

Assis sur une grosse pierre, les pieds dans le laka, entre Osses et Suhescun, j'ouvre mon esprit en physicien : je regarde la lumière du Soleil passer entre les feuilles des platanes comprenant que tout ce que je vois trouve son origine dans cette lumière émise par une étoile se trouvant à 150 millions de km : le Soleil. Cette lumière apparemment unique, tombe sur tous les objets qui m'entourent et je les vois dans leur diversité. Il n'utilisent pas la lumière reçue de la même manière !

Réfléchissons maintenant un peu plus loin : conscients de la présence d'une grande quantité d'objets célestes, nous imaginons donc l'émission de nombreux rayonnements, et pas seulement visibles, il n'y a pas de raison...

T shirt : « 100 consecutive pulses from the pulsar CP 1919 ».

Revenons alors à notre position de terrien : la petite couche d'atmosphère, qui est transparente, transparente à la lumière, laisse-t-elle aussi passer tous les autres flux qui traversent l'Univers.

Arrivent d'autres questions, sur la nature du rayonnement (une onde ?), sur les irisations aperçues entre les feuilles d'arbre ou à la surface de l'eau frémissante, ... Mais c'est bientôt la rentrée, il faut partir.

Chapitre 1 : INTERACTION RAYONNEMENT-ATMOSPHÈRE

Introduction : ce qui arrive vers la Terre depuis le Cosmos

ON FAIT VITE : on se contentera de citer les différentes catégories ou type directement associés à une référence bibliographique.

La liste qui suit est à faire trouver (RAPIDEMENT) par les élèves et peut être enrichie...

Rayons cosmiques, tempêtes magnétiques, rayons X, UV, gamma, IR, lumière, flux de neutrinos, vent solaire, impulsions de pulsars, ...

Tout ce qui nous provient de l'Univers atteint-il la surface terrestre ?

Dans ce qui précède, le terme « rayons » a-t-il toujours le même sens ?

Discussion :

- *D'une part : rayons cosmiques, les « particules cosmiques », un terme qui regroupe un peu tout, mais avec un point commun, ce sont des particules matérielles : protons, particules α , ... Evidemment on les associe, à tort, au terme « rayonnement cosmique »)*

Extension : vent solaire / interaction avec champ terrestre / trajectoire / aurores boréales (Hecht p 812)...

- *D'autre part : rayonnements électromagnétiques divers (on en profite pour introduire l'abréviation « E.M. » et pour les réunir en un modèle unique, voir plus loin, l'annexe I)...*

- Et aussi : les pulsars (Hecht p293)...
- Les flux de neutrinos
- les muons (Hecht p 1215)

Nous consacrerons ce chapitre aux rayonnements E.M. qui arrivent dans notre atmosphère. Nous verrons que le terme « rayonnement » cache une notion encore plus vaste : l'onde (déjà présentée au chapitre 0)

I - Activités documentaires p 32 et 33 (d'abord la 1 p 32)

II - Absorption et transmission atmosphériques

1) Présentation

Rappelons que les ondes E.M. appartiennent à la catégorie « onde » dont la description a déjà été développée au chapitre 0 et que leur énergie est transportée par paquets de valeur $E = h\nu$ (h étant la constante de Planck, $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s), le grain d'énergie électromagnétique étant le photon. Autrement dit, l'énergie d'un (photon associé à un) rayonnement E.M. de fréquence ν est quantifiée et ne s'échange pas autrement que par paquet (par quantum) de valeur $h\nu$.

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique traverse la couche atmosphérique, l'énergie qu'il transporte est proposée aux molécules rencontrées. (par paquets de valeur $\mathbf{E} = h\nu$, pour chaque photon associé au rayonnement de fréquence ν)

Il peut être dévié de sa trajectoire, par exemple **diffusé**, ou même **réfléchi**, mais ce n'est pas très clair (par exemple, en quoi consiste la « déviation » d'un rayonnement ?) ... Nous y reviendrons.

Il peut être en totalité ou en partie **absorbé**. Ça, on connaît ! On l'a vu en classe de 1^{ère} S : il y a transfert d'énergie entre le rayonnement et les molécules avec lesquelles il entre en interaction. 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 valeur d'énergie absorbée permet à la molécule de changer d'état énergétique. Son énergie (interne) passe d'une valeur (ou niveau d'énergie) E_1 à une valeur (niveau d'énergie) E_2 supérieure.

Schéma impératif (rappel de 1^{ère} S)

On dira plutôt : 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.

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

CE SCHÉMA DOIT ÊTRE COMPRIS ET MAÎTRISÉ, LA DISCUSSION AVEC LA CLASSE DOIT ÊTRE APPROFONDIE ET HONNÊTE.

Les valeurs d'énergie possibles pour les électrons de la molécule étant quantifiées (1^{ère} S, à rediscuter), toutes les valeurs d'énergie apportées par les rayonnements ne seront pas absorbées, il faut pour cela qu'elles coïncident avec des valeurs de

différences d'énergie entre deux niveaux. Les valeurs non absorbées traversent donc la matière : elles sont **transmises**.

2) Il y a différentes catégories de perturbation

(selon l'énergie de la radiation absorbée)

a) Tableau de présentation des ondes E.M.
(voir figure 2 p 37 ou « l'essentiel » p 42)

b) Quelques exemples d'effets de l'énergie absorbée

(très détaillé ci-dessous, sera présenté plus rapidement en cours et le document sera disponible sur l'ENT)

▪ Rayonnement ultraviolet :

ça casse (les liaisons entre atomes), ça ionise (arrachage d'électrons)

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.

A ce propos :

<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/chimie-atmospherique-labsorption-des-uv-par-lozone-1208>

(discussion rapide puis renvoi vers l'article...)

▪ rayonnement visible : **transitions entre niveaux d'énergie électroniques mais les ruptures de liaisons sont peu courantes.**

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

Déformations des nuages électroniques, mais peu de ruptures de liaisons.

▪ rayonnement infrarouge : **ça fait vibrer**

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. Il y a donc mise en vibration des molécules par étirement ou par pliage, déformation.

▪ rayonnement micro-onde : **ça fait tourner les atomes sur eux mêmes**

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

des molécules. Les molécules sont mises en rotation lorsqu'il y a interaction avec des rayonnements micro-ondes.

° **rayonnement radio : rien** (énergie trop faible)

Remarque 1 :

Les rayons X et γ étant plus énergétiques que les rayonnements UV : très destructeurs.

Remarque 2 :

Pour les interactions vibrationnelle et rotationnelle, le principe est le même que pour les transitions électroniques, le rayonnement est absorbé si sa fréquence coïncide (est adaptée à) avec une fréquence propre de la structure. Ce terme de « fréquence propre » peut être compris soit directement comme caractérisant une fréquence à laquelle le système peut évoluer spontanément si on lui communique une énergie, soit indirectement comme caractérisant une fréquence associée à une valeur de différence d'énergie entre deux niveaux d'énergie (vibrationnels ou rotationnels).

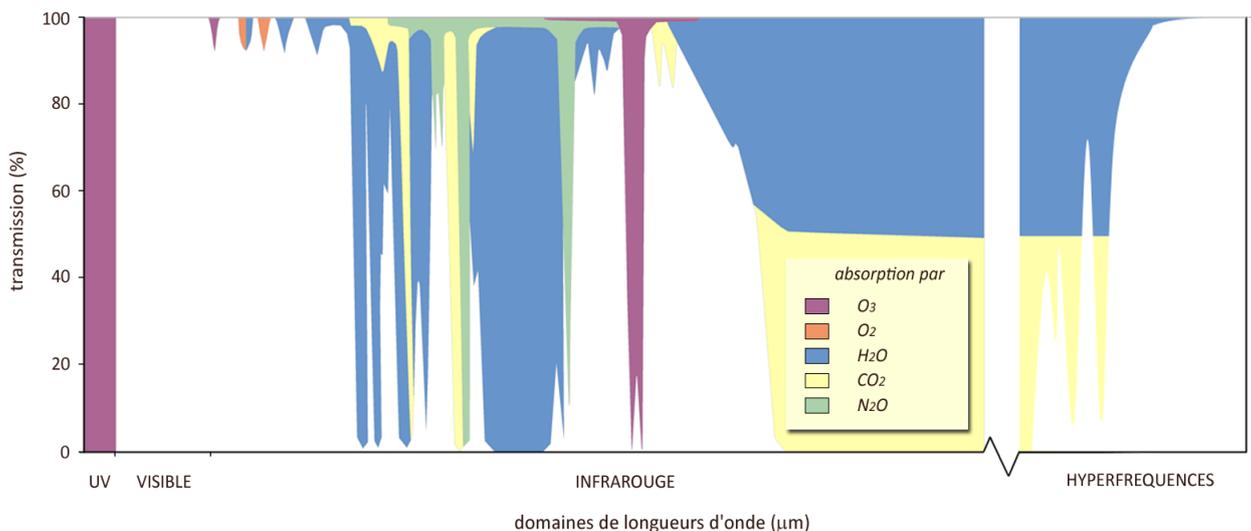
Faire osciller librement un objet quelconque...

3) Alors, dans l'atmosphère ?

Dans l'atmosphère :

- O₂, N₂ et Ar à concentration fixe ;
- H₂O, CO₂, CH₄, CO, N₂O, O₃, etc. à concentration variable.

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



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. Remarque : les capteurs satellitaires dédiés à l'observation de la Terre utilisent ces fenêtres pour observer la surface terrestre et celle des océans.

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

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

- **Le dioxygène** absorbe le rayonnement proche infrarouge dans une bande très étroite autour de $0,75\mu\text{m}$.
- 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 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.

(voir aussi figure 4 p 38 + **exo résolu p 44**)

4) A propos des sources de rayonnements dans l'univers

Un inventaire rapide et simple (principales sources associées à chaque grande famille de rayonnement E.M.)

- Voir le tableau de la figure 3 p 32 ; (*cela suffira*)
- le fond cosmologique : « *L'observation en astronomie* » p 124.
- Un gaz chaud au centre des amas de galaxie : « *L'observation en astronomie* » p 124-125.

III – Détection

1) Introduction

Pour tout détecter ?

Placer le dispositif d'observation en dehors de l'atmosphère !

Comment ? En le positionnant à haute altitude (sommet d'une montagne, nacelle d'un ballon, ...

Mieux : en le satellisant !

2) Détection d'ondes E.M.

Introduction

Il y a un principe général, et les techniques actuelles vont, bien entendu au-delà d'une observation humaine directe (une personne qui regarde dans un oculaire). Les dispositifs ont pour rôle de transformer le signal E.M. détecté en signal électrique « fidèle » (ce signal électrique sera par la suite traité afin de produire une traduction dans le domaine visible, une image exploitable).

On comprend donc que le composant clé sera **photoconducteur**, qu'il fonctionne sur la base d'un phénomène appelé effet **photoélectrique**. Tout cet aspect fondamental sera expliqué en classe de terminale S, mais pas d'un coup, pas aujourd'hui. Le capteur le plus courant fonctionnant selon ce principe : le capteur CCD.

Exemples d'appareils

- télescope Hubble satellisé (visible) :

petite taille par rapport aux télescopes terrestres, mais aucune atmosphère gênante pour l'observation.

- télescope à rayons X :

Toujours des capteurs CCD (mais prêts à recevoir beaucoup plus d'énergie et à libérer beaucoup plus d'électrons, le dispositif de traitement doit donc être adapté.)

- télescope à infra rouge :

Dimension : de l'ordre du mètre.

Les détecteurs sont peuvent être des **bolomètres**, qui transforment l'énergie incidente en chaleur grâce à un matériau détecteur supra-conducteur (très sensible) maintenu entre 0,1 et 0,3 K (le bolomètre est un appareil assez ancien, ce qui a changé, c'est la surface détectrice, le matériau absorbant : ce fut d'abord du métal, puis des semi-conducteurs, puis des supra-conducteurs).

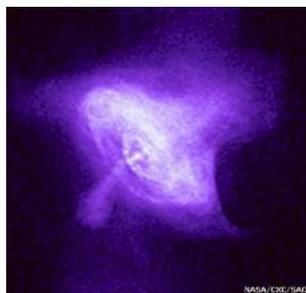
Des détecteurs photoconducteurs type capteurs CCD (... , *indiquer les spécificités*)
voir TP

- **Télescopes gamma** (flux gamma / chaleur / lumière / capteur CCD) *problème technique : les détecteurs sont aussi sensible aux flux de particules...*

Exemples de résultats

On conclue en présentant les enregistrements (visible X, IR, ...) des différents rayonnements envoyés par un même objet céleste.

images de la nébuleuse du crabe



aux rayons X + traitement (Chandra)



au visible + traitement (Hubble)

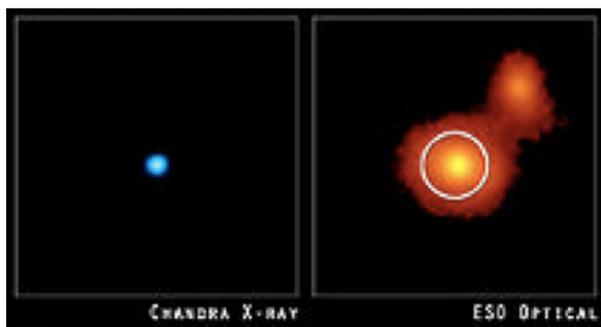


aux IR + traitement (Spitzer)

images d'un trou noir :

à gauche : Photo prise dans les [rayons X](#) avec le télescope [Chandra](#).

à droite : photo optique prise par l'[ESO](#).



images d'une galaxie, de haut en bas : rayons X (satellite Rosat) – UV (satellite GaleX) – visible (dss/stsci) – IR moyen (SPITZER à 24 μm) – IR lointain (ISO à 175 μm).



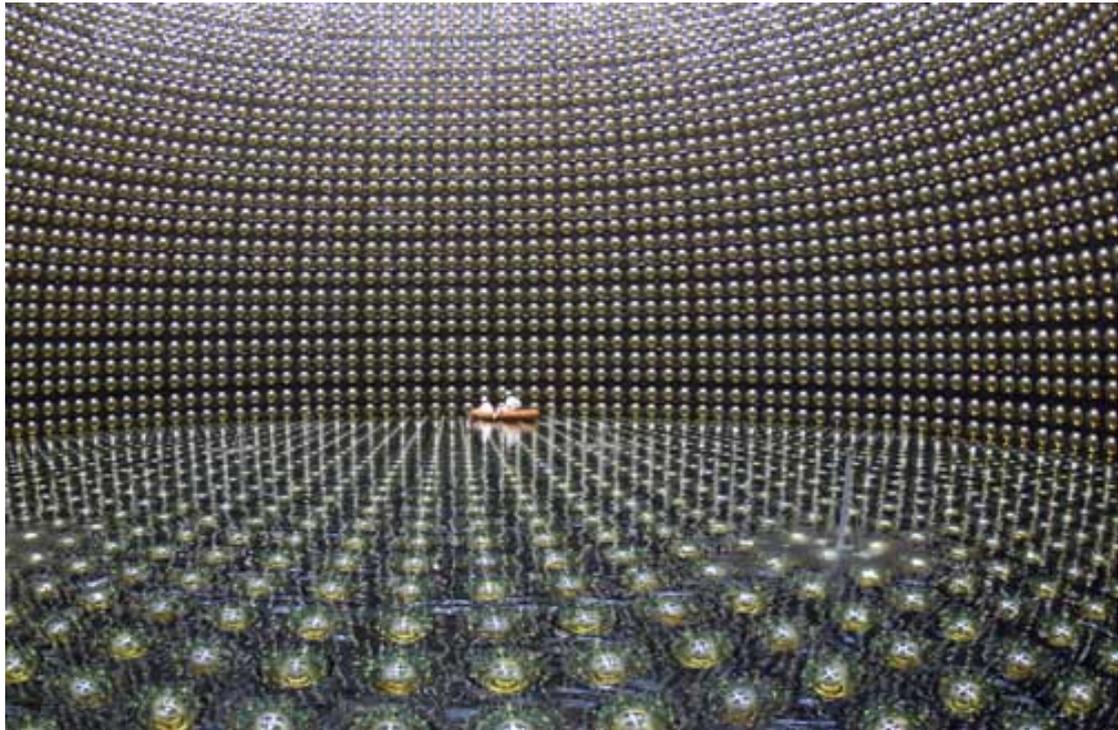
3) Détection de flux de particules

- Se référer à l'activité de la p 33, ainsi qu'à la figure 3 p 38.
- Détection par production de lumière Tchérénkov : « *L'observation en astronomie* » p 146.
- Les neutrinos

Solaires (émis à la suite de réactions nucléaires dans le Soleil).

Cosmiques (issus de phénomènes cosmiques violents, par exemple l'explosion de la supernova SN1987A).

Les détecteurs sont de très grande taille (voir ci-dessous le Super-Kamiokande) et le dispositif de détection peut être la Terre entière (expérience Antares, lire « *L'observation en astronomie* » p 160)



4) Encore autre chose : les ondes gravitationnelles.
 ... Renseignez-vous (facultatif)

annexe : vie d'une étoile (aide-mémoire) :

