

Bienvenue dans l'infiniment petit...

Quand la **lumière** rencontre la **matière** !



Le synchrotron SOLEIL

Une source de lumière exceptionnelle au service de la recherche et de l'industrie



Sommaire

Visible et Invisible

- La grande famille des ondes p.3
- Voir la lumière p.4

La Matière

- L'Atome p.5
- L'énergie de la matière p.6

Lumière/Matière

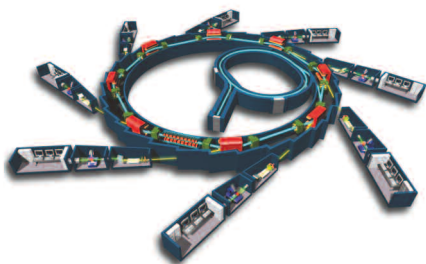
- Les différents types d'interaction p.7

SOLEIL, un centre de recherche pluridisciplinaire

Installation de très haute technologie, un centre synchrotron est, à la fois, une machine qui produit un rayonnement dont la brillance surpasse toutes les autres sources de lumière et un laboratoire de recherche à la pointe des techniques expérimentales. A SOLEIL, plus de 300 personnes en 2006 accueilleront quelque 2000 chercheurs par an, issus de tous les domaines qui, aujourd'hui, mobilisent la science et l'industrie : biologie, pharmacie, environnement, physique, matériaux, chimie, géosciences, patrimoine...

La source de lumière la plus performante au monde dans son domaine

Les expériences menées dans un centre synchrotron utilisent le rayonnement émis par des électrons de très haute énergie, circulant à la vitesse de la lumière dans un anneau : les électrons sont soumis à l'action de champs magnétiques qui courbent leur trajectoire en arc de cercle dans des aimants dits « de courbure » ou qui la font osciller dans des structures magnétiques de courtes périodes, appelées « onduleurs » et permettent des expériences inconcevables auparavant.



Un outil de recherche incontournable, en particulier en biologie et en science des matériaux

Qu'il s'agisse d'appréhender finement la structure et la géométrie de la matière, de sonder sélectivement les niveaux électroniques des atomes ou d'explorer leurs propriétés, l'utilisation du rayonnement synchrotron concerne un très large ensemble d'activités, tant en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée ou d'intérêt industriel. Le programme scientifique de SOLEIL a été élaboré avec l'aide de groupes de travail et d'ateliers thématiques issus de larges communautés de chercheurs.

Deux grands domaines sont fortement représentés : la biologie et les matériaux, disciplines en forte croissance, où les équipes françaises ont une forte tradition.



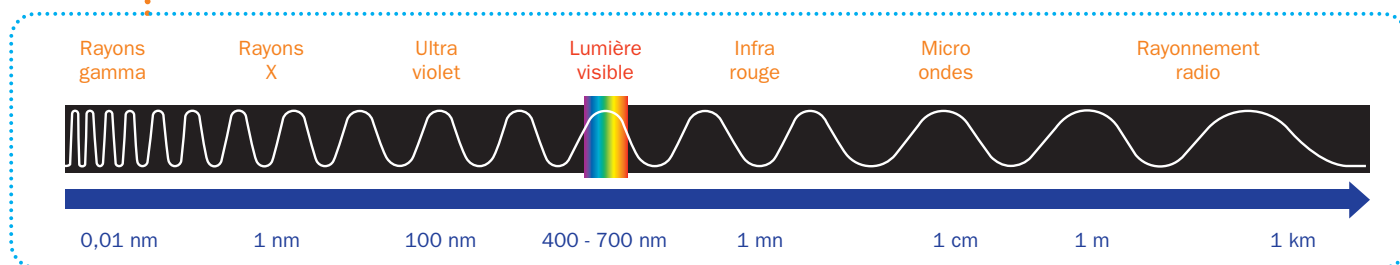
Carrefour de l'innovation et de la science, SOLEIL est aussi un lieu de progrès et de diffusion de la connaissance. Ce document reprend les panneaux de l'exposition « lumière-matière » présentée lors de la Fête de la science 2002 et réalisée avec le concours du Conseil Général de l'Essonne.



Visible et Invisible

La grande famille des ondes

La lumière fait partie de la grande famille des ondes électromagnétiques. Le soleil est la source la plus connue et la plus importante pour nous.



De droite à gauche en lisant la figure ci dessus, soit des plus longues ondes vers les plus courtes.

- Les ondes radio pour recevoir les émissions de la radio.
- Les micro-ondes qui, par exemple, nous permettent de réchauffer des aliments par " agitation " des molécules d'eau qu'ils contiennent.
- L'infrarouge émis en particulier par ce qui dégage de la chaleur (flamme, animaux ...)
- La lumière visible, si bien illustrée par les couleurs de l'arc en ciel.

L'ultra-violet, dont on constate des effets lors du bronzage de notre peau.

Les rayons X, qui transportent beaucoup d'énergie. Ils sont capables de traverser la matière ; on les utilise par exemple pour la radiographie.

Les rayons gamma que presque rien n'arrêtent.

Dans le monde scientifique, l'ensemble de ces rayonnements est appelé " ondes électromagnétiques ", car elles sont toutes de même nature : de l'énergie qui se propage dans le vide, à 300 000 km par seconde. C'est la fameuse " vitesse de la lumière ".

En savoir plus

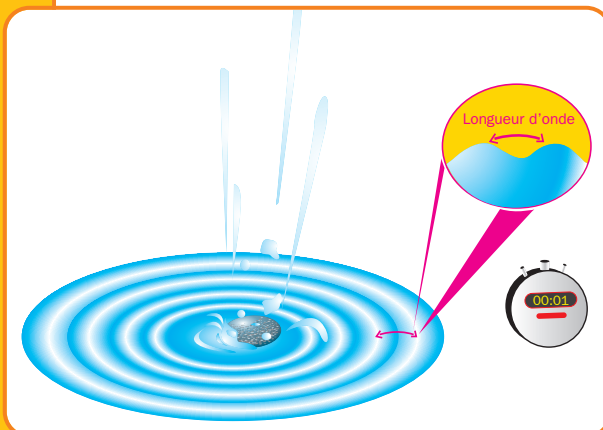
Longueur d'onde et fréquence

Pour différencier les ondes électromagnétiques entre elles, les scientifiques utilisent différentes grandeurs physiques : **longueur d'onde** (λ), **fréquence** (f).

Pour les ondes électromagnétiques, prenons comme image une succession de vaguelettes qui se forment à la surface de l'eau autour de l'impact d'un caillou.

La **longueur d'onde** est la distance qui sépare les sommets de deux vaguelettes successives. Elle se mesure en unité de longueur, le **mètre**.

La **fréquence** est le nombre de vaguelettes que vous pourriez compter en 1 seconde en restant au même endroit. Elle se mesure en **hertz**¹⁾.



1) Heinrich Rudolf Hertz : physicien allemand 1857 -1894.



Visible et Invisible

Voir la lumière

Notre œil est un détecteur adapté à la lumière visible mais aveugle à tous les autres rayonnements électromagnétiques. D'autres détecteurs existent pour les ondes électromagnétiques (pellicule photo, CCD, antenne radio...).

Nous ne voyons rien dans la nuit noire. Pourtant notre œil est le même de jour comme de nuit.

Hormis les sources de lumières elles-mêmes (lampes), ce sont donc les objets qui émettent de la lumière. Par exemple un objet rouge éclairé par la lumière blanche d'une lampe a absorbé toutes les longueurs d'ondes sauf celle qui correspond au rouge, qu'il renvoie à notre œil.

Dans le cas de rayons X, si on souhaite, par exemple, radiographier une cheville, on envoie un faisceau de rayons X capable de traverser la peau et les muscles mais absorbés par les os. Sur le détecteur, on distinguera les os des autres tissus.

Sur la plage, votre maillot de bain arrête les ultra-violet alors que la peau réagit en bronzant.

En savoir plus

Photon

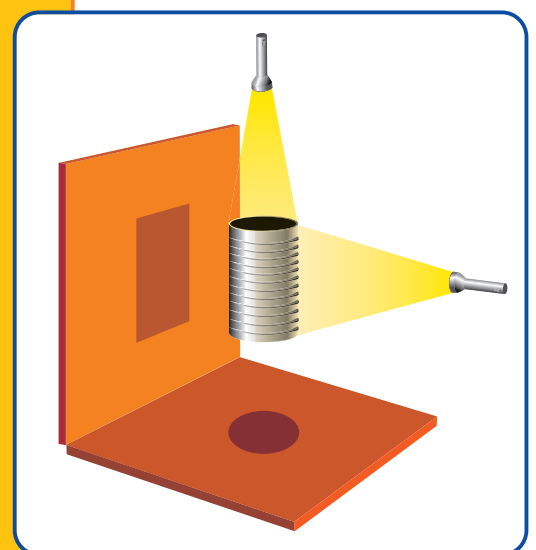
En physique classique, on distingue les ondes (sorte d'oscillations) et les corpuscules (très petits grains). Pour la lumière, ce classement ne fonctionne plus car la lumière se comporte comme une onde dans certaines expériences (interférence) et comme un grain d'énergie appelé "photon" dans d'autres expériences (fluorescence par exemple).

Aidons-nous de l'analogie suivante :

Regardé sous deux angles différents, un objet nous apparaît soit comme un disque, soit comme un rectangle. Pourtant ce n'est ni l'un ni l'autre. C'est un cylindre.

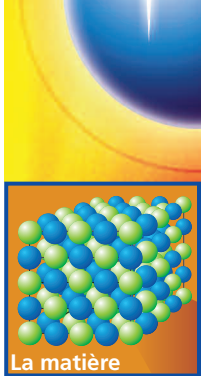
Plus un photon transporte d'énergie plus il appartient à un domaine de petite longueur d'onde.

Un photon X transporte plus d'énergie qu'un photon infra-rouge ou visible. Les photons peuvent transmettre leur énergie aux objets qu'ils rencontrent... mais c'est une autre histoire.



L'Atome

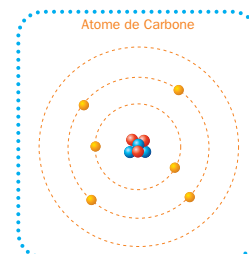
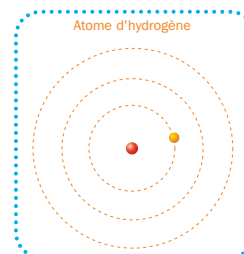
5



La Matière

L'énergie de la matière

Dans leur état fondamentale, les électrons d'un atome sont sur des couches au plus près du noyau. Pour chaque atome, il y a un nombre précis de couches remplies.

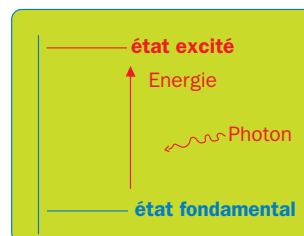


Représentation selon le modèle atomique de Bohr¹⁾

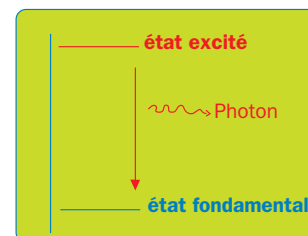
Les électrons d'un atome peuvent gagner de l'énergie. L'atome quitte alors son état fondamental pour passer dans un état excité. S'il reçoit encore plus d'énergie, l'électron peut se libérer de l'atome qui devient un ion.

Un atome excité revient toujours à son état fondamental.

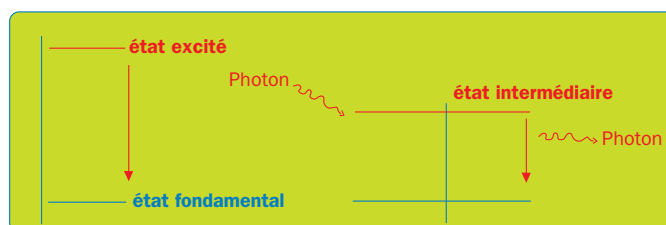
Pour se faire, il doit perdre l'énergie qu'il a en trop en émettant par exemple un photon.



Excitation d'un atome



Déexcitation d'un atome



Déexcitation progressive d'un atome

Il arrive aussi qu'avant de revenir à son état fondamental, l'atome émette un photon d'énergie plus faible que celle nécessaire : il passe alors par des états intermédiaires en émettant successivement des photons de moindre énergie jusqu'à atteindre son état fondamental.

En savoir plus

Le modèle en couches

Les électrons orbitent autour d'un noyau sur plusieurs couches électroniques.

Le nombre de couches est limité à sept. On les désigne par les lettres K, L, M, N, O, P et Q. La couche K est située au plus proche du noyau, vient ensuite la couche L et ainsi de suite.

Elles correspondent aux rangées du tableau périodique.

Pour qu'un électron change de couche électronique, il doit absorber ou émettre un photon dont l'énergie correspond au saut d'énergie nécessaire pour passer d'une couche à l'autre.

Tous les sauts possibles se traduisent par l'émission (ou l'absorption) de photons qui composent le spectre d'émission (ou d'absorption) de l'atome. Cela permet d'établir une véritable carte d'identité atomique.

1) Niels Bohr : physicien Danois 1885 -1862.



Lumière/Matière

Les différents types d'interaction

Pour découvrir un objet, il faut l'éclairer et utiliser des instruments d'optique adaptés. Mais il faut utiliser une lumière dont la longueur d'onde est, au maximum, du même ordre de grandeur que la taille du détail qui nous intéresse dans l'objet.

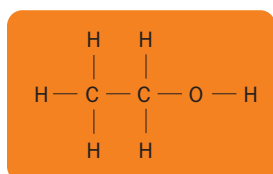
Quand on étudie un échantillon, on peut :

- identifier les atomes qui le composent.

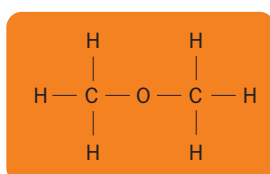
L'échantillon contient-il du carbone (C), du fer (Fe), du silicium (Si)... ?

- déterminer comment les atomes sont liés entre eux.

Souvent, les atomes sont liés les uns aux autres pour constituer des molécules.



Alcool



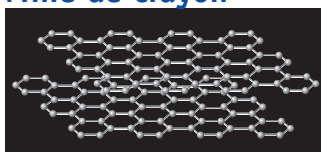
Ether-oxyde

Par exemple, un composé possédant 1 atome d'oxygène, 2 atomes de carbone et 6 atomes d'hydrogène peut être soit un **alcool** soit un **ether-oxyde**, deux produits totalement différents. Tout dépend de la façon dont les atomes s'organisent entre eux.

- connaître leur agencement à l'intérieur de l'échantillon.

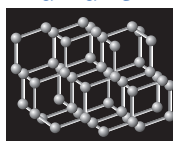
Une mine de crayon, ou un diamant par exemple, sont deux solides essentiellement constitués d'atomes de carbone mais leur arrangement est différent. Résultat, une mine de crayon est friable ; un diamant est très dur.

Mine de crayon



Les atomes de carbone (représentés ici par de petites boules) sont agencés en lamelles superposées. Chaque atome est relié à trois voisins. Les lamelles sont faiblement reliées entre elles.

Diamant



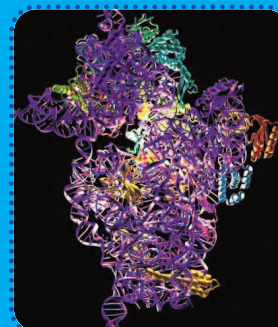
Chaque atome (représenté ici par une petite boule) est relié à quatre atomes voisins disposés au sommet d'un tétraèdre régulier. Leur symétrie est caractéristique d'un solide dense.

En savoir plus

En lumière visible (du bleu au rouge la longueur d'onde va de 0,4 à 0,8 micromètres, milliardième de mètre) et à l'aide d'un microscope optique, on pourra observer des objets de la taille d'un microbe.

Si on veut voir plus petit, le microscope optique ne suffit plus. Pour comprendre l'organisation par exemple des **protéines** à l'intérieur d'une **cellule**, il faut un rayonnement dont la longueur d'onde est de quelques nanomètres (milliardième de mètre).

Plus petit encore dans la matière, l'atome est 10 000 fois plus petit qu'un microbe et seuls les rayons X permettent d'observer comment ils sont organisés. C'est le domaine que permet d'atteindre le synchrotron SOLEIL. Ainsi pour étudier la différence de structure entre une mine de crayon et un diamant, on peut utiliser des rayons X.



Représentation 3D d'une macromolécule biologique : le ribosome

Pour visiter SOLEIL, contactez-nous
au 01 69 35 90 20
ou webcom@synchrotron-soleil.fr



Synchrotron SOLEIL
L'Orme des Merisiers • Saint-Aubin - BP 48 • 91192 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél.: 01 69 35 90 20 • Fax : 01 69 35 94 51

www.synchrotron-soleil.fr