

Ondes et particules

1- Rayonnements dans l'univers

1-1- Rayonnement

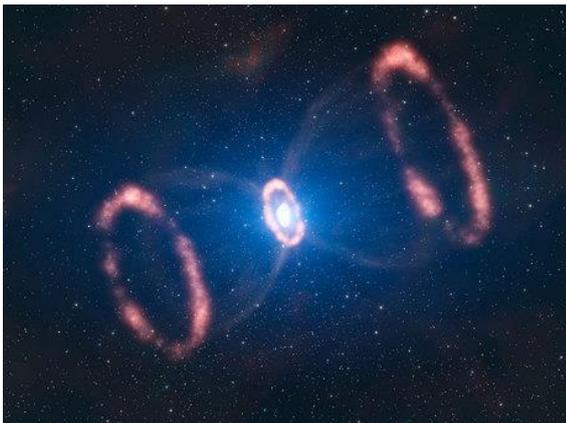
Un rayonnement désigne la propagation d'énergie émise par une source.

Dans l'univers on distingue le rayonnement de particules lorsque le déplacement d'énergie s'accompagne d'un déplacement de matière, et le rayonnement électromagnétique, lorsque l'énergie se déplace seule.

1-2- Rayonnement de particules

L'Univers est parcouru par des noyaux atomiques ou des particules élémentaires (protons, neutrons, électrons, neutrinos, ...) se déplaçant à grande vitesse: c'est le rayonnement cosmique.

Les sources de rayonnements de particules sont diverses. Elles ont parfois pour origine les supernovas, explosions d'étoiles très massives en fin de vie.



Supernova 1987A située dans le grand nuage de Magellan

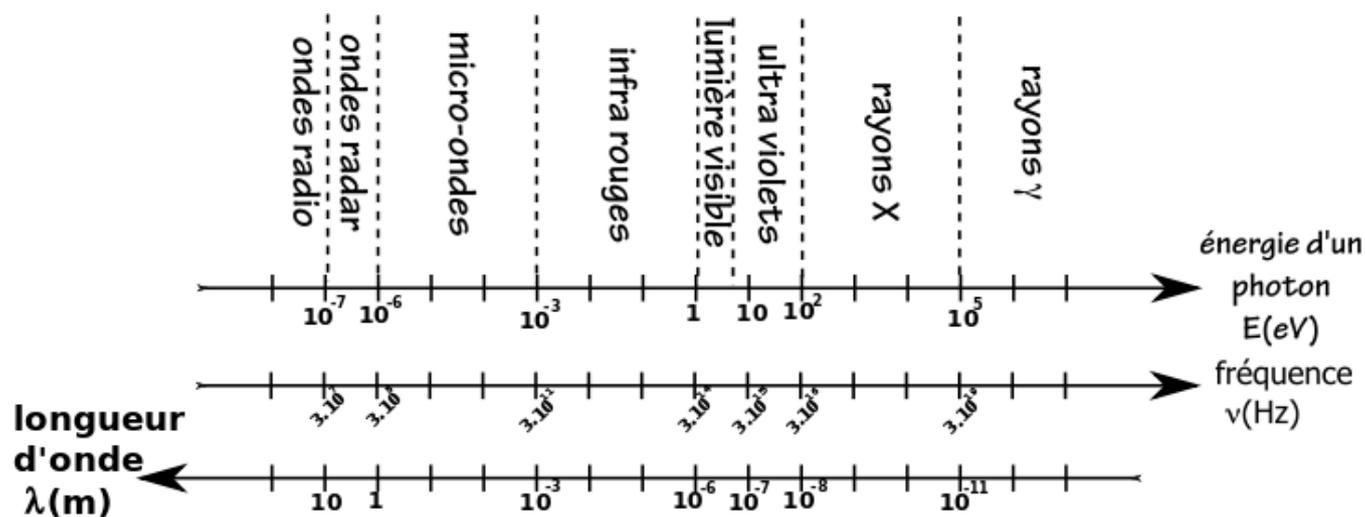


Nébuleuse du crabe à 6000 années-lumière. Il s'agit du résidu d'une explosion de supernova observée depuis la Terre en 1054.

Ces particules subissent ensuite différentes modifications au cours de leur voyage dans l'univers.

1-2- Rayonnement électromagnétique

Selon la quantité d'énergie qui se propage, et donc la longueur d'onde, le rayonnement électromagnétique est divisé en différentes catégories.



La lumière visible correspond aux rayonnements auxquels l'œil humain est sensible.

Les rayonnements de plus grande énergie sont les rayonnements gamma (γ), X et ultraviolet (U.V.).

Les rayonnements infrarouge (I.R.) et radio transportent moins d'énergie.

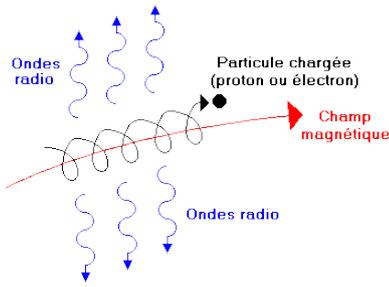
Le spectre électromagnétique (E.M.S.) regroupe, en fonction de l'énergie transportée, les différentes catégories de rayonnement électromagnétique.

Les objets célestes produisent généralement des rayonnements qui s'étalent sur la totalité du spectre électromagnétique.

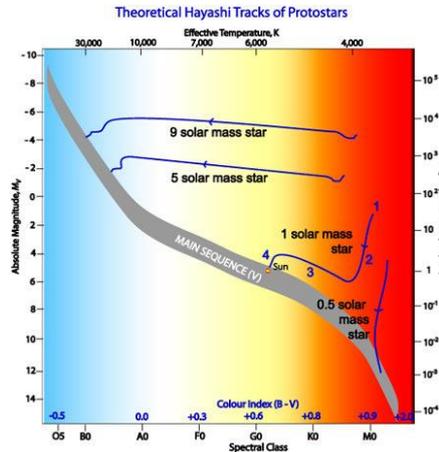
Les rayonnements provenant de l'Univers sont dus à des phénomènes physiques faisant intervenir des énergies élevées.

Ces phénomènes qui sont complexes ont des origines diverses :

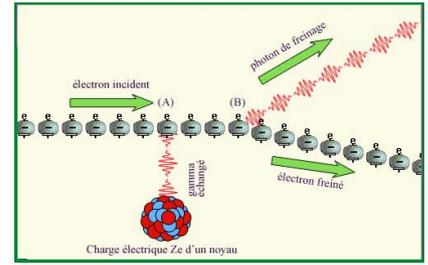
- Le rayonnement synchrotron résulte de l'interaction entre des particules chargées et le champ magnétique environnant.
- Le rayonnement d'origine thermique est produit par des objets de l'Univers en fonction de leurs températures.
- Le rayonnement de freinage (bremsstrahlung) est produit par des électrons libres lorsqu'ils rentrent en interaction avec une autre particule chargée.



Rayonnement synchrotron

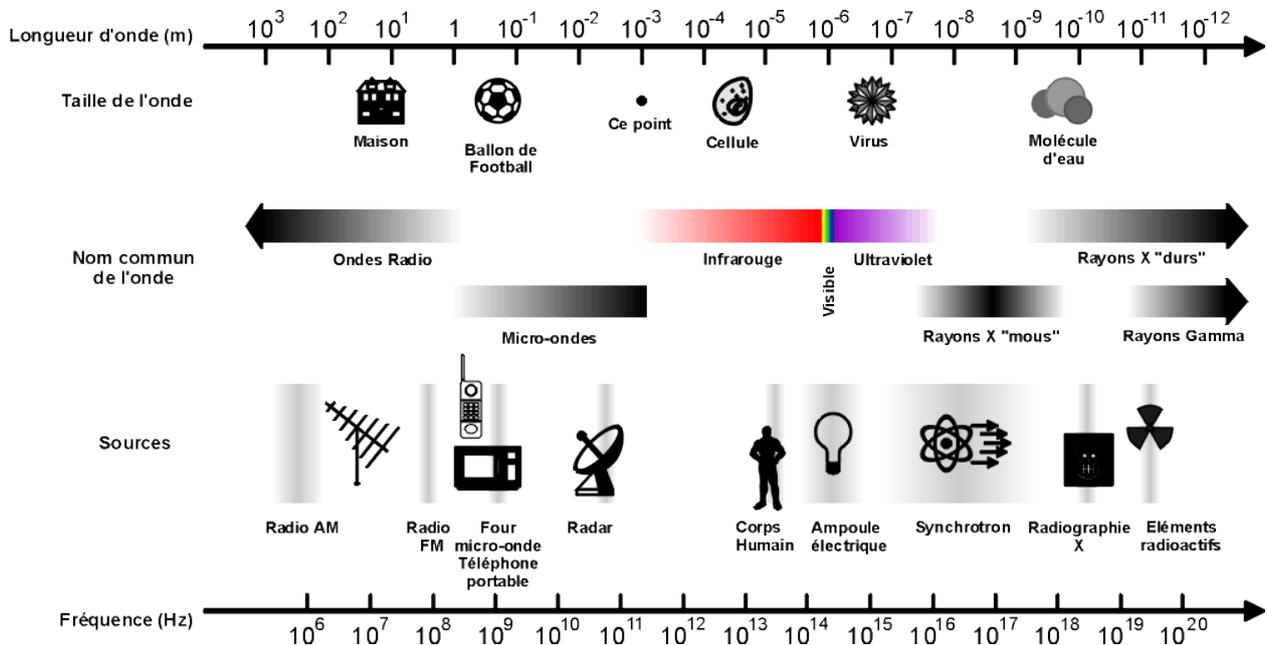


Rayonnement thermique stellaire



Rayonnement de freinage

L'Homme a créé des sources de rayonnement sur l'ensemble du spectre électromagnétique.



Les utilisations de ces sources sont nombreuses:

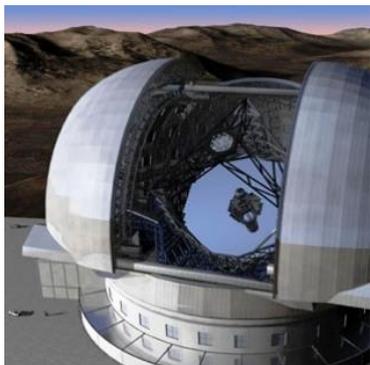
- Les rayonnements radio servent de support aux télécommunications.
- Les rayons X permettent la réalisation de radiographies.
- Les rayons gamma sont utilisés en radiothérapie pour traiter de nombreux cancers.

2- Détecter un rayonnement

2-1- Détecter les rayonnements

Quel que soit le domaine du spectre électromagnétique observé, tous les instruments d'observation reposent sur le même principe.

Les dispositifs d'étude des rayonnements comportent une surface réceptrice qui intercepte les rayonnements pour les concentrer et les diriger vers un détecteur spécifique.



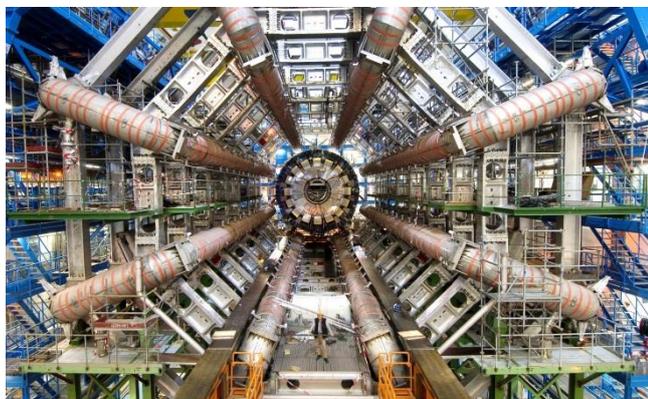
Le miroir de télescope est une surface réceptrice de lumière.



La parabole d'un radiotélescope est une surface réceptrice des rayonnements de l'Univers.

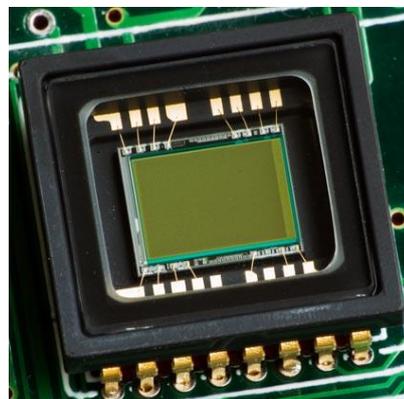
Les dispositifs d'étude des rayonnements comportent un détecteur qui transforme les rayonnements reçus en une grandeur physique mesurable.

La grandeur physique délivrée par les détecteurs est généralement un courant électrique. Son acquisition et son traitement électronique permettent aux scientifiques d'enregistrer et d'exploiter les informations récoltées.



ATLAS est un détecteur polyvalent conçu pour analyser les aspects les plus divers de la physique au LHC, de la recherche du boson de Higgs à celle des particules super symétriques en passant par la quête de dimensions supplémentaires.

Ce détecteur est caractérisé par son énorme système magnétique toroïdal. C'est le plus grand détecteur construit pour un collisionneur de particules.



Le capteur CCD (*Charged Coupled Device*) est le récepteur d'image que l'on trouve dans les appareils photos numériques et les caméscopes.

Ce récepteur tend à être remplacé par des capteurs CMOS, moins consommateurs d'énergie mais moins précis.

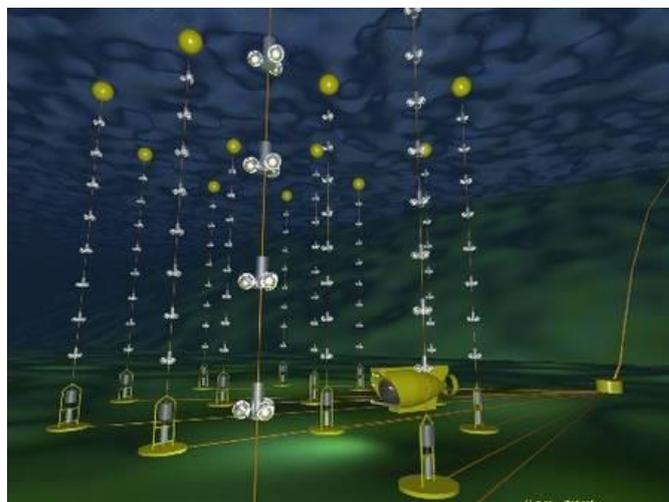
2-2- Détecteur de rayonnement de particules

La détection des particules peut d'effectuer en étudiant les effets de leurs interactions avec l'atmosphère terrestre.

Ces interactions produisent des gerbes de particules élémentaires secondaires susceptibles d'être détectées au sol par des détecteurs.

Avec le télescope sous-marin Antares, sensible aux neutrinos dont la construction vient de s'achever dans le fond de la Méditerranée, les scientifiques disposent désormais d'un outil unique au monde pour détecter les particules parmi les plus énigmatiques de l'Univers.

La position de ces détecteurs est pour le moins inhabituelle. Antares est le seul télescope au monde à pointer vers le bas. C'est donc à travers la Terre qu'il observe le ciel... Cette étrangeté s'explique par la première préoccupation des chercheurs, qui est de se soustraire à tout rayonnement parasite pouvant interférer avec les signes toujours ténus du passage des neutrinos. Ces particules élémentaires de faible masse et sans charge électrique réagissent en effet très peu avec la matière, qu'elles traversent sur de longues distances en ligne droite et sans être déviées par les champs magnétiques.



L'astuce est d'utiliser la Terre elle-même comme détecteur. Les particules célestes sont arrêtées par l'atmosphère, le sol ou l'océan, exceptées, justement, les neutrinos qui poursuivent imperturbablement leur route à travers la Terre. A cause de la longue distance, tout de même, certains, en réalité une proportion très faible, vont entrer en collision avec le noyau d'un atome. Ce choc fatal pour le neutrino produit un muon, une particule voisine de l'électron, qui se déplacera dans la même direction que le neutrino d'origine dont il prendra en quelque sorte la place.

Ces muons sont encore capables de parcourir quelques dizaines de kilomètres au sein de la Terre. S'ils ont été produits à faible profondeur dans le sous-sol, ils pourront donc en sortir. Et s'ils jaillissent dans l'eau, ils laisseront derrière eux un sillage faiblement lumineux (la lumière Tcherenkov). Pour qu'un instrument puisse le repérer, il faut encore que la lumière ambiante soit quasiment nulle. D'où l'idée d'installer Antares à 2,5 kilomètres sous la surface l'eau, à un endroit où règne une obscurité presque totale. Cette profondeur présente un second avantage déterminant, protégeant l'instrument de l'énorme bruit de fond des signaux cosmiques, arrêtés par l'épaisseur d'eau.

2-3- Détecteur de rayonnement électromagnétiques

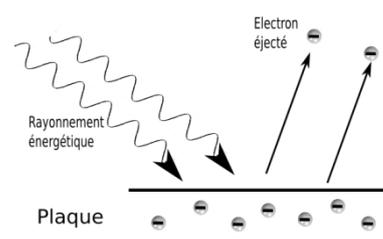
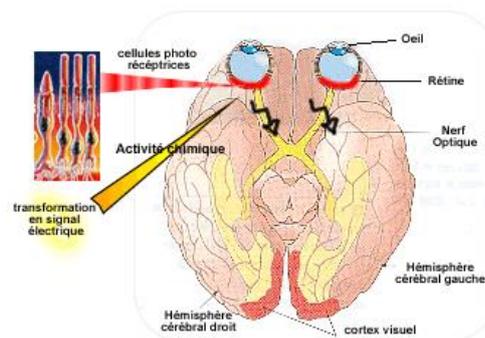
La rétine de l'œil est un détecteur naturel, capable de transformer les rayonnements qu'il capte en signaux électriques transmis au cerveau.

Les détecteurs électroniques sont des détecteurs artificiels, qui exploitent la propriété qu'ont certains atomes à libérer les électrons lorsqu'ils sont soumis à des rayonnements. C'est le cas des capteurs CCD.

Les détecteurs artificiels exploitent l'effet photoélectrique, c'est à dire la libération d'électrons par certains matériaux exposés à un rayonnement.

Les électrons libérés produisent alors un courant électrique mesurable.

A chaque type de détecteur de rayonnement est associée une sensibilité spectrale, qui identifie le domaine du spectre électromagnétique sur lequel il sera particulièrement adapté.



3- Contraintes d'observation des rayonnements

Il est évident que pour pouvoir les observer, il est indispensable que les rayonnements atteignent le détecteur: ils ne doivent être ni déviés, ni absorbés.

3-1- Interaction rayonnement-matière

Le rayonnement électromagnétique se propage sans support matériel, mais peut rencontrer de la matière.

Lors d'interactions rayonnement-matière, l'énergie transportée par le rayonnement peut être absorbée par la matière: ce phénomène est appelé absorption de rayonnement.

Si toute l'énergie transportée par le rayonnement est absorbée, la matière rencontrée est alors dite opaque.

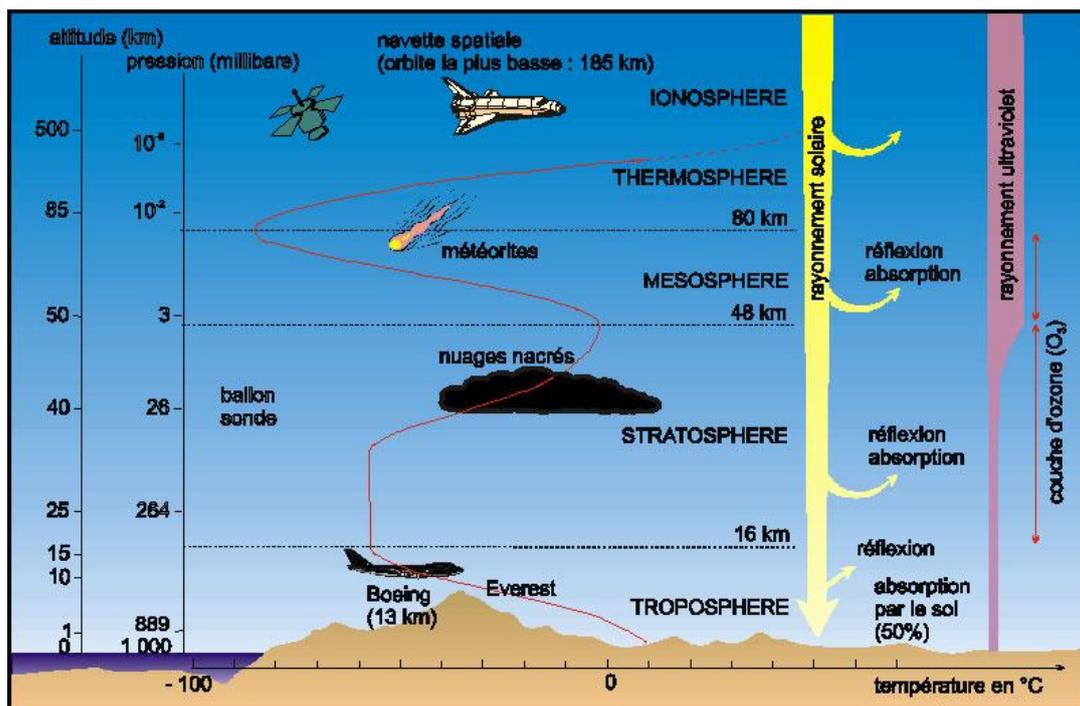
A l'inverse, la matière est transparente si elle n'absorbe pas la totalité de l'énergie transportée par le rayonnement.

Par exemple une valise est opaque pour les rayonnements visibles, mais transparente pour les rayonnements X. Cette propriété est utilisée pour contrôler le contenu des bagages.



3-2- Les fenêtres atmosphériques

L'atmosphère terrestre est le nom donné à l'enveloppe gazeuse, composée de diverses substances chimiques, qui entoure notre planète.

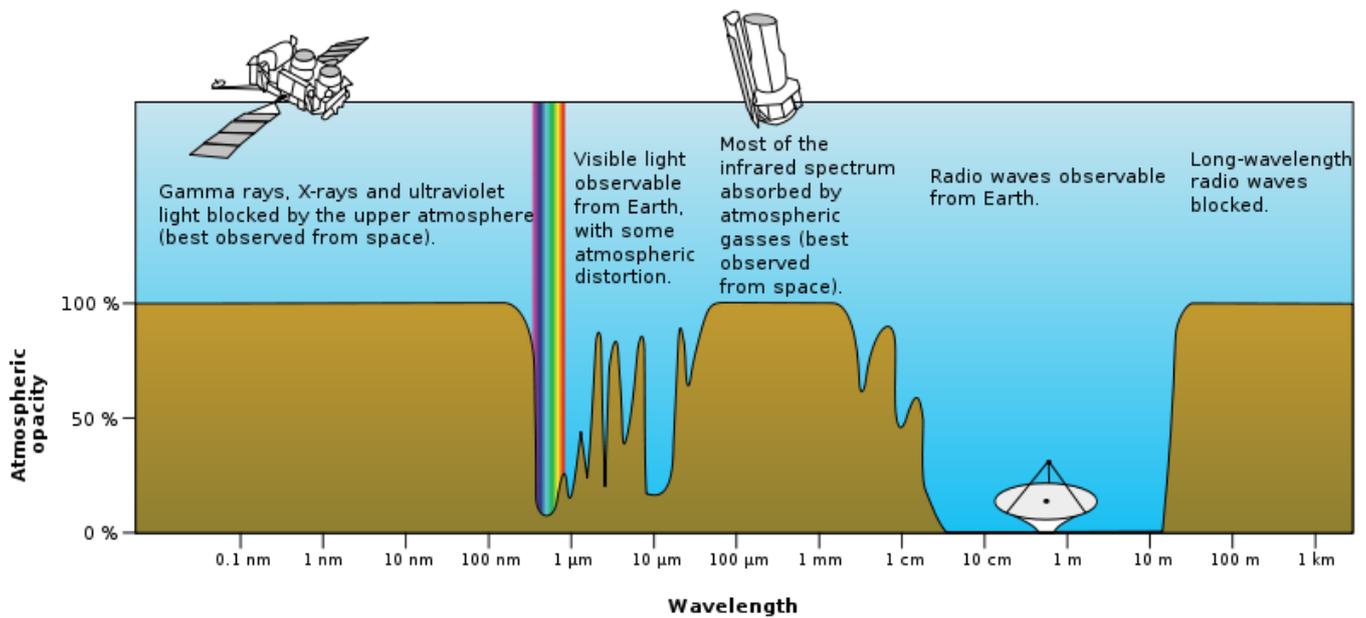


Avant d'atteindre la surface de la Terre, les rayonnements de l'Univers entrent en interaction avec les substances chimiques constituant l'atmosphère.

- Les rayonnements des domaines X et UV vont être absorbés par les substances à base d'azote et d'oxygène (majoritaires dans l'atmosphère).
- Les rayonnements dont les longueurs d'onde sont comprises entre $1\mu\text{m}$ et 1cm sont presque totalement absorbés par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère.
- Les rayonnements de longueurs d'onde élevées sont absorbés par les espèces chimiques ionisées de la haute atmosphère.

Les rayonnements capables de traverser l'atmosphère terrestre sans être absorbés appartiennent principalement aux domaines visible et radio.

Pour ces domaines de rayonnement, l'atmosphère est dite transparente. On parle ainsi de la fenêtre visible et de la fenêtre radio.



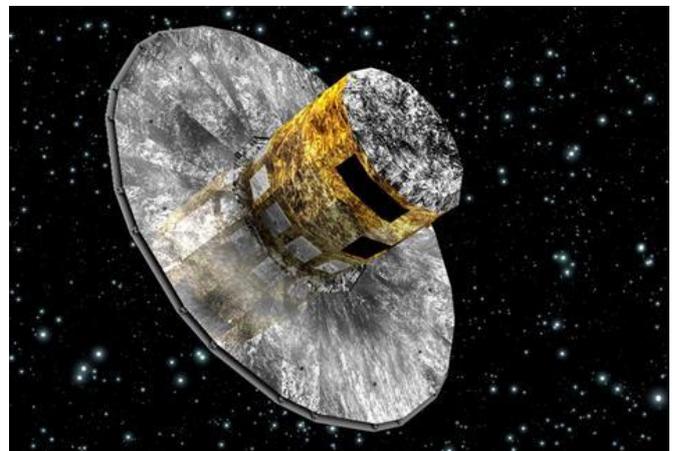
3-3- L'astronomie spatiale

Afin d'observer l'Univers dans sa globalité, il est nécessaire de capter tous les rayonnements, y compris ceux qui sont absorbés par l'atmosphère terrestre.

A cet effet, il faut donc utiliser des dispositifs d'observation positionnés au-dessus des couches absorbante de l'atmosphère.



Le télescope spatial Hubble lancé par la NASA en 1990 est en orbite autour de la Terre à environ 500km d'altitude. Il livre des images de l'Univers d'une qualité exceptionnelle.



Le satellite européen Gaia, qui doit être lancé en 2013, doit permettre de repérer les positions de nombreuses exoplanètes.