

# OBSERVER L'UNIVERS POUR MIEUX LE COMPRENDRE

L'observation de l'Univers a toujours été et reste encore un objet de quête pour l'Homme. À la fin du 16e siècle, les premiers instruments utilisant les propriétés de la lumière apparaissent et complètent notre vision pour optimiser ces observations.



Observations détaillées des phases de la Lune par Galilée (1616)

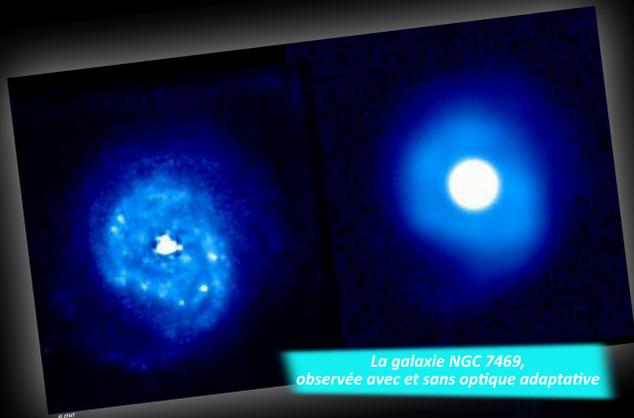
## LES TOUS PREMIERS INSTRUMENTS

En 1609, Galilée utilise deux lentilles de verre pour fabriquer sa lunette astronomique, collectant et réfractant la lumière. Cet outil astronomique est l'instrument de prédilection des astronomes entre le XVIIe et XIXe siècle. Le télescope, remplaçant la lentille de l'objectif par un miroir concave, est inventé par Newton à peu près à la même époque que la lunette. Il la supplante définitivement à partir du début du XXe dans la communauté scientifique.

## DES TÉLESCOPES MONUMENTAUX

Désormais, les avancées technologiques permettent de mesurer des objets de moins en moins lumineux afin d'augmenter notre connaissance de l'Univers. Dans cet objectif, des télescopes avec un miroir toujours plus grand voient le jour.

La génération actuelle de télescope consiste en des instruments de 8 à 10 m de diamètre. Toutefois, la génération future est en cours d'étude ! Trois télescopes de 30 à 40 m de diamètre sont en cours d'étude en Europe, aux Etats-Unis et en Australie.



La galaxie NGC 7469, observée avec et sans optique adaptative

## UNE IMAGE SANS CESSER AMÉLIORÉE

Afin d'améliorer la performance des télescopes, les scientifiques se sont attaqués à régler le principal problème de la dégradation de la qualité des images astronomiques depuis la Terre : la turbulence atmosphérique. À l'œil, cette turbulence se manifeste en faisant scintiller les étoiles. Au foyer d'un télescope, ce phénomène brouille les images enregistrées et les rend floues.

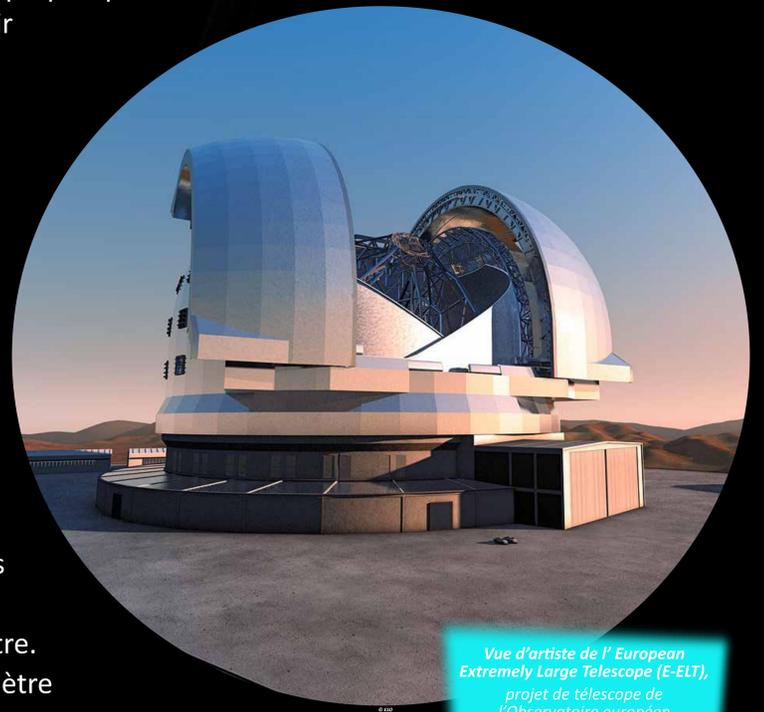
L'optique adaptative a été développée dans le but de corriger en temps réel les déformations de l'image des astres induites par la traversée de l'atmosphère. Avec ce type de dispositif, les télescopes terrestres ont la capacité d'observer avec la même qualité que les télescopes placés dans l'espace.

## ET À LYON, QU'EN EST-IL DES OBSERVATIONS ?



Coupes de l'Observatoire de Lyon, Saint-Genis-Laval

Plusieurs observatoires astronomiques se sont succédés à Lyon. Le premier a été créé en 1701, au collège de la Trinité (devenu le Lycée Ampère). En 1867, il est déplacé au Palais Saint Pierre. Depuis 1887, c'est à Saint-Genis-Laval qu'est installé l'Observatoire de Lyon. Au moment de sa construction, il a un rôle important dans la vie de la cité : en plus de son activité astronomique, il est chargé d'effectuer des prévisions météorologiques et la détermination de l'heure exacte pour la synchronisation des horloges de la ville. Actuellement, l'Observatoire de Lyon abrite un laboratoire de recherche : le Centre de Recherche Astrophysique de Lyon. Bien que les observations scientifiques ne soient plus possibles depuis Saint-Genis-Laval, l'Observatoire de Lyon tient toujours un rôle majeur dans l'observation de l'Univers, entre autre par la construction d'instruments équipant les plus gros télescopes de la planète et par ses recherches en optique adaptative.



Vue d'artiste de l'European Extremely Large Telescope (E-ELT), projet de télescope de l'Observatoire européen austral (ESO). Celui-ci mesurera 39,3m de diamètre et devrait voir le jour en 2024.

# CODE BARRE DE L'UNIVERS

Equations de Maxwell  
Vision d'artiste

....and God said:

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \sum q$$

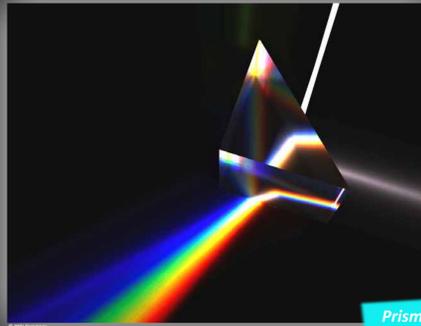
$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \frac{d}{dt} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

....and there was light!

De par sa nature complexe et de son intime interaction avec la matière, la lumière porte en elle toute l'information qui va permettre aux scientifiques de révéler tous les constituants de l'Univers.



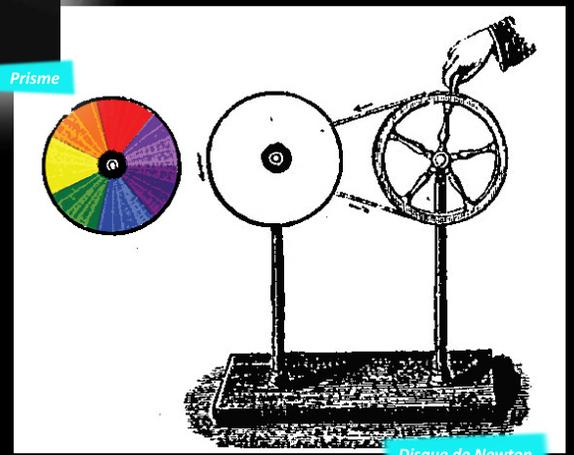
Prisme



Isaac Newton

Il a fallu attendre l'année 1666 pour qu'Isaac NEWTON démontre que la lumière blanche du soleil était composée par l'ensemble des couleurs en réalisant, grâce à un prisme, un arc-en-ciel artificiel.

Le célèbre physicien donna également son nom au « disque de Newton » formé de quartiers aux couleurs de l'arc-en-ciel qui, le disque, une fois mis en rotation rapide, apparaît blanc à notre œil par le mélange de toutes les couleurs dû à l'impression rétinienne.



Disque de Newton

Ce n'est qu'en 1800, que William HERSCHEL découvre par hasard l'existence d'un rayonnement lumineux non-visible qui se révéla être le rayonnement infrarouge. L'année suivante, c'est Johann Wilhelm RITTER, qui met en évidence l'existence du rayonnement ultraviolet, tout aussi invisible aux yeux de l'homme.

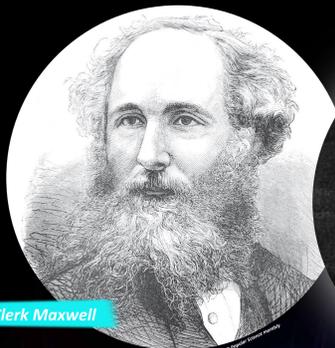
L'interprétation de la lumière comme la propagation d'une onde électromagnétique est due à MAXWELL dans les années 1860. Elle permet d'expliquer les observations de HERSCHEL et RITTER mais également de prédire l'existence de toutes les ondes électromagnétiques aux différents fréquences possibles, se déplaçant toutes dans le vide à la vitesse de la lumière.



William Herschel



Wilhelm RITTER

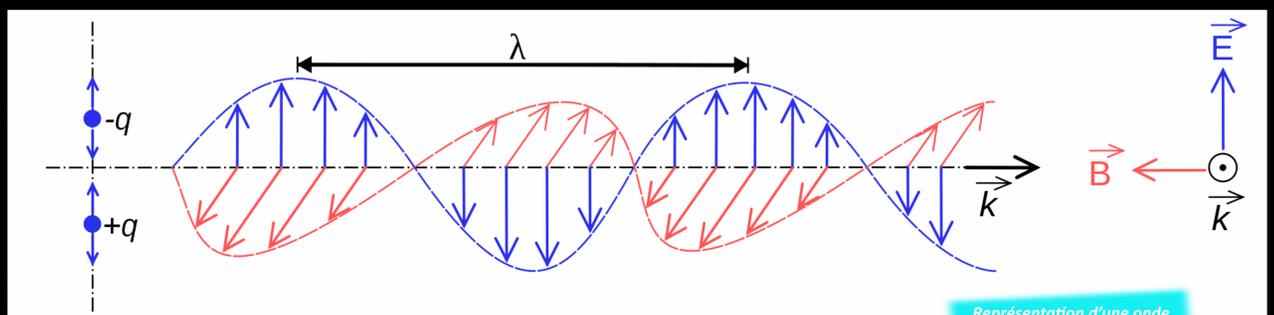


James Clerk Maxwell



Niels BOHR

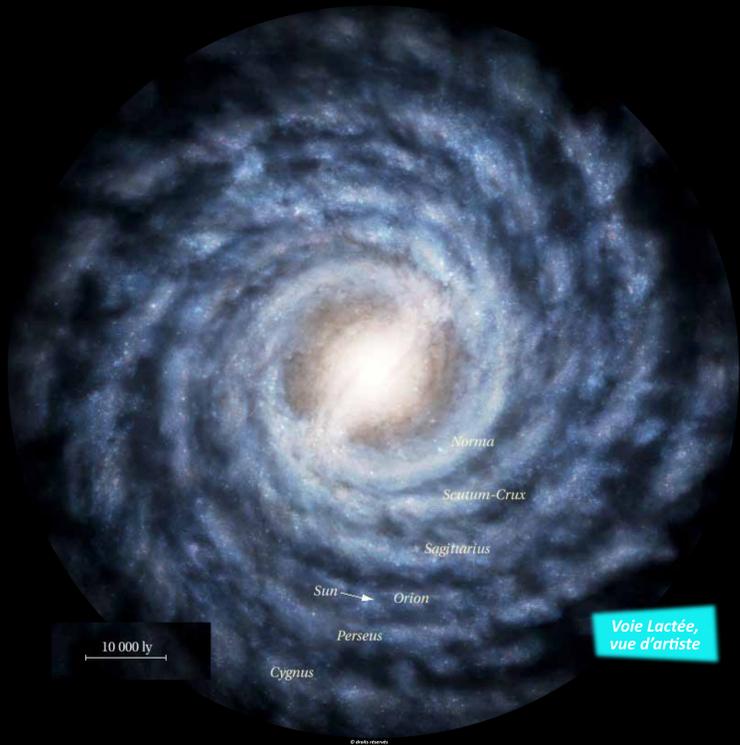
La découverte de MAXWELL permet une avancée formidable de la compréhension de la Lumière et dès le début du XXème siècle, Niels BOHR élabore le premier modèle d'interaction de la lumière avec la matière sous forme d'atomes. Il prédit que ces derniers ne peuvent absorber ou émettre de la lumière qu'à certaines longueurs d'onde très précises qui dépendent de l'atome (donc de la matière) observé. Les chercheurs qui lui succèdent ne font que confirmer, détailler et étendre ce concept grâce notamment à la mécanique quantique.



Représentation d'une onde électromagnétique jointe à un champ électrique.

Aujourd'hui, toute matière peut-être révélée par les marques laissées sur la lumière qui l'a traversée, et c'est grâce à ces siècles de découvertes sur la Lumière qu'aujourd'hui nous sommes capables de comprendre de quoi est fait l'Univers depuis ses plus petites dimensions jusqu'à ses limites observables.

# LE SOLEIL, NOTRE ÉTOILE



Voie Lactée, vue d'artiste

Le Soleil, boule de gaz en fusion brillant dans notre ciel, est une étoile située à la périphérie de notre Galaxie.

Une étoile est une boule de gaz chaud en équilibre sous l'action de la pression du gaz et de la gravité. Au centre de l'étoile, la pression est énorme et la température dépasse le million de degrés. Ceci engendre des réactions de fusion nucléaire, à l'origine de la production de la lumière par toutes les étoiles de l'Univers.

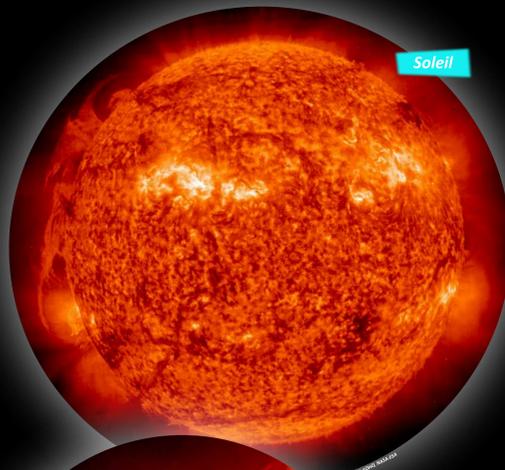
Le Soleil est l'étoile autour de laquelle se sont formées les planètes du Système solaire, dont la Terre. La lumière émise à la surface du Soleil met près de 8 minutes et 19 secondes à atteindre notre planète. Le Soleil constitue ainsi la principale source de lumière naturelle sur Terre. Cet astre du jour, chassant les ténèbres de la nuit, a été vénéré par les Hommes tout au long de leur histoire.

De nos jours, les astrophysiciens développent des outils d'observations bénéficiant des dernières technologies pour observer le Soleil. L'étude de cet astre permet d'obtenir de précieuses informations sur les phénomènes physico-chimiques qui se déroulent au cœur des étoiles tout au long de leur vie. Les interactions entre notre étoile et le milieu interplanétaire constituent aussi un sujet d'étude important, notamment en ce qui concerne les répercussions de l'activité solaire sur la Terre.

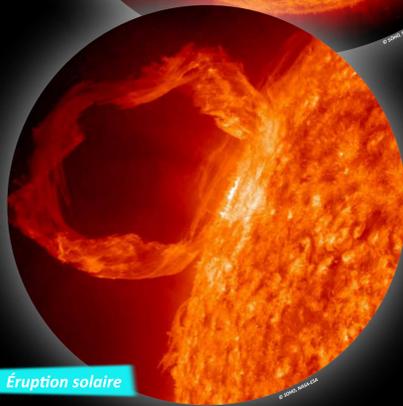
Ni trop loin, ni trop proche du Soleil, la Terre bénéficie d'un apport optimal d'énergie lumineuse qui a permis la présence d'eau liquide et le développement de la Vie.



Coucher de soleil depuis la Station spatiale internationale



Soleil



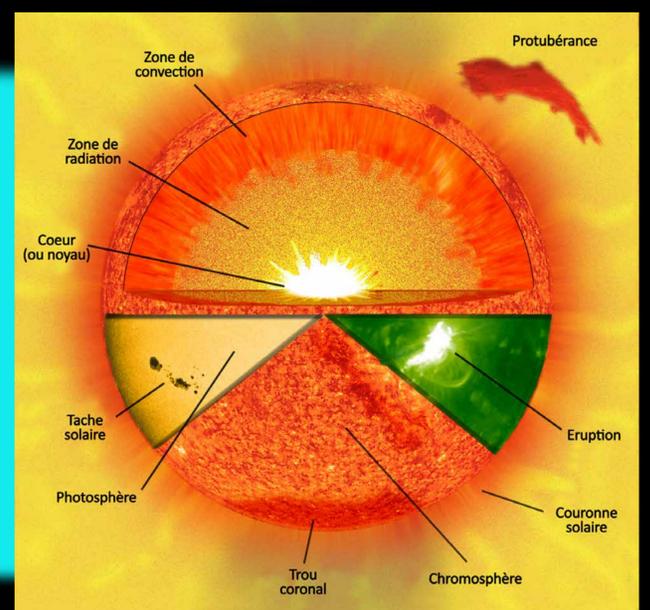
Éruption solaire



Ruban d'Orion, étoiles en formation

## SOLEIL : Fiche technique

- Masse =  $2.10^{30}$  kg  
300 000 x la masse de la Terre
- Rayon = 700 000 km  
(109 x le rayon de la Terre)
- Distance = 149,6 millions de km de la Terre  
(100 x le rayon du Soleil)
- Température à la surface : 5800°C
- Composition à la surface :  
Hydrogène 70%  
Hélium 28%  
Métaux 2%
- Âge : 4,5 milliards d'années



Structure interne du Soleil

# QU'EST-CE QUE LA LUMINESCENCE ?

L'émission de lumière, visible ou pas, provient de deux phénomènes différents : la luminescence et l'incandescence.

Contrairement à l'incandescence où l'émission de lumière est due à la mise en mouvement des charges dans la matière par la température, la luminescence est l'émission de lumière, par de la matière portée dans un état excité. Elle est liée aux charges présentes dans les atomes ou les molécules. Lorsqu'on fournit de l'énergie à la matière, elle l'absorbe et passe dans un état énergétique plus élevé appelé « état excité ». En revenant à son état initial, elle restitue l'excès d'énergie en émettant de la lumière, des photons.

La luminescence est un phénomène qui peut s'observer dans diverses formes de matière : organique ou inorganique, cristalline ou amorphe, à l'état gazeux, liquide ou solide.

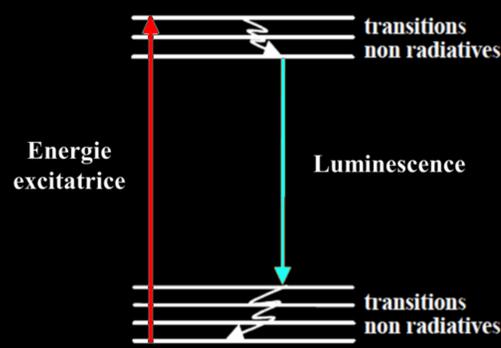


Schéma de principe

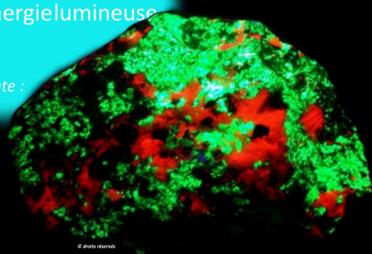
## QUELS SONT LES TYPES DE LUMINESCENCE ?

Il existe différentes sortes de luminescence en fonction du mode d'excitation de la matière, par exemple :

### la photo-luminescence

lorsque la matière est excitée par une énergie lumineuse (photons).

Roche photoluminescente : la francklinite



### la bio-luminescence

lorsque l'excitation est produite par une réaction biochimique dans des organismes vivants.

Méduse bioluminescente



### la chimio-luminescence

lorsque l'excitation est produite par une réaction chimique.

Bracelets luminescents



### l'électro- et la cathodo-luminescence

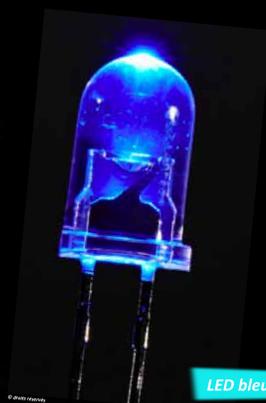
lorsque l'excitation est électrique.

Diodes électroluminescentes

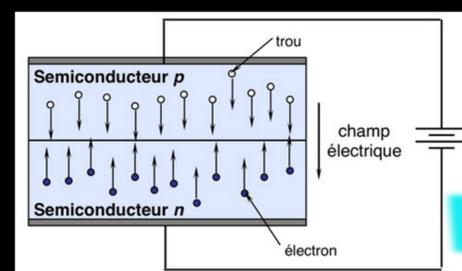


## LES LED : LUMIÈRES DU FUTUR

Les LED (Light Emitting Diodes, en français DEL, Diodes ElectroLuminescentes) sont constituées d'un matériau semi-conducteur qui, sous l'effet d'une tension suffisante, crée en permanence des paires « électron-trou » dans le matériau (électroluminescence). Ces paires se recombinent en produisant une lumière.



LED bleue intense



Principe de fonctionnement d'une diode électroluminescente.

L'énergie des photons émis – et donc la couleur émise - varie selon le matériau semi-conducteur. Il est ainsi possible de fabriquer des diodes émettant une seule couleur : rouge, bleue ou verte. La lumière blanche LED est produite en associant trois LED rouge-vert-bleue ou bien en associant une LED émettant une lumière bleue et un luminophore\* jaune excité par cette dernière.

Le prix Nobel de physique 2014 a été attribué aux Japonais Isamu Akasaki et Hiroshi Amano et à l'Américain Shuji Nakamura, inventeurs de la diode électroluminescente (LED) émettant avec efficacité dans le bleu.

\*luminophore: matériau émettant de la lumière colorée après avoir été excité par des électrons ou par des rayonnements hautement énergétiques (rayons γ, X ou UV).

# QU'EST-CE QU'UN LASER ?

Le mot laser est avant tout un acronyme signifiant «Emission de lumière amplifiée par émission stimulée». Cet acronyme a été par la suite utilisé pour tous les dispositifs utilisant ce principe. Un laser est donc un dispositif produisant une lumière particulière obtenue par émission stimulée. Il est constitué d'un milieu amplificateur et d'un résonateur appelé également cavité laser. Remarquons que l'on utilise aussi le mot laser pour le faisceau lumineux lui-même.



Cavité laser

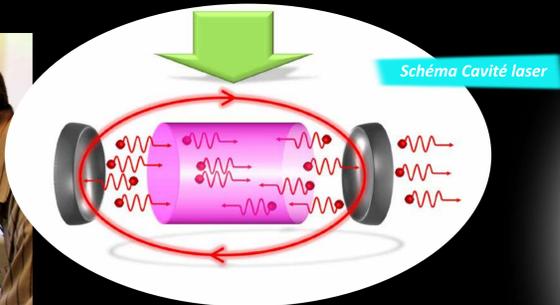


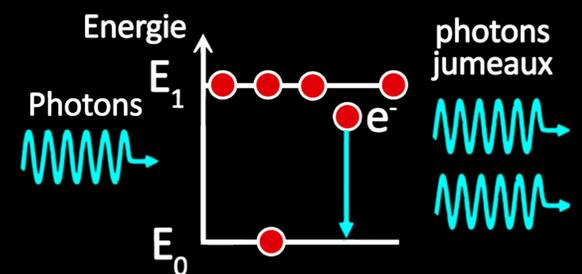
Schéma Cavité laser



Cristal de saphir, milieu amplificateur

## PRINCIPE

Certains matériaux peuvent émettre de la lumière lorsqu'on les stimule par un apport d'énergie extérieure : c'est la luminescence. Dans certaines conditions que l'on appelle inversion de population l'émission est stimulée. On a alors une duplication des photons constituant la lumière lors des allers-retours dans la cavité et donc une amplification du faisceau initial. Une partie de cette lumière sort de la cavité par un miroir semi-réfléchissant ce qui produit le faisceau laser.



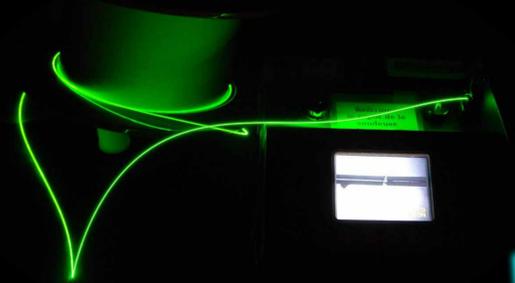
## PROPRIÉTÉS

Par principe, la lumière laser a des propriétés spécifiques remarquables. Les photons dupliqués étant tous identiques, on obtient un concentré d'énergie spatial et temporel. Cela a permis de développer de très nombreuses applications puisque l'on dispose d'un faisceau directif, puissant et monochromatique : on dit que ce faisceau est spatialement et temporellement cohérent.

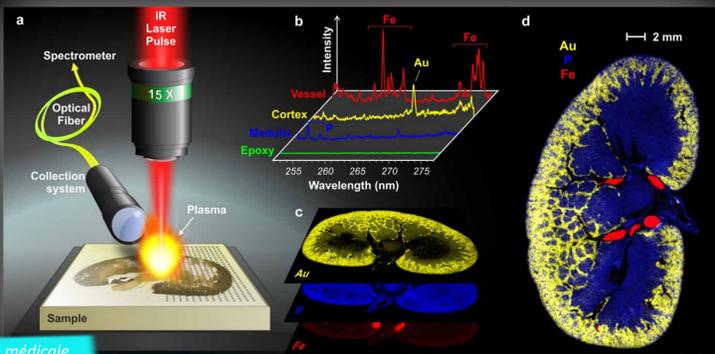
## APPLICATIONS

### Télécommunications

La combinaison des lasers et des fibres optiques a permis de développer les communications modernes et en particulier internet, puisque seule une fibre optique traversée par un faisceau laser peut porter des débits d'informations presque illimités.



Fibre optique  
Plus de 80 % du trafic internet passe par la fibre optique



Imagerie médicale

### Applications médicales

Outre les applications en dermatologie, ophtalmologie, les lasers sont utilisés pour faire de l'imagerie médicale « Détecter des nanoparticules dans les tissus biologiques sans marquage »

### Usinage

Il est possible de découper des pièces avec une très grande précision grâce à la puissance des faisceaux lasers que l'on peut focaliser sur des surfaces très petites.

### Lecture de supports d'information (CD, DVD, disque blu-ray)

Un laser permet de graver et de lire des données sur un support, lorsque le laser est bleu on parle de blu-ray.  
En terme de stockage : 1 Blu-ray = 200 CD

### Application environnementale et climatique

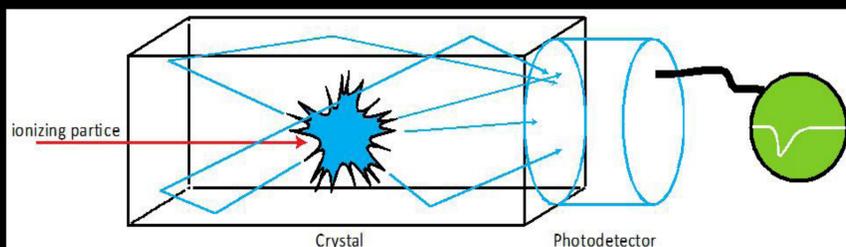
L'émission laser pulsée couplée à la méthodologie LIDAR (Light Detection And Ranging) permet de mesurer à distance la concentration de pollution atmosphérique (O3, SO2, NO2, COV, CO2, CH4, particules fines) et les paramètres météorologiques (T, RH).



Tir laser dans l'atmosphère au-dessus du Département de Physique sur le campus de la DOUA.

# QU'EST-CE QUE LA SCINTILLATION ?

La scintillation correspond à l'apparition de luminescence lorsque la matière est excitée par un rayonnement ionisant : on parle également de Radioluminescence. Ce phénomène peut apparaître dans les gaz, les liquides et les solides. Lorsqu'il s'agit d'un solide, on l'appelle scintillateur. Un scintillateur est ainsi utilisé pour détecter ces rayonnements en utilisant un photodétecteur couplé au matériau.



## PRINCIPE

Un matériau scintillateur peut être vu comme un convertisseur d'énergie. Une particule de d'énergie allant du keV à plusieurs GeV, dans le cas de la physique des hautes énergies, interagit avec le matériau,

et un processus complexe de relaxation d'énergie dont la description fait appel à la physique de la matière condensée, donne lieu à la production de centaines ou milliers de photons de quelques électrons volt. A chaque interaction se produit donc un flash de lumière, facilement détectable par les photodétecteurs conventionnels.



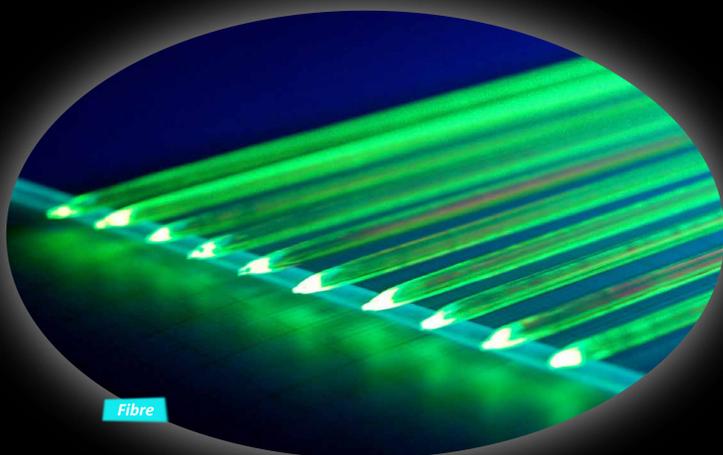
Luminescence d'un scintillateur sous un faisceau d'électrons

## PROPRIÉTÉS

Un matériau scintillateur se caractérise par plusieurs propriétés plus ou moins importantes selon l'application visée et il en existe un grande variété. Les trois plus importantes sont :

- Le rendement de scintillation qui correspond au nombre de photons émis par unité d'énergie déposée dans le cristal. L'unité utilisée est le nombre de photons/MeV
- La densité du matériaux, qui doit être en général la plus élevée possible afin de présenter un bon pouvoir d'arrêt pour ces rayonnements ionisants.
- La réponse temporelle, qui correspond à la durée du flash lumineux issu faisant suite à l'interaction avec la particule ionisante.

D'autres paramètres tels que la longueur d'onde d'émission, la stabilité mécanique, chimique et thermique ont également leur importance.

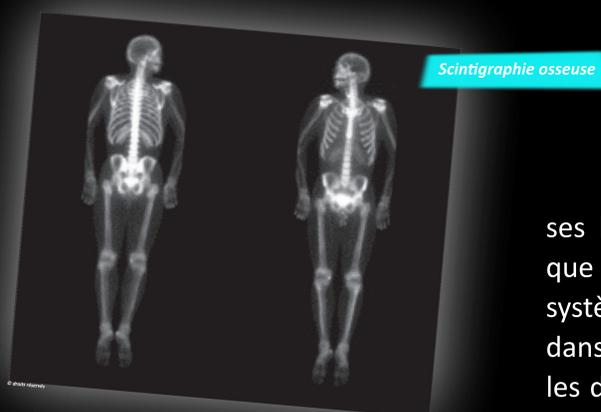


## APPLICATIONS

Il existe de nombreux types de rayonnements ionisants : Rayons X,  $\gamma$ ,  $\alpha$ , électrons, neutrons sont les plus couramment détectés. Les applications sont ainsi vastes puisque la scintillation permet de compter ces particules, en mesurer l'énergie, et si le photodétecteur est pixelisé, on peut même faire de l'imagerie. On les retrouve ainsi dans les secteurs suivants :

### Imagerie Médicale

La fameuse radiographie bien sûr, mais également dans les scanners X ou bien les caméras à positons. Dans ces différents cas, les performances demandées au matériau sont très différentes.



### Sécurité du territoire

DANS les aéroports, tout le monde a déjà fait passer ses bagages aux rayons X, et c'est le même principe que la radiographie. On les utilise également dans les systèmes permettant de « radiographier » les camions dans les zones d'échanges internationaux, ou bien dans les détecteurs de radioactivité dans le cadre de la lutte anti terroriste ou de la surveillance écologique.

### Recherche pétrolière

C'est à l'aide de l'activation neutronique qu'il est possible de sonder les roches souterraines. Cette technique nécessite des scintillateurs pour analyser la nature des éléments activés. Un des critères de qualité du matériau scintillateur est la stabilité de performance à des températures de l'ordre de 150° (fond des puits de forage).



### Grands calorimètres pour la physique des hautes énergies

L'objectif est dans ce cas de détecter les particules résultantes de collisions dans les grands détecteurs. A titre d'exemple, la grande expérience CMS (Compact Muon Solenoid) qui a participé à la découverte du Boson de Higgs au CERN utilise environ 12 tonnes de cristaux scintillateurs. Les détecteurs de demain utiliseront peut être des fibres monocristalines.

# DE LA BOUGIE AUX OLED



**Lampadaire à gaz, Londres**  
Ce prototype, montré en 1897 par une entreprise fondée par H. M. ROBINSONET, a été la première version commerciale installée le 3 Juillet 1898 à Leicester Square.

La maîtrise de la lumière artificielle a été pour l'Homme un enjeu indispensable à son évolution. Le feu est très longtemps resté le seul moyen de fournir une source de lumière. Les premières lampes à huile évoluées datent de l'Antiquité. La modulation de l'éclairage intérieur ou extérieur se fait à l'aide de chandeliers ou de lampes jusqu'au début de l'époque moderne.

Thomas EDISON en 1879 invente la première lampe électrique à incandescence. Le principe est d'utiliser l'effet d'échauffement d'un fil de tungstène parcouru par un courant électrique qui produit alors de la lumière visible.

Les lampes au néon sont inventées en 1910 par Georges CLAUDE. Une décharge électrique est envoyée dans un gaz emprisonné dans un tube transparent : c'est le principe des lampes à décharge. L'énergie électrique est transformée en lumière dont la couleur, le spectre, dépend du gaz ou du matériau fluorescent déposé à la surface du tube en verre.

Depuis plus de 20 ans sont développées les diodes électroluminescentes (ou LED), capables de produire de la lumière par effet électronique. Ces petites sources ont un meilleur rendement lumineux avec des durées de vie très longues.

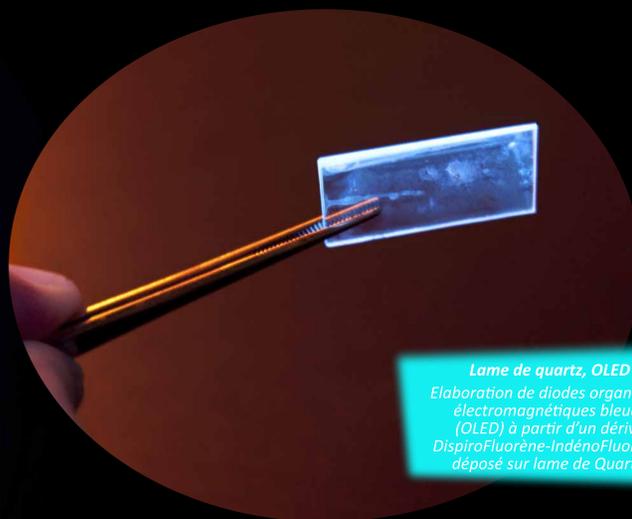
Les LED organiques (ou OLED), font l'objet de recherche et de développement. Ces sources présentent la particularité de pouvoir être produites en couches extrêmement fines et potentiellement souples. Les possibilités futures sont innombrables, car elles sont susceptibles d'être imprimées sur tout type de support.



**Europe de l'ouest**  
par la Station spatiale internationale



**Vues de nuit de l'Europe,**  
par le satellite DMSP  
L'intensité et la répartition de l'éclairage nocturne, observable par satellite, met en évidence la croissance démographique et technologique.



**Lame de quartz, OLED**  
Elaboration de diodes organiques électromagnétiques bleues (OLED) à partir d'un dérivé DispiroFluorène-IndénoFluorène, déposé sur lame de Quartz.



**Champ de LED**



**Échantillons OLED**  
Ces tubes contiennent des composés organophosphorés émissifs pour le développement de diodes organiques électroluminescentes.

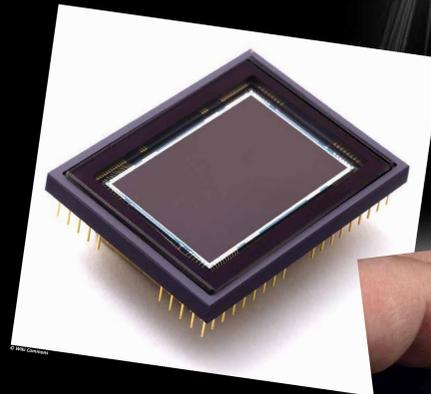
# DÉTECTER ET INTERPRÉTER LE MESSAGE LUMINEUX

À la fin de son parcours, la lumière est détectée et traduite par un outil qui peut être naturel ou artificiel. La Nature a développé un large éventail de récepteurs dont l'œil représente une machinerie remarquable. L'Homme travaille depuis plusieurs siècles à compléter cet outil, voire à s'y substituer grâce à des instruments de plus en plus perfectionnés.

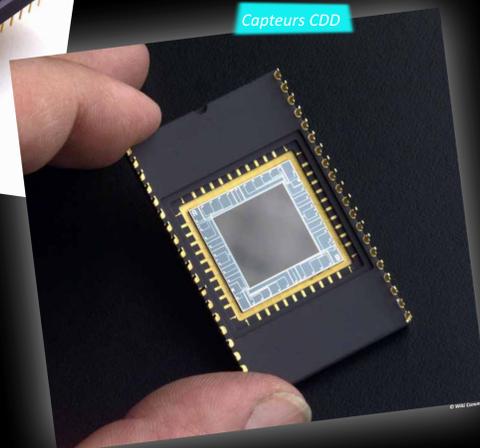
Dans la gamme allant du proche ultraviolet au proche infrarouge, les capteurs de lumière artificiels les plus couramment utilisés sont les CCD (Couple Charge Device). Ceux-ci utilisent l'interaction entre la lumière et la matière pour convertir le signal lumineux en un signal électrique. Chaque photon qui touche le détecteur arrache un électron qui sera ensuite stocké. Le comptage de ces électrons permettra de déterminer le nombre de photons et donc l'intensité lumineuse reçue par le capteur.

Dans une caméra CCD par exemple, des millions de détecteurs vont être organisés en ligne et en colonnes. Le croisement entre ces lignes et ces colonnes définissent ainsi le pixel.

Par contre, ces systèmes ne sont pas sensibles à la couleur de chaque photon. Si on veut connaître la composition spectrale de la source lumineuse, il faut au préalable la décomposer à l'aide d'un spectromètre.



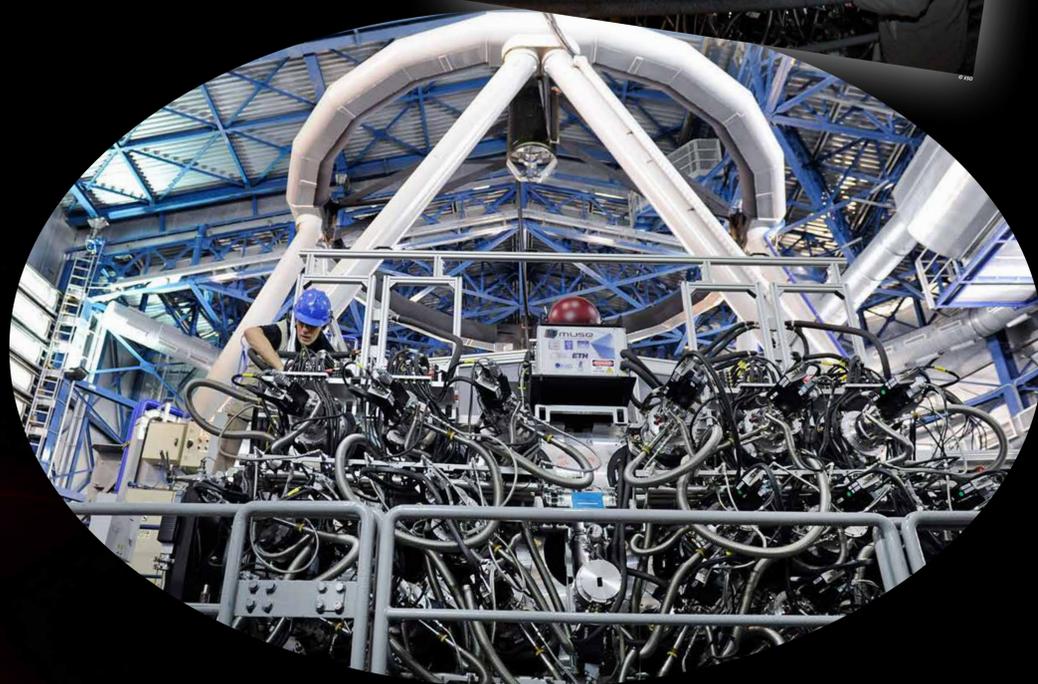
Capteurs CCD



## MUSE OU COMMENT OBSERVER LES CONFINS DE L'UNIVERS AVEC LA SPECTROSCOPIE

MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) est un spectrographe intégral de champ installé depuis l'année 2014 sur le Very Large Telescope (VLT) de l'Observatoire européen austral (ESO). Fruit d'un consortium de sept laboratoires européens d'excellence piloté par le Centre de Recherche Astrophysique de Lyon (CRAL), il est la combinaison de CCD, de spectromètres et de découpeurs d'images. Il obtient ainsi une image dans 3000 nuances de couleurs, permettant l'analyse fine de tous les points d'un objet céleste. Grâce à sa sensibilité et sa capacité à former des spectres de tous les points du champ, MUSE récolte une quantité spectaculaire d'informations telles que les distances, la composition chimique et les mouvements des galaxies lointaines...

Muse sur le Very Large Telescope de l'Observatoire Européen Austral



# OEIL ET VISION

L'œil, organe sensoriel de la vision, permet de capter la lumière et de transmettre à l'organisme des informations sur son milieu.

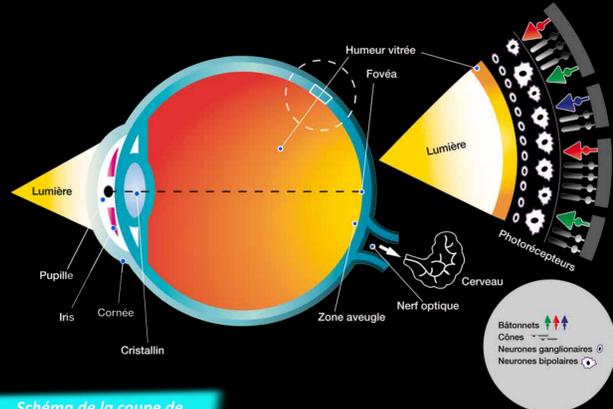


Schéma de la coupe de l'œil. Les yeux, capteurs de l'information lumineuse.

L'œil est adapté aux besoins de l'espèce et aux contraintes du milieu dans lequel vit l'organisme. Les différents groupes possèdent des yeux plus ou moins complexes, reliés généralement au système nerveux.

Cette adaptation se traduit par des modifications des cellules photosensibles, cônes et bâtonnets, permettant de transformer une source de lumière en influx nerveux. Les cônes sont impliqués dans la vision diurne, tandis que les bâtonnets sont utilisés pour la vision nocturne.

Certains Mammifères, dont l'Homme, possèdent trois types de structure absorbant trois longueurs d'ondes particulières dans le visible : vert, bleu et rouge. Les Reptiles et certains Oiseaux peuvent en posséder un quatrième, permettant de détecter d'autres nuances de couleurs.

Certains rapaces disposent également d'une deuxième zone de la rétine améliorant la perception des détails, la fovéa, pour augmenter leur acuité visuelle.

La plupart des Arthropodes possèdent, quant à eux, des yeux à facettes, c'est-à-dire, la formation d'un organe visuel composé de plusieurs centaines d'yeux simples : « les ommatidies ».



**Homme**  
*Homo Sapiens*  
Champ visuel de 180°, capacité de détecter des variations de couleurs non distinguables par de nombreuses espèces nocturnes.

**Chat domestique**  
*Felis silvestris catus*  
Yeux adaptés pour la vision nocturne, avec une pupille ovale, pouvant se dilater et occuper la totalité de l'œil la nuit, collectant efficacement la lumière reçue.



**Eléphant,**  
*Elephas maximus*  
Petits yeux (3,8 cm), par rapport à leur taille générale, mais une bonne vision périphérique. Les éléphants utilisent préférentiellement leur trompe pour s'orienter.



**Hibou Grand duc**  
*Bubo bubo*  
Vision nocturne, mais très sensible à l'éblouissement, d'où les risques de collisions avec des véhicules.



**Calmar,**  
*Sepioteuthis lessoniana*  
Les calmars, comme les autres Céphalopodes, se distinguent par leurs yeux de grande taille, avec une rétine et un nerf optique externes, contrairement aux vertébrés.

**Poisson, loche marbrée,**  
*Epinephelus polyphekadion*  
Organe majeur, l'œil des poissons est souvent de taille conséquente par rapport au reste du corps, avec un fonctionnement similaire à celui des vertébrés.

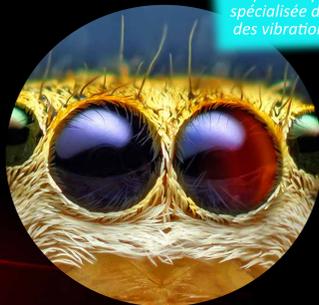


**Mouche**  
*Holcocephala fusca*  
Mouche possédant des milliers de photorécepteurs orientés dans toutes les directions, lui conférant un large champ de vision en mosaïque.



**Squille,**  
*Squilla mantis, mantis shrimp*  
Crustacé possédant, à ce jour, l'œil le plus complexe et sophistiqué du règne animal. Vision à 360°, modélisation de son environnement en trois dimensions, pas moins de 16 cônes lui permettant de distinguer d'infimes nuances de couleurs imperceptibles par l'Homme.

**Araignée,**  
*Maevia inclemens*  
Araignée sauteuse à 4 yeux, la paire la plus développée spécialisée dans la détection des vibrations autour d'elle.



**Coquille Saint Jacques,**  
*Pecten maximus*  
Yeux situés autour du manteau de la coquille Saint Jacques. Ces yeux catadioptriques, fonctionnant par réflexion, permettent de détecter les variations d'intensité lumineuse.

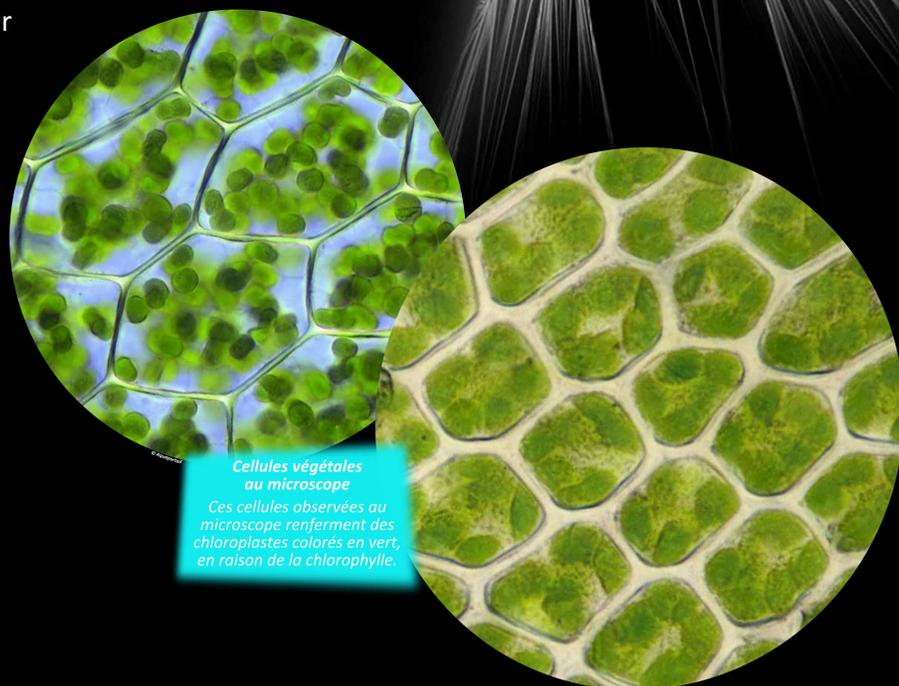
**Crustacé amphipode**  
*Phronima*  
La phronime, surnommée « l'Alien », possède une vision panoramique grâce à des yeux très volumineux et 4 rétines d'un rouge intense.



# LUMIÈRE VIE ET ÉNERGIE : LA PHOTOSYNTHÈSE

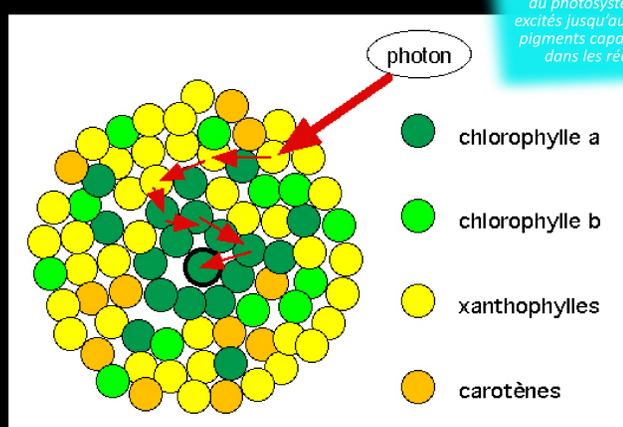
Processus indispensable à la vie des plantes, la photosynthèse est une réaction biochimique consistant à produire de l'énergie sous forme de sucres, grâce à la lumière, à partir d'eau, de dioxyde de carbone et de sels minéraux.

La photosynthèse s'effectue chez les végétaux, généralement à l'intérieur des feuilles, au niveau des chloroplastes, organites présents dans les cellules végétales. La lumière est absorbée par des pigments, comme la chlorophylle, contenus dans le chloroplaste, au niveau d'un ensemble de membranes : les thylakoïdes. Ce complexe, appelé photosystème, regroupe tous les pigments, qui grâce à leur agencement, captent les photons lumineux et les transforment en énergie via la libération d'un électron.



**Cellules végétales au microscope**  
Ces cellules observées au microscope renferment des chloroplastes colorés en vert, en raison de la chlorophylle.

**Schéma de photosystème**  
Les photons transportés par la lumière sont absorbés par des pigments collecteurs au sein du photosystème. Les pigments voisins sont excités jusqu'au centre réactionnel, composé de pigments capables de céder un électron utilisé dans les réactions de la photosynthèse.



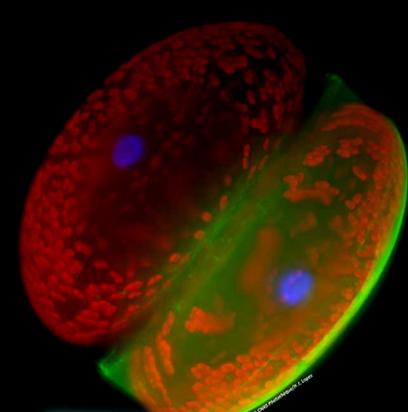
Ce complexe, appelé photosystème, regroupe tous les pigments, qui, grâce à leur agencement, captent les photons lumineux et les transforment en énergie via la libération d'un électron.

L'activation de ces photorécepteurs provoque, par la suite, une série de réactions en chaîne aboutissant à la formation de sucres et à la libération de dioxygène (O<sub>2</sub>).

Les premiers chloroplastes seraient des vestiges d'anciennes cyanobactéries. Ces organismes unicellulaires, vieux de 3,8 milliards d'années, font partie des plus anciennes formes de vie terrestre. C'est grâce à leur activité photosynthétique que l'atmosphère est devenue respirable pour la majorité des êtres vivants. Aujourd'hui, le renouvellement de l'oxygène est en grande partie assuré par le phytoplancton, dont les cyanobactéries et les diatomées font partie.



**Erable du Japon, Acer palmatum**  
En fonction de la couleur du pigment, l'énergie lumineuse est absorbée sous différentes longueurs d'onde.



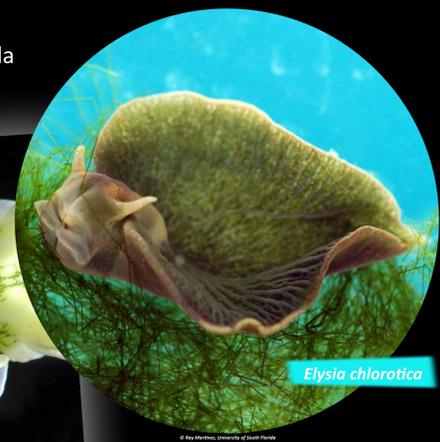
**Diatomée «Coscinodiscus granii» en cours de division**  
Chloroplastes en rouge, noyau en bleu, après un marquage par un fluorophore s'incorporant à la silice néosynthétisée de la cellule. (grossissement X 200)

## Une limace photosynthétique ?

La limite entre le règne végétal et animal vient récemment d'être bousculée. Chez la limace de mer : Elysia chlorotica, les gènes nécessaires à la photosynthèse, appartenant à l'algue qu'elle consomme, ont été retrouvés dans son génome. Ainsi, par la présence de pigments chlorophylliens fonctionnels, la limace de mer est capable d'effectuer elle-même la photosynthèse.



**Elysia crispata**



**Elysia chlorotica**

# LUMIÈRE ET RYTHMES BIOLOGIQUES

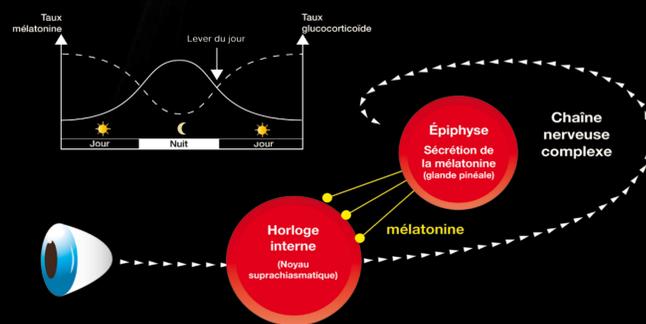
La variation de lumière est le seul fixe dans un écosystème. En effet, si la température et l'hygrométrie varient, la durée des jours et les rythmes saisonniers sont fixés à l'année par les mouvements du système solaire.

**Chouette de l'Oural, *Strix uralensis***  
Certains animaux, comme les rapaces nocturnes, ont une période d'activité en phase obscure.



**Grand Dauphin, *Tursiops truncatus***  
Cet animal marin possède un rythme veille/sommeil semblable à celui des autres mammifères, mais son cerveau gère, en alternant le sommeil de chaque hémisphère cérébral, l'obligation de respirer régulièrement, y compris la nuit.

De façon directe ou indirecte, la lumière va agir sur la synthèse et la libération d'une hormone, la mélatonine, qui joue un rôle majeur dans la synchronisation de l'organisme aux variations jour/nuit. Pendant la nuit, la mélatonine est libérée et synchronise l'horloge interne au niveau du noyau suprachiasmatique, qui gouverne la plupart des rythmes biologiques de l'organisme. Au matin, la lumière bloque cette libération.



**Hérisson, *Erinaceus europaeus*, Auvergne**  
En Europe, il hiberne dès l'automne.



Les variations de la durée de sécrétion de mélatonine, liées à la variation de la durée du jour, vont se répercuter sur l'horloge interne, définissant ainsi des rythmes saisonniers (des périodes plus longues que les rythmes nycthémeraux\*). Ces derniers conditionnent des phénomènes comme l'hibernation, la migration ou la mue (directement liés à la durée de l'ensoleillement).



**Lézard, *Gonatodes humeralis***  
La lumière stimule les photorécepteurs de la glande pinéale des lézards, qui profitent également du moindre rayon de soleil pour réguler leur température. Cette espèce discrète vit en Guyane.

**Poule, *Gallus gallus***  
Il est possible de faire pondre une poule toute l'année, en augmentant artificiellement la durée du jour. En effet, naturellement, la poule cesse de pondre en automne et en hiver, lorsque les jours sont plus courts.



**Blaireau, *Meles meles***  
Le démarrage du phénomène de la mue chez certains mammifères, comme le blaireau ou le renard, n'est pas lié à la température, mais à la photopériode. Ils vont complètement changer leurs poils longs contre des poils de bourre dès l'automne.

Chez les Mammifères, l'information lumineuse transite via une chaîne nerveuse complexe entre l'oeil et l'épiphyse située au cœur du cerveau. Chez les autres vertébrés, la lumière peut être captée directement par les photorécepteurs de l'épiphyse, qui se situe alors à la surface du cerveau.



**Flamants rose, *Phoenicopterus roseus***  
Départ des sites de reproduction en Europe, dès que les jours raccourcissent, pour rejoindre les sites de nourrissage en Afrique.

\*Nycthémère : du grec nux, nuit, hêméra jour. C'est une unité physiologique de temps pour l'Homme et la plupart des animaux incluant veille et sommeil.

# LUMIÈRE DU VIVANT

La bioluminescence est la production de lumière par les organismes vivants, grâce à une réaction enzymatique.

Phénomène biochimique, la bioluminescence est distincte de la phosphorescence et de la fluorescence (de nature physique). Le mécanisme responsable de la bioluminescence est désigné sous le terme de « biophotogénèse » : une enzyme, la « luciférase », catalyse l'oxydation par le dioxygène ambiant d'une « luciférine » en une oxyluciférine émettrice de lumière (Raphaël Dubois, 1887). Une troisième substance, la pyrophorine, amplifie ce phénomène d'« oxyluminescence chimique ».



**Ctenophore, Bathocyroe fosteri**  
Cet animal, proche des méduses, se protège de manière originale : attaqué, il attire l'attention d'un prédateur de son agresseur afin de s'échapper.



À plus de 2000 m. dans les profondeurs de l'océan, comme dans certains milieux souterrains, aucun rayon du soleil ne pénètre : la nuit est constante. Cependant, facteur indispensable à la survie des espèces, la lumière n'est pas absente. 90% des animaux des profondeurs sont capables d'en produire, pour voir, éblouir leur prédateur, attirer leur proie ou leurs partenaires...



**Pyrophorus noctilucus**

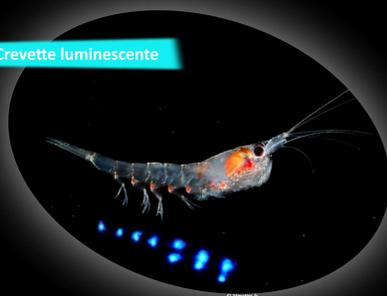
Mode de communication le plus répandu entre les organismes, la bioluminescence résulte d'une réaction chimique de « biophotogénèse », qui implique des cellules spécialisées, les photocytes. Celles-ci sont associées à des structures complexes, les photophores, qui modifient et régulent l'émission de lumière.

**Ctenophore, Bathocyroe fosteri**



**Dinoflagellés luminescents**  
La surface de la mer est rendue lumineuse par la présence d'algues unicellulaires (Dinoflagellés) bioluminescentes.

**Crevette lumineuse**



De nombreux êtres vivants sont connus pour leur bioluminescence, comme les Photobactéries (symbiotiques ou colonisant des cadavres), des Champignons, des Protozoaires (Noctiluque miliaire), des Méduses, des Insectes Coléoptères (Luciole, ver luisant), des Mollusques (Pholade dactyle, Calmars ou Seiches des profondeurs), des Myriapodes (mille-pattes), ou encore des Poissons abyssaux (poissons lanternes).



**Champignon lumineux, Mycena chlorophos**  
Certains champignons, lorsqu'ils sont plongés dans l'obscurité, émettent de la lumière. Cette réaction permettrait d'attirer les prédateurs d'insectes consommant les champignons, soit des espèces favorisant la dispersion des spores.

# CAMOUFLAGE, ALERTE ET SÉDUCTION

Exploitant les propriétés de la lumière, les êtres vivants adoptent diverses stratégies afin de modifier leur apparence physique (pour la survie et donc pour la pérennité de l'espèce). Le rapport direct entre lumière et couleurs se trouve ici au cœur du propos.

## ÊTRE VU...

Les couleurs adoptées par différentes espèces peuvent servir à informer d'un danger, comme la toxicité (réelle ou servant de leurre, par imitation d'une autre espèce toxique). Se faire remarquer via la couleur comporte aussi des avantages en matière de reproduction, pour séduire un partenaire.



**Pavon,**  
*Pavon cristatus*

### Séduire

La possession de caractères sexuels secondaires visibles permet d'attirer un partenaire, ainsi que de polliniser les végétaux.



**Papillon Machaon**  
*Papilio machaon*



**Grenouille à tapir**  
*Dendrobates tinctorius, Guyane*

### Mimétisme Müllerien

Des espèces toxiques adoptent les mêmes couleurs pour avertir leur prédateur.



**Epipedrobate,**  
*Epipedobates trivittatus*

### Auto-mimétisme

Une espèce non toxique reproduit une partie du corps d'une autre espèce dangereuse.



**Papillon**  
*Epiphora albida*



**Papillon monarque**  
*Danaus plexippus*

### Mimétisme Batésien

Des espèces inoffensives imitent les couleurs des espèces nocives.



**Papillon vice roi,**  
*Limnitis archippus*

## ... OU PAS !

Afin de se camoufler (pour échapper à la vue d'un prédateur ou d'une proie), certains animaux se confondent avec leur environnement dont ils adoptent la couleur (et parfois également la forme).

### Mimétisme cryptique par homotypie

L'espèce adopte la forme et la couleur de son support.



**Papillon feuille morte du chêne,**  
*Gastropacha quercifolia*



**Insecte orthoptère**  
*Acripeza reticulata*

### Mimétisme cryptique par homochromie

L'espèce prend la couleur de son support et se camoufle.



**Caméléon nain**  
*Rampholeon spectrum, Gabon*



**Lion**  
*Panthera leo*



**Araignée crabe**  
*Misumena vatia, Gabon*

# LUMIÈRE, CALENDRIERS ET CIVILISATIONS

L'observation du ciel a toujours alimenté les croyances humaines. Avec l'apparition des premières civilisations organisées, l'étude du temps, des saisons et du Soleil est devenue primordiale pour développer et nourrir l'ensemble de la société.

Les prêtres chaldéens (Mésopotamie, - 4000 ans avant J-C) établissent le premier calendrier astronomique, déterminant la destinée humaine et celle de l'État. En Égypte, vers 2500 avant J.C., le premier calendrier à 365 jours est adopté : il suit les activités agricoles, les crues du Nil et les périodes de sécheresse.

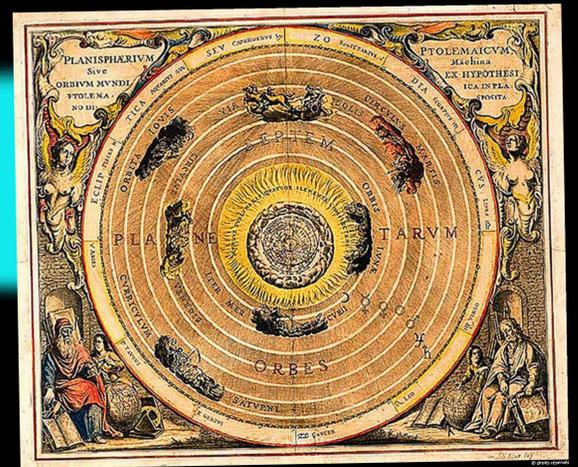
En Asie, pour les chinois de l'Antiquité, les variations du ciel et des périodes d'ensoleillement sont d'ordre religieux et divinatoire. A la même période, les civilisations précolombiennes développent leur connaissance du ciel. La finesse des observations et des calculs permet aux Mayas, notamment, d'établir plusieurs calendriers à usages pratiques et mythologiques, dont un solaire de 365 jours.

Les connaissances en astronomie permettent à chaque civilisation de prévoir des phénomènes naturels et de mettre en pratique leurs croyances religieuses. La maîtrise de ces connaissances permet l'optimisation des moyens de production agricole, le bon déroulement des activités humaines, ainsi que l'organisation et la croissance des sociétés.

**Cercle mégalithique de Stonehenge, Angleterre**  
En Europe, des cercles mégalithiques du Néolithique, comme celui de Stonehenge, ont pu être associés à l'observation du ciel, équinoxes, éclipses, rythme solaire vers 2200 avant J.C.



**Système de Ptolémée, Almageste, vers -90/-168 avt. J.C.**  
Ptolémée, de l'Ecole d'Alexandrie, expose dans l'Almageste son système géocentrique de l'Univers. Jusqu'à la Renaissance, la communauté scientifique s'accorde à dire que c'est le Soleil qui tourne autour de la Terre.



**Char solaire de Trundholm, Danemark**  
Cette représentation de char solaire de l'Age du Bronze est la plus ancienne connue : -1400 avant J.C.



**Calendrier Maya, copie du XIIe siècle, Codex de Dresde**



**Représentation actuelle du Système solaire**  
Pour tenter de comprendre les variations de la durée des jours et des nuits, des théories ont été fondées pour expliquer le fonctionnement de notre système solaire.

