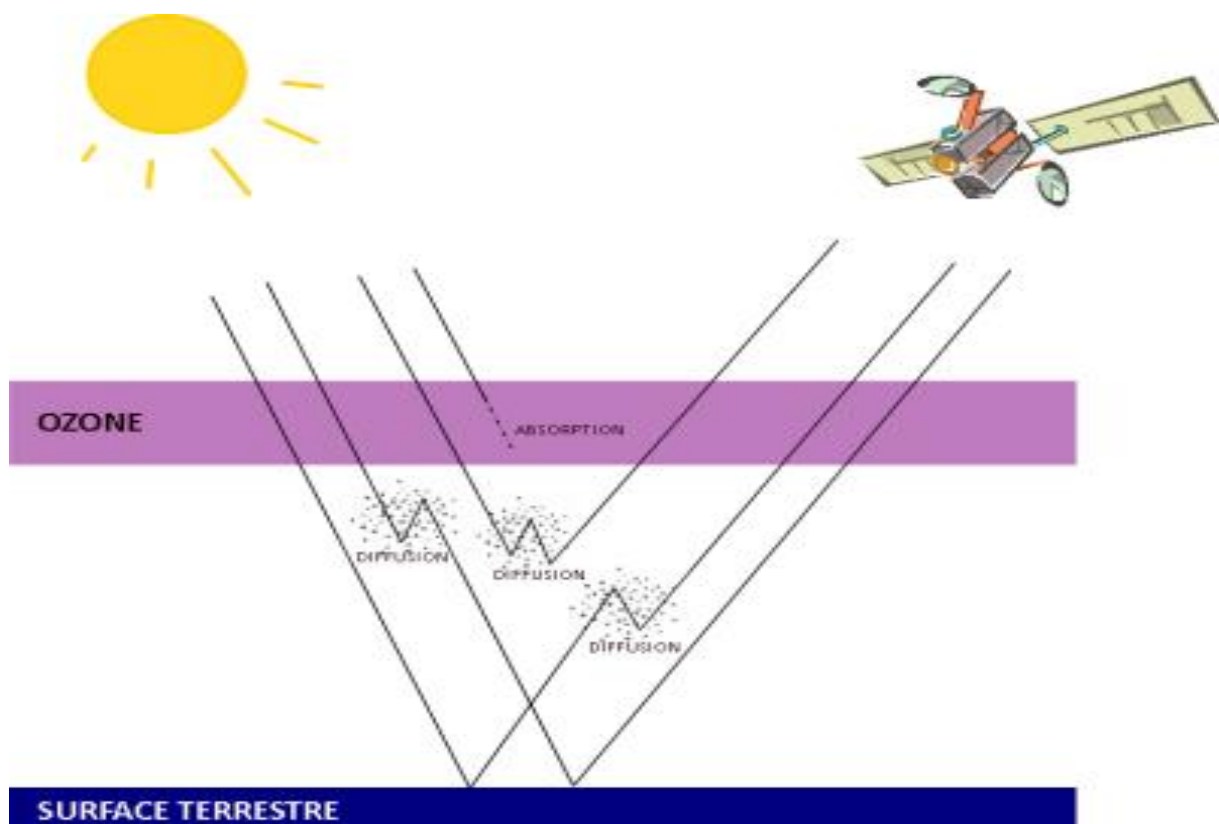


Le rayonnement et l'atmosphère

Introduction :

Lors de son trajet depuis la source (le soleil) vers la cible (surface terrestre), puis de la cible vers le capteur, le rayonnement électromagnétique subit des interactions avec les molécules gazeuses et les particules (aérosols, gouttelettes d'eau, poussières) présentes dans l'atmosphère. Deux phénomènes essentiels se produisent : l'absorption et la diffusion atmosphériques (figure ci-dessous). Les molécules gazeuses et particules présentes dans l'atmosphère vont provoquer un blocage et/ou une déviation du rayonnement, diminuant ainsi l'énergie transportée par le rayonnement électromagnétique.

Absorption par l'ozone et diffusion atmosphérique du rayonnement électromagnétique, lors de sa traversée de l'atmosphère.



Lorsque l'on s'intéresse à l'observation spatiale de la surface terrestre, il est impératif de prendre en compte les interactions rayonnement-atmosphère puisque le signal qui parvient au capteur satellitaire est perturbé par la traversée atmosphérique. A part dans le domaine de la météorologie spatiale où l'on cherche à mesurer la composition et à comprendre les propriétés de l'atmosphère, cet effet perturbateur de l'atmosphère doit être pris en considération dans l'interprétation du signal mesuré par le satellite.

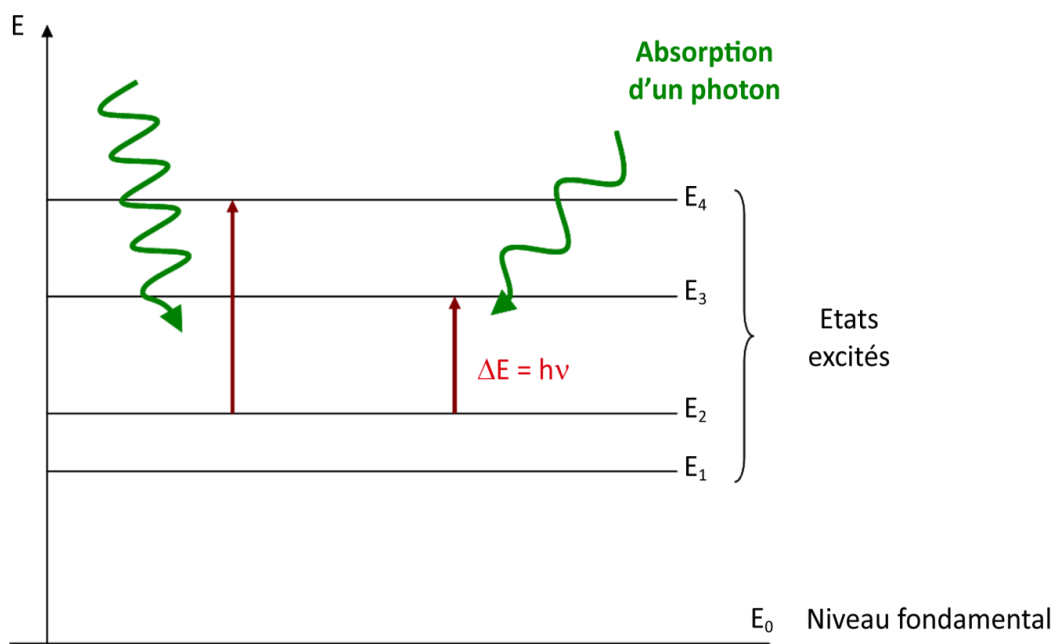
Absorption et transmission atmosphériques :

Lorsque le rayonnement traverse la couche atmosphérique, il entre en collision avec les molécules et les particules présentes dans l'atmosphère. Il peut être dévié de sa trajectoire, c'est le *phénomène de diffusion atmosphérique*, ou bien être en totalité ou en partie absorbé.

Dans ce dernier cas, il y a transfert d'énergie entre le rayonnement et les molécules avec lesquelles il entre en collision. L'absorption du rayonnement qui cède tout ou partie de son énergie conduit par conséquent à une atténuation du signal dans la direction de propagation du rayonnement.

La molécule change de configuration électronique. L'énergie absorbée modifie l'énergie interne de la molécule en la faisant passer d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau d'énergie E_2 supérieur.

Absorption d'un photon par une molécule :



- L'énergie du photon est transmise à un électron de la molécule qui passe d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau E_2 supérieur.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h \nu$$

où :

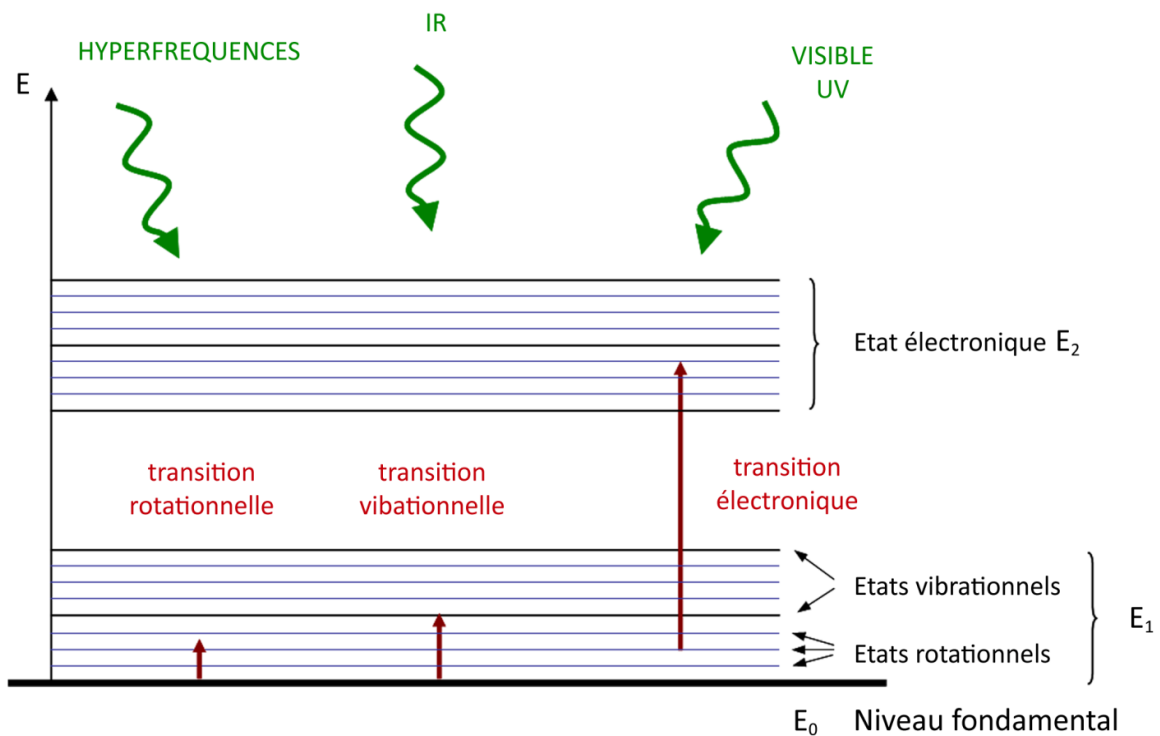
E : l'énergie de l'onde électromagnétique

ν : la fréquence de l'onde

h : la constante de Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s)

Cette énergie est ensuite réémise sous forme de chaleur à une plus grande longueur d'onde (infrarouge thermique). Une molécule possède des niveaux d'énergie discrets ou quantifiés auxquels sont associés des états de mouvement moléculaire : état de vibration, de rotation ou de configuration électronique correspondant respectivement à des niveaux d'énergie croissants.

Les différentes transitions électroniques selon la longueur d'onde du rayonnement absorbé :

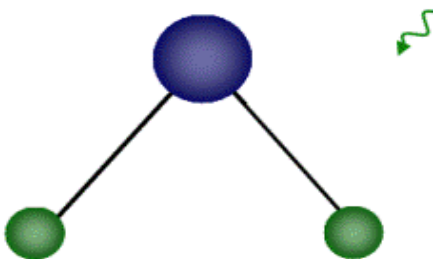


Selon l'énergie du rayonnement incident, on distingue plusieurs types d'absorption :

Dans l'ultraviolet :

L'énergie absorbée est suffisamment importante pour permettre des transitions énergétiques entre niveaux électroniques. Au-delà d'un certain seuil énergétique, l'absorption peut provoquer une dissociation des molécules par rupture de liaison.

Dissociation des molécules :



Dans le visible :

Le rayonnement n'est pratiquement pas absorbé par l'atmosphère, ou très légèrement par l'ozone. Les transitions énergétiques se font entre niveaux électroniques.

Dans l'infrarouge :

L'absorption du rayonnement est beaucoup moins énergétique que dans le visible ou les ultraviolets et les transitions d'énergie se font entre le niveau fondamental et les niveaux vibrationnels des molécules.

Dans les hyperfréquences :

L'énergie transférée étant encore moins importante, l'absorption entraîne des transitions énergétiques depuis le niveau fondamental vers les niveaux rotationnels des molécules.

L'atmosphère est constituée de gaz à concentration constante (azote N_2 - 78,1% -, oxygène O_2 - 21,8% -, argon Ar - 0,9% -) et de gaz dont la concentration varie spatialement et au cours du temps, comme la vapeur d'eau H_2O , le dioxyde de carbone CO_2 , le méthane CH_4 , le monoxyde de carbone CO, le protoxyde d'azote N_2O , les chlorofluorocarbones CFC ou l'ozone O_3 . Chacun des gaz constituant de l'atmosphère absorbe le rayonnement dans des longueurs d'onde sélectives délimitant ainsi de nombreuses bandes d'absorption :

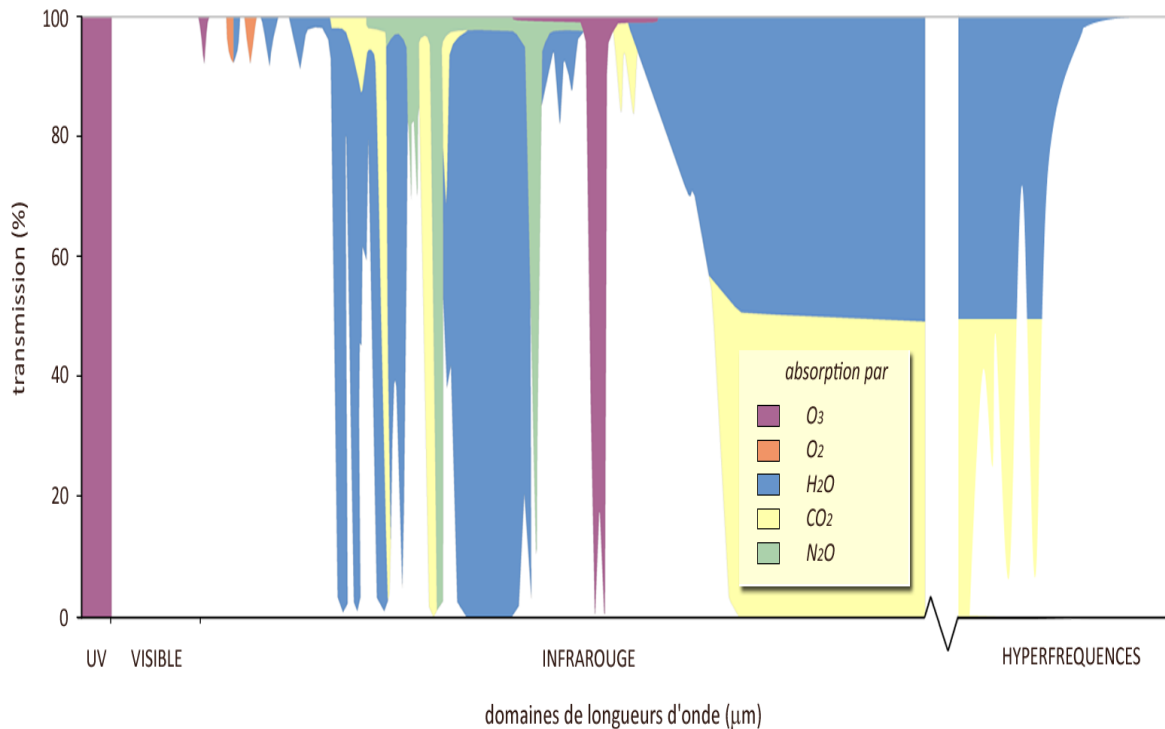
L'ozone absorbe essentiellement les rayonnements ultraviolets dont la longueur d'onde est inférieure à $0,29\mu m$, une très faible partie des rayonnements dans le rouge, ainsi que les rayonnements dans l'infrarouge thermique ($\lambda \sim 9,5\mu m$).

L'oxygène absorbe le rayonnement proche infrarouge dans une bande très étroite autour de $0,75\mu m$.

Les bandes d'absorption les plus larges sont dues aux **gaz à effet de serre** (H_2O , CO_2) qui absorbent le rayonnement dans les infrarouges, du proche infrarouge jusqu'aux infrarouges thermique et lointain.

Les longueurs d'onde pour lesquelles le rayonnement électromagnétique est peu ou pas absorbé constituent ce que l'on appelle les fenêtres de transmission atmosphériques. Dans ces fenêtres, pratiquement tout le rayonnement est transmis. Les capteurs satellitaires dédiés à l'observation de la Terre utilisent ces fenêtres pour observer la surface terrestre et celle des océans.

Les fenêtres atmosphériques de transmission (en blanc sur le schéma)



L'observation du schéma ci-dessus permet de dégager les points essentiels du phénomène d'absorption :

Les rayonnements ultraviolets ($\lambda \sim 0,29\mu\text{m}$) sont totalement absorbés par l'ozone.

Les domaines spectraux du visible et du proche infrarouge présentent une très bonne transmission et sont par conséquent très largement utilisés par les capteurs satellitaires dédiés à l'observation de la terre.

Dans le moyen infrarouge et l'infrarouge thermique, seules quelques bandes spectrales permettent la transmission du rayonnement.

La vapeur d'eau et le dioxyde de carbone présents dans l'atmosphère absorbent la quasi-totalité du rayonnement dans l'infrarouge lointain.

Dans le domaine des hyperfréquences, le phénomène d'absorption est inexistant et l'atmosphère est totalement transparente au rayonnement.

Diffusion atmosphérique

Lors de sa traversée atmosphérique, le rayonnement peut interagir avec les particules et molécules présentes dans l'atmosphère qui constituent des obstacles à la propagation de l'énergie.

Lorsque le rayonnement n'est pas absorbé, il peut être en partie dévié dans toutes les directions. C'est le phénomène de diffusion atmosphérique dont la nature dépend de plusieurs paramètres :

- la longueur d'onde du rayonnement

- la densité et la taille des particules et des molécules atmosphériques
- l'épaisseur de la couche atmosphérique à traverser.
- On distingue ainsi trois types de diffusion :

La diffusion de Rayleigh:

- La diffusion de Rayleigh est due aux molécules gazeuses présentes dans l'atmosphère (O₂, N₂, CO₂, vapeur d'eau, etc.) ou aux fines particules de poussière. Elle se produit lorsque la taille des molécules diffusantes est très inférieure à la longueur d'onde du rayonnement.

L'intensité diffusée est alors inversement proportionnelle à la puissance 4 de la longueur d'onde du rayonnement incident. La diffusion de Rayleigh est par conséquent un phénomène sélectif qui se produit surtout pour les longueurs d'onde les plus courtes du spectre (violet, bleu).

Elle affecte les hautes couches de l'atmosphère et c'est elle qui explique la couleur bleue du ciel pendant la journée. Les longueurs d'ondes les plus courtes (bleu) du rayonnement solaire sont davantage diffusées que les longueurs d'onde plus grandes (rouge), aussi le ciel apparaît bleu à l'observateur. A l'aube ou au crépuscule, en revanche, lorsque le soleil est bas sur l'horizon, l'épaisseur de la couche atmosphérique traversée par le rayonnement est bien plus importante que pendant la journée. Les courtes longueurs d'onde sont totalement diffusées, on ne voit alors plus que les longueurs d'onde les plus grandes (rouge) et le ciel apparaît rouge orangé dans la direction du soleil.

La diffusion de Mie:

Lorsque la taille des particules est de l'ordre de grandeur ou plus grande que la longueur d'onde du rayonnement, la diffusion de Rayleigh ne se produit plus et laisse la place à la diffusion de Mie.

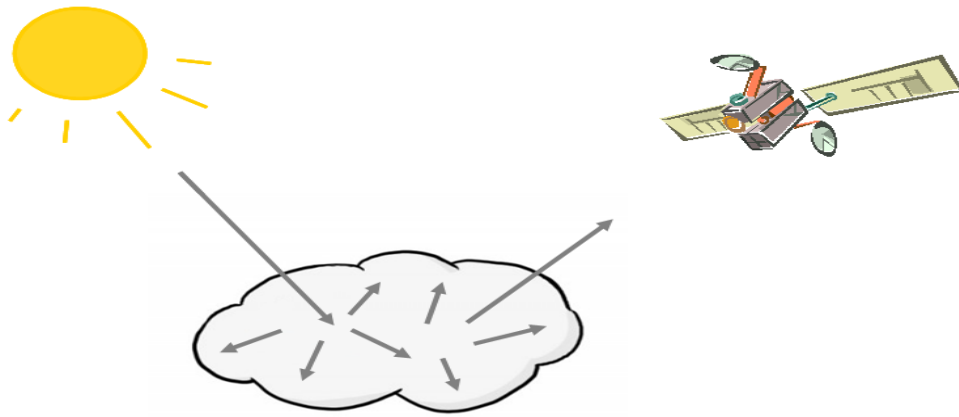
Les gouttelettes d'eau, les cristaux de glace, ou les aérosols présents dans l'atmosphère (poussières, fumées, pollens) sont les principaux vecteurs de la diffusion de Mie. Beaucoup moins sélective que la diffusion de Rayleigh, la diffusion de Mie est inversement proportionnelle à la longueur d'onde du rayonnement incident. Elle se produit plutôt dans les couches basses de l'atmosphère (qui contiennent plus d'aérosols) et donne à la couleur du ciel un aspect bleu délavé voire jaunâtre, toutes les longueurs d'onde étant diffusées de la même façon.

ILLUSTRATION DE LA DIFFUSION DE MIE :

Les poussières et polluants dans l'atmosphère au-dessus des grandes villes diffusent le rayonnement solaire à toutes les longueurs d'onde. Sur cette photo, on peut observer un nuage grisâtre dû à la diffusion de Mie.

**La diffusion non sélective :**

La diffusion non sélective se produit lorsque la taille des particules atmosphériques est beaucoup plus grande que la longueur d'onde du rayonnement. Elle est due notamment aux gouttelettes d'eau que l'on trouve dans les nuages et les brouillards. La diffusion non sélective affecte toutes les longueurs d'onde, ce qui explique la couleur blanche des nuages.



SURFACE TERRESTRE