



UNIVERSITÉ  
POUR TOUS  
SAINT-ÉTIENNE

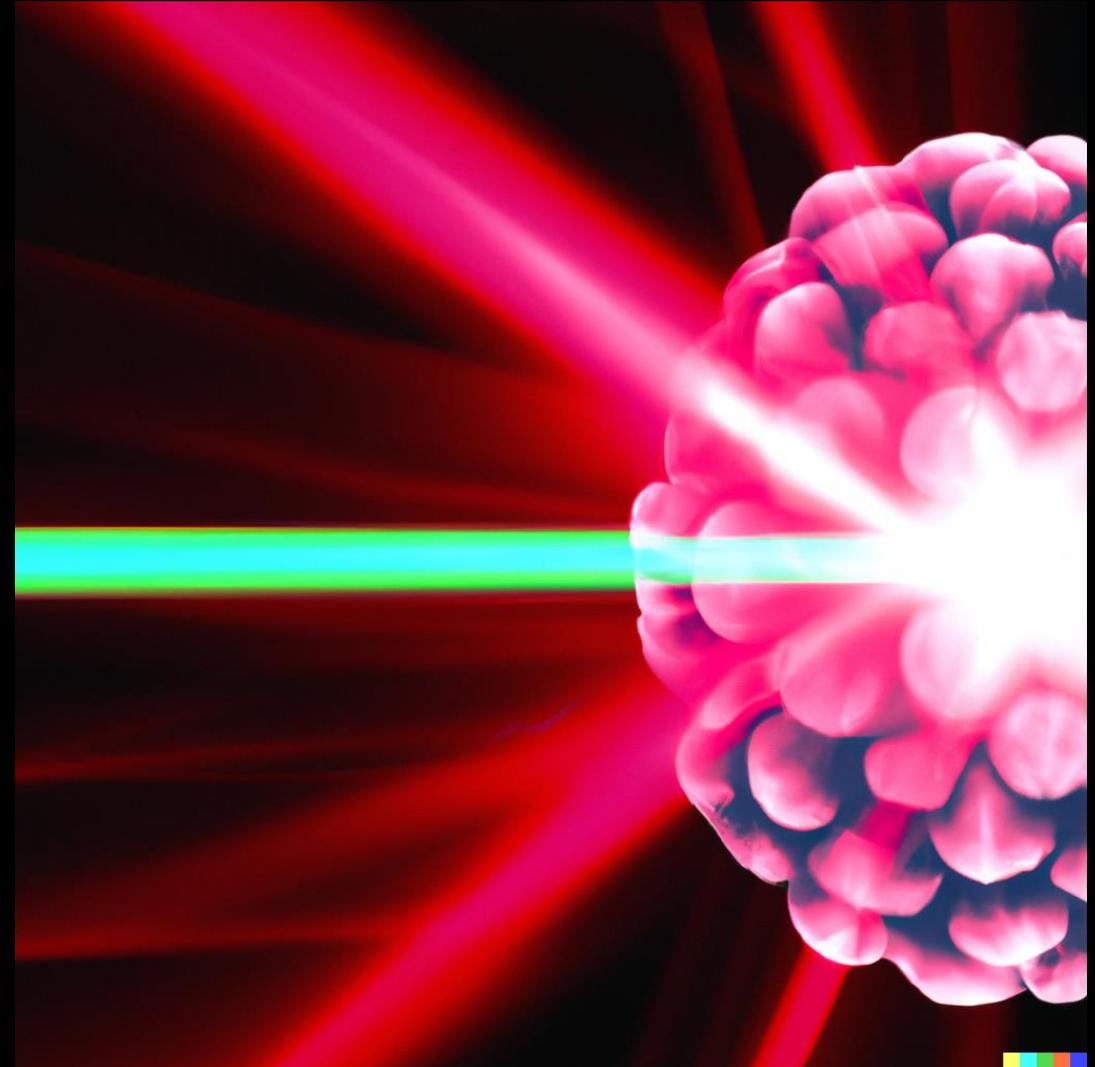
# La lumière Ses innombrables fonctions et usages

Nathalie Destouches

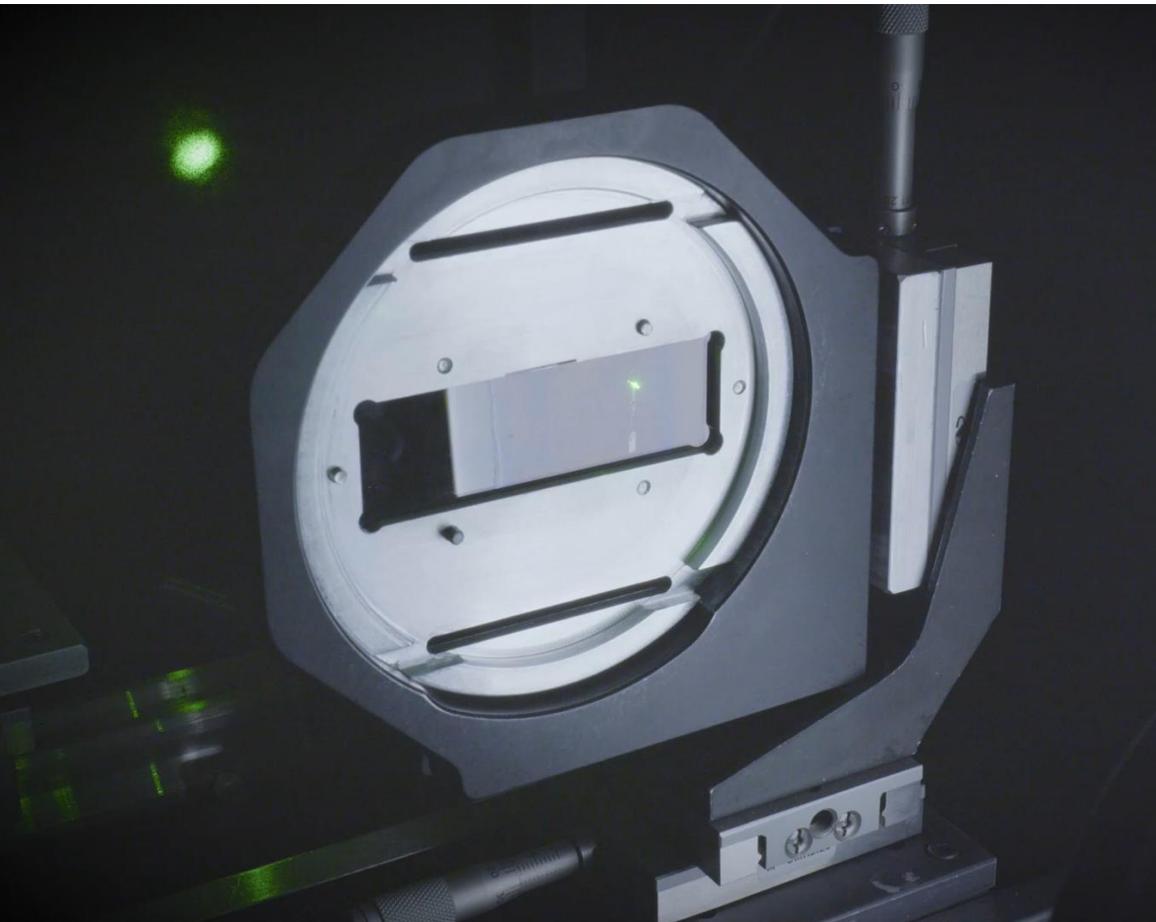
Laboratoire Hubert Curien  
Université Jean Monnet, Saint-Etienne



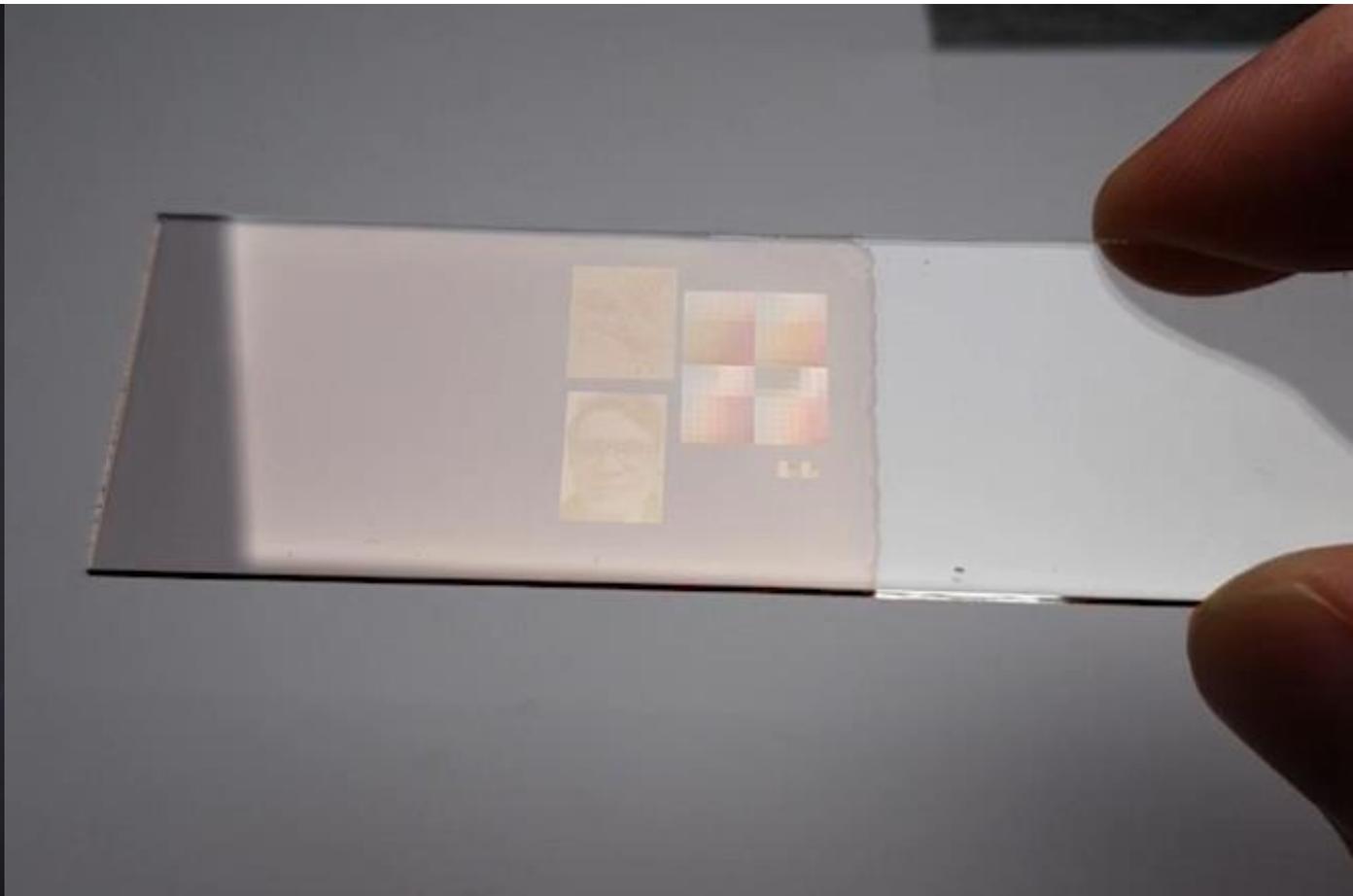
[nathalie.destouches@univ-st-etienne.fr](mailto:nathalie.destouches@univ-st-etienne.fr)



La lumière pour transformer la matière

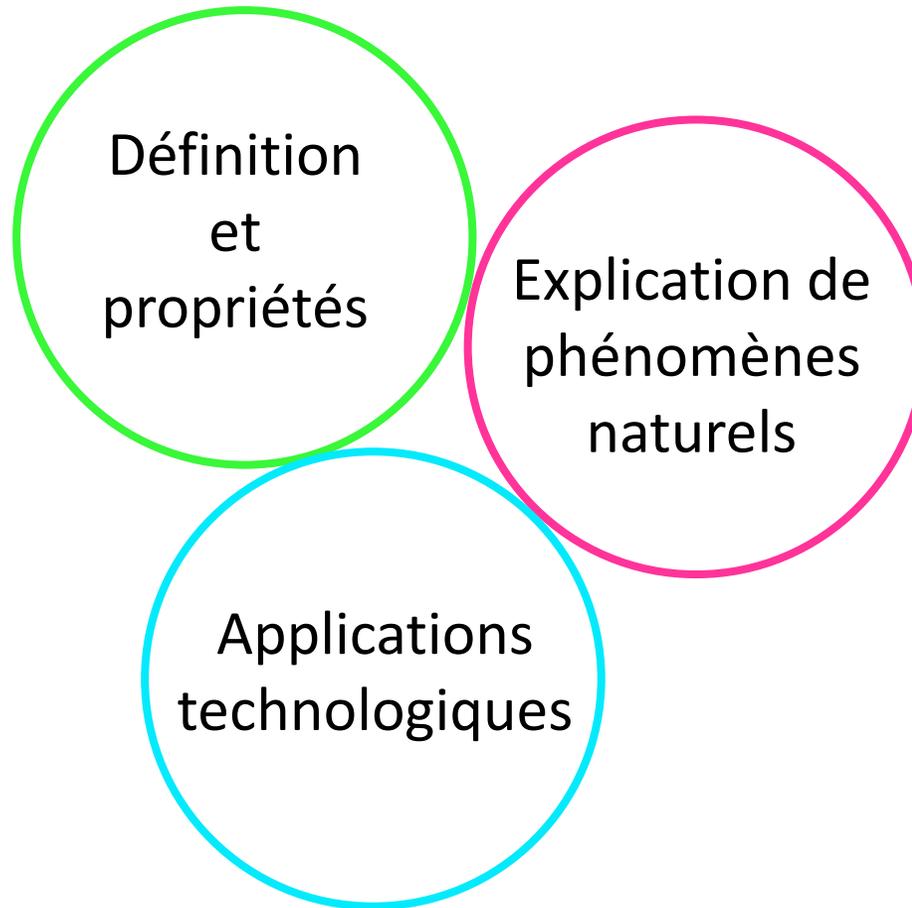


La matière pour contrôler la lumière



Nos recherches

# La lumière

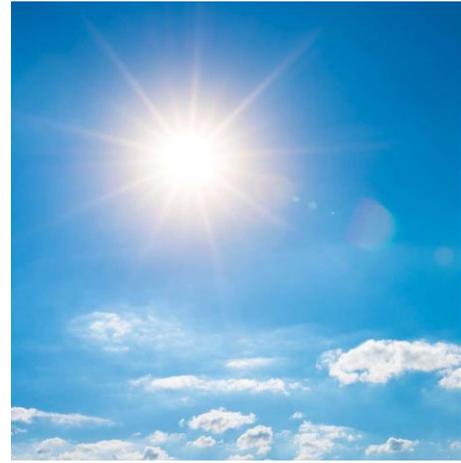


Une invitation à la découverte ...

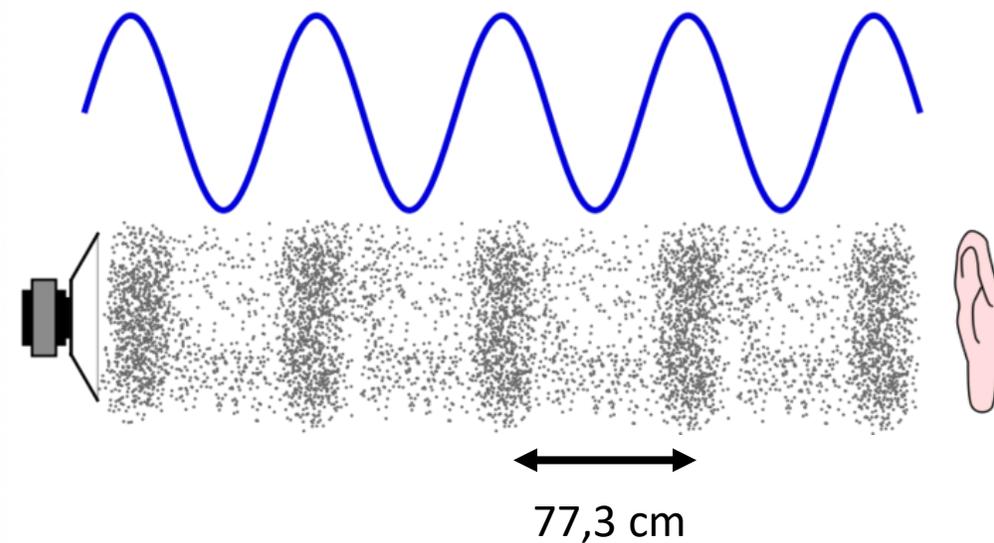
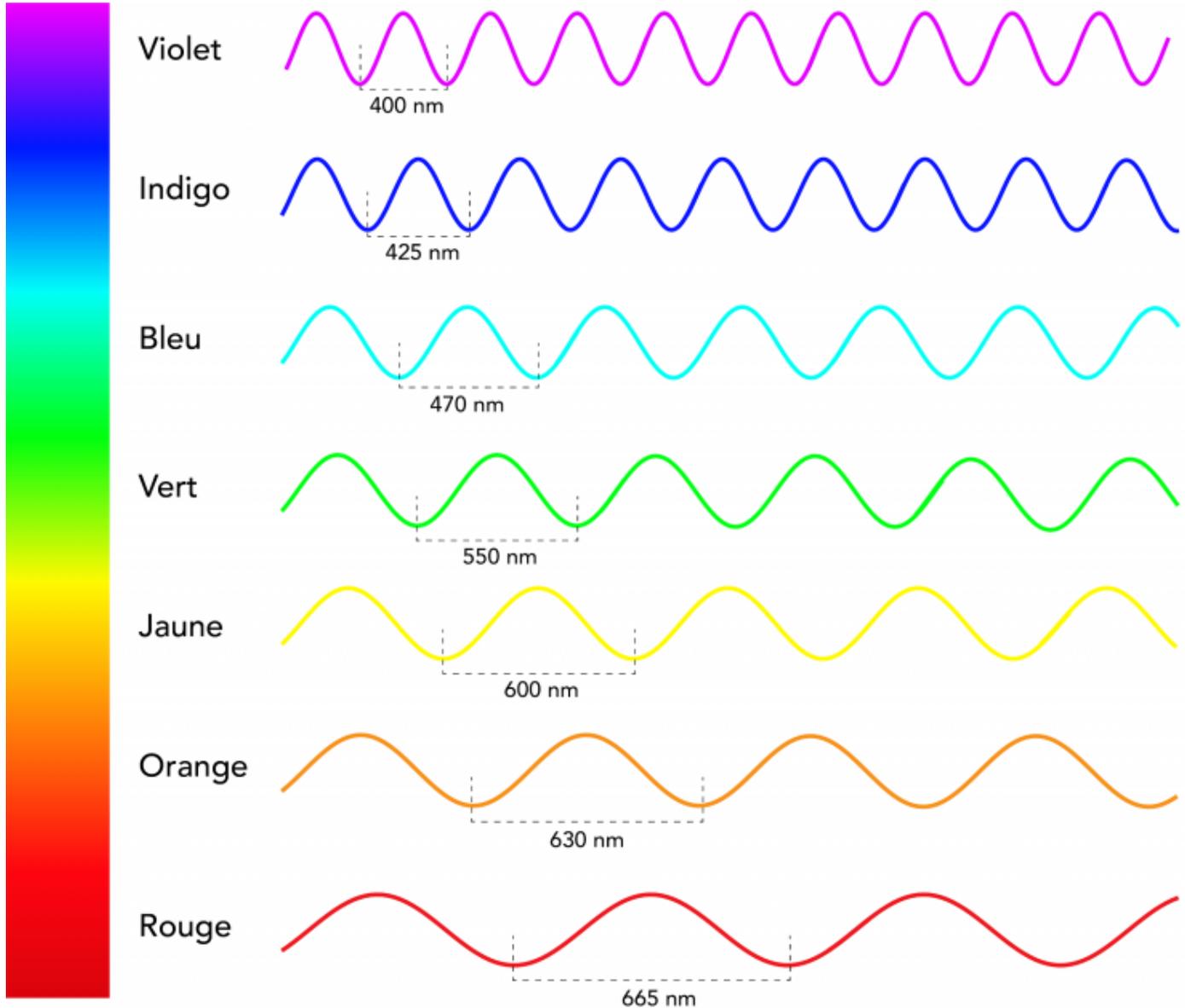
un survol très partiel de ce qui se cache derrière le mot lumière

# Quelles sources de lumière connaissons-nous ?

## Y a-t-il une différence entre lumière naturelle et artificielle ?



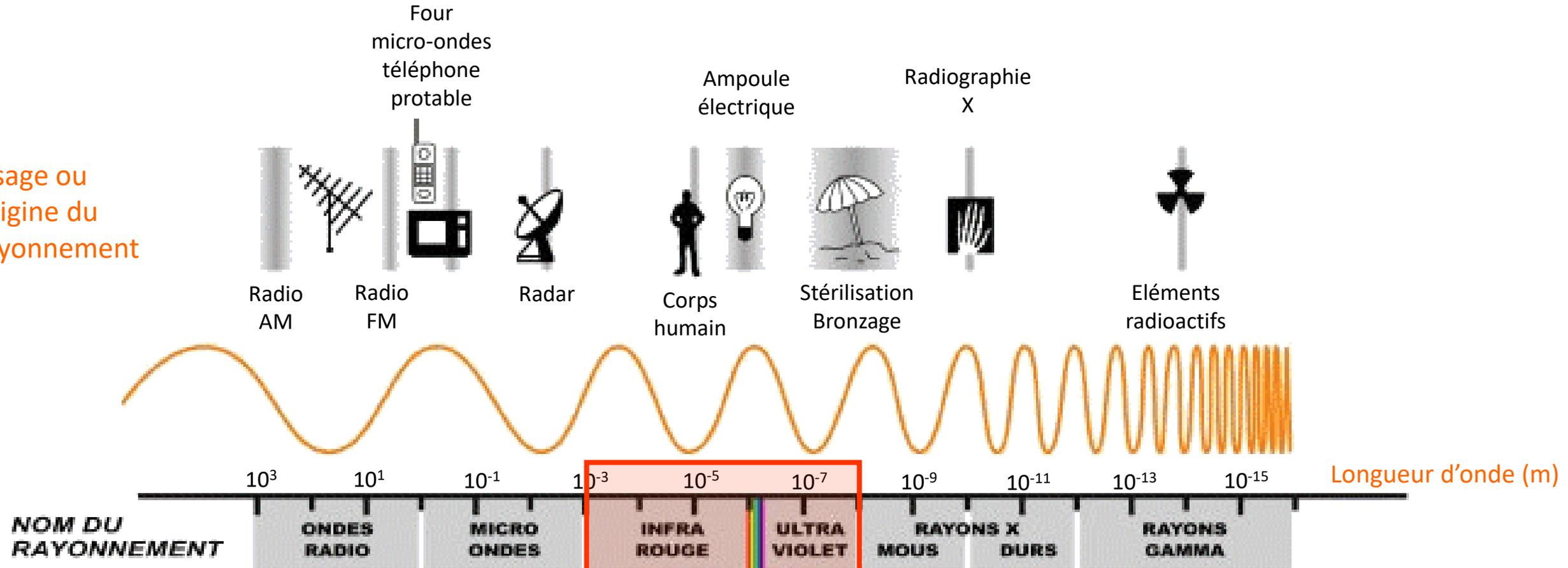
# La lumière est une onde qui se propage



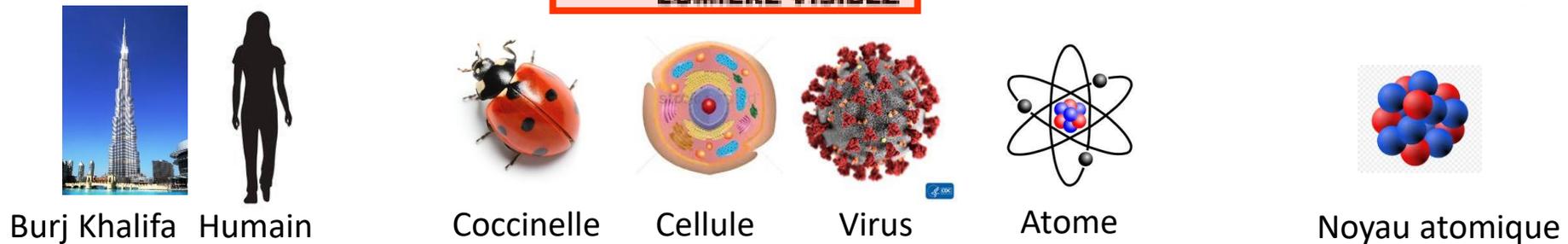
Note « La » à 440 Hz

# La lumière est une onde électromagnétique au même titre que ...

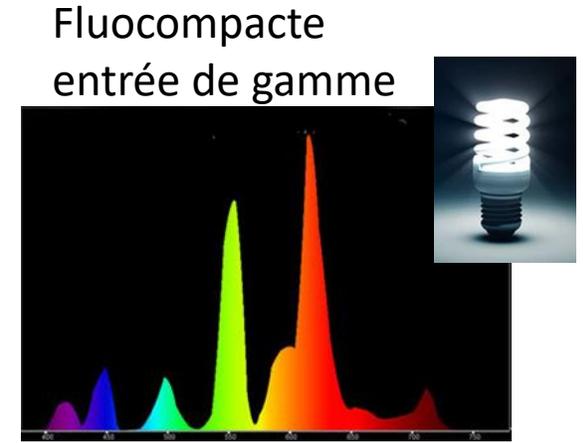
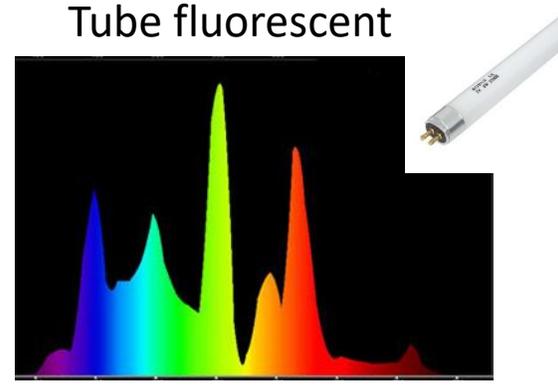
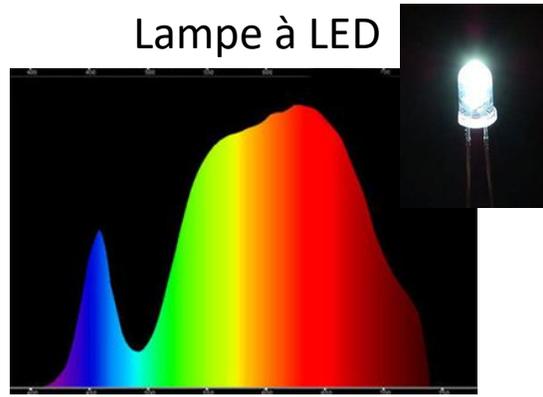
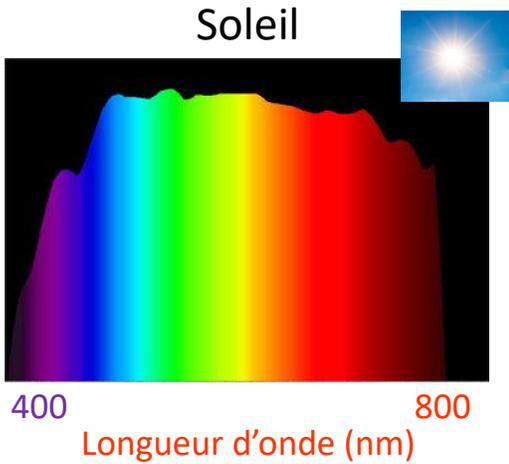
Usage ou origine du rayonnement



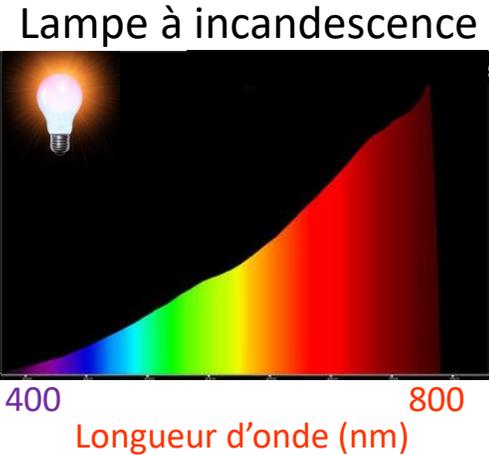
Tailles correspondant aux longueurs d'onde



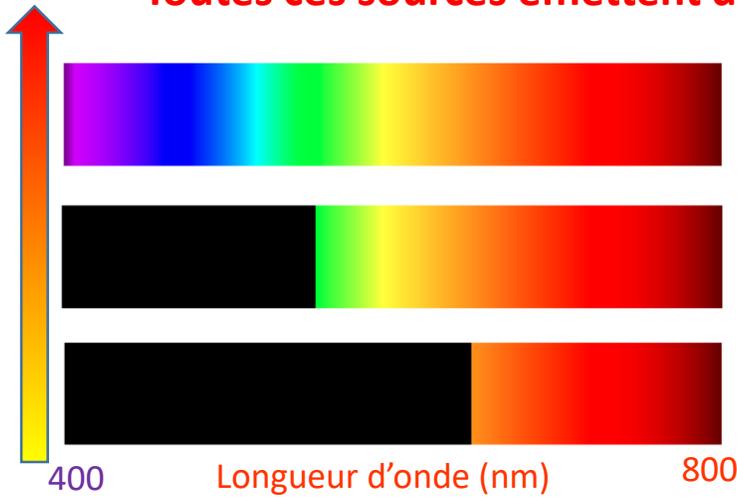
# Revenons à nos sources et regardons les longueurs d'onde qu'elles émettent dans le visible



**Toutes ces sources émettent de la lumière blanche !**



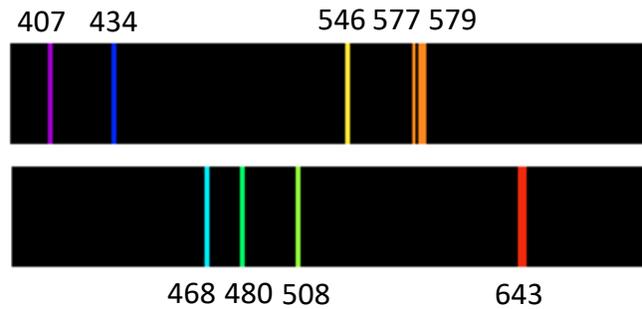
Température de la source



Feu



Lampe à gaz  
chaud basse  
pression



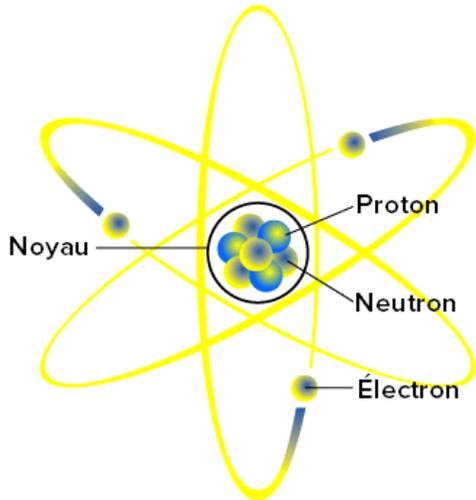
Mercure

Cadmium

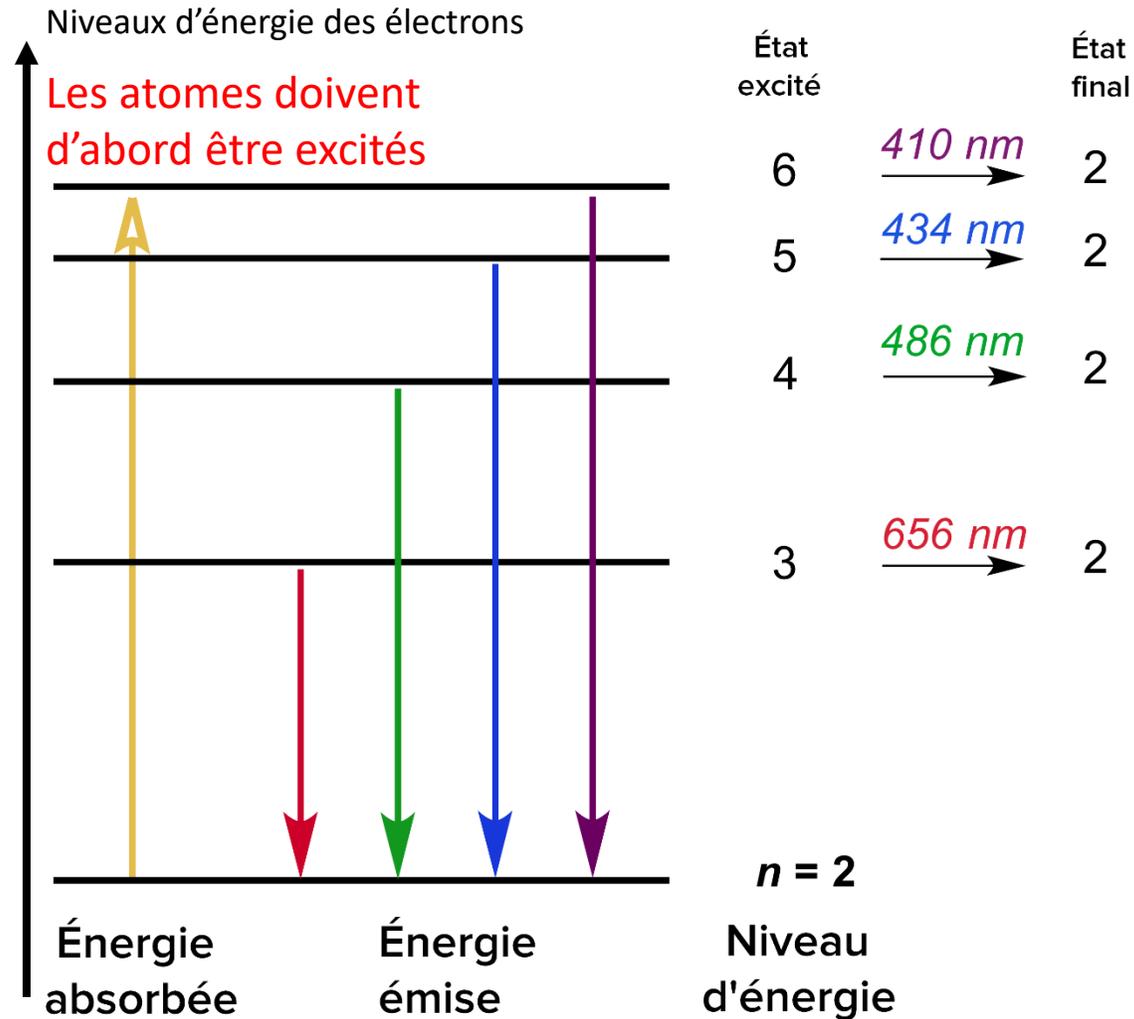
Contrairement à l'oreille qui est capable de distinguer la présence de deux notes dans un son, l'œil ne distingue pas la présence de 2 longueurs d'onde ... nous y reviendrons

# L'énergie lumineuse est quantifiée, qu'est-ce à dire ?

La lumière est émise par les atomes



Modèle de Bohr de l'atome de lithium



La lumière est émise sous forme de particules nommées

« photons »

qui correspondent à des quanta d'énergie

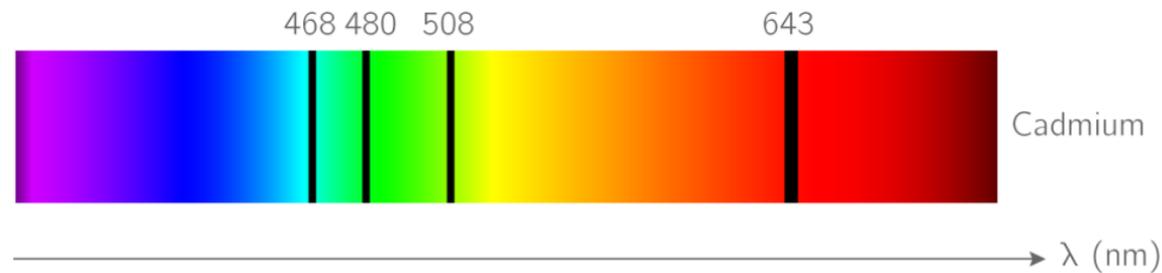
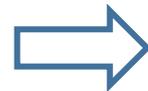
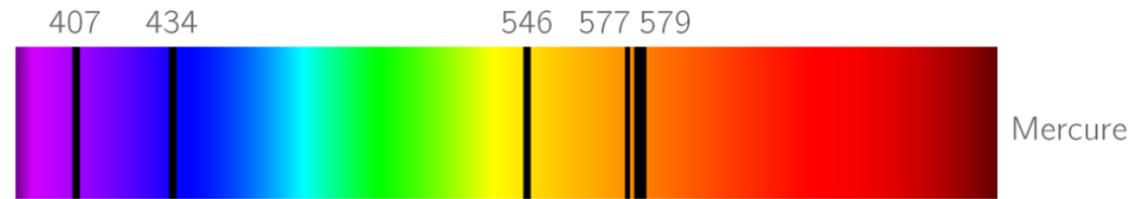
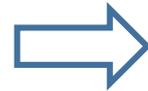
liés à la longueur d'onde

$$E = \frac{h c}{\lambda}$$

Raies spectrales de l'atome d'hydrogène  
Série de Balmer

Lorsque la lumière rencontre un autre atome, elle peut être absorbée

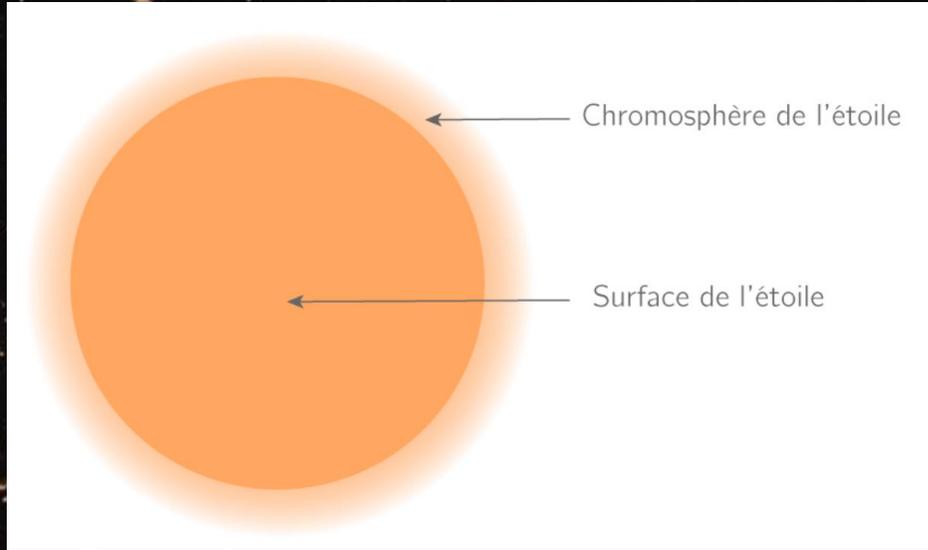
Le gaz froid absorbe les mêmes radiations que celles qu'il est capable d'émettre quand il est chaud



Lampe à gaz chaud  
basse pression

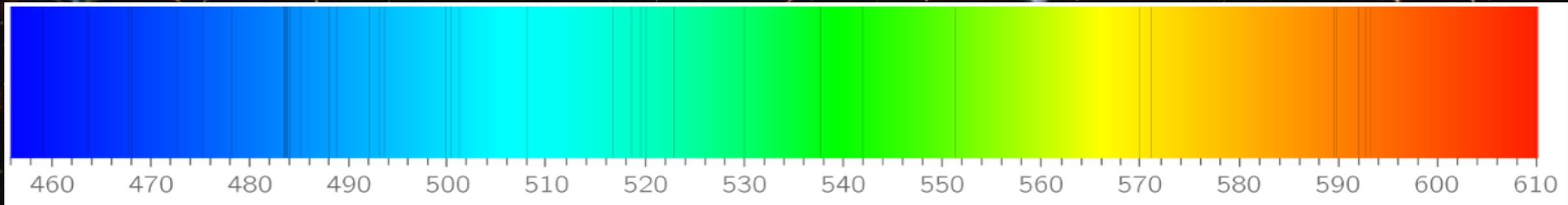
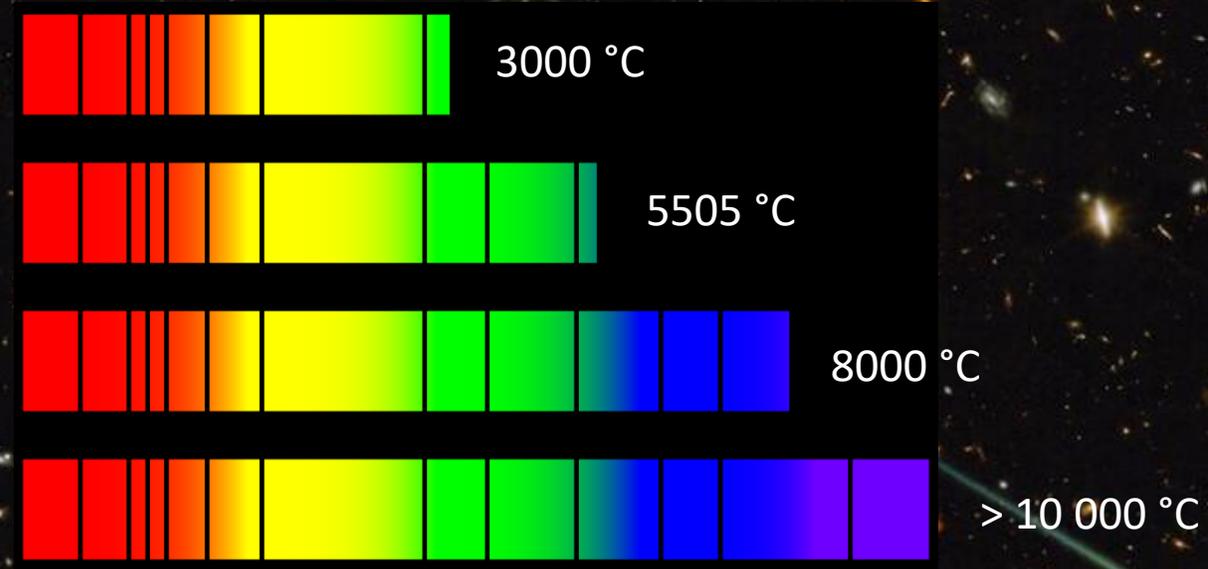


# Application en astrophysique de la spectroscopie d'absorption atomique



- Bételgeuse
- Soleil
- Sirius
- Rigel

## Estimation de la température de la surface d'une étoile



Exemple de spectre d'absorption d'une étoile : visualisation des éléments présents dans la chromosphère

*Plus une étoile est vieille plus son spectre est ridé*

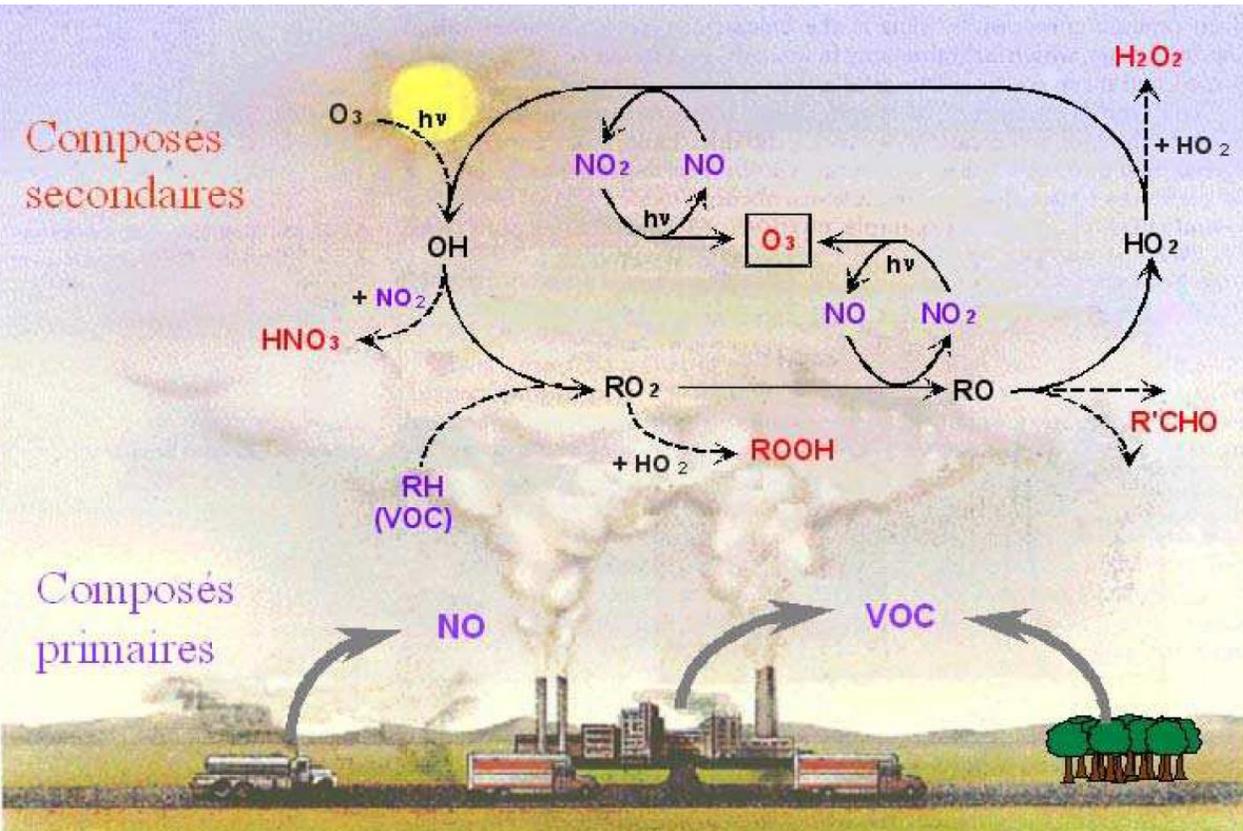
# Détection de molécules clés dans l'atmosphère terrestre



Spectroscopie d'absorption dans l'UV, le visible et l'infrarouge

Depuis le sol, des ballons atmosphériques ou l'espace

## Contrôle de la pollution atmosphérique

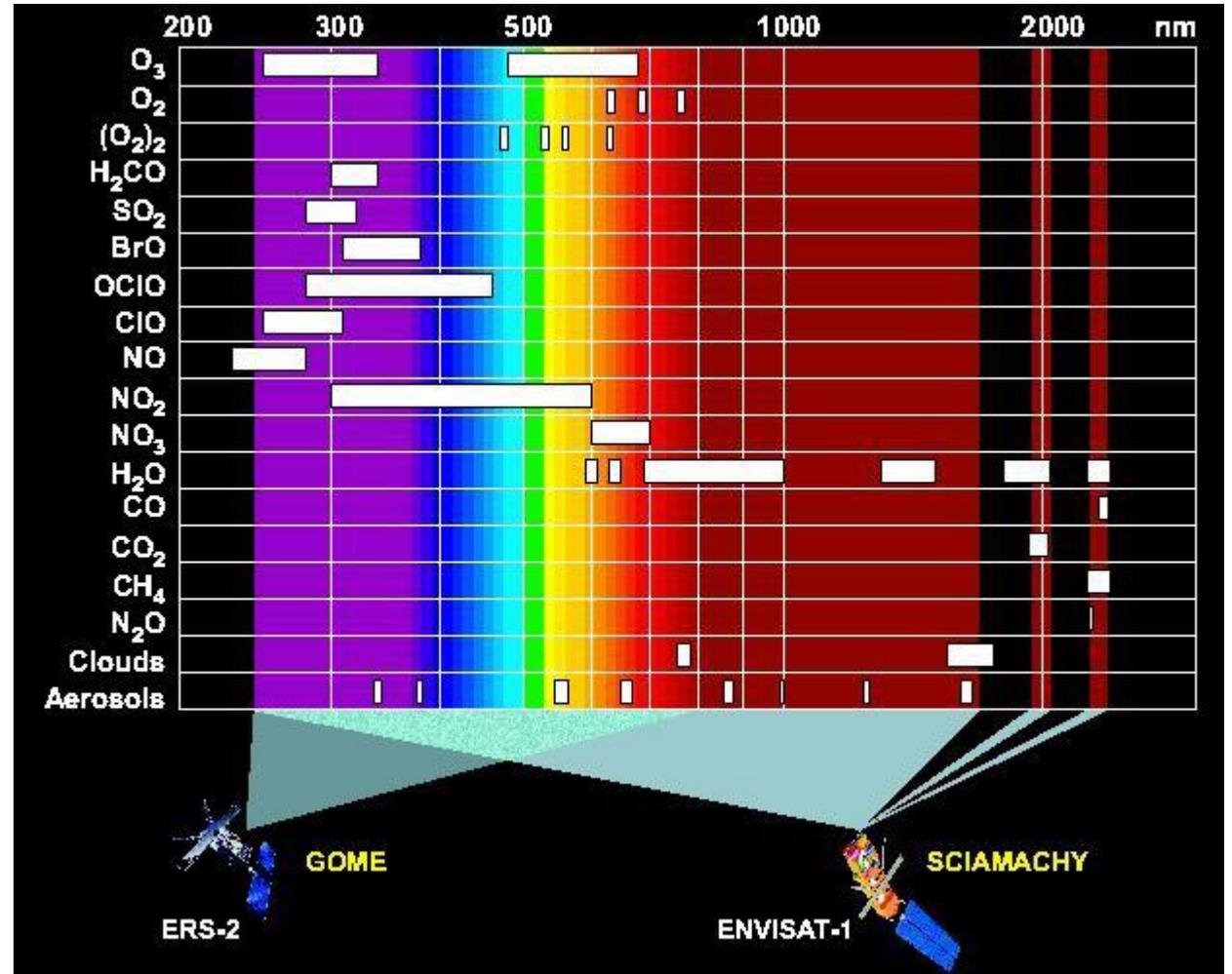
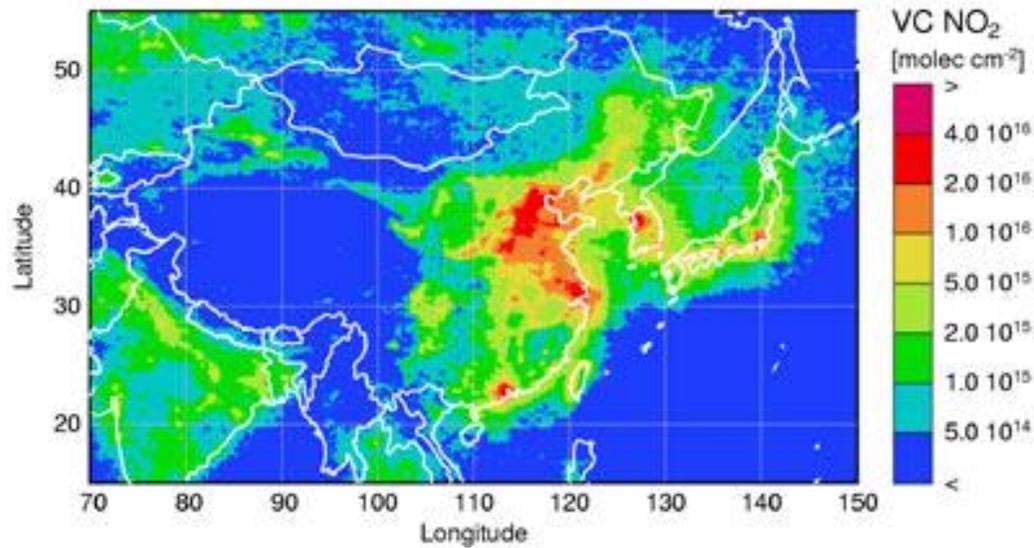


Les problèmes de pollution atmosphérique	Les principaux polluants concernés	Les principaux risques
Niveau local : pollutions urbaines et industrielles	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , COV, poussières...	Atteintes sur la santé de l'homme, sur les matériaux
Pollutions régionales : pollution photochimique	COV, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PAN...	Domage sur les écosystèmes
Niveau global : effet de serre, amincissement de la couche d'ozone	CFC, NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub>	Dégradation des écosystèmes et modification du climat

# Détection de molécules clés dans l'atmosphère



Spectromètre d'absorption imageur à balayage pour la cartographie de l'atmosphère (SCIAMACHY) sur le satellite ENVISAT



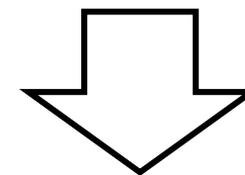
La lumière  
transporte de  
l'énergie entre les  
atomes (les objets)



Puissance de l'onde  
**10 mW**

Longueur d'onde rouge  
**633 nm**

Energie du photon rouge  
 **$3,14 \cdot 10^{-19}$  Joule**



**~31 millions de milliards  
de photons par seconde**

*à titre de comparaison  
Vous mangez environ 8 millions de joules par jour*

# Les fours solaires



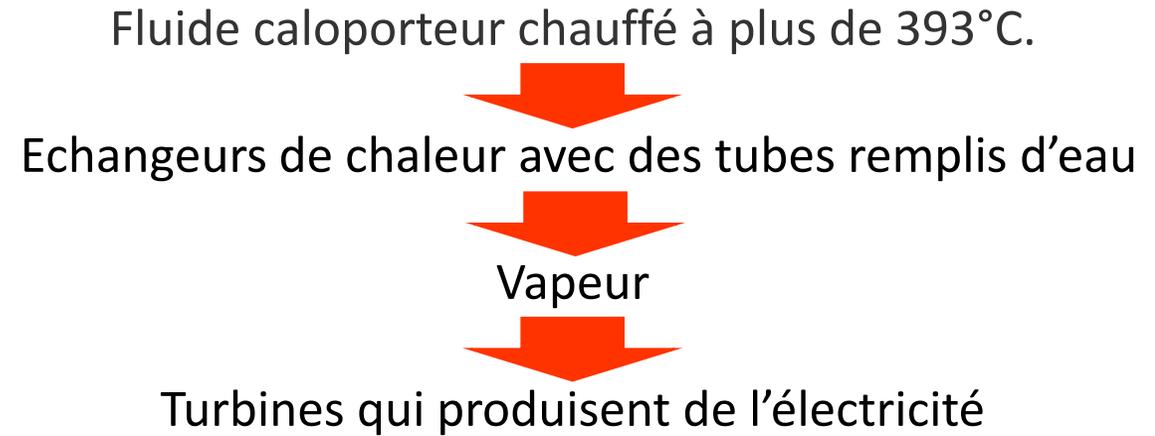
# Le solaire thermique à concentration (à collecteur cylindrique)



La centrale Shams 1 ("shams" signifie soleil en arabe) a ouvert en mars 2013 aux Émirats Arabes Unis

**2.5km<sup>2</sup> soit ~285 terrains de football**

**Puissance de 100 MW => 20 000 foyers**

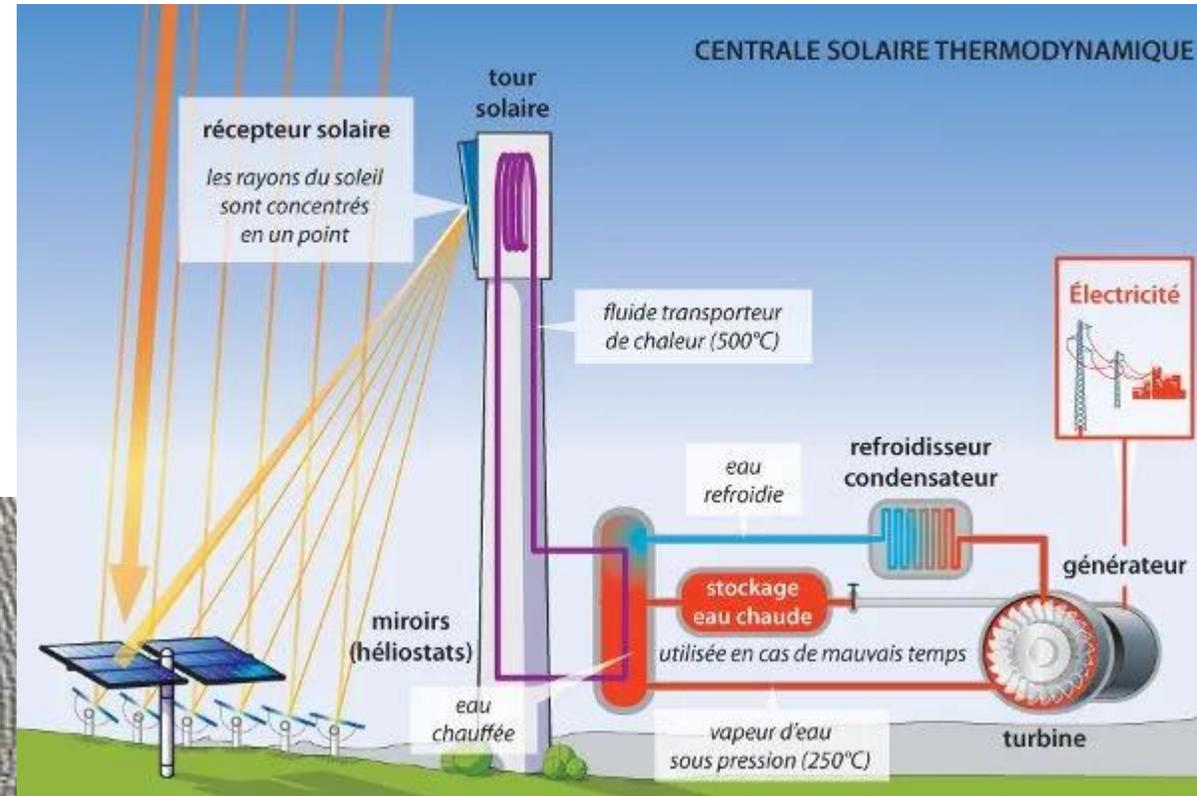


# Le solaire thermique à concentration (à tour)

Les miroirs réfléchissants suivent le mouvement du soleil tout au long de la journée

Stockage de l'eau chaude

Fonctionnement la nuit également



**Espagne et USA**  
**60 % de la puissance mondiale**

Centrale solaire thermodynamique d'Ivanpah (Californie), 173 500 miroirs, puissance de 392 MW.  
(©BrightSource)



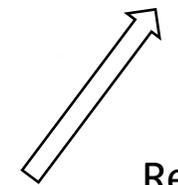
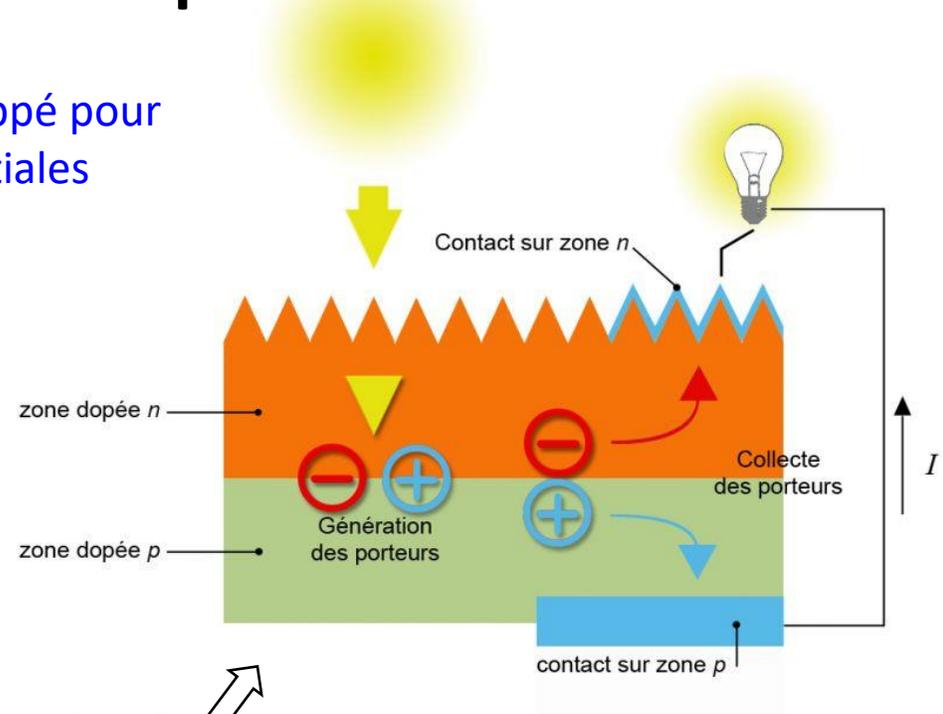
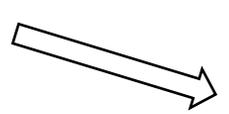
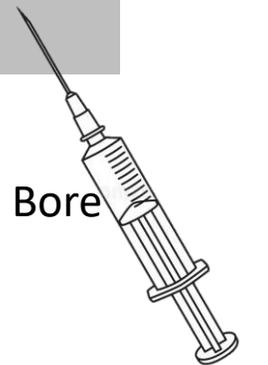
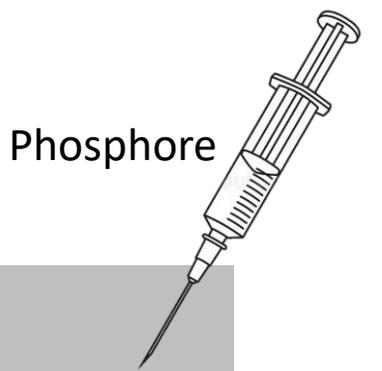
# Le solaire photovoltaïque

## ou comment faire de l'électricité directement à partir de la lumière



Edmond Becquerel  
1839 Effet photovoltaïque

Initialement développé pour  
les missions spatiales



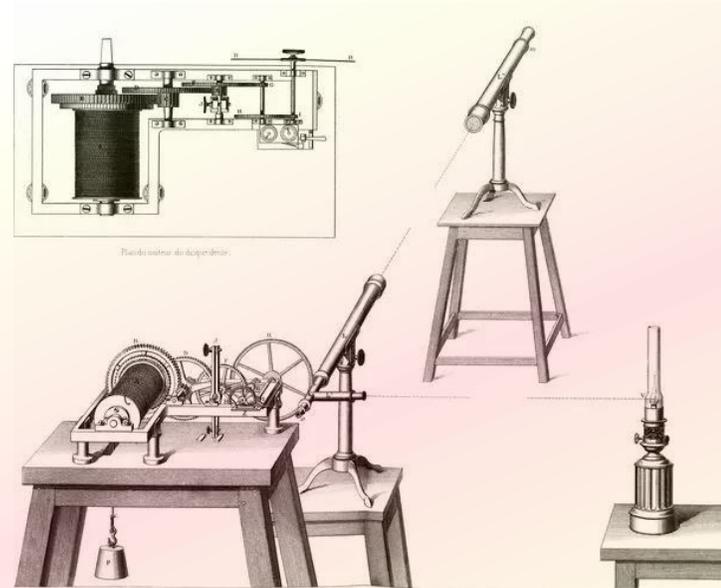
Rendement



# La vitesse finie de la lumière



Première tentative de mesure  
1638: Galilée et lanternes  
Clepsydre  
Pas concluant



1849 : Expérience de Fizeau  
Roue dentée,  
8 km entre Suresnes et Montmartre  
315 000 000 m/s

1983 : la vitesse de la lumière  
dans le vide est figée à  
 **$c = 299\,792\,458$  m/s**

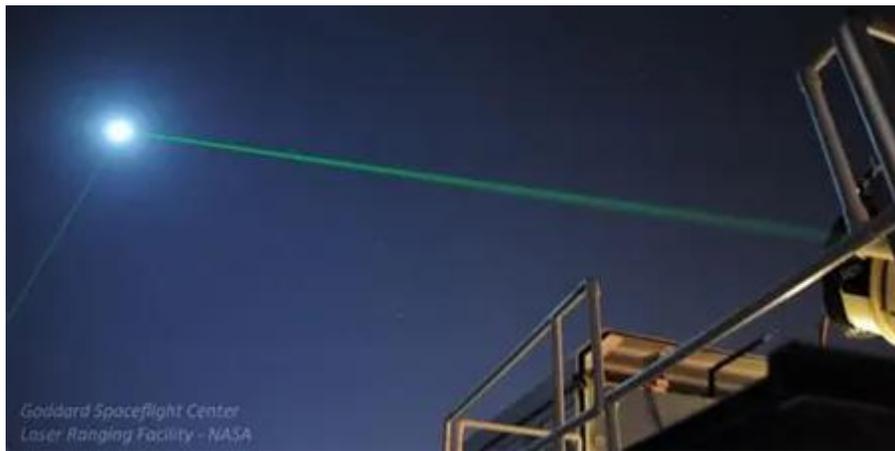
**7 fois le tour de la terre en 1s**  
**8 min 20s pour nous arriver du soleil**

Antiquité  
Vitesse infinie

# Mesure de distances par temps de vol d'impulsions de lumière



Apollo 11, 14, 15



Mesure de la distance Terre-Lune  
Temps de vol ~1s



Télémètres laser - Bricolage



Télémètres laser – police (vitesse)

Scanner 3D

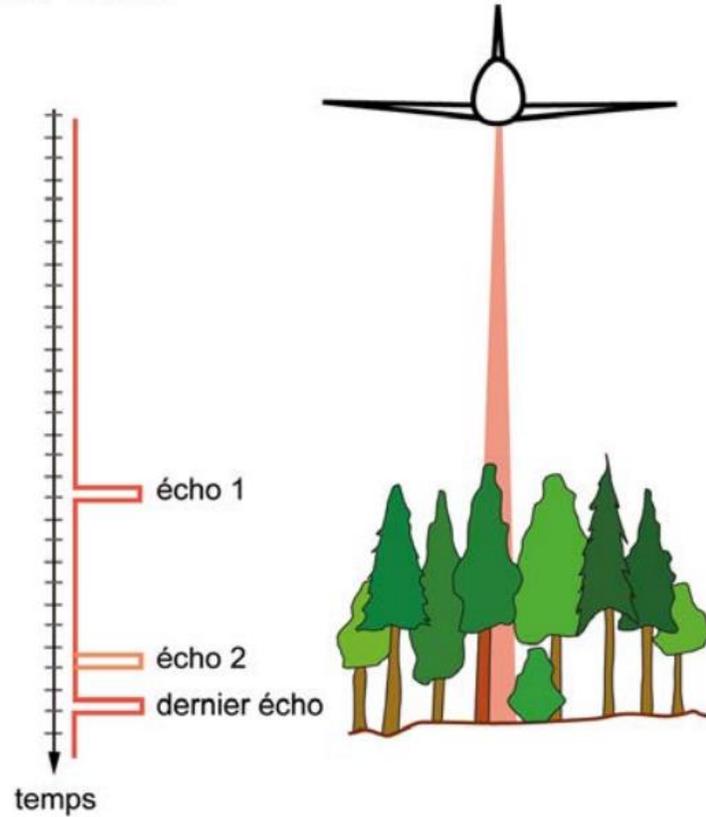


[www.dechanetfacility.fr](http://www.dechanetfacility.fr)

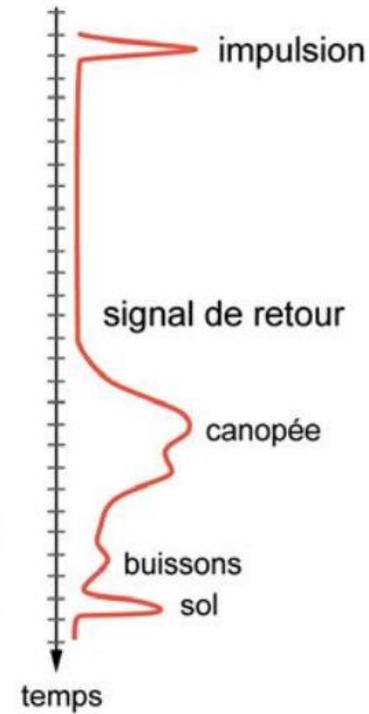
# Laser scanner aéroporté pour l'archéologie ou LIDAR topographique

*Light Detection And Ranging*

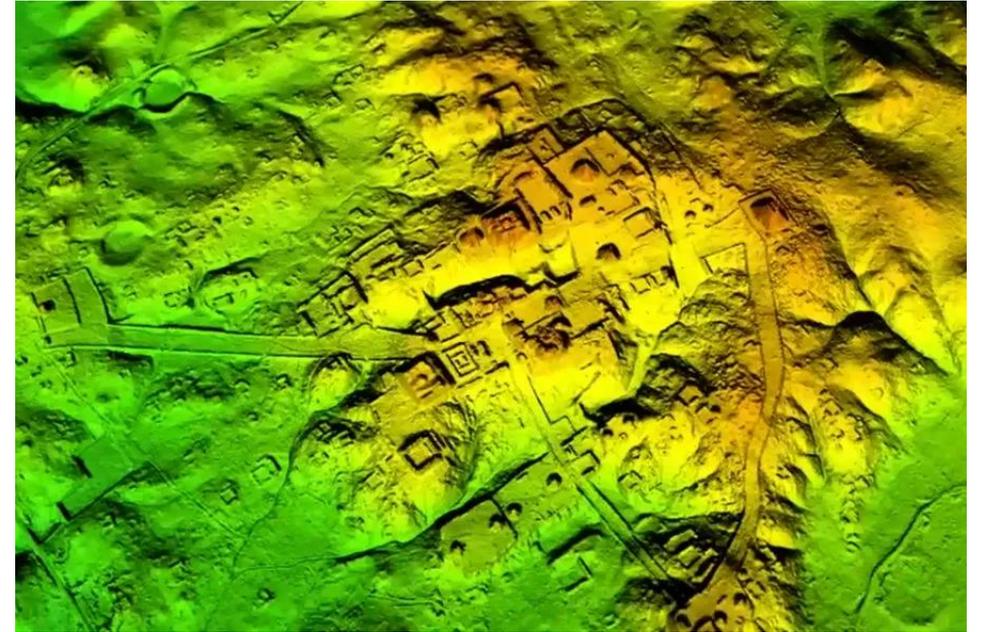
multi-échos



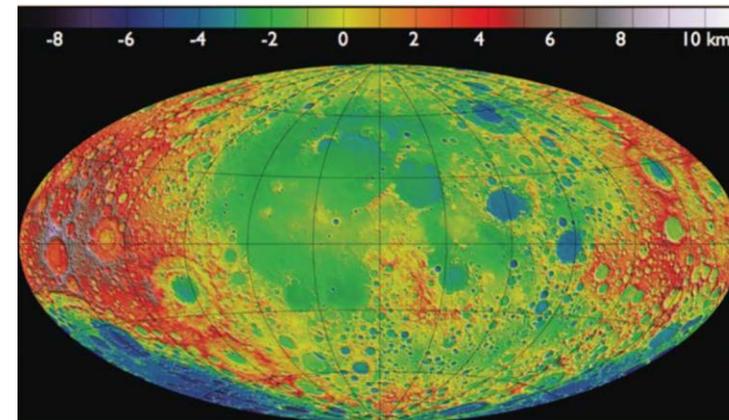
onde complète



(d'après Bretar 2006)



Une cité Maya découverte sous la jungle du Guatemala (2018)



Topographie de la Lune  
NASA 2009

# La vitesse de la lumière est-elle la même partout ?

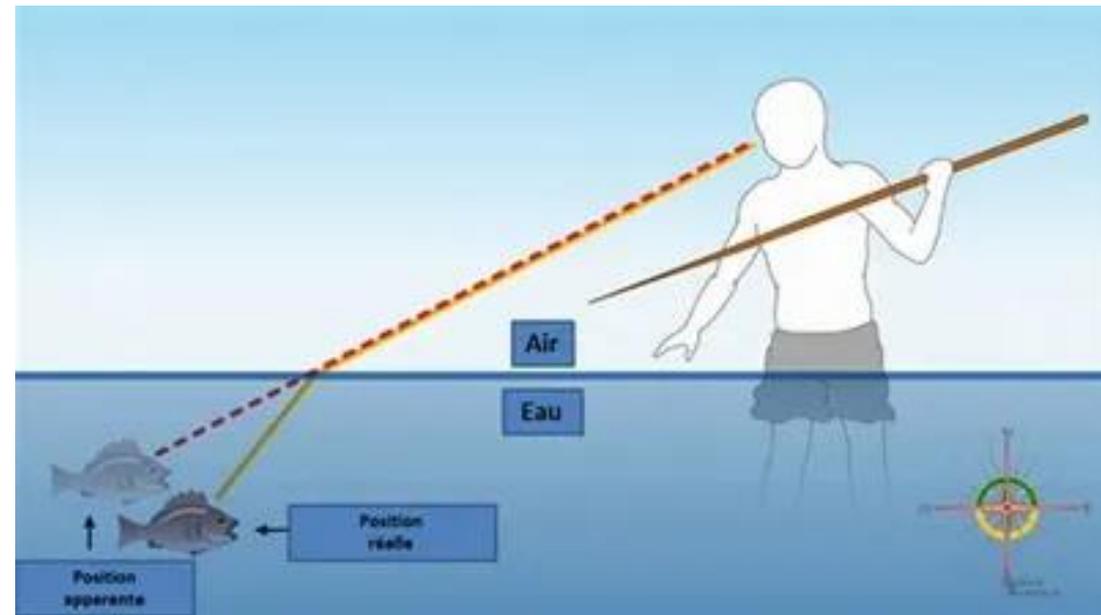
Vitesse de la lumière dans un milieu transparent

$$= \frac{c}{n}$$

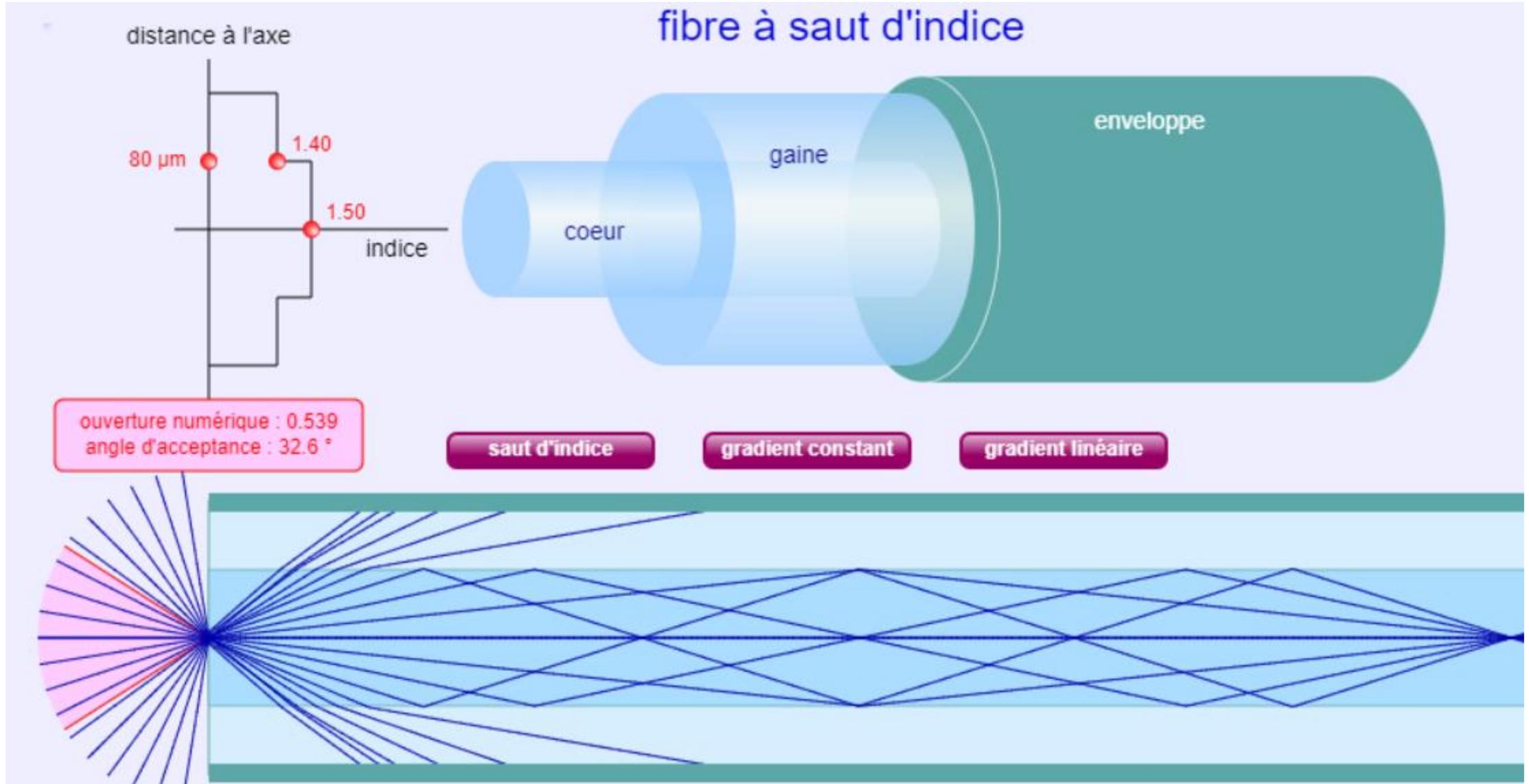
$n = 1,33$  pour l'eau

$n = 1,5$  pour le verre

$n$  : Indice de réfraction



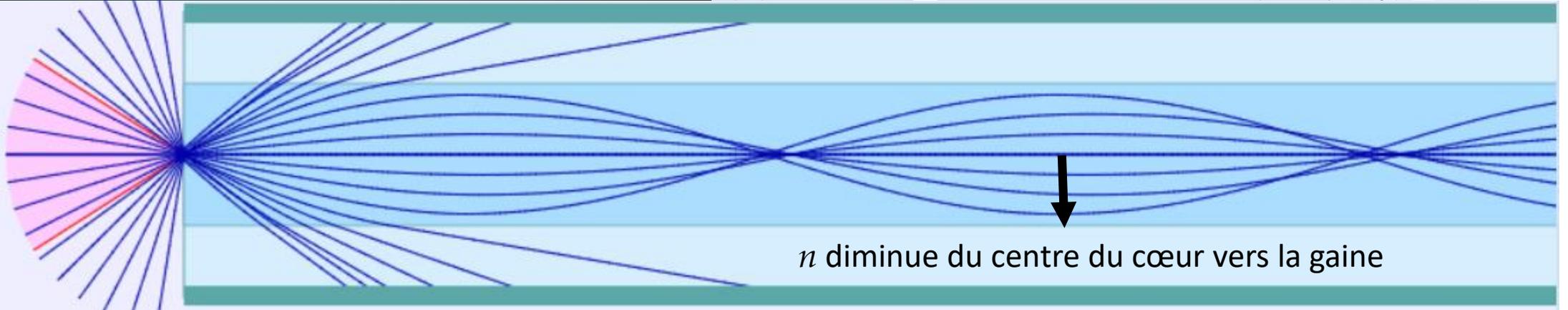
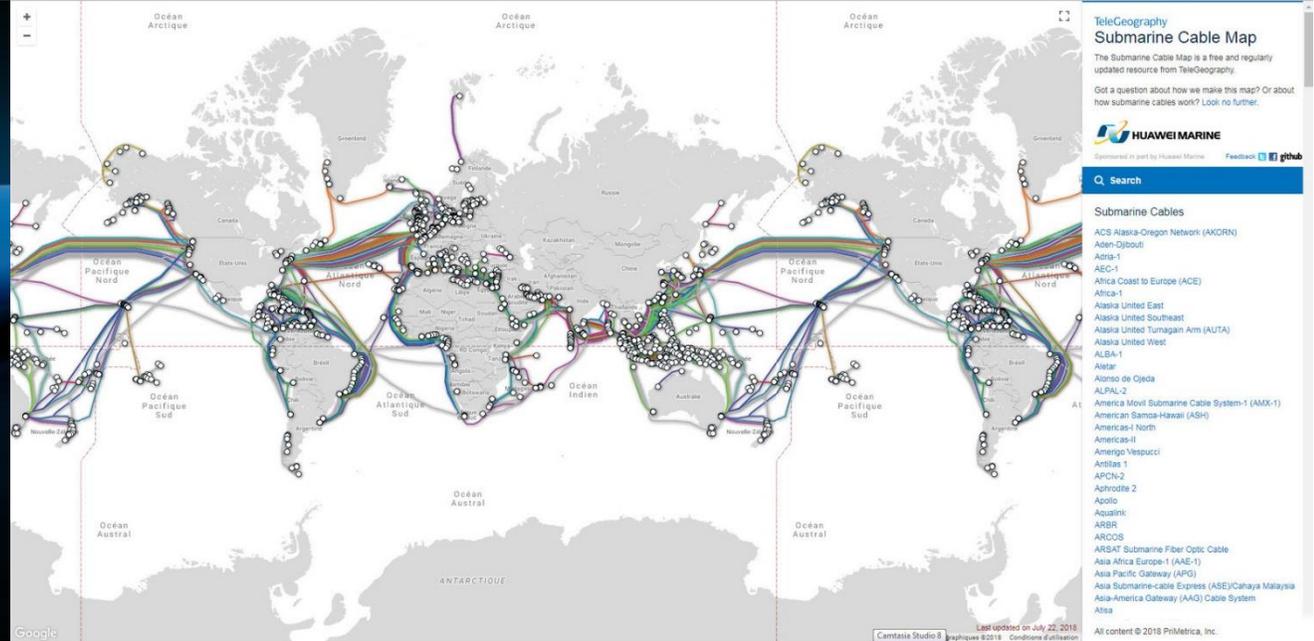
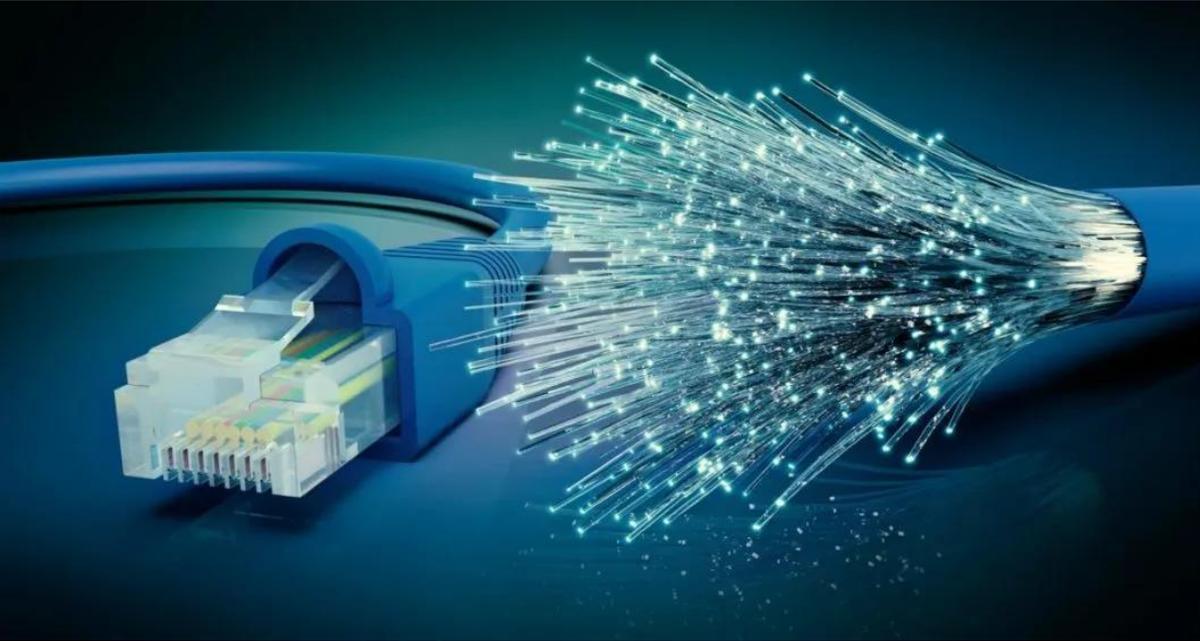
# Guider la lumière dans une fibre optique



# Guider la lumière dans une fibre optique

distance à l'axe

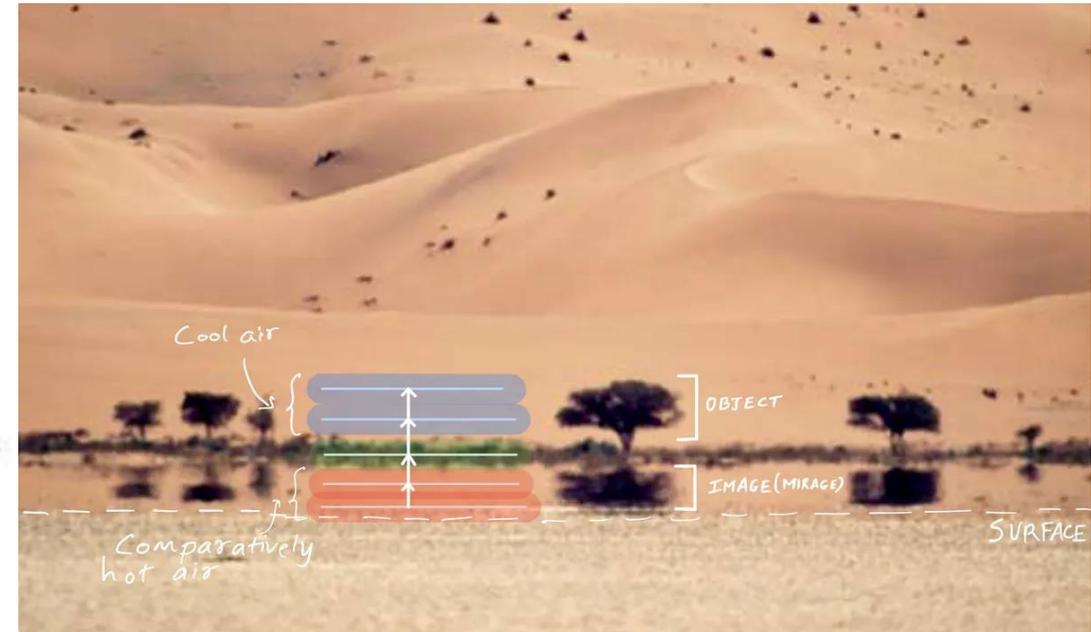
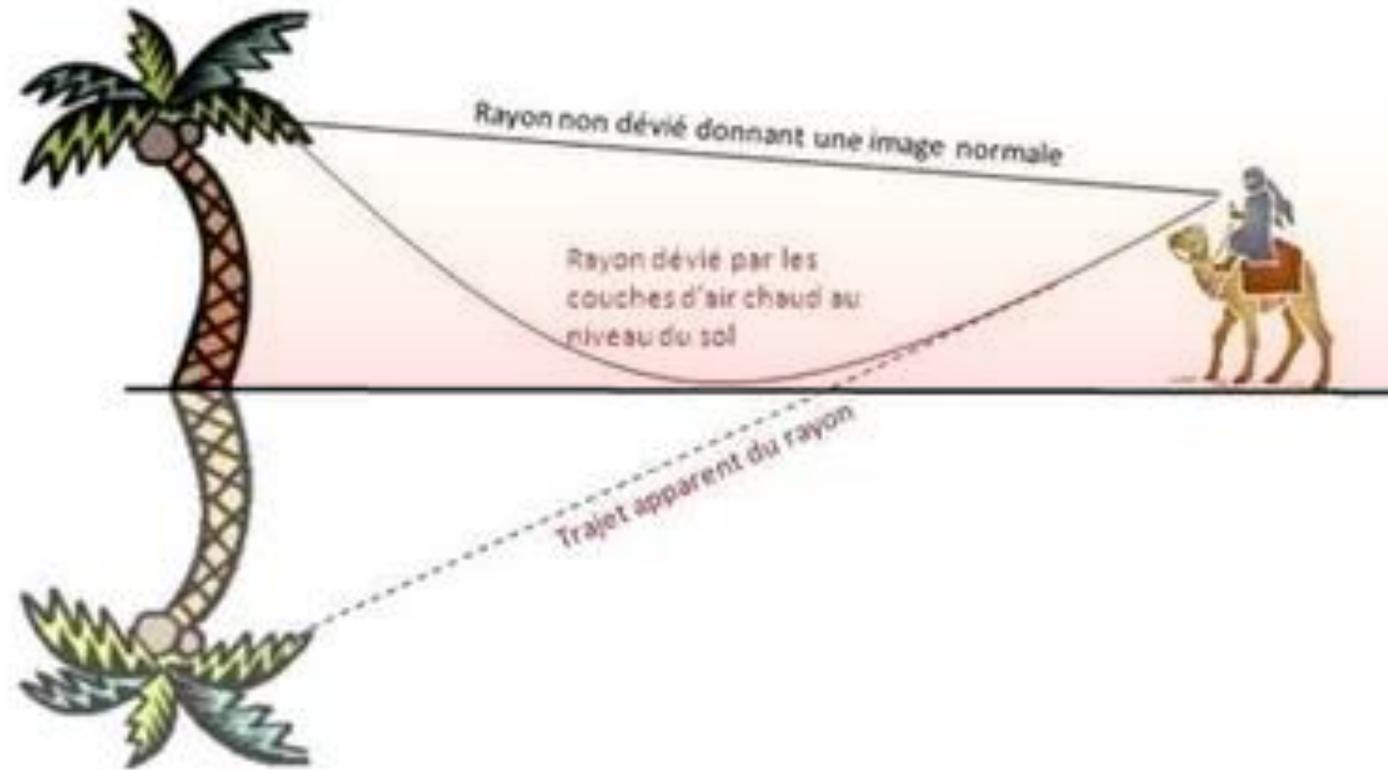
fibre à gradient linéaire



$n$  diminue du centre du cœur vers la gaine

# Les mirages expliqués

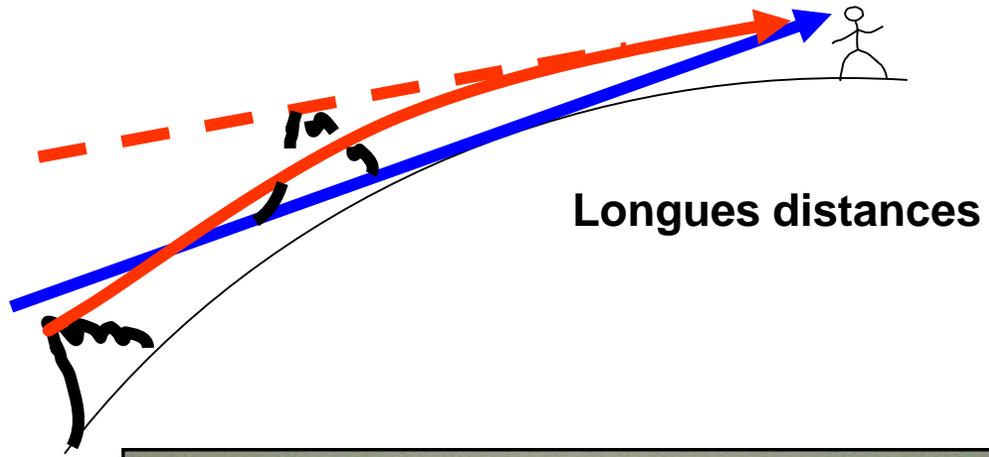
$n$  diminue lorsque la température augmente



La température est plus chaude près du sol

*Le gradient décroissant de température crée un gradient croissant d'indice de réfraction  $n$*

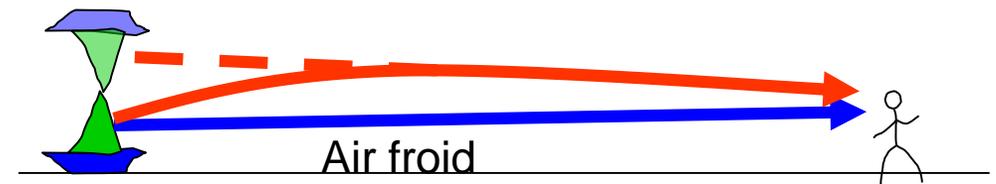
# Les mirages froids



Longues distances



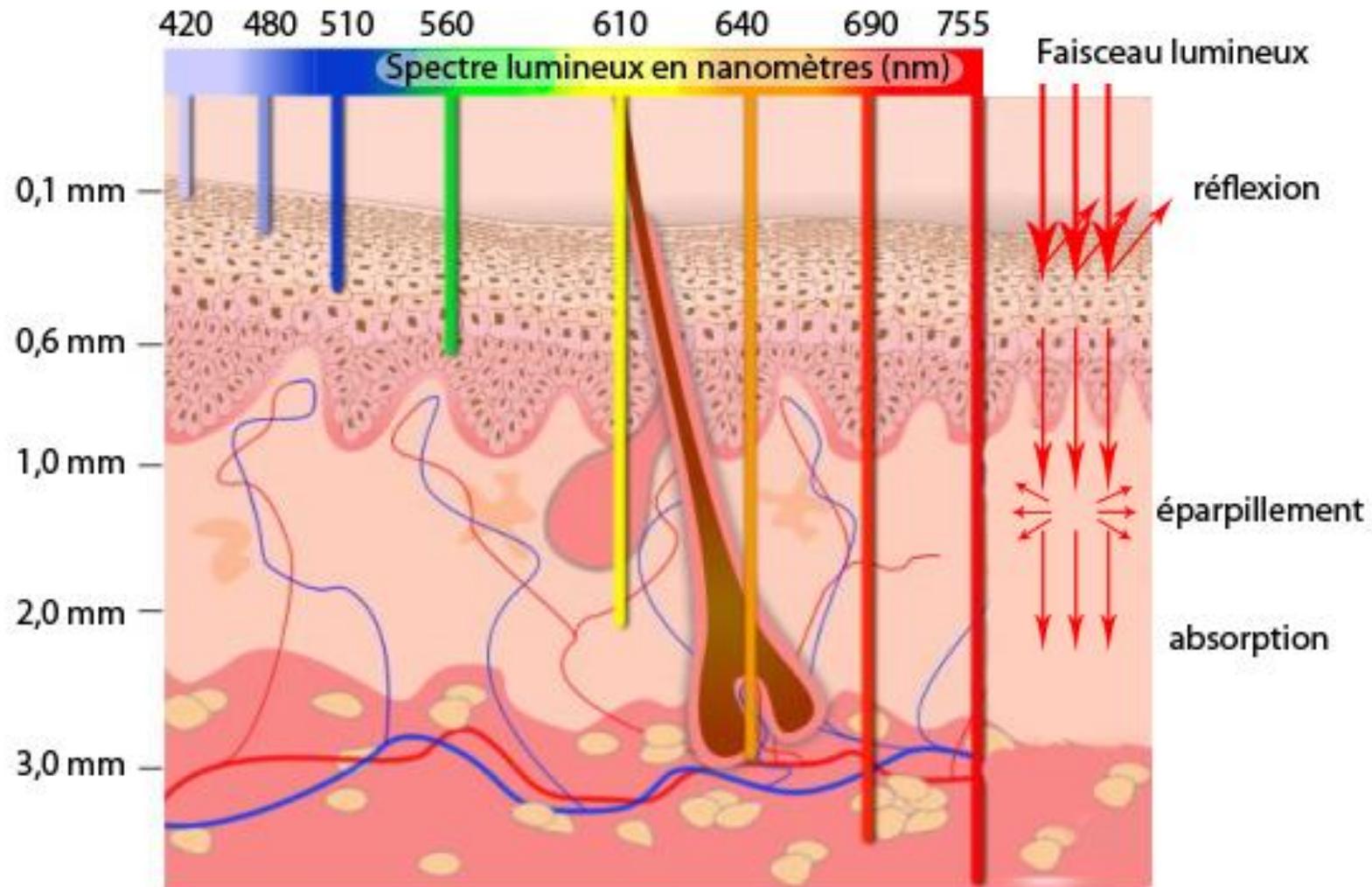
Plus courtes distances



Air froid

# La lumière et la santé

Propagation de la lumière de différentes longueurs d'onde dans les tissus



# La lumière et la santé

## Lumière thérapeutique

### La photobiomodulation ou thérapie lumineuse basse intensité

Absorption de la lumière par des photorécepteurs ou des chromophores à l'intérieur des cellules

Activation de réactions moléculaires qui ont un impact positif sur le fonctionnement de certaines cellules

LED pulsée ou continue principalement rouge ou infrarouge / bleue

**Peau : Soins anti-âge (ride, vergeture), cicatrisant, acnée**

Photostimulation du fibroblaste, des cellules fabriquant le collagène et autres substances de soutien de la peau

Amélioration de la microcirculation

**Cheveux : stimulation repousse**

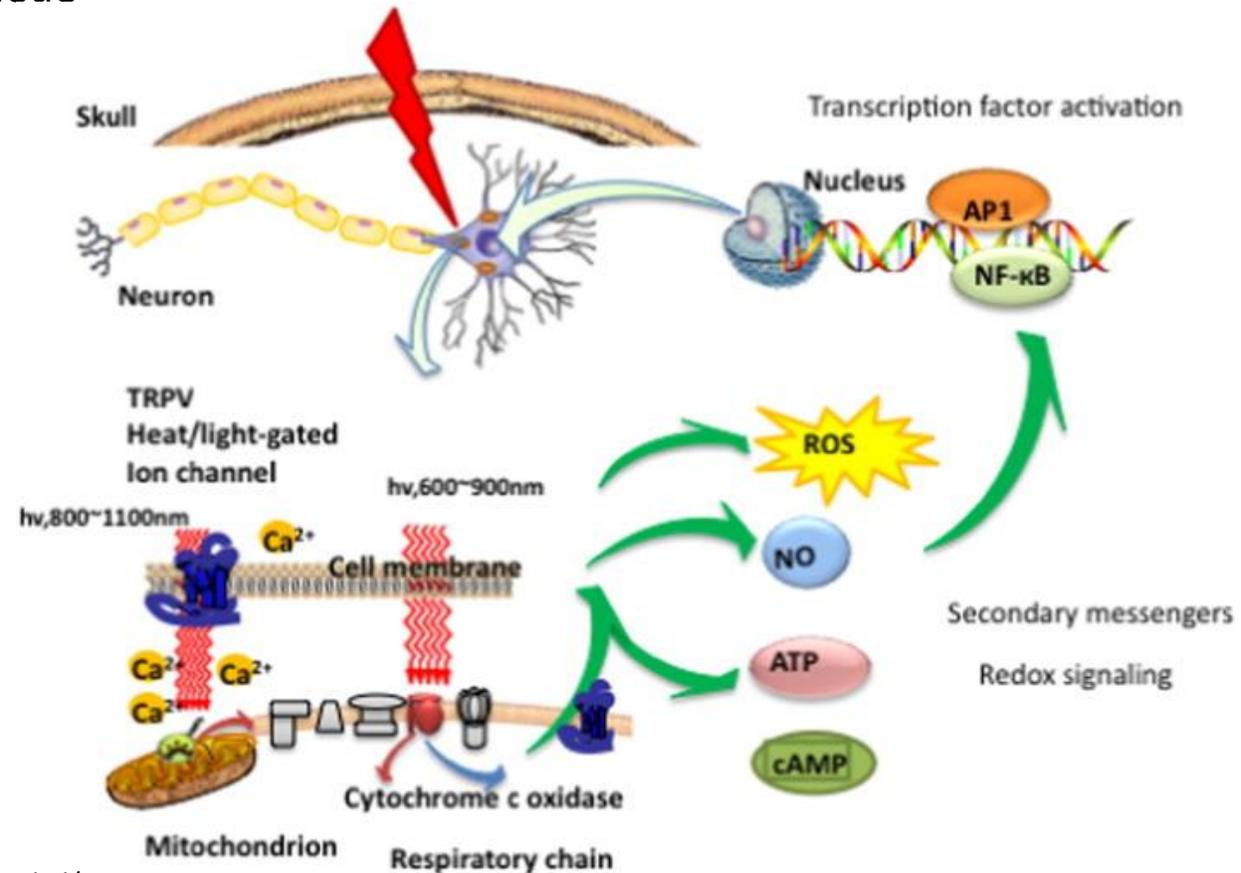
**Concentration et humeur**

**Blessure cérébrale**

**Douleurs/ inflammation**

**Préparation et récupération physique**

...



# La lumière et la santé

Beauté

## Détatouage par laser

Laser nanoseconde

Laser picoseconde (moins de chaleur)

« volatilisent » les pigments du tatouage dans la peau

## Epilation par laser



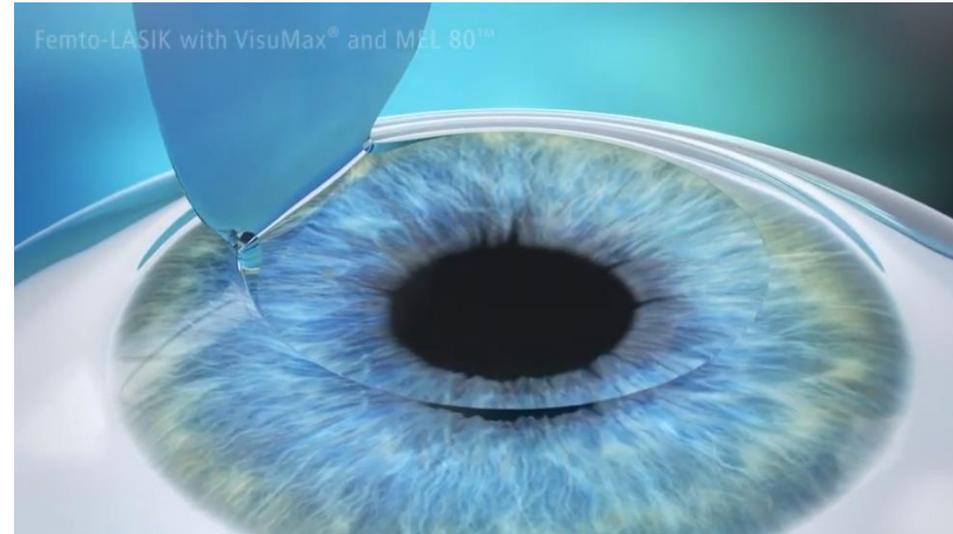
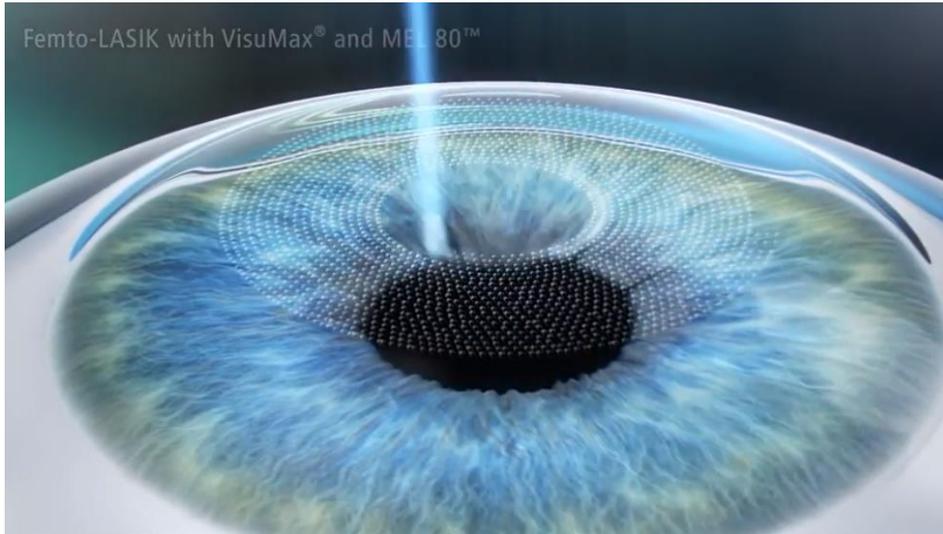
*Détatouage avec 3 longueurs d'onde (532, 755, 1064 nm).*

*Aspect cicatriciel sur le sein droit 4 ans plus tard après 12 séances. Dr JC. Larrouy - Dermatologue Nice*

# La lumière et la santé

## Chirurgie oculaire

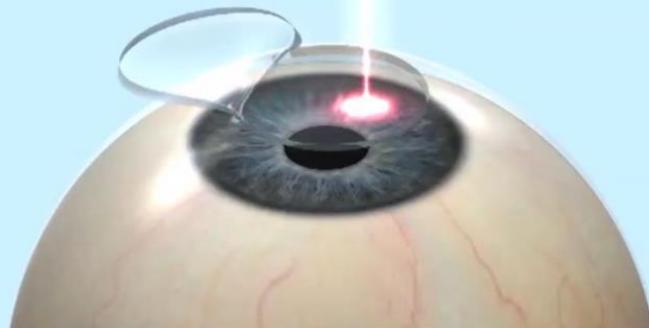
Presbytie, myopie, hypermétropie, astigmatisme, cataracte (remodelage de la cornée par laser femtoseconde)



Issue  
de l'UJM et du CHU

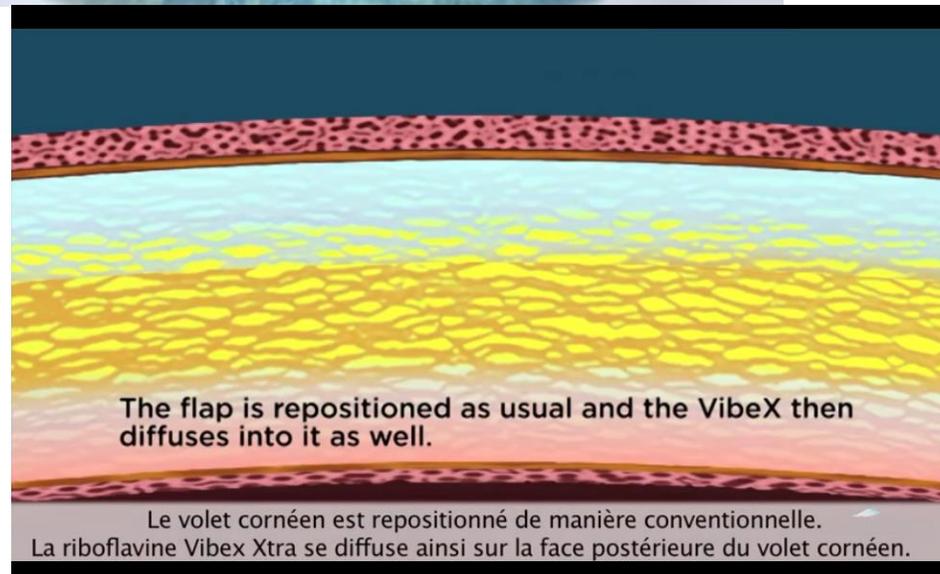
Quelques minutes  
d'intervention

A normal excimer ablation is performed.



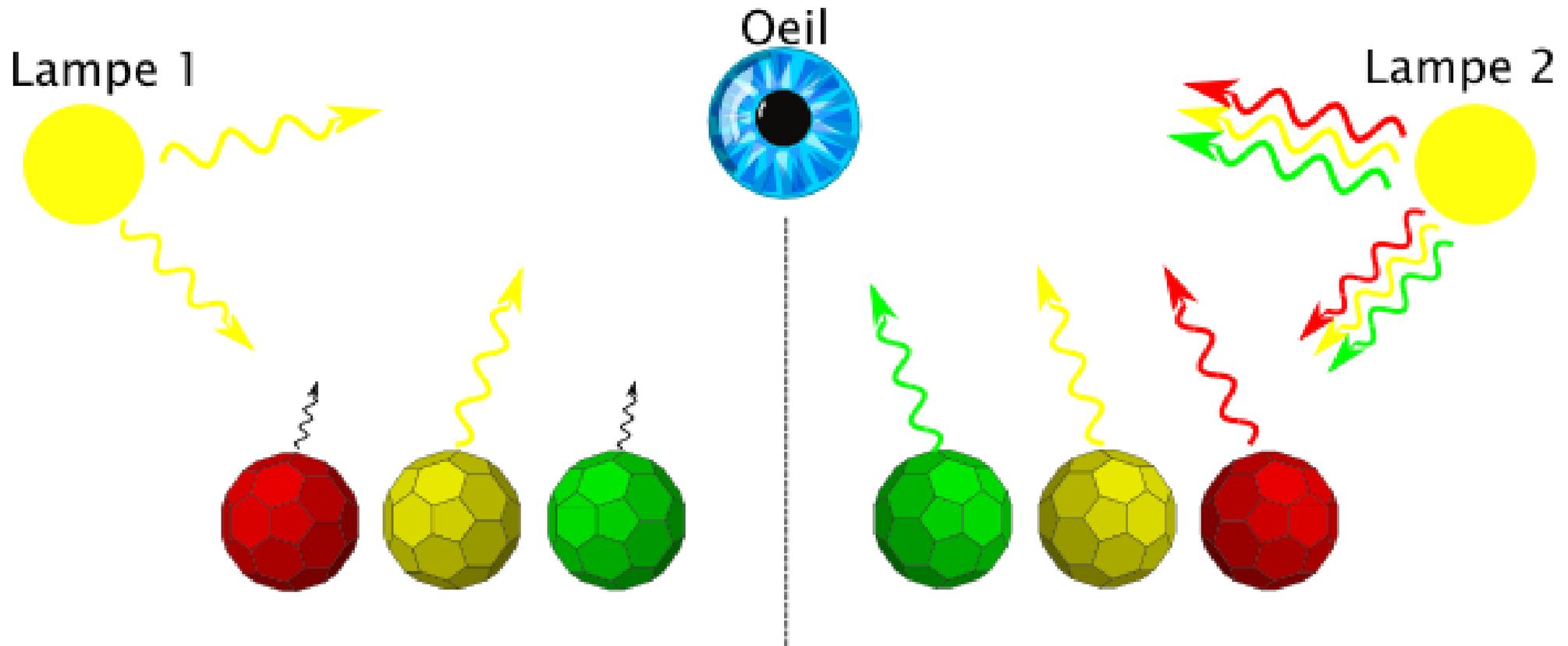
Une traitement standard est réalisé au Laser Excimer pour corriger les défauts visuels.

avedro



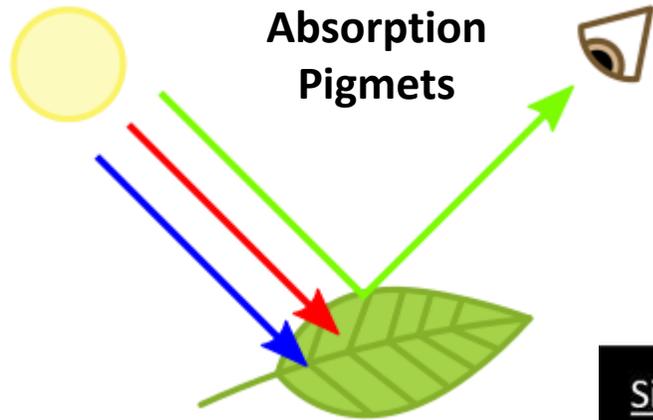
# La couleur : trois composantes

## Source de lumière – Objet – Vision



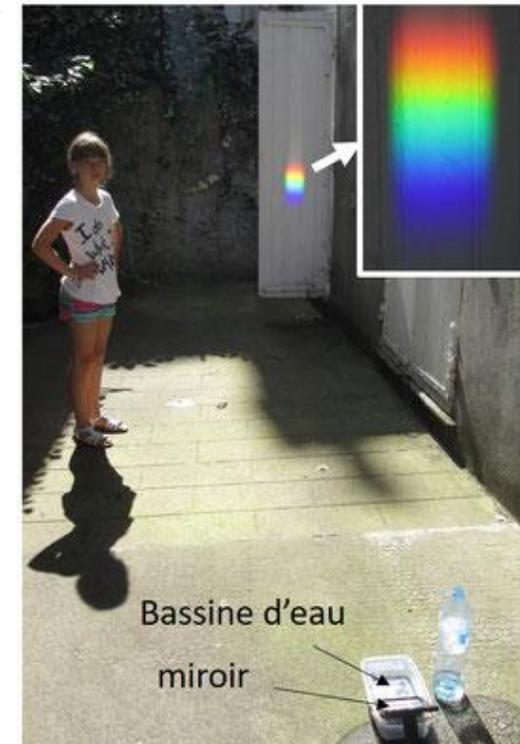
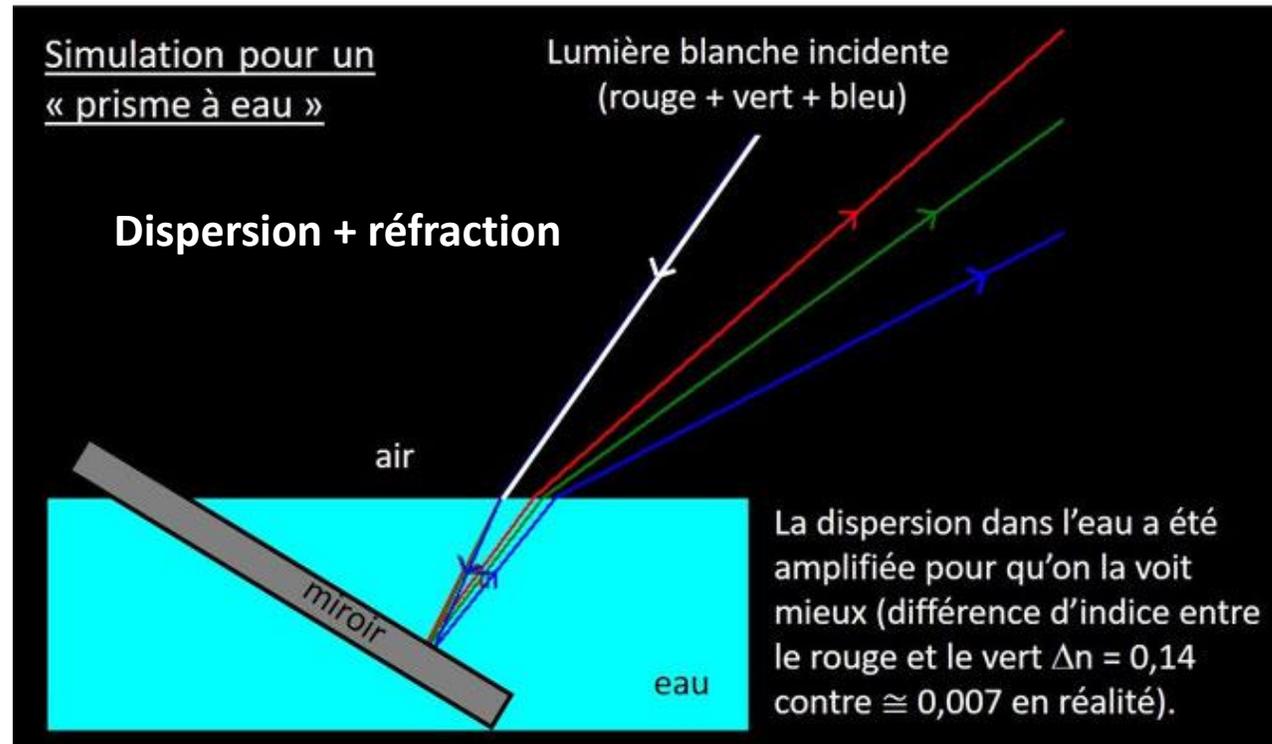
# La couleur : objet

## Absorption - Dispersion



**Dispersion** :  $n$  dépend de la longueur d'onde de la lumière

**Réfraction** : changement de direction de l'onde lumineuse à l'interface entre deux milieux d'indice de réfraction  $n$  différent

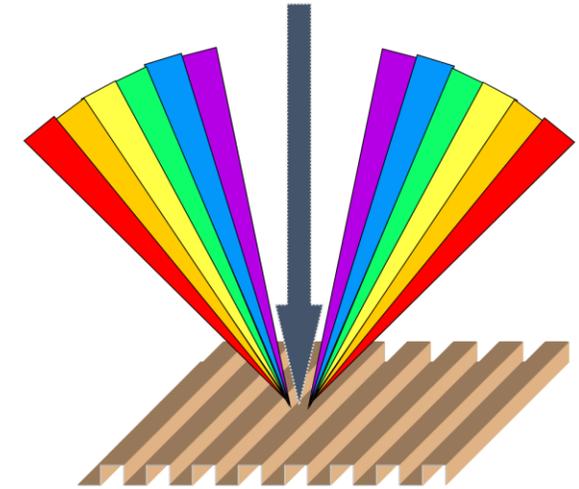


# La couleur : objet

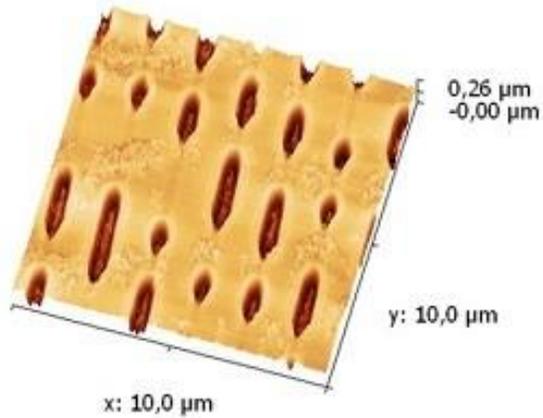
## Diffraction



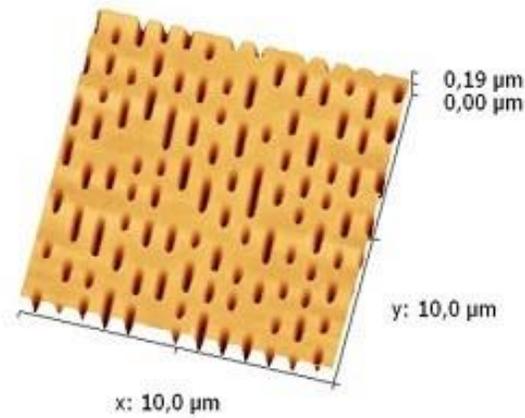
Le réseau de lignes diffracte la lumière



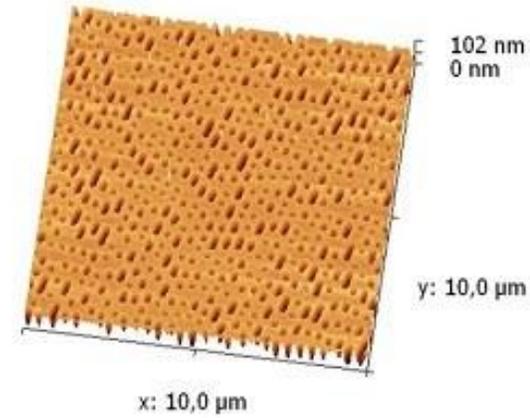
**CD**



**DVD**



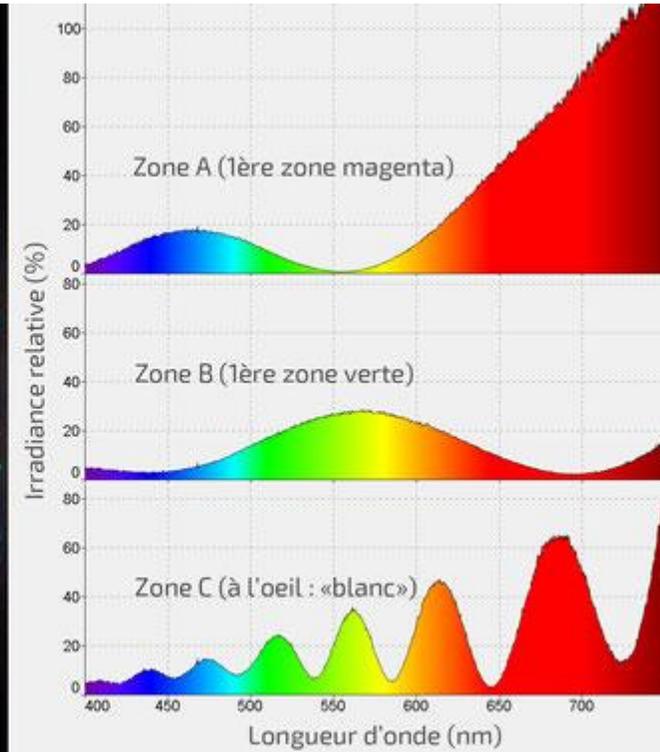
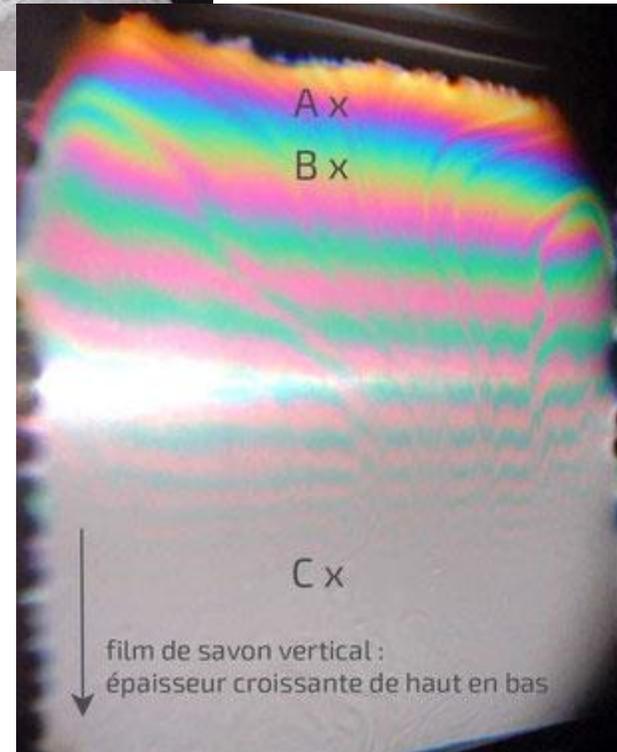
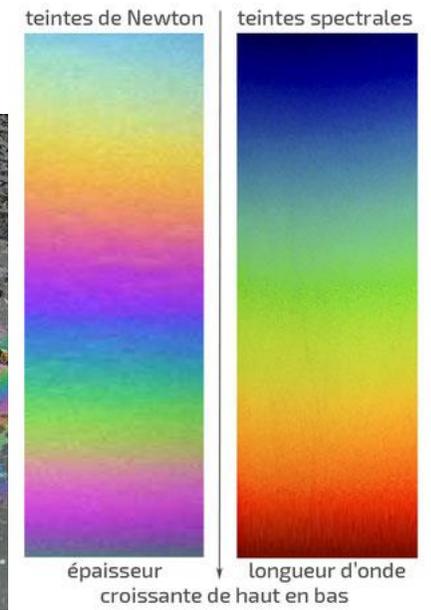
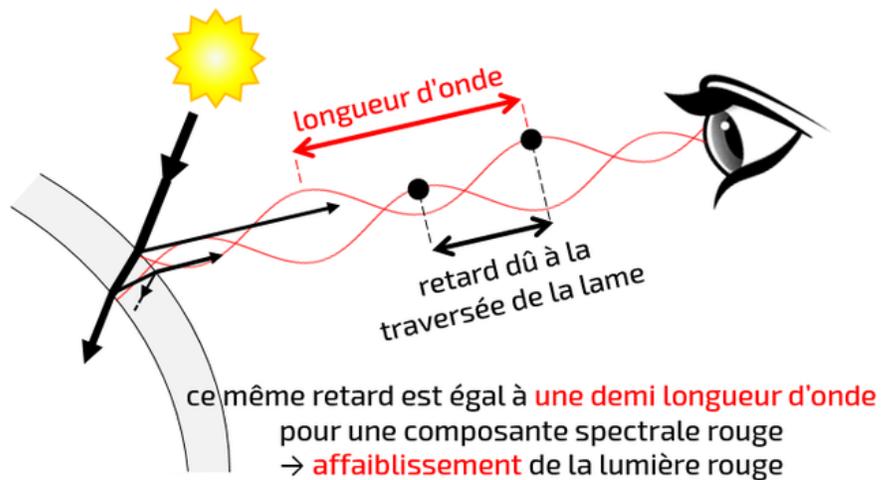
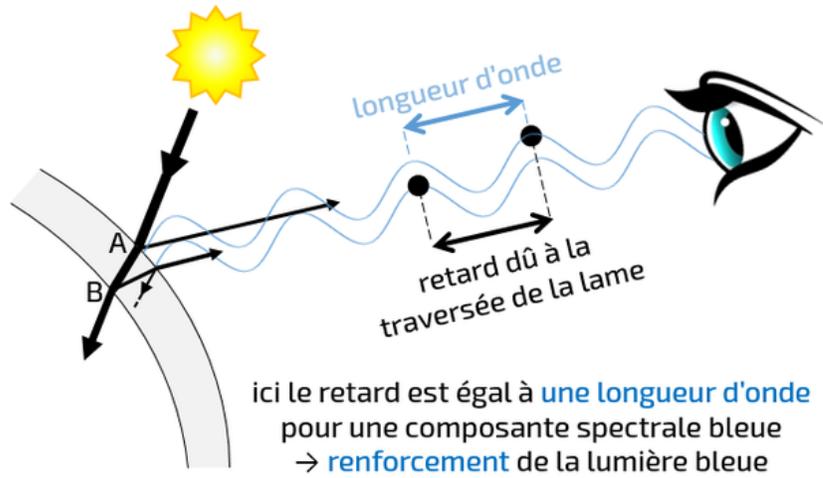
**Blu-ray**



Images de microscopie à force atomique réalisées sur la plateforme Nanomonde du CIME-Nanotech (Université Grenoble Alpes)

# La couleur : objet

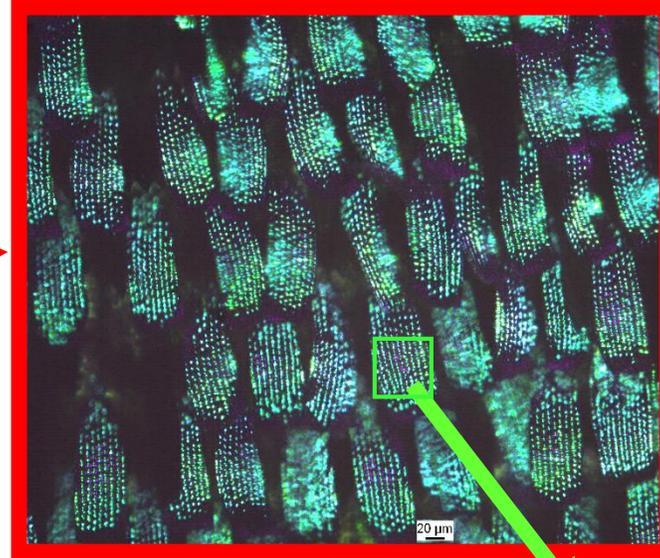
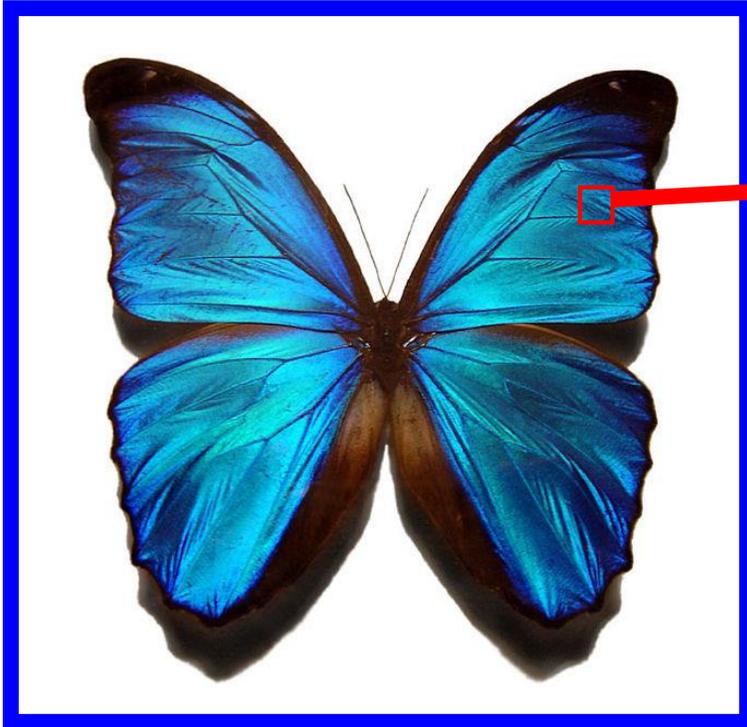
## Interférences



# La couleur : objet

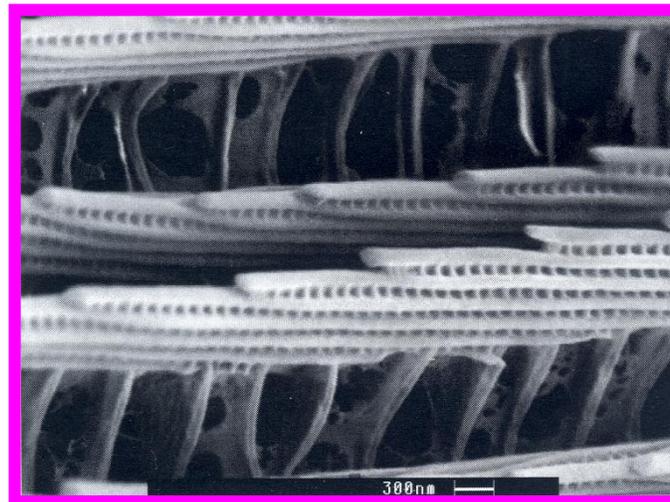
## Diffraction + Interférences

Papillon Morpho bleu

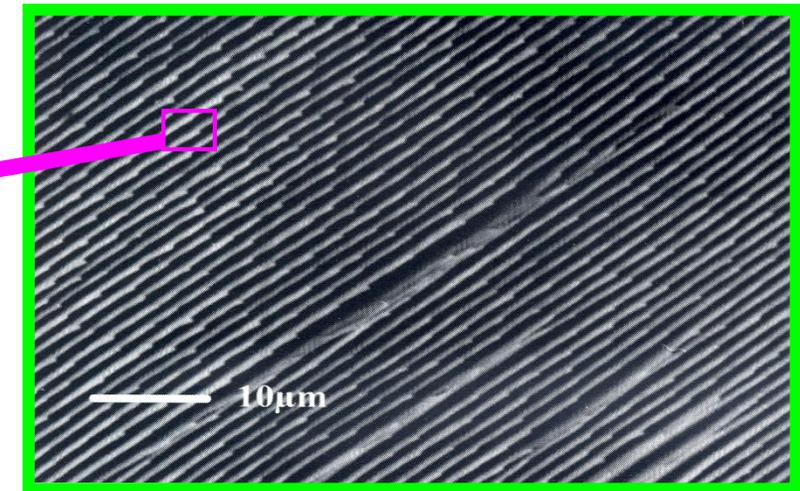


1- Les ailes de papillons sont constituées d'écaillés dont la largeur est inférieure à celle d'un cheveu

2- Chaque écaille comporte des stries qui forment un réseau. La distance entre 2 stries est de l'ordre de  $2\ \mu\text{m}$  (2 millièmes de mm)

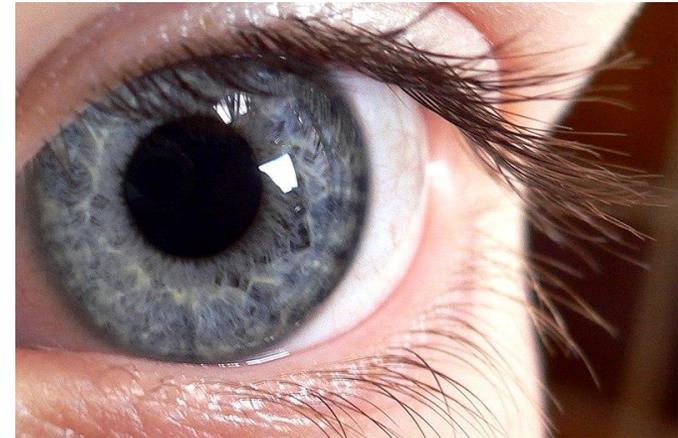


3- Chaque strie est constituée d'un ensemble de couches superposées. La distance entre 2 couches est de l'ordre de  $0.3\ \mu\text{m}$



# La couleur : objet

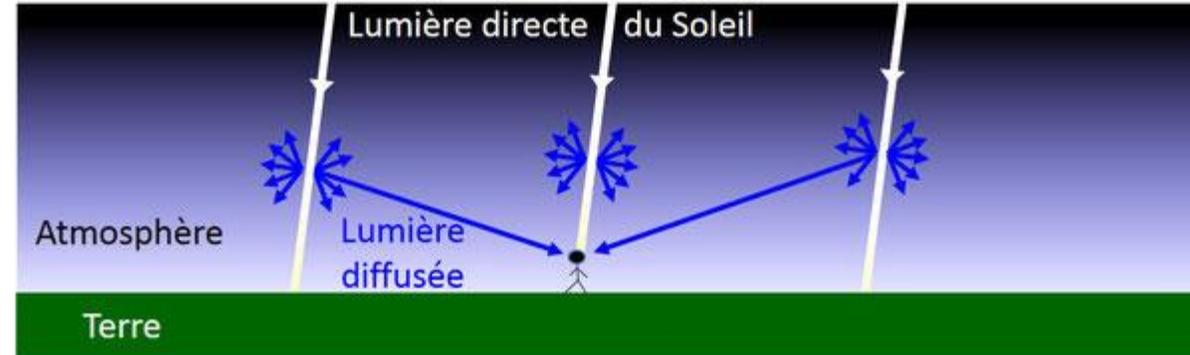
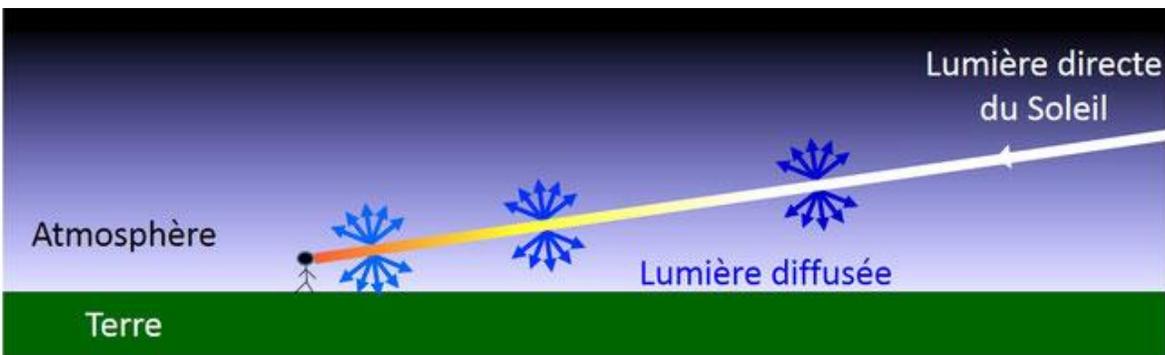
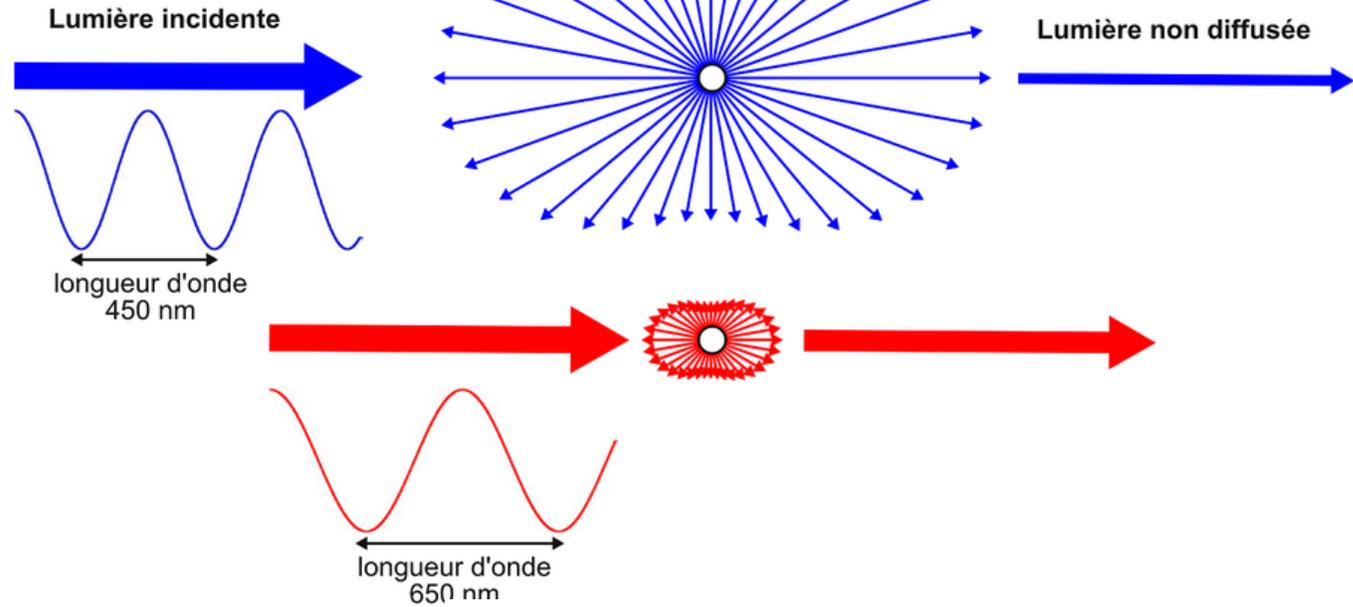
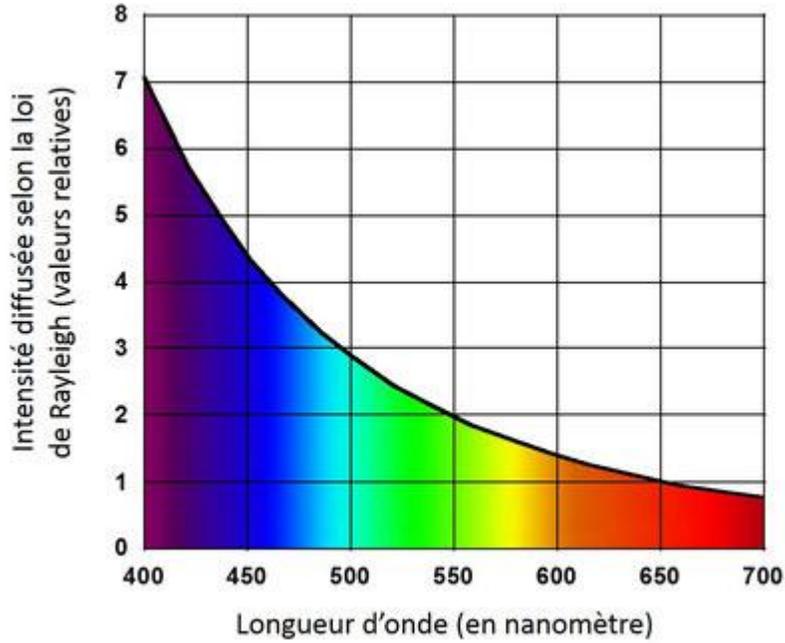
## Diffusion



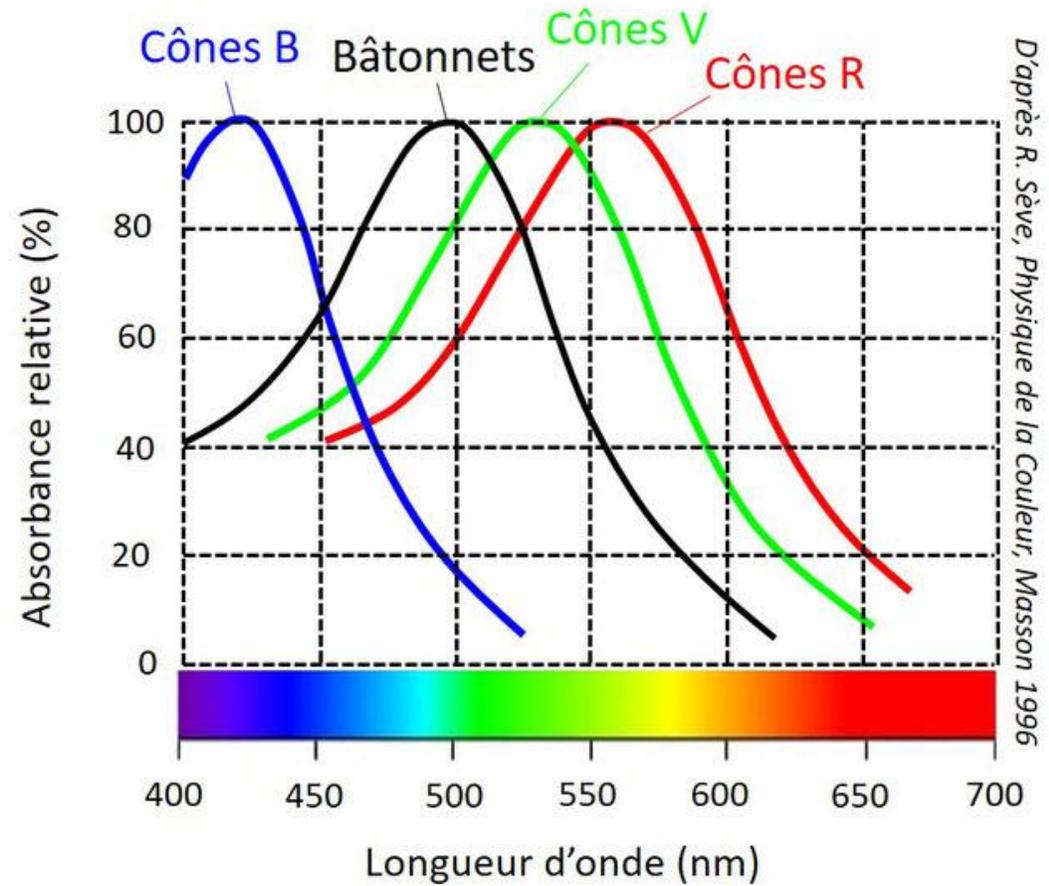
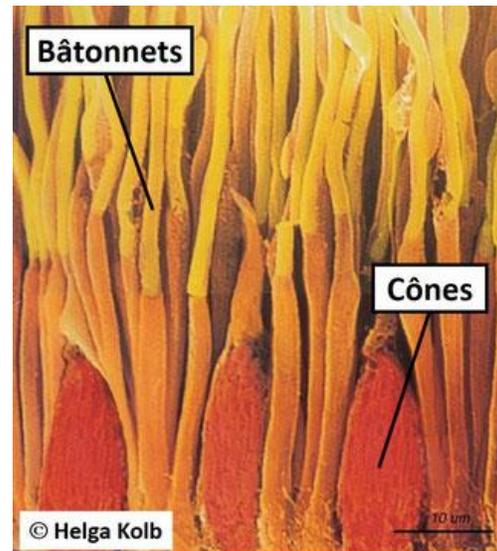
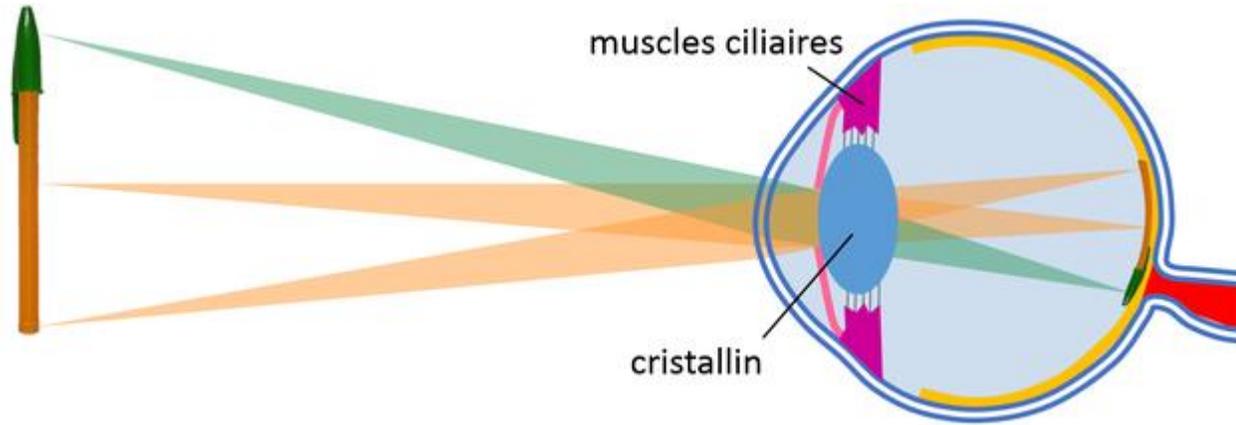
# La couleur : object

## Diffusion

Lumière diffusée par une particule selon la loi de Rayleigh  
(ici l'intensité diffusée est proportionnelle à la longueur des flèches)



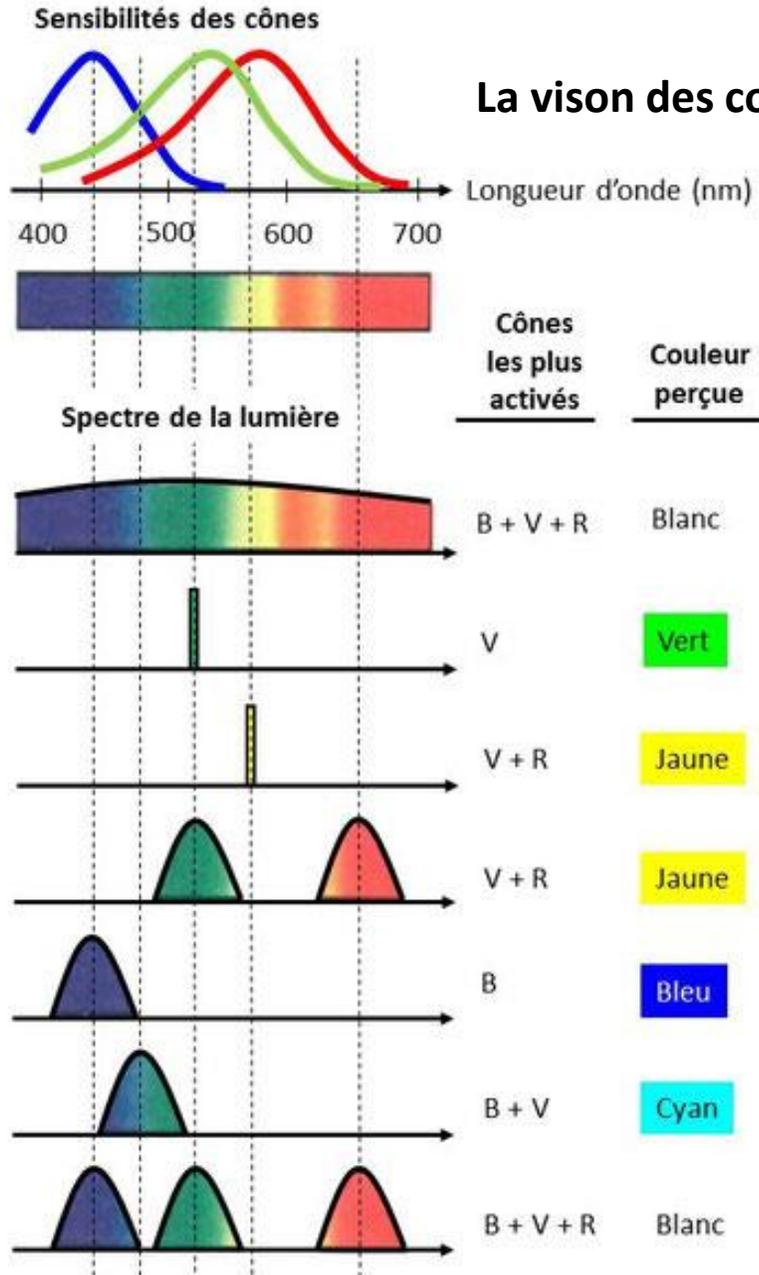
# La couleur : Vision



# La couleur : trois composantes

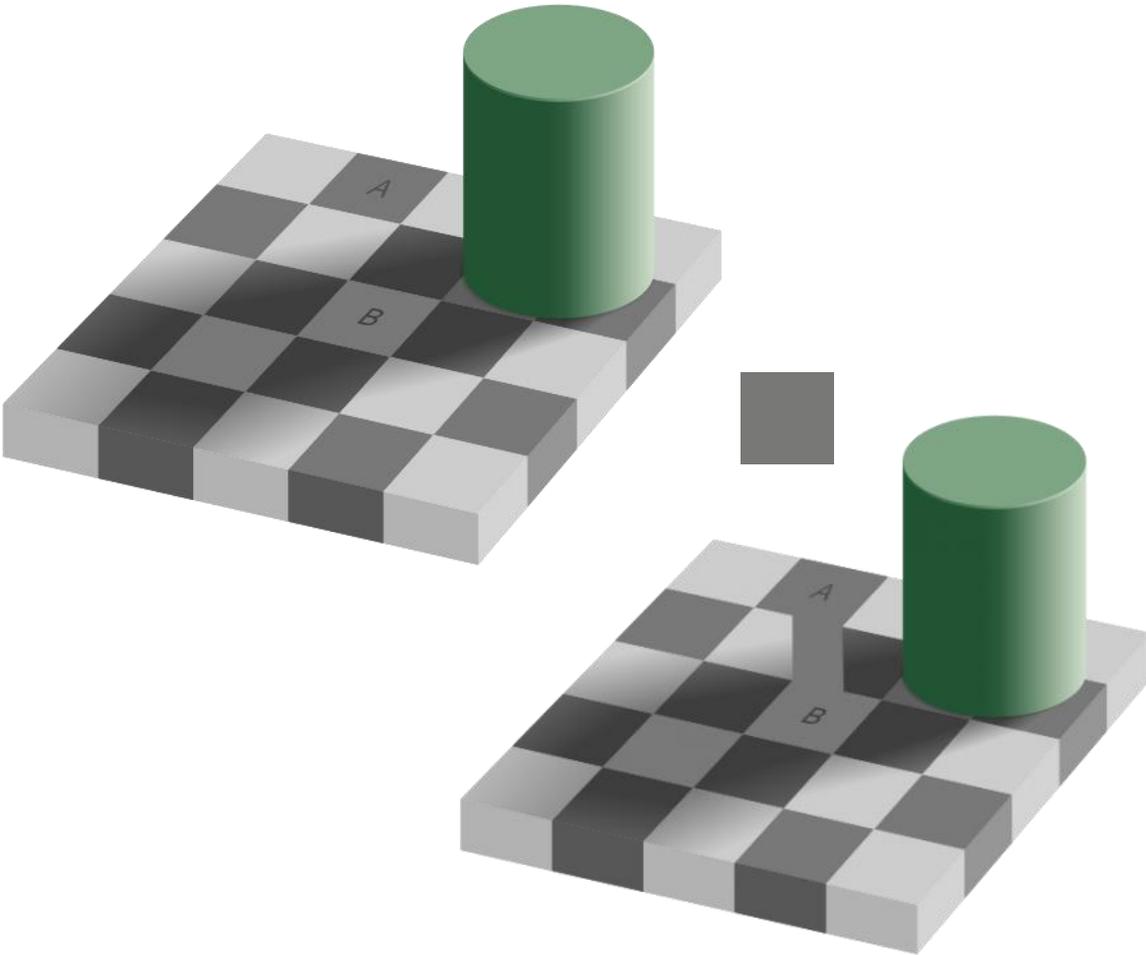
## Vision

### La vision des couleurs



# La couleur : vision

## La dimension physiologique : la constance des couleurs



L'échiquier d'Adelson



Lumière indirecte du jour



Ampoule tungstène (halogène)



LED (lampe frontale)



LED et filtre « léger » vert



LED et filtre « léger » cyan



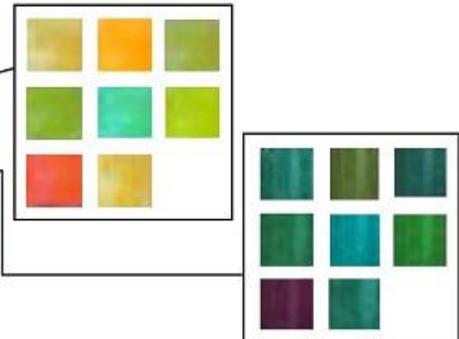
LED et filtre « léger » jaune



LED et filtre « léger » magenta



Lumière directe du soleil



# La couleur : trois composantes

## Illuminant avec des couleurs manquantes

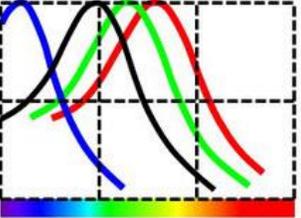
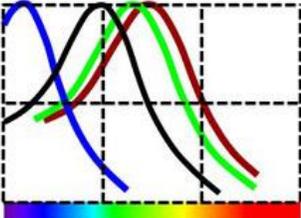
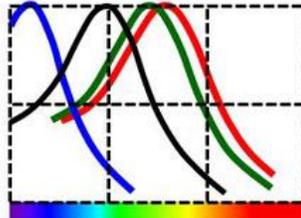
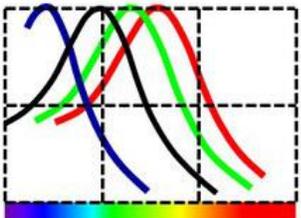
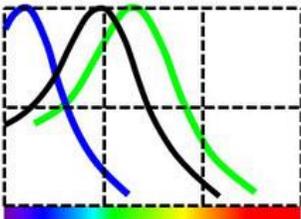
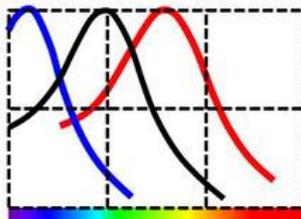
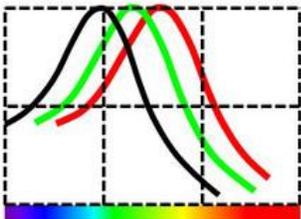
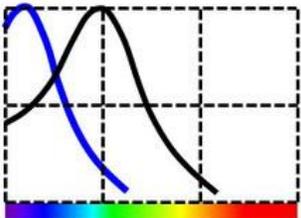
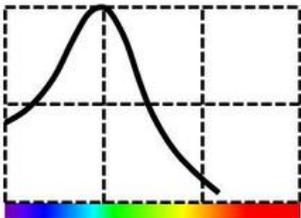
Les limites de la constance des couleurs

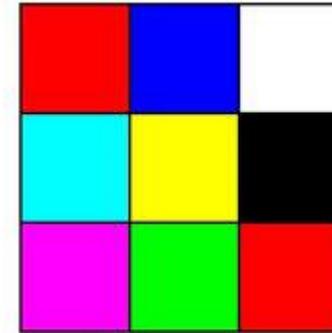


# La couleur : vision

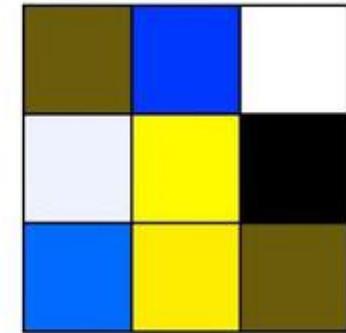
## Daltonisme

*En vous remerciant pour  
votre attention*

3 types de cônes normaux	<p>Vision normale</p> 		
1 type de cônes anormal	<p>Protanomalie (1% H)</p> 	<p>Deutéranomalie (5% H)</p> 	<p>Tritanomalie (Très rare)</p> 
1 type de cônes absent	<p>Protanopie (1% H)</p> 	<p>Deutéranopie (1% H)</p> 	<p>Tritanopie (Très rare)</p> 
2 ou 3 types de cônes absents	<p>Monochromatie au bleu (très rare)</p> 		<p>Achromatopsie (très rare)</p> 

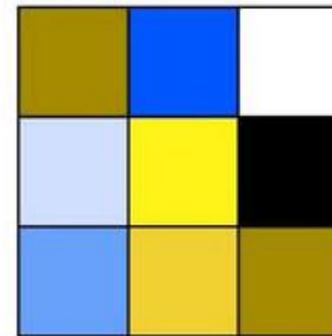


Vision « normale »

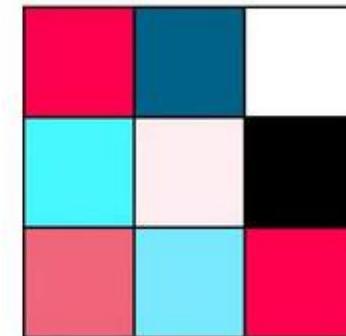


Protanopie

c Visolve (<https://www.ryobi-sol.co.jp/visolve/en/>)



Deutéranopie



Tritanopie