

# Matière, rayonnement et transformations 2

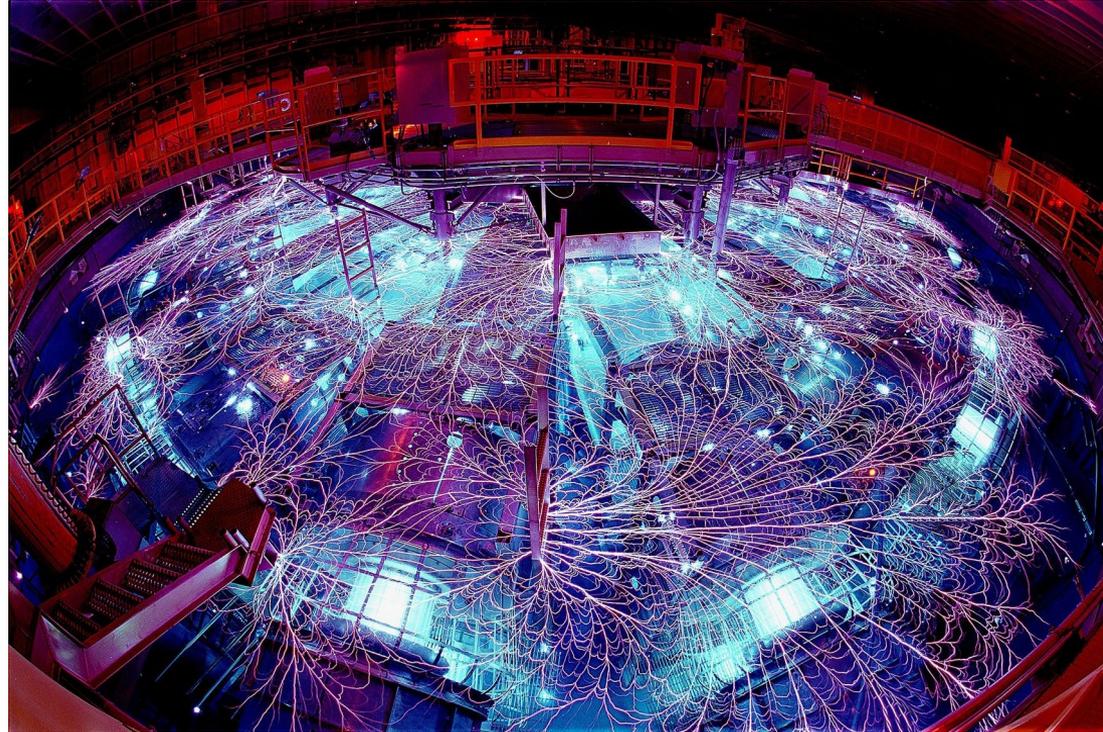
## Émission des ondes électromagnétiques

Notions utilisées :

1. Introduction
- 2-3. Structure de la matière
4. Les ondes

Pour une meilleure compréhension, certaines explications pourront être légèrement simplifiées/tronquées

Images : Wikipédia sauf mention contraire

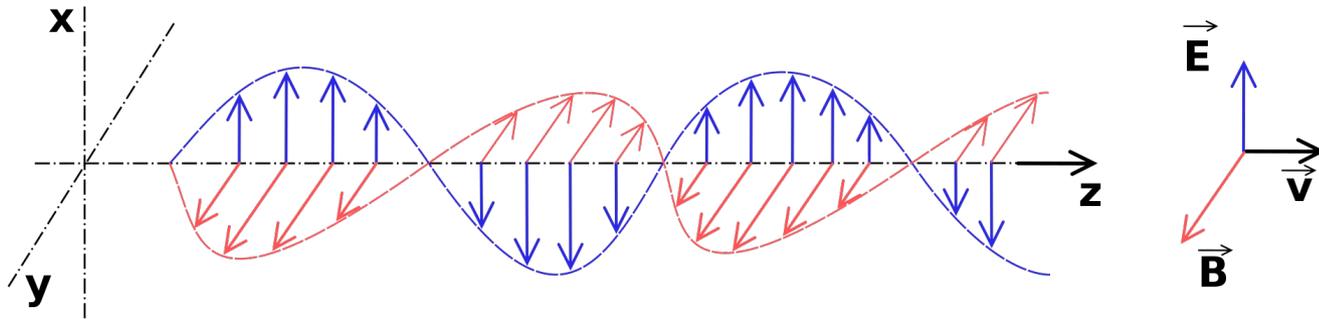


« Z machine » : le plus grand générateur d'ondes électromagnétiques à haute fréquence au monde.

Elle est conçue pour tester des matériaux dans des conditions de température et de pression extrêmes (utile pour l'étude de la fusion nucléaire contrôlée)

# Les ondes électromagnétiques

- Une OEM est composée d'un champ électrique et un champ magnétique **orthogonaux** et sinusoidaux se déplaçant à  $c$



- Autre représentation : **photon** (nature corpusculaire)

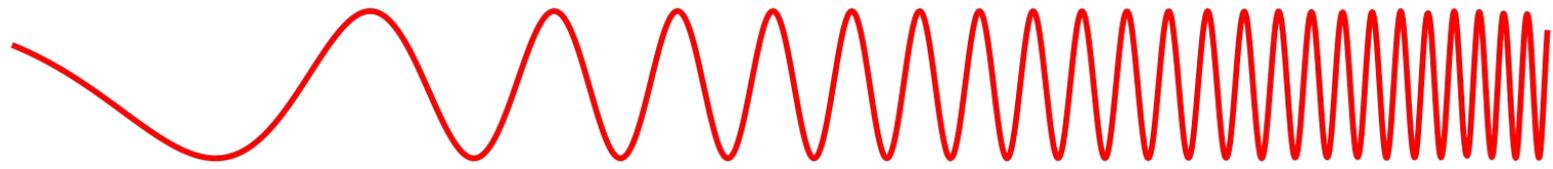
# Le spectre électromagnétique

**Longueur d'onde**  
(période spatiale) :

$$\lambda = c.T = c/f$$

Nature totalement différente des ondes :

- Sonores
- Mécaniques
- Gravitationnelles



Type de rayonnement  
Longueur d'onde (m)  
Échelle approximative

**Radio**

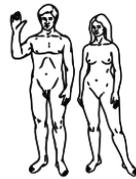
$10^3$



Gratte-ciels

**Micro-onde**

$10^{-2}$



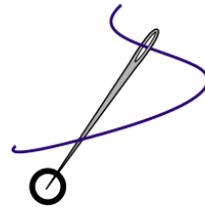
Humains

**Infrarouge**

$10^{-5}$



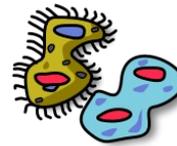
Papillons



Pointes d'aiguille

**Visible**

$0,5 \times 10^{-6}$



Protozoaires

**Ultraviolet**

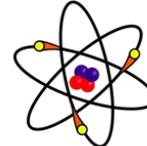
$10^{-8}$



Molécules

**Rayons X**

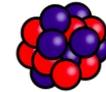
$10^{-10}$



Atomes

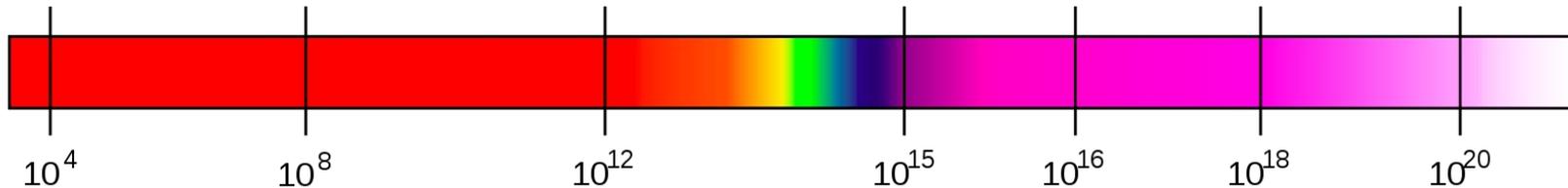
**Rayons  $\gamma$**

$10^{-12}$



Noyaux atomiques

Fréquence (Hz)



# Émission des OEM

- **Ondes radio et micro-ondes**

- l'émission s'effectue en faisant circuler un **courant électrique** variable dans un conducteur → émission **anisotrope** (« **diagramme de rayonnement** »)
- Votre téléphone émet des photons !

- **Ondes lumineuses**

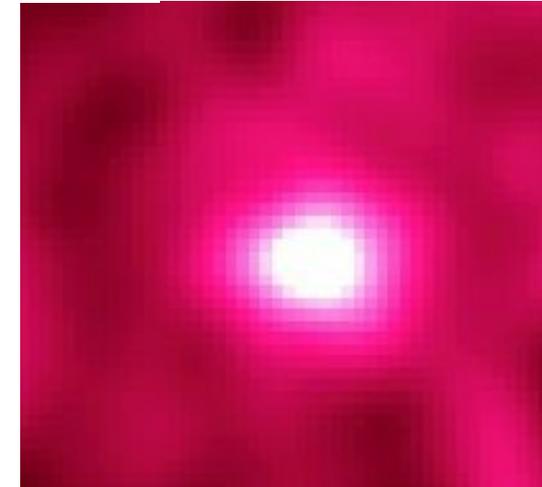
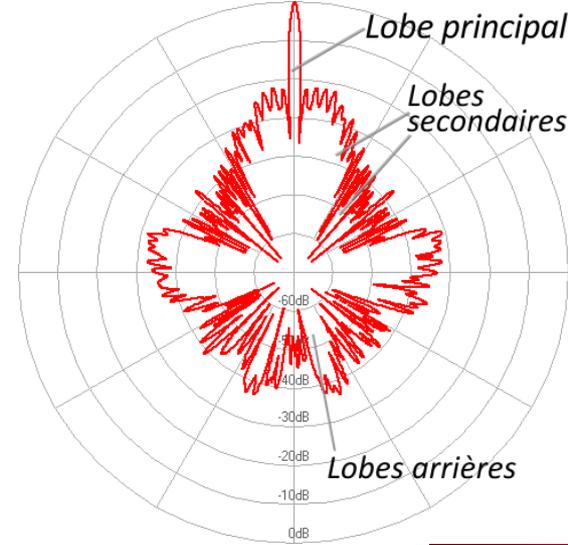
- **Incandescence** (si  $T > 0$  K)
- **Luminescence** (processus électroniques)

- **Rayons X**

- Émission **naturelle** (processus électroniques) ou par **accélération** de particules chargées (synchrotron, chocs)

- **Rayons  $\gamma$**

- Émission par des processus **nucléaires** ou **astrophysiques**

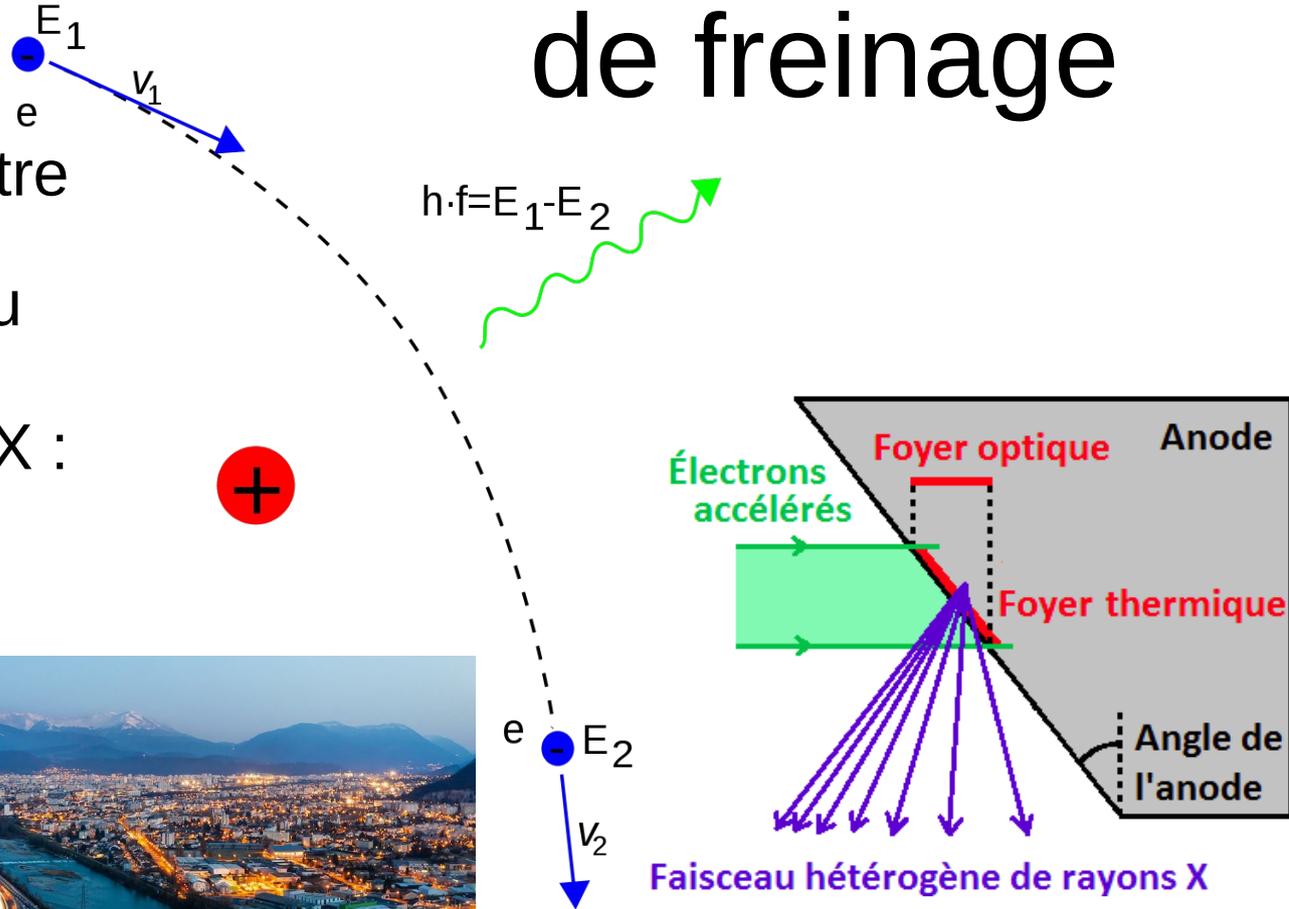


La Lune vue par le télescope EGRET (Energetic Gamma Ray Experiment Telescope) : rayons gamma de plus de 20 MeV produits par le bombardement de sa surface par les rayons cosmiques

# Le rayonnement de freinage

Ou « **Bremsstrahlung** »

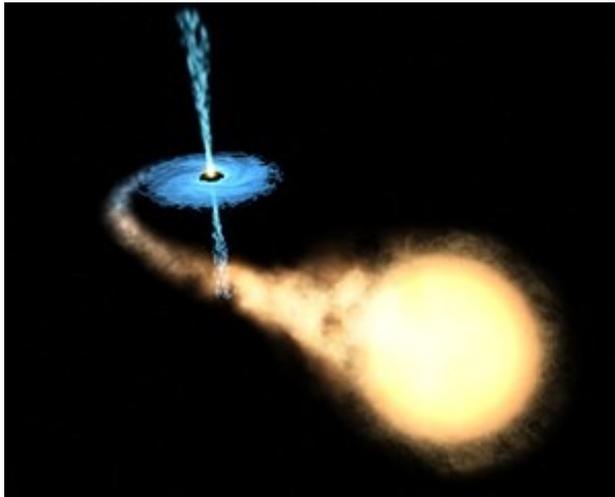
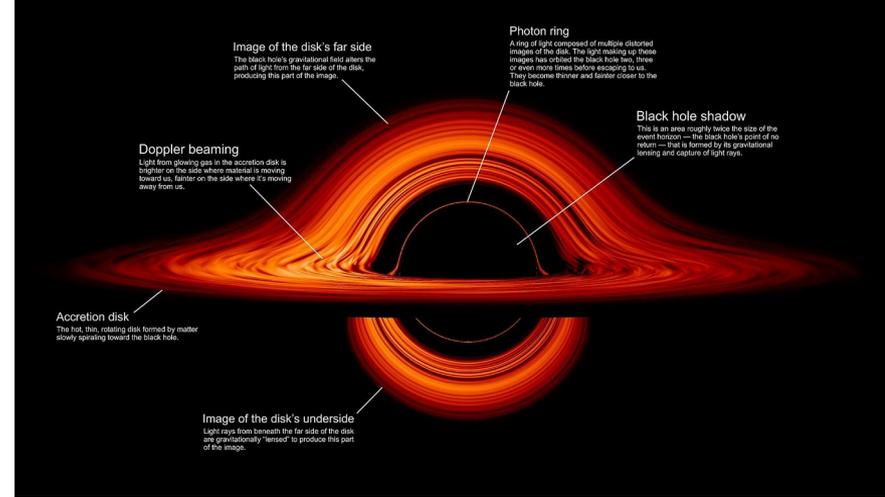
- = rayonnement électromagnétique à large spectre émis par des **charges électriques ralenties** (ou **accélérées**)
- → production de rayons X :
  - Synchrotrons
  - Radiographie



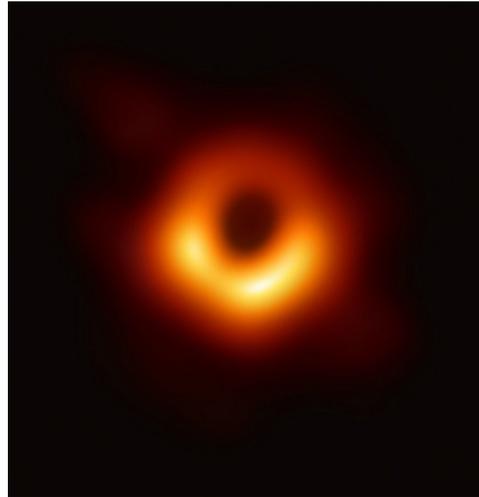
ESRF de Grenoble (European Synchrotron Radiation Facility)

# Accrétion

- **Accrétion** = constitution/accroissement d'un corps par agglomération/absorption de matière extérieure
  - La **force centripète** transforme le nuage en disque
  - Les **forces de marées** synchronisent la rotation du disque avec celle de l'objet central
- Friction entre particules → augmentation de température → émission d'OEM (jeunes étoiles : IR, étoiles à neutrons et trous noirs : X)



Vue d'artiste : dans un système binaire, un trou noir aspire la matière d'une étoile sur la séquence principale

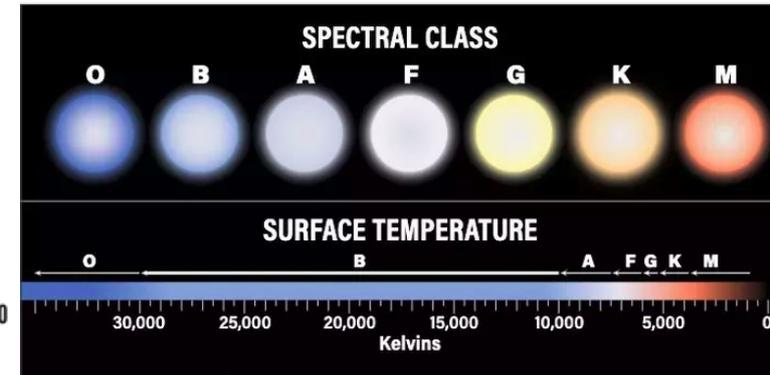
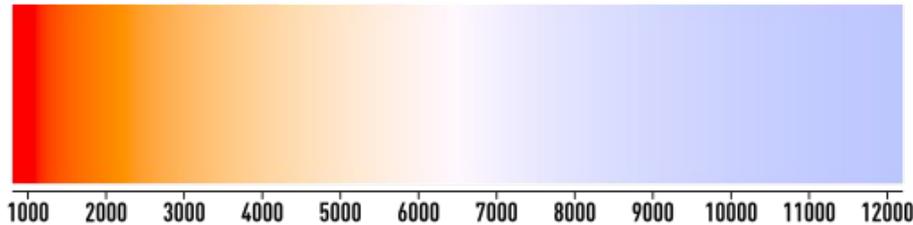
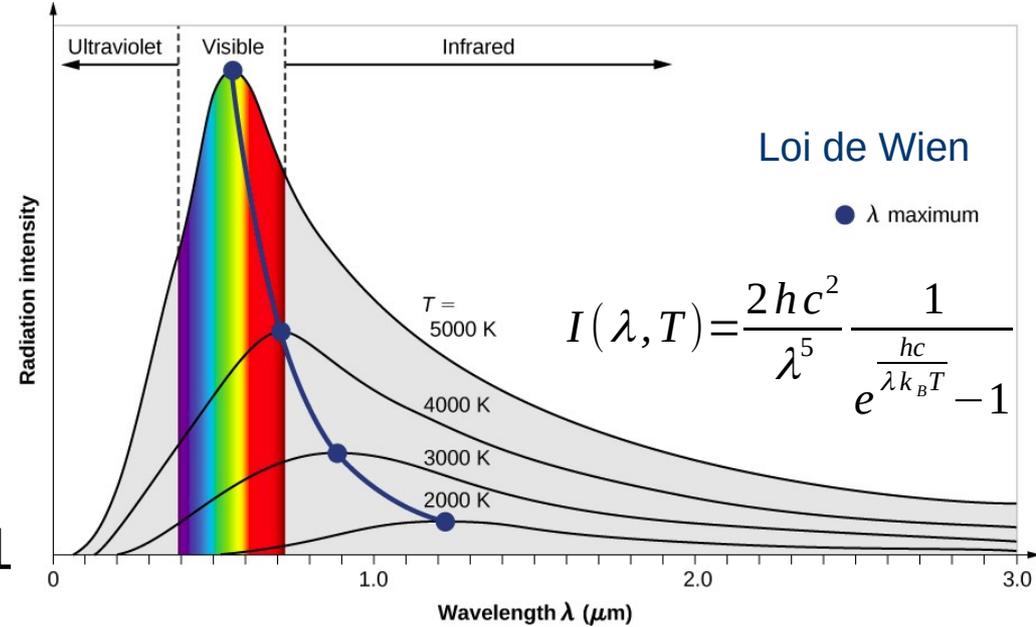


Disque d'accrétion du trou noir M87\* : première image d'un trou noir supermassif (Event Horizon Telescope), 2019

- **Quasars** (quasi-stellar radiosources) : objets **les plus lumineux** connus = disque d'accrétion de trous noirs supermassifs
- Masse :  $10^6 - 10^{10} M_{\odot}$
- **Luminosité** > 1000 fois celle de la Voie Lactée

# Le corps noir

- Objet (idéal) qui absorbe **tout rayonnement électromagnétique reçu**
  - agitation thermique
  - émission d'un rayonnement électromagnétique « du corps noir »
- Calcul effectué par M. Planck en 1901
- Pic pour le corps humain : 10  $\mu\text{m}$  (IR)



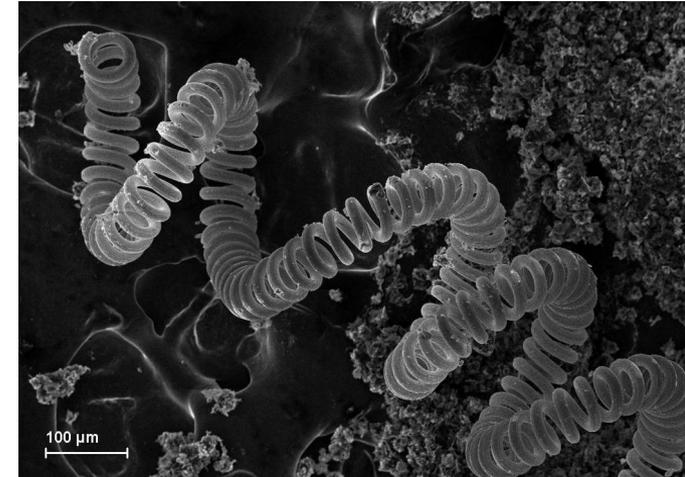
Couleur d'un corps noir en fonction de la température (décrit approx. la couleur perçue des étoiles)

# Émission de lumière incandescence

- Émission de lumière par un corps chauffé
  - $T > 500 \text{ K} \Rightarrow$  émission visible
- Lumière « chaude »
- **Spectre continu**
- Exemple : lampe à incandescence (lumière produite par effet Joule dans un filament de tungstène, métal qui a le plus haut point de fusion ( $> 3400 \text{ °C}$ ))
- Émission également d'IR et d'UV

Temperature (°C)

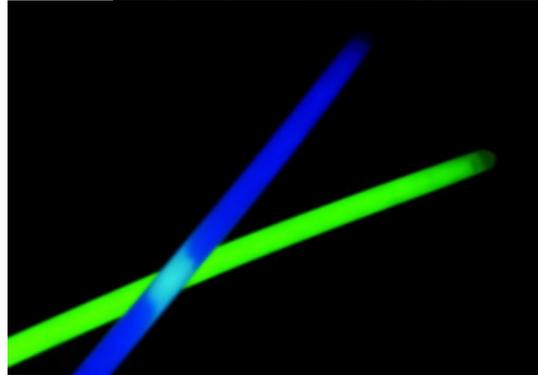
550
630
680
740
770
800
850
900
950
1000
1100
1200
1300



# Émission de lumière

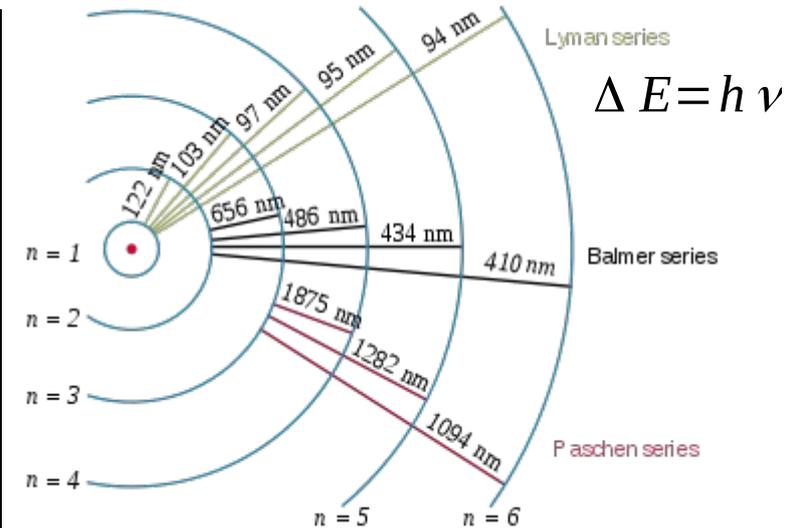
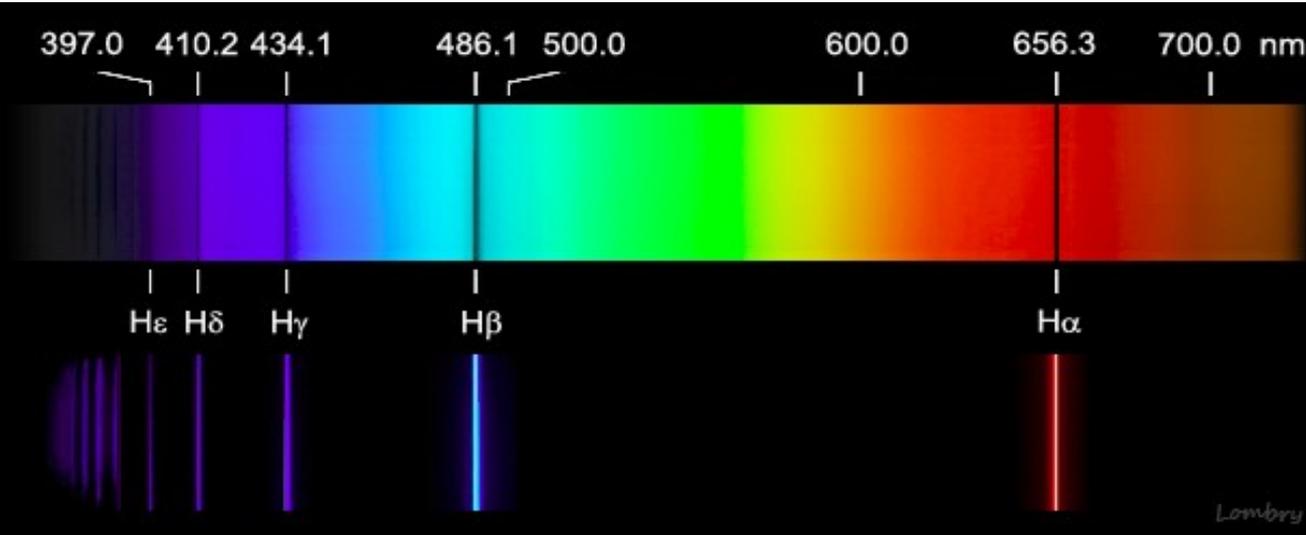
## luminescence

- **Luminophore** : substance qui émet de la lumière lorsqu'elle est excitée
- Résulte notamment de **transitions électroniques** dans des atomes, des molécules ou des cristaux
- Lumière dite « **froide** »
- L'énergie initiale peut être reçue sous **plusieurs formes** : électrique, (bio)chimique, électronique, ultrasonique, mécanique ou lumineuse
- Spectre **discontinu (raies)**
- Inclut **fluorescence** et **phosphorescence**



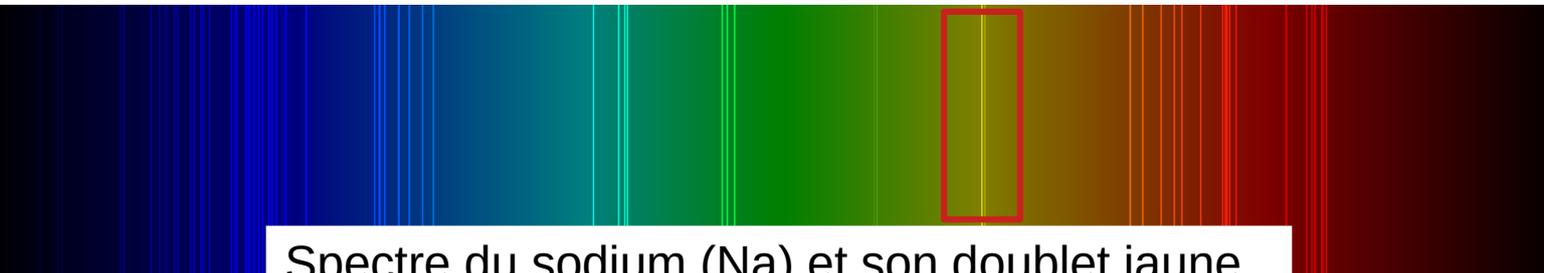
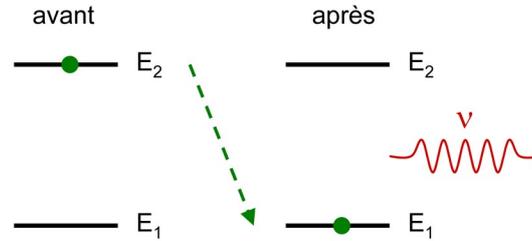
# Les raies atomiques

- Rappel : dans un atome, les électrons se placent sur des **couches d'énergie quantifiée**
- Exemple : raies de l'hydrogène
  - **mesurées** par Angström en 1862, formule **empirique** : Balmer (1885), solution **analytique** obtenue par l'**équation de Schrödinger**
- → **Spectres d'émission et d'absorption**



# Lampe à décharge

- **Ionisation** du gaz sous l'effet d'un champ électrique  
→  $\text{ion}(+) + e^-$
- Électrons attirés vers **cathode** (+) ; ions, vers **l'anode** (-)
- → courant électrique et donc collisions
- → **Excitations des électrons**  
restant autour des ions
- → **désexcitation** par émission de **photons** tels que  $h \nu = E_2 - E_1$
- = **spectre d'émission propre à chaque élément**

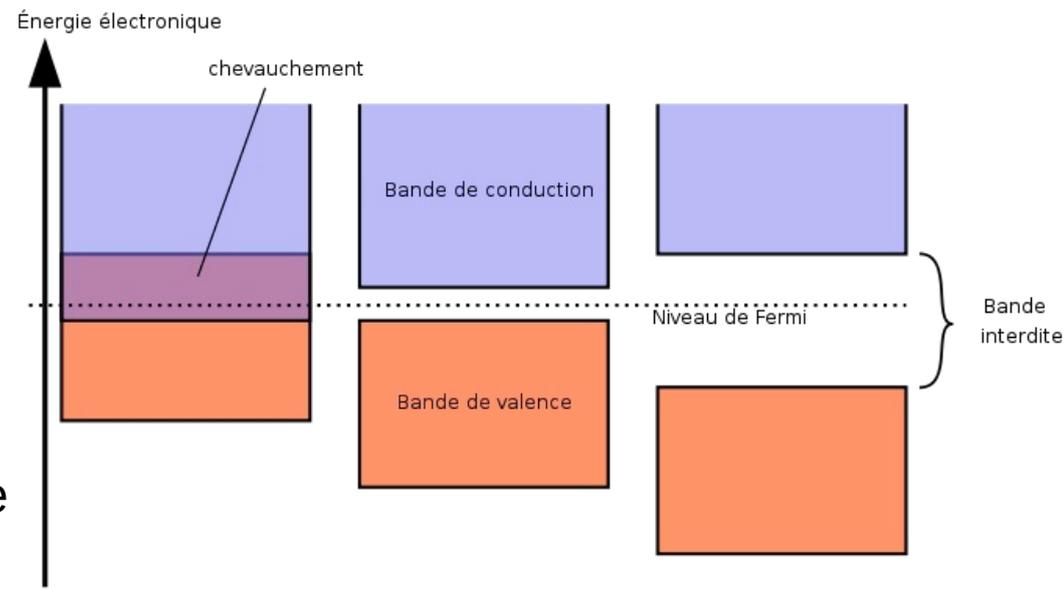


Spectre du sodium (Na) et son doublet jaune

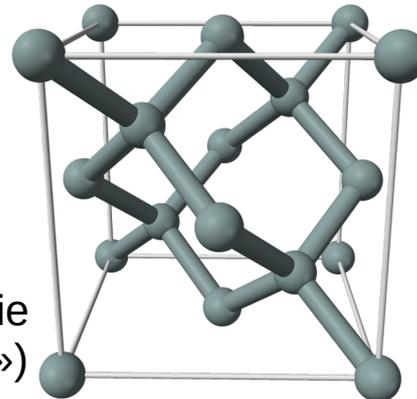
Lampes à sodium  
utilisées pour l'entretien  
du gazon du Roazhon  
Park à Rennes

# (Semi-)conducteurs et isolants

- Un matériau **conducteur** permet le **passage d'un courant électrique**, contrairement à un matériau « **isolant** »
- Un matériau **semi-conducteur** est « presque isolant/conducteur »
- **Théorie des bandes** : dans un solide, un électron ne peut prendre que des valeurs d'énergie appartenant à **certains intervalles** (= « **bandes** », **quantifiées**)
  - bandes « **permises** » séparées par des bandes « **interdites** »
  - Deux bandes permises particulières : la dernière bande complètement remplie (« **bande de valence** ») et la bande d'énergie permise suivante (« **bande de conduction** »)

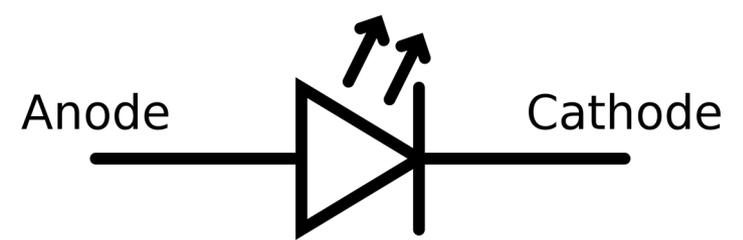


Structure diamant pour Si & Ge



III B 13	IV B 14	V B 15	VI B 16	VII B 17	VIII A 18
Bore <b>5</b> <b>B</b> 10,8135	Carbone <b>6</b> <b>C</b> 12,0106	Azote <b>7</b> <b>N</b> 14,006855	Oxygène <b>8</b> <b>O</b> 15,99940	Fluor <b>9</b> <b>F</b> 18,99840316	Hélium <b>2</b> <b>He</b> 4,002602
Aluminium <b>13</b> <b>Al</b> 26,9815385	Silicium <b>14</b> <b>Si</b> 28,085 (1)	Phosphore <b>15</b> <b>P</b> 30,97376200	Soufre <b>16</b> <b>S</b> 32,0675	Chlore <b>17</b> <b>Cl</b> 35,4515	Néon <b>10</b> <b>Ne</b> 20,1797 (6)
Gallium <b>31</b> <b>Ga</b> 69,723 (1)	Germanium <b>32</b> <b>Ge</b> 72,630 (8)	Arsenic <b>33</b> <b>As</b> 74,921595	Sélénium <b>34</b> <b>Se</b> 78,971 (8)	Brome <b>35</b> <b>Br</b> 79,904	Argon <b>18</b> <b>Ar</b> 39,948 (1)
					Krypton <b>36</b> <b>Kr</b> 83,798 (2)

# Les LED



- Pour « **diode électroluminescente** »
- Une diode ne laisse passer le courant électrique que dans **un seul sens** (**dipôle non-linéaire polarisé**)
- = **dispositif opto-électronique** émettant de la **lumière** lorsqu'il est parcouru par un **courant électrique**



Gros-plan d'une diode électroluminescente rouge-vert-bleu à 4 pôles

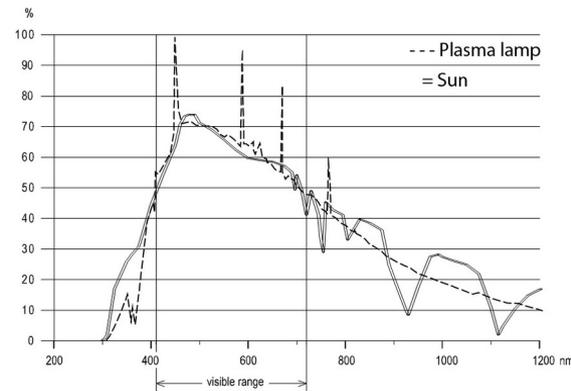
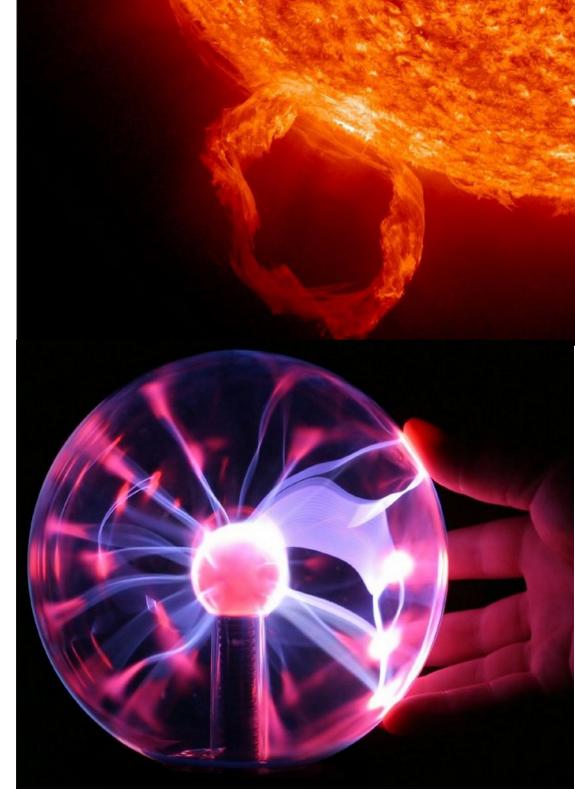
# L'effet Tcherenkov

- Se produit lorsqu'une particule **chargée** se déplace dans un milieu diélectrique avec une vitesse **supérieure à la vitesse de la lumière dans ce milieu** (rappel :  $v$  toujours  $< c$ )
  - Verre :  $n \approx 1,50$  donc  $v = c/n = 200\ 000$  km/s
  - **Spectre continu**
- Produit un **flash de lumière** (par exemple : luminosité bleutée de l'eau entourant le cœur d'un réacteur nucléaire)
- Phénomène similaire à une **onde de choc**
  - Ex : vol supersonique ou explosion
- Les **phosphènes** (~ perception de lumière les yeux fermés) des astronautes sont dus à cet effet lorsque des particules du **vent solaire** traversent le liquide de leurs globes oculaires

# Le plasma

- Représente **plus de 99 % de la matière ordinaire** dans l'Univers
- Plasma d'**électrons** et d'**ions** : si on chauffe suffisamment un gaz, les **électrons des couches extérieures** peuvent être arrachés lors des collisions entre particules
  - Plasma **globalement neutre** mais présence de **particules chargées** → gaz ionisé conducteur
- Plasmas familiers :
  - Soleil, aurores polaires (plasma à basse  $T_p$  car provenant de l'extérieur), flammes, foudre, étoiles filantes, lampes et écrans
- « Lampe à plasma » : fort champ électrique à haute fréquence (10-50 kHz) entre électrode centrale et paroi → apparition et accélération des  $e^-$  libres → ionisation des atomes → « **avalanche électronique** » → plasma
- Émissions : recombinaisons, raies atomiques

nasa.gov/image-article/ring-of-fire/



# Le LASER

« Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation »

- **Émission stimulée :**

- On **excite** un atome : un de ses électrons passe à une couche d'énergie supérieure (« **pompage** », PN 1966) → inversion de population (majorité d'atomes excités)
- On le **désexcite** en envoyant un photon de longueur d'onde (donc fréquence) spécifique  $h \nu = E_2 - E_1$
- En se désexcitant, l'atome émet un 2<sup>ème</sup> photon **identique** = **de même longueur d'onde**

- On place le système **entre 2 miroirs** afin d'amplifier le nombre de photons → **faisceau monochromatique cohérent**

- Plusieurs « classes » : 1 à 4

