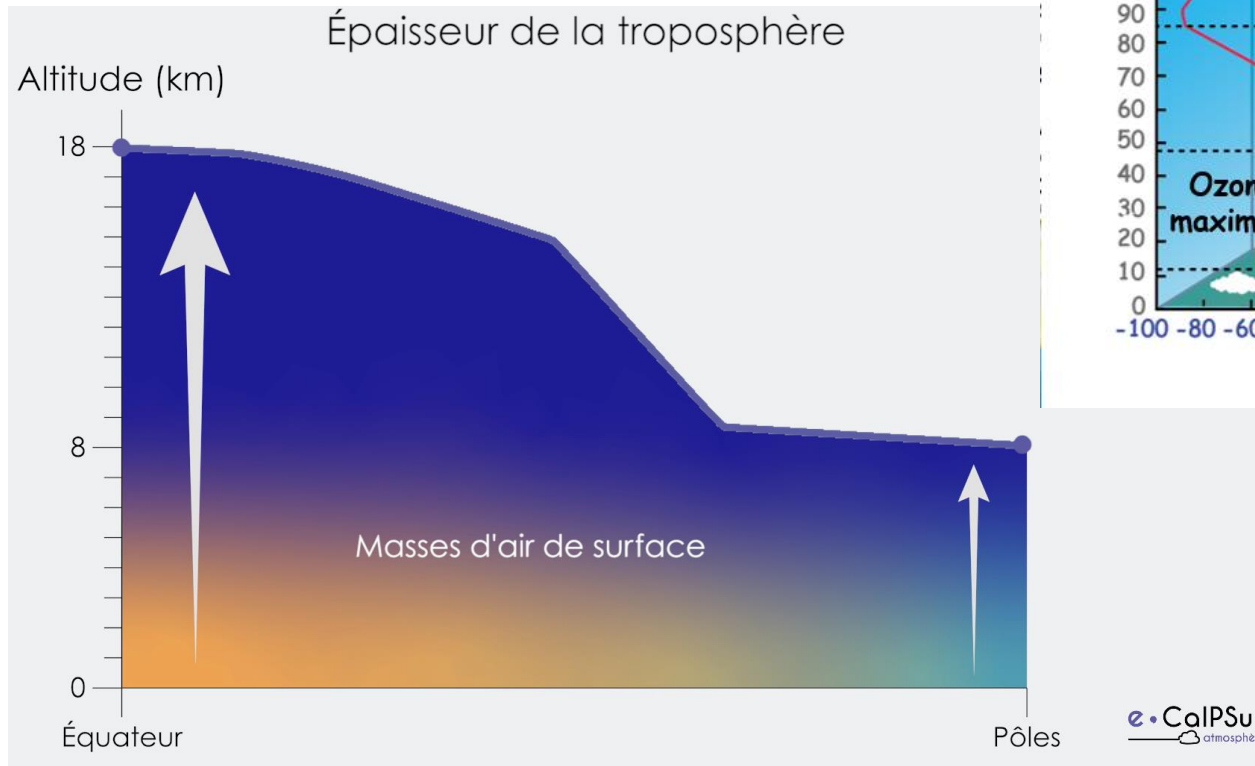
Air plus dense à la base mais proportion globalement équivalente des gaz au sein des couches

## II/ Composition atmosphérique

L'Atmosphère Grec: *atmos* (vapeurs) + *sphere* (boule)

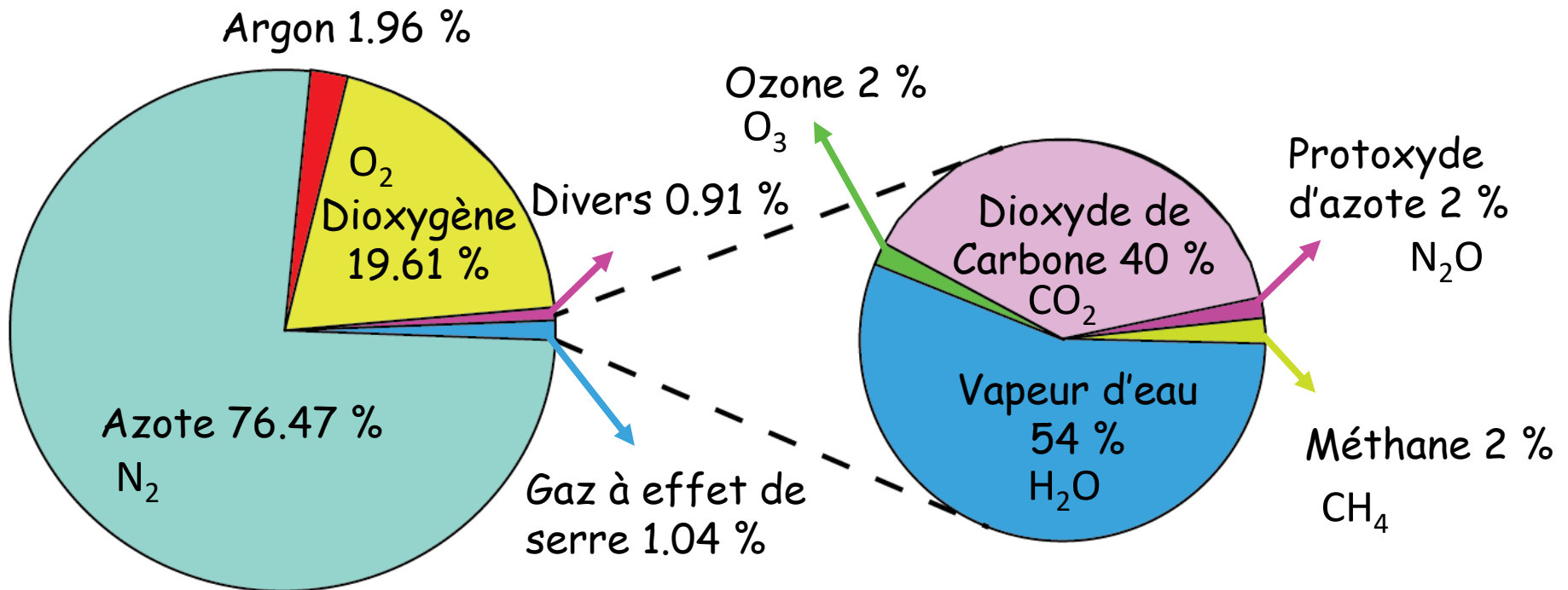


## II/ Composition atmosphérique



Couches atmosphériques définies par propriétés thermiques

## II/ Composition atmosphérique

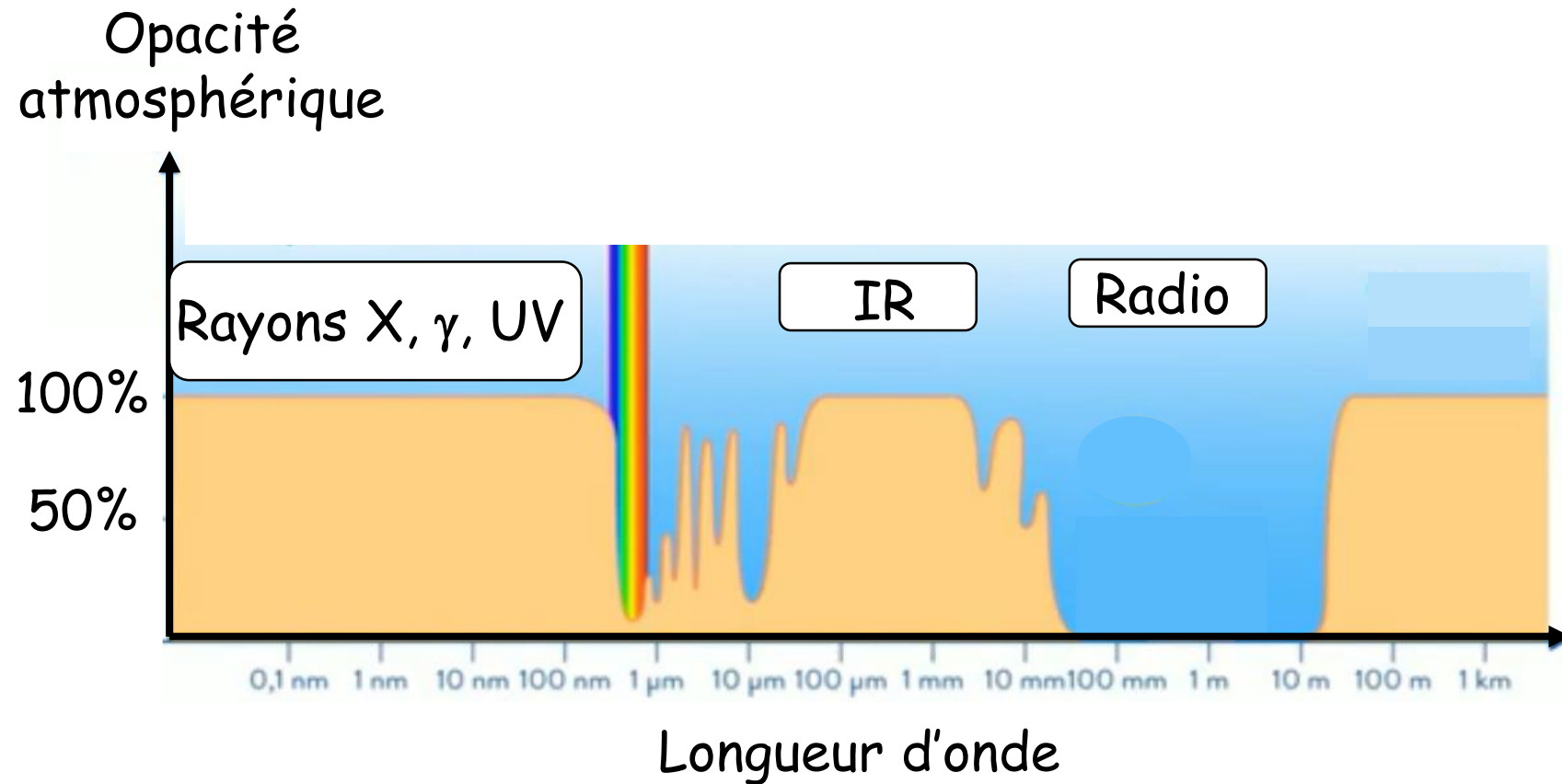


C'est l'atmosphère qui rend la vie possible sur Terre ...

## II/ Composition atmosphérique

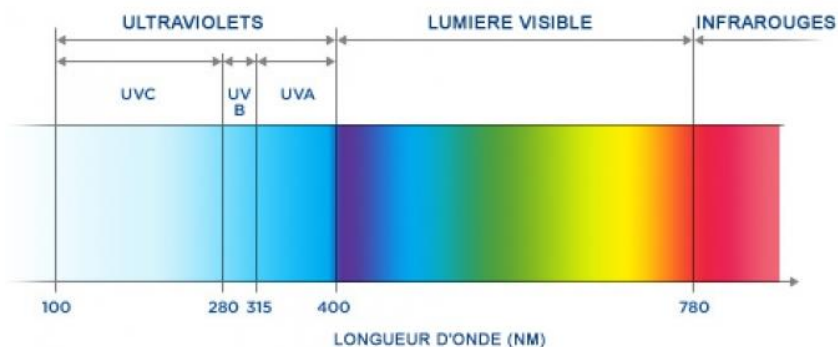
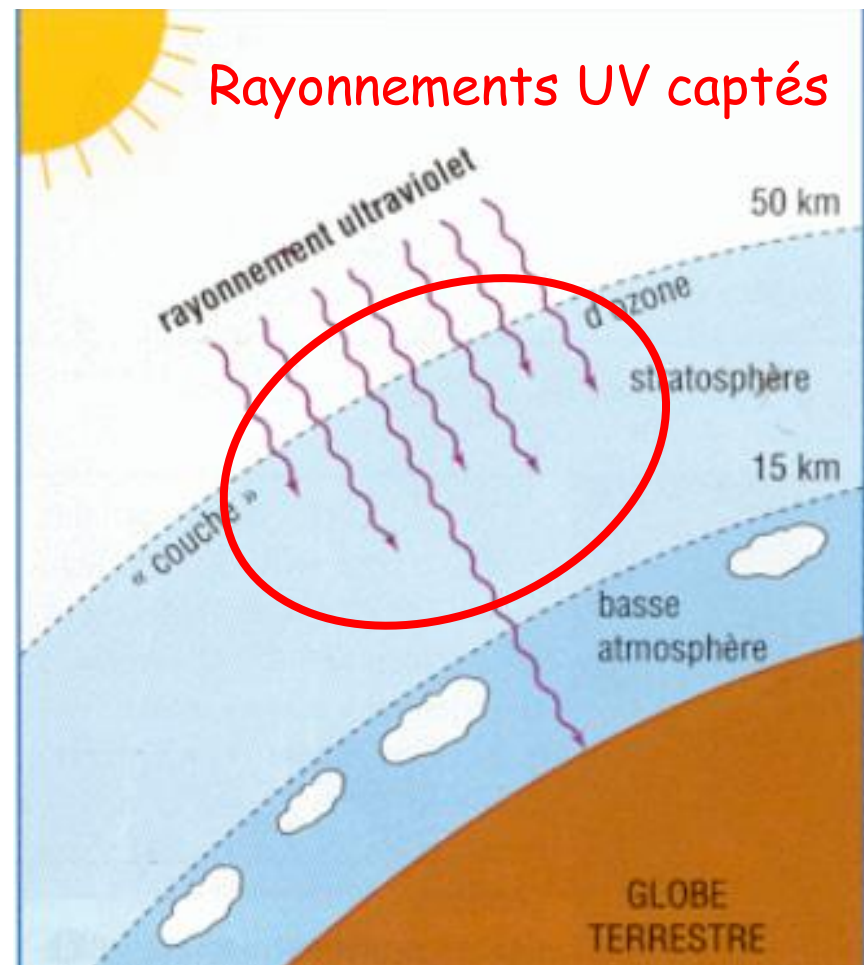
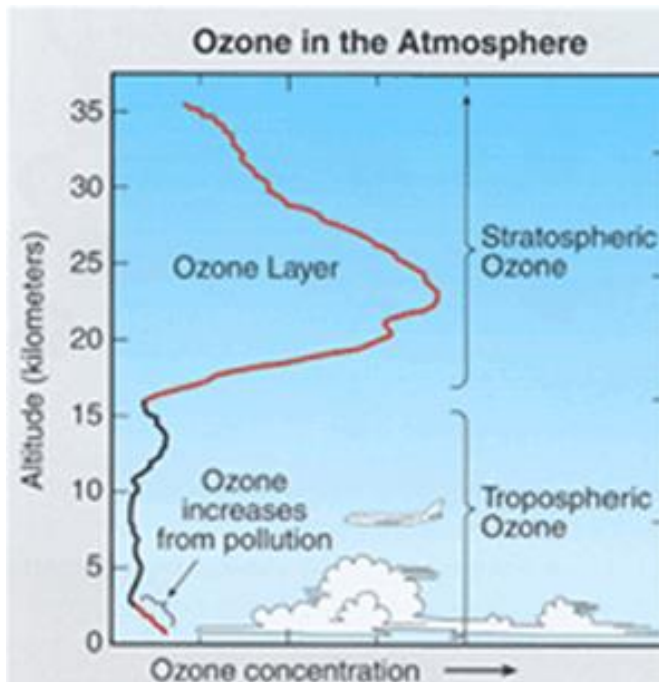
### Propriétés de l'Atmosphère

Rayonnements solaires  
RÉFLÉCHIS ; DIFFUSÉS ; ABSORBÉS



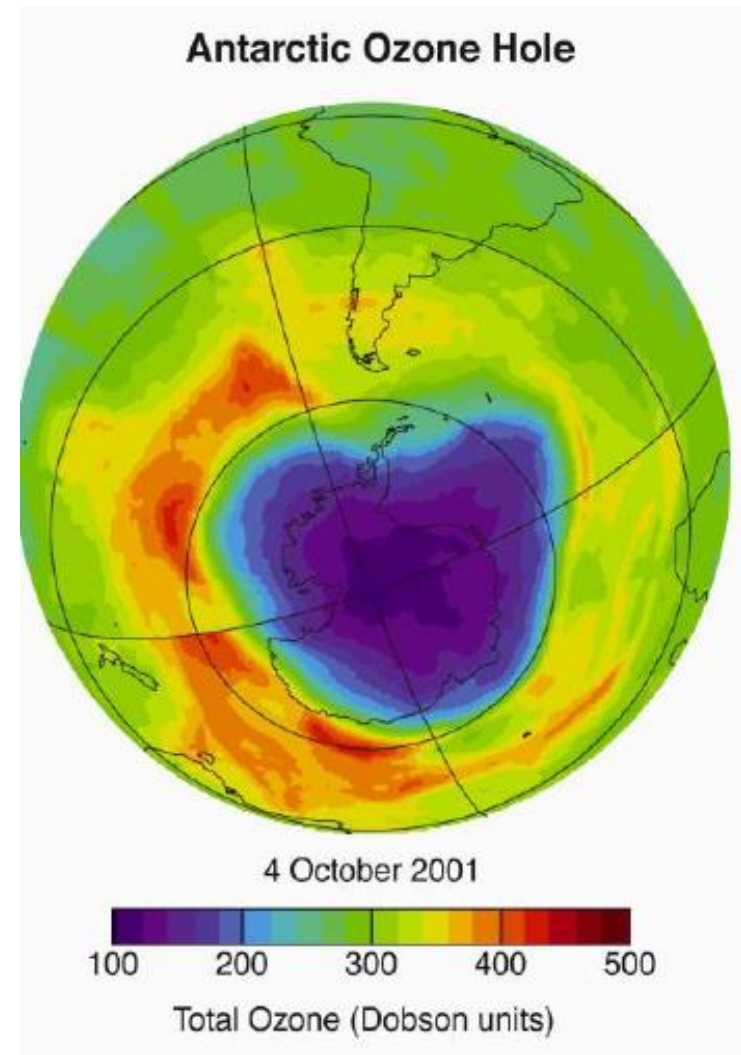
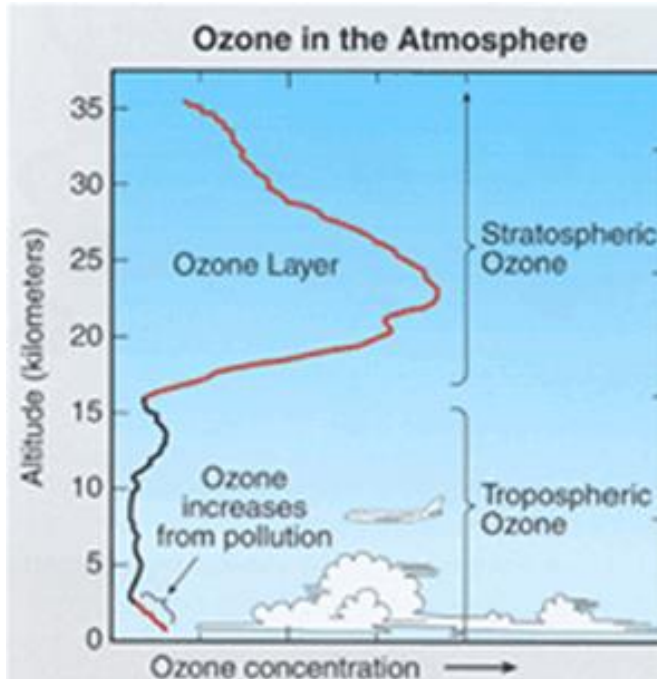
## II/ Composition atmosphérique

### L'ozone



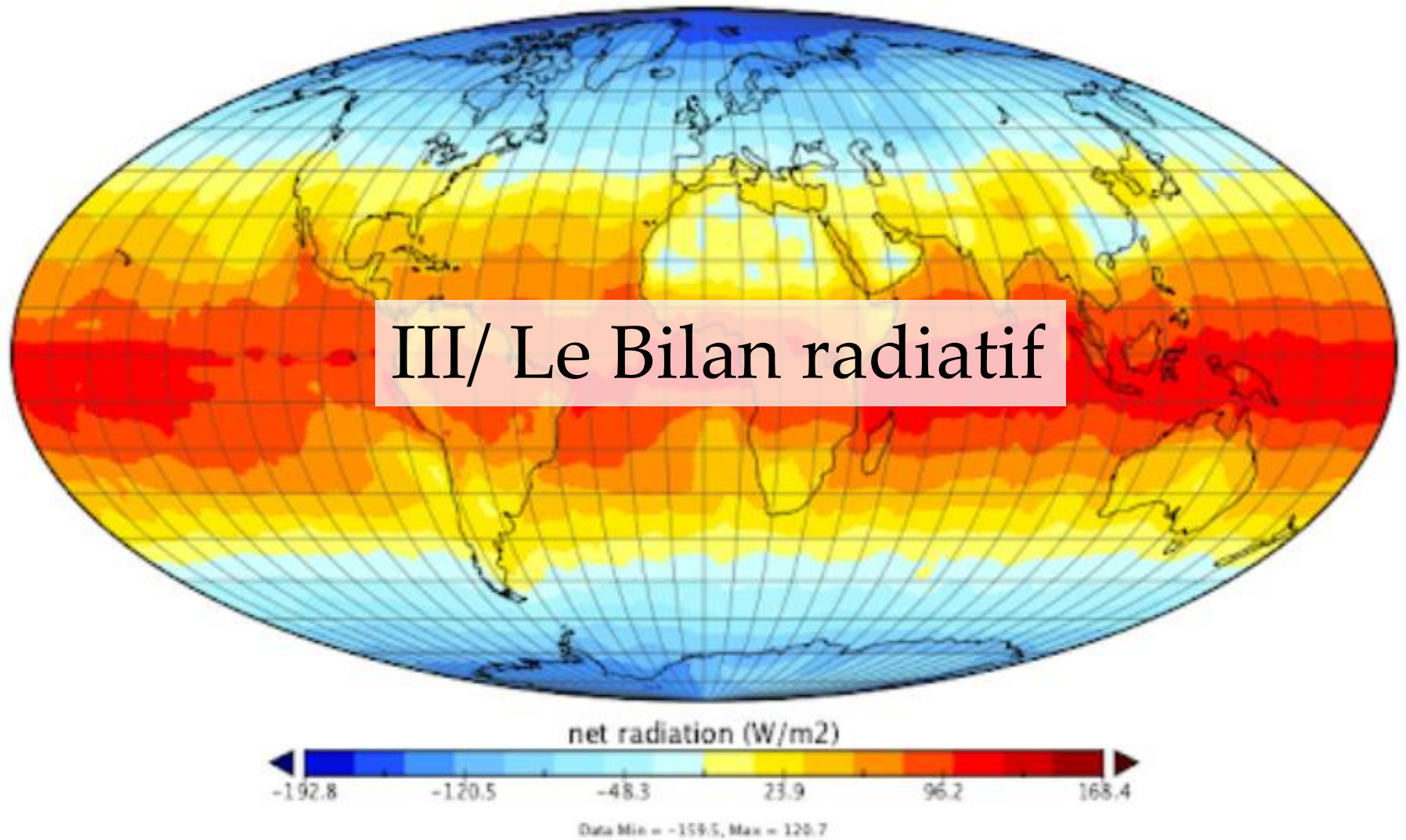
## II/ Composition atmosphérique

### L'ozone



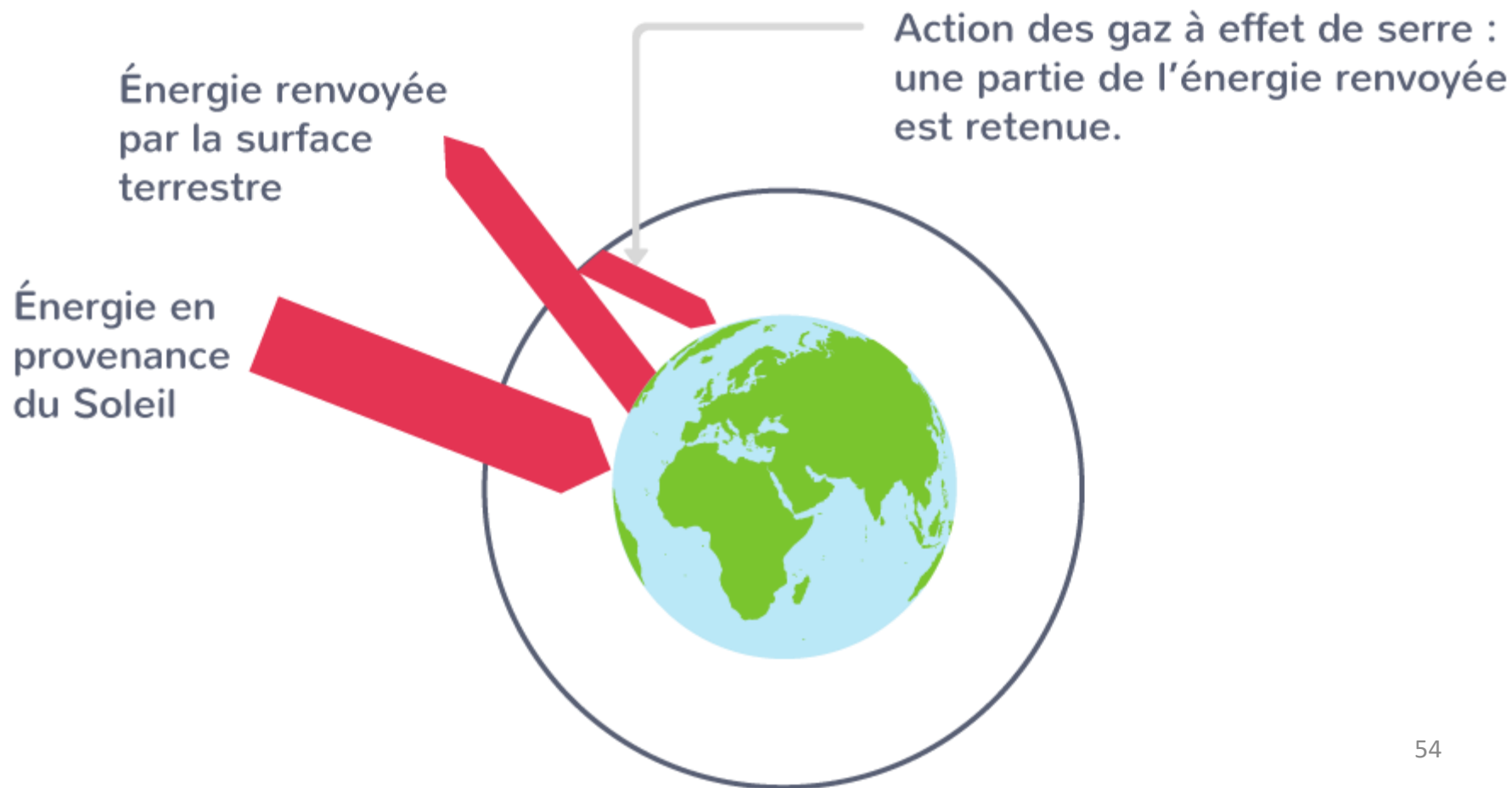
**Composés organiques halogénés**, dont les chlorofluorocarbures (**CFC**) interagissent avec l'ozone.

### III/ Le Bilan radiatif



### III/ Le Bilan radiatif

**Bilan radiatif** : quantifie l'énergie reçue et perdue par le système climatique terrestre.



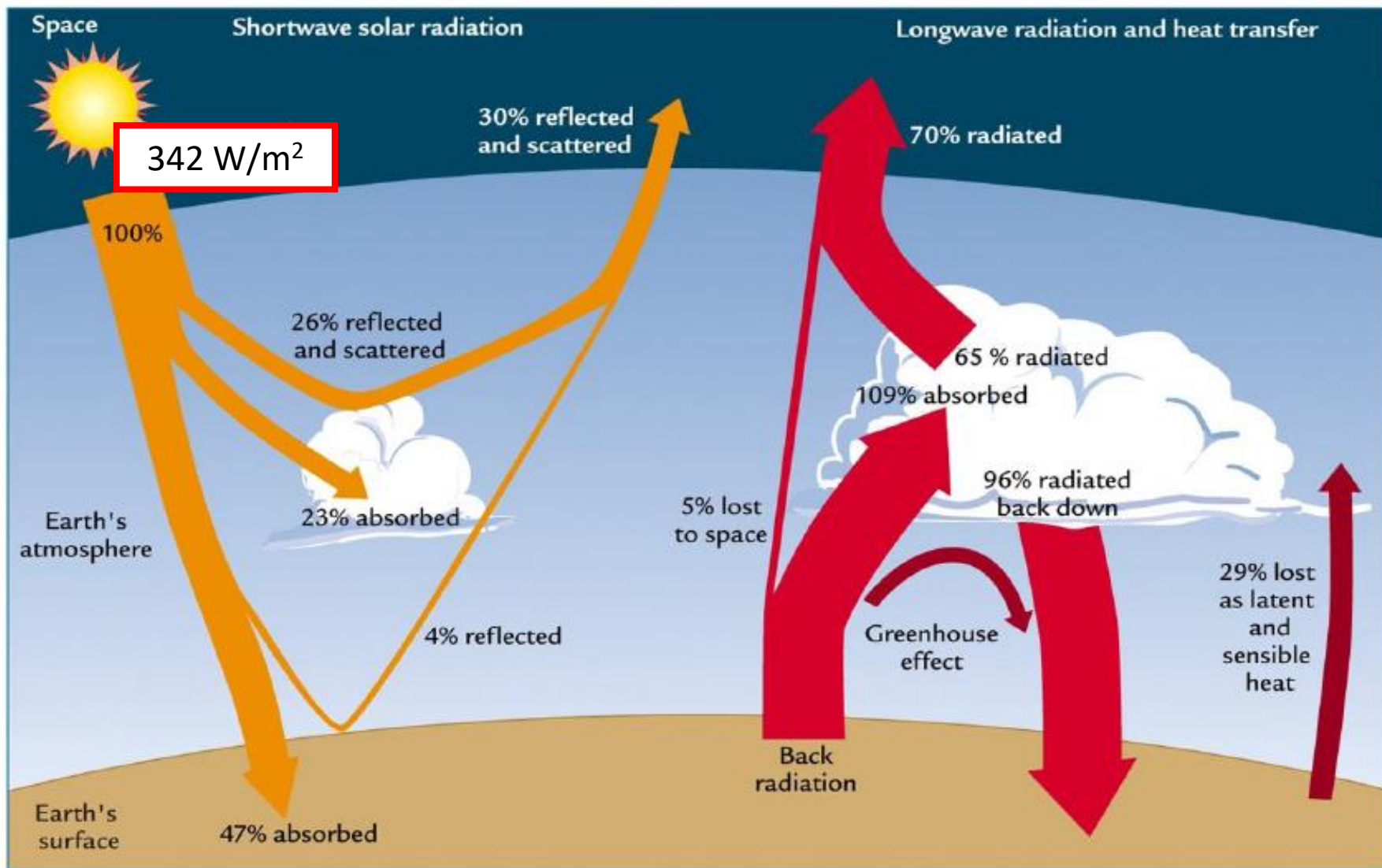
### III/ Le Bilan radiatif

**Bilan radiatif** : quantifie l'énergie reçue et perdue par le système climatique terrestre.

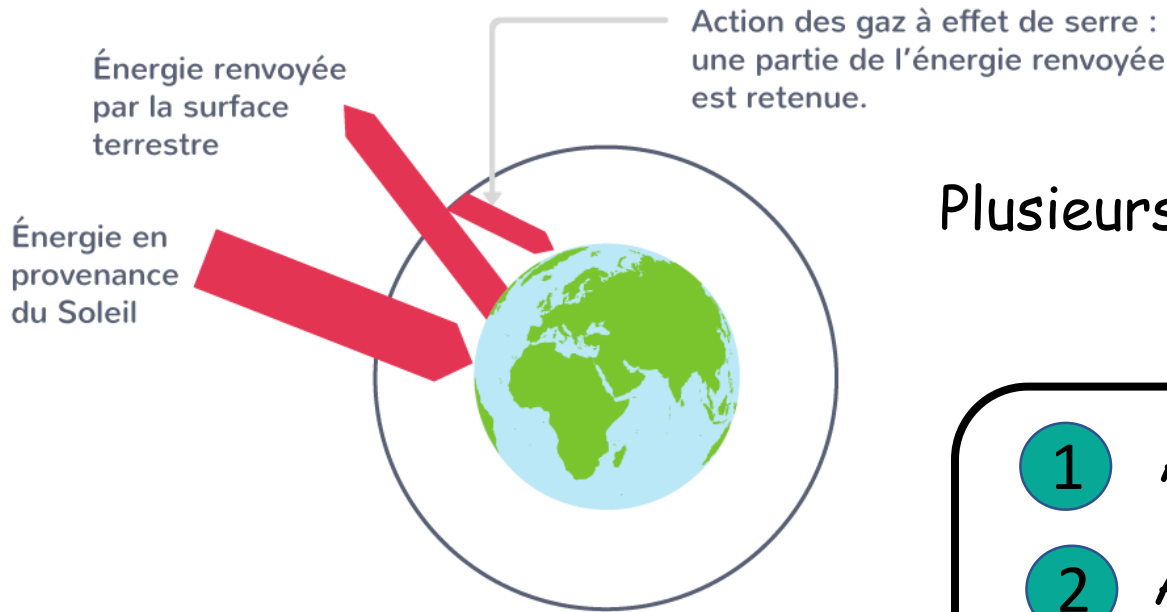
Différence entre puissance du rayonnement solaire **absorbé par le sol et l'atmosphère** ET la puissance du rayonnement infrarouge thermique que **la surface et l'atmosphère renvoient vers l'espace**.

Pour Température constante sur Terre  
**Equilibre énergétique dynamique**

### III/ Le Bilan radiatif



### III/ Le Bilan radiatif



Plusieurs facteurs dont il faut tenir compte

- 1 Albédo
- 2 Absorption Surface
- 3 Filtre atmosphérique

### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo

Une partie de l'énergie solaire est absorbée par le sol et l'atmosphère alors qu'une autre partie est réfléchiée ou diffusée et renvoyée dans l'espace.

#### Formule de l'Albédo

$$A = \frac{\text{Energie Ray réfléchiée}}{\text{Energie Ray reçue}}$$

### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo

Une partie de l'énergie solaire est absorbé par le sol et l'atmosphère alors qu'une autre partie est directement réfléchié ou diffusée et renvoyée dans l'espace.

Energie renvoyée

dépend de

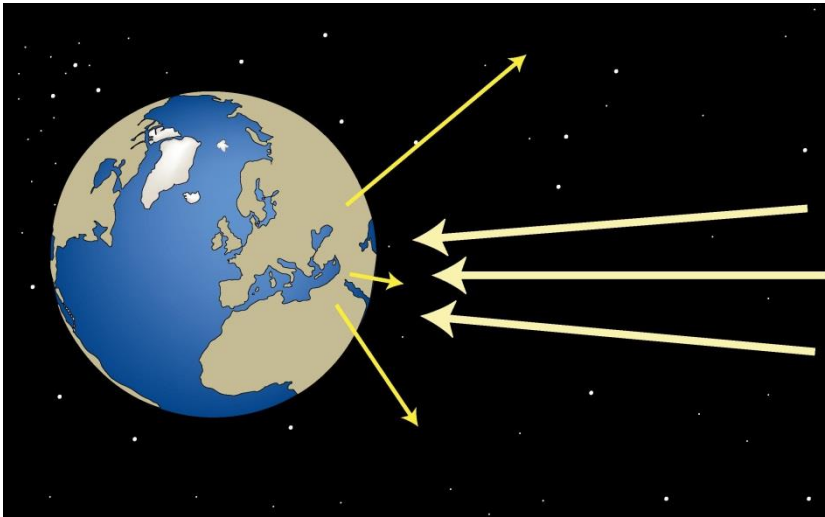


Surface



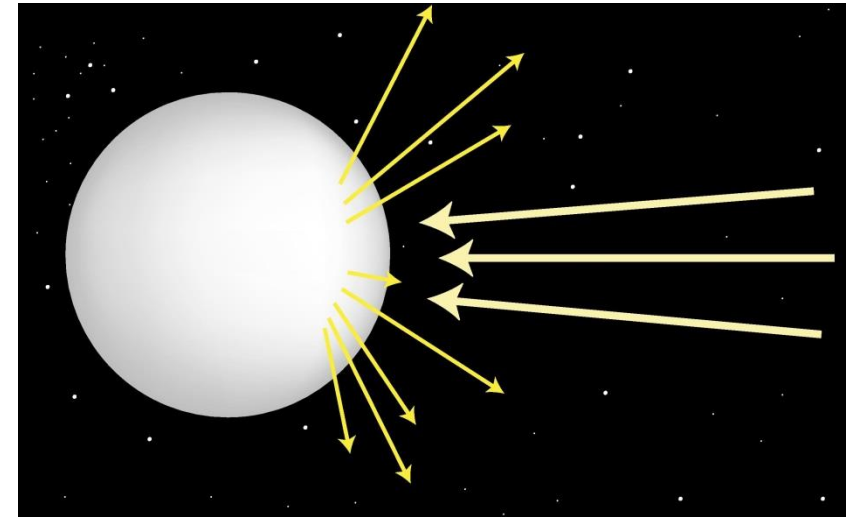
### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo



L'albédo moyen de la Terre est **0,3**.

70 % du rayonnement solaire est donc absorbé et transformé en chaleur.

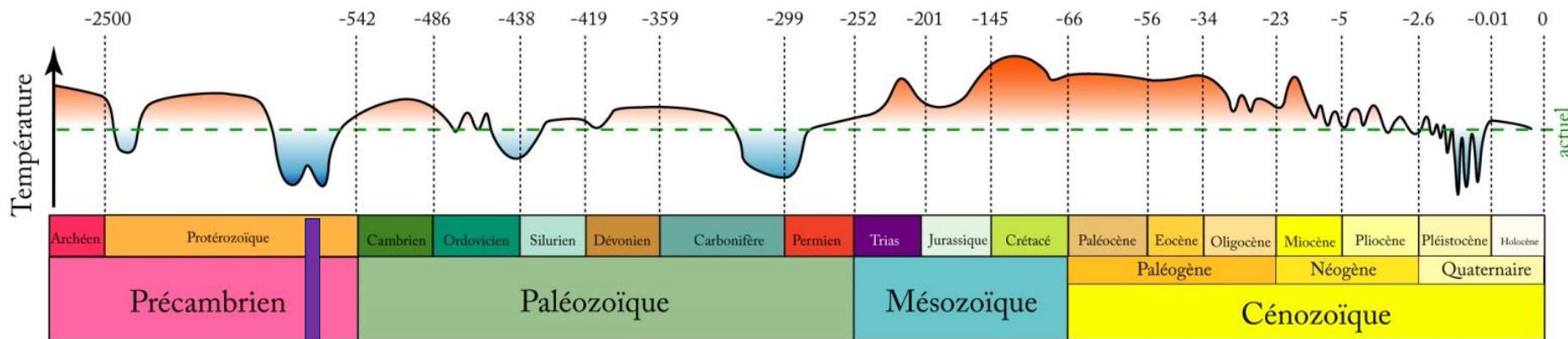


Une Terre « boule de neige » renverrait plus de 90% de l'énergie solaire.

La **neige** qui, en règle générale, renvoie la totalité du rayonnement solaire, a un albédo de la valeur la plus élevée possible, **de 0,9 ou 1**, tandis qu'un **corps noir**, d'un albédo **0**, reflète zéro pour cent de l'énergie lumineuse captée.

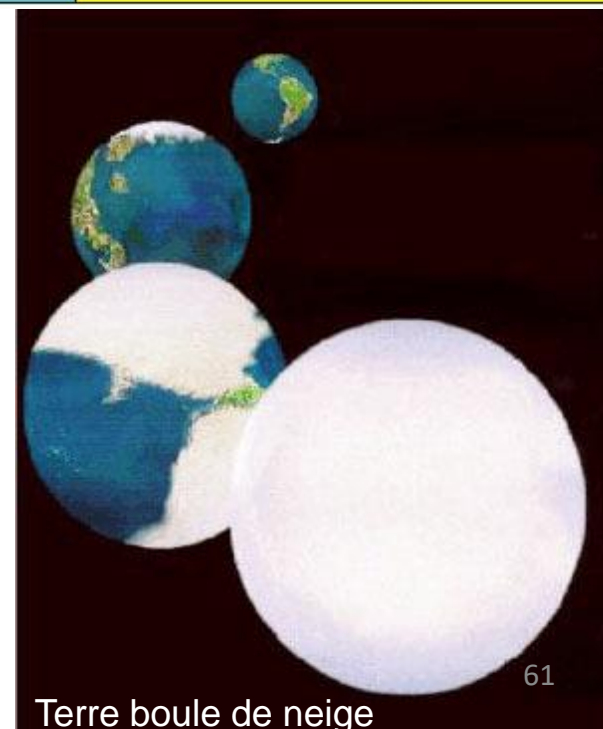
### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo



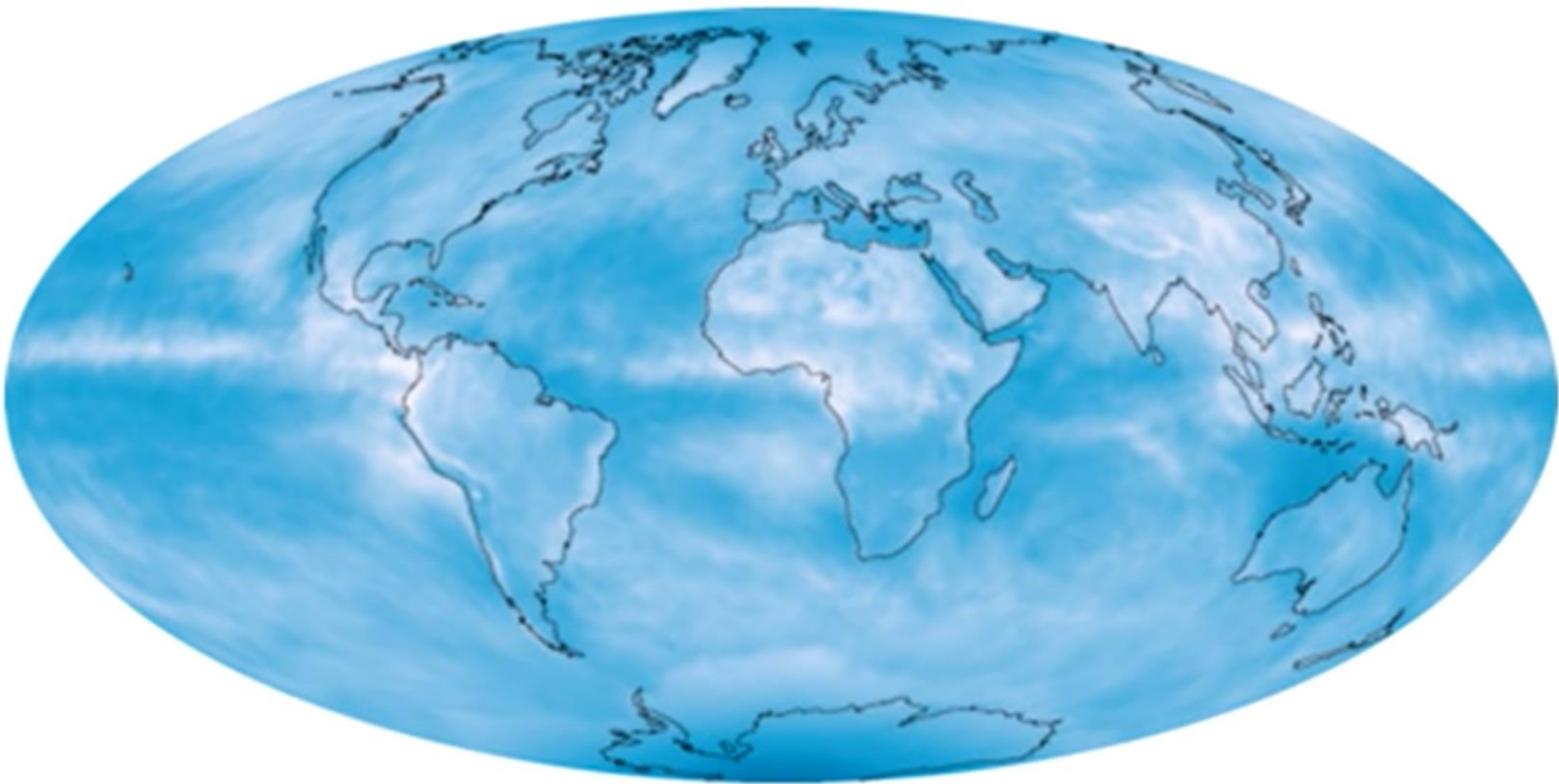
Les glaciations de la période Protérozoïque provoquent une couverture pratiquement totale de la Terre par la glace.

Deux de ces glaciations extrêmes se sont produites à **720 et 635 Ma**



### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo

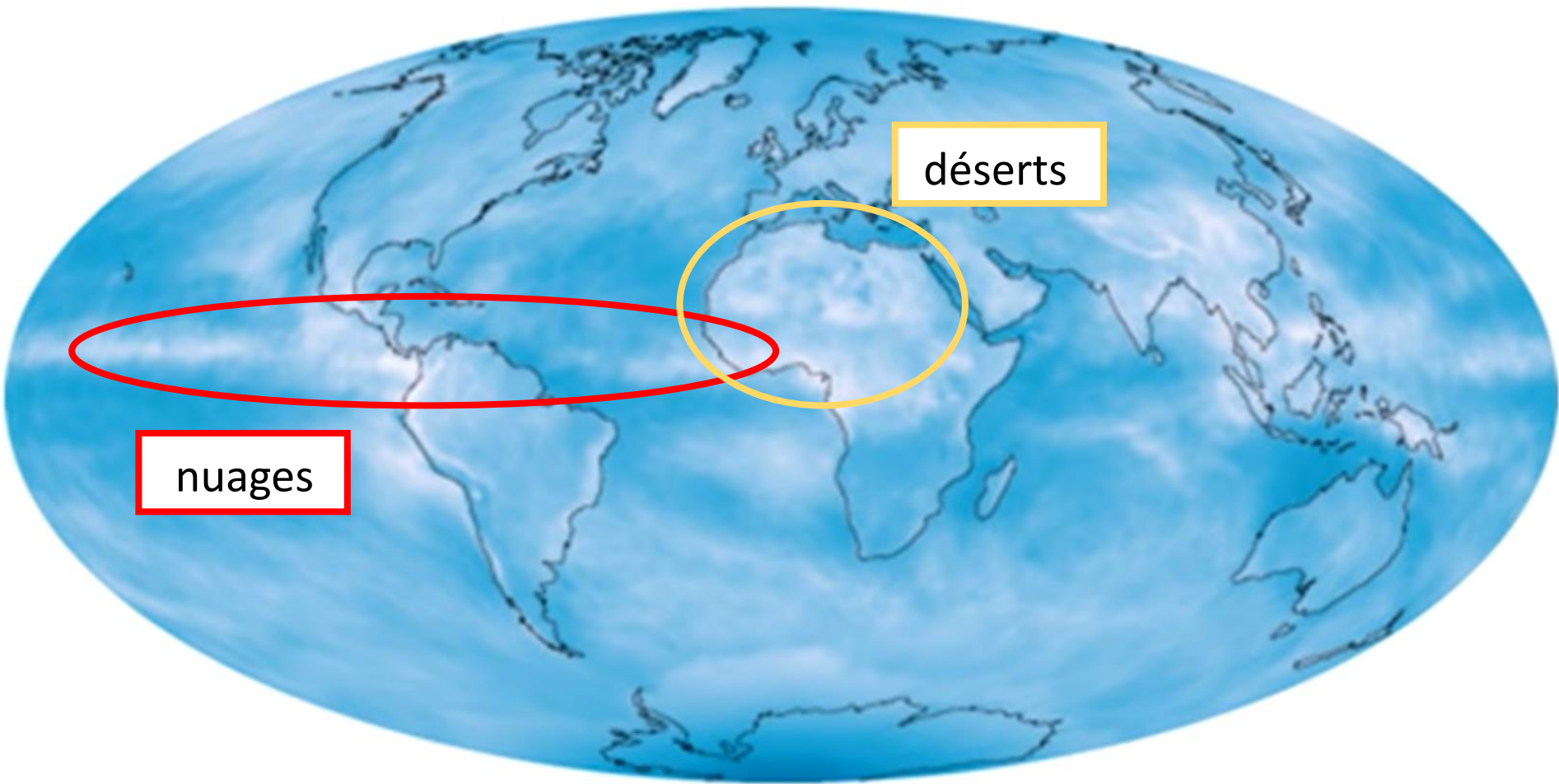


Rayonnement Solaire Réfléchi ( $W/m^2$ )



### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo



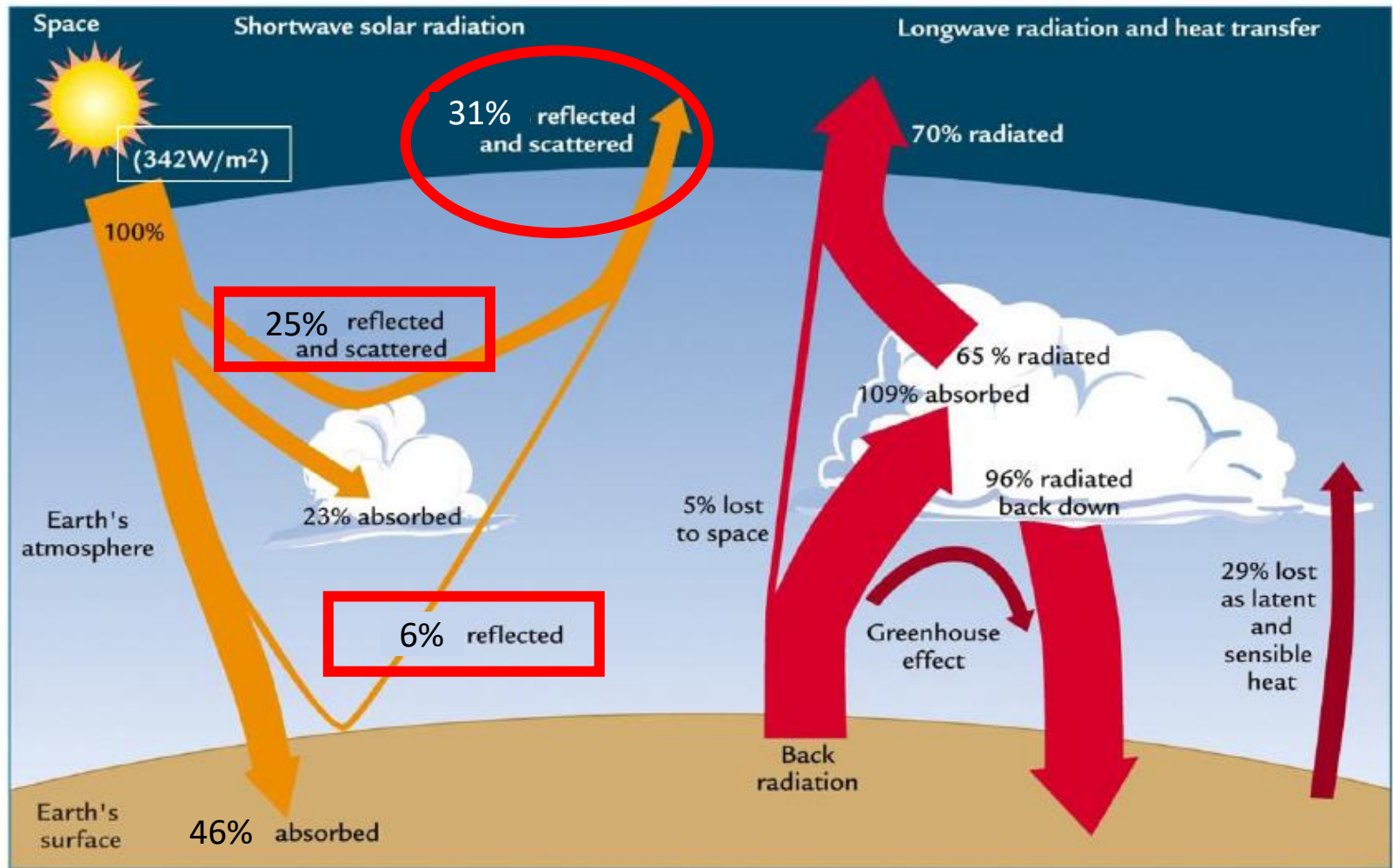
Rayonnement Solaire Réfléchi ( $W/m^2$ )



### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo

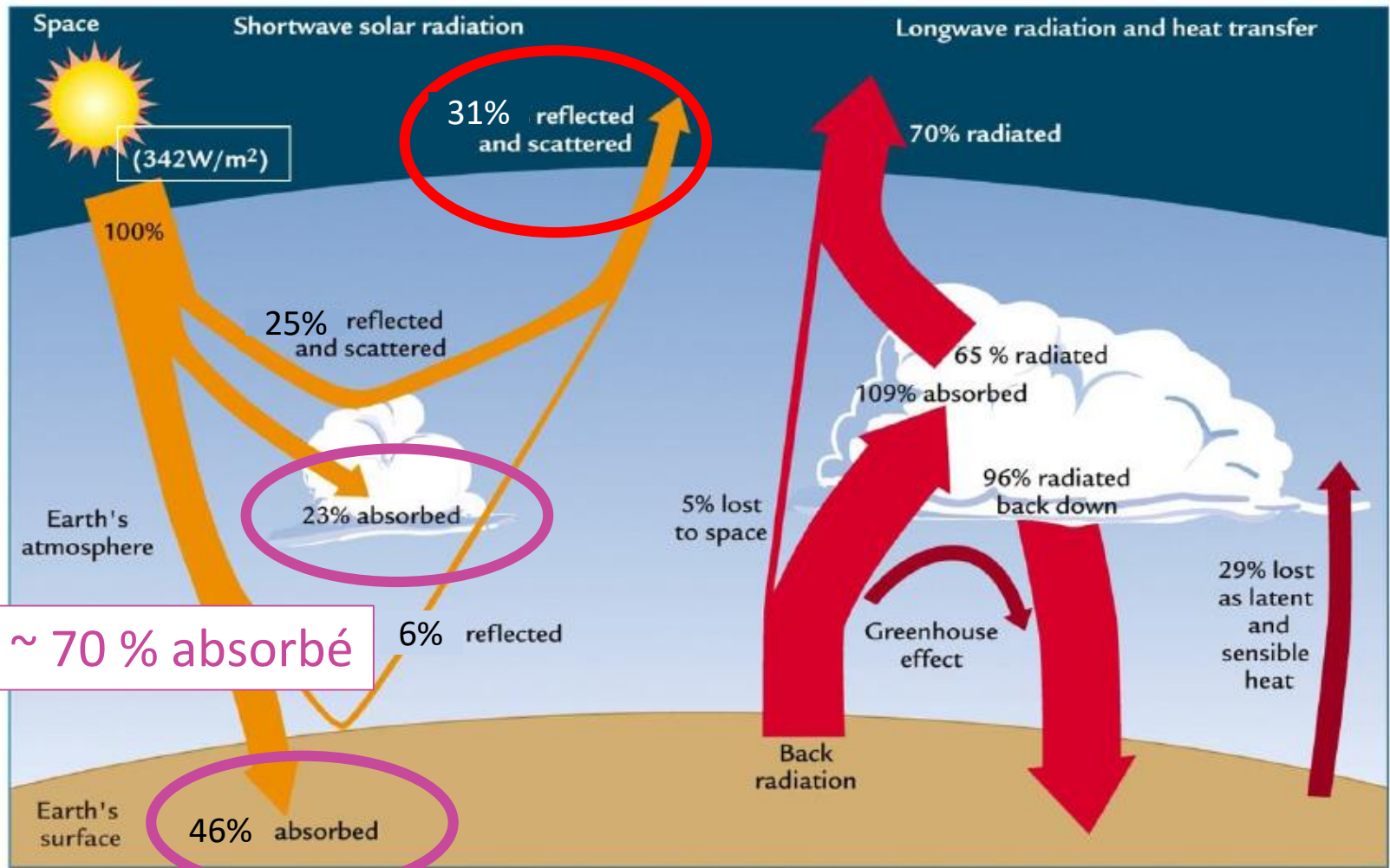
30% renvoyé vers l'espace



### III/ Le Bilan radiatif

#### 1 L'Albédo

30% renvoyé vers l'espace

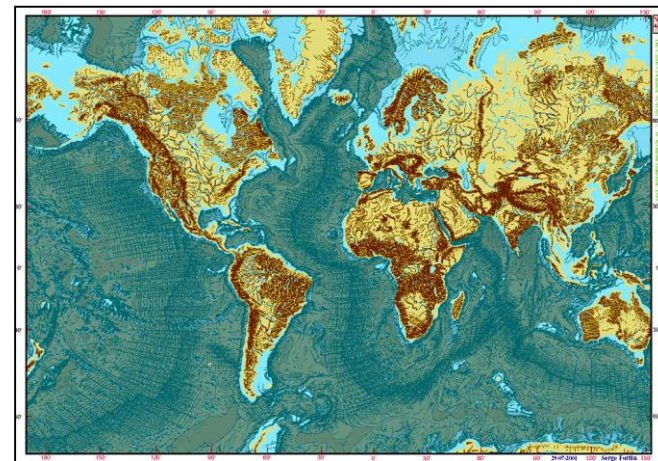
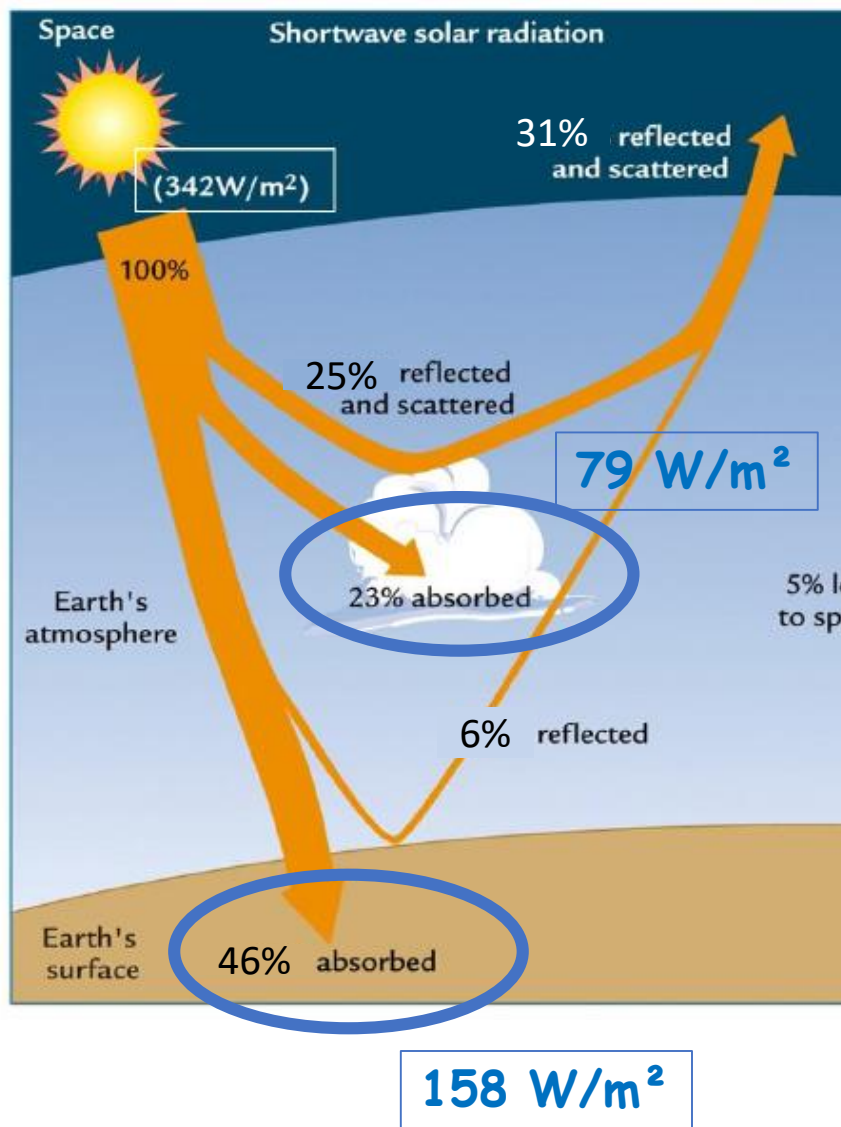


~ 70 % absorbé

$$0.69 * 342 \text{ W/m}^2 = 236 \text{ W/m}^2$$

### III/ Le Bilan radiatif

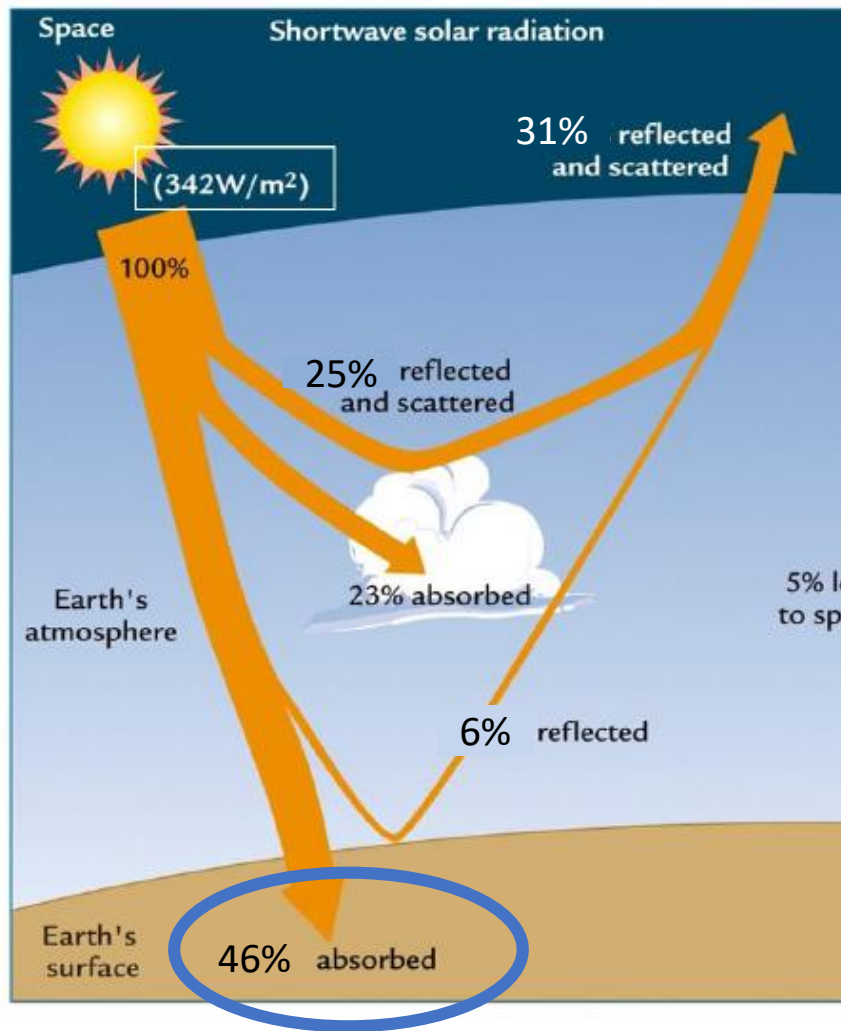
## 2 Absorption par la Surface



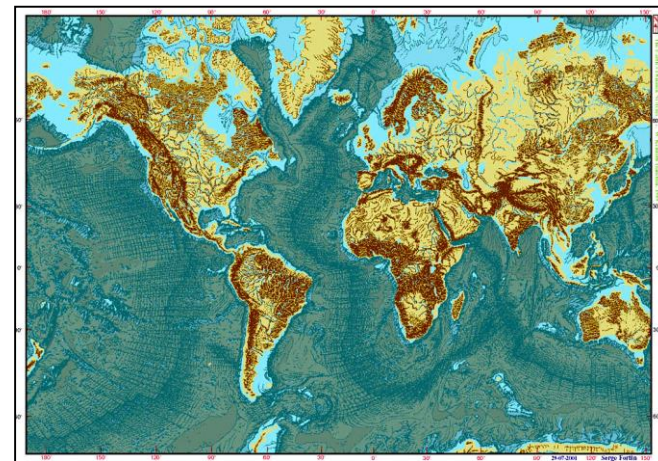
Augmentation Températures  
**CONTINENTS** et **Océans**

### III/ Le Bilan radiatif

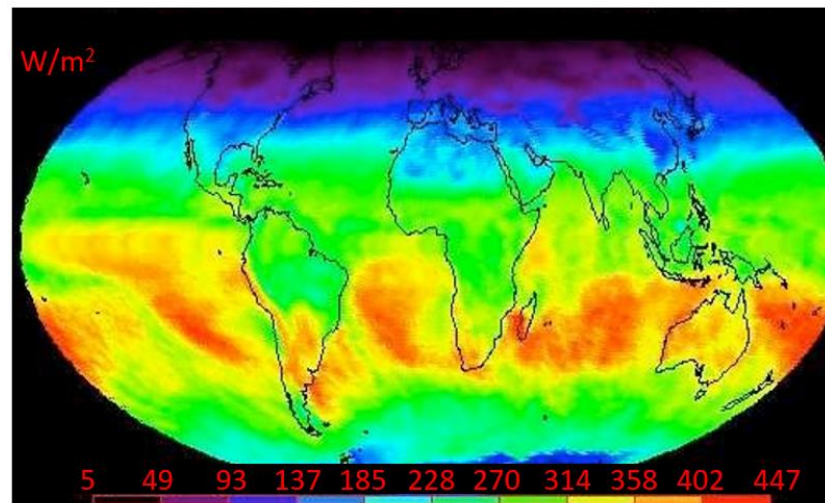
## 2 Absorption par la Surface



**158 W/m<sup>2</sup>**



**Augmentation Températures**  
**CONTINENTS** et **OcéANS**

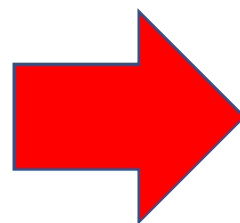


Energie solaire absorbée par la Terre ( $\text{W/m}^2$ ) en Janvier 2004. Photo NOAA

### III/ Le Bilan radiatif

## 3 Le filtre atmosphérique

Atmosphère relative  
**opaque** au rayonnement  
**IR**

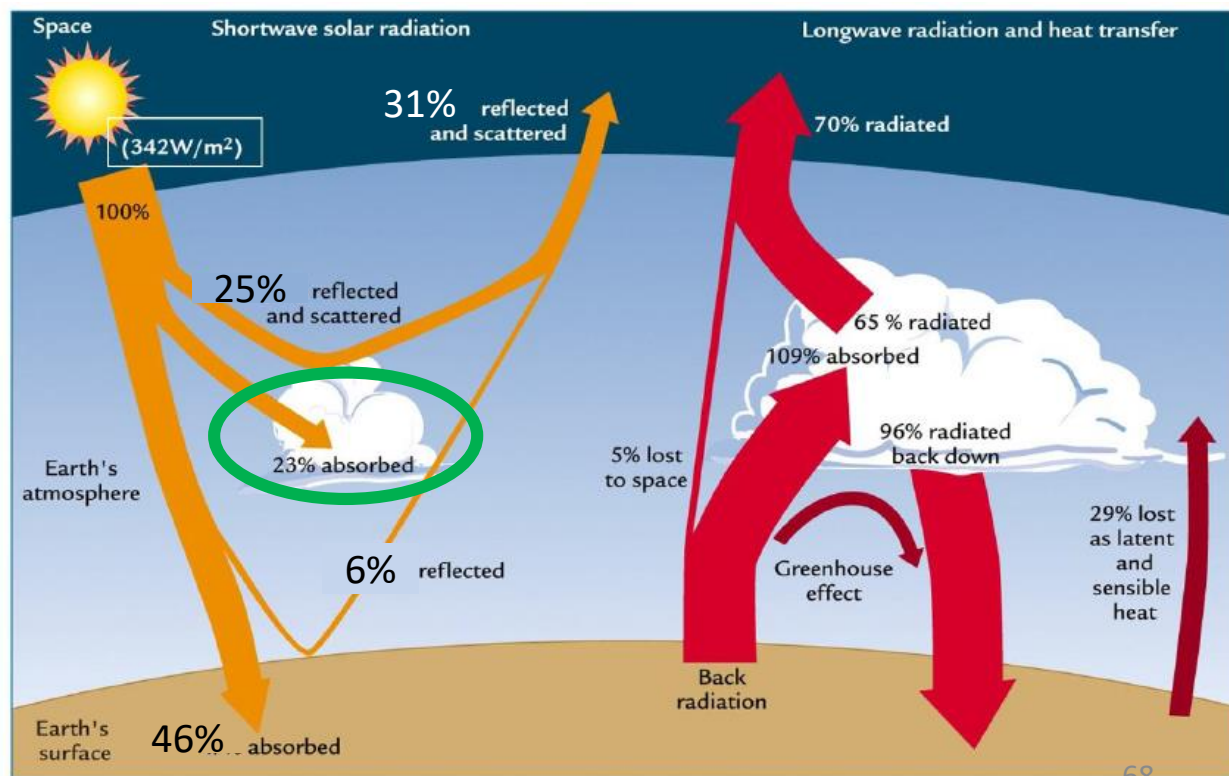


Une partie est absorbée  
par les gaz à effet de  
serre

23% (79 W/m<sup>2</sup>)

- H<sub>2</sub>O (vapeur d'eau)
- CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone)
- O<sub>3</sub> (ozone)
- CH<sub>4</sub> (méthane)
- N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote)

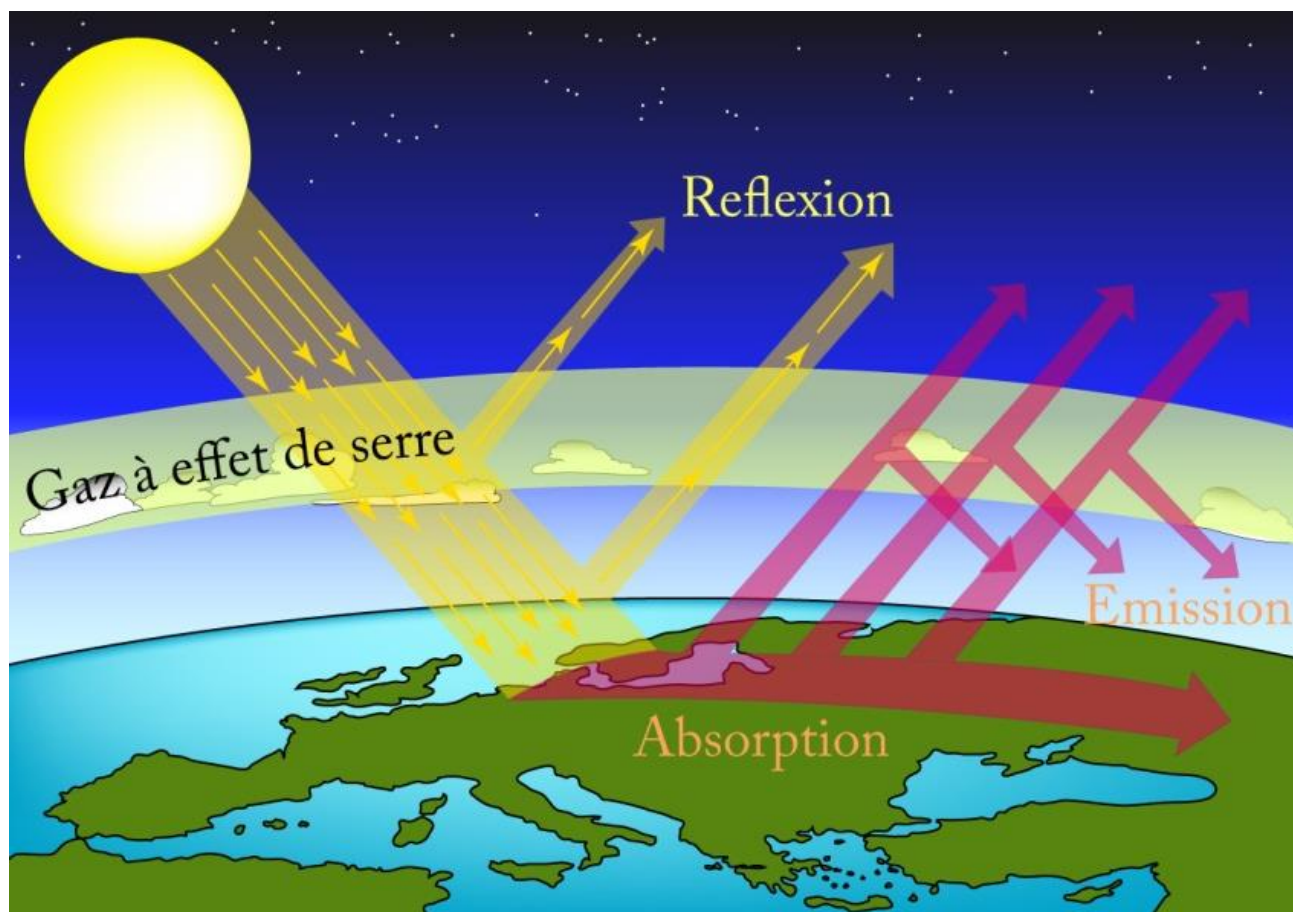
+ aérosols



### III/ Le Bilan radiatif

#### 3 Le filtre atmosphérique

La température moyenne du globe est actuellement de  $15^{\circ}\text{C}$ , sans les gaz à effet de serre ( $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{CO}_2$ ), elle serait de  $-18^{\circ}\text{C}$ .

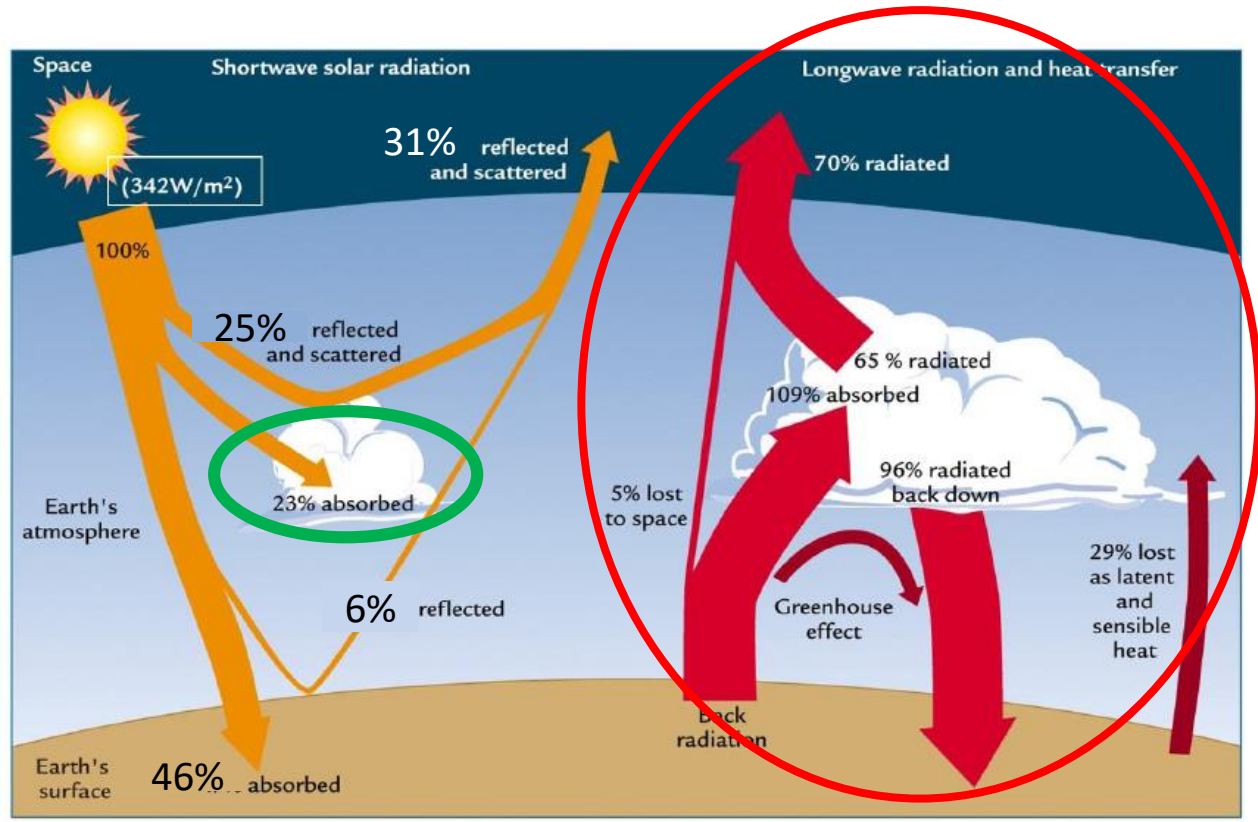


### III/ Le Bilan radiatif

## 3 Le filtre atmosphérique

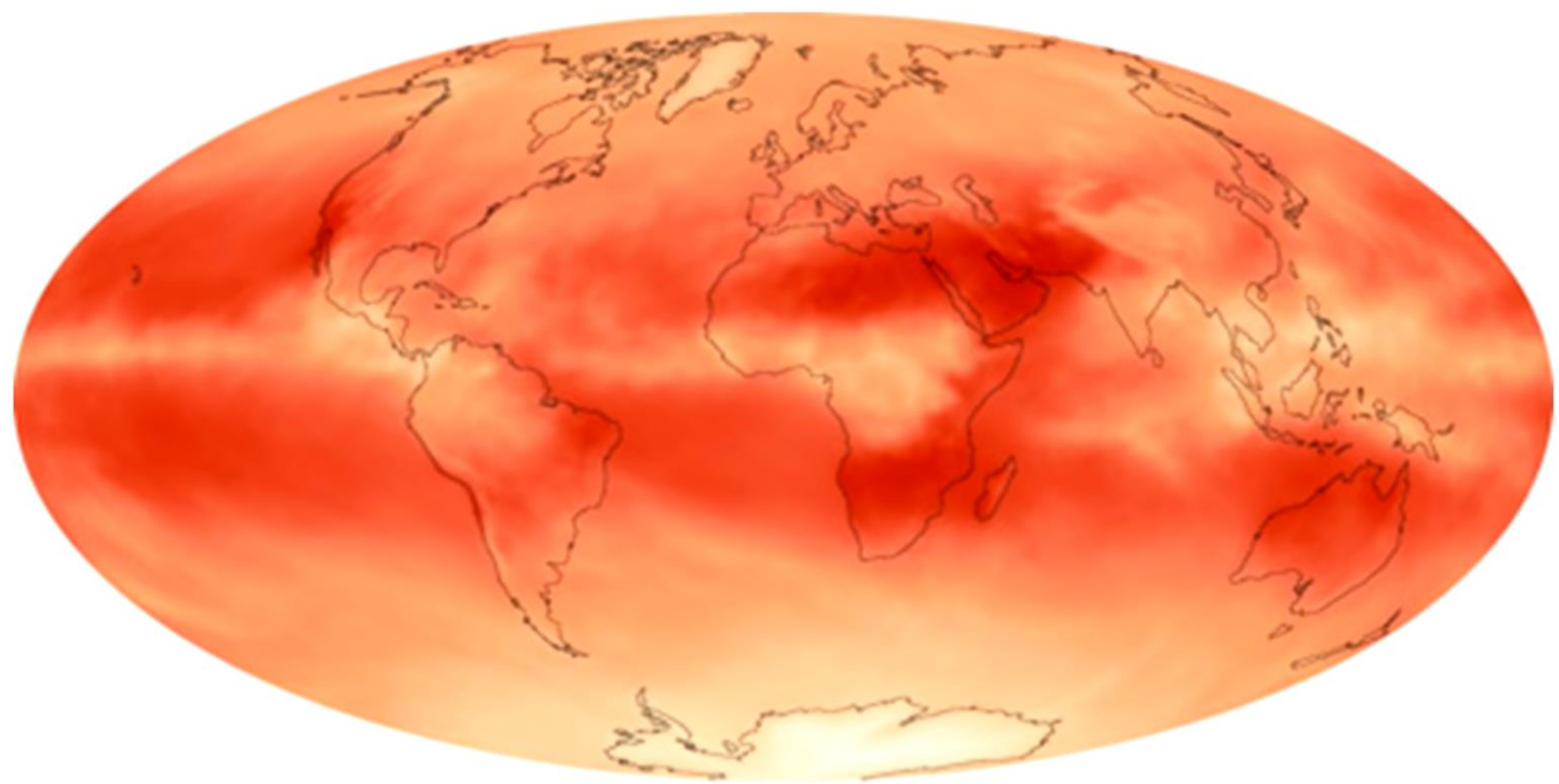
23% (~ 80 W/m<sup>2</sup>)

- H<sub>2</sub>O (vapeur d'eau)
- CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone)
- O<sub>3</sub> (ozone)
- CH<sub>4</sub> (méthane)
- N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote)



### III/ Le Bilan radiatif

## 3 Le filtre atmosphérique

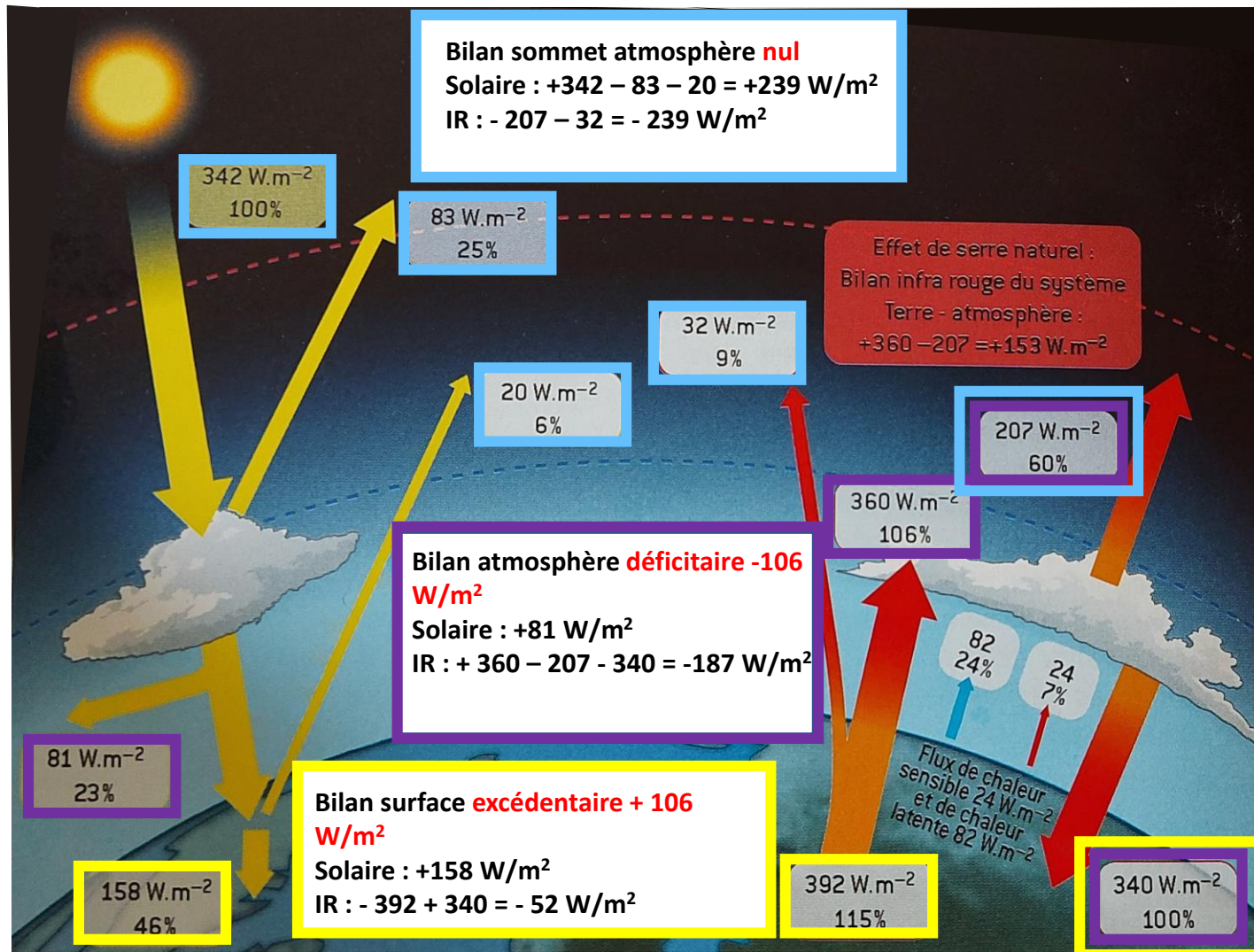


Rayonnement Infrarouge Emis par la Terre ( $W/m^2$ )



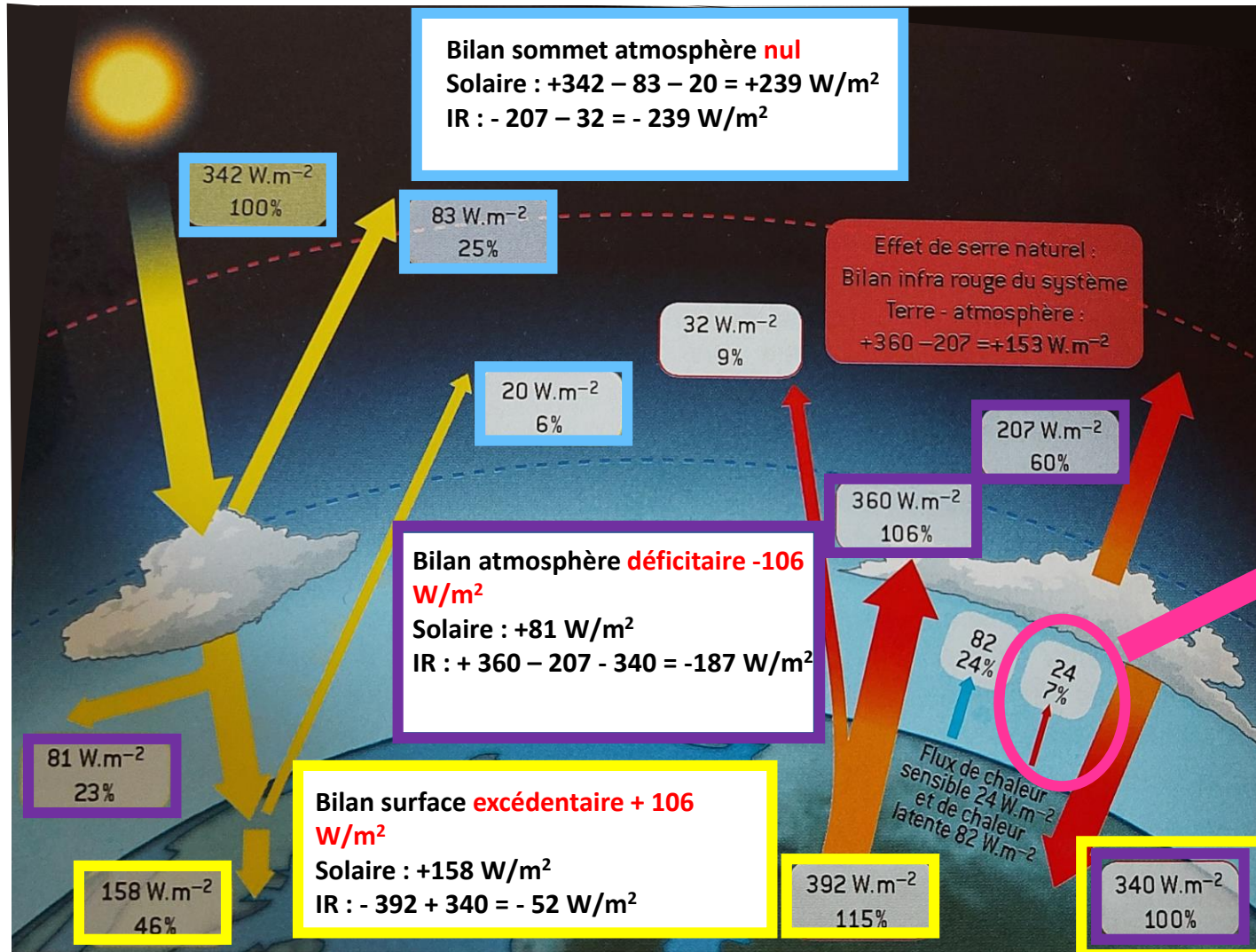
### III/ Le Bilan radiatif

## 4 Equilibre énergétique



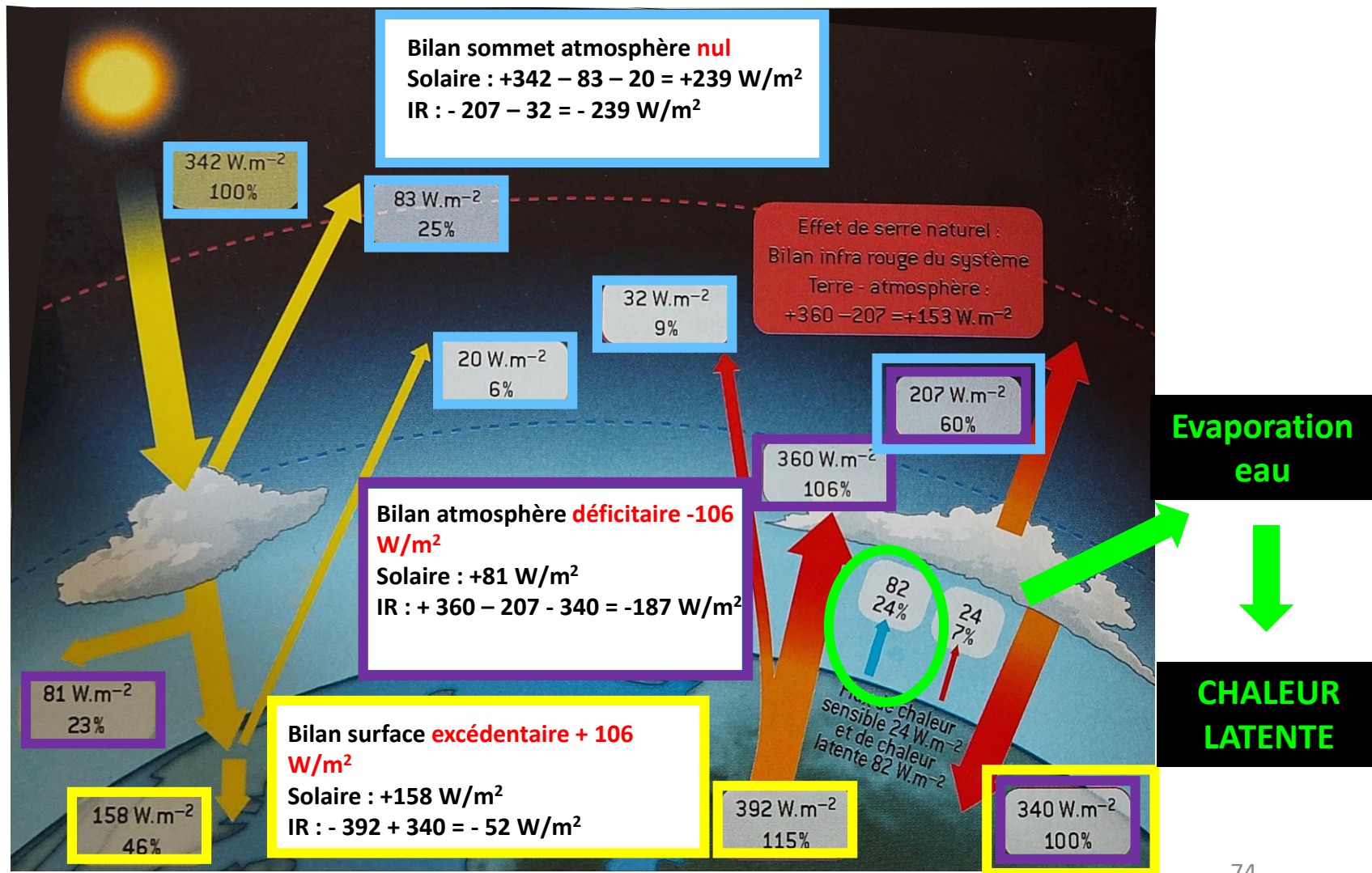
### III/ Le Bilan radiatif

## 4 Equilibre énergétique



### III/ Le Bilan radiatif

## 4 Equilibre énergétique



## Conclusion – Acquisition des connaissances

### CM1 – ENERGIE SOLAIRE et BILAN RADIATIF

#### 1) Connaître le Rôle de l'Énergie solaire sur les Climats de la Terre

- Nature du rayonnement solaire
- Raisons expliquant la répartition hétérogène de ces rayonnements sur Terre



#### 2) Connaître les propriétés de l'Atmosphère

- Composition
- Propriétés/épaisseurs des couches atmosphériques (notamment Troposphère et Stratosphère)

#### 3) Savoir expliquer le Bilan Radiatif et les mécanismes associés

- Définition, rôle sur le maintien d'une température moyenne terrestre
- Connaître les paramètres impactant le Bilan radiatif (Albédo, Absorption de Surface, Filtre atmosphérique)
- Connaître les zones à fortes absorption et émissions de rayonnements, à fort albédo...



# Dynamique de l'Atmosphère

## Alison Pereira

*Photo agence spatiale Canada*