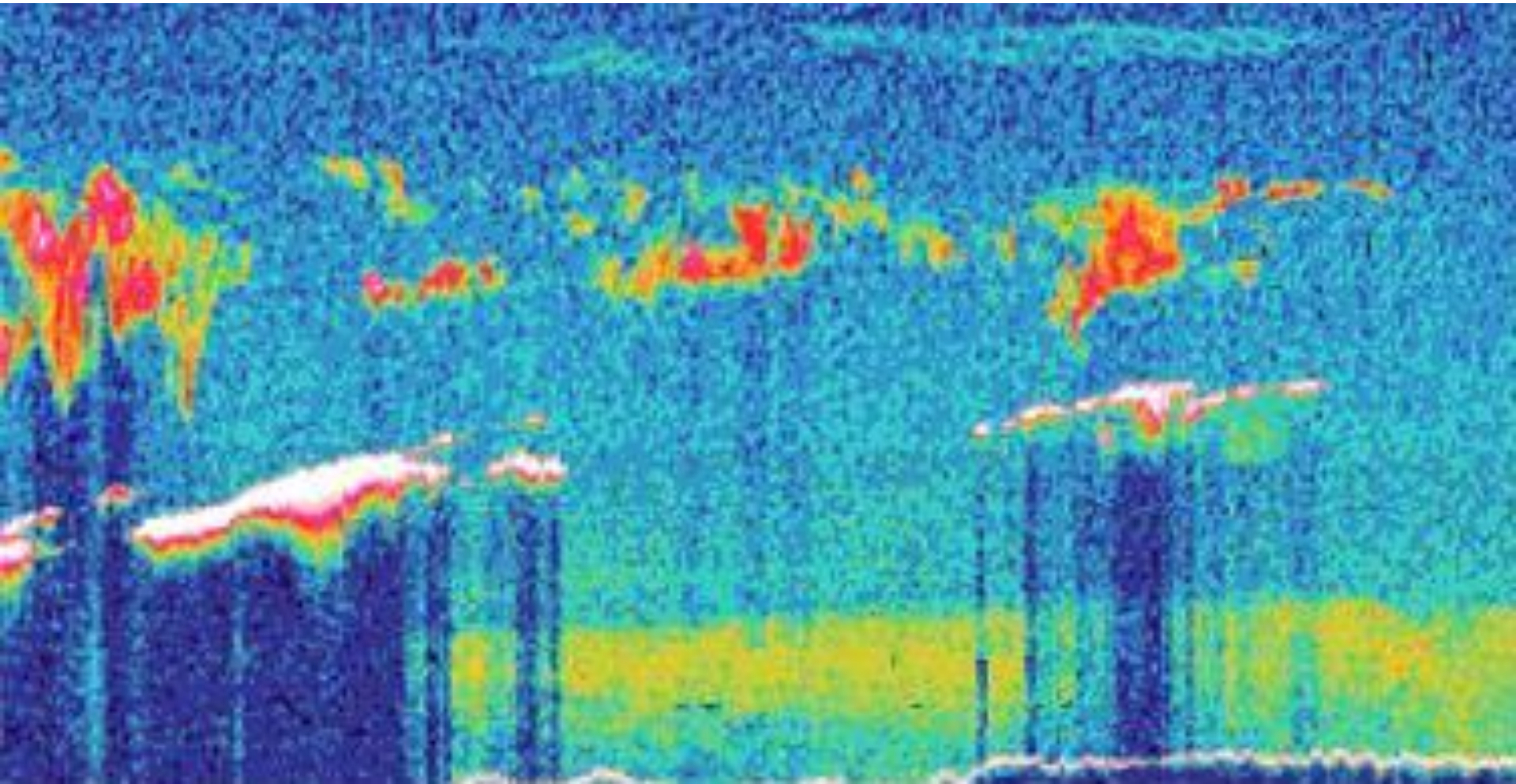


Impact des aérosols sur le réchauffement climatique



Les aérosols





Exemples de particules aérosols



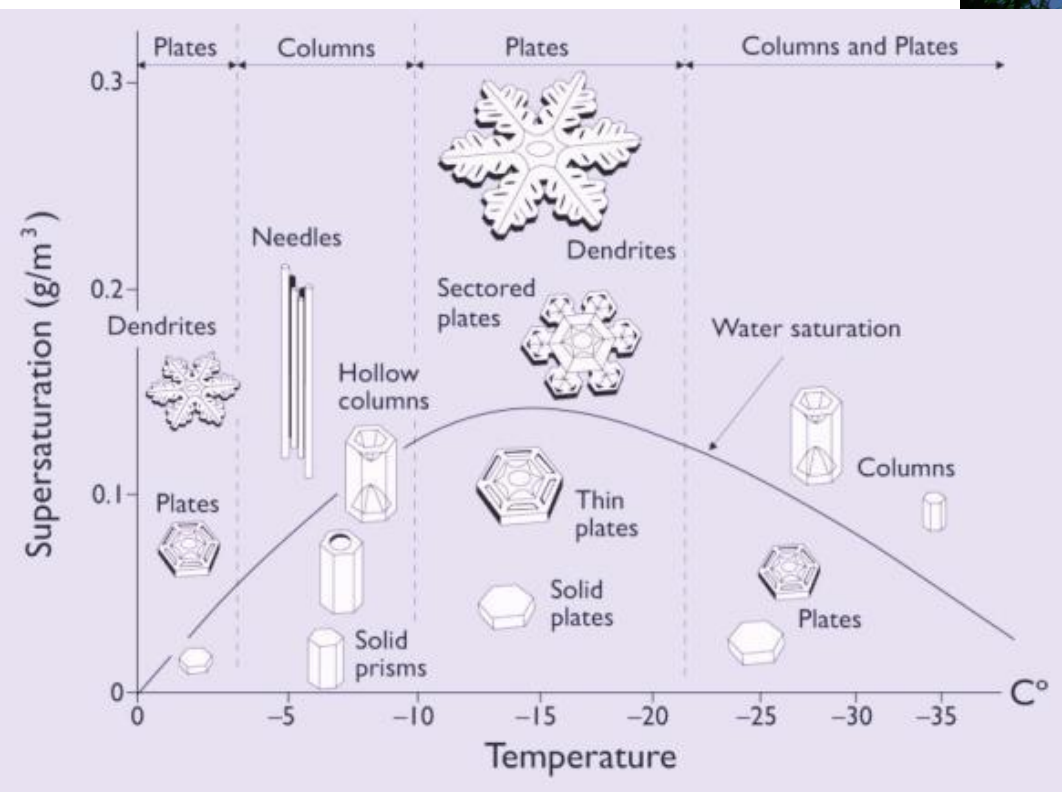
Petites particules : $1 \text{ nm} < d < 0,1 \text{ }\mu\text{m}$

Grosses particules : $0,1 \text{ }\mu\text{m} < d < 5 \text{ }\mu\text{m}$

Particules géantes : $5 \text{ }\mu\text{m} < d < 50 \text{ }\mu\text{m}$ environ

*Particules
solides ou liquides.*

Les cirrus sont des nuages d'altitude (10 km), formés de cristaux de glace.

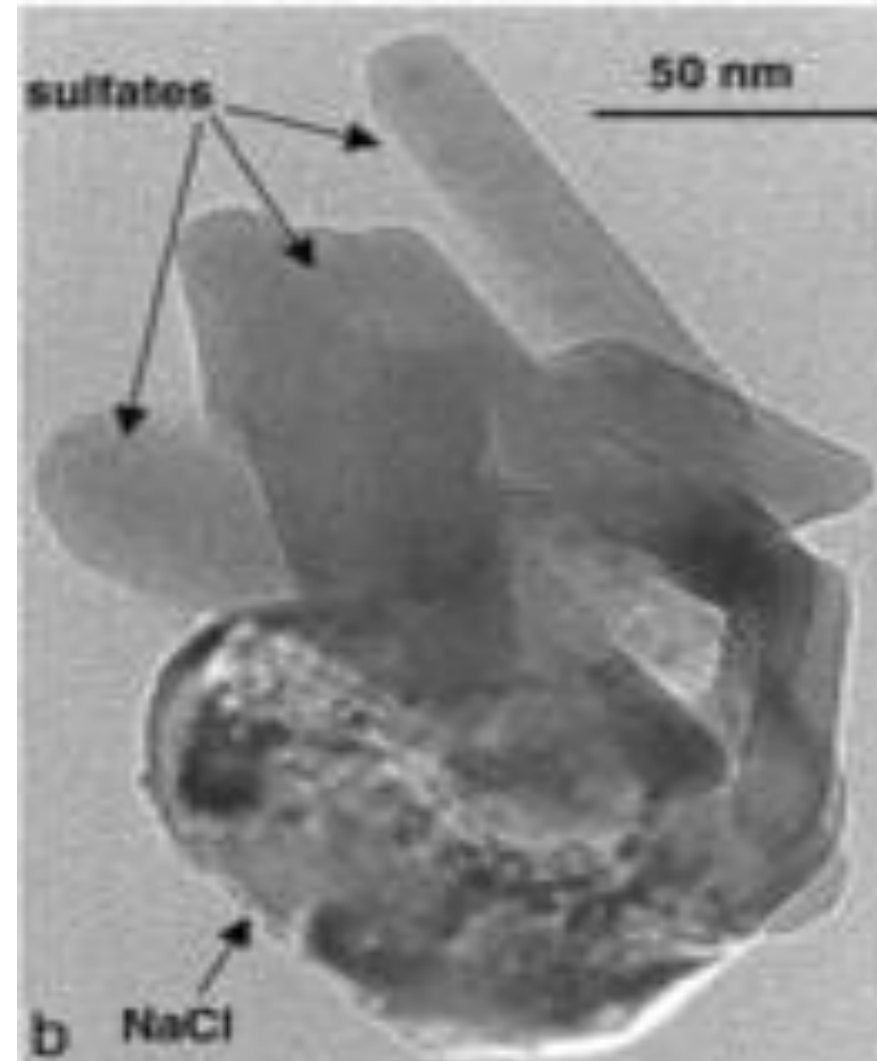


Les stratocumulus sont des nuages de moyenne altitude (5 km), formés de gouttes d'eau.

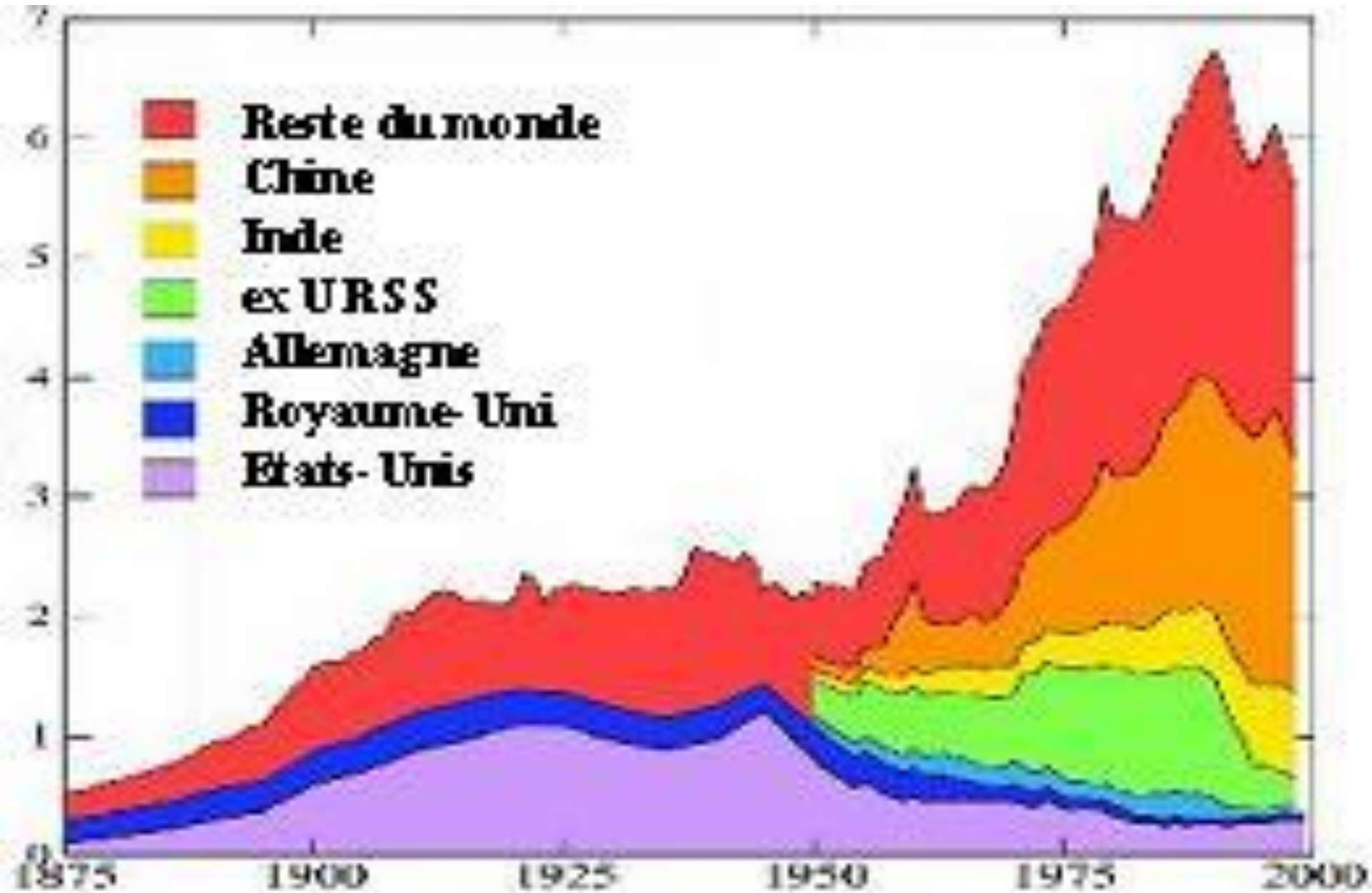


Mélange de sulfate et de suie (un « bloc » de suie est repéré par une flèche)

Sels de mer



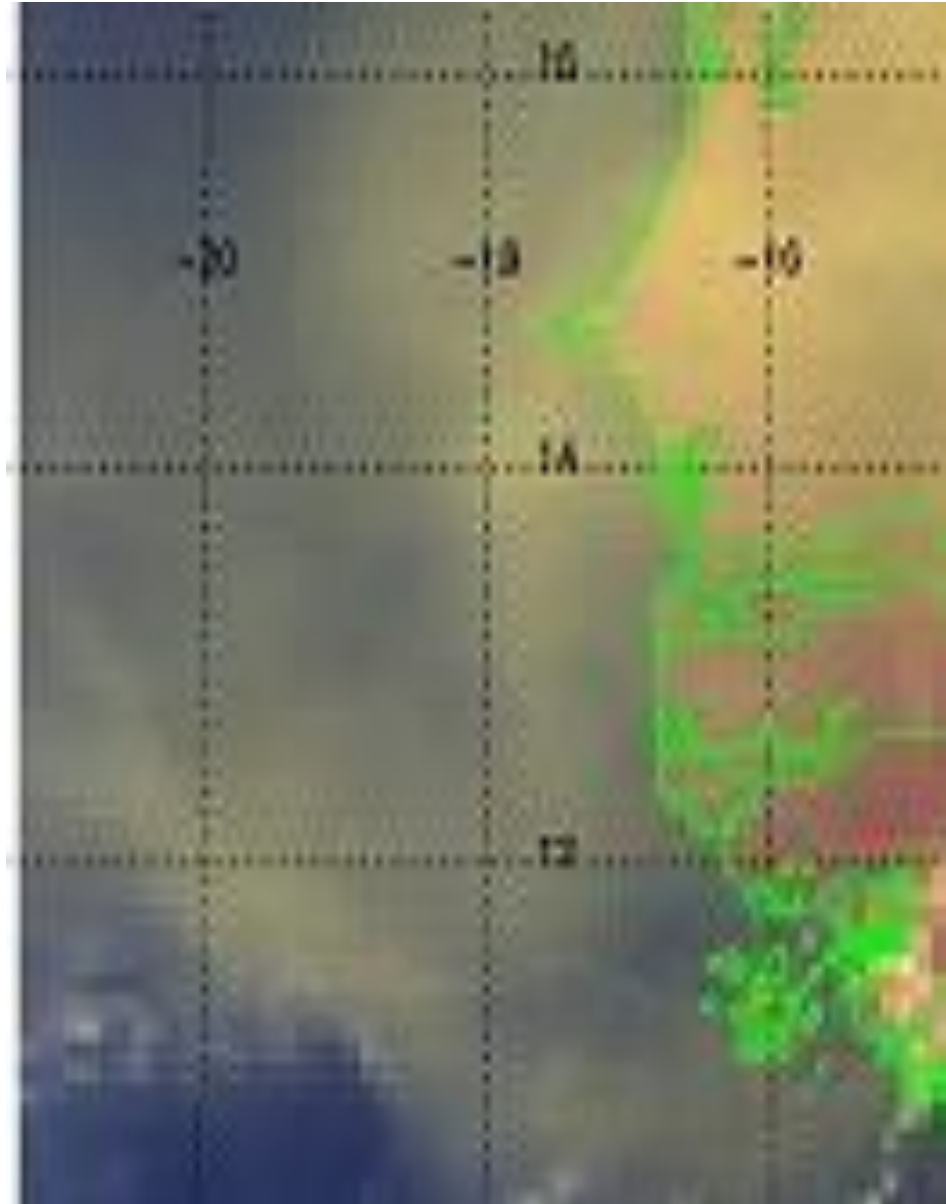
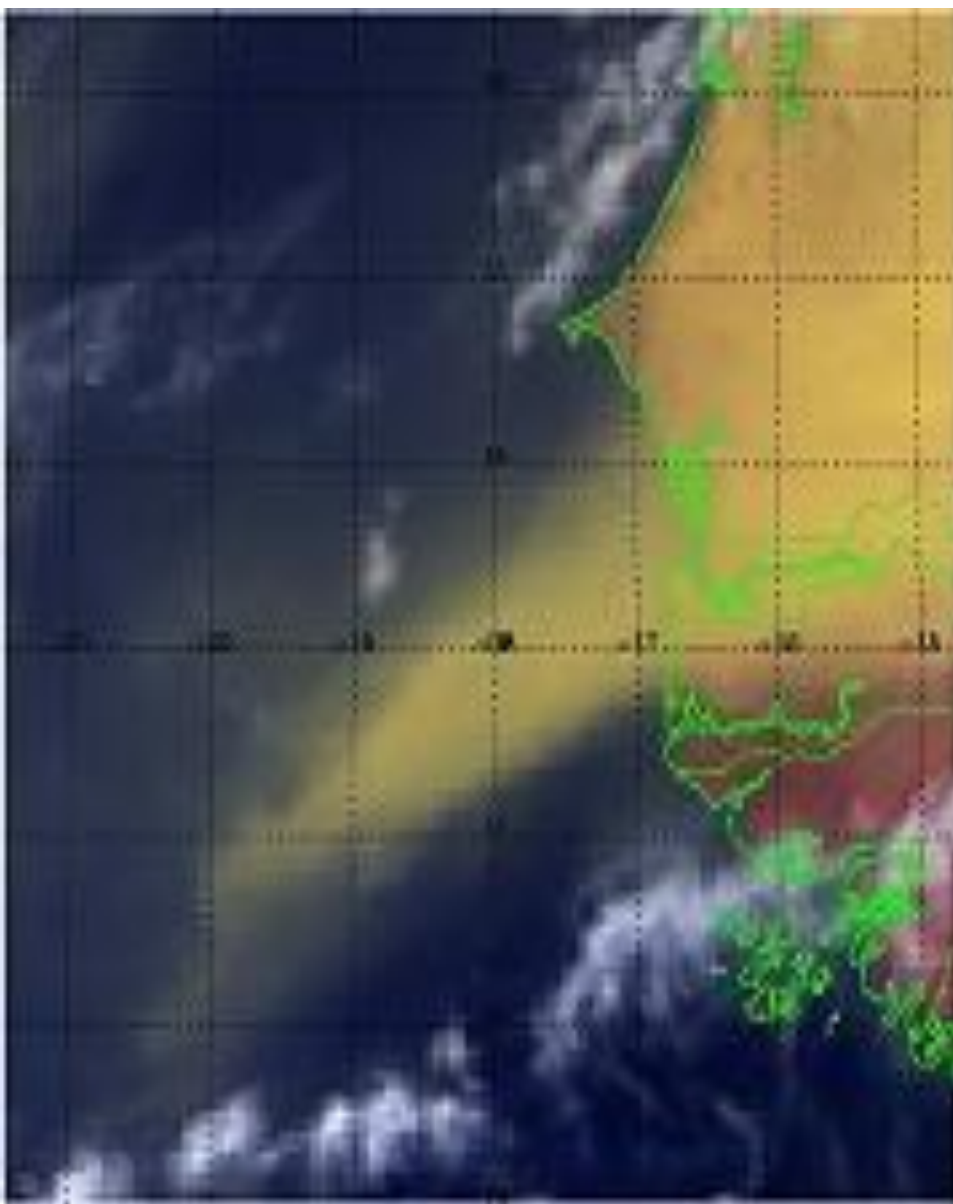
*Emission de suie (particules de carbone)
de 1875 à 2000 (en millions de tonnes par an)*



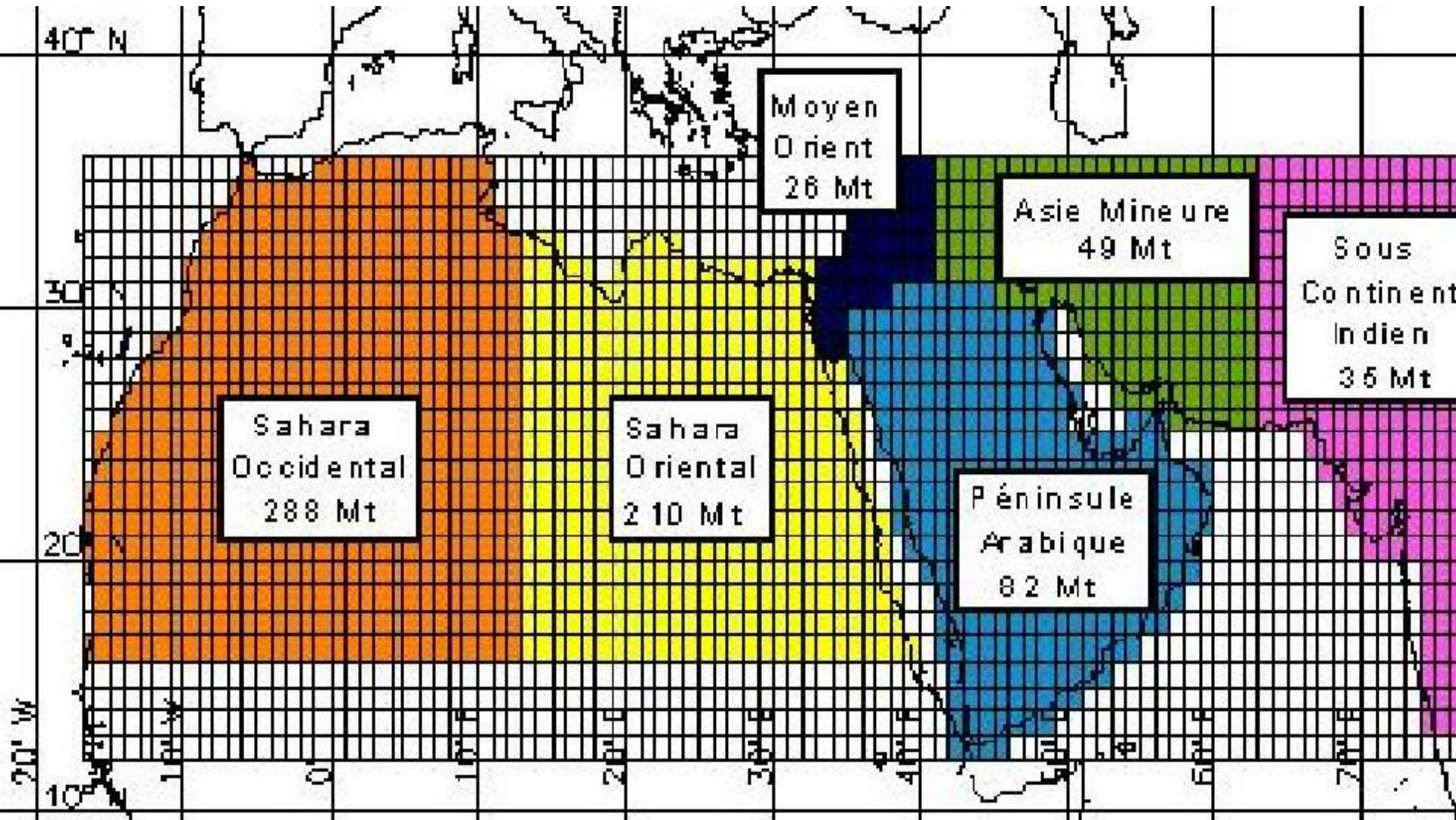
Si l'atmosphère peut être considérée avant tout comme une enveloppe gazeuse, elle renferme néanmoins d'énormes quantités de matière solide et liquide, les aérosols, dont le flux d'émission total annuel est estimé entre 3 et 10 milliards de tonnes.



© Yoshida/Unep/Bios



Emissions annuelles de poussières de différentes zones arides.



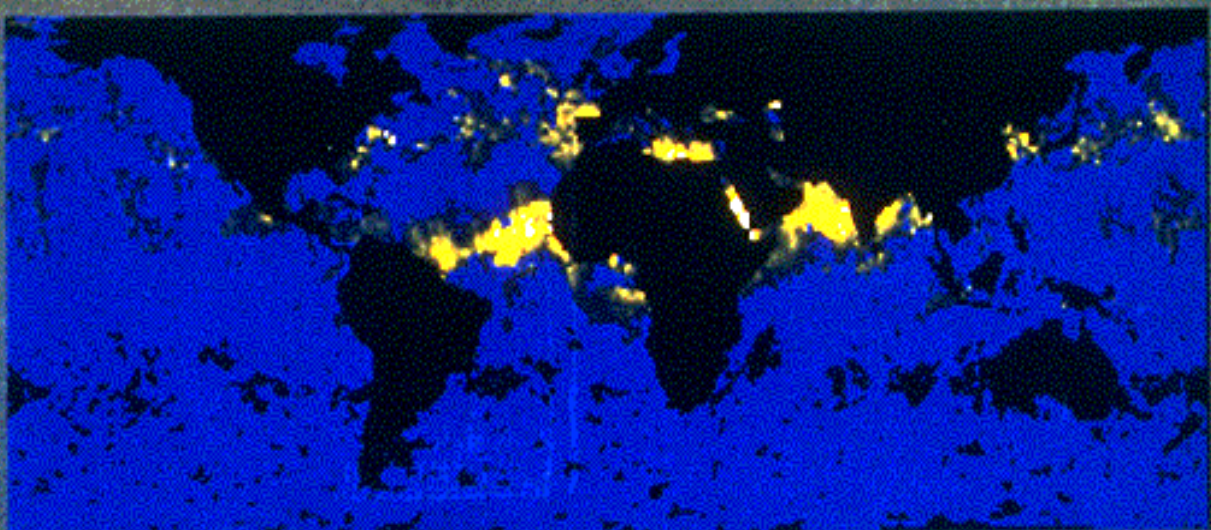




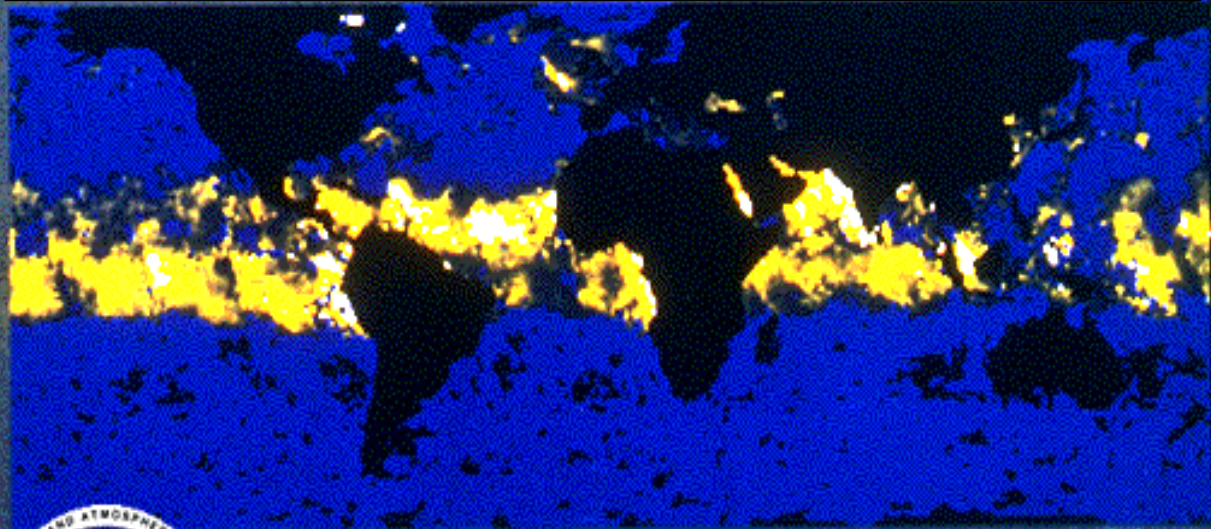
Le 12/06/1991 aux Philippines, le Pinatubo est entré en éruption alors qu'il était en sommeil depuis plus six siècles.

En tout, 20 millions de tonnes de dioxyde de soufre et de cendres sont montés à une altitude de 20 km et plus. A ces altitudes, les vents sont forts et le nuage peut faire plusieurs fois le tour de la planète.

22 jours après l'éruption principale, le nuage a réalisé le tour complet de la planète



Le 6 Juin 1991, avant l'éruption



*Le 7 Octobre 1991, après avoir réalisé
plusieurs fois le tour de la planète*

**Embruns
marins**

**SO₂ émis
par les volcans**

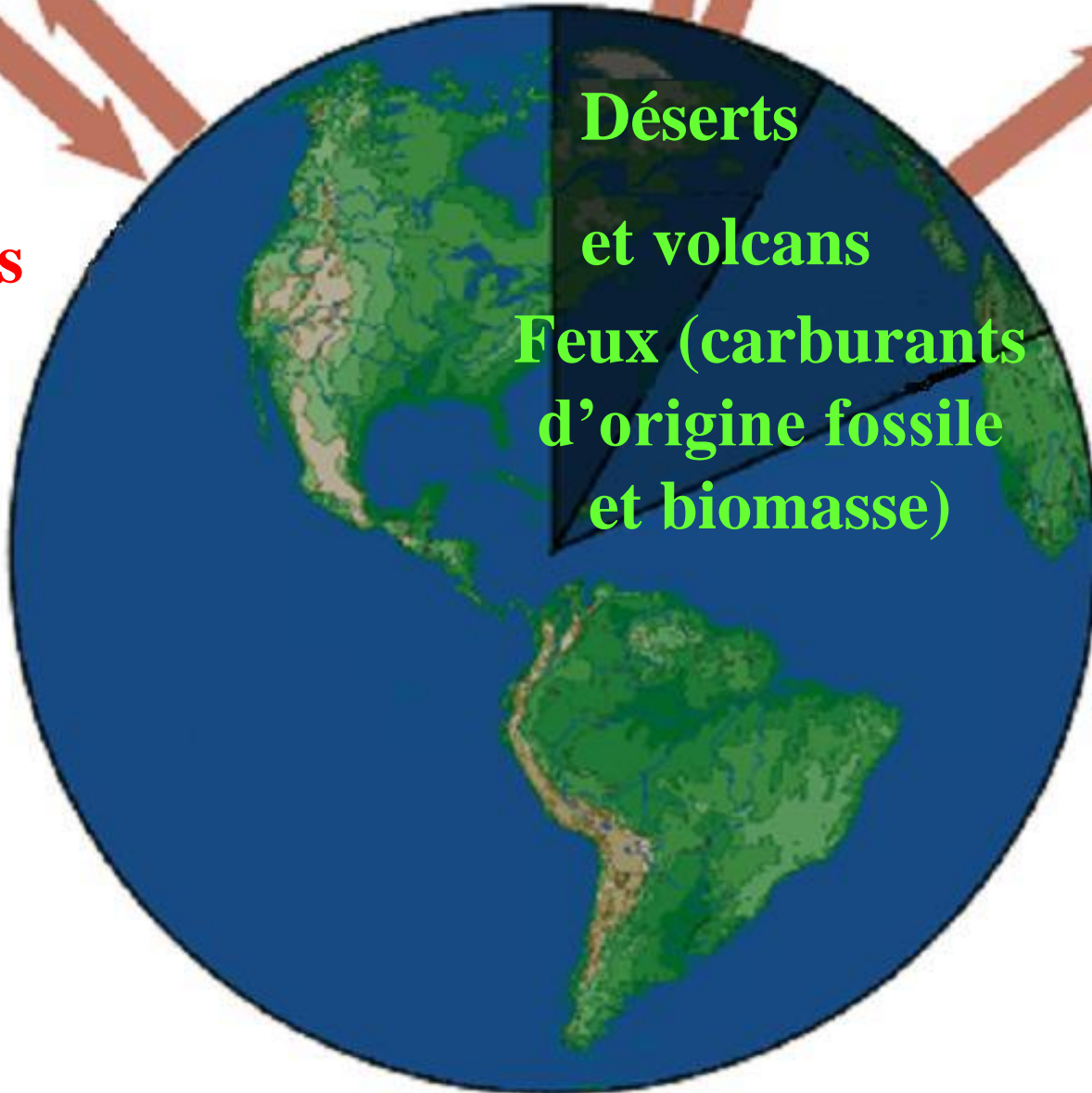
**Nuages de poussières
poussés par les vents**

**Nuages
et pluies**

**Déserts
et volcans**

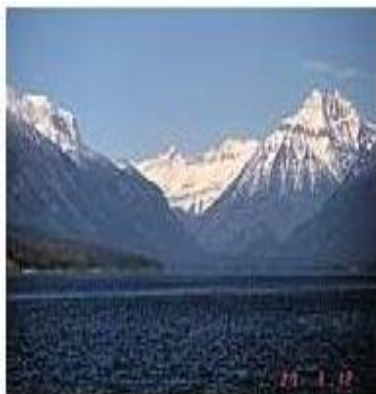
**Suies
et fumées**

**Feux (carburants
d'origine fossile
et biomasse)**

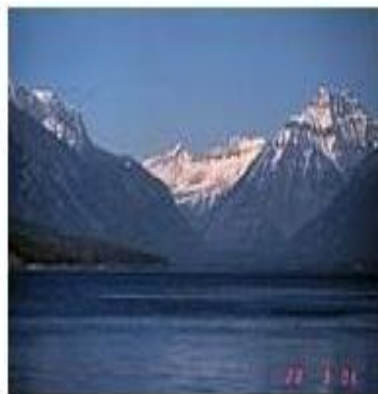




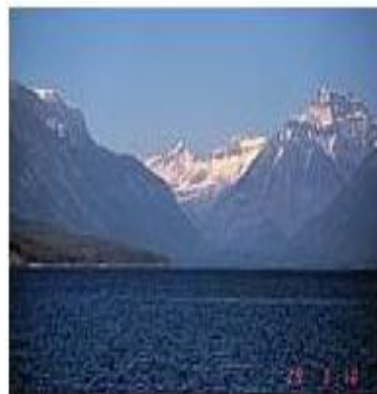




*Visibilité
supérieure
à 350 km
Moins de 1%
du temps*



*Visibilité
comprise entre
200 et 350 km
De 10% à 25%
du temps*



*Visibilité
comprise entre
130 et 170 km
De 40% à 60%
du temps*

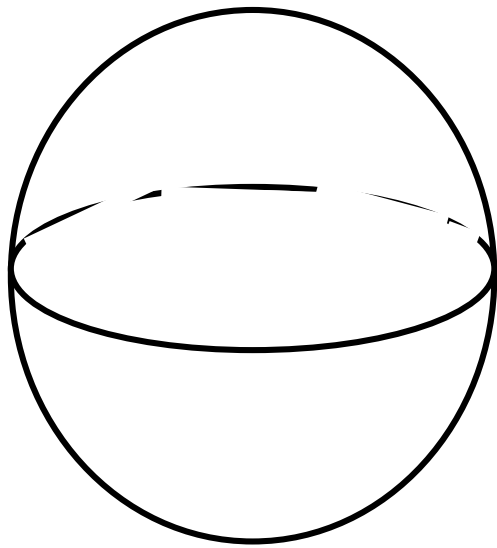


*Visibilité
comprise entre
60 et 100 km
De 10% à 25%
du temps*



*Visibilité
inférieure
à 60 km
Moins de 1%
du temps*

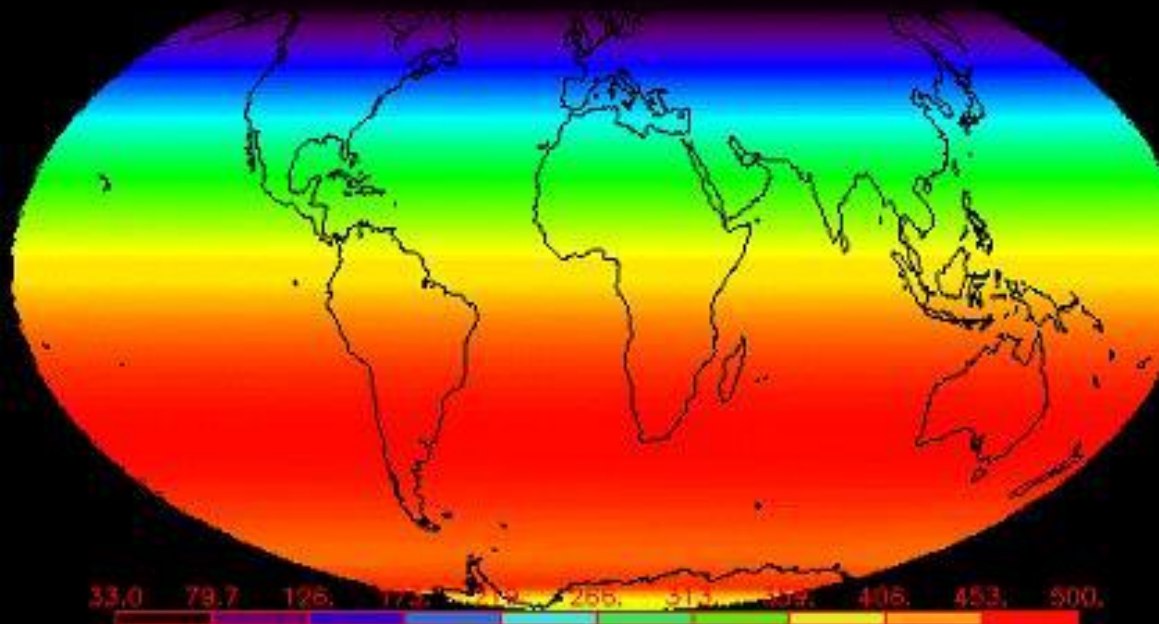
*La Terre reçoit
son énergie du Soleil*



*Constante
solaire
1368 W/m²*

La surface du globe terrestre est égale à $4 \cdot \pi \cdot R^2$, c'est-à-dire 4 fois supérieure à la section de la Terre : le flux solaire moyen qui atteint le sommet de l'atmosphère a donc pour valeur 342 W/m^2

NOAA/NESDIS RADIATION BUDGET MONTHLY MEAN: NOAA17 AVAL SW (W/m²) 1/2004

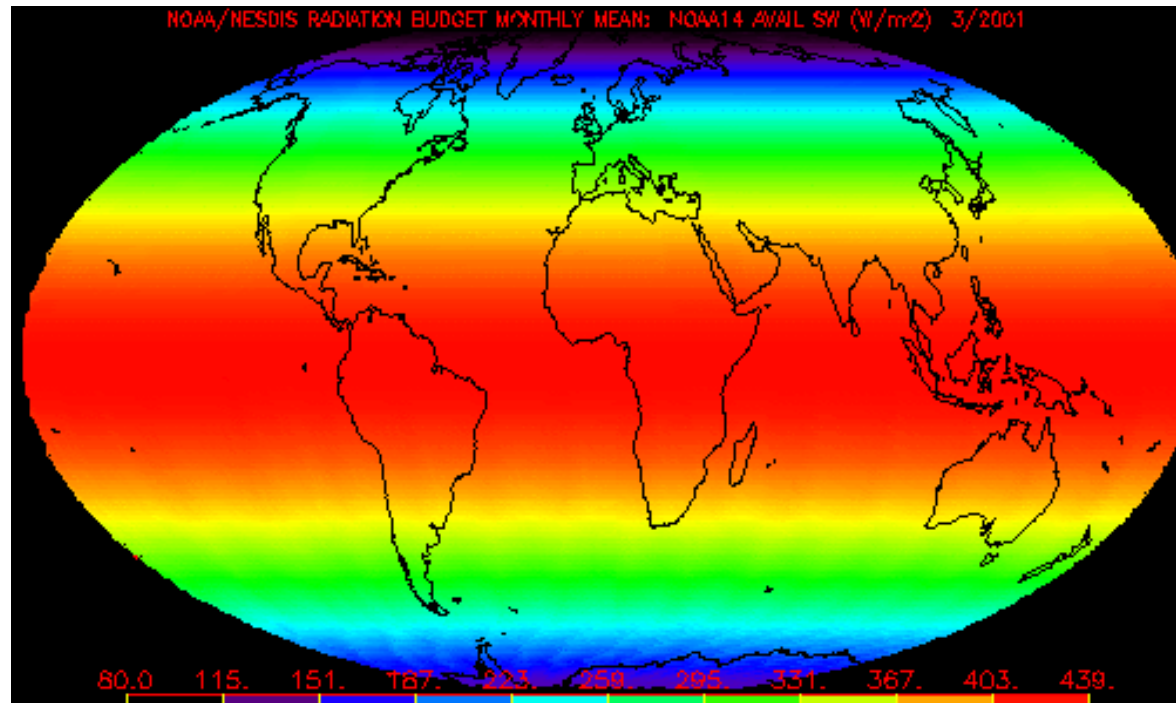


**Energie solaire
exprimée en W/m²
arrivant sur Terre
en moyenne**

**Données issues du
satellite NOAA-17.**

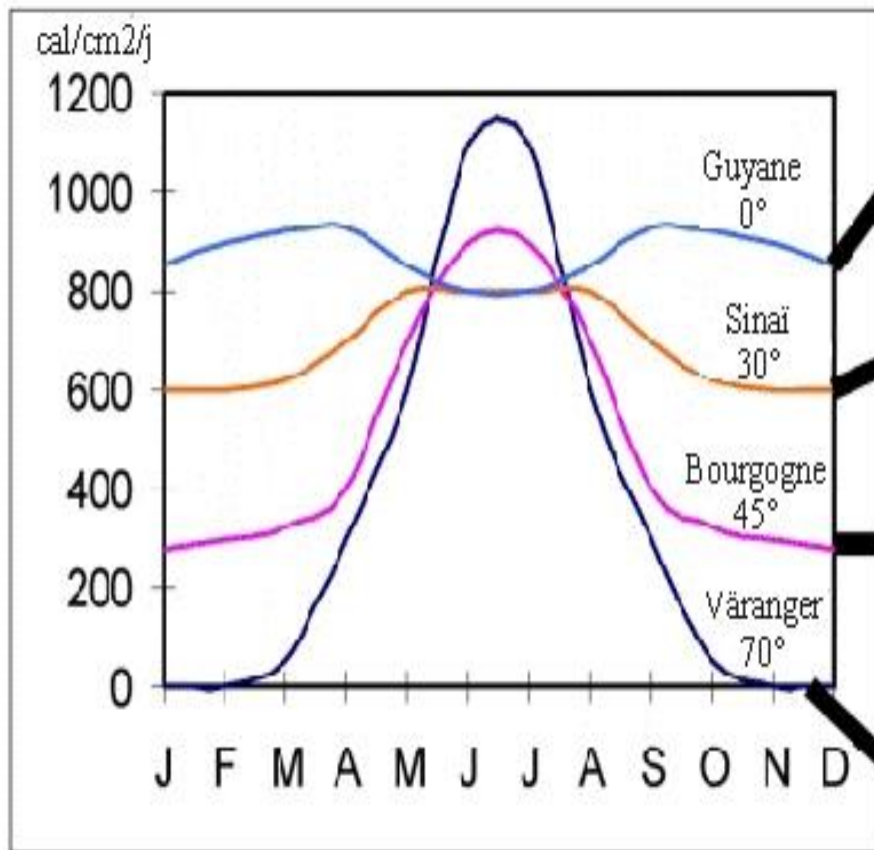
Janvier 2004.

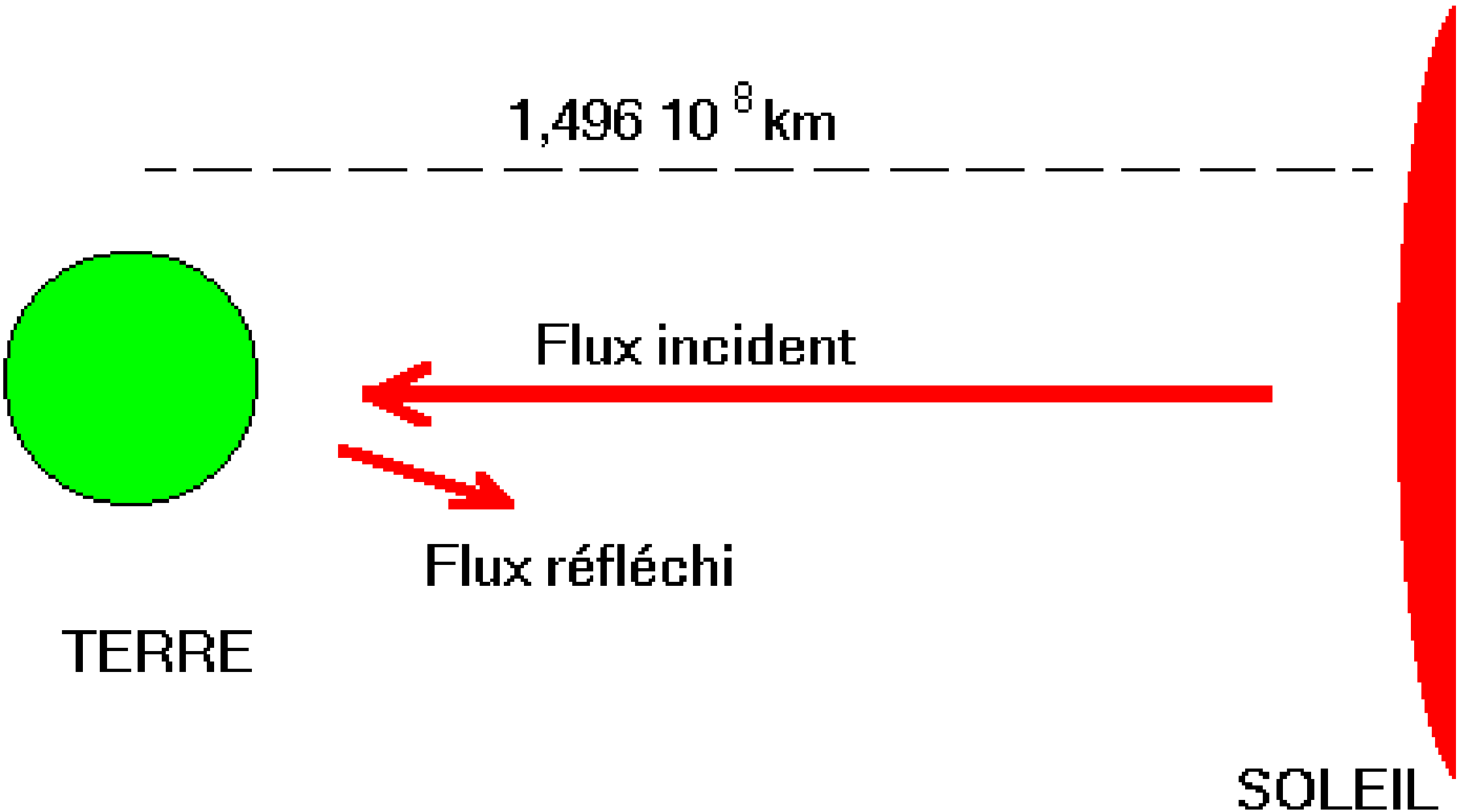
NOAA/NESDIS RADIATION BUDGET MONTHLY MEAN: NOAA14 AVAL SW (W/m²) 3/2001



Mars 2004.

Distribution du flux solaire annuel en fonction de la latitude





$1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$

Flux incident

Flux réfléchi

TERRE

SOLEIL

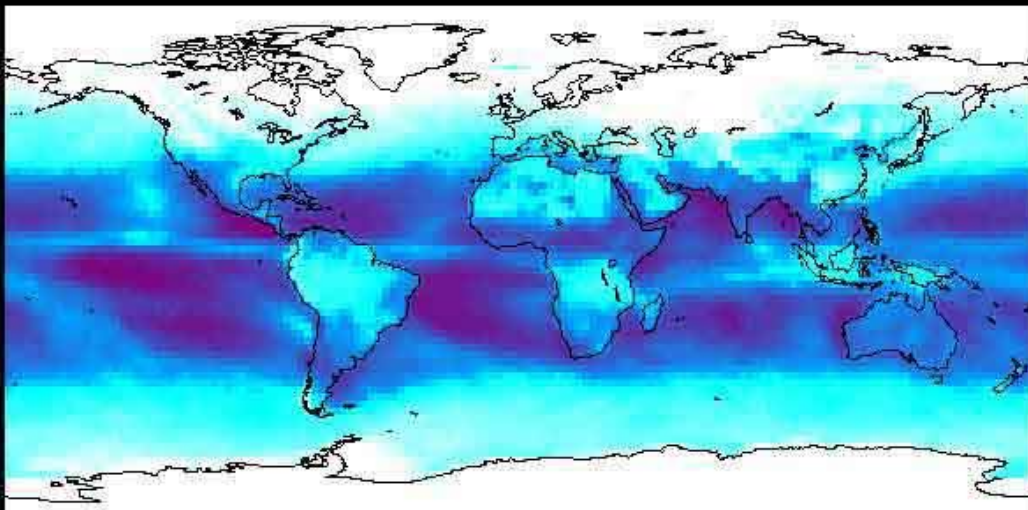
Le rapport Flux réfléchi / Flux incident est appelé albédo et est caractéristique de la surface soumise aux rayons solaires.

<i>Type de surface</i>	Neige	Nuage	Désert	Forêt	Océan	Zone urbaine
<i>Albedo</i>	0,8	0,7	0,3	0,1	0,05	0,15

<i>Type de surface</i>	Planète Terre
<i>Albedo</i>	0,3

JANVIER

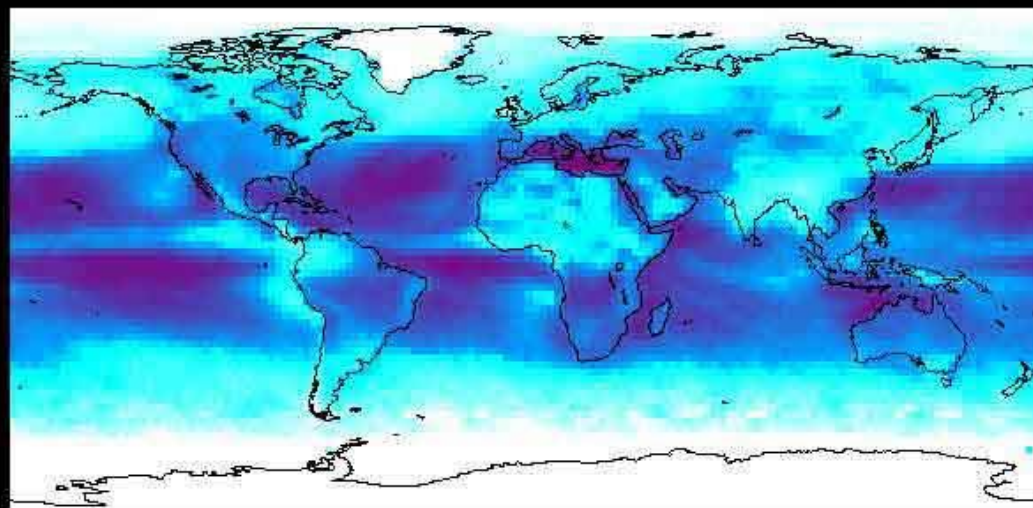
ALBEDO



10 20 30 40 50 60 70
0001 ERBE 07 36 \ \ 87501 000000 00.25

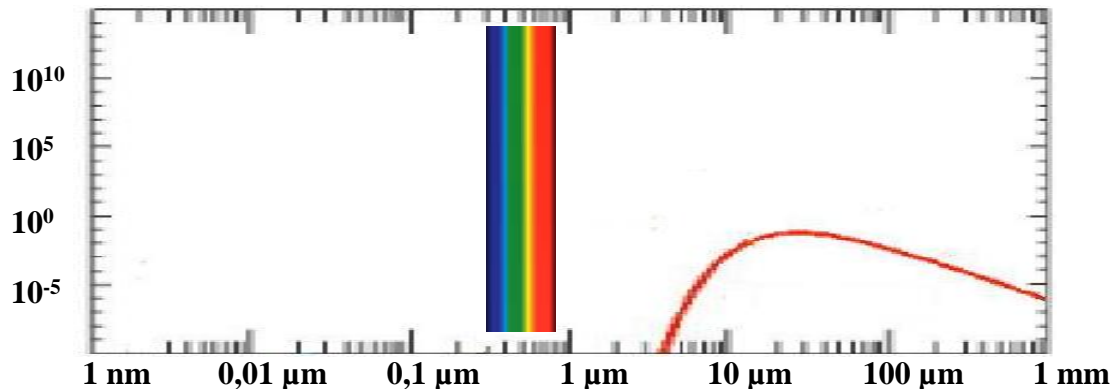
JUILLET

ALBEDO

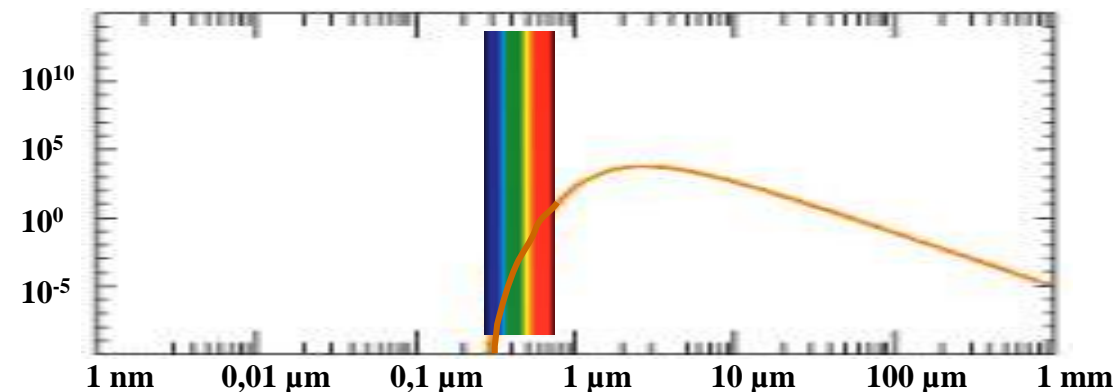


10 20 30 40 50 60 70
0007 ERBE 07 17 \ \ 86682 000000 00.25

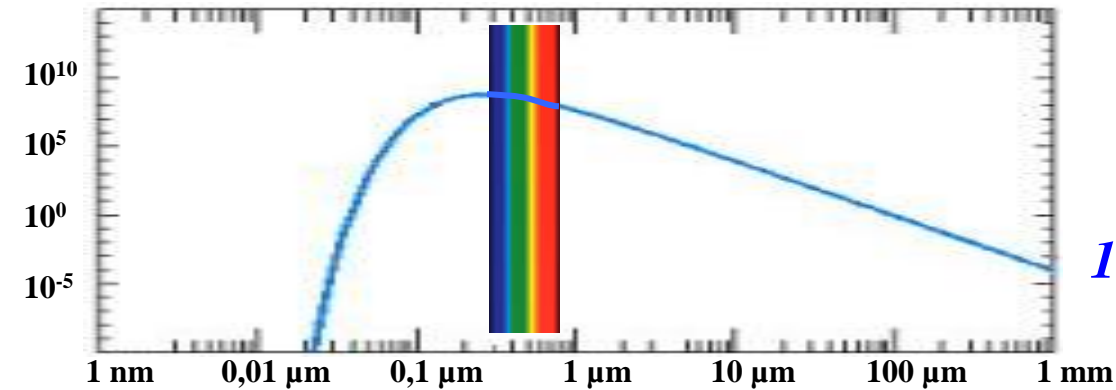
La Terre envoie de l'énergie vers l'espace



*Température
du corps noir
 $100\text{ K} = -173^\circ\text{C}$*



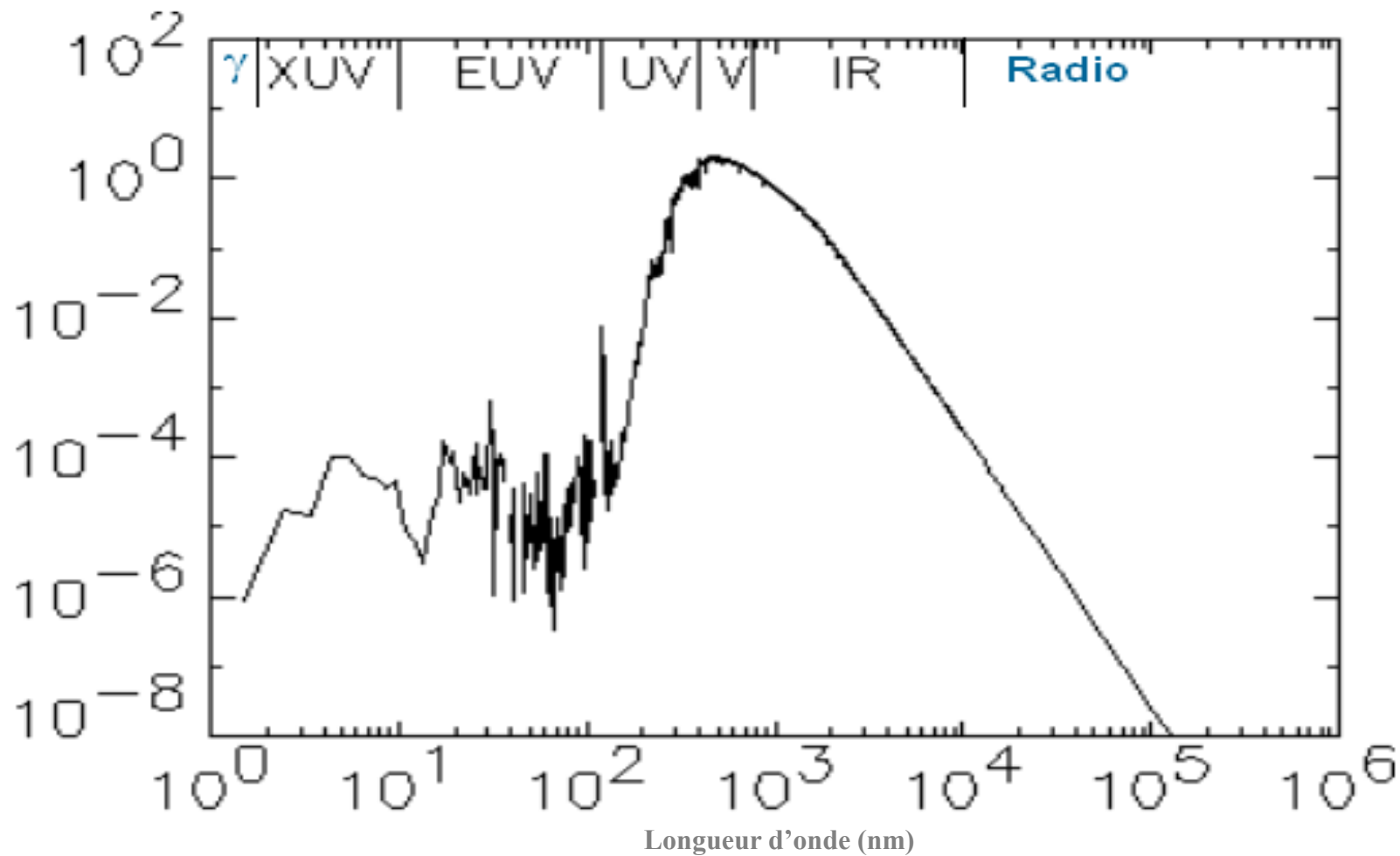
*Température
du corps noir
 $1\text{ 000 K} = 727^\circ\text{C}$*



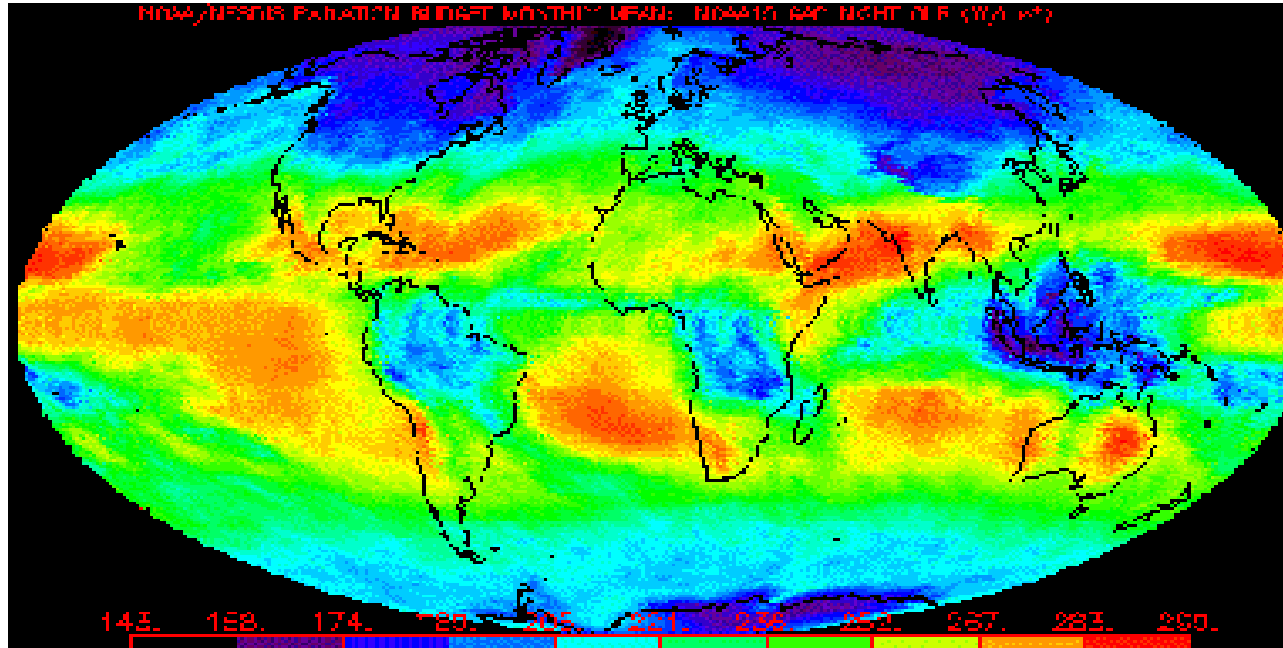
*Température
du corps noir
 $10\text{ 000 K} = 9\text{ 727}^\circ\text{C}$*

Les rayonnements visibles par l'œil humain

Eclair
ement
(Wm^{-2})

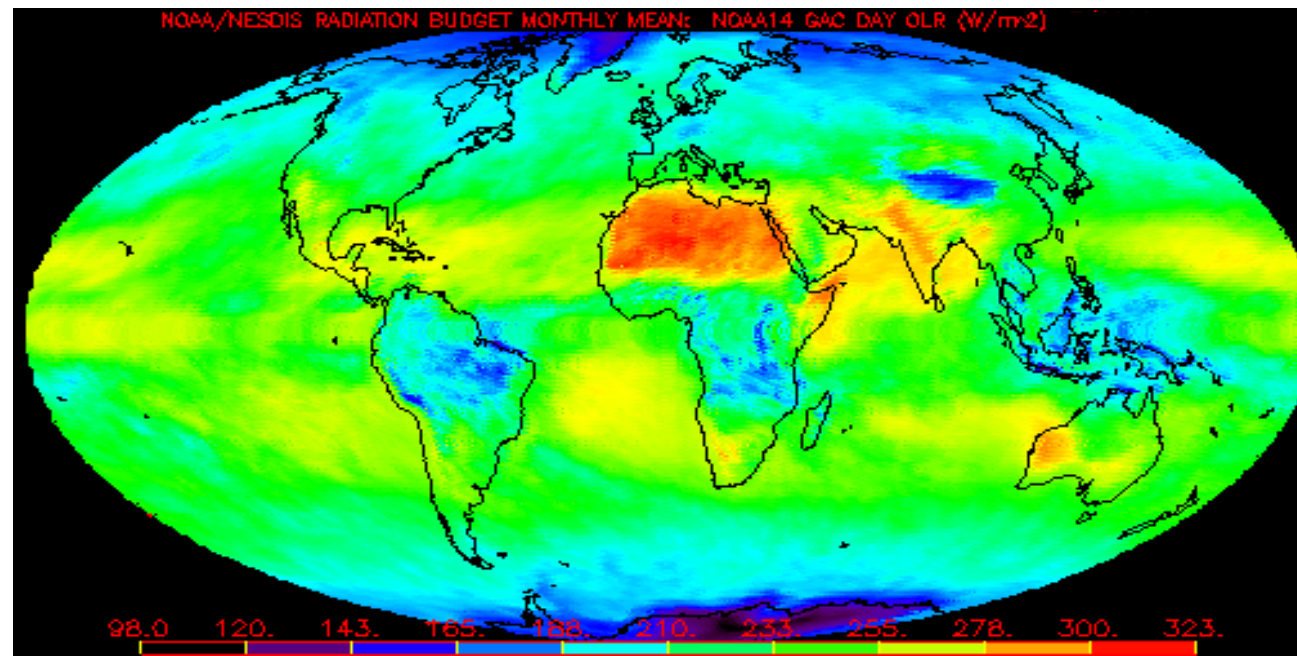


*Emission IR de la Terre exprimée en W/m^2 (Moyenne sur un mois)
Données issues des satellites NOAA. Source: NOAA.*



en Janvier

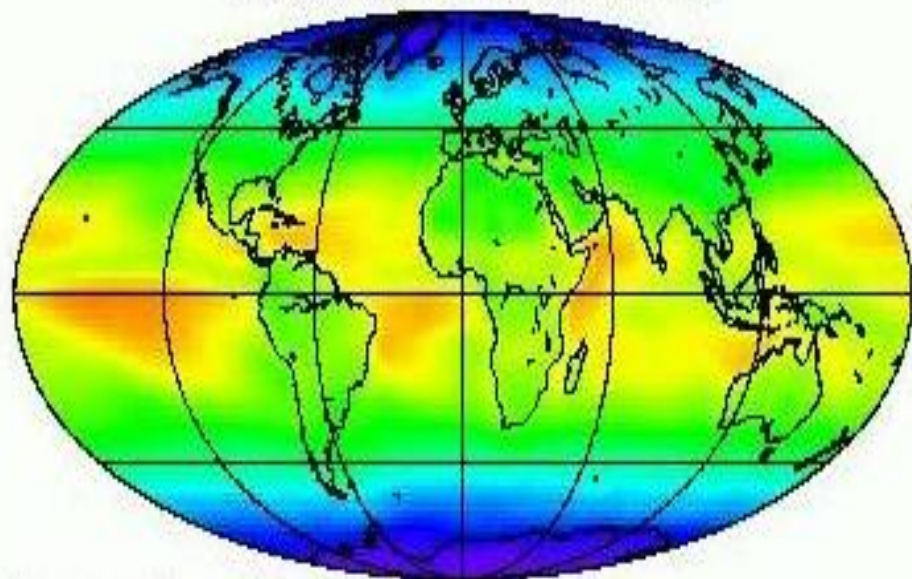
en Mars



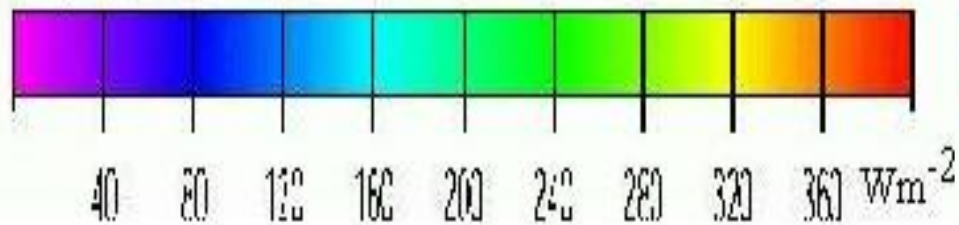
Bilan radiatif

Le bilan radiatif est la différence entre l'énergie solaire reçue et l'énergie émise par la terre (W/m²)

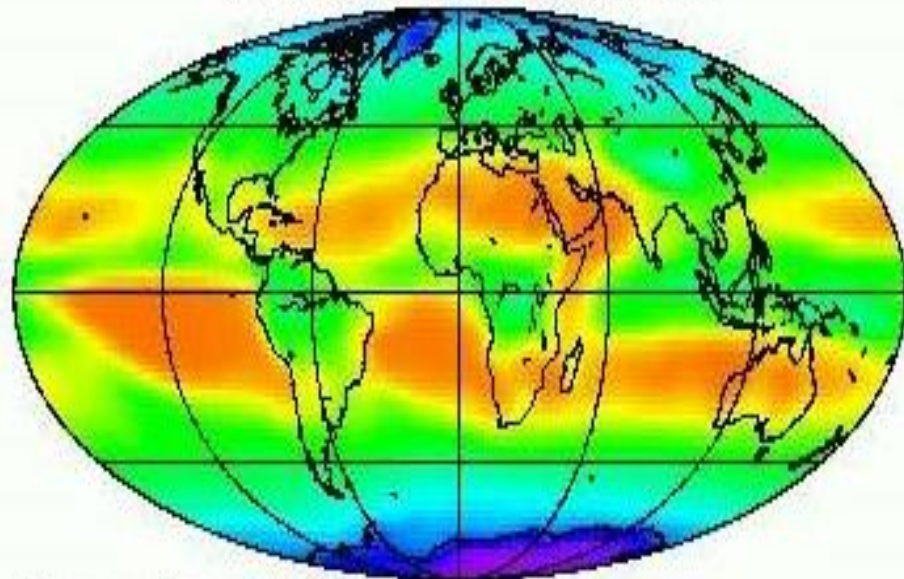
Puissance Solaire Absorbée



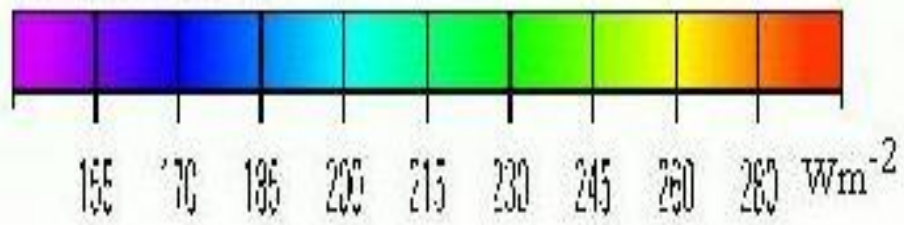
Moyenne Annuelle

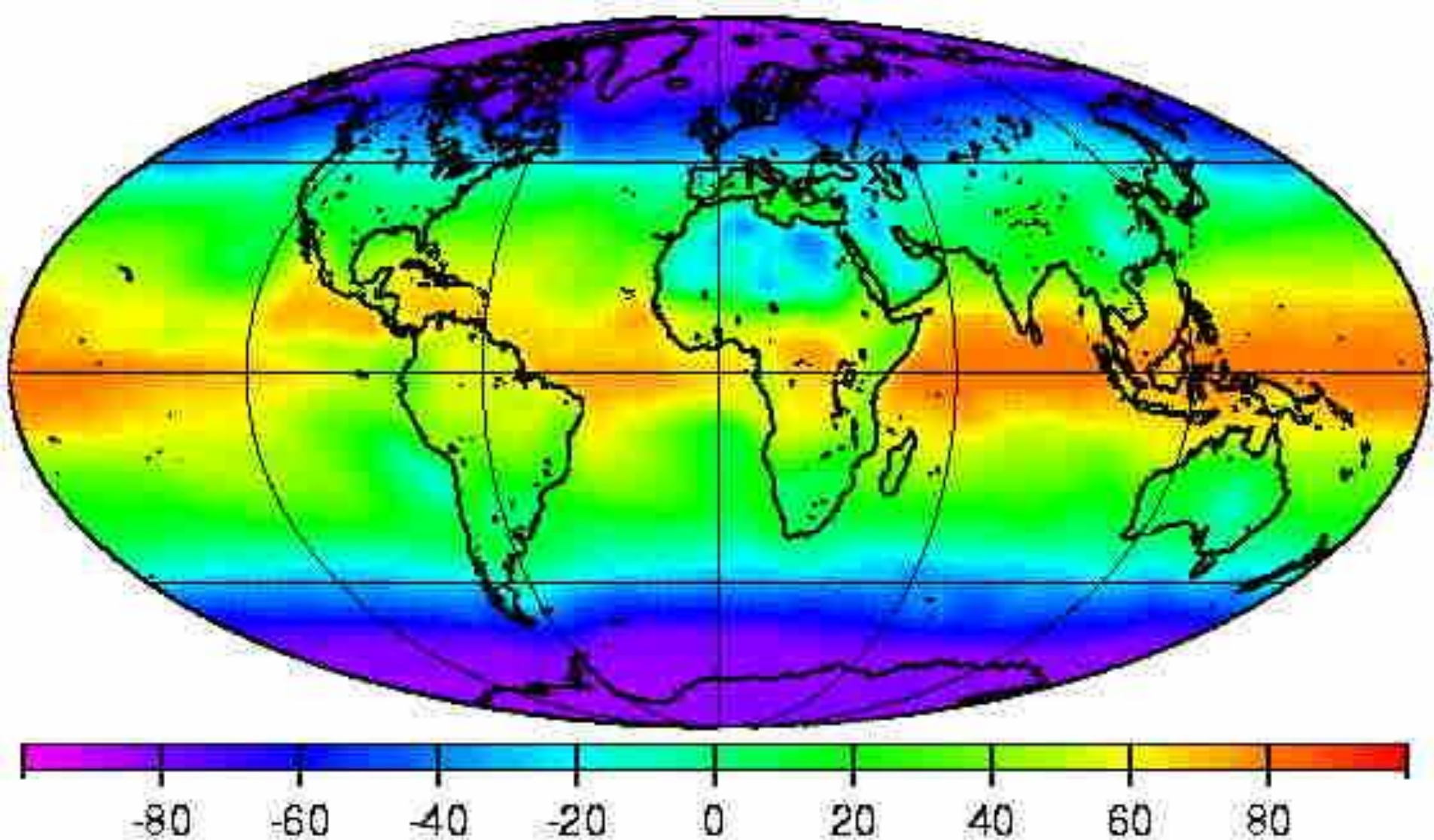


Puissance Infrarouge Émise

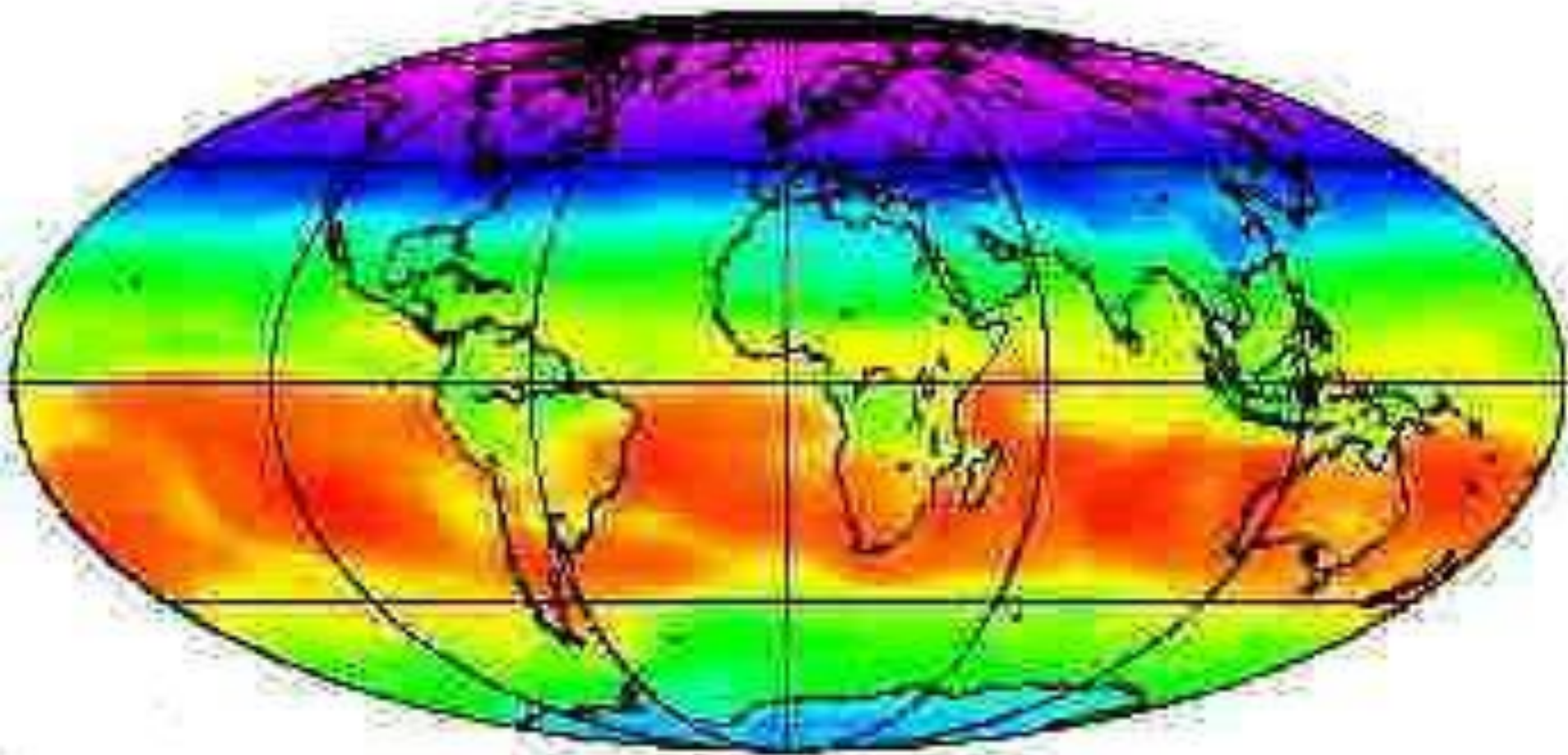


Moyenne Annuelle

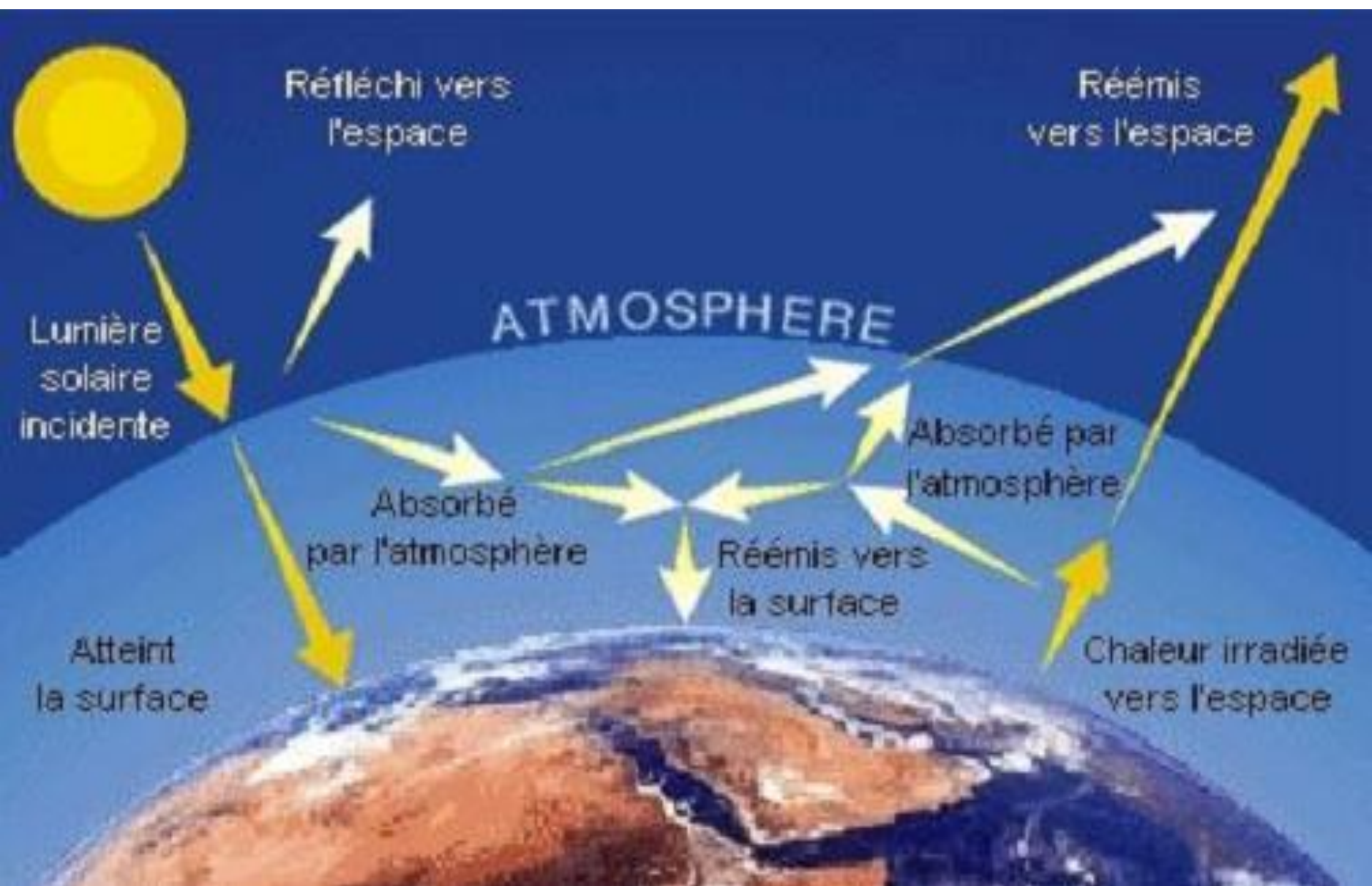




Bilan radiatif moyen annuel



Bilan radiatif moyen en Mars



Réfléchi vers l'espace

Réémis vers l'espace

ATMOSPHERE

Lumière solaire incidente

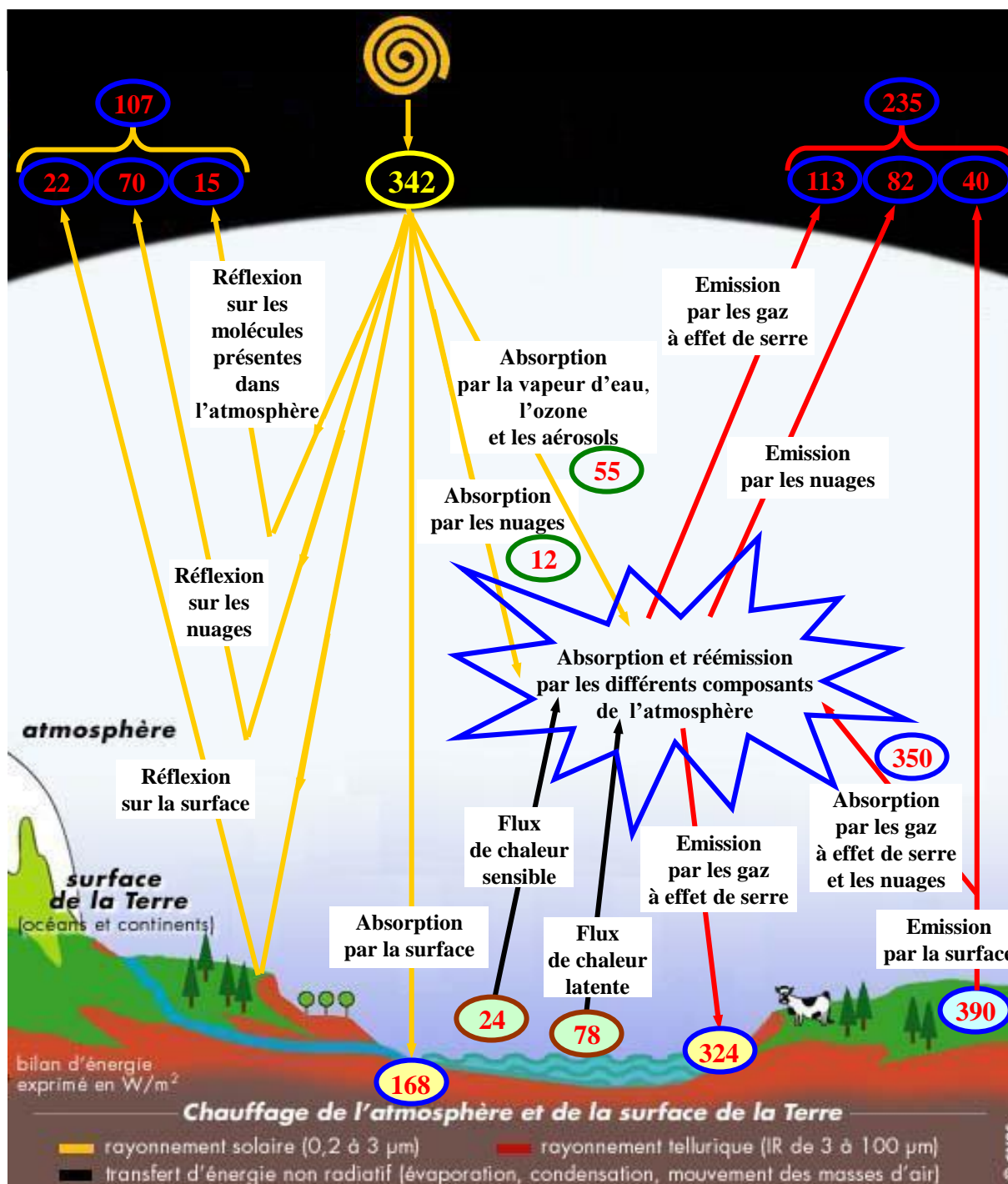
Absorbé par l'atmosphère

Absorbé par l'atmosphère

Réémis vers la surface

Atteint la surface

Chaleur irradiée vers l'espace



342

107

22

70

15

235

113

82

40

55

12

350

24

78

324

390

168

Réflexion sur les molécules présentes dans l'atmosphère

Réflexion sur les nuages

Réflexion sur la surface

Absorption par la vapeur d'eau, l'ozone et les aérosols

Absorption par les nuages

Absorption et réémission par les différents composants de l'atmosphère

Emission par les gaz à effet de serre

Emission par les nuages

Emission par les gaz à effet de serre

Absorption par les gaz à effet de serre et les nuages

Emission par la surface

Absorption par la surface

Flux de chaleur sensible

Flux de chaleur latente

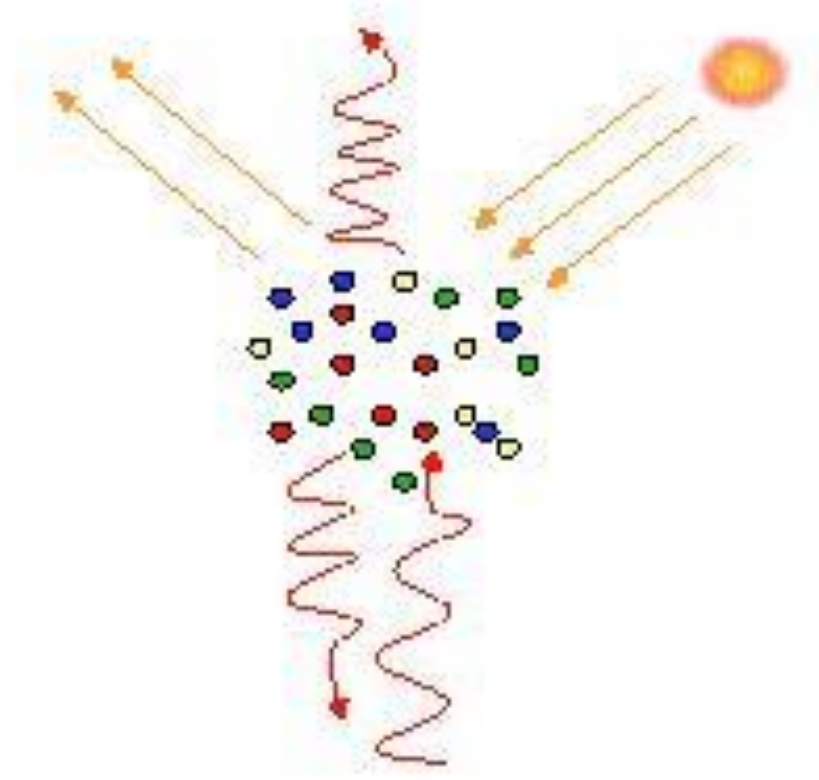
atmosphère

surface de la Terre (océans et continents)

Impact des aérosols



Effet direct des aérosols



L'effet direct est l'effet parasol évoqué plus haut. Il réside dans la diffusion, du rayonnement solaire par les particules. La diffusion est l'effet majeur aux longueurs d'ondes solaires dans le cas d'aérosols de pollution Il s'agit d'un effet refroidissant.



Après l'éruption du Mont Pinatubo aux Philippines en 1991, les observations ont montré que la température moyenne de notre planète avait baissé de $0,5^{\circ}\text{C}$.

Comme les aérosols peuvent absorber de façon plus ou moins importante le rayonnement solaire, ils modifient les profils de température et, par conséquent, ont un impact sur les conditions de formation des nuages, entraînant leur disparition ou modifiant leur extension géographique. C'est ce qu'on appelle **l'effet semi-direct**.

12 km



Ci



Cb

6 km



Cc



Cs

3 km



Ac



As



Cu

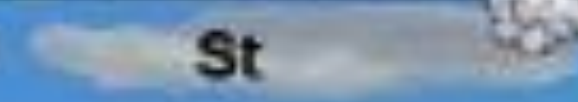
1,5 km



Ns



Sc



St

0 m





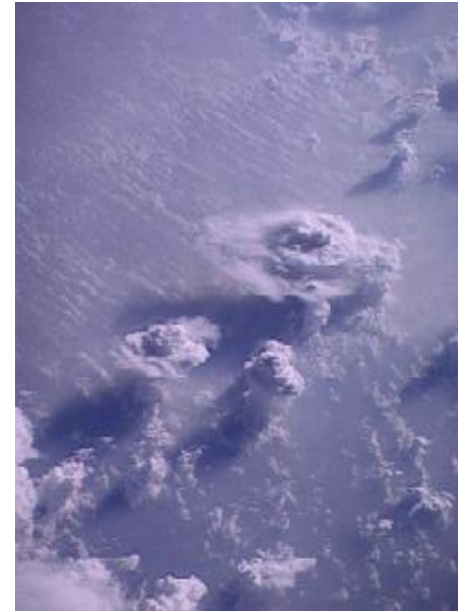
Nuages Hauts
Cirrus

Faible effet d'albédo
Fort effet infra-rouge



Nuages Bas
Stratocumulus

Fort effet d'albédo
Faible effet Infra-rouge

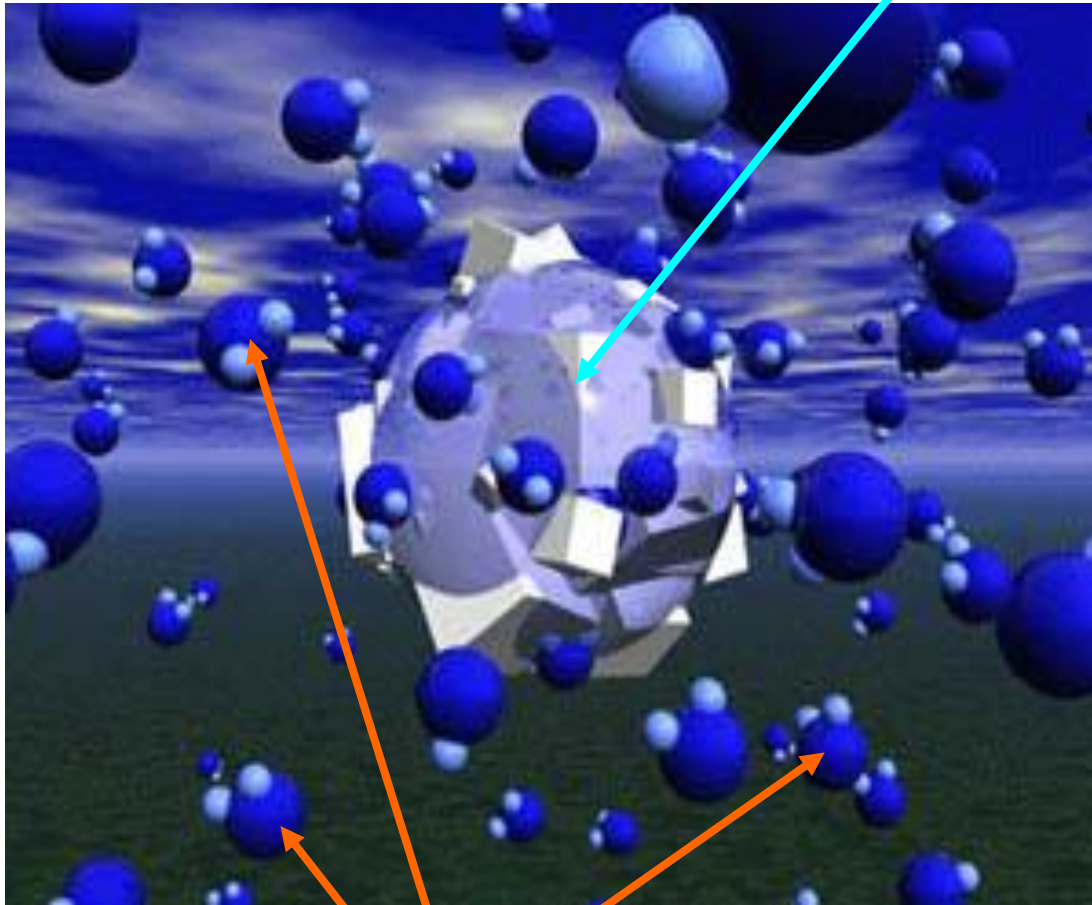


Nuages Convectifs
Cumulonimbus

Fort effet d'albédo
Fort effet Infra-rouge

L'effet indirect des aérosols résulte quant à lui des interactions entre aérosols et nuages, qui ont un impact fort sur le bilan énergétique de la Terre.

Particule solide en suspension dans l'air

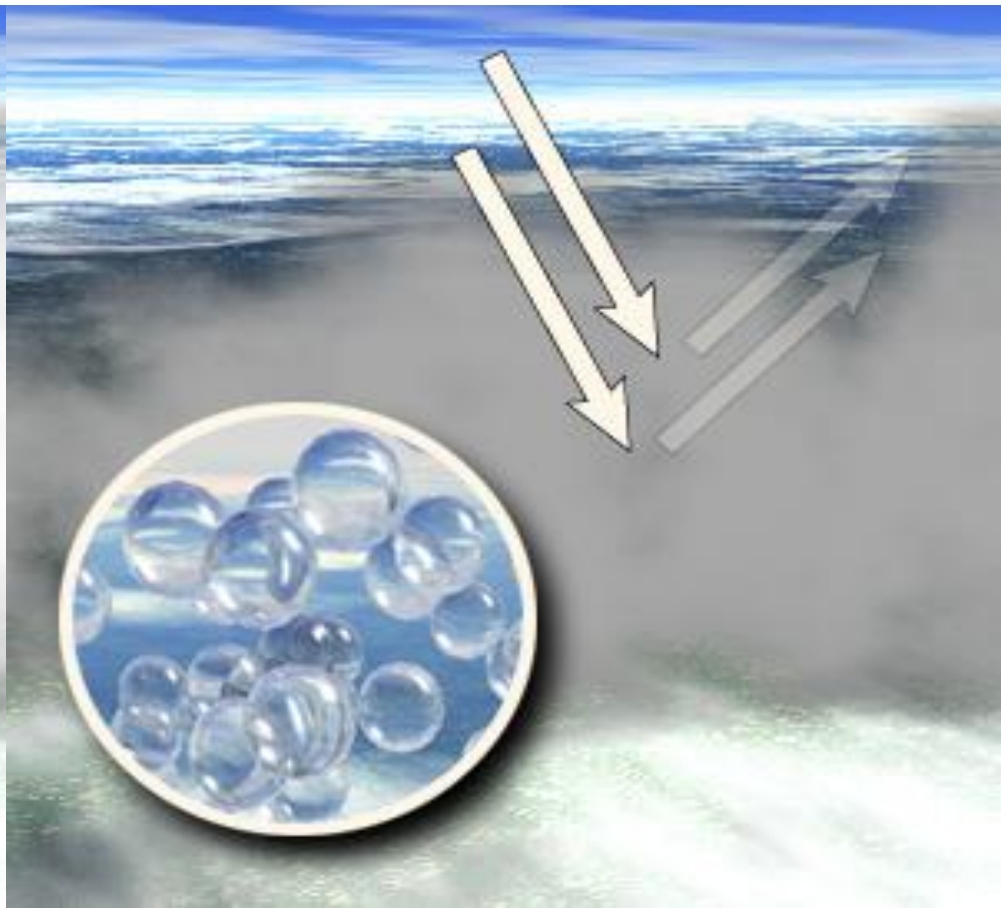
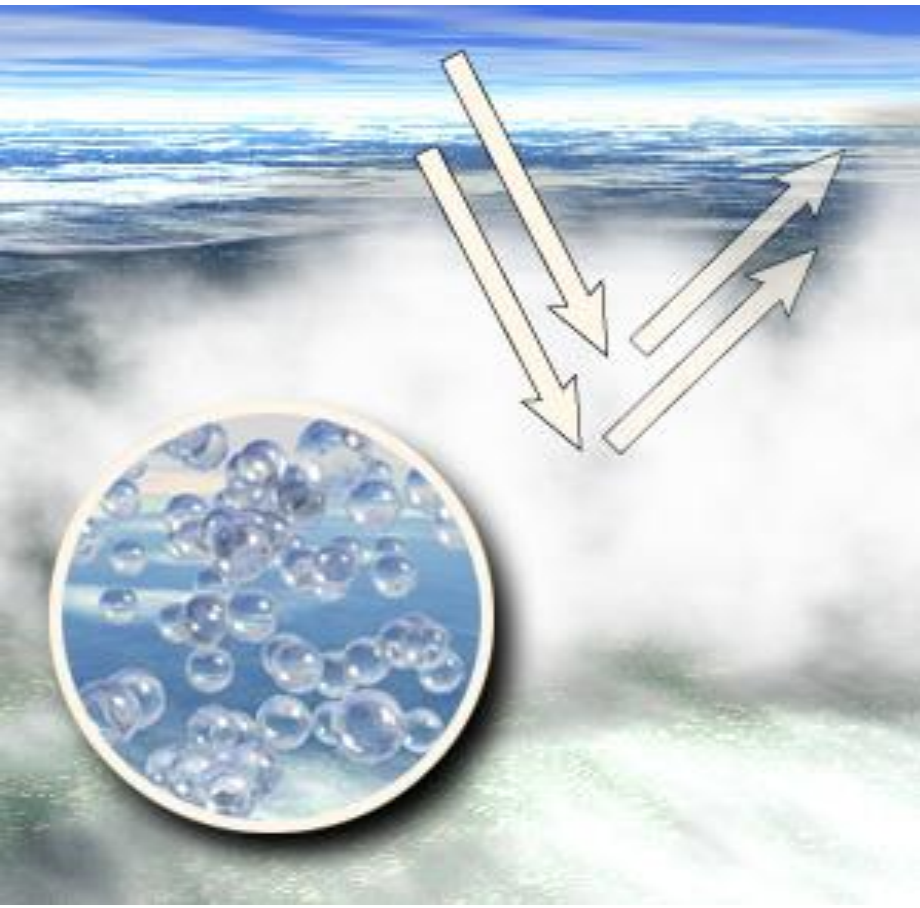


*Molécules d'eau isolées = vapeur d'eau
= gaz invisible*

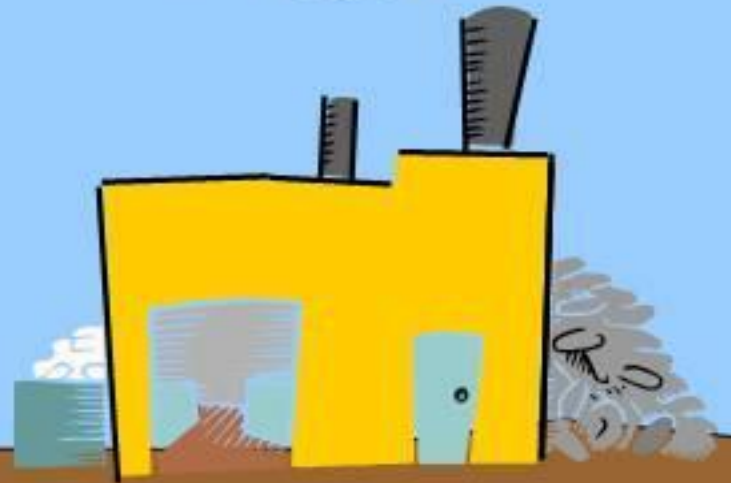
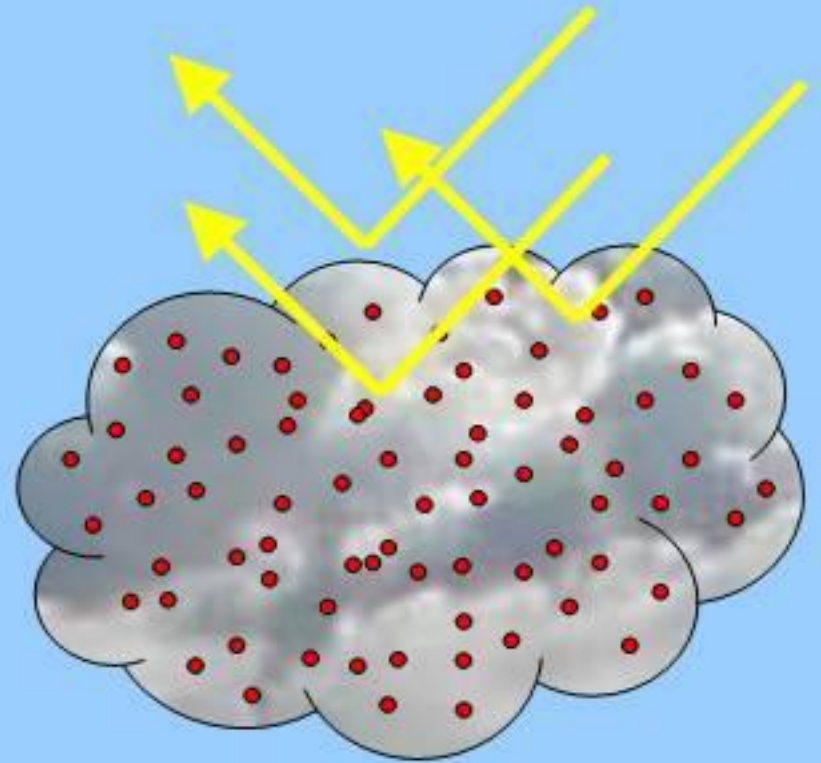
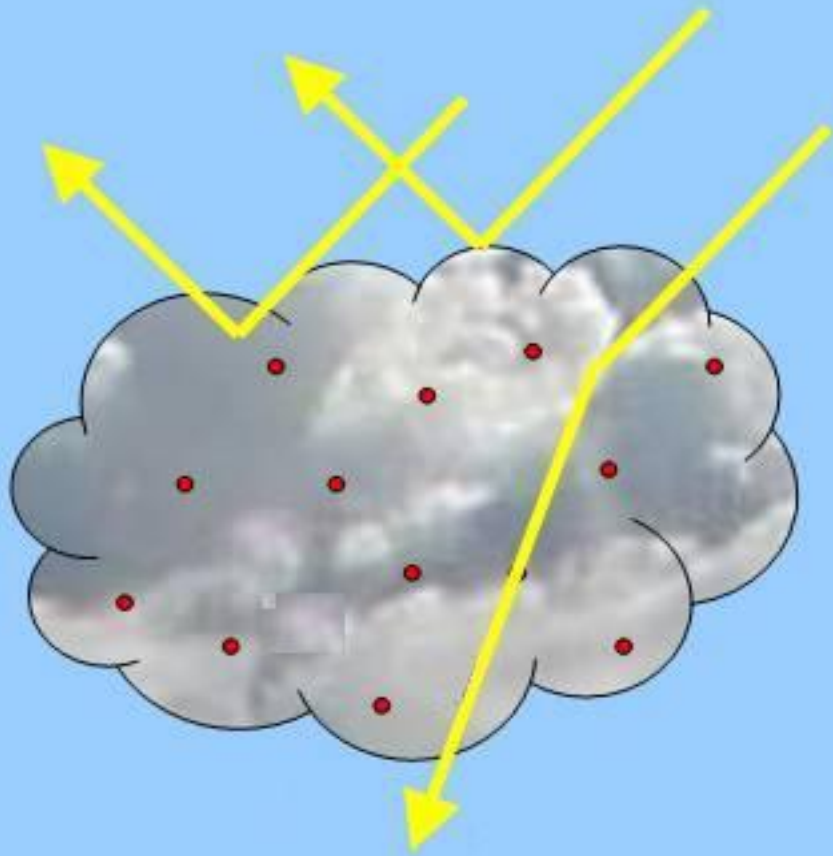


du noyau de condensation à la goutte d'eau





C'est le premier effet indirect, refroidissant. Jusqu'à 90% de la lumière solaire peuvent être renvoyés vers l'espace.



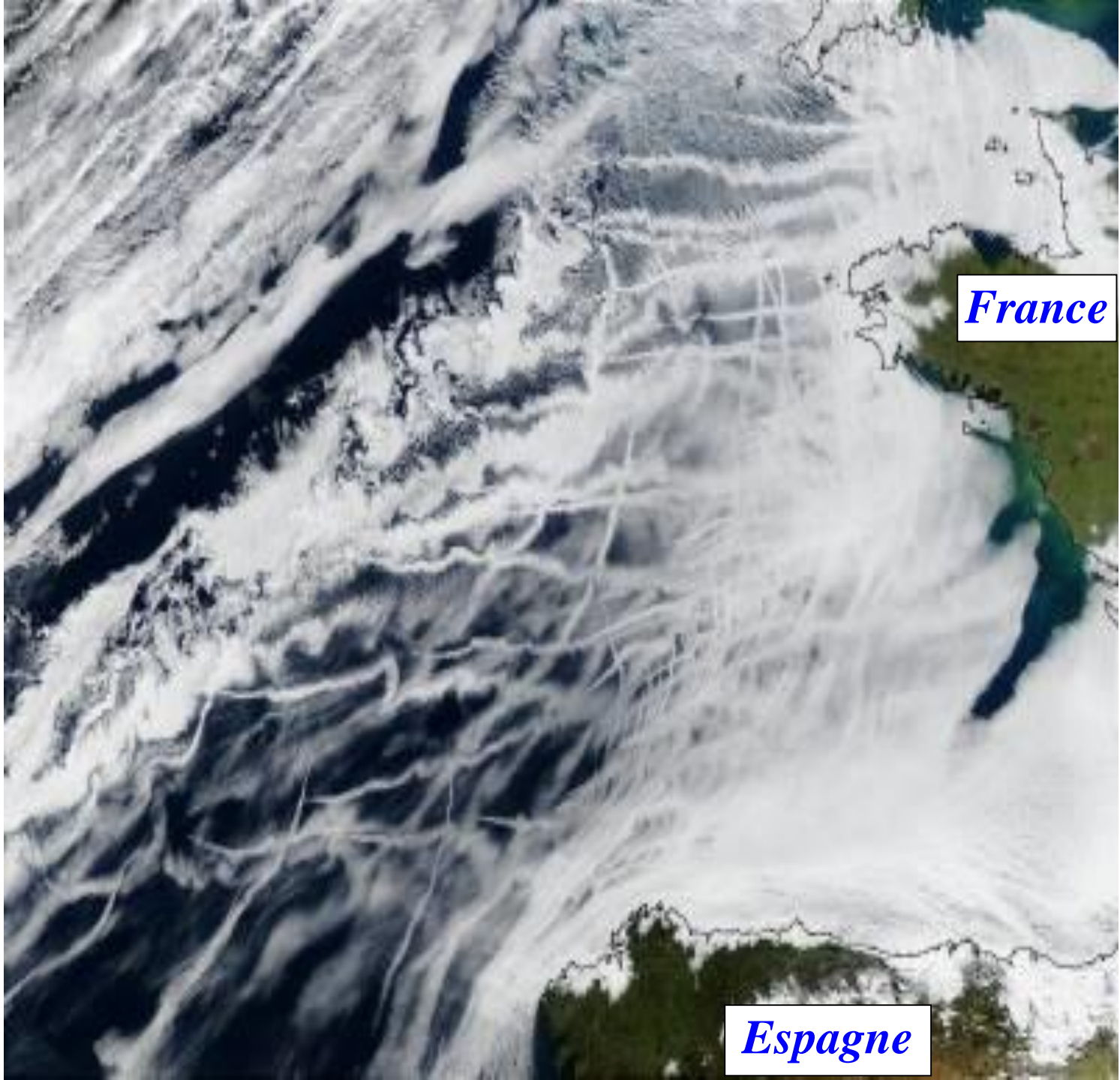
A satellite-style map of the Rhône river basin in France. The map shows the river's course from the Alps in the south to Lake Léman in the north. Major cities like Geneva are marked. A north arrow is in the top left. The text labels are in blue italics within white boxes.

Lac Léman

Genève


Les Alpes

Vallée du Rhône



France

Espagne

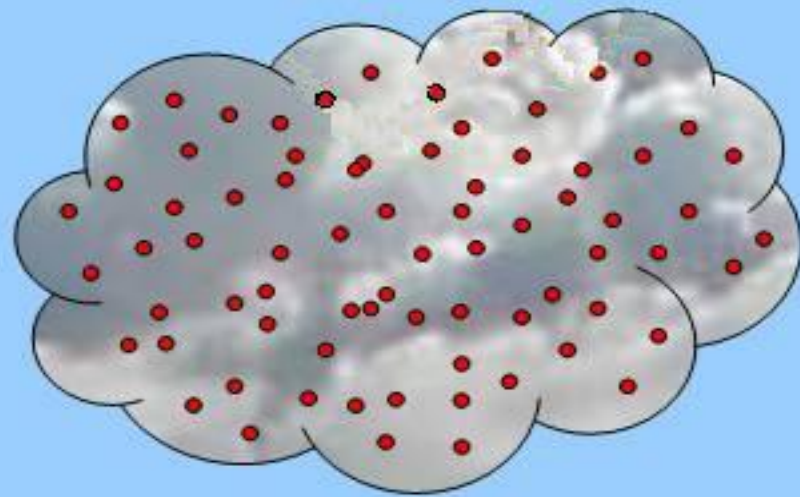
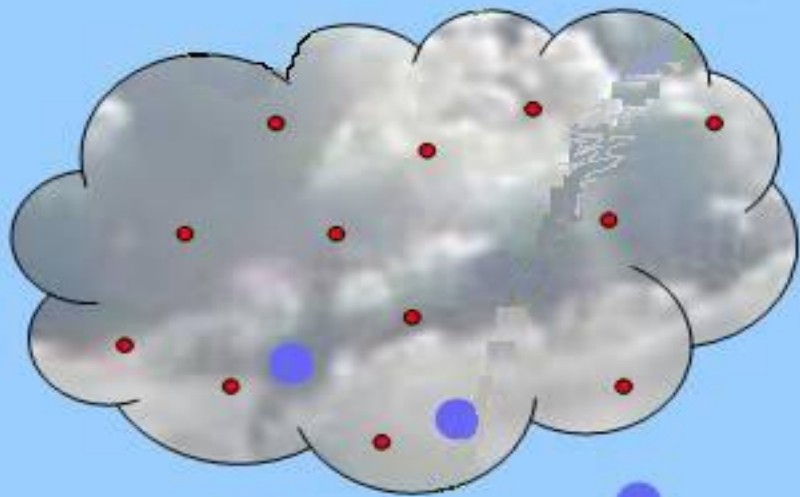


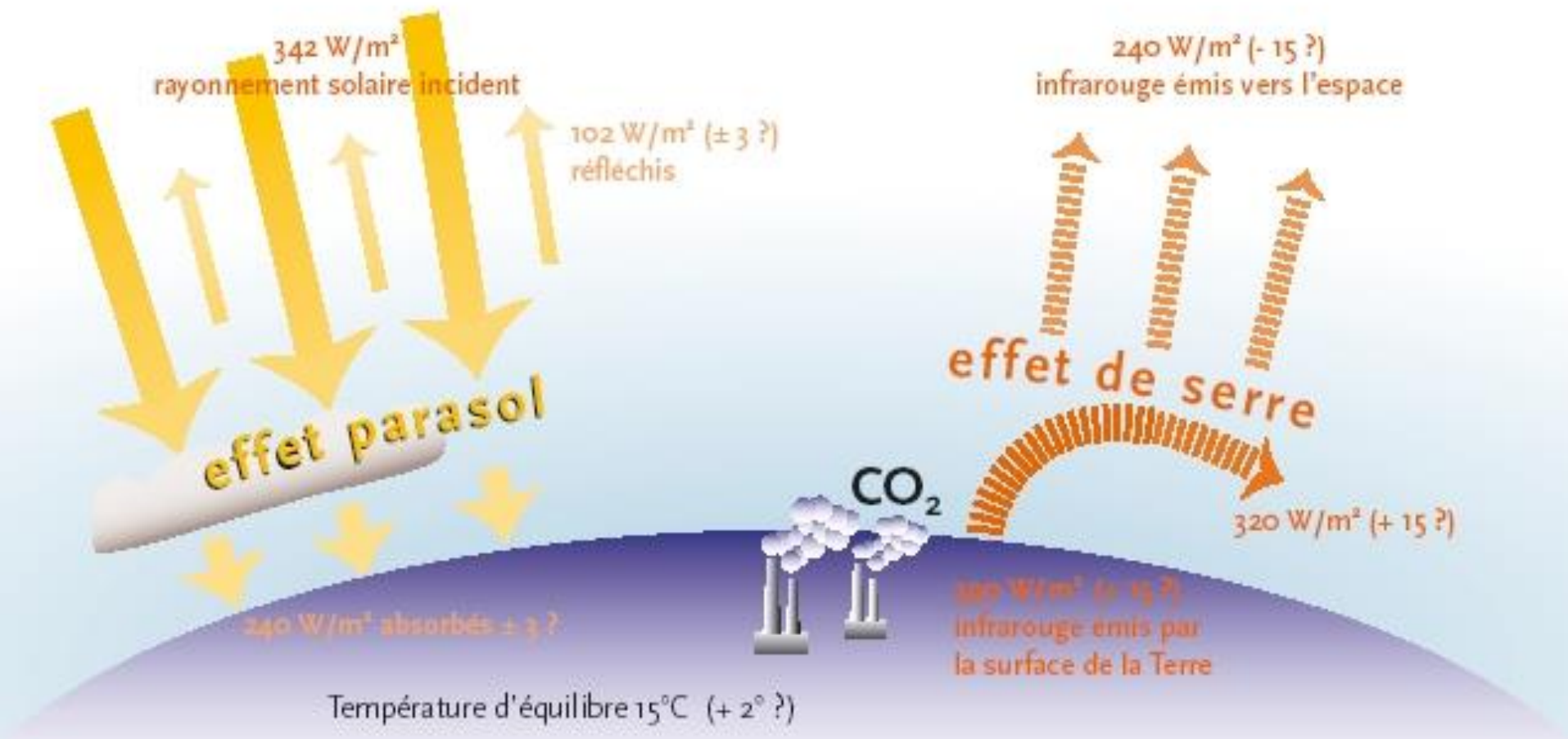
*Eau de pluie :
goutte d'eau de pluie
de 10 μm à 2000 μm
de diamètre*

*Eau nuageuse :
gouttelette
de diamètre
inférieur à 100 μm ,
non précipitante*

*Noyau de condensation
0,2 μm de diamètre*



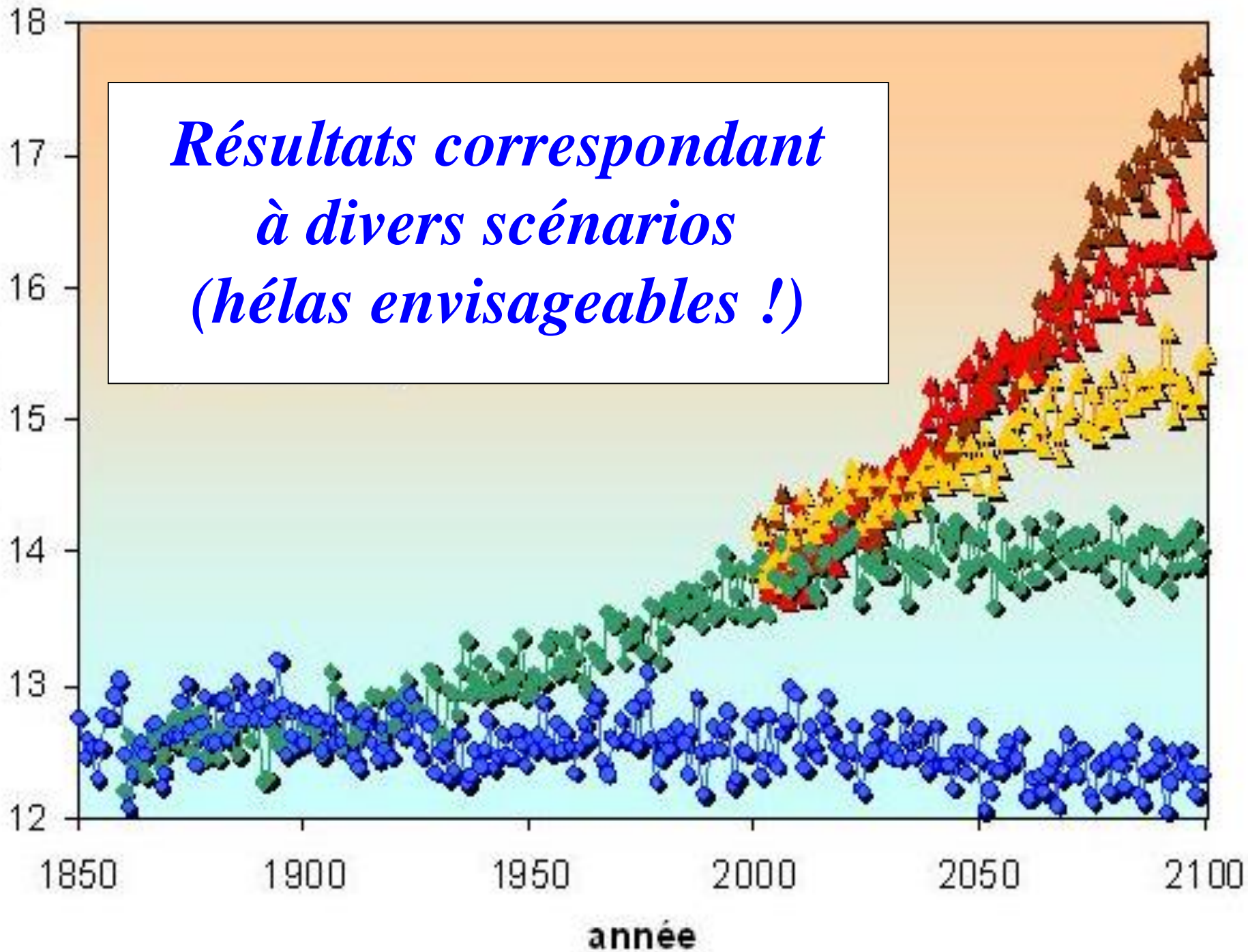




En diffusant et absorbant la lumière ou en modifiant le pouvoir réfléchissant des nuages, les aérosols exercent plusieurs effets sur le climat : direct, semi-direct et indirect.

*Résultats correspondant
à divers scénarios
(hélas envisageables !)*

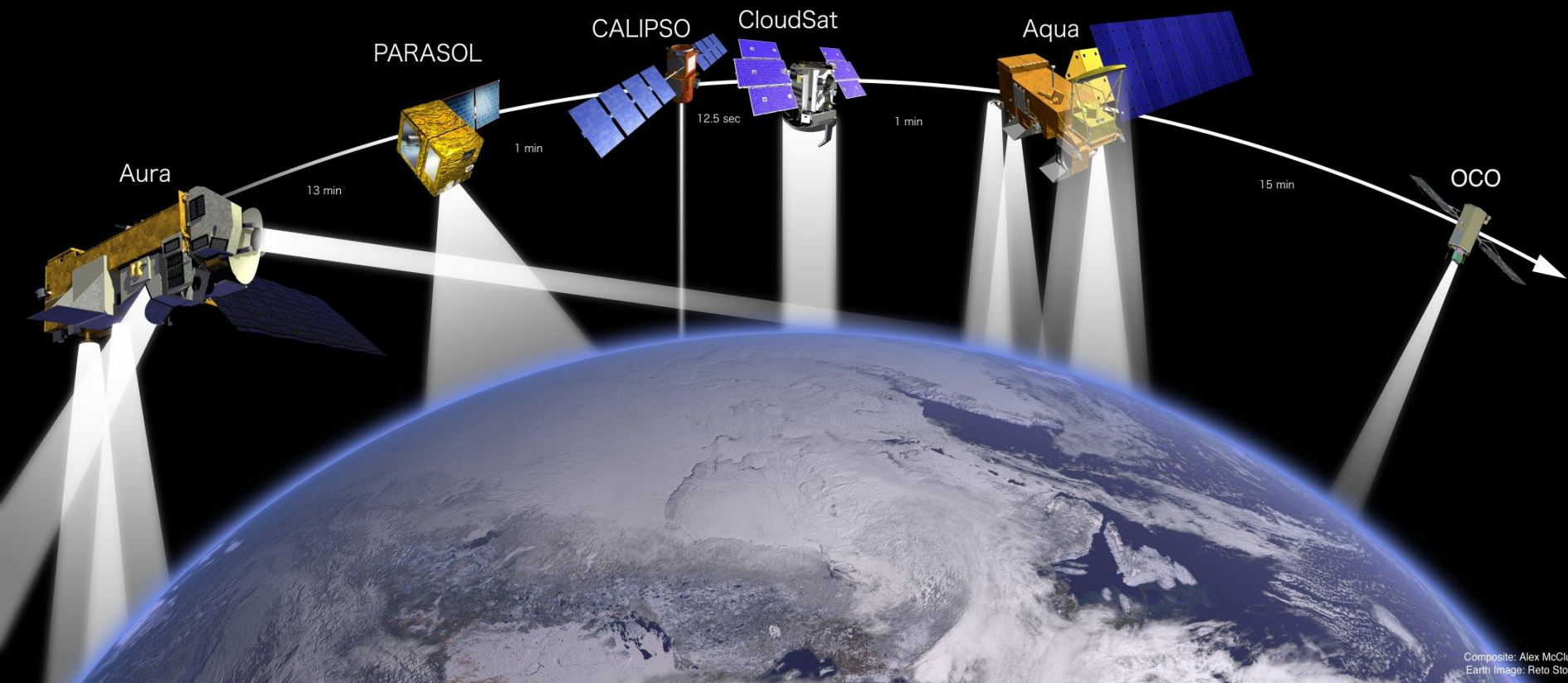
température



Les satellites ?

*La constellation
du « A Train »*

The A-Train



Composite: Alex McClung
Earth Image: Reto Stockli



CALIPSO

Mission Franco-Américaine CALIPSO

Cloud-Aérosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations



Le satellite franco-américain Calipso est arrivé le 20 mai sur la base californienne de l'US Air Force à Vandenberg.

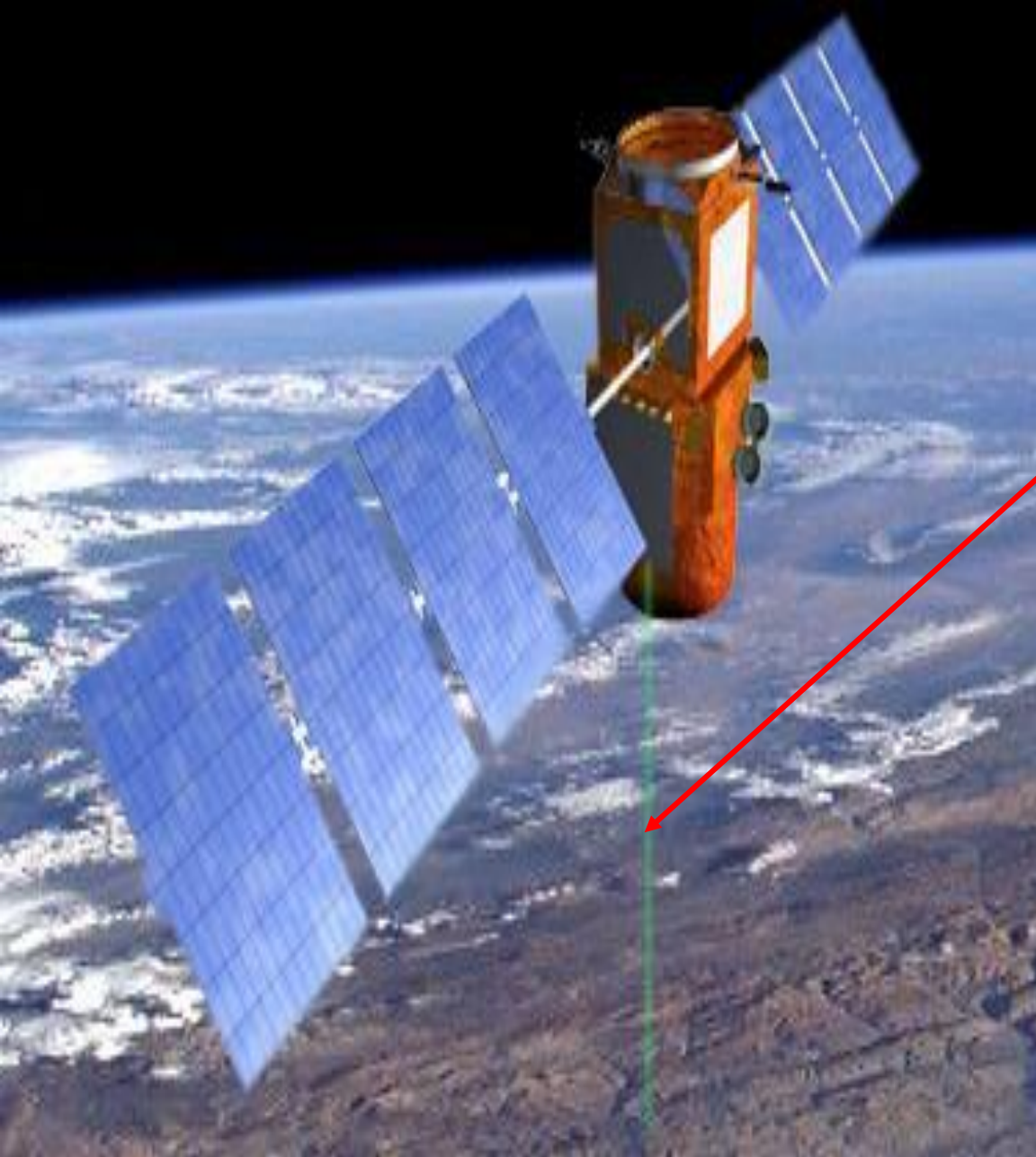


Masse = 635 kg
Altitude de l'orbite
= 705 km
Période de
révolution = 90 min

Que mesure
CALIPSO ?

Mesures actives

Calipso est un satellite qui effectue des mesures actives : il envoie un signal lumineux vers le sol puis il fait ses mesures à partir du signal renvoyé par les aérosols en suspension dans l'atmosphère.



*Calipso envoie
des ondes lumineuses
vers le sol.
Il est équipé
d'un LIDAR*

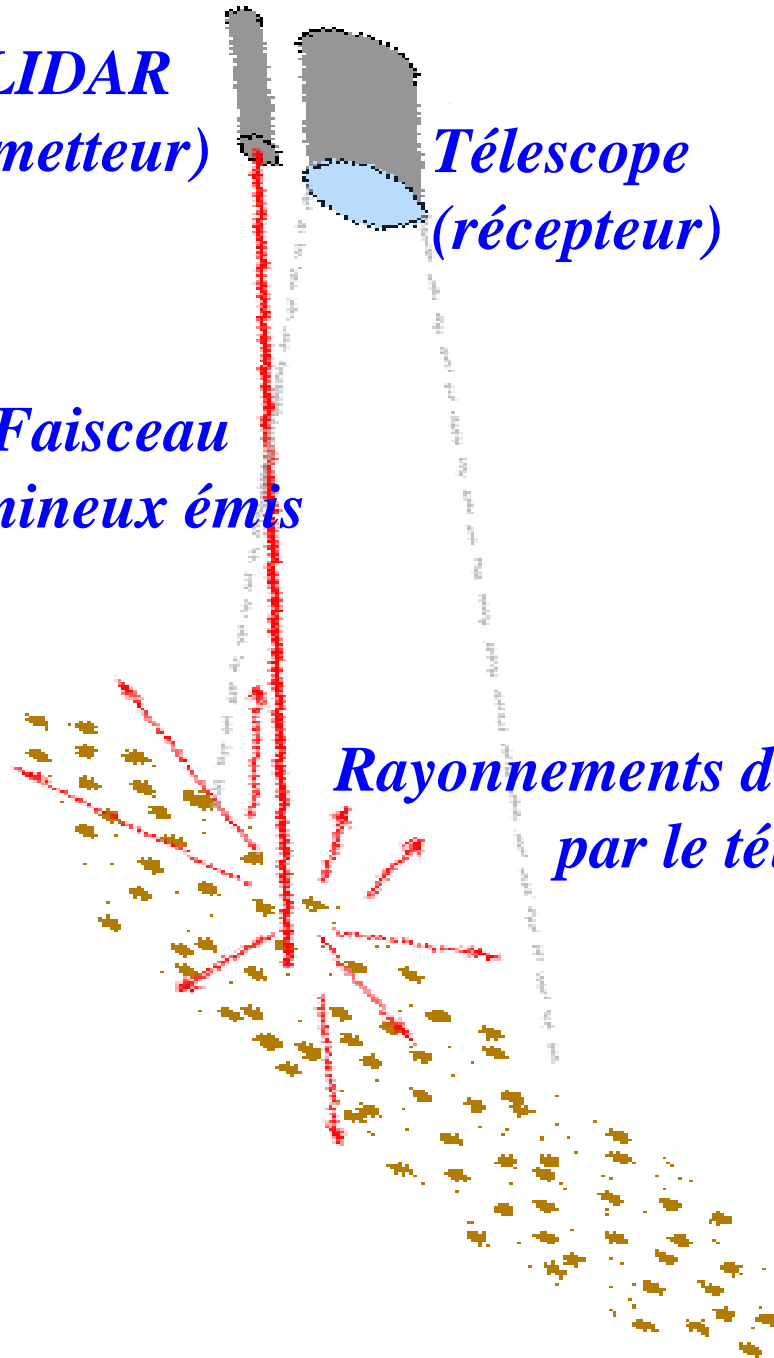
LIDAR
(émetteur)

Télescope
(récepteur)

Faisceau
lumineux émis

Rayonnements diffusés collectés
par le télescope

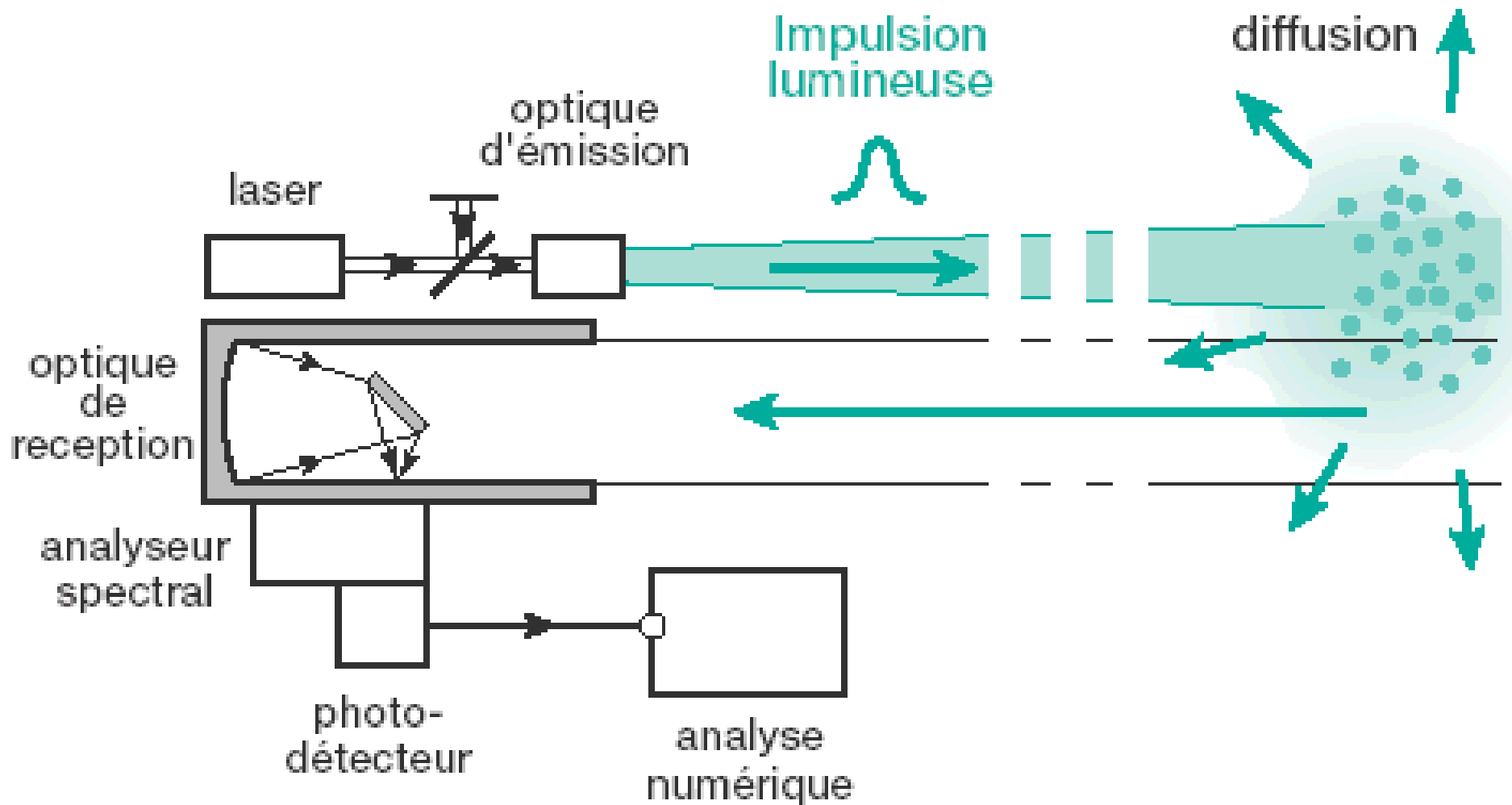
Aérosols

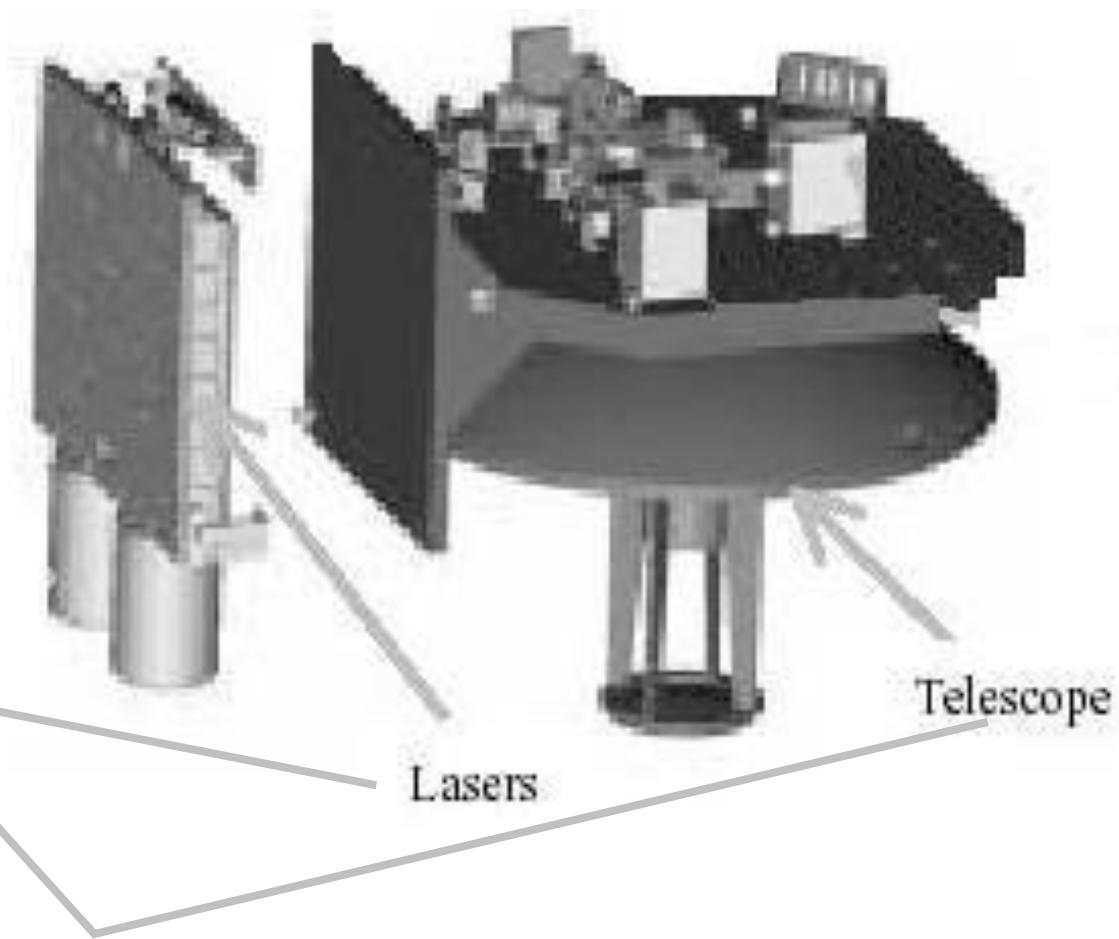
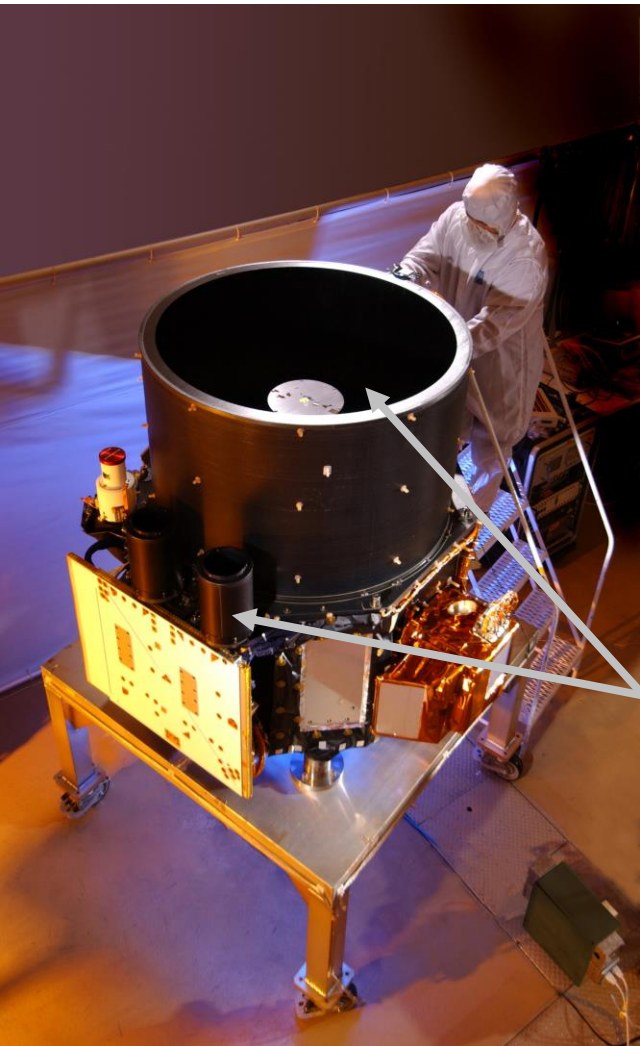


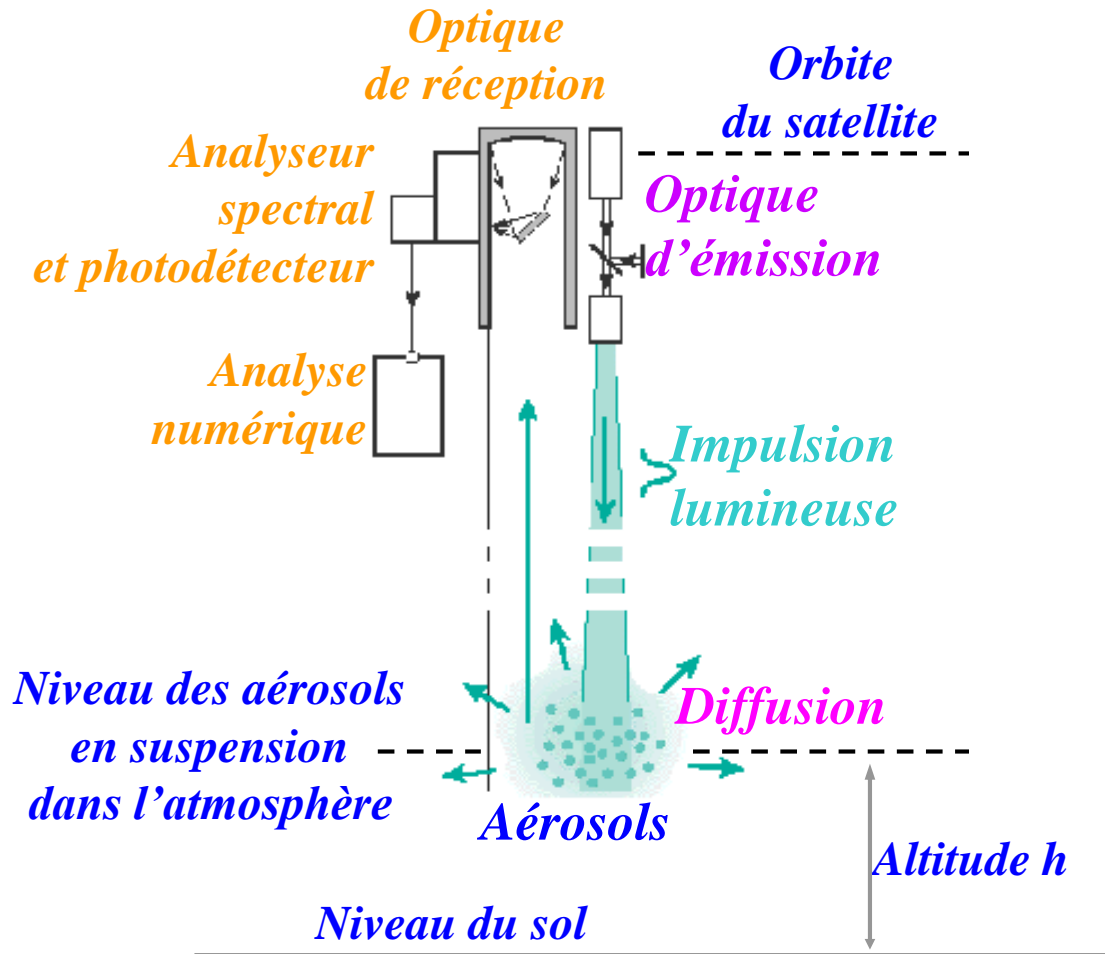
Il permet d'obtenir des données sur la distribution verticale des nuages et des aérosols qui seront mesurés par le premier lidar (LIght Detection And Ranging) à rétrodiffusion embarqué sur satellite.

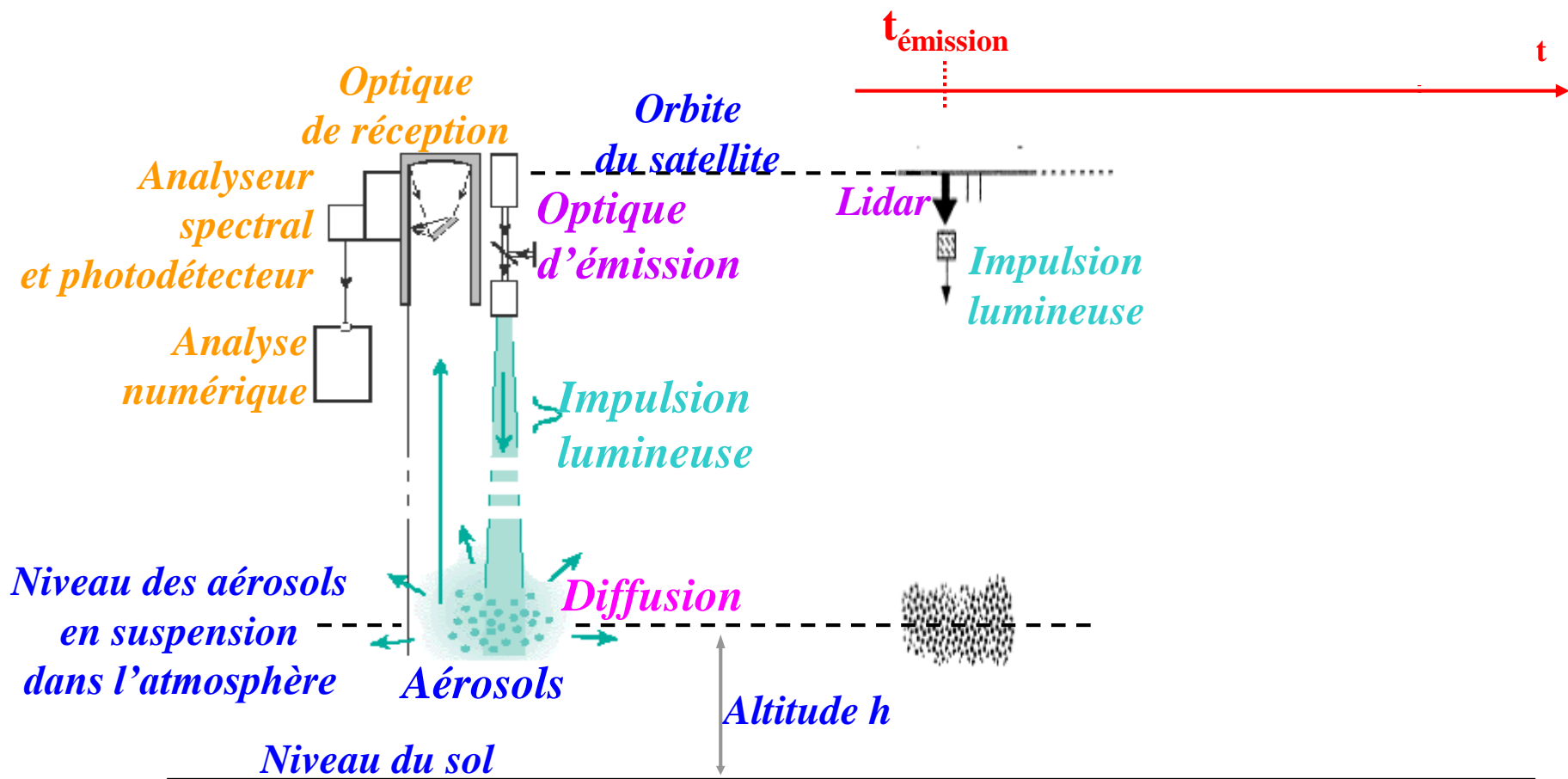
Le Lidar équipé d'un télescope de 1 mètre, mesure de nuit comme de jour, les profils de rétrodiffusion verticale à 532 et 1064 nm, depuis la surface jusqu'à une altitude de 40 km.

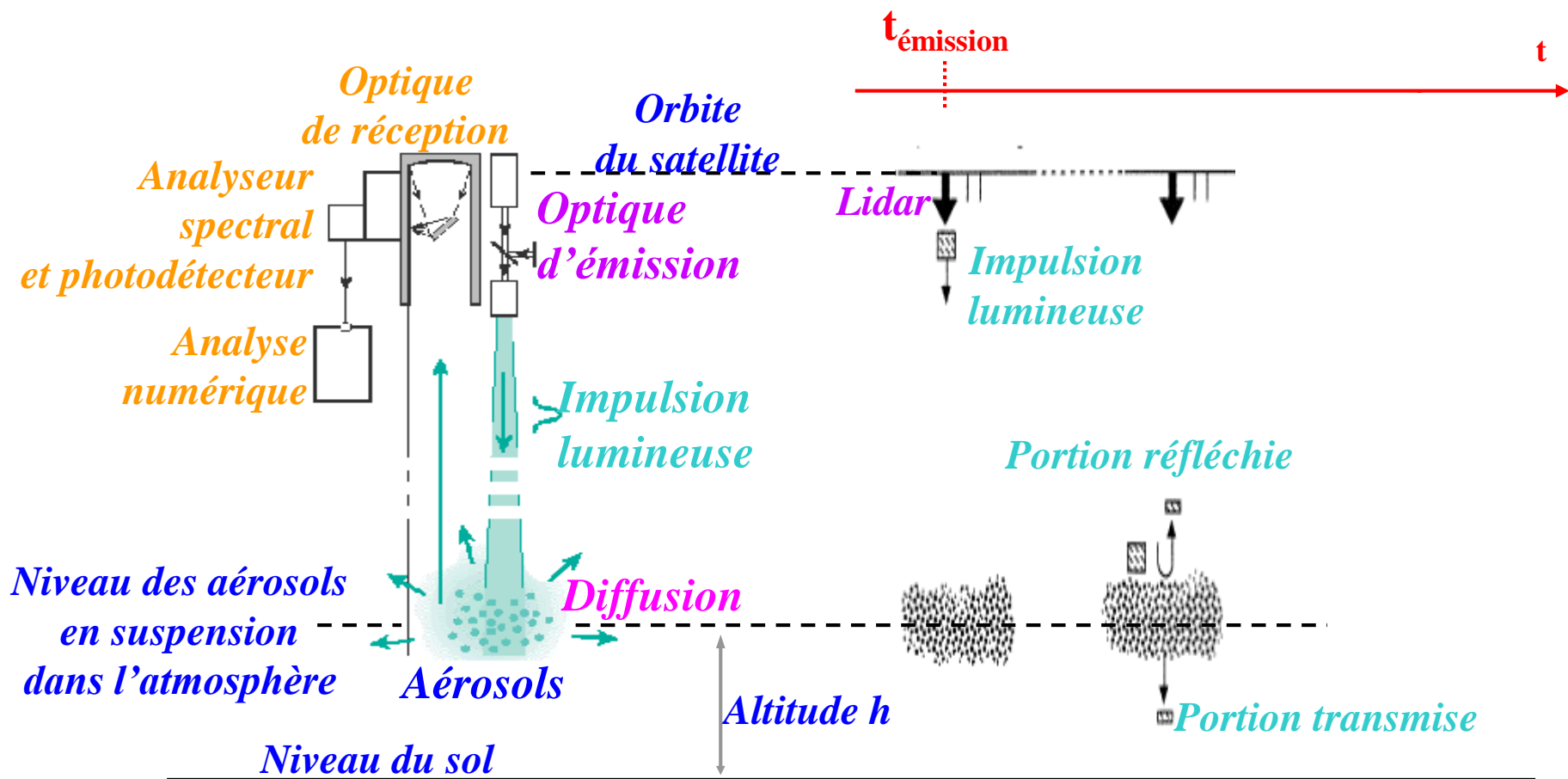
Avec son empreinte de 90 mètres au sol, ce lidar sonde, au cours de chaque orbite, la colonne d'atmosphère située à la verticale du satellite. L'échantillonnage au sol est réalisé tous les 330 m, la résolution verticale des instruments est de 30 m.

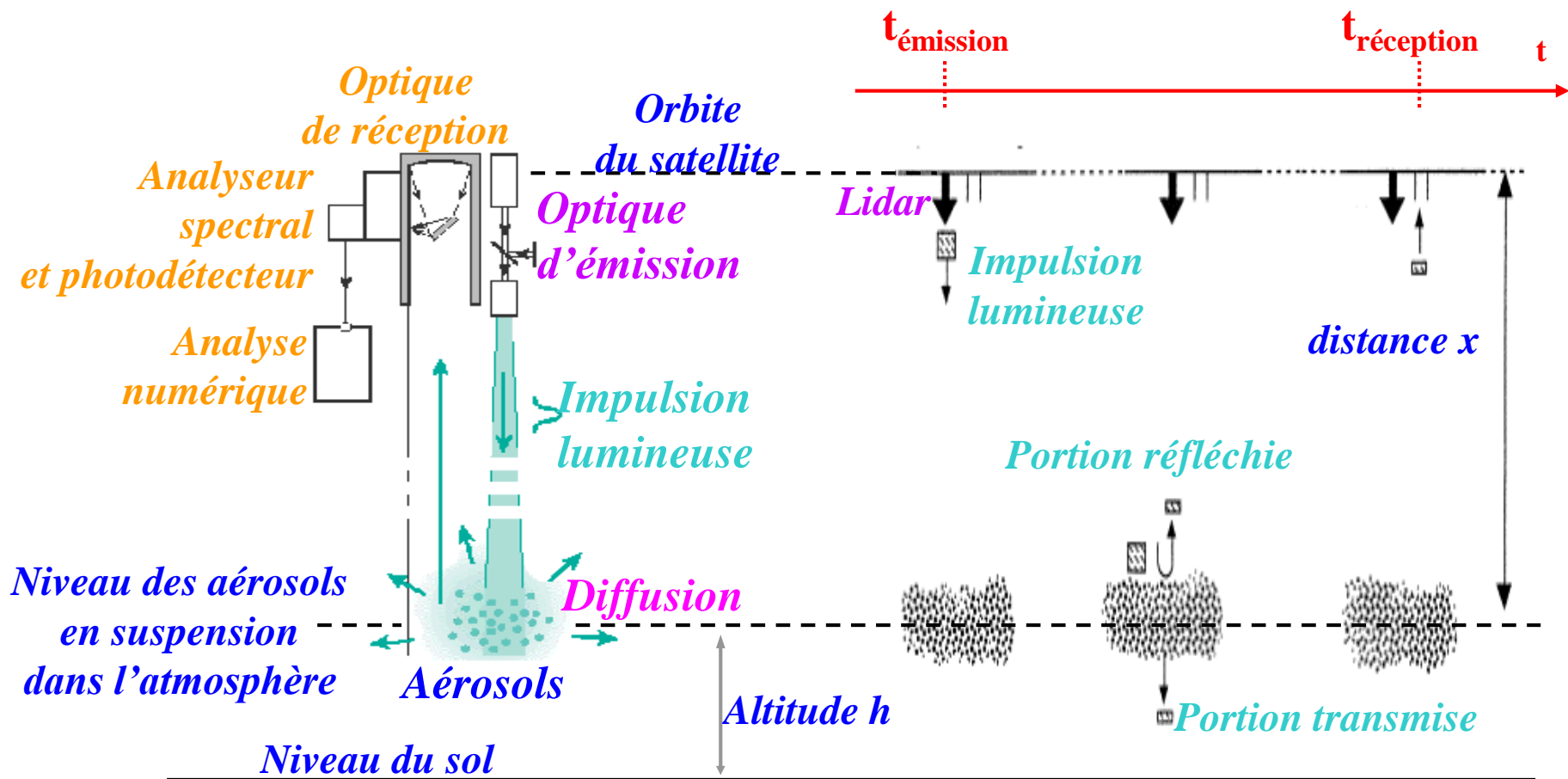














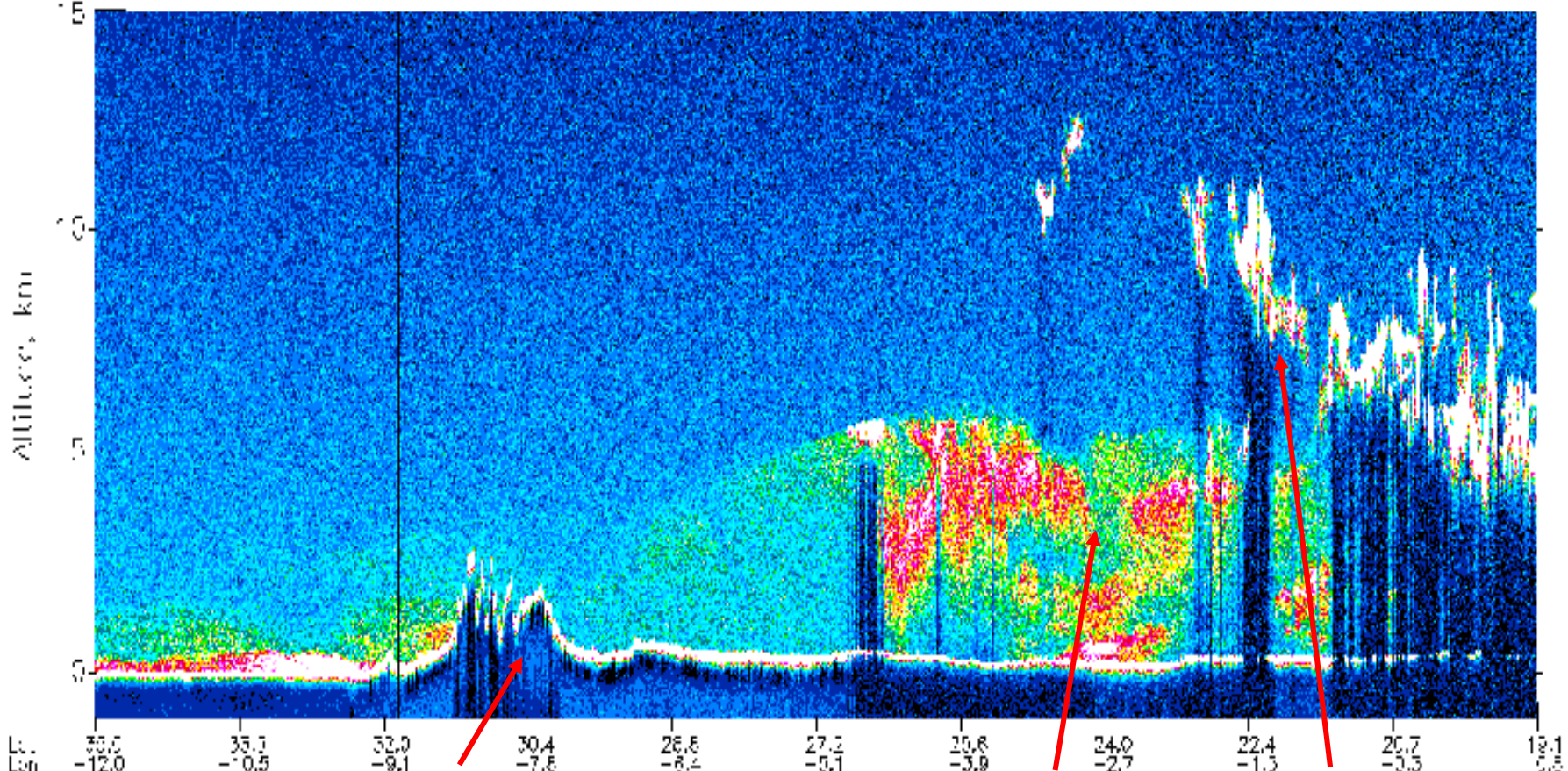
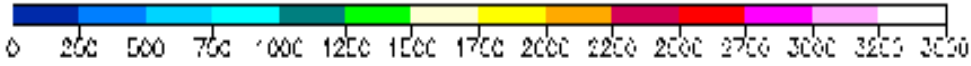
Nuages

Nuages

Couches d'aérosols

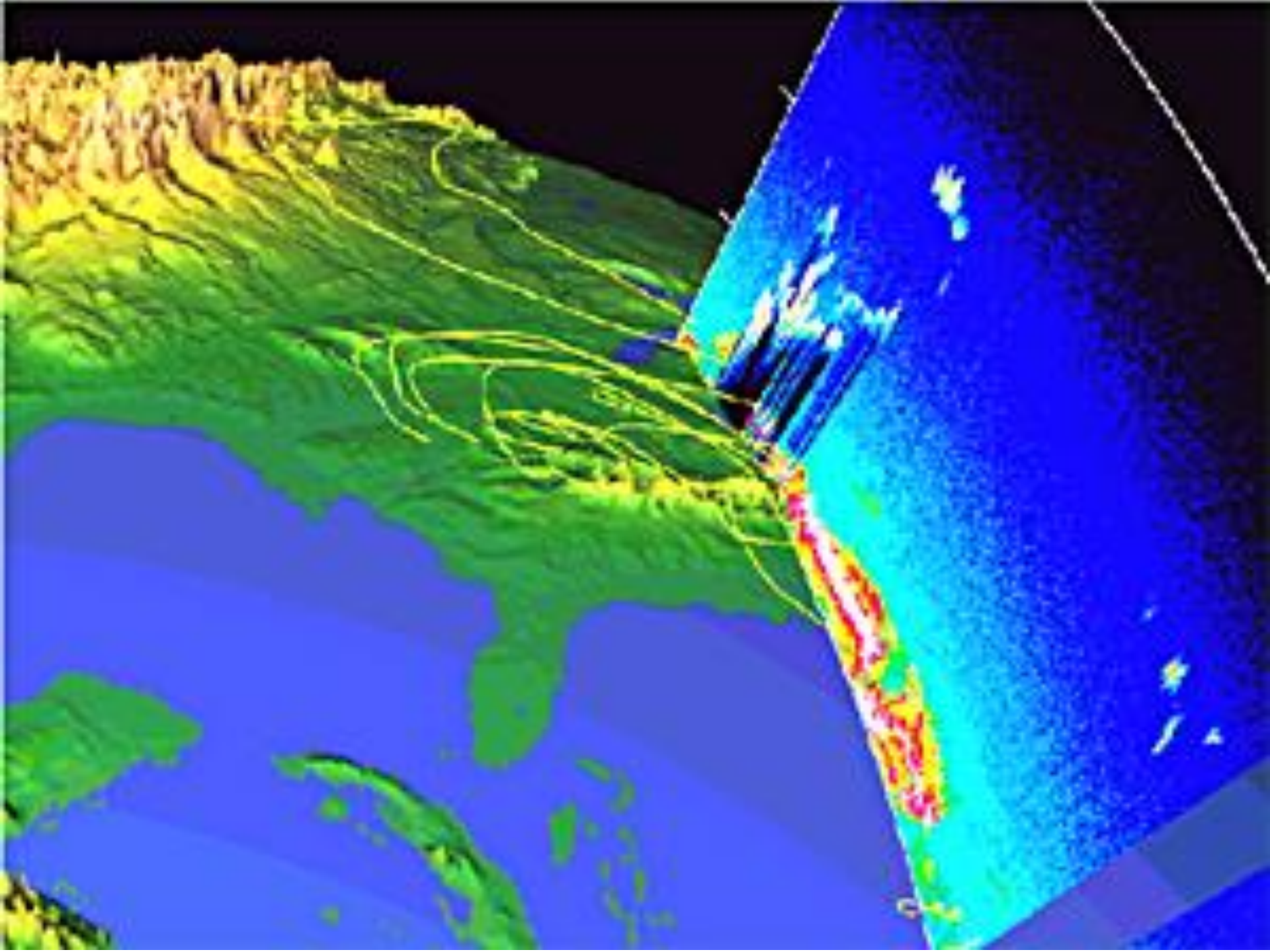
*Résultat d'une série de mesures obtenues par un lidar
placé à bord de la Station Spatiale Internationale
en 5 minutes de survol du Sahara en Septembre 1994*

ML - 009/00:53:15.2 - 002/00:53:15.2
GPI - 261/23:13:13.2 - 261/23:21:10.2 Orbit 146 552 nm



*Les montagnes de l'Atlas séparent 2 masses
d'air différentes : beaucoup d'aérosols
à gauche et air clair à droite.*

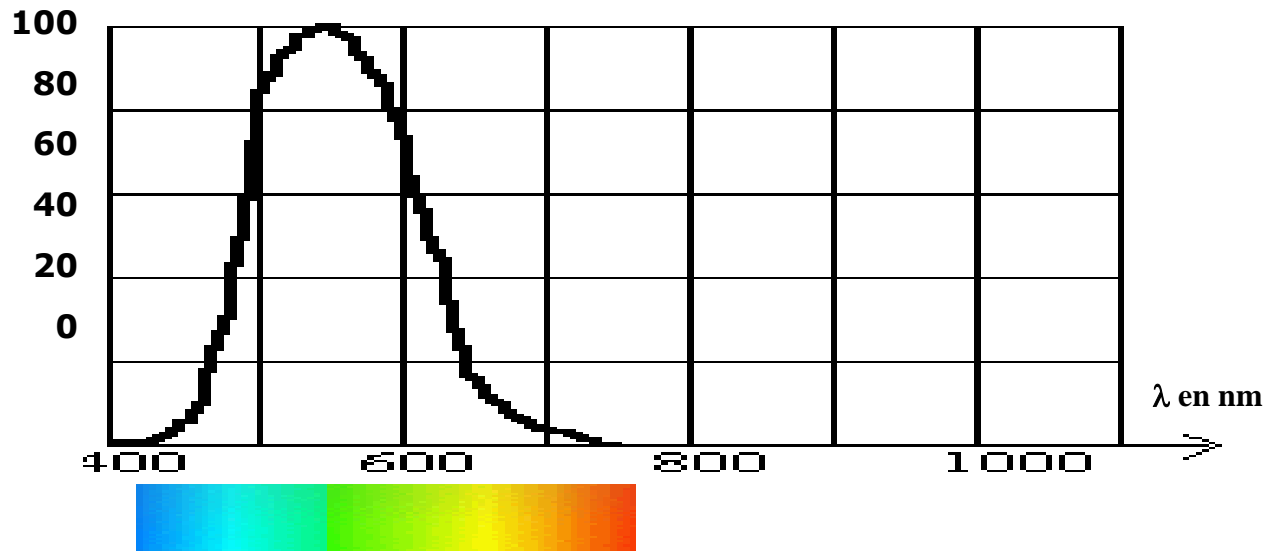
*Les aérosols au-dessus du désert forment une
structure complexe avec des panaches
atteignant une altitude de 5km.*



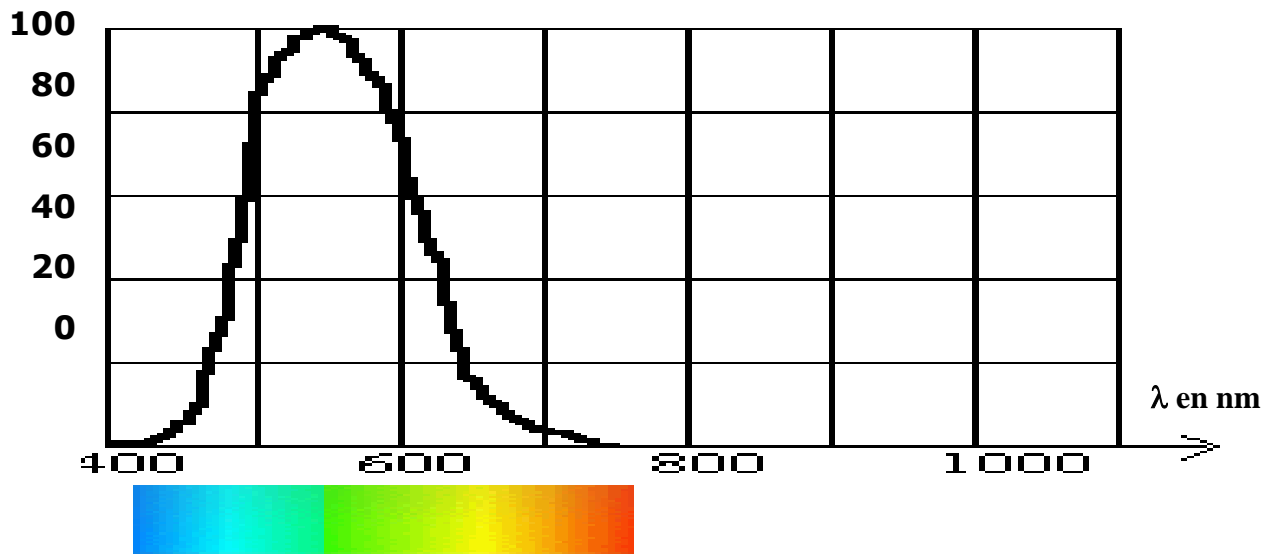
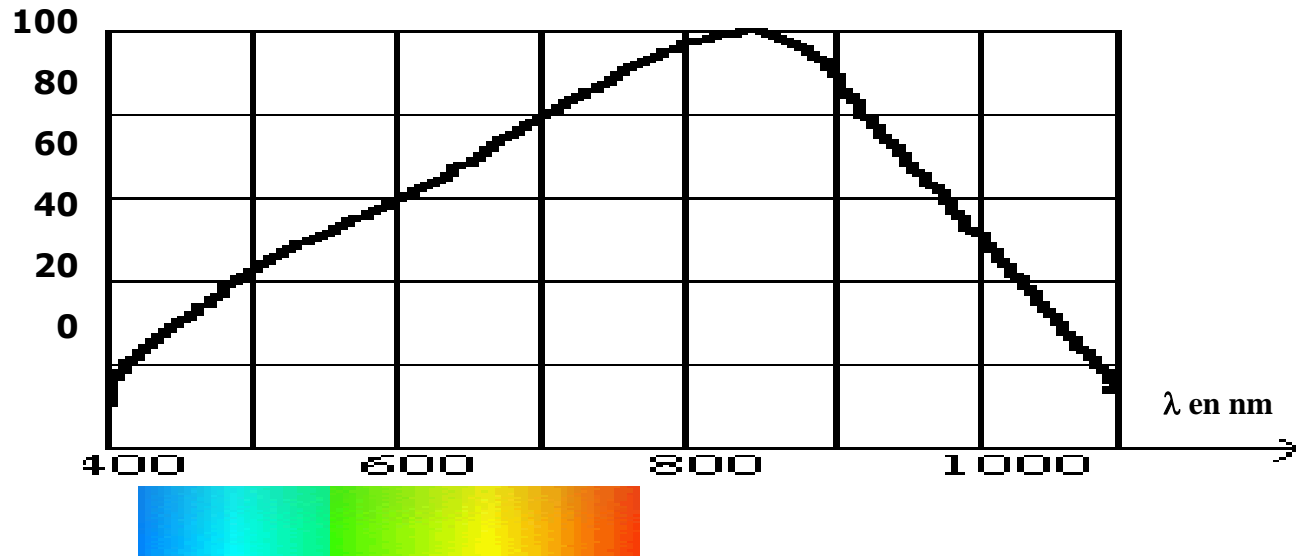
*Mesures au sol
correspondant
aux mesures effectuées
par CALIPSO*

Les mesures au lycée

Notre œil ne voit pas l'infrarouge ni l'ultra violet : il n'est sensible qu'aux couleurs « visibles » (celles de l'arc-en-ciel).

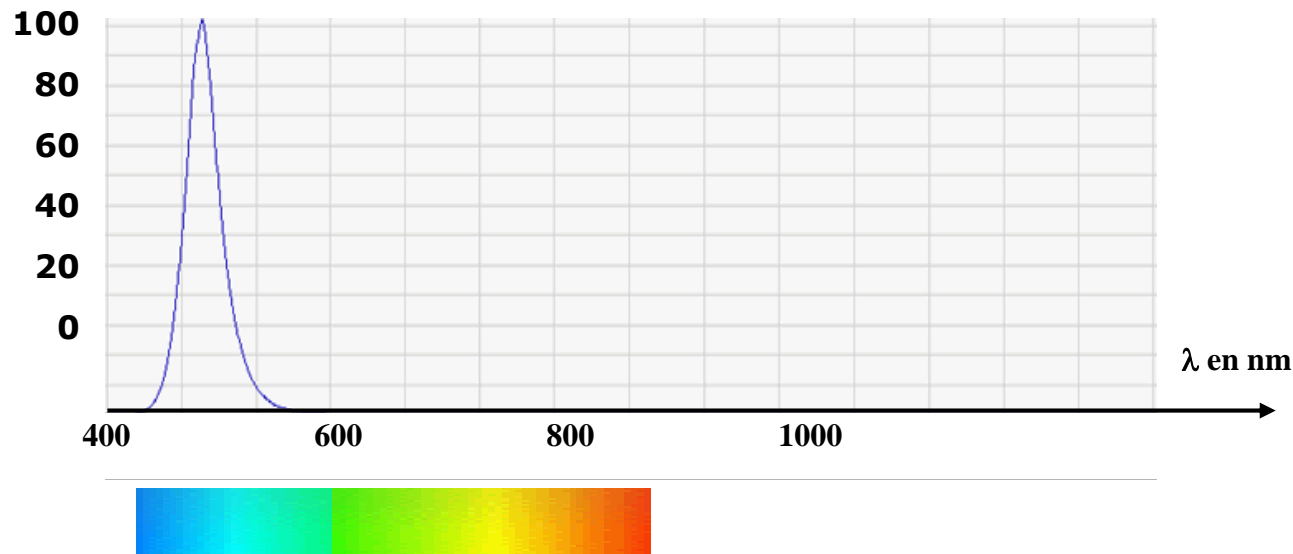


Par contre, la sensibilité spectrale de la BPW34 est nettement plus étendue.

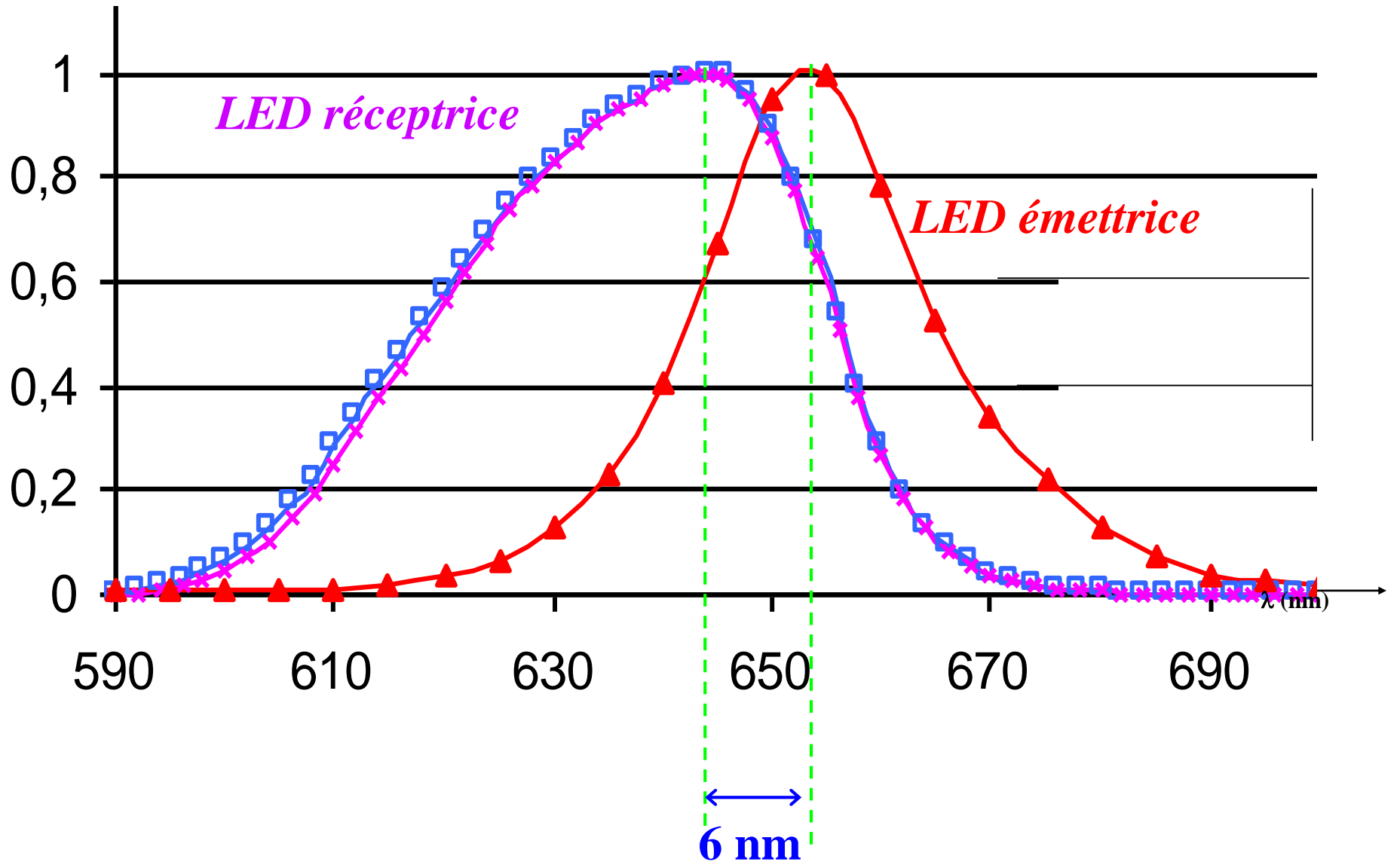


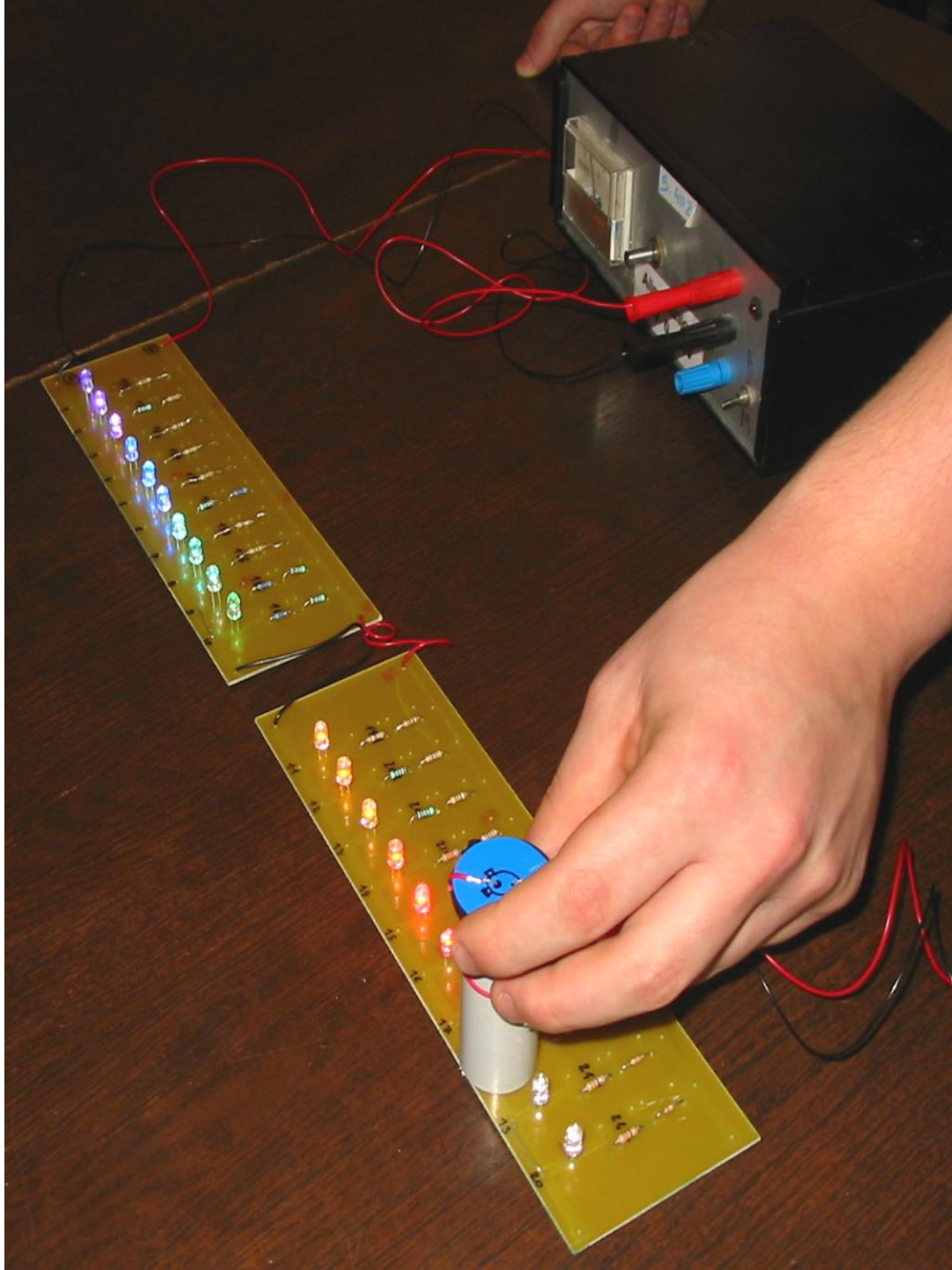
Si l'on veut pouvoir effectuer des mesures similaires à celles de CALPSO, il faut avoir un récepteur sensible à une seule couleur, à une seule longueur d'onde.

Une LED émet dans une seule couleur.



Mais peut-elle fonctionner en récepteur de lumière ?

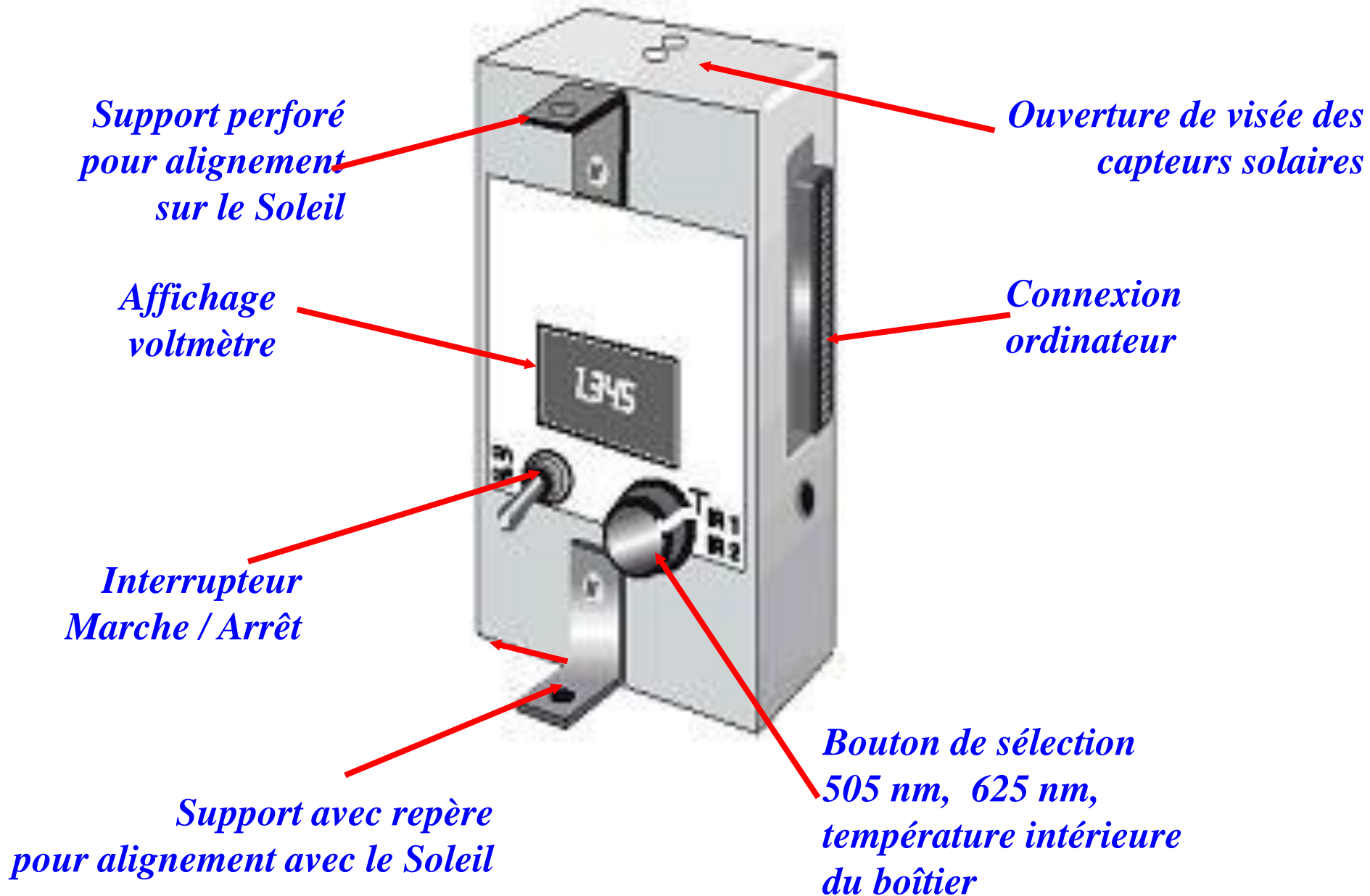




Les leds peuvent être utilisées en récepteurs de lumière monochromatique.

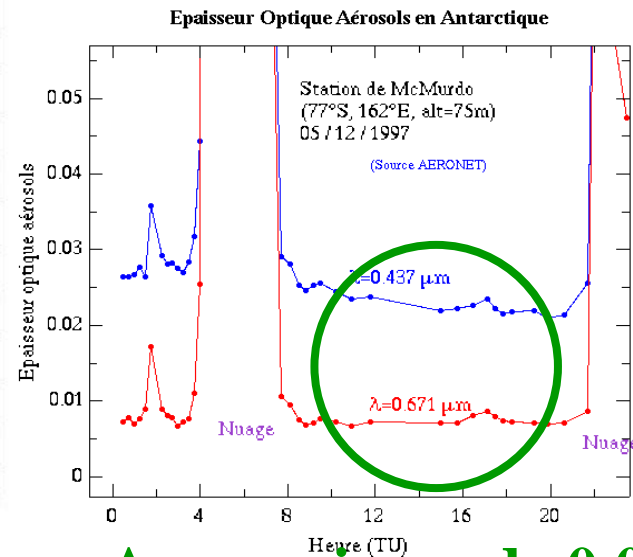
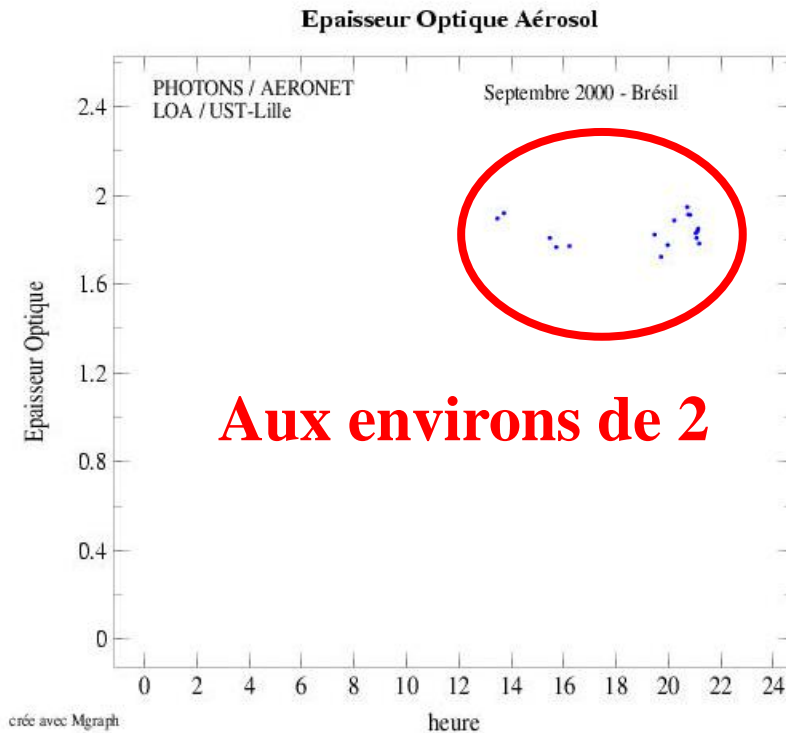
On peut donc effectuer du sol des mesures similaires à celle de CALIPSO, mais des mesures passives.

On mesure une image (tension) de la lumière reçue du Soleil dans 2 longueurs d'onde (verte : 505nm et rouge : 625 nm)



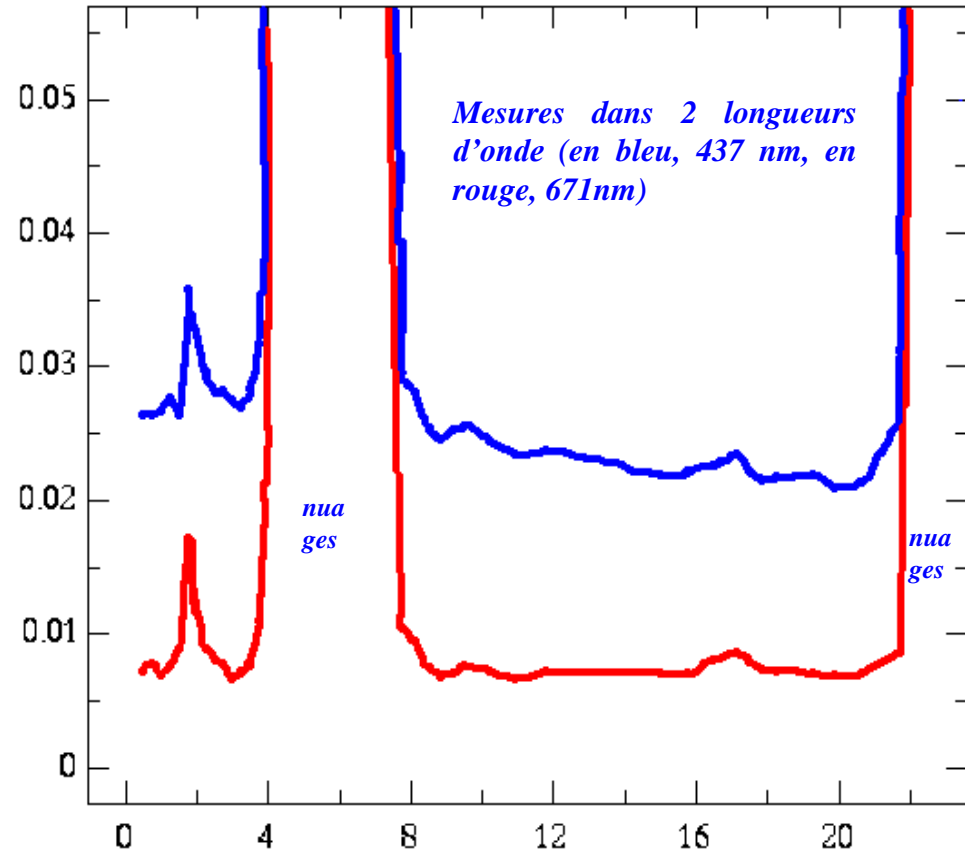
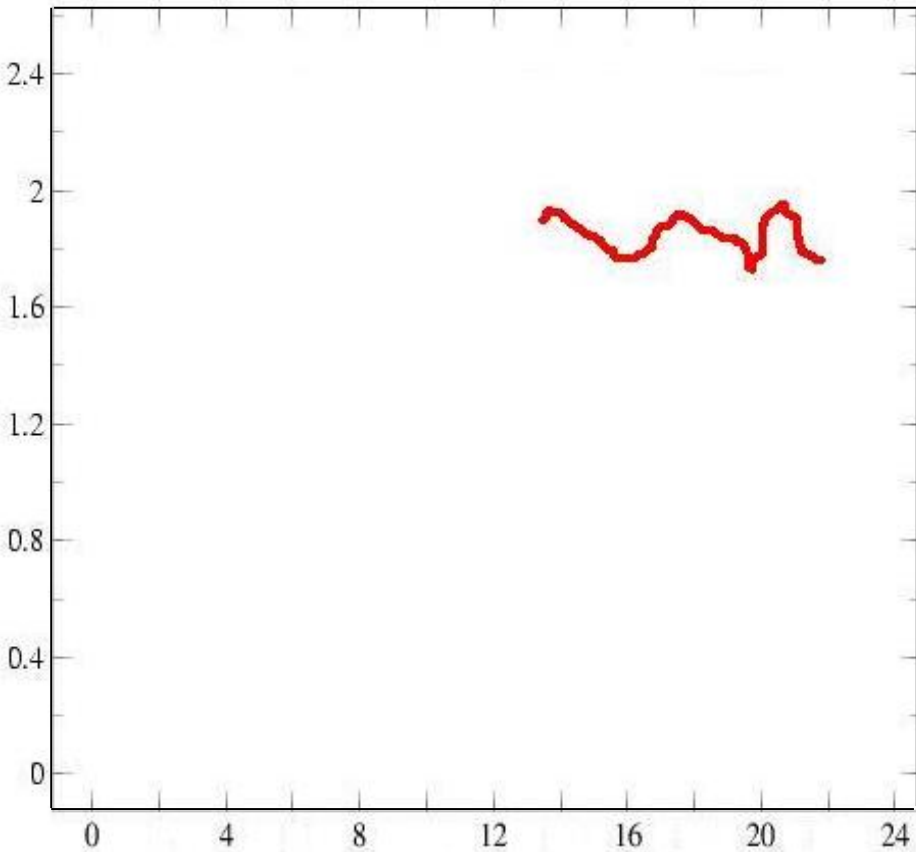


Ces mesures permettent de calculer l'épaisseur optique de l'atmosphère et de trouver la part des aérosols dans ce résultat.



*A gauche, mesures au Brésil, pendant des feux de forêt
à droite, mesures en Antarctique
Attention, les échelles sont différentes !*

Mesures d'épaisseur optique atmosphérique



*A gauche, mesures au Brésil, pendant des feux de forêt,
à droite, mesures en Antarctique*

A quand les réponses ?