



Physique pour Tous !

Site web : <http://physiquepourtous.unistra.fr>
Mail: physiquepourout@unistra.fr

Utiliser votre portable !



1. Faire des calculs compliqués



Vous avez tous une calculatrice sur votre téléphone portable.

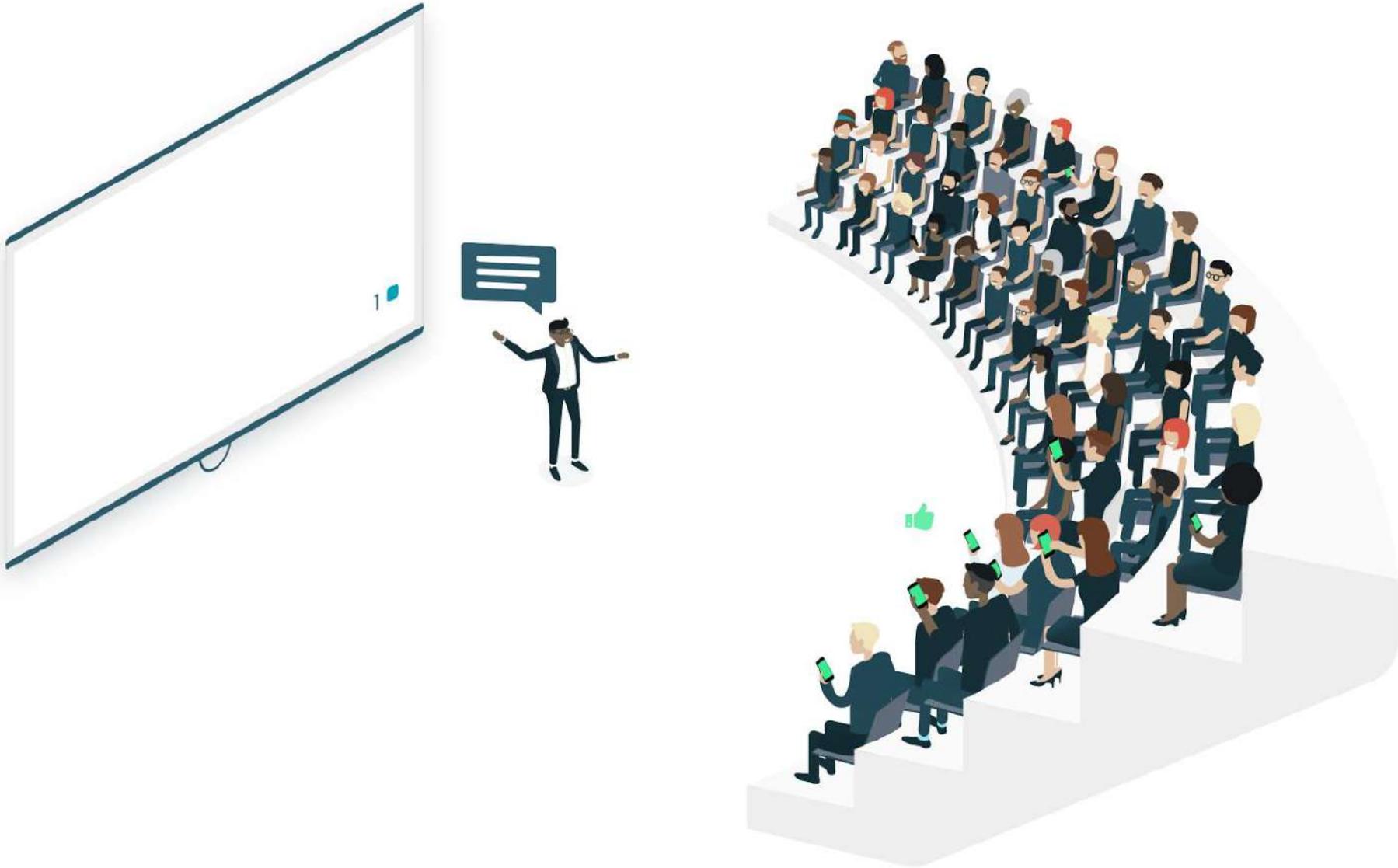
Elle sera utile de temps en temps tout le long de l'année.

2. Chronométrer



Utile pour certaines expériences !!!

3. Participer aux sondages



3. Participer aux sondages

Cette fois, il n'y aura qu'un sondage, ouvert jusqu'à la fin

Allez sur www.menti.com et utilisez le code **81 84 92**

Un espace pour exprimer vos idées,
commentaires, souhaits...

 Mentimeter



Hide image

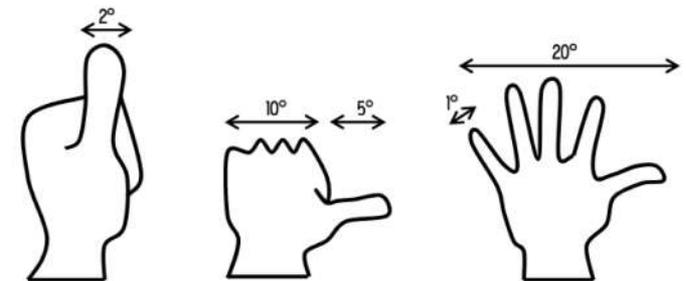
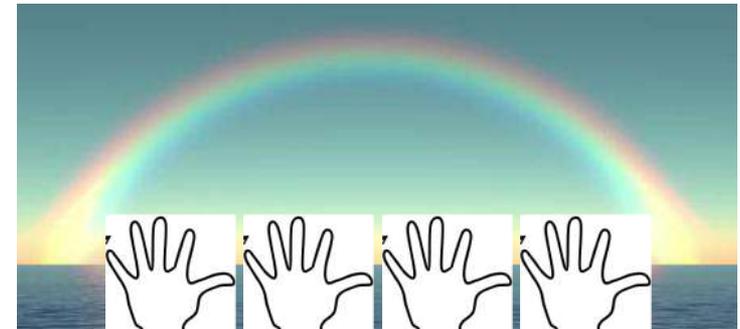
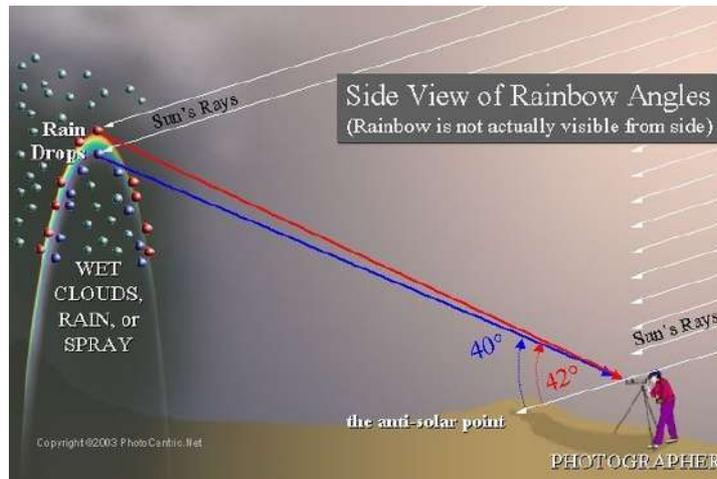
<https://www.mentimeter.com/s/811879289d8f8a009ce4d029ecbfce5/c953cfd9afe1>

 0

© Eric Conte (1^{er} cour)

Résumé du cours précédent

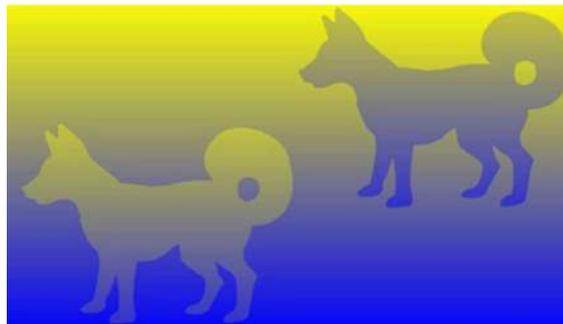
- Couleur et arc en ciel
 - Les couleurs sont des interprétations subjectives de la longueur d'onde de la lumière. Elles sont liées à nos détecteurs (les yeux) et notre cerveau.
 - Comment et où se forme l'arc en ciel ?



Bonus: mesurer les angles avec ses mains, bras tendu

Résumé du cours précédent

- Vision directionnelle. L'œil perçoit l'angle d'arrivée de la lumière et sa couleur à l'instant où elle arrive... Cela ne présage pas de l'histoire de la lumière depuis son point d'émission.
- Notre vision est influencée par
 - La lumière ambiante
 - La réaction des objets à cette lumière
 - L'anatomie de l'œil
 - L'analyse contextuelle des stimuli optiques par notre cerveau



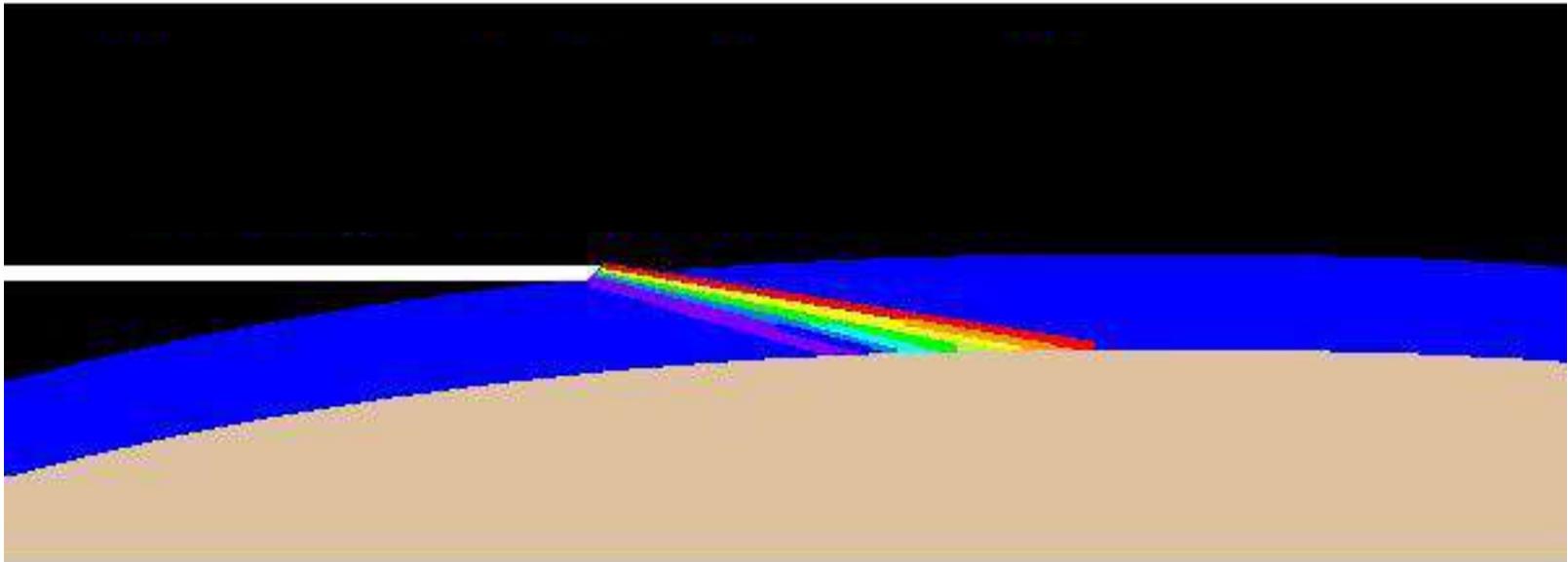
Questions levées au cour précédent

- Pourquoi l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde
 - A suivre... La semaine prochaine
- Comment s'explique le « rayon vert » (dernier rayons du soleil perçu... Quand les conditions le permettent !)



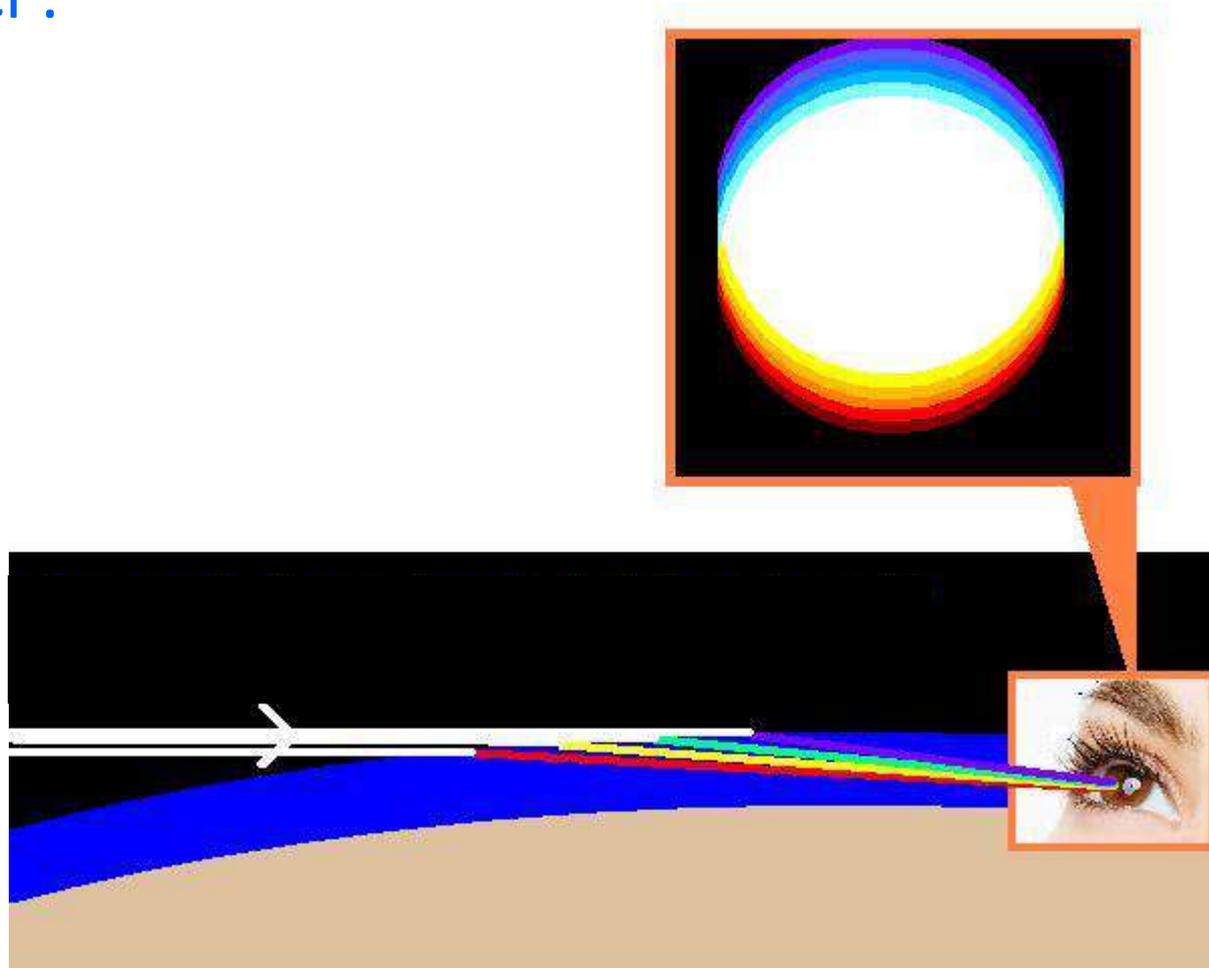
Le rayon vert (en bref)

- La lumière du soleil est réfractée par l'atmosphère



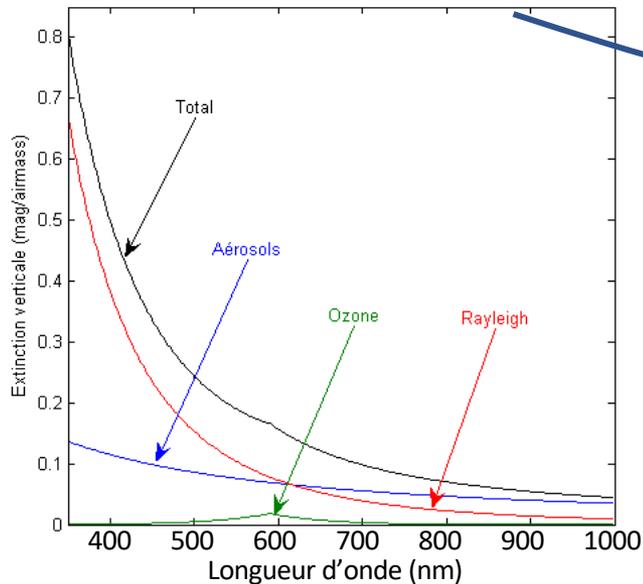
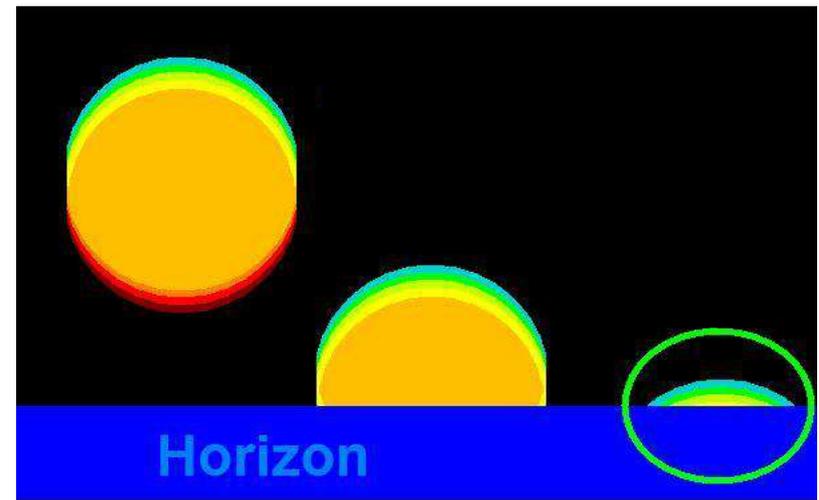
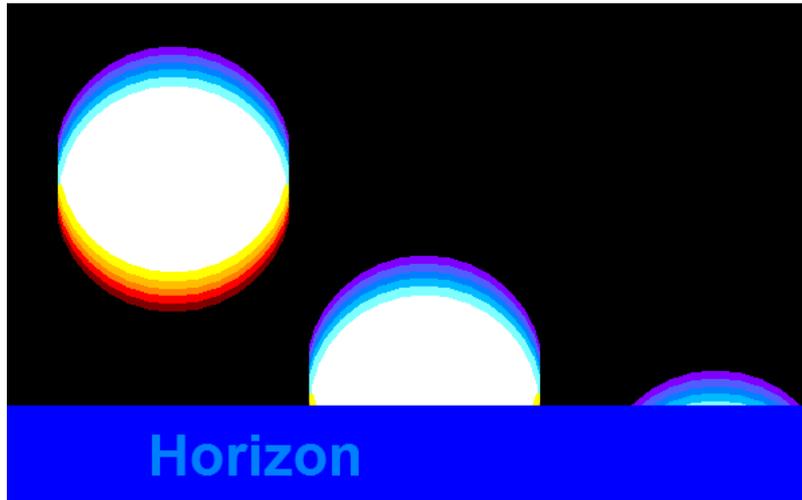
Le rayon vert (en bref)

- Si on n'était pas ébloui par le soleil, on verrait peut-être ceci :

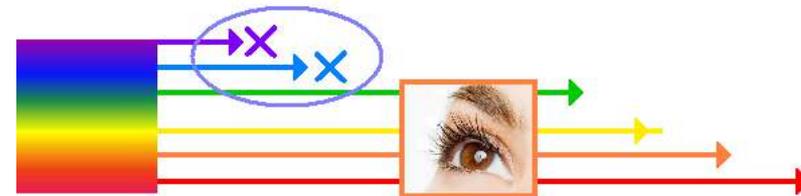


Le rayon vert (en bref)

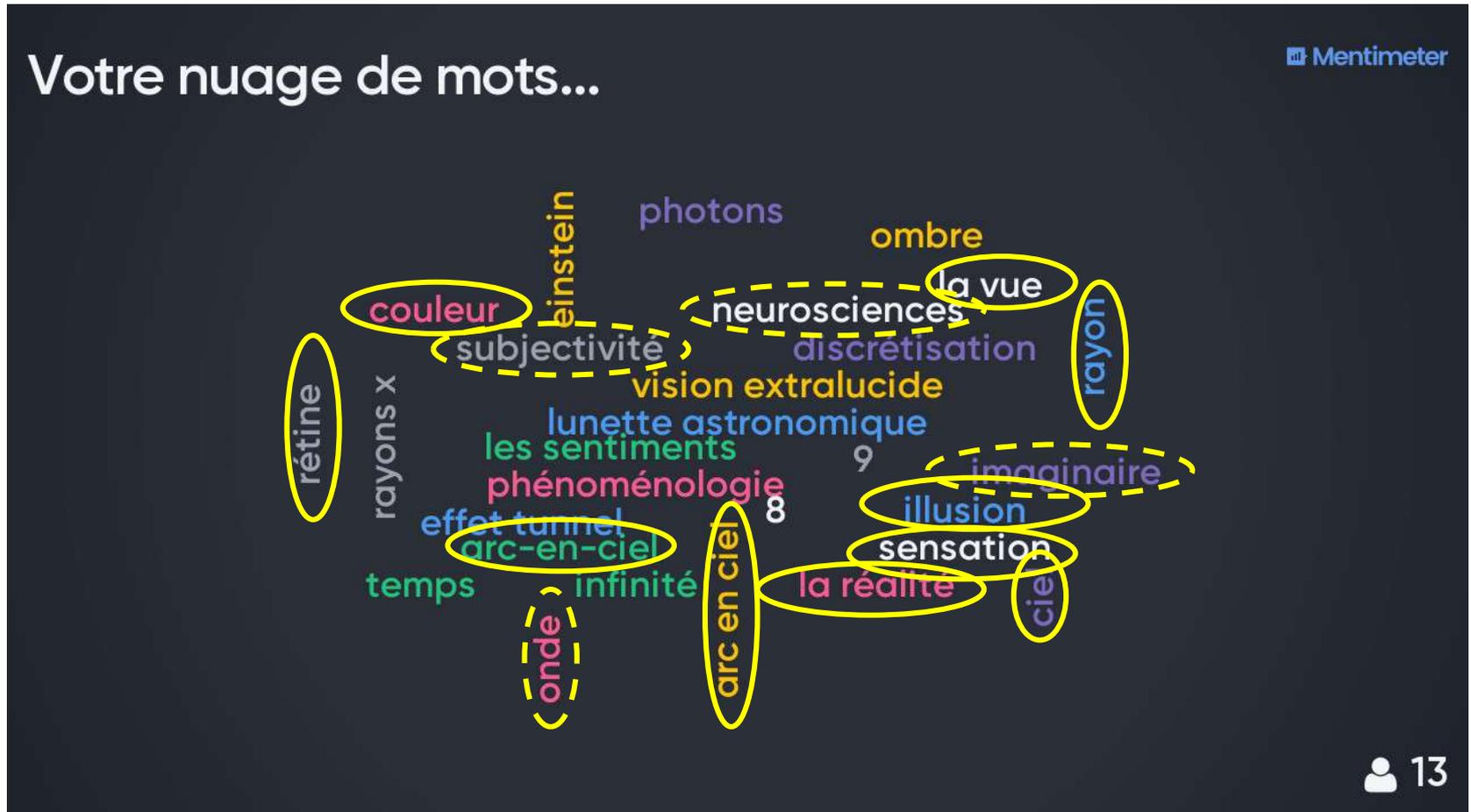
- L'atmosphère dévie la lumière et la diffuse aussi



Couleurs absorbées par l'atmosphère

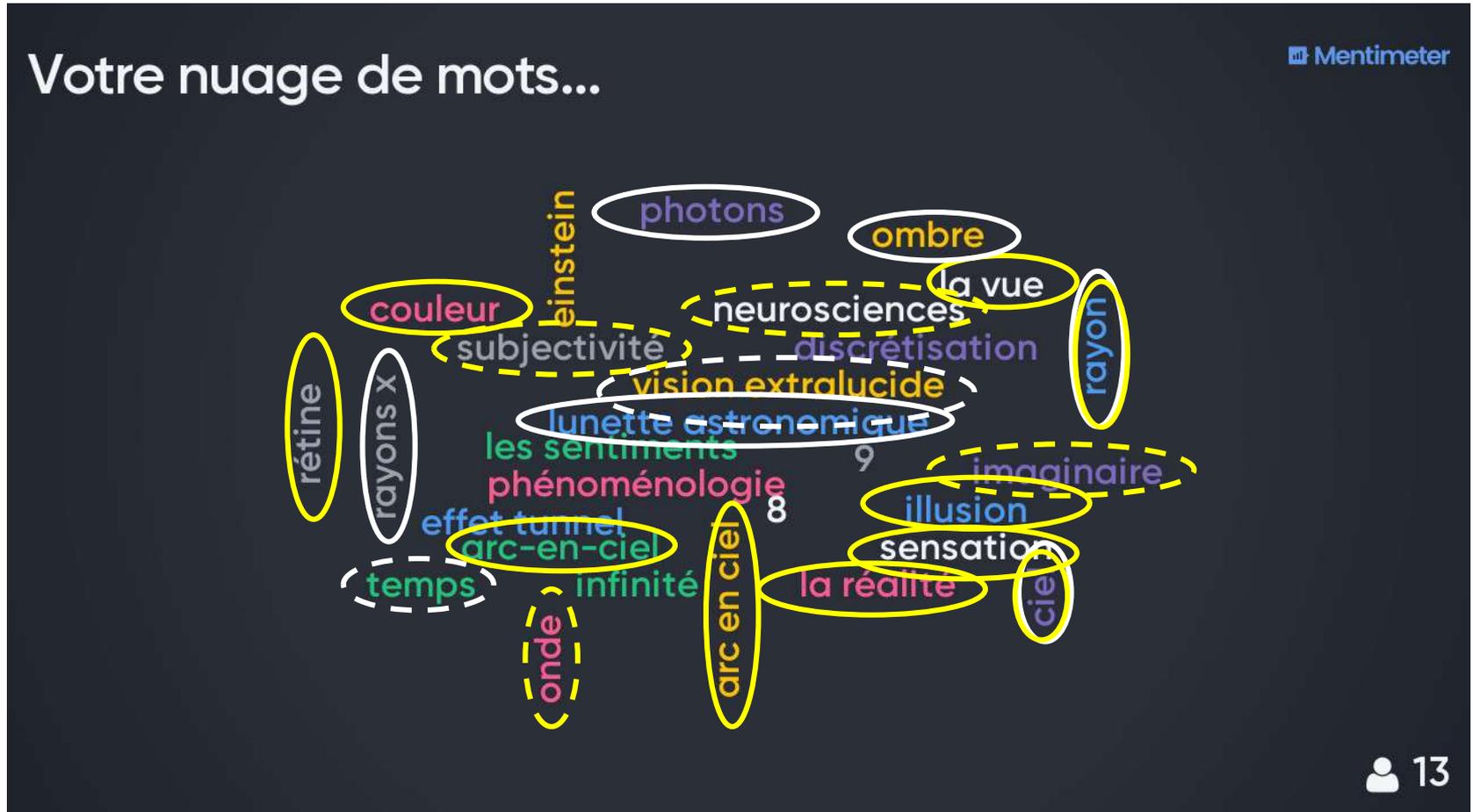


A propos de « Perception du monde et lumière », voici...



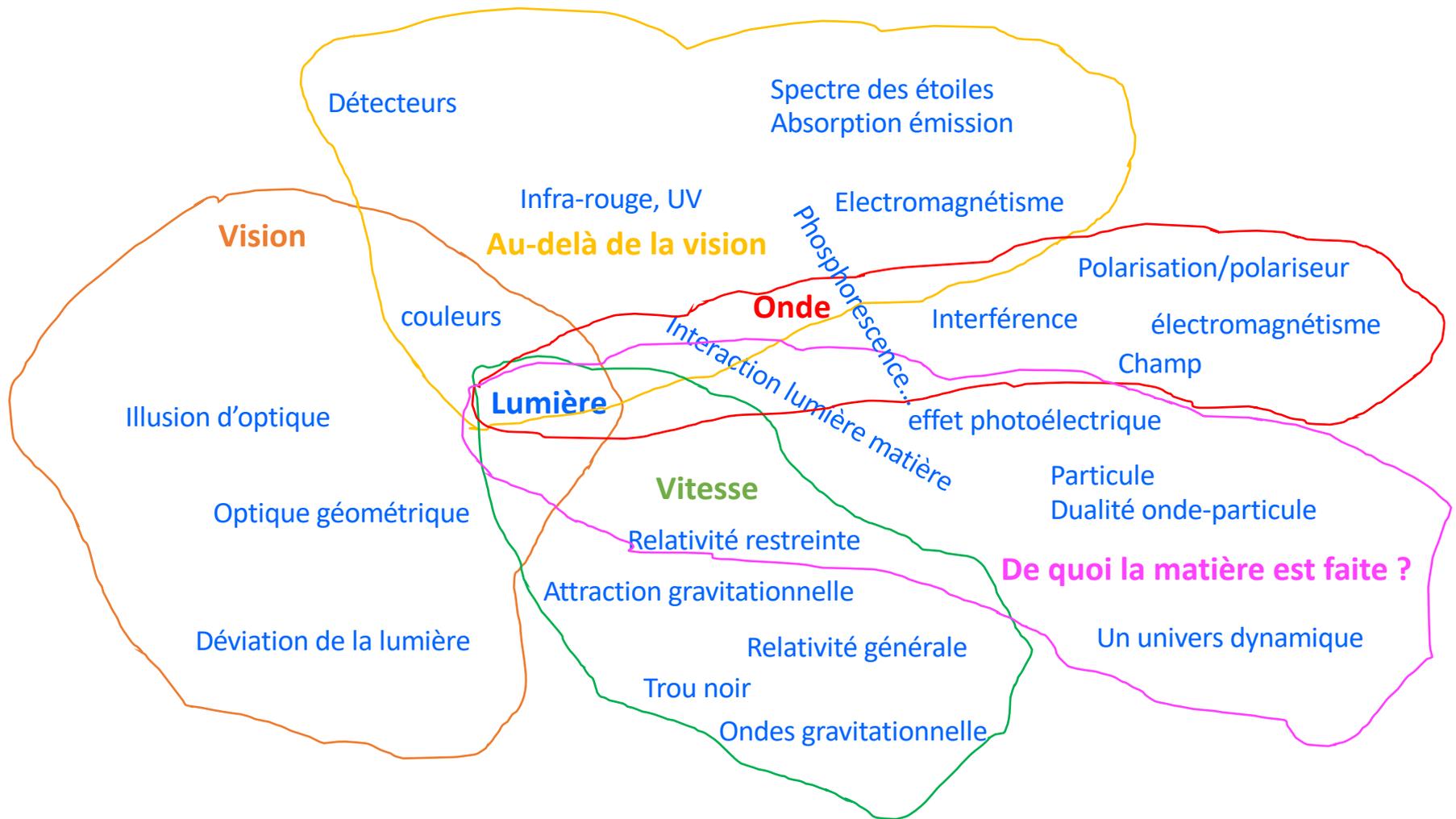
Ce que j'ai discuté au premier cours

A propos de « Perception du monde et lumière », voici...



Et ce que je discuterai aujourd'hui

Mon nuage de mots



Perception du monde

Au-delà de nos sens ...

2: Au-delà du visible



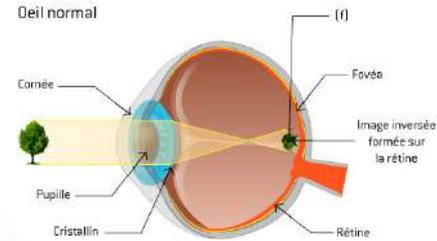
© DC Comics

But et plan de ce cours

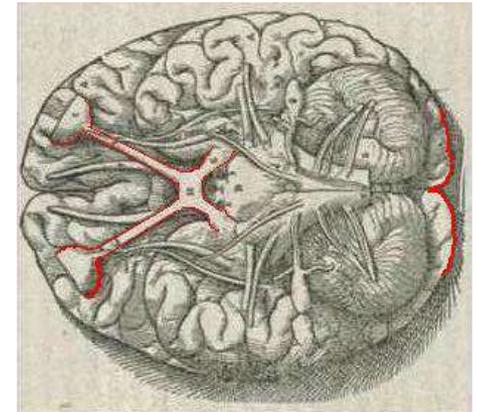
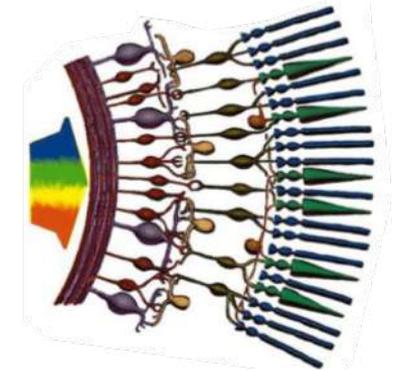
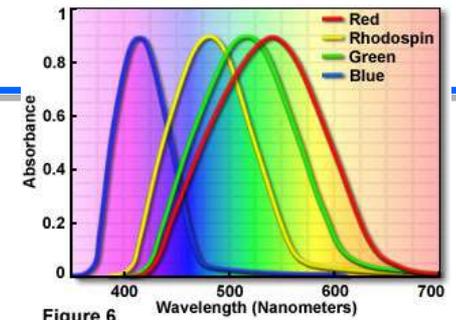
- Sortir de la caverne de Platon et dépasser les limites de la vision
 - Rappel des limites vues au premier cours
 - Détermination des améliorations envisageables
 - Etude de cas chez les animaux
 - Etude d'un exemple de science fiction
 - Technologies humaines
 - Ce qu'on apprend avec tout cela

Rappel: la vision humaine

- Pour voir, il faut...



Absorption Spectra of Human Visual Pigments



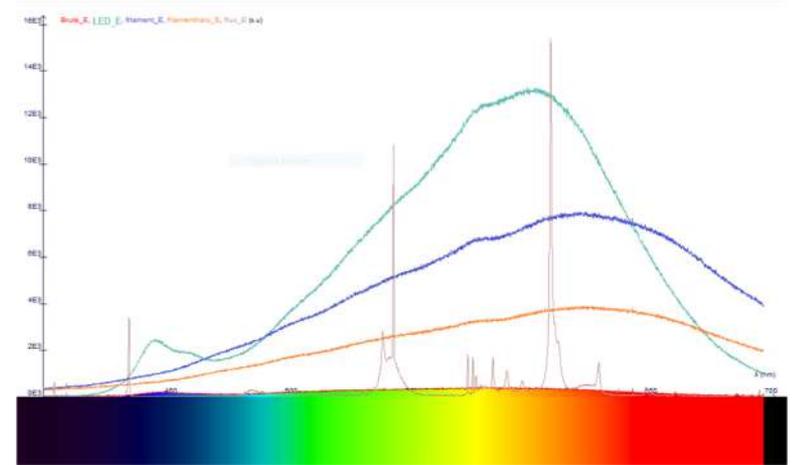
Améliorations envisageables

- Source

- Connaître ses caractéristiques
- Maîtriser son intensité
- Varier le type

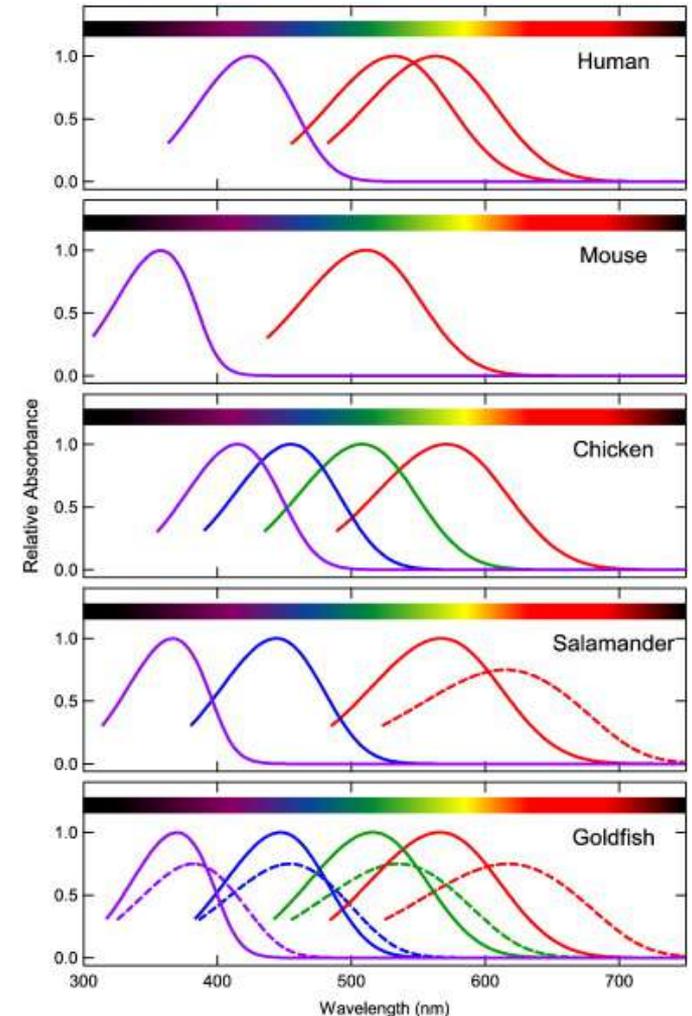
- Objet d'étude

- Connaître ses caractéristiques pour y adapter la source...
- Choisir la position de l'objet par rapport à la source et au détecteur



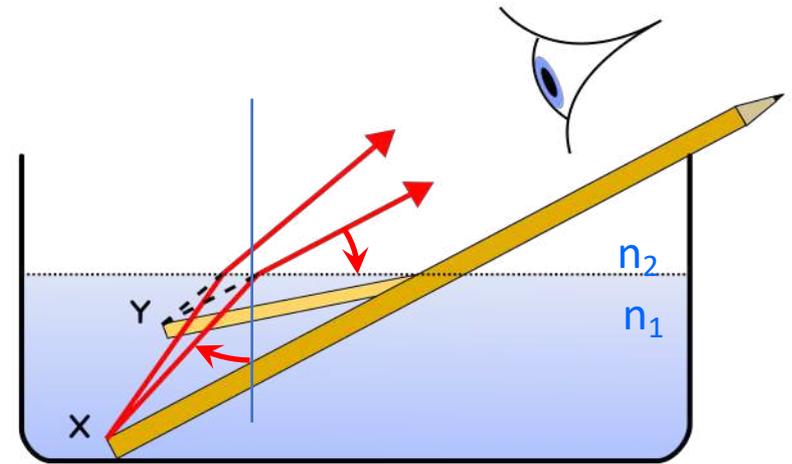
Améliorations envisageables

- Le détecteur
 - Le rendre aussi sensible que possible
 - Adapter à la source et à l'objet
 - Protéger des nuisances d'autres sources
 - Etudier son efficacité et ses défauts



Améliorations envisageables

- Les déformations subies entre l'objet et le détecteur
 - Les prévoir et les corriger
 - En faire l'objet d'étude
- Le cerveau
 - Optimiser les algorithmes d'analyse des données du détecteur
 - Tâcher d'être indépendants de préjugés non démontrés

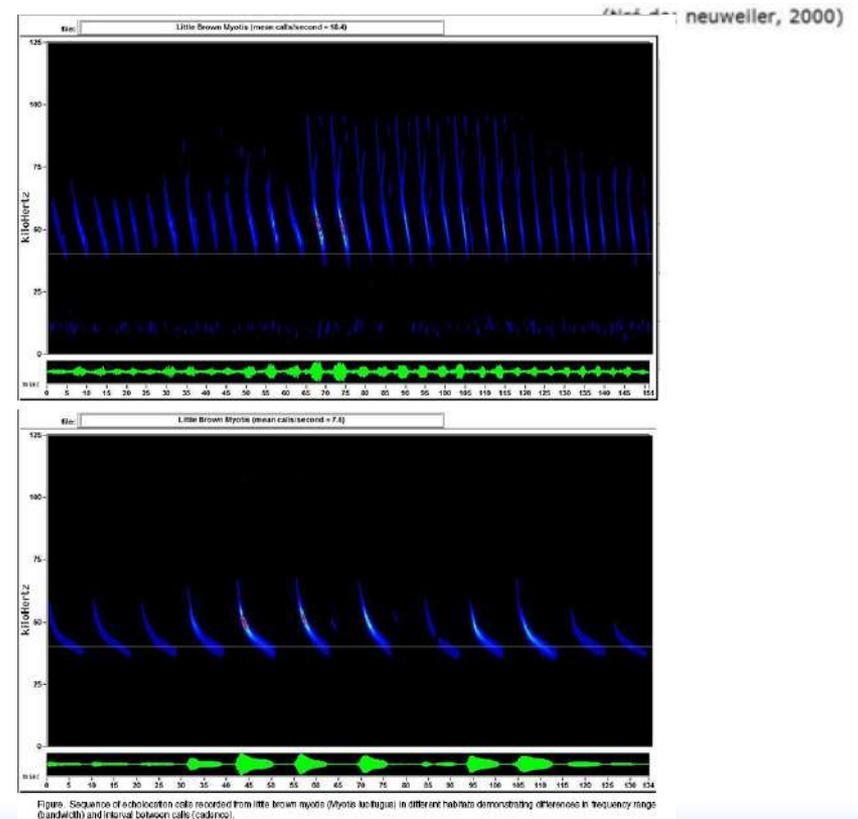
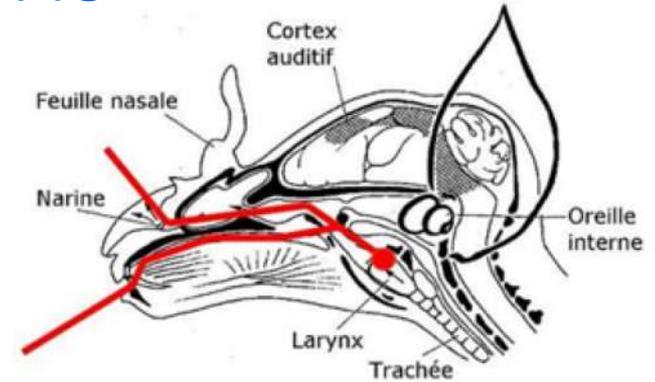


Le modèle animal...



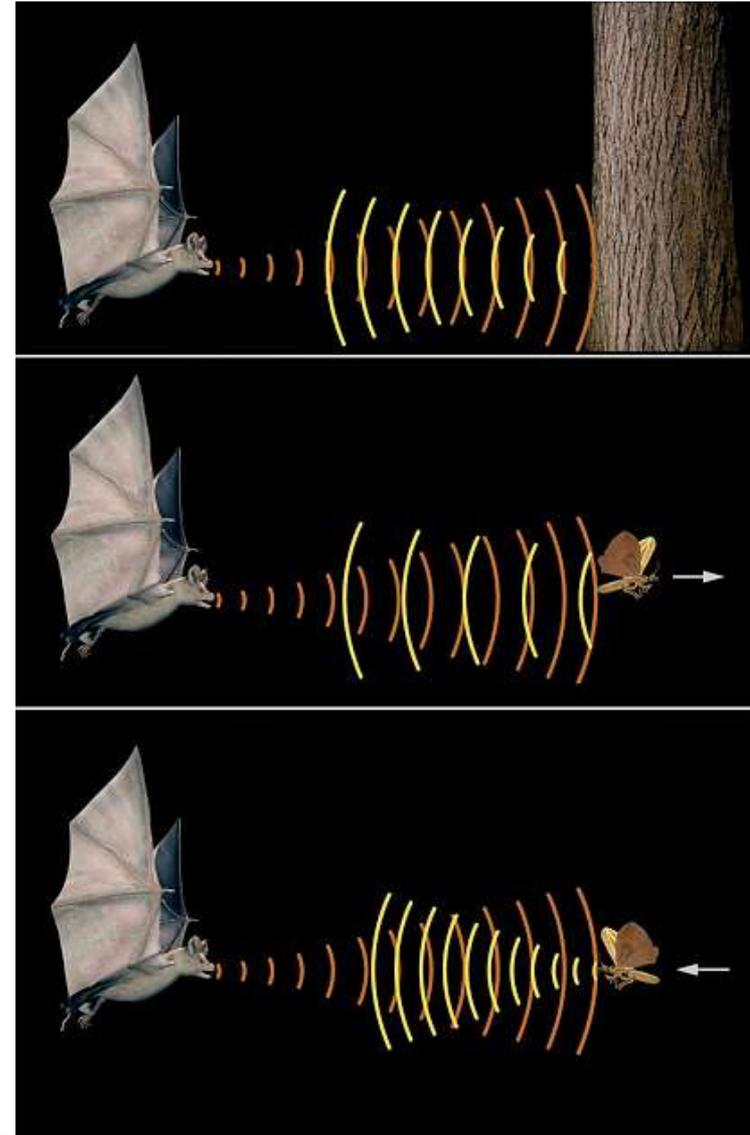
Echolocation chauve-souris

- L'homme entend des sons entre 20 et 20 000 vibrations par seconde.
- Les chauves-souris ont recours à des ultrasons. Ils varient de 50 000 à 200 000 vibrations par seconde.
- Ces sons sont envoyés dans toutes les directions et peuvent être émis jusqu'à 30 fois par seconde.
- Les fréquences et répétitions changent en fonction de la proximité de la proie.



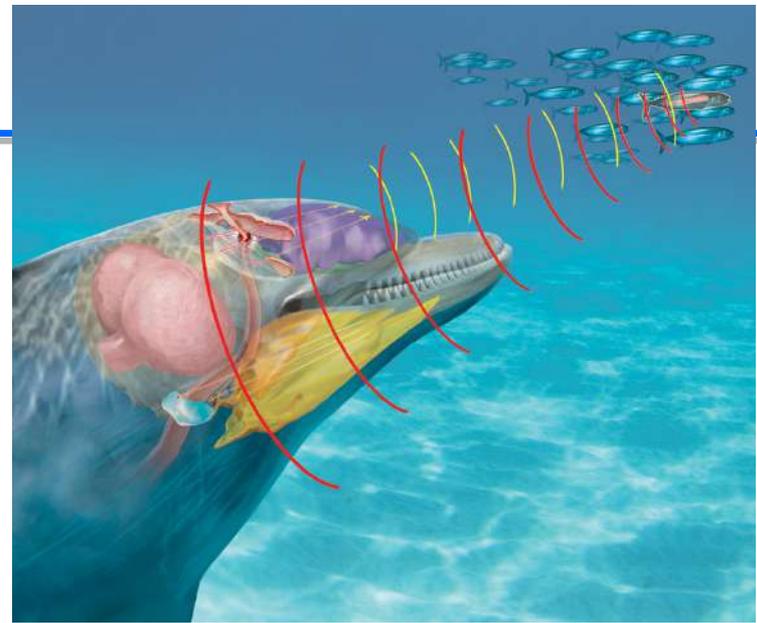
Echolocation chauve-souris

- La chauve souris peut détecter la position et la vitesse de ses proies



Echolocation dauphin

- Le dauphin

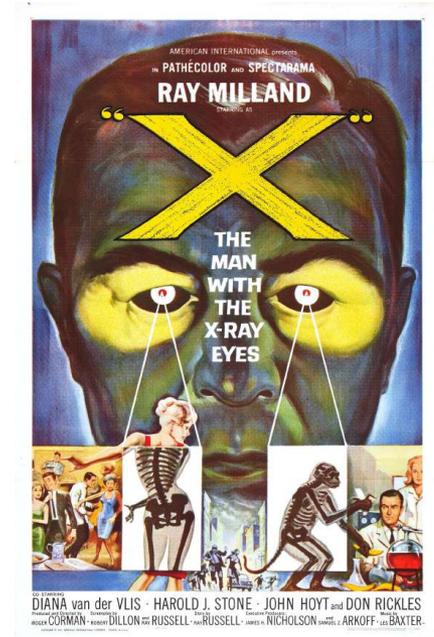


Super vision



Une étude de super-héros

- X: The Man with the X-ray Eyes (L'Horrible Cas du docteur X) est un film de science fiction/horreur, écrit par Ray Russell and Robert Dillon et dirigé par by Roger Corman (1963)
- Le docteur Xavier développe des gouttes oculaires permettant d'agrandir le spectre visible par l'homme (UV et rayons X). Il l'essaie directement sur lui...



By Reynold Brown - http://wrongsideofheart.com/wp-content/gallery/posters-x/x_poster_01.jpg, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24919723>

Super vision (X: The Man with the X-ray Eyes)



Super vision (X: The Man with the X-ray Eyes)

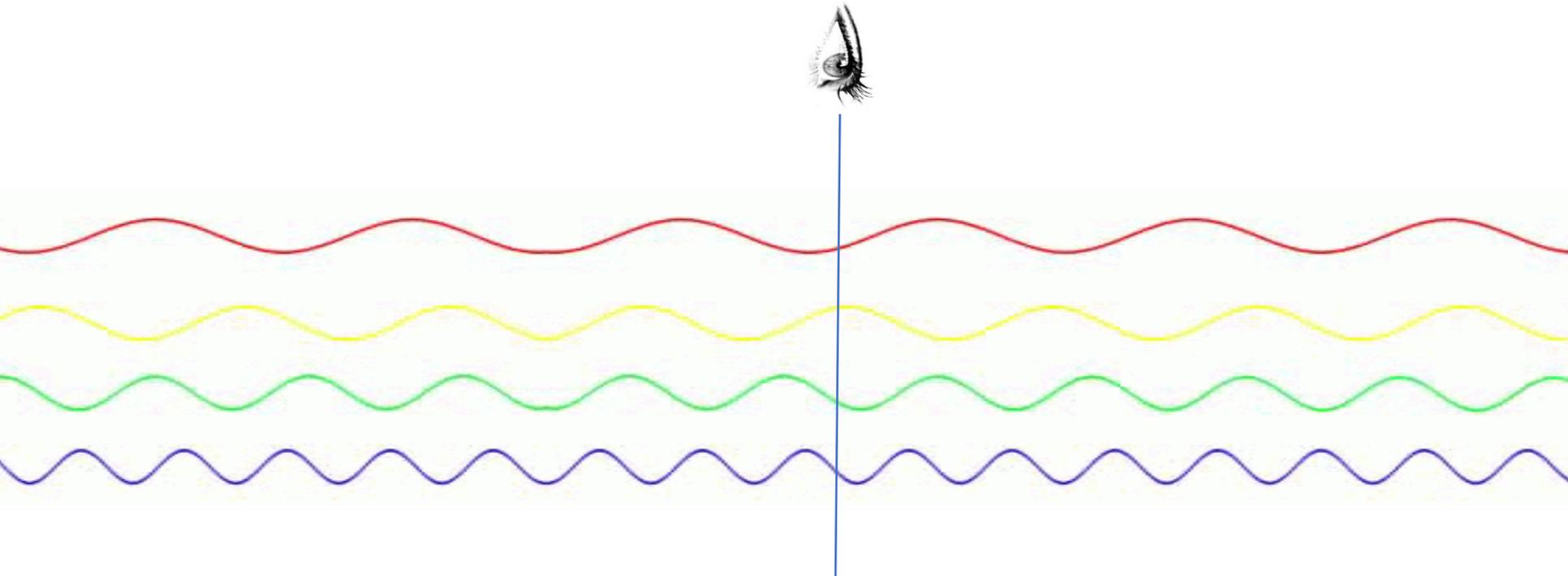


Super vision (X: The Man with the X-ray Eyes)

- La source ?
 - Rayons X
 - Où sont-ils produits ?
 - Comment sont-ils produits ?
- L'objet observé
 - La peau et les poils
 - Les veines, tendons, os...
- Le détecteur
 - Les yeux du docteur Xavier
- Les obstacles entre l'objet et les yeux
- L'algorithme

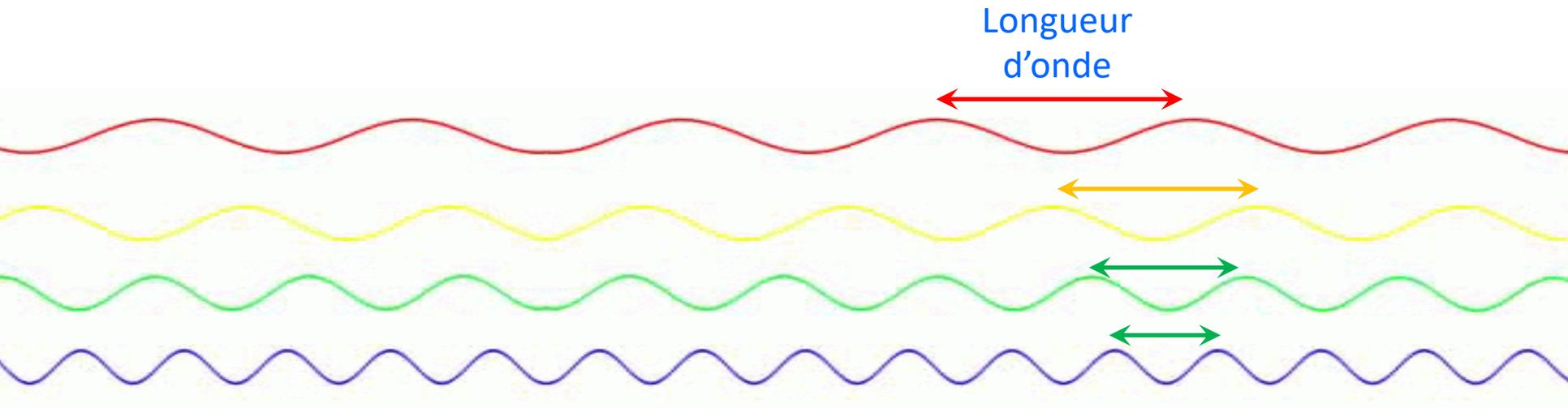
La source...

- Rappel: la lumière peut être vue comme une onde
- Au ralenti:



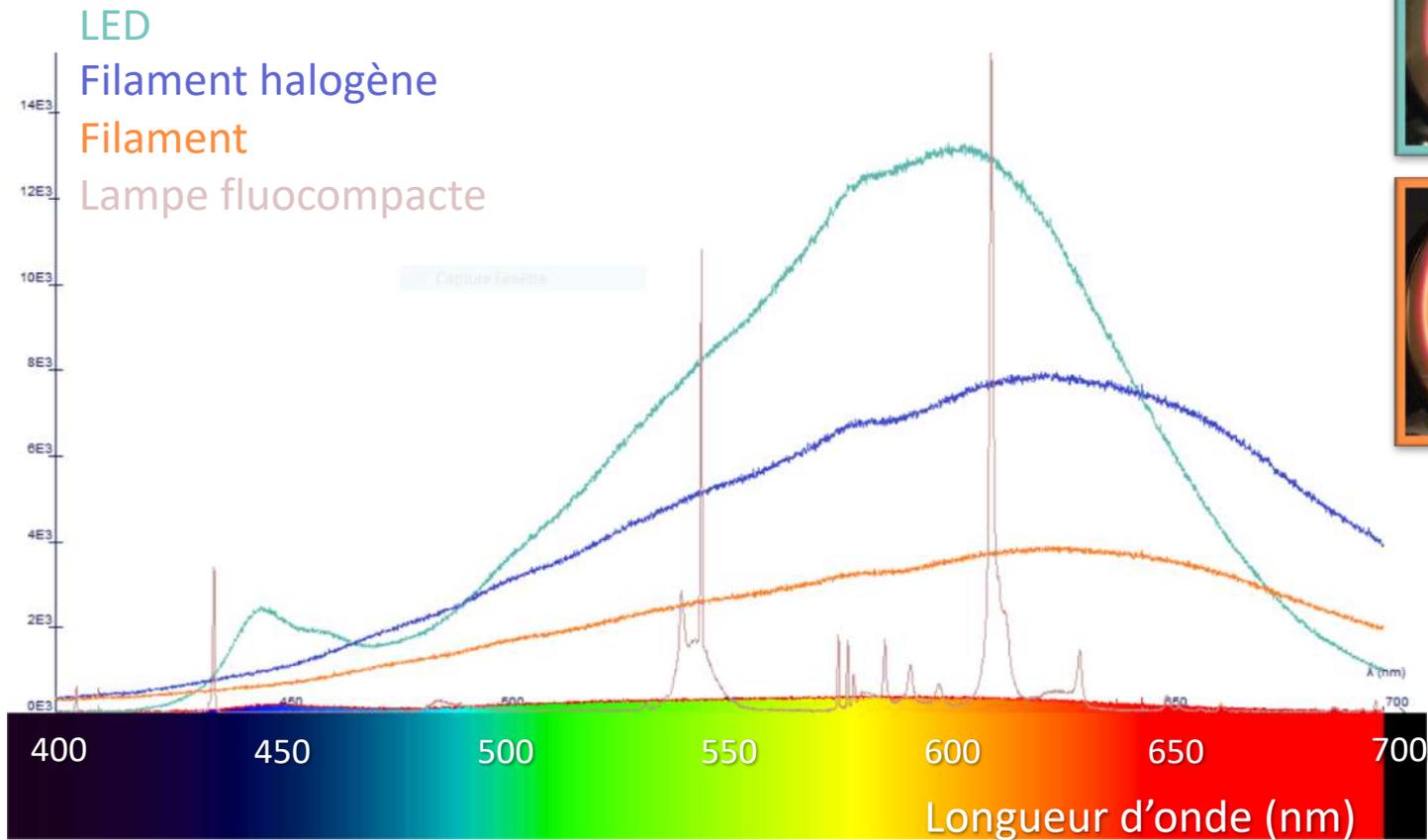
La source...

- Rappel: la lumière peut être vue comme une onde
 - Si on gèle le temps :



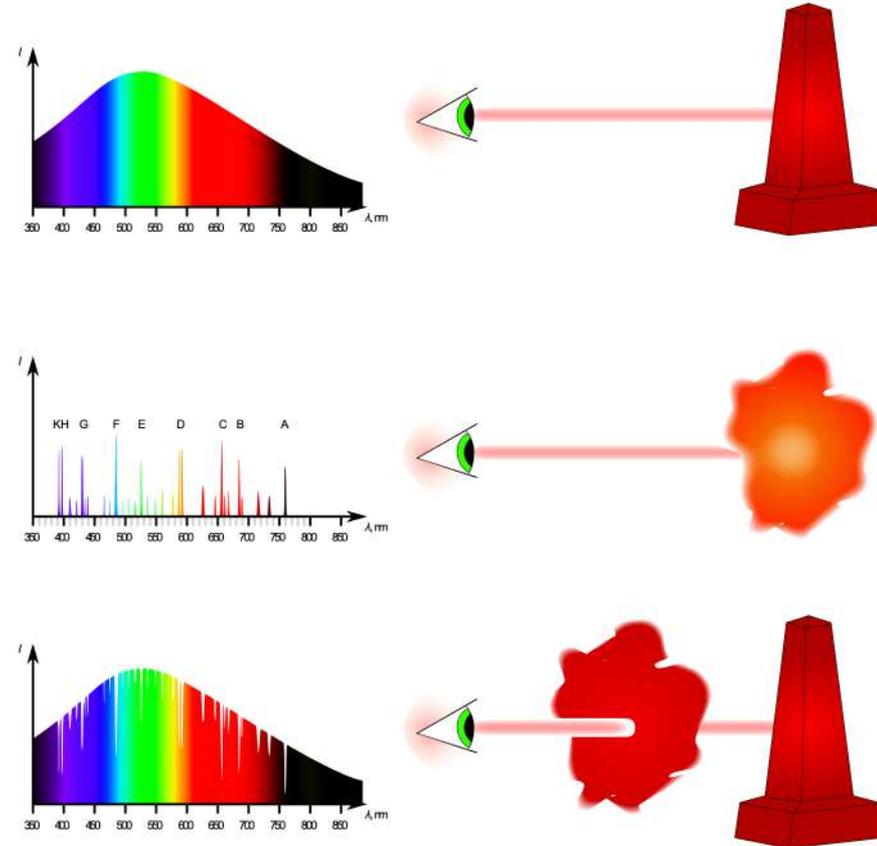
La source...

- Rappel: il y a divers types de lampes qui émettent de façon différente



Parenthèse historique et quantique

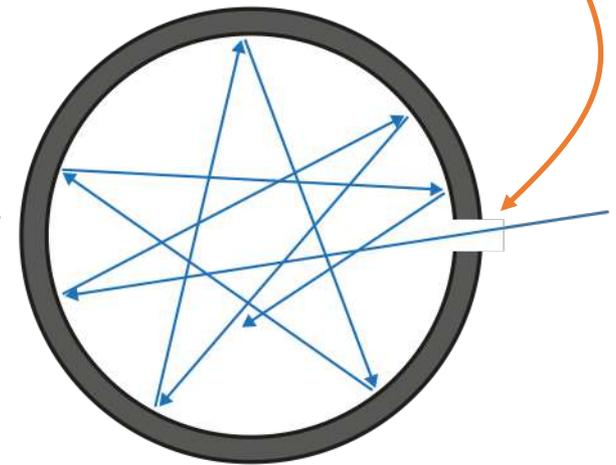
- Gustav Robert Kirchhoff (1859-60)
 - Un solide, un liquide ou un gaz dense, excité pour émettre de la lumière, rayonnera toutes les longueurs d'onde et produira un spectre continu
 - Un gaz de faible densité, excité pour émettre de la lumière, rayonnera à des longueurs d'onde précises et formera un spectre d'émission discret
 - Un gaz froid de faible densité, traversé par un rayonnement de spectre continu absorbera des longueurs d'onde précises.



Esmu Igors, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kirchhof_laws.svg

Parenthèse historique et quantique

- Gustav Robert Kirchhoff (1859-60)
 - Introduit le concept de « corps noir »: un corps d'une « finesse infinie » qui **absorbe complètement tous les rayons incidents** et n'en transmet ni n'en réfléchit aucun.
 - Une bonne approximation d'un tel corps est le trou percé dans une sphère.
 - Il postule que le rayonnement d'un tel corps, à une longueur d'onde donnée, ne dépend que de sa température.
 - A l'équilibre thermique, un tel corps noir doit émettre autant de rayonnements qu'il n'en absorbe.
C'est donc aussi un émetteur parfait.



AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg

Parenthèse historique et publique

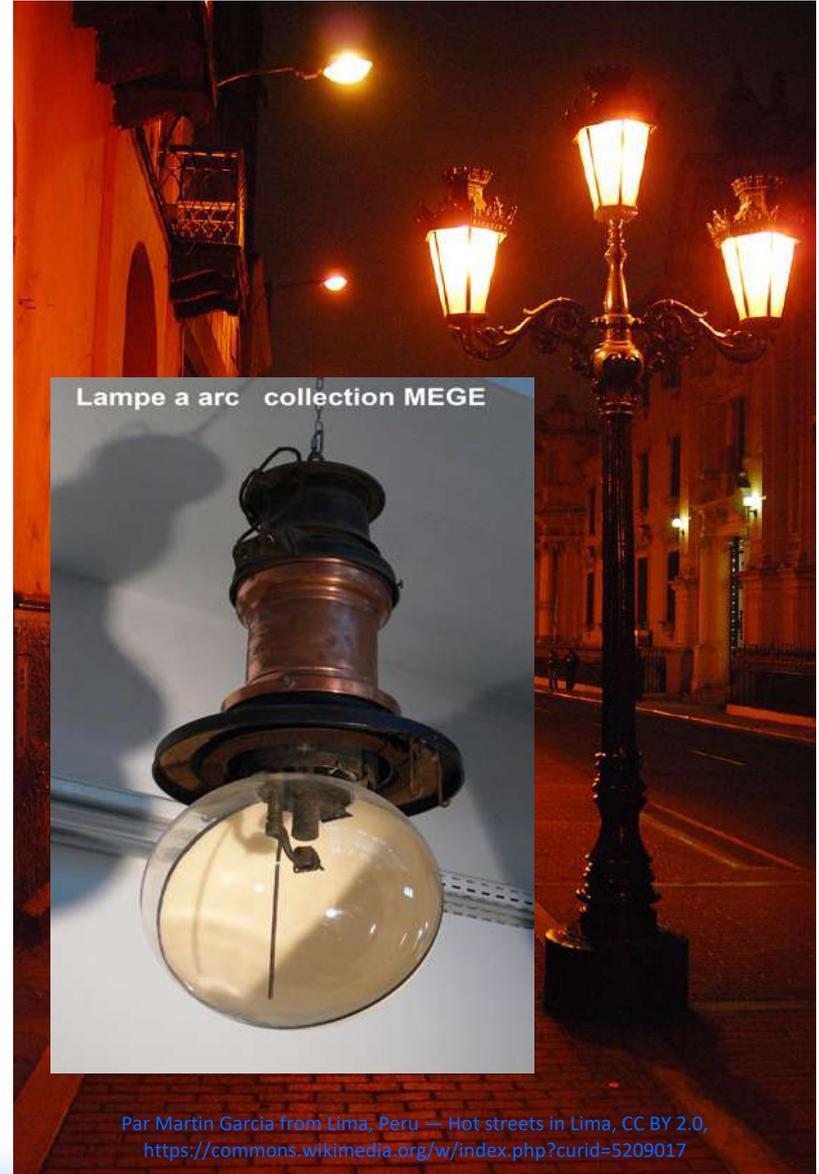
- 1414, Londres:
 - Chaque citoyen doit placer une lanterne avec bougie
- 1766, Paris:
 - Réverbères à huile de cétacés
- 1785:
 - découverte du gaz d'éclairage
- 1817, Bruxelles:
 - Première ville européenne éclairée au gaz de houille
- 1857-70:
 - Industrie pétrolière et pétrole lampant



Par Martin Garcia from Lima, Peru — Hot streets in Lima, CC BY 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5209017>

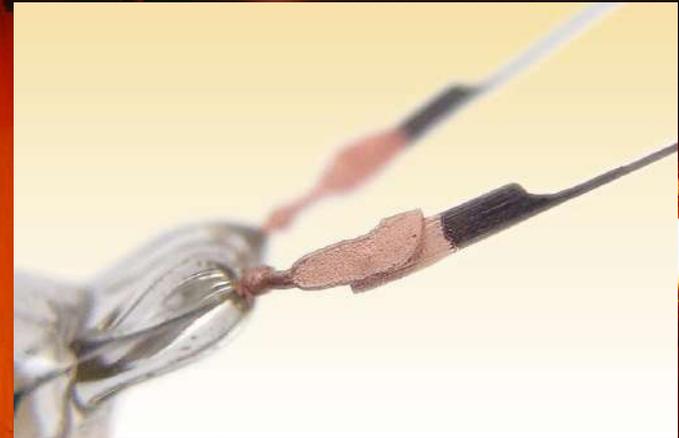
Parenthèse historique et publique

- 1414, Londres:
 - Chaque citoyen doit placer une lanterne avec bougie
- 1766, Paris:
 - Réverbères à huile de cétacés
- 1785:
 - découverte du gaz d'éclairage
- 1817, Bruxelles:
 - Première ville européenne éclairée au gaz de houille
- 1857-70:
 - Industrie pétrolière et pétrole lampant
- 1878:
 - expo universelle de Paris, plusieurs places dotées de lampes à arc électriques



Parenthèse historique et publique

- 1414, Londres:
 - Chaque citoyen doit placer une lanterne avec bougie
- 1766, Paris:
 - Réverbères à huile de cétacés
- 1785:
 - découverte du gaz d'éclairage
- 1817, Bruxelles:
 - Première ville européenne éclairée au gaz de houille
- 1857-70:
 - Industrie pétrolière et pétrole lampant
- 1878:
 - expo universelle de Paris, plusieurs places dotées de lampes à arc électriques
- 1878:
 - Swann puis Edison réalisent des lampes à filament de carbone dans une enceinte vide.



Par Martin Garcia from Lima, Peru — Hot streets in Lima, CC BY 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5209017>

Parenthèse historique et publique

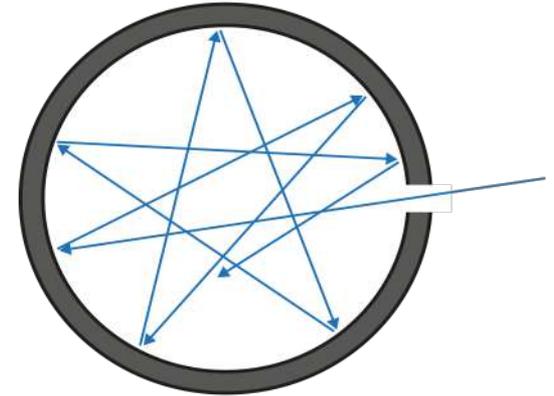
- 1414, Londres:
 - Chaque citoyen doit placer une lanterne avec bougie
- 1766, Paris:
 - Réverbères à huile de cétacés
- 1785:
 - découverte du gaz d'éclairage
- 1817, Bruxelles:
 - Première ville européenne éclairée au gaz de houille
- 1857-70:
 - Industrie pétrolière et pétrole lampant
- 1878:
 - expo universelle de Paris, plusieurs places dotées de lampes à arc électriques
- 1878:
 - Swann puis Edison réalisent des lampes à filament de carbone dans une enceinte vide.
- 1880:
 - Le gaz d'éclairage cède la place à l'électricité



Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)

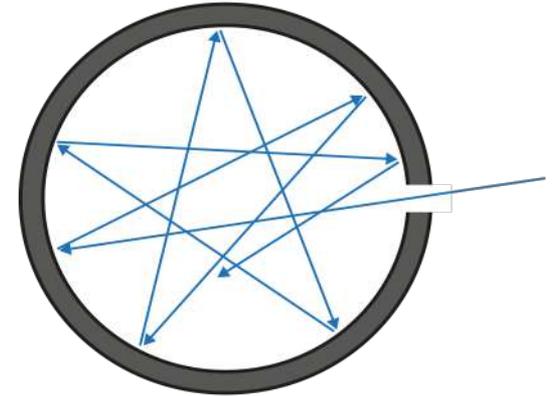
Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5 \quad (\rightarrow R(\lambda/x, xT) = x^5 R(\lambda, T))$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)

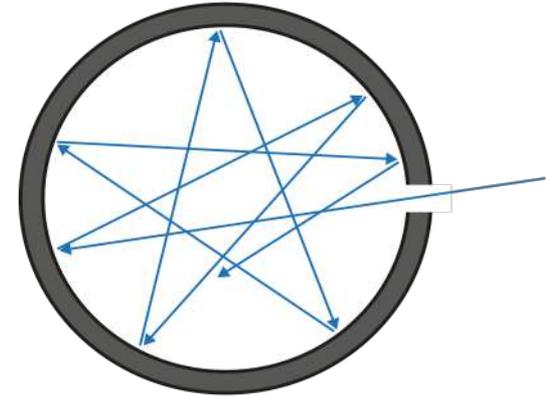
Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

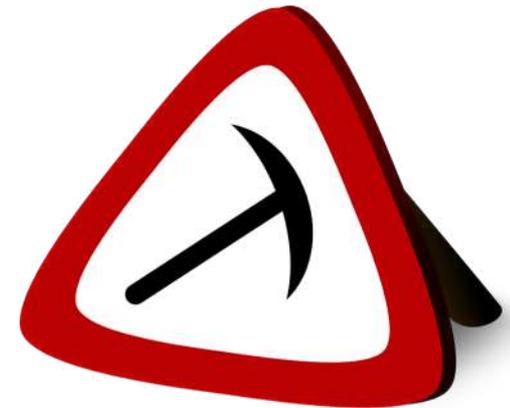
$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5 \quad (\rightarrow R(\lambda/x, xT) = x^5 R(\lambda, T))$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)

Si λT maximise $f(\lambda T)$

→ Si on augmente T , la valeur de λ qui maximise $f(\lambda T)$ diminue d'autant.



Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

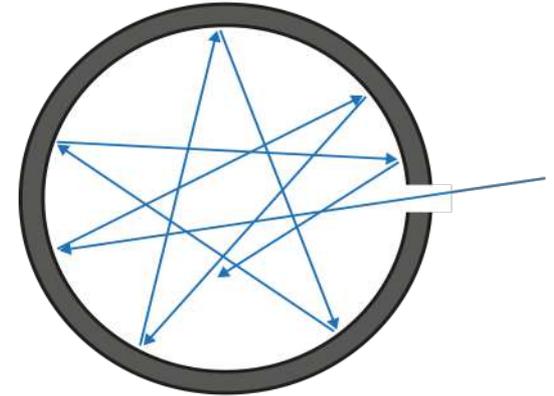
$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5$$

- 1900, Rayleigh et Jeans montrent que :

$$R(\lambda, T) = 8 \pi k (\lambda * T) / \lambda^5$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)

Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

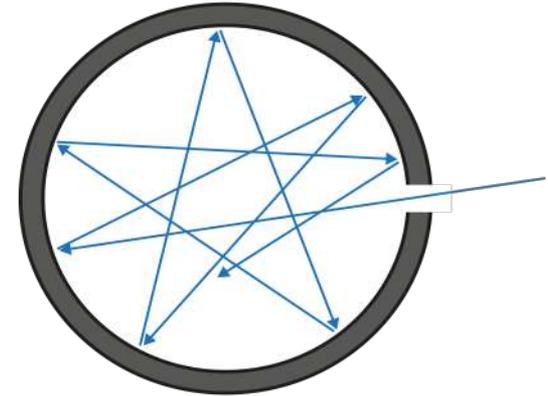
$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

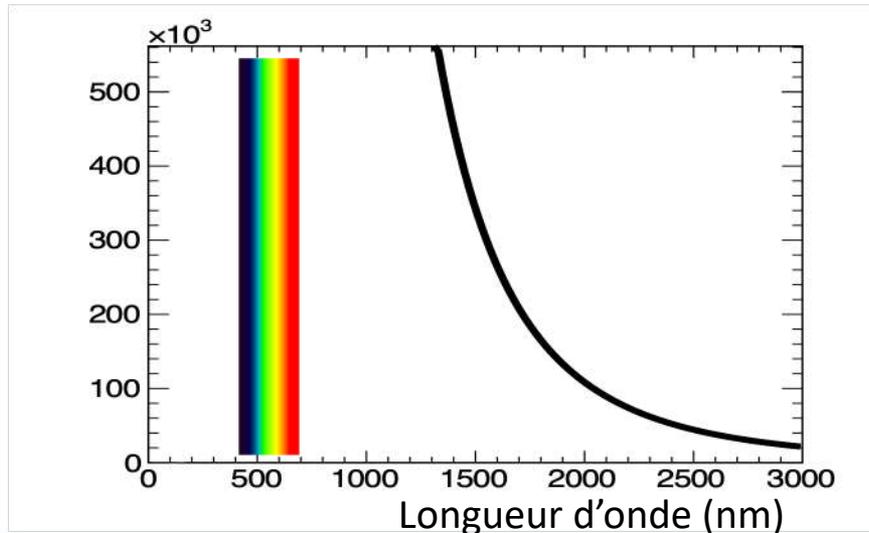
$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5$$

- 1900, Rayleigh et Jeans montrent que :

$$R(\lambda, T) = 8 \pi k (\lambda * T) / \lambda^5$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)



Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

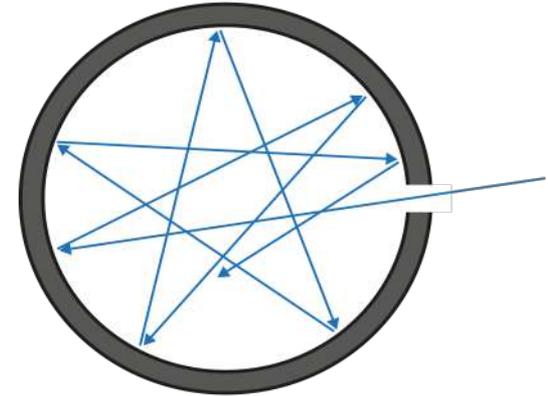
$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

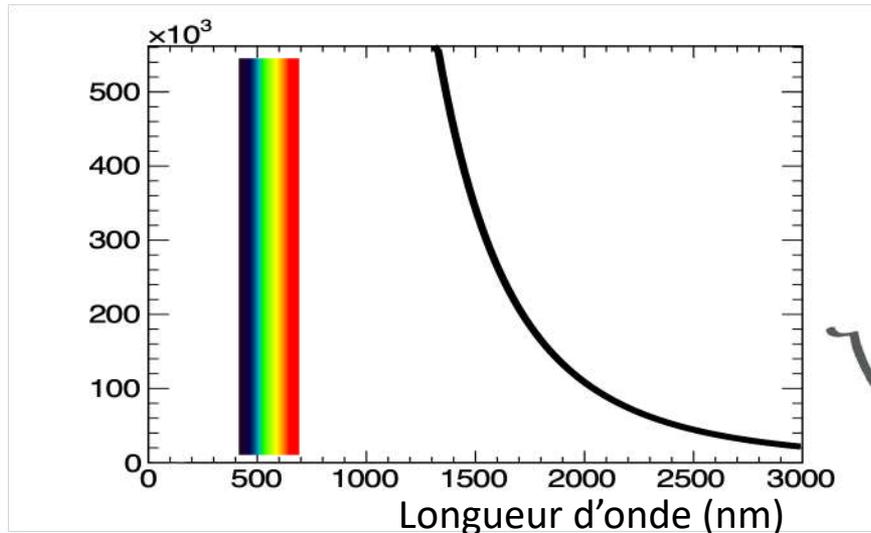
$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5$$

- 1900, Rayleigh et Jeans montrent que :

$$R(\lambda, T) = 8 \pi k (\lambda * T) / \lambda^5$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)



Avec ce modèle, l'émission des petites longueurs d'onde, très énergétiques, tend vers l'infini ...

Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

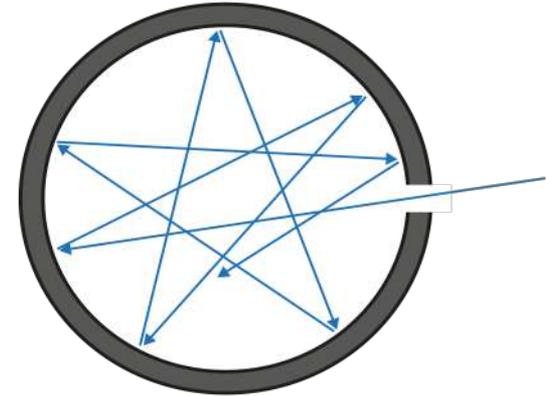
$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

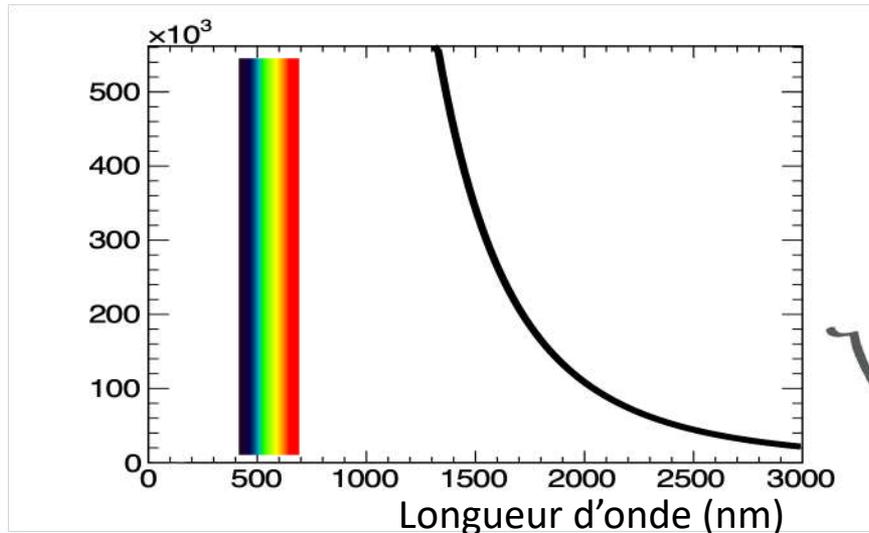
$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5$$

- 1900, Rayleigh et Jeans montrent que :

$$R(\lambda, T) = 8 \pi k (\lambda * T) / \lambda^5$$



[AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg)



Avec ce modèle, l'émission des petites longueurs d'onde, très énergétiques, tend vers l'infini ...

On se brûlerait les yeux en regardant un objet à température ambiante !

Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

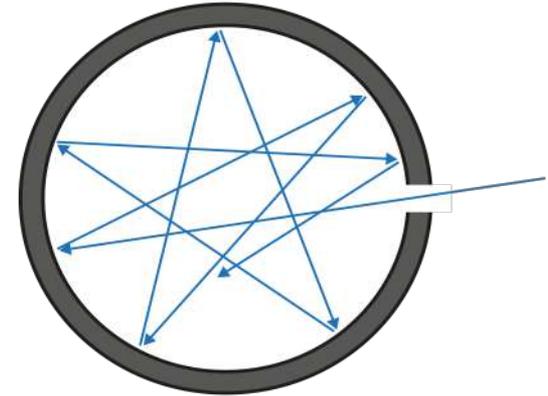
$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

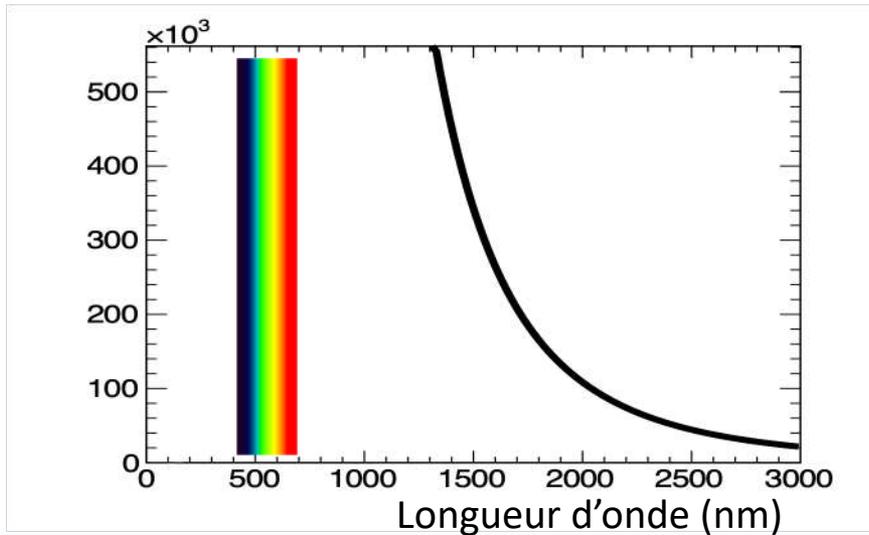
$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5$$

- 1900, Rayleigh et Jeans montrent que :

$$R(\lambda, T) = 8 \pi k (\lambda * T) / \lambda^5$$



AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg



1900, Planck émet l'hypothèse qu'une onde de longueur d'onde λ ne peut être émise qu'avec des énergies multiples de $E_0 = hc/\lambda (=h\nu)$

Exemple:

$$\lambda = 1; E = hc, \quad 2hc \dots$$

$$\lambda = 2; E = hc/2, hc, 3hc/2, 2hc \dots$$

Parenthèse historique et quantique

- Stefan observe en 1879 et Boltzman démontre en 1884 que le rayonnement du corps noir est proportionnel à T^4 :

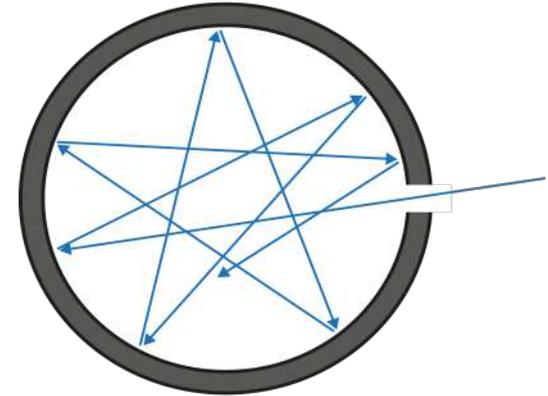
$$R(T) = 5,6710^{-8} * T^4$$

- Wien montre en 1893 que :

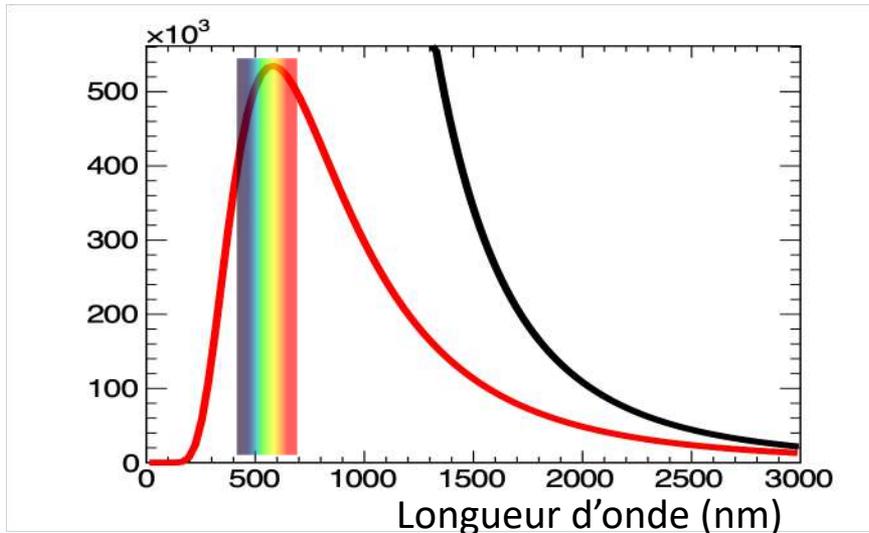
$$R(\lambda, T) = f(\lambda * T) / \lambda^5$$

- 1900, Rayleigh et Jeans montrent que :

$$R(\lambda, T) = 8 \pi k (\lambda * T) / \lambda^5$$



AG Caesar https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body_realization.svg



Décembre 1900... Planck reprend la démonstration de Rayleigh et Jeans avec sa nouvelle hypothèse:

$$R(\lambda, T) = 8 \pi hc / [\lambda^5 * (\exp(hc/k\lambda T) - 1)]$$

Hypothèse révolutionnaire:
 $E_0 = hc/\lambda (=h\nu)$

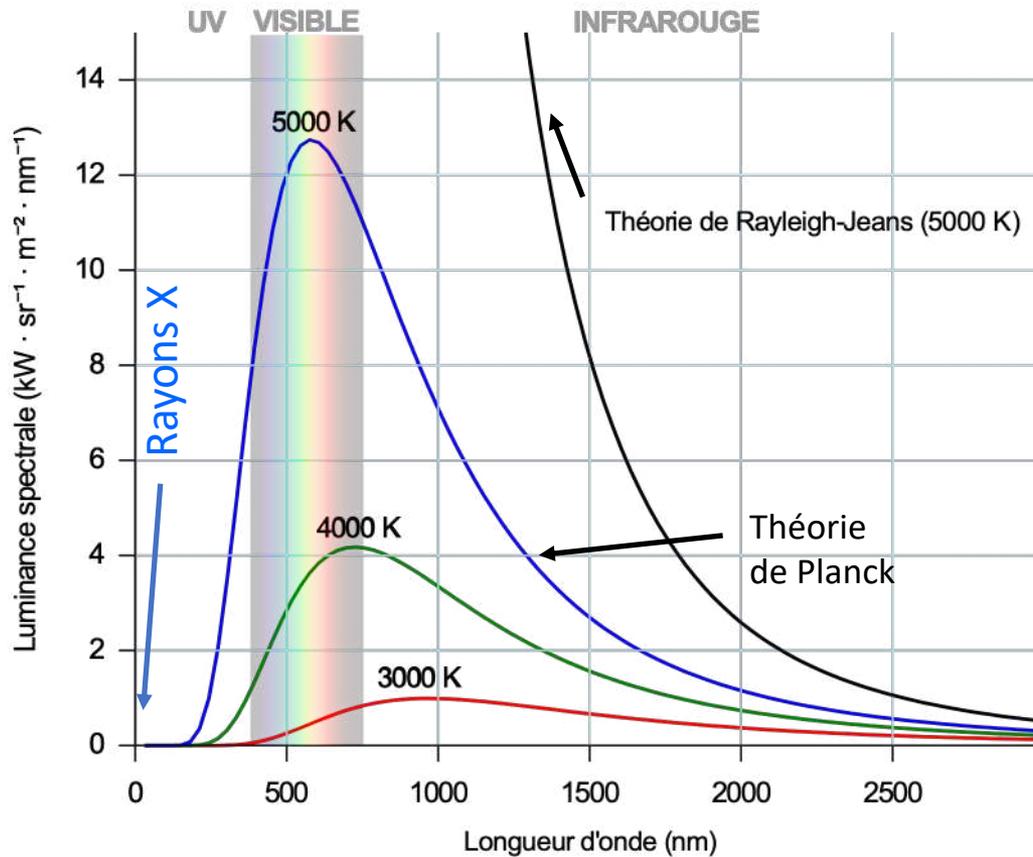
Parenthèse historique et quantique

$$E_0 = hc/\lambda (=h\nu)$$

C'est la première pierre vers la mécanique quantique

La lumière qu'on considère comme une onde électromagnétique serait composée de « grains », les photons. Chaque grain ayant une énergie $E = h\nu$

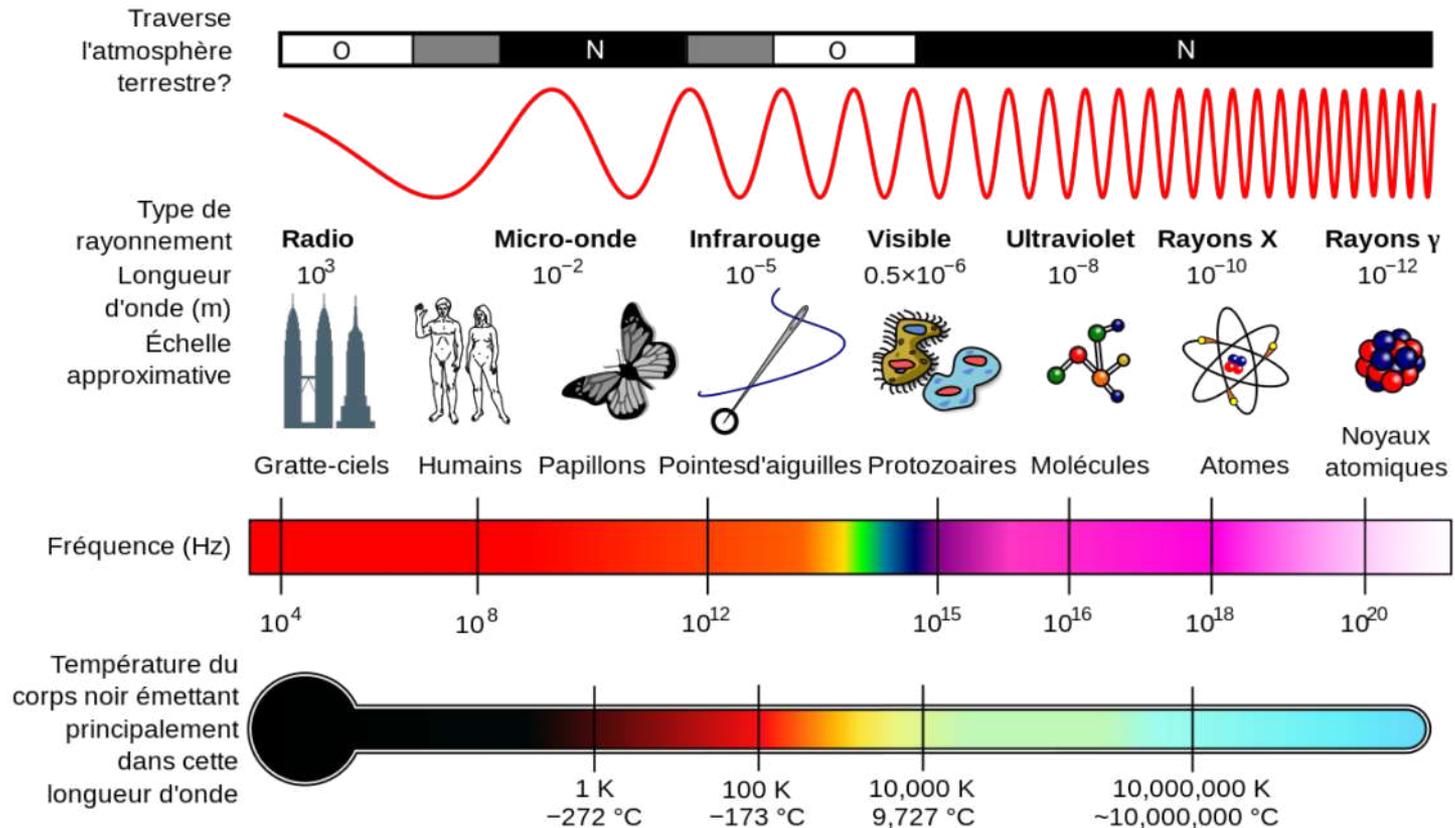
Retour à la source des rayons X



Par Darth Kule — https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body.svg, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=49865103>

Retour à la source des rayons X

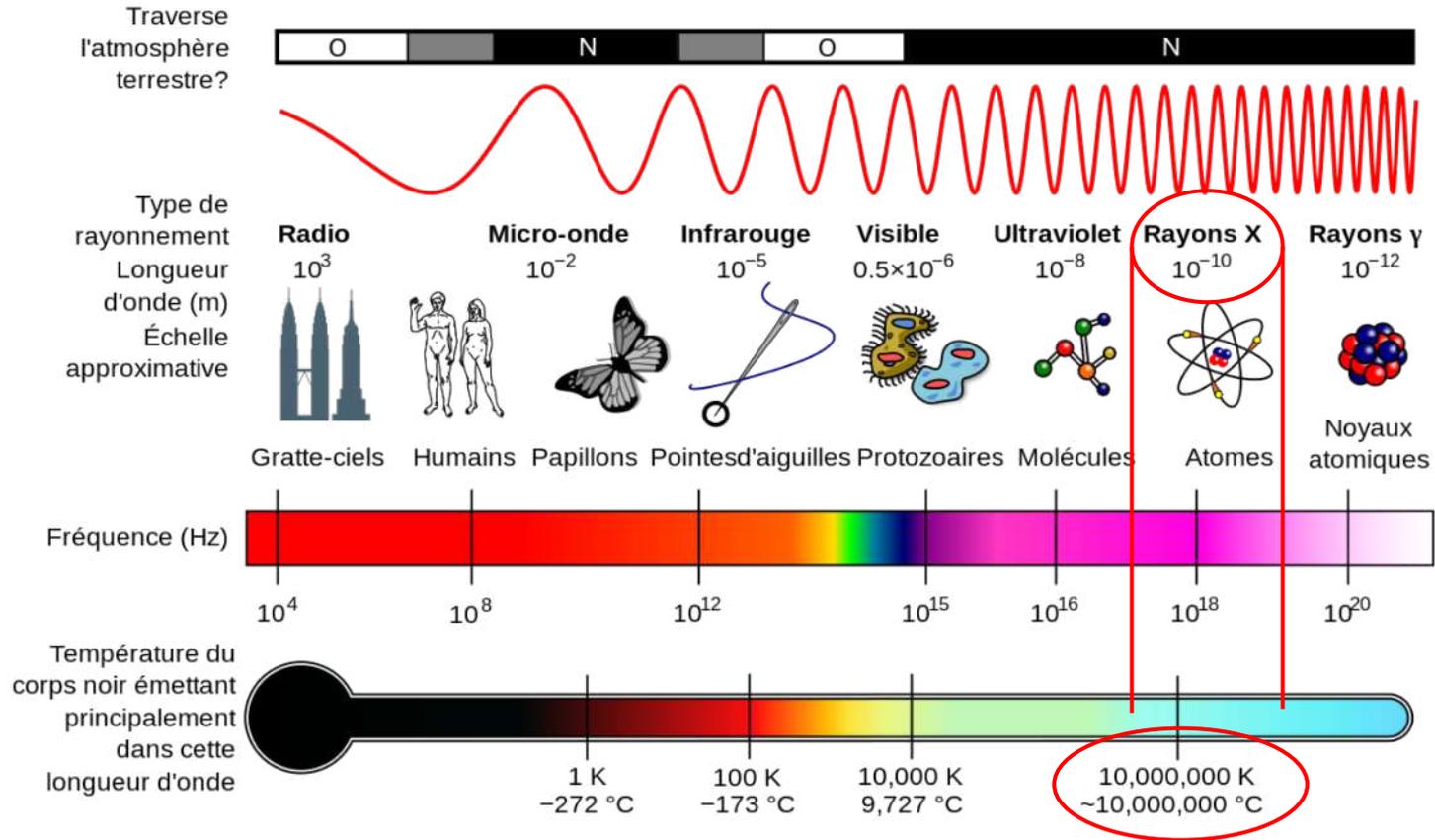
- Quelle température pour produire des Rayons X ?



Par Inductiveload, NASA. Translation by Berru (talk) — self-made, information by NASA Based off of File:EM_Spectrum3-new.jpg by NASA The butterfly icon is from the P icon set, P biology.svg The humans are from the Pioneer plaque, Human.svg The buildings are the Petronas towers and the Empire State Buildings, both from Skyscrapercompare.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8756209>

Retour à la source des rayons X

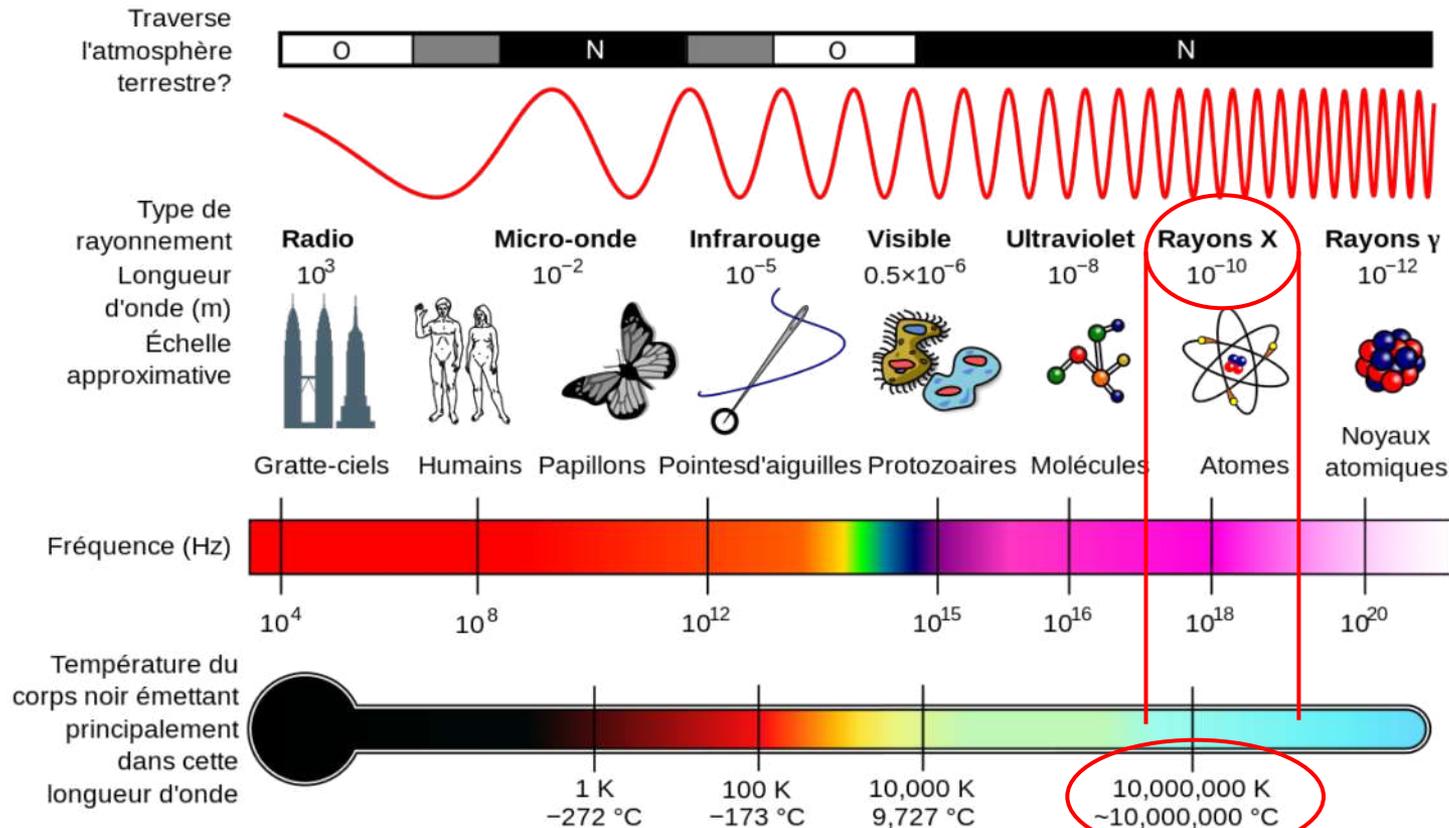
- Quelle température pour produire des Rayons X ?



Par Inductiveload, NASA. Translation by Berru (talk) — self-made, information by NASA Based off of File:EM_Spectrum3-new.jpg by NASA The butterfly icon is from the P icon set, P biology.svg The humans are from the Pioneer plaque, Human.svg The buildings are the Petronas towers and the Empire State Buildings, both from Skyscrapercompare.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8756209>

Retour à la source des rayons X

- Quelle température pour produire des Rayons X ?



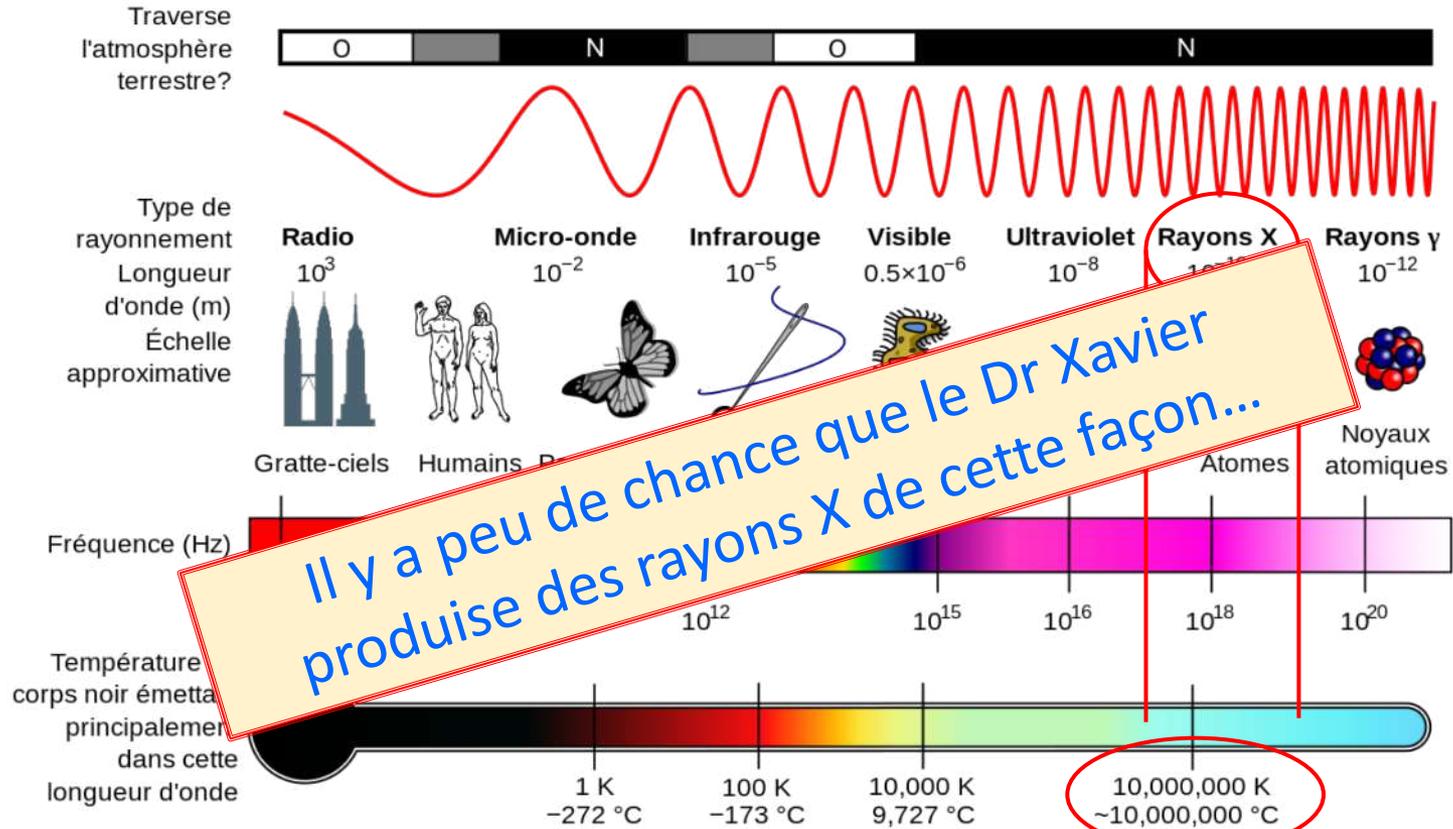
Par Inductiveload, NASA. Translation by Berru (talk) — self-made, information by NASA Based off of File:EM_Spectrum3-new.jpg by NASA The butterfly icon is from the P icon set, P biology.svg The humans are from the Pioneer plaque, Human.svg The buildings are the Petronas towers and the Empire State Buildings, both from Skyscrapercompare.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8756209>

Surface
des étoiles

Cœur
des étoiles

Retour à la source des rayons X

- Quelle température pour produire des Rayons X ?



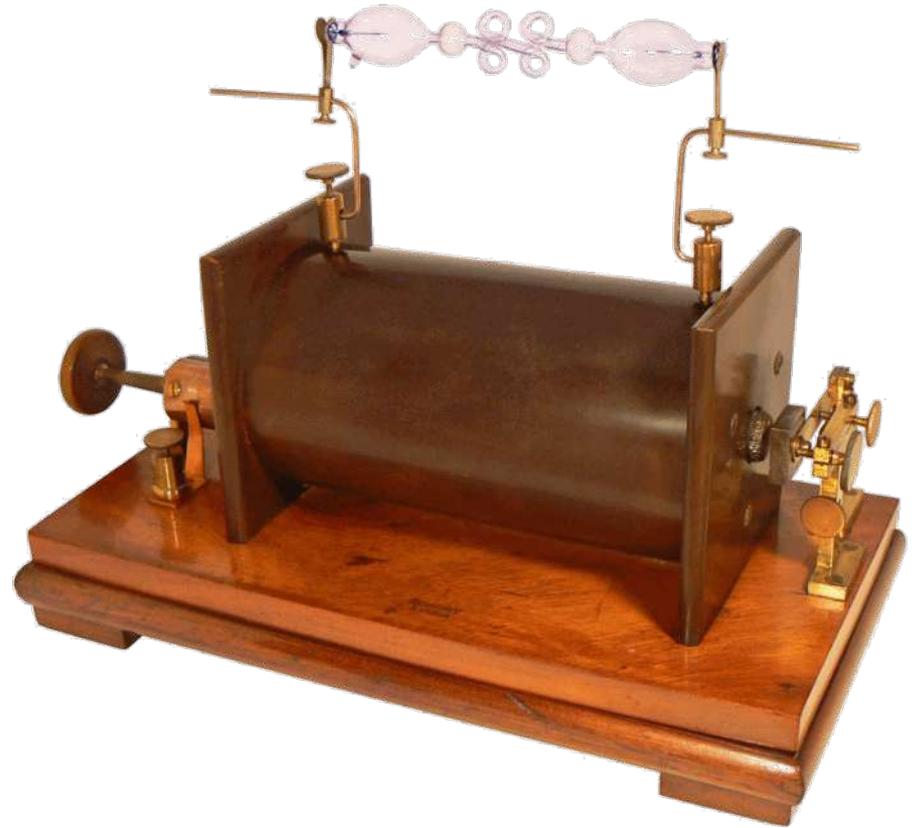
Par Inductiveload, NASA. Translation by Berru (talk) — self-made, information by NASA Based off of File:EM_Spectrum3-new.jpg by NASA The butterfly icon is from the P icon set, P biology.svg The humans are from the Pioneer plaque, Human.svg The buildings are the Petronas towers and the Empire State Buildings, both from Skyscrapercompare.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8756209>

Surface
des étoiles

Cœur
des étoiles

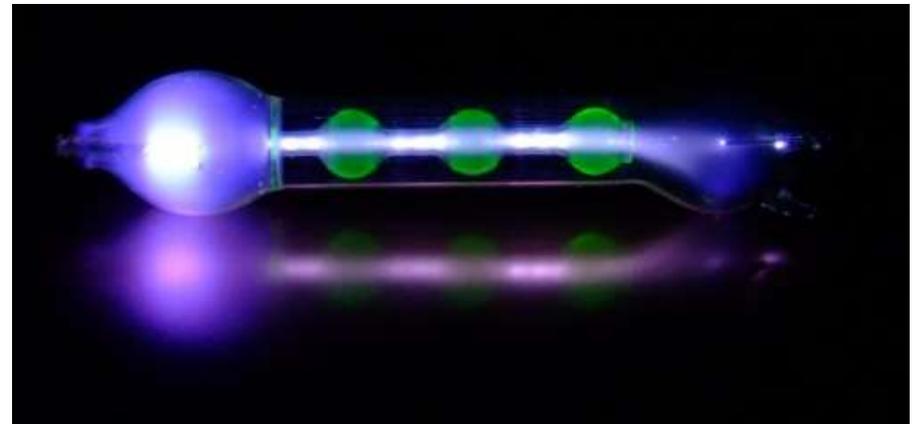
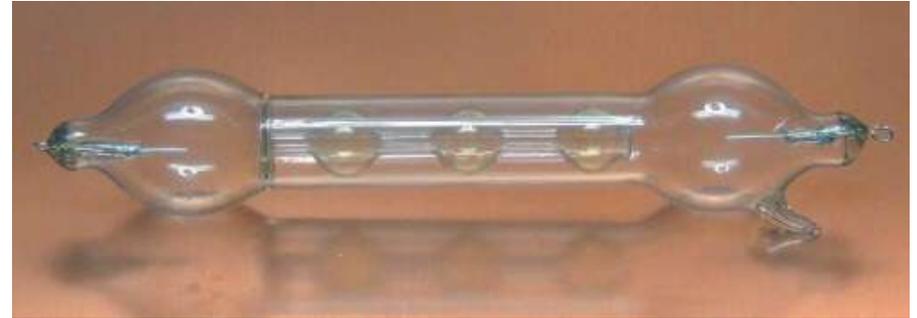
Retour à la source des rayons X

- 1857, Geissler, souffleur de verre et physicien allemand.
 - développe une pompe à vide
 - crée des « tubes de Geissler »



Retour à la source des rayons X

- 1857, Geissler, souffleur de verre et physicien allemand.
 - développe une pompe à vide ($\sim 10^{-5}$ atm)
 - crée des « tubes de Geissler »
- Décharges électriques
 - Plasma rayonnant
 - Fluorescence du verre



Parenthèse artisanale ...

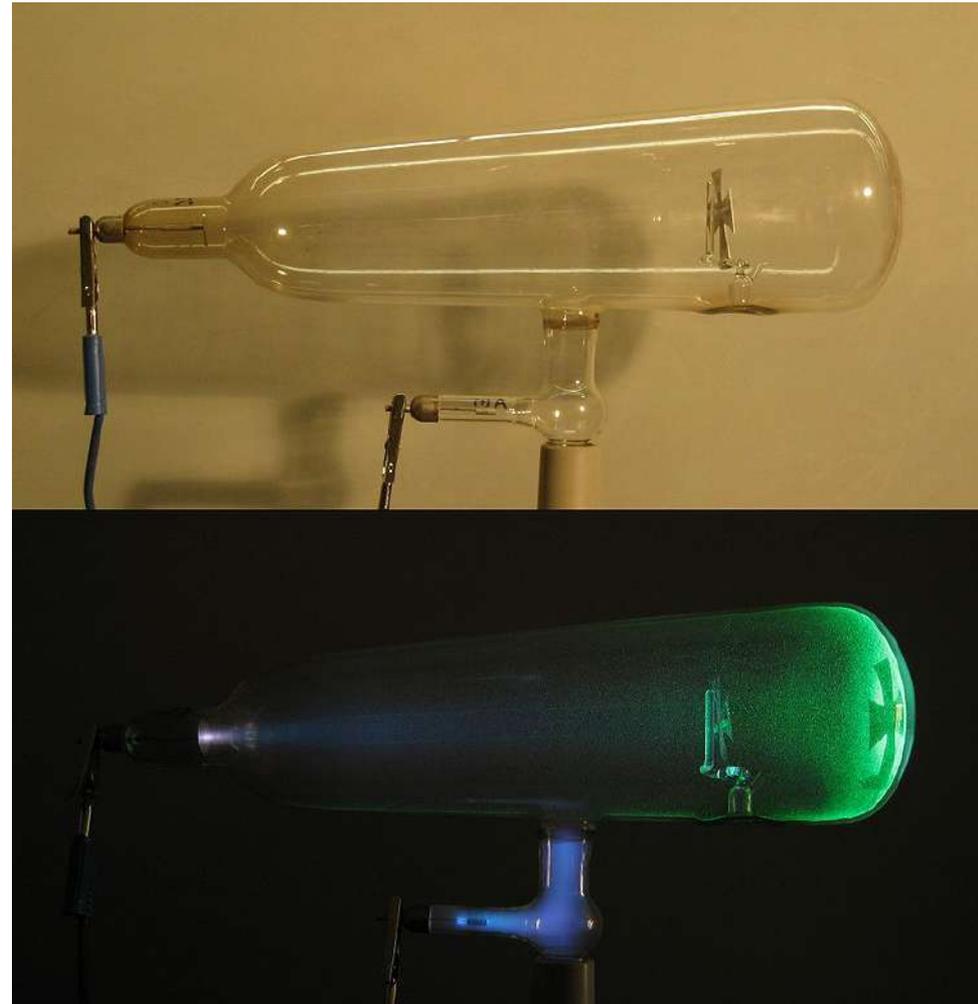
- Oeuvre de Léopold Blashka (1822-1895) et de son fils Rudolf (1857-1939)
 - Verriers originaires de Bohême.
 - Visible au musée zoologique de Strasbourg



Clathrulina Elegans, L. et R. Blaschka, 1890, Verre
/ Musées de Strasbourg / M. Bertola

Retour à la source des rayons X

- 1870, Tube de Crooks
 - Amélioration du vide (10^{-6} - $5 \cdot 10^{-8}$ atm)
 - On impose une haute tension de quelques milliers de volts
- Observation de fluorescence sur le verre... et d'une ombre
- découverte de l'électron par Thomson en 1897)



Author: [D-Kuru/Wikimedia Commons](#)

Licence: [CC-BY-SA-3.0-AT](#)

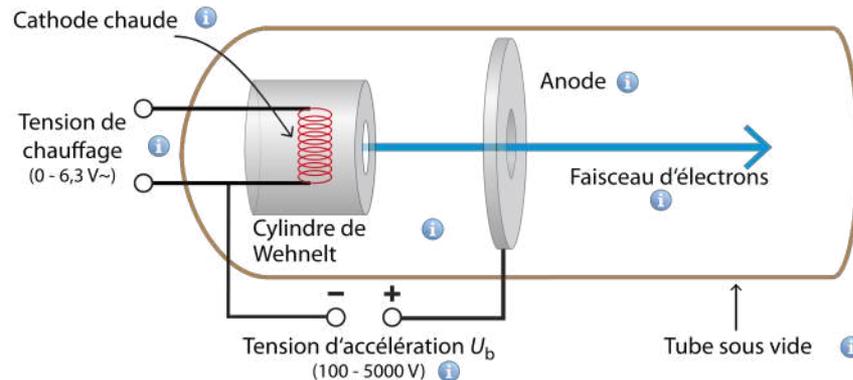
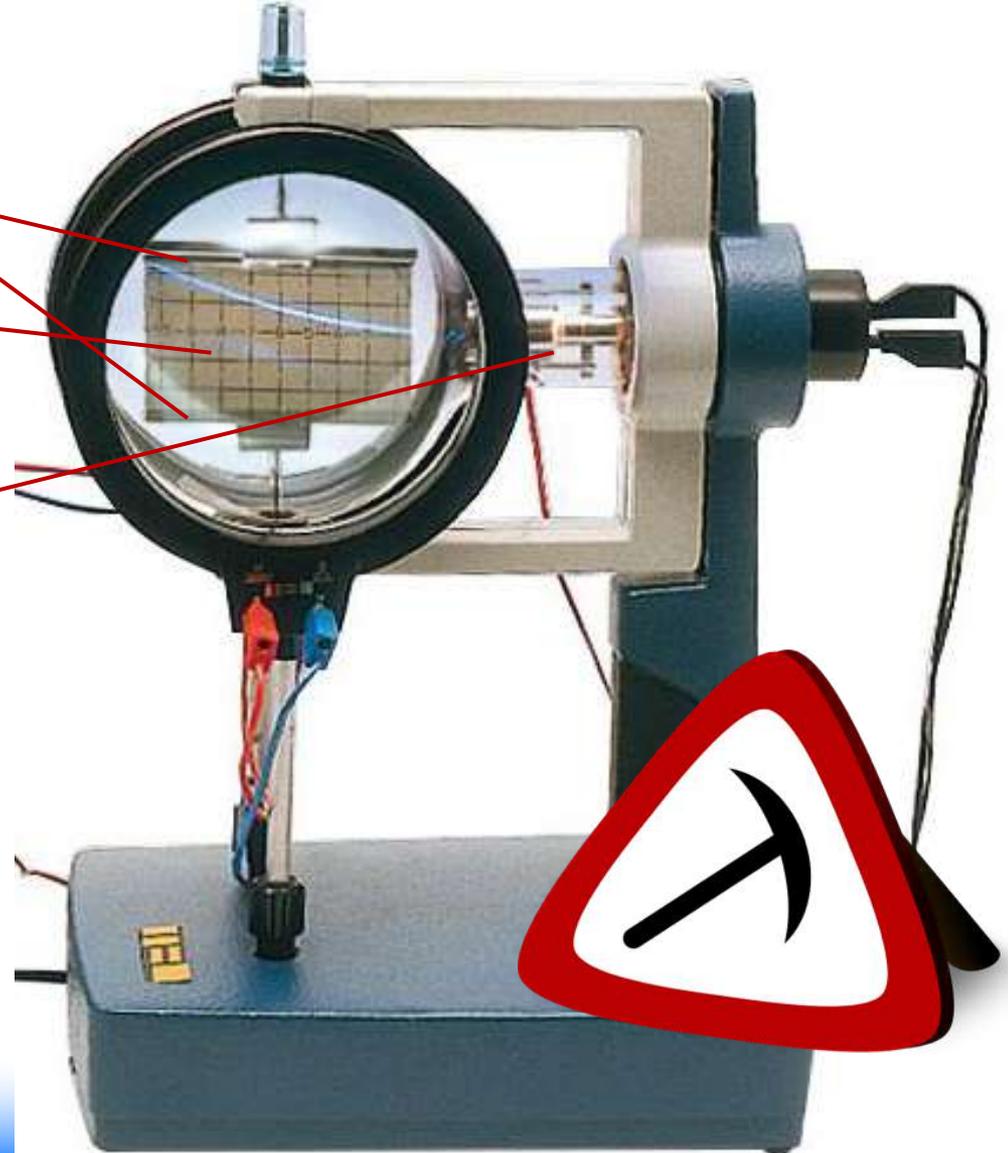
Déflexion des électrons par un champ électrique

- Version moderne du tube de Crooks

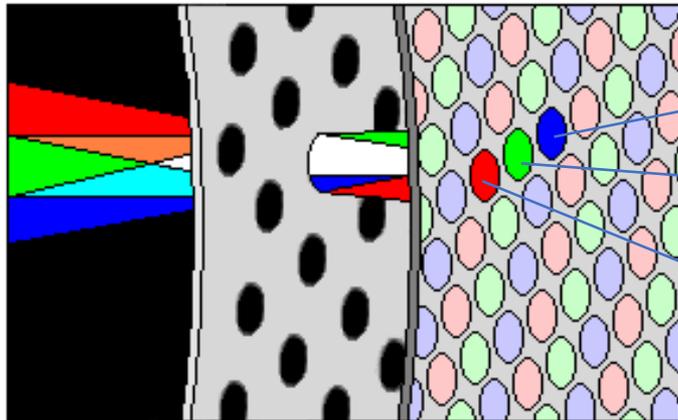
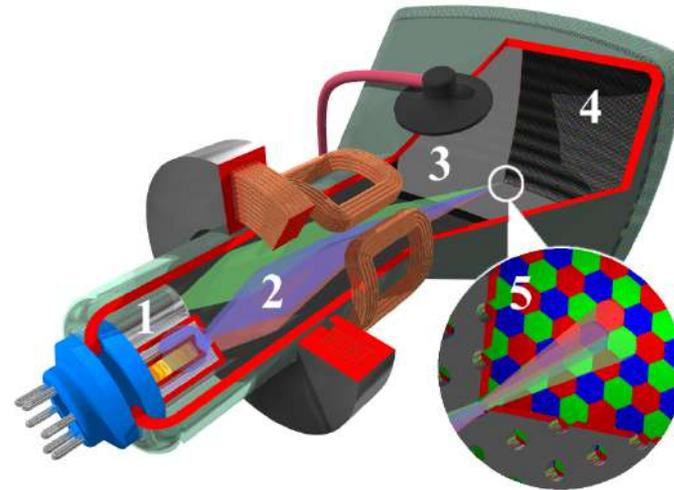
Plaque métallique
produisant un champ
électrique vertical

Écran
phosphorescent

Canon à électrons



Fonctionnement de la télévision cathodique



$\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$
 $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$

$\text{LaPO}_4:\text{Ce}, \text{Tb}$
 $\text{MgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Ce}, \text{Tb}$
 $\text{MgB}_5\text{O}_{10}:\text{Gd}, \text{Ce}, \text{Tb}$

$\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$

Rayons X... à la source

- **Wilhelm Röntgen**, Le soir du 8 novembre 1895, Röntgen observe qu'à la décharge d'un tube de Crooks, complètement enrobé de carton noir, scellé pour en exclure toute lumière et ceci dans une chambre noire, un carton couvert d'un côté de baryum platino-cyanide devient fluorescent lorsqu'il est frappé par les rayons émis du tube, et ce jusqu'à une distance de deux mètres. Lors d'expériences subséquentes, il place divers objets entre une plaque photographique et la source de rayonnement et il se rend compte qu'ils ont une transparence variable. Il expérimente ensuite avec la main de son épouse placée sur le parcours des rayons. Au développement, il s'aperçoit que l'image est l'ombre des os de la main de son épouse, son alliance y étant visible. ...



© Domaine public, Photographie de la main d'Anna Bertha Ludwig Röntgen prise le **22 décembre 1895** par Wilhelm Röntgen.

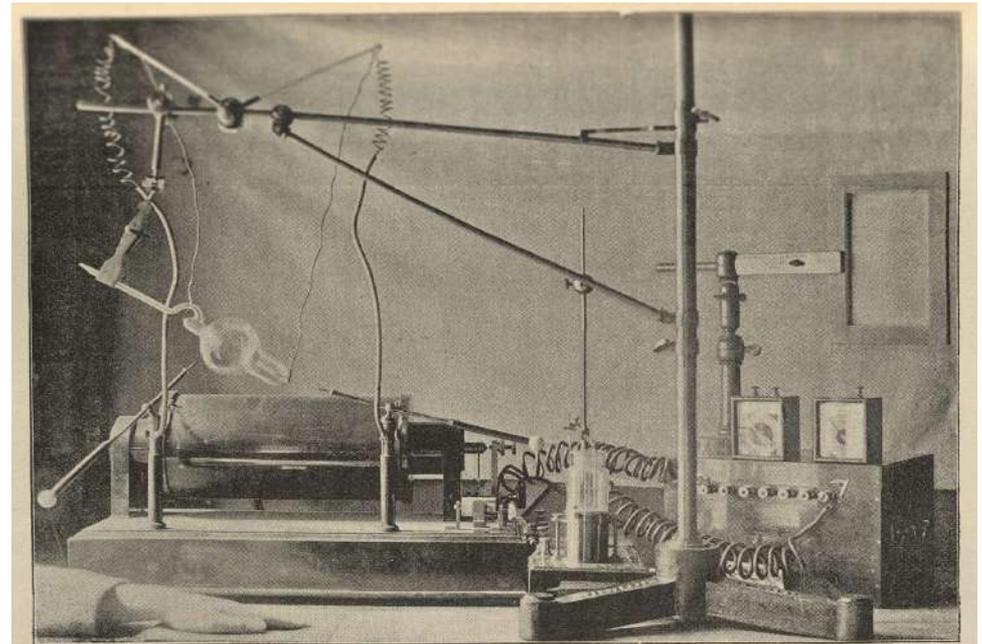


FIG. 17.—COMPLETE APPARATUS FOR RÖNTGEN-RAY WORK, CONSISTING OF SECONDARY BATTERY, VOLTMETER, AMMETER, APPS' INDUCTION COIL WITH ORDINARY AND MERCURIAL BREAK, ROWLAND'S STAND, FOCUS TUBE, FLUORESCENT SCREEN ON STAND, AND HAND IN POSITION UPON PHOTOGRAPHIC PLATE.

Rayons X... à la source

- **Wilhelm Röntgen**, Le soir du 8 novembre 1895, Röntgen observe qu'à la décharge d'un tube de Crooks, complètement enrobé de carton noir, scellé pour en exclure toute lumière et ceci dans une chambre noire, un carton couvert d'un côté de baryum platino-cyanide devient fluorescent lorsqu'il est frappé par les rayons émis du tube, et ce jusqu'à une distance de deux mètres. Lors d'expériences subséquentes, il place divers objets entre une plaque photographique et la source de rayonnement et il se rend compte qu'ils ont une transparence variable. Il expérimente ensuite avec la main de son épouse placée sur le parcours des rayons. Au développement, il s'aperçoit que l'image est l'ombre des os de la main de son épouse, son alliance y étant visible. ...



© Domaine public, Photographie de la main d'Anna Bertha Ludwig Röntgen prise le **22 décembre 1895** par Wilhelm Röntgen.



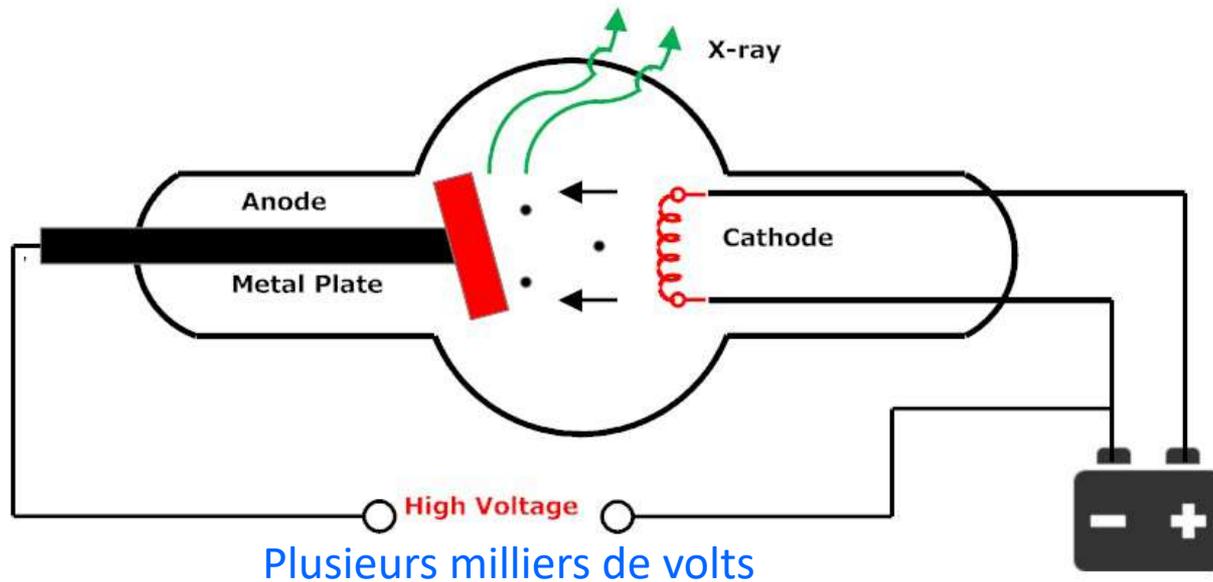
© Domaine public, Photographie de la main d'Albert von Kolliker prise le **23 janvier 1896** par Wilhelm Röntgen.

Rayons X... à la source

- Le 28 décembre 1895, Röntgen publie sa découverte dans un article intitulé « *Über eine neue Art von Strahlen* ». Il tire quatre conclusions dans son article qui lui vaudra le prix Nobel en 1901 :
 - les rayons X sont absorbés par la matière ; leur absorption est en fonction de la masse atomique des atomes absorbants ;
 - les rayons X sont diffusés par la matière ; c'est le rayonnement de fluorescence ;
 - les rayons X impressionnent la plaque photographique ;
 - les rayons X déchargent les corps chargés électriquement.

Rayons X... Explication

- Des électrons sont accélérés et envoyés sur une cible. L'interaction des électrons avec la cible produit des rayons X.

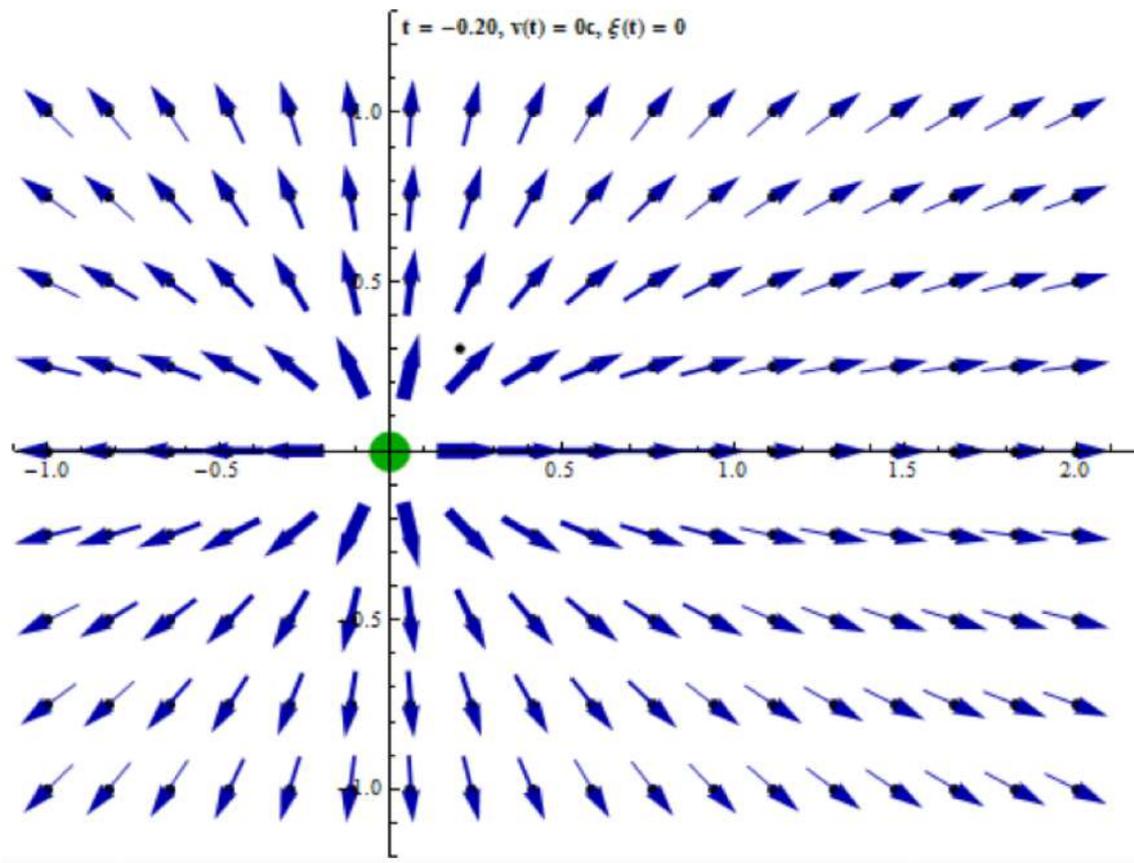


R. Nave

(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xterm.html#c1>)

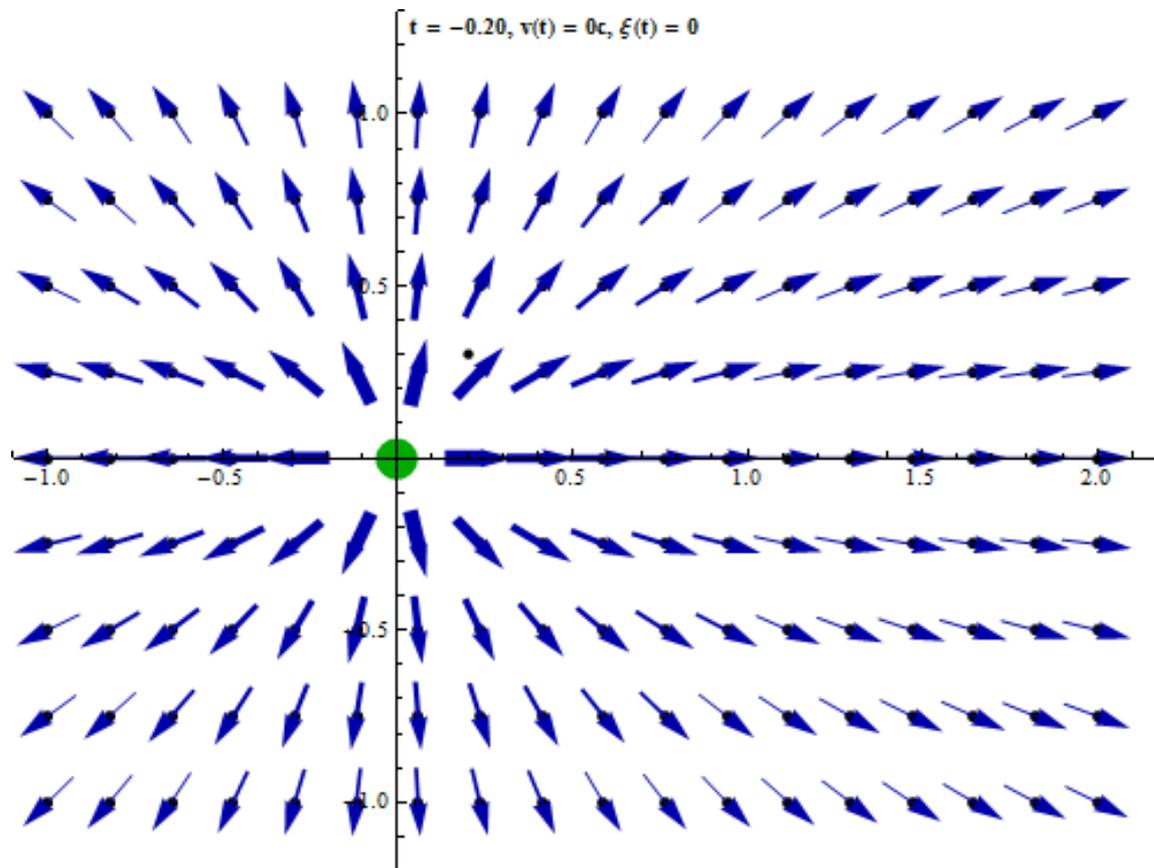
Mouvement de charge et onde

- Le champ électrique est dirigé radialement vers ou depuis une charge électrique. Si la charge bouge, le champ électrique doit s'y adapter, à la vitesse de la lumière.



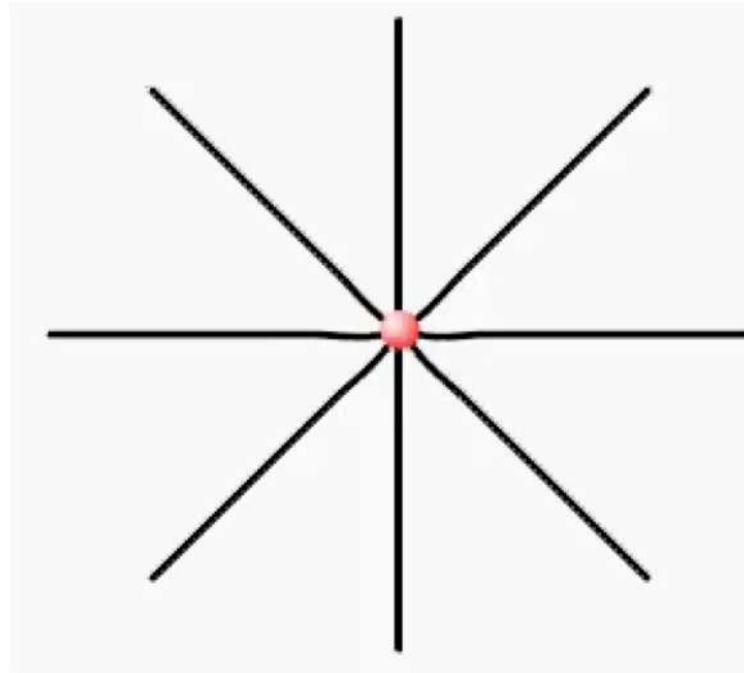
Mouvement de charge et onde

- Le champ électrique est dirigé radialement vers ou depuis une charge électrique. Si la charge bouge, le champ électrique doit s'y adapter, à la vitesse de la lumière. Cela crée une onde.



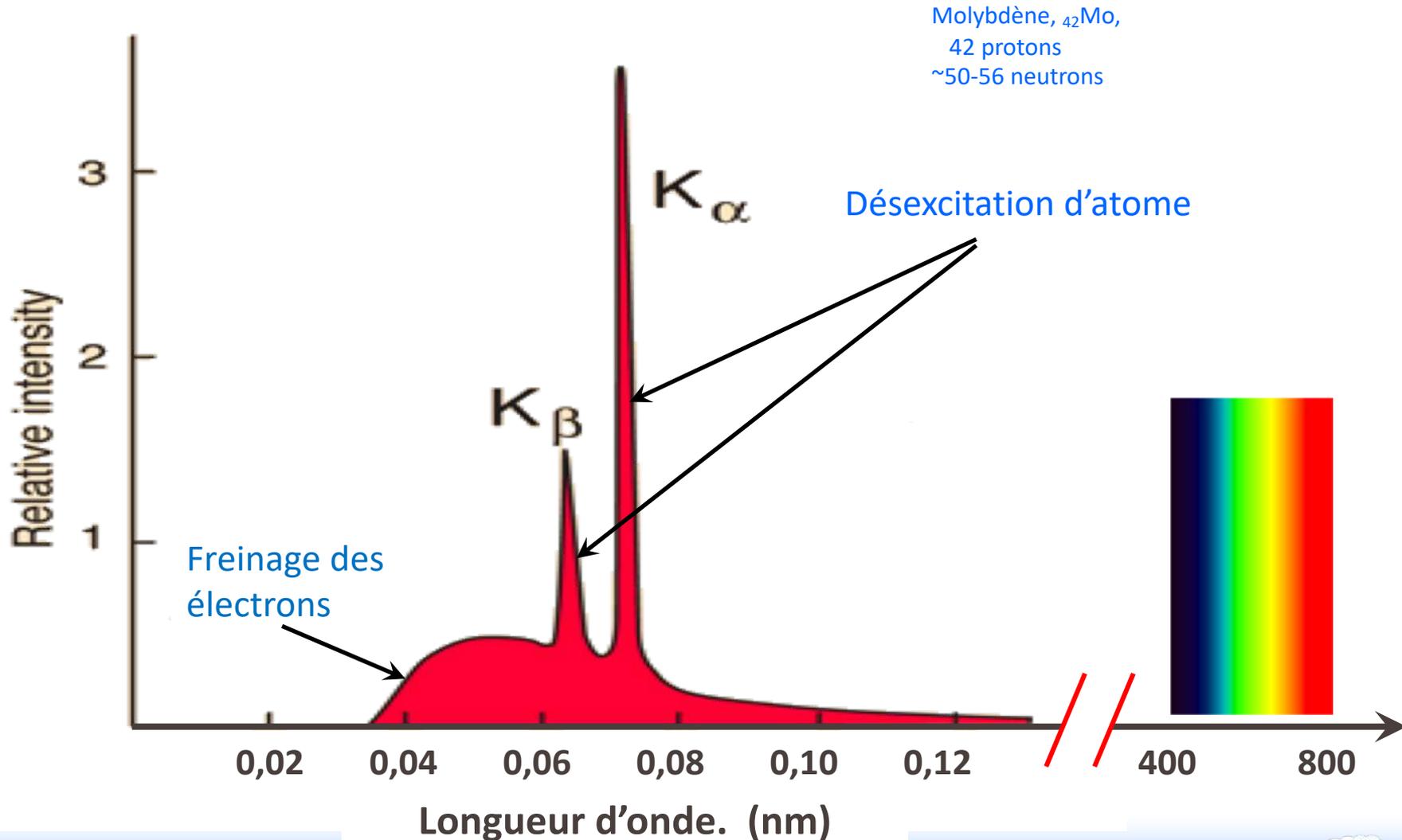
Mouvement de charge et onde

- Charge oscillante. C'est l'accélération de la charge qui crée l'onde.



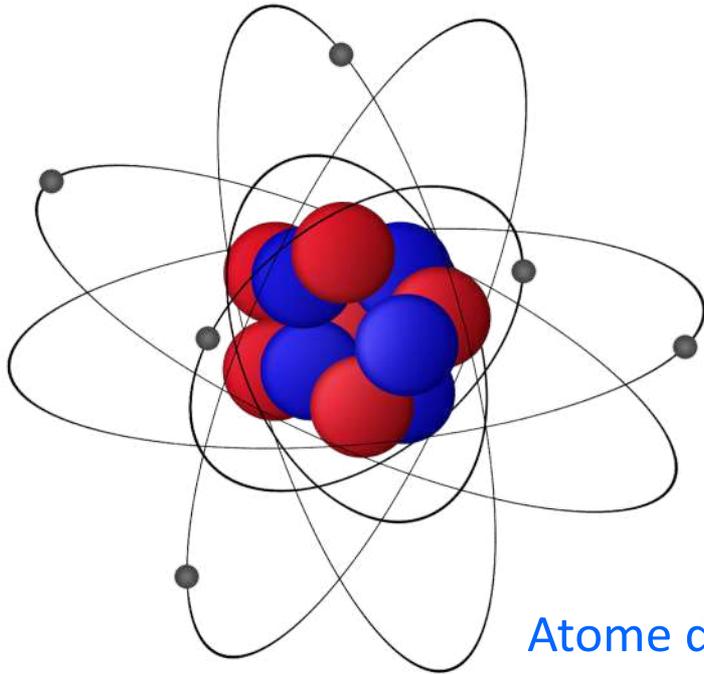
Rayons X... Explication

- On observe un spectre de ce type (cible de Molybdène):



Rayons X... Explication

- **Modèle d'atome de Bohr (1913),**
améliorée par la découverte du proton (1919) et du neutron (1932)



Atome de Carbone:

- 6 protons
- 6-8 neutrons

Des électrons tournent autour d'un noyau composé de protons et de neutrons

Si un électron reçoit de l'énergie, il peut orbiter plus loin. On dit que l'atome est excité.

Rayons X... Explication

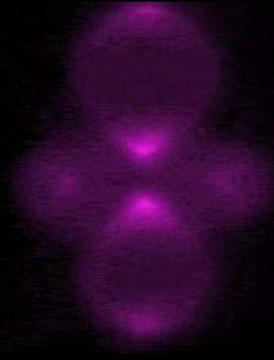
- Modèle d'atome plus moderne
 - Probabilité de présence des électrons autour du noyau
 - Le noyau est invisible à cette échelle (trop petit)



1^{er} niveau
d'énergie
(le plus bas)



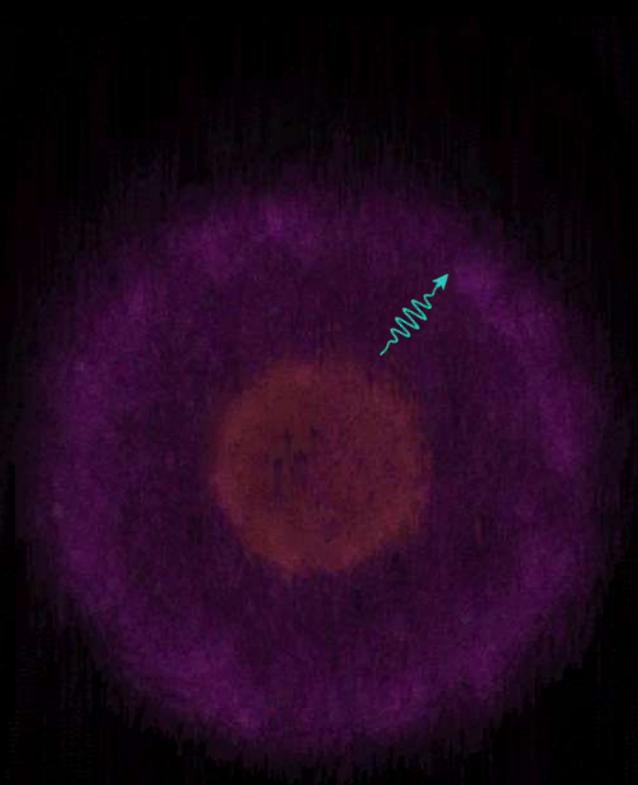
2^{ème} niveau
d'énergie



3^{ème} niveau
d'énergie

Rayons X... Explication

- Freinage des électrons dans le matériau

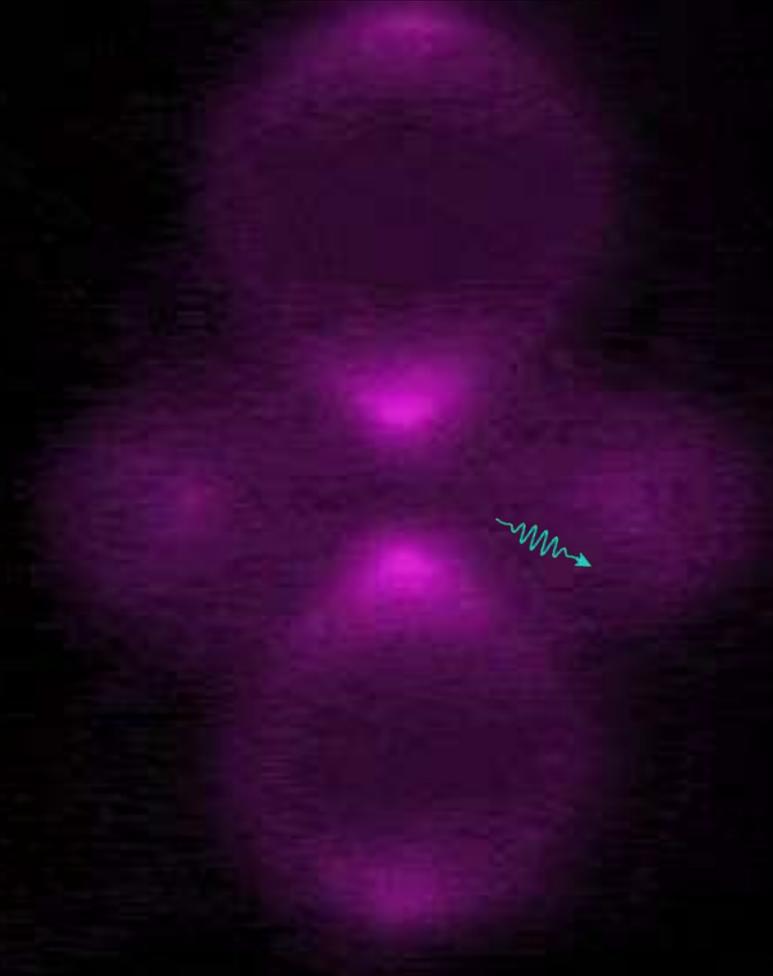


● Électron

→ photon

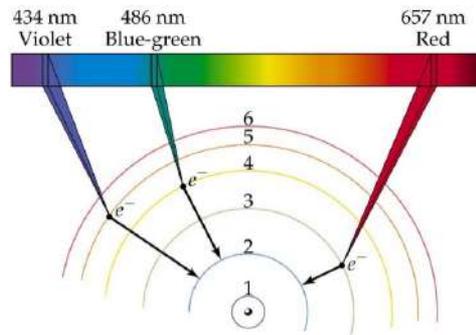
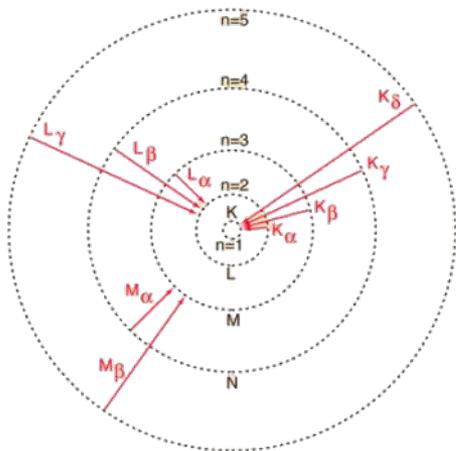
Rayons X... Explication

- Excitation - désexcitation d'atome



Rayons X... Explication

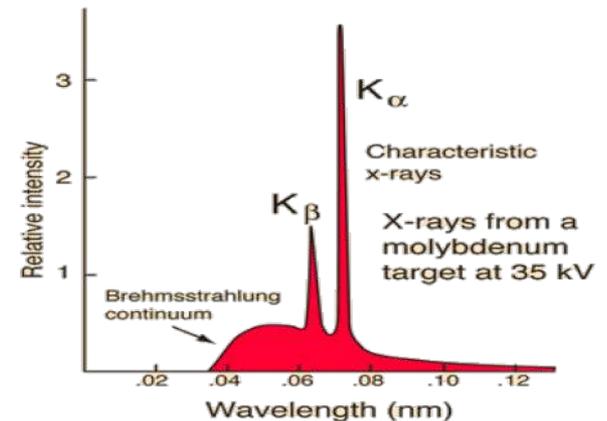
- Retour au modèle atomique de Bohr:
 - Les électrons tournent autour du noyau
 - Les couches externes sont plus énergétiques
 - On peut calculer la longueur d'onde d'une transition



Light emission (luminescence) from hydrogen atom energy-level jumps

https://bradlevystockwell.files.wordpress.com/2015/02/fq09_12.jpg

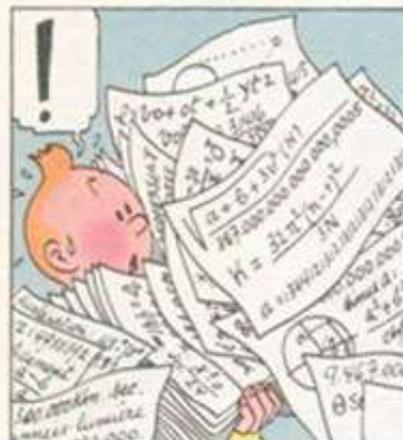
$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$



Molybdène
(42 protons, 50-56 neutrons)

Parenthèse astronomique

- Dans l'étoile mystérieuse, le professeur Calys prédit la fin du monde...



Parenthèse astronomique

- Mais cela ne l'empêche pas de faire une belle découverte



Parenthèse astronomique

- Mais cela ne l'empêche pas de faire une belle découverte

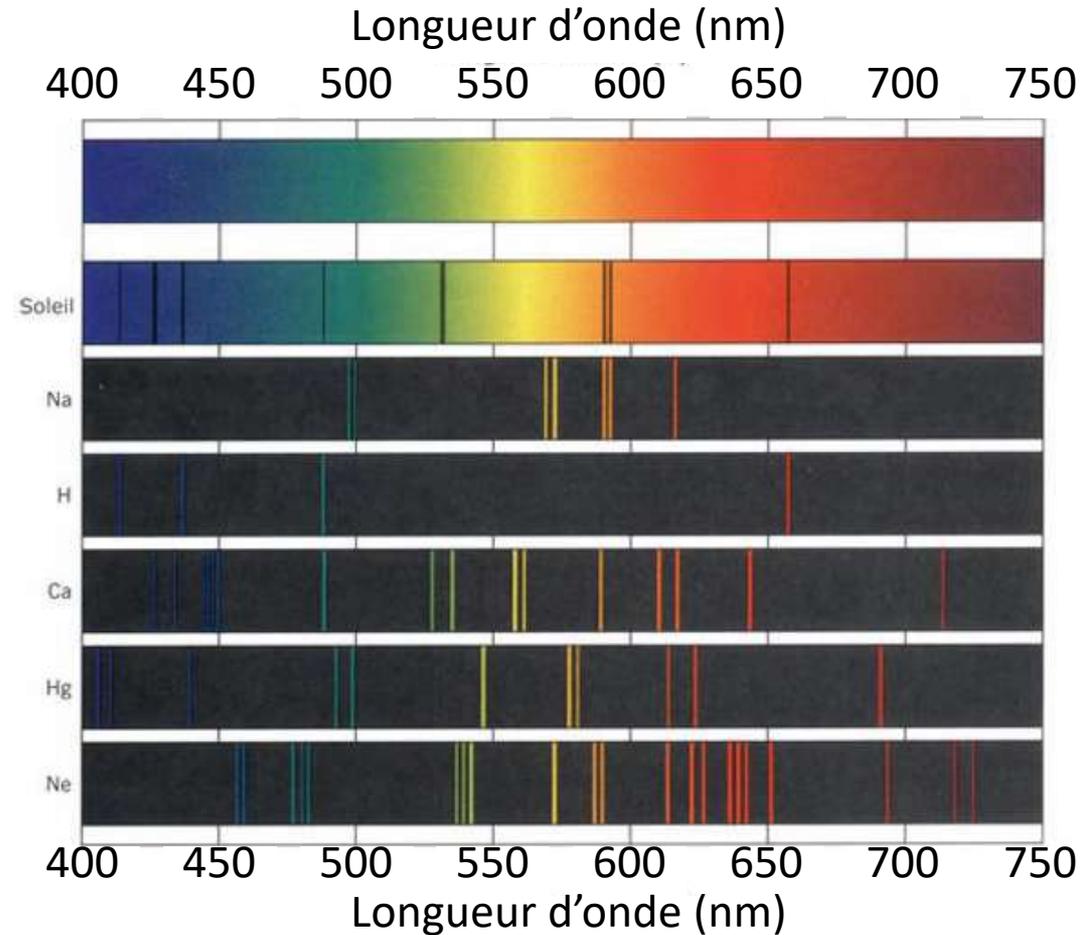
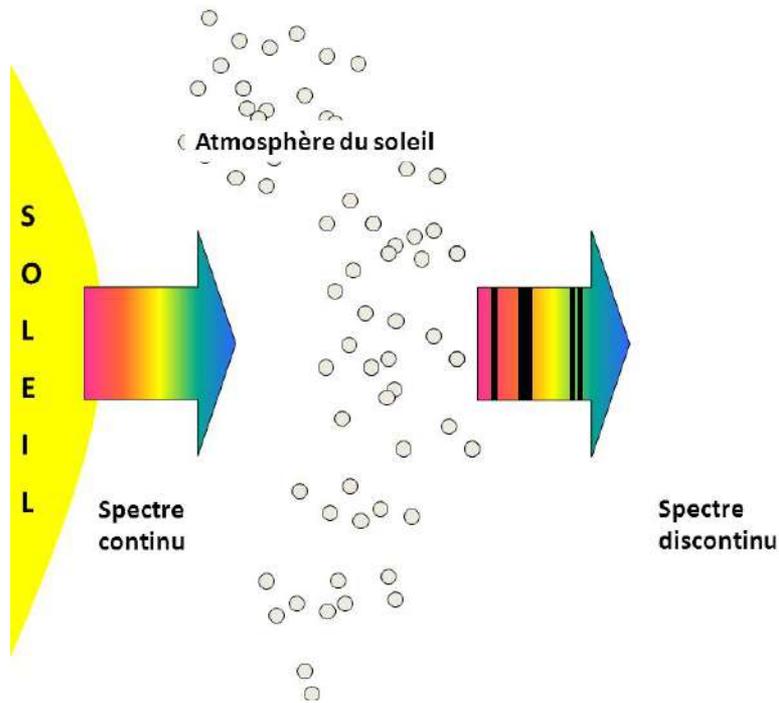


Vous avez tout pour comprendre comment... Une idée ?



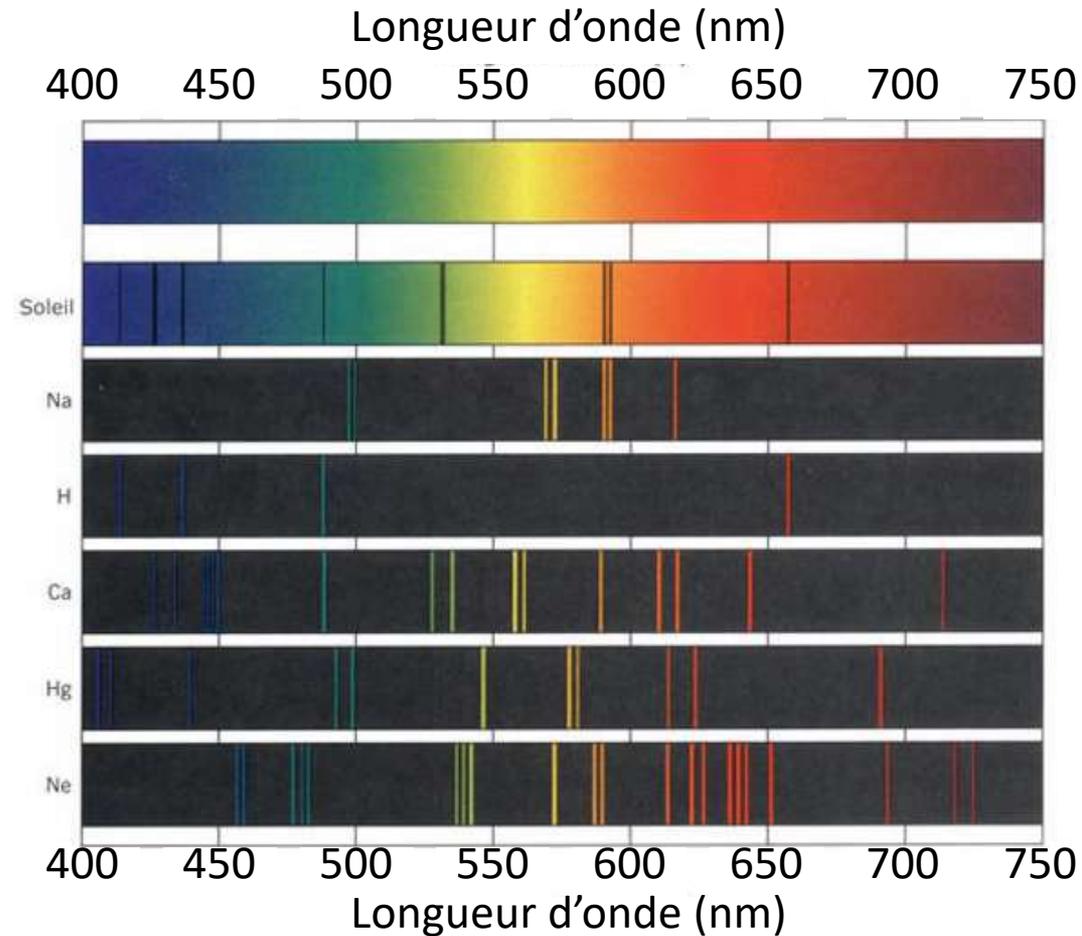
Parenthèse astronomique

- L'exemple du soleil



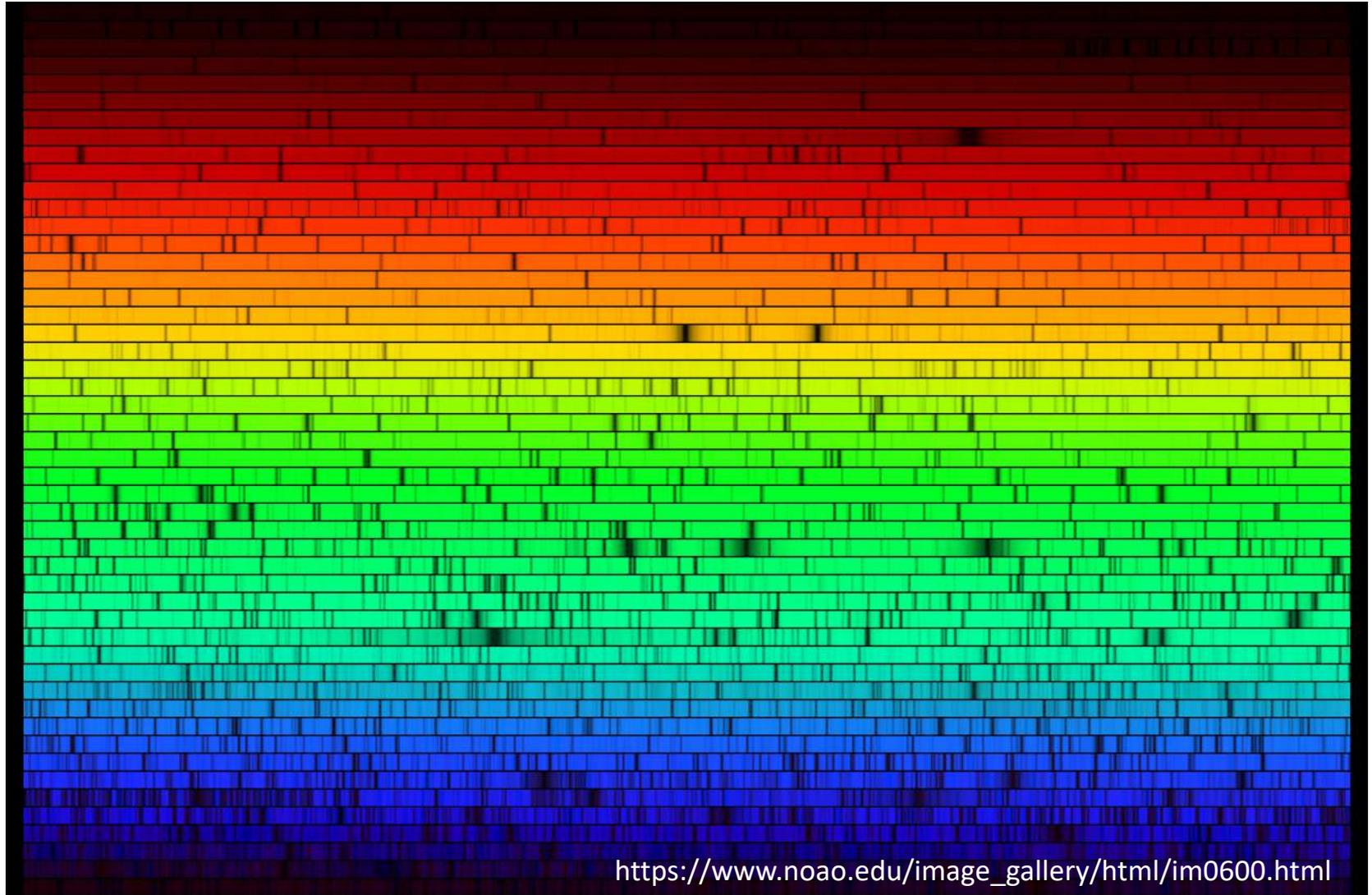
Parenthèse astronomique

- Chaque type d'atome émet des longueurs d'onde différentes en se désexcitant
- Il peut également absorber des rayonnements de ces longueurs d'onde

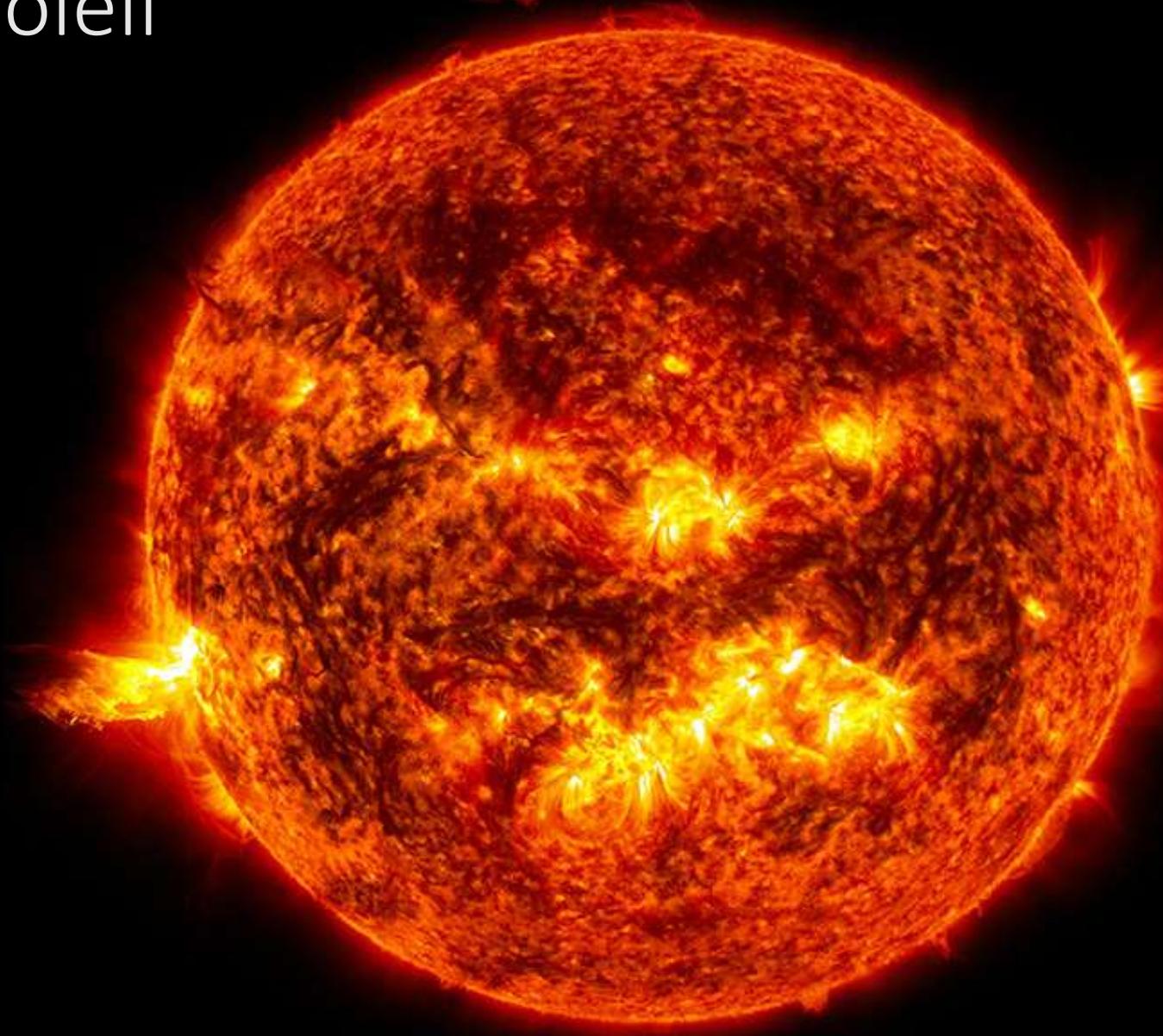


Parenthèse astronomique

Spectre du soleil

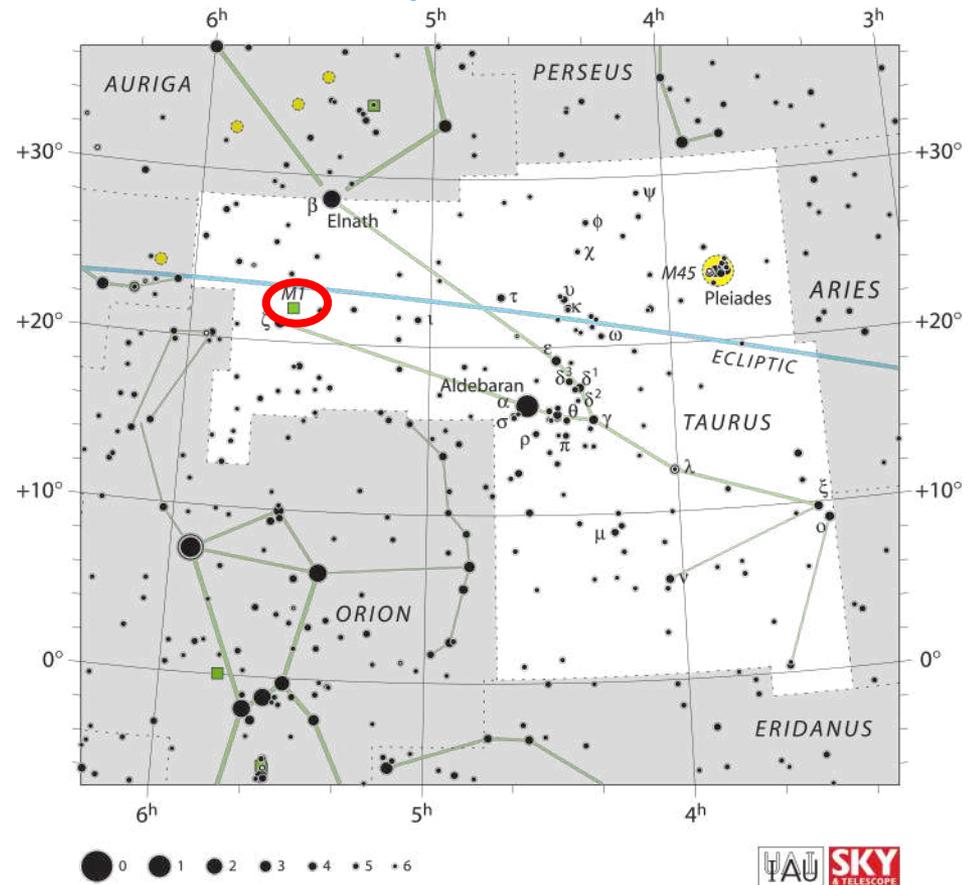
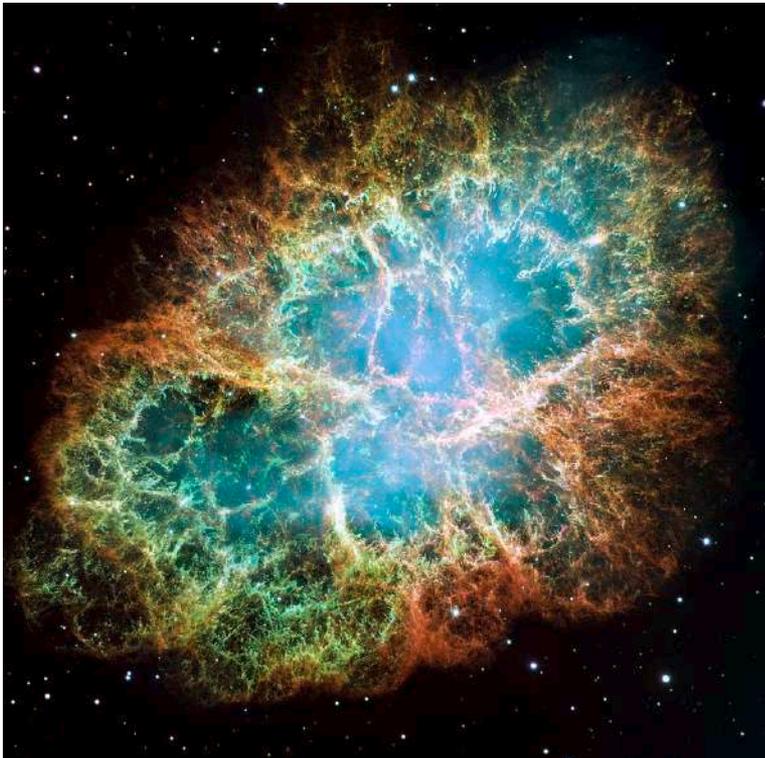


Le soleil



Parenthèse astronomique

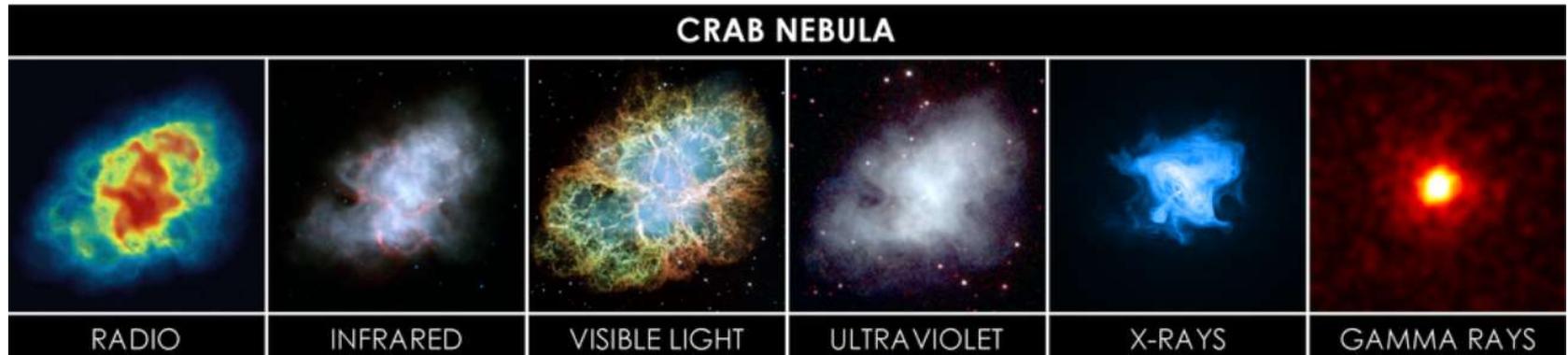
- La nébuleuse du crabe résulte de l'explosion d'une étoile massive



| | |
|--------------------------------|--|
| <u>Ascension droite</u> | 05 ^h 34 ^m 31,97 ^s |
| <u>Déclinaison</u> | +22° 00' 52,1'' |
| <u>Coordonnées galactiques</u> | $l = 184,5575 \cdot b = -05,7843$ |
| <u>Constellation</u> | Taureau |

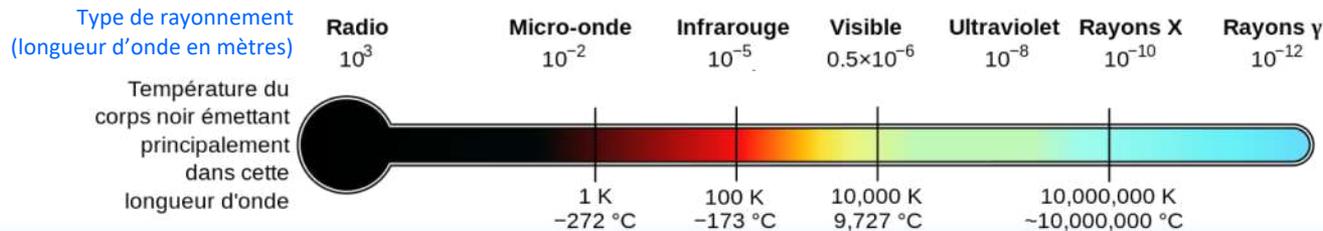
Parenthèse astronomique

- La nébuleuse du crabe résulte de l'explosion d'une étoile massive
 - Observée par un astronome chinois durant la période de la dynastie Song de juillet 1054 à avril 1056



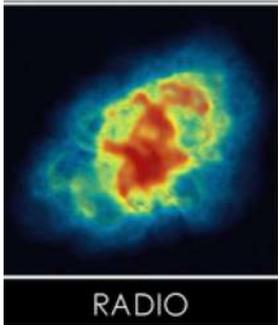
The crab nebula in radio, infrared, visible, ultraviolet, x-ray and gamma-ray wavelengths.

Sources: Radio: NRAO/AUI and M. Bietenholz, J.M. Uson, T.J. Cornwell; Infrared: NASA/JPL-Caltech/R. Gehrz (University of Minnesota); Visible: NASA, ESA, J. Hester and A.Loll (Arizona State University); Ultraviolet: NASA/Swift/E. Hoversten, PSU, X-ray: NASA/CXC/SAO/F. Seward et al.; Gamma: NASA/DOE/Fermi LAT/R. Buehler



Parenthèse astronomique

- Le « Very Large Array » (VLA)
 - 27 antennes radio sur le site de Socorro au Nouveau-Mexique.
 - Chaque antenne mesure 25 mètres de diamètre.



nébuleuse du crabe



Parenthèse astronomique

- Le Spitzer Space Telescope

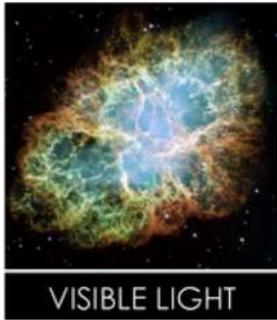


nébuleuse du crabe



Parenthèse astronomique

- Le télescope Hubble

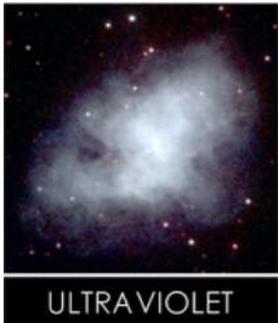


nébuleuse du crabe

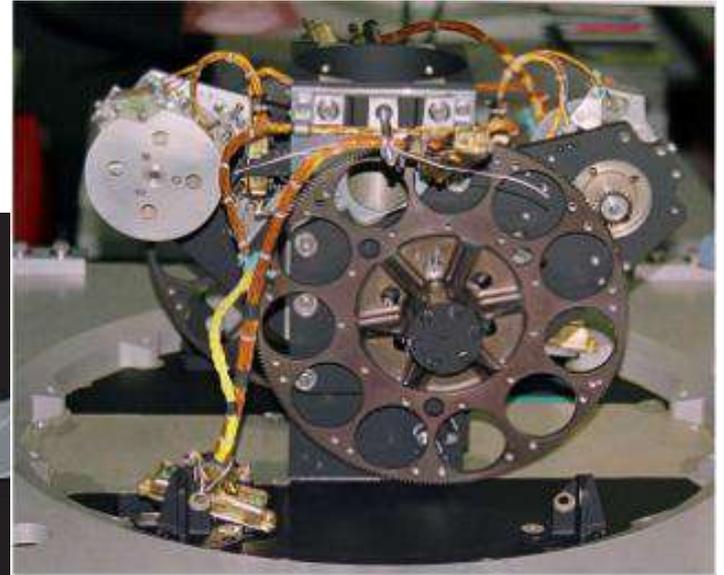
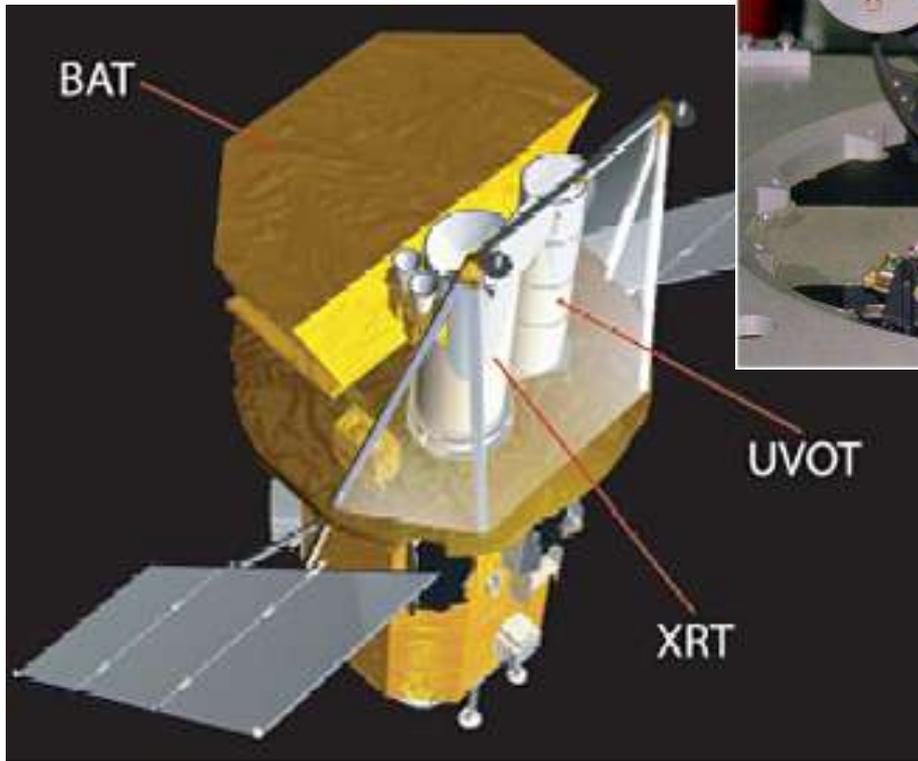


Parenthèse astronomique

- Swift UVOT



nébuleuse du crabe

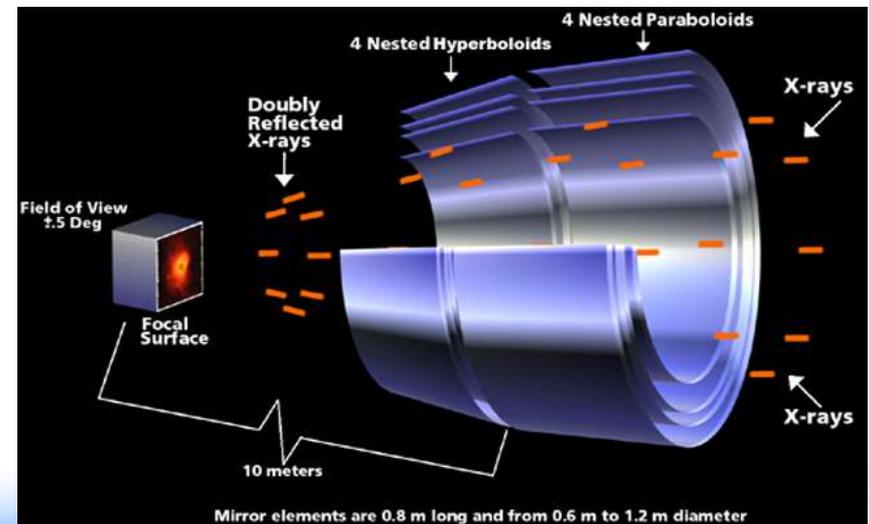


Parenthèse astronomique

- Chandra

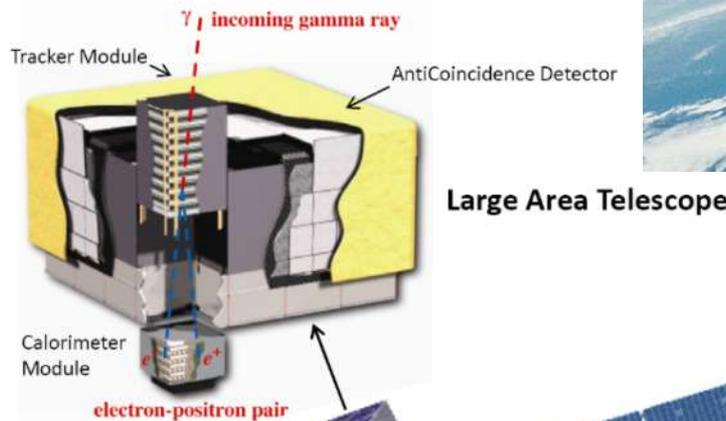
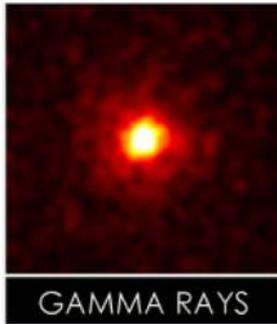


nébuleuse du crabe

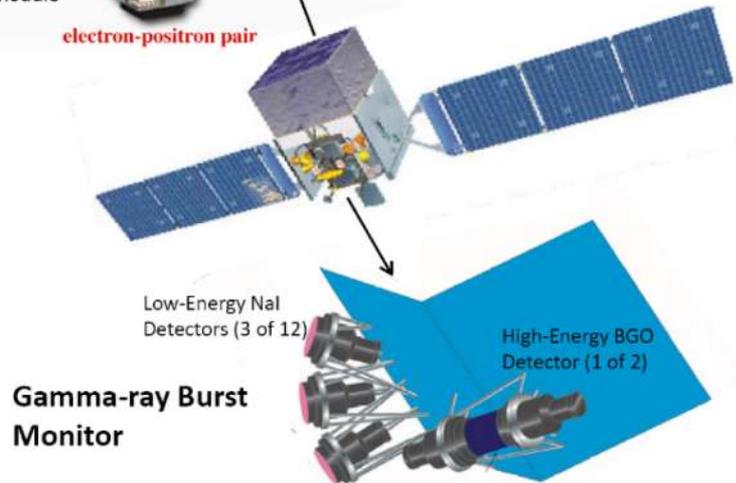


Parenthèse astronomique

- FERMI



Large Area Telescope



Gamma-ray Burst Monitor

nébuleuse du crabe

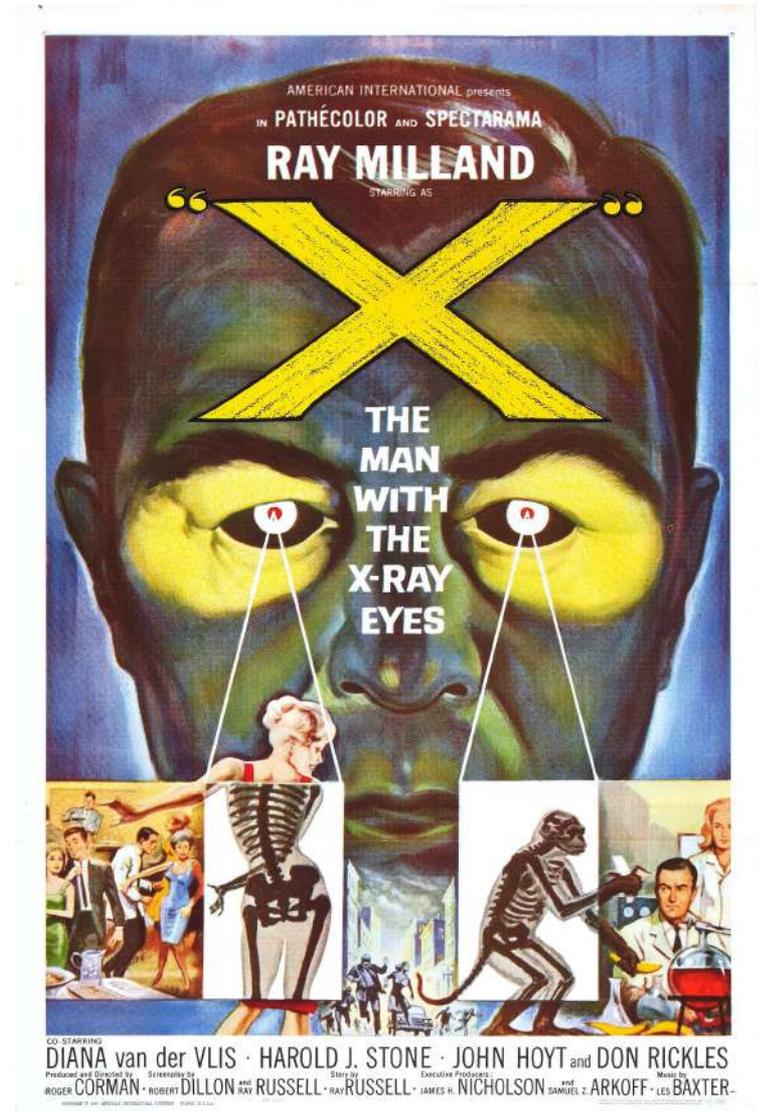
Super vision (X: The Man with the X-ray Eyes)

- Conclusion

- Le Dr Xavier a probablement un accélérateur d'électrons de quelques milliers de volts dans les yeux. Ils produisent des rayons X.



L'anguille électrique peut produire des décharges électriques de 600 V et 1 Ampère

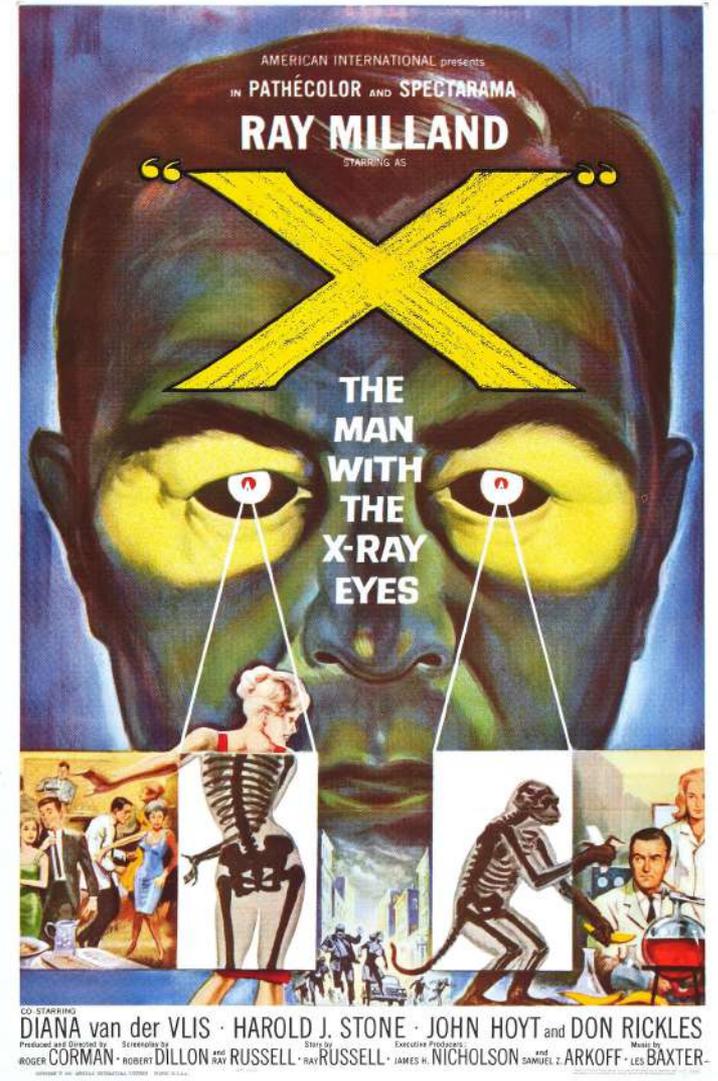


By Reynold Brown - http://wrongsideofheart.com/wp-content/gallery/posters-x/x_poster_01.jpg, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24919723>

Super vision (X: The Man with the X-ray Eyes)

- Conclusion

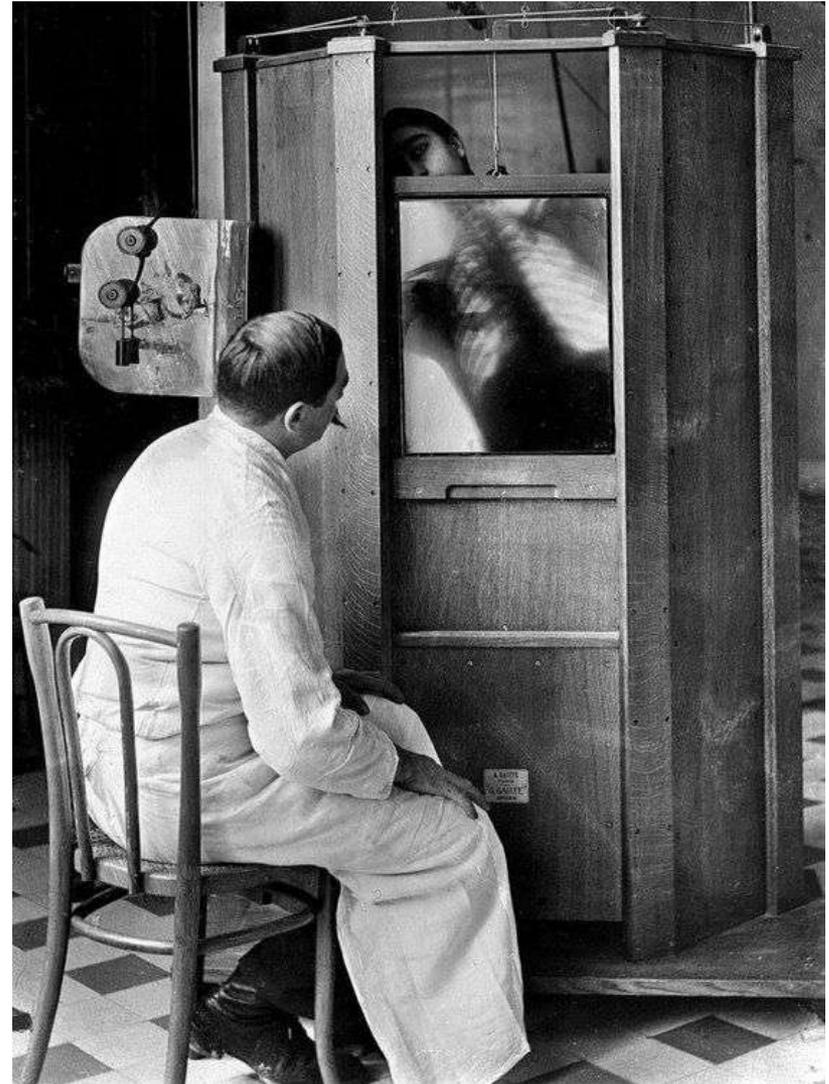
- Le Dr Xavier a probablement un accélérateur d'électrons de quelques milliers de volts dans les yeux. Ils produisent des rayons X.
- Ces rayons X diffusent sur les objets et sont réémis dans toutes les directions... Mais pas en lumière visible car personne ne se rend compte de ce qui se passe.
- Les yeux du Dr X doivent être capables de déterminer très précisément les longueurs d'onde réfléchies par les corps.
- Son cerveau a également muté et possède de façon quasi immédiate la capacité d'analyser ce nouveau type d'informations.



By Reynold Brown - http://wrongsidetheheart.com/wp-content/gallery/posters-x/x_poster_01.jpg, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24919723>

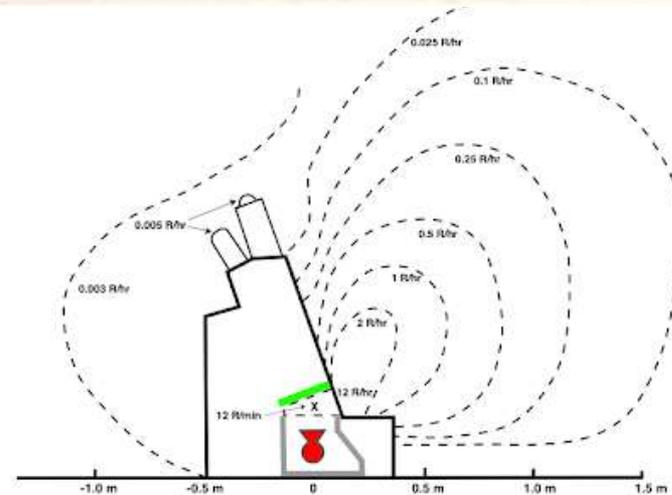
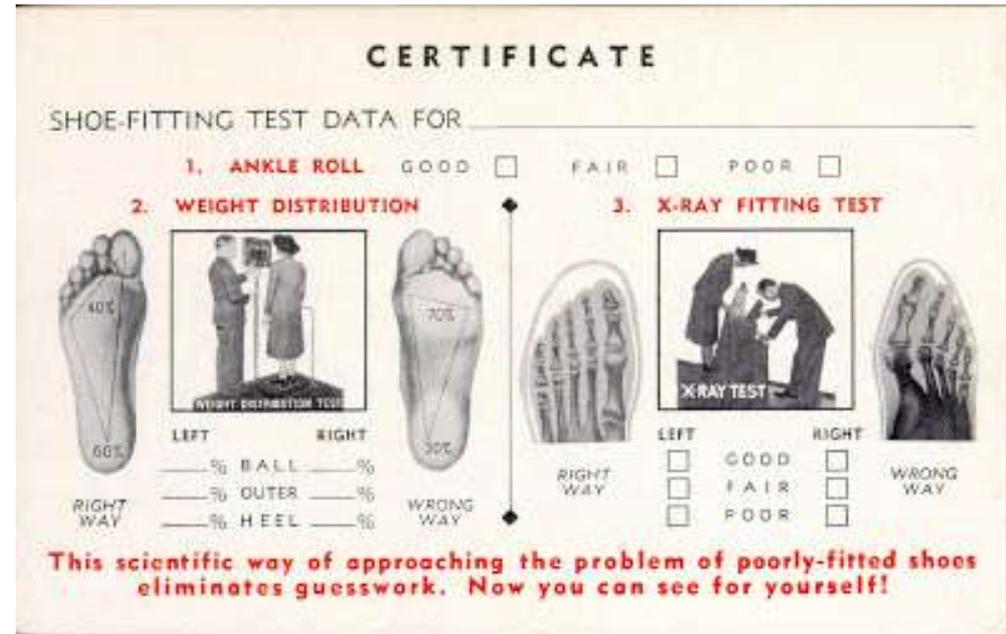
Super vision: quelques réalisations

- Radioscopie,
service radiologie du Dr Maxime Menard,
hôpital Cochin, c.1914 v/@DrLindseyFitz
- Les rayons X traversent le corps. On obtient une projection des tissus traversés.
- Un écran fluorescent permet de visualiser directement l'image (fluoroscopie).



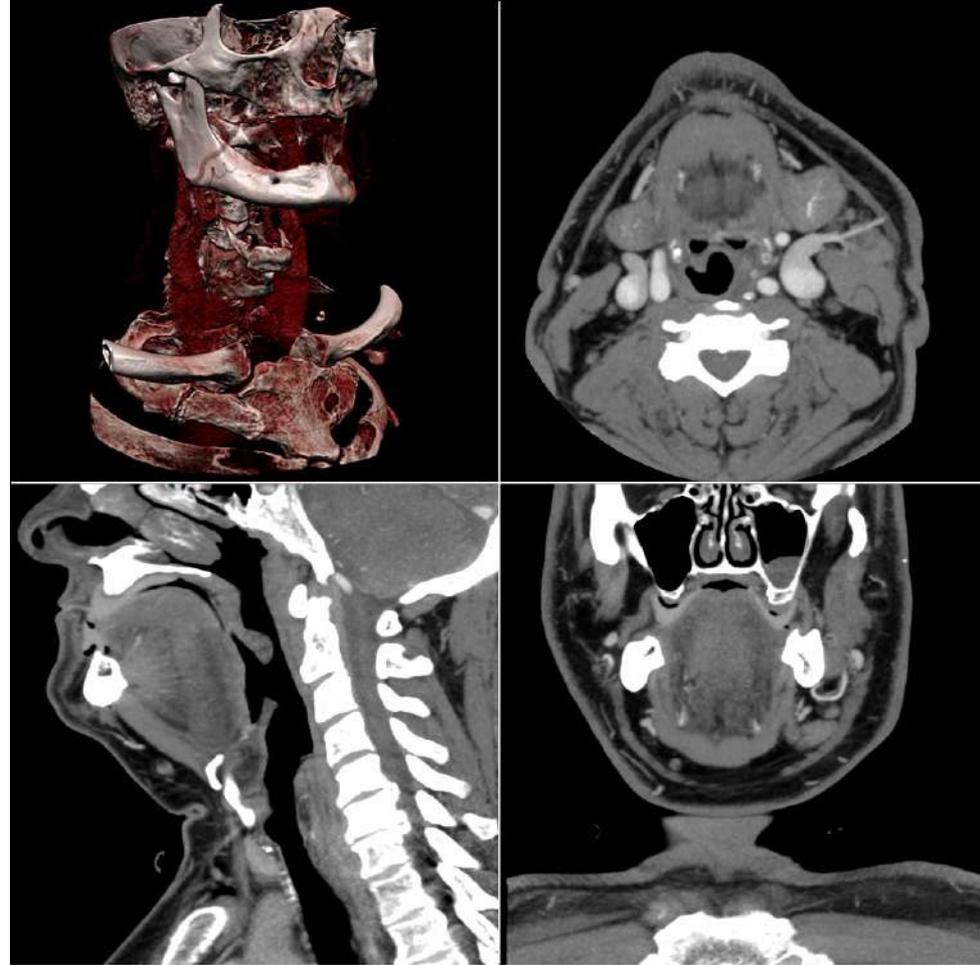
Super vision: quelques réalisations

- Fluoroscope utilisé dans des magasins de chaussures (1920-50)



Super vision: quelques réalisations

- **CT scan** (Computed Tomography scanner, 1970)
 - A partir de nombreuses images projectives, on réalise une image en trois dimensions.
 - Transformée de Radon (outil mathématique inventé en 1917 par Johan Radon).



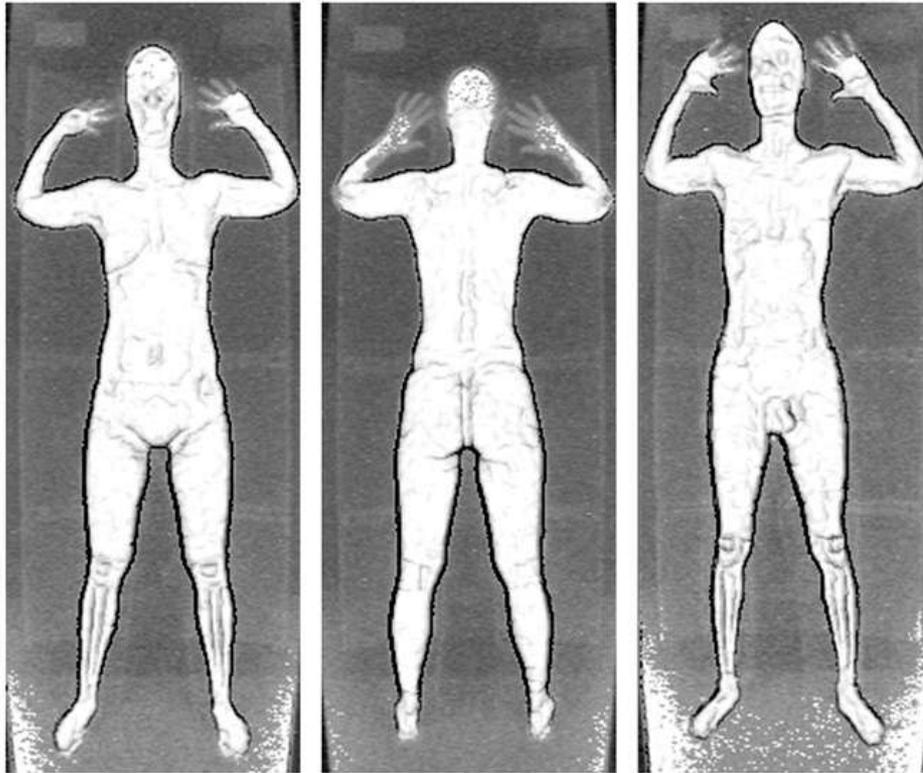
Super vision: quelques réalisations

- Vérification des bagages
 - Les rayons traversent les bagages
 - La perte d'énergie des rayons dépend des matériaux traversés
 - Le système est capable de différencier les matériaux
 - Organiques (orange)
 - Inorganiques
 - Métaux



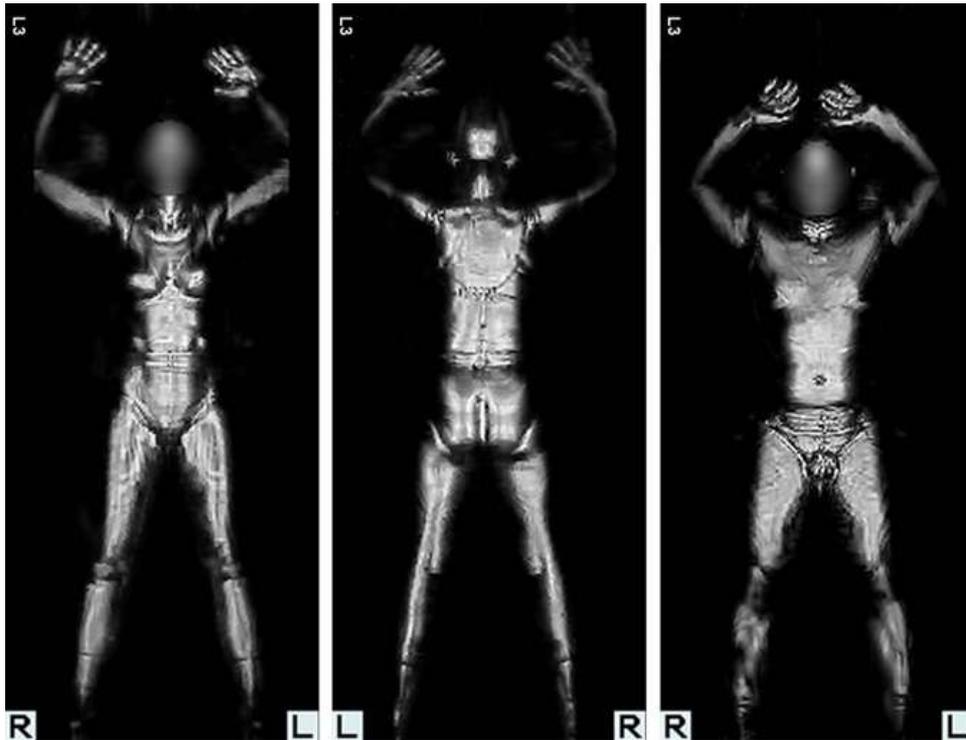
Super vision: quelques réalisations

- Scanner corporel à rayons X (1992-2012)
 - On analyse les rayons X réfléchis par le corps



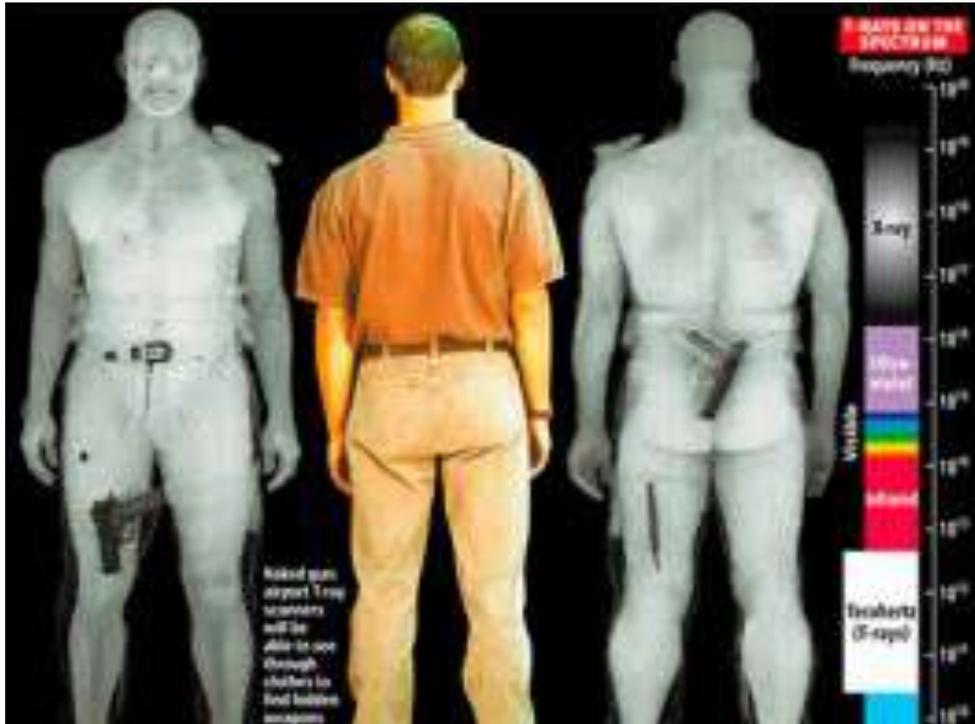
Super vision: quelques réalisations

- Scanner corporel à ondes millimétriques (2009...)
 - On analyse les micro-ondes réfléchies par le corps



Super vision: quelques réalisations

- Scanner corporel à ondes millimétriques (2009...)
 - On analyse les micro-ondes réfléchies par le corps



Super vision: quelques réalisations

- Caméra infra-rouge: visualisation des pertes thermiques



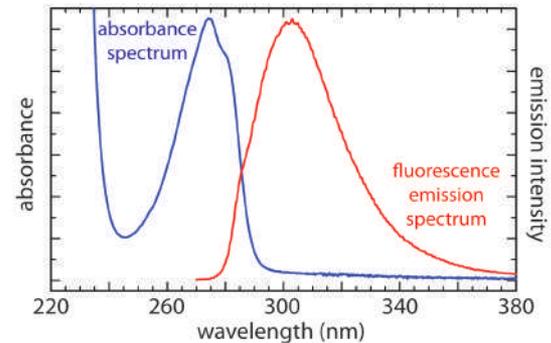
Super vision: quelques réalisations



Super vision: quelques réalisations

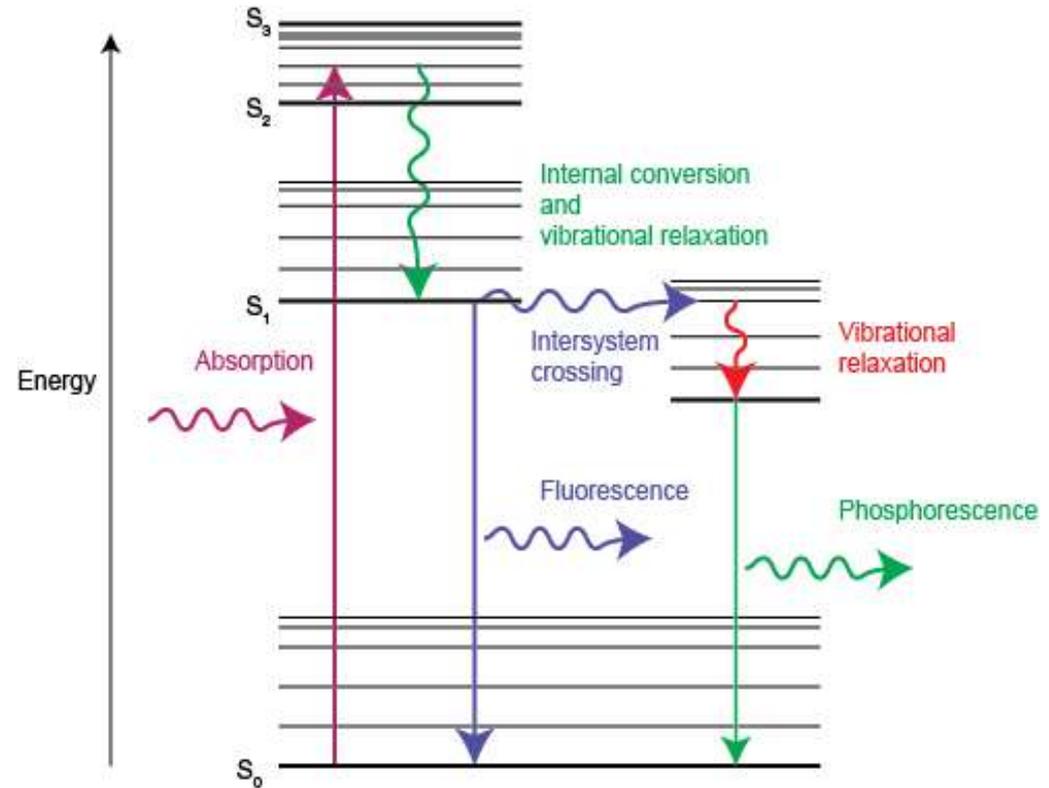


utilisation de pigments qui absorbe les UV et émettent dans le visible



Super vision: quelques réalisations

- Photoluminescence



Les niveaux d'énergie des électrons dans une molécule

Super vision: quelques réalisations

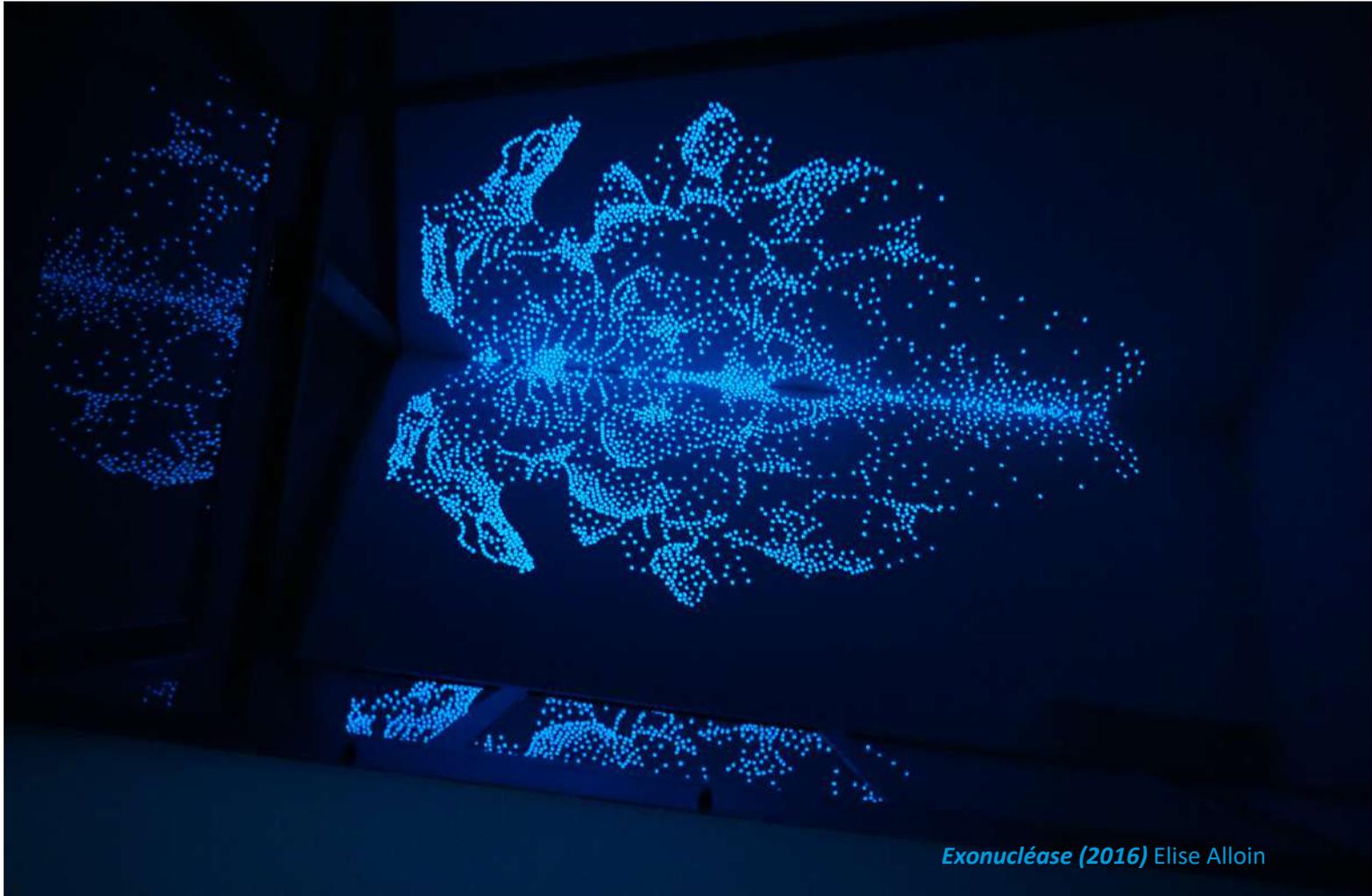
- Photoluminescence (absorption en journée)



Exonucléase (2016) Elise Alloin

Super vision: quelques réalisations

- Photoluminescence (émission visible dans le noir)



Super vision: quelques réalisations

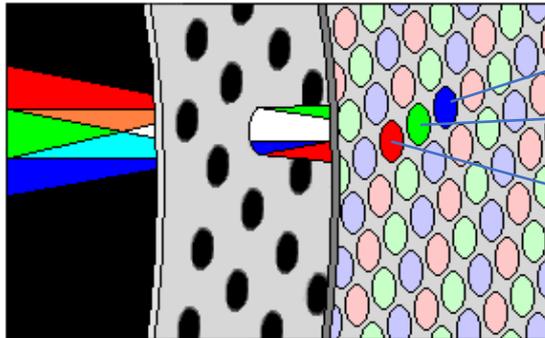
- Chimiluminescence



Les réactions chimiques peuvent aussi libérer de l'énergie qui sera émise sous forme de lumière

Super vision: quelques réalisations

- électroluminescence



$\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$
 $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$

$\text{LaPO}_4:\text{Ce}, \text{Tb}$

$\text{MgAl}_{11}\text{O}_{19}:\text{Ce}, \text{Tb}$

$\text{MgB}_5\text{O}_{10}:\text{Gd}, \text{Ce}, \text{Tb}$

$\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$



En inversant
le principe

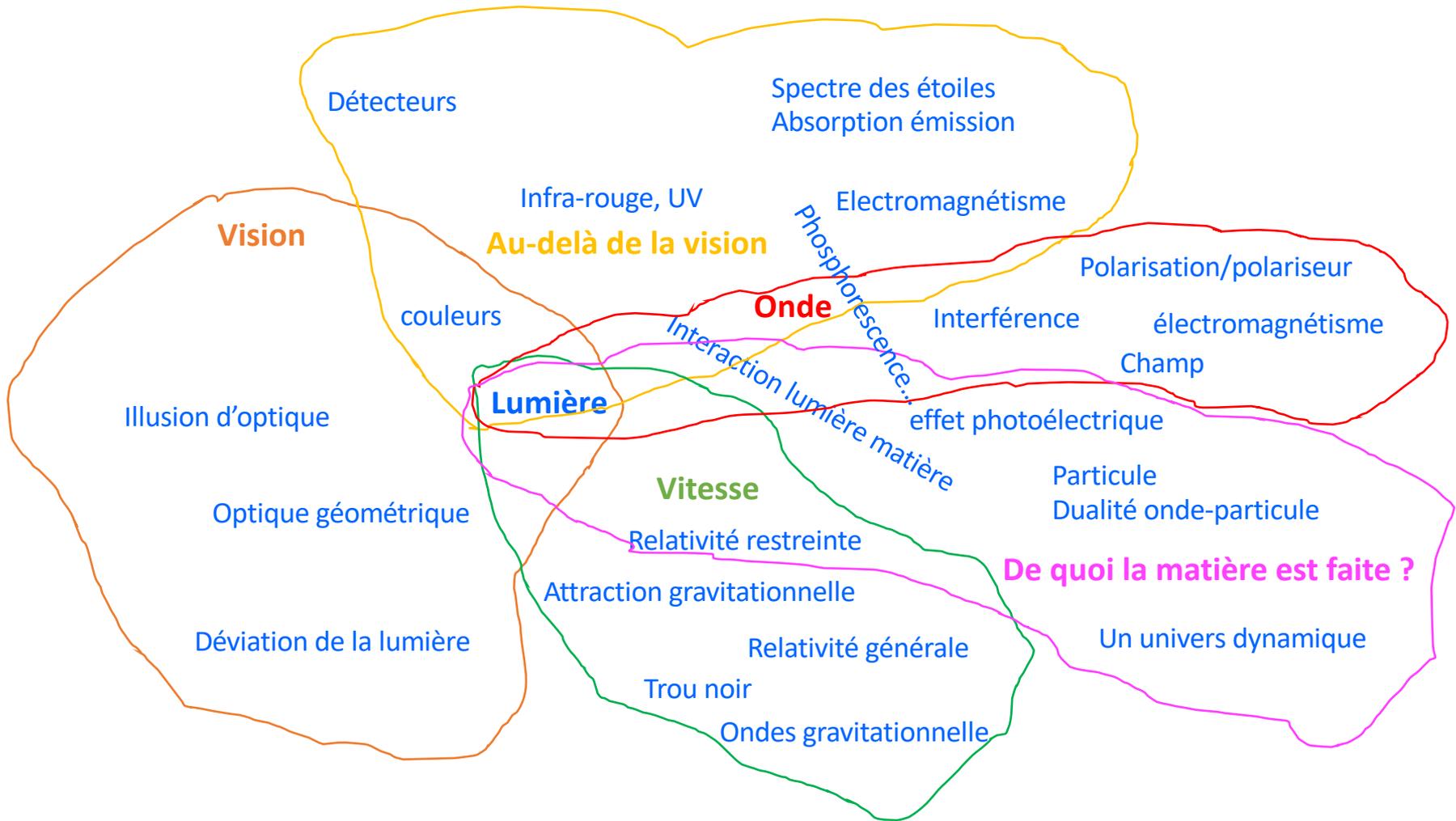


| v · m | Luminescence | [masquer] |
|-------|--|-----------|
| | Mécanoluminescence (Triboluminescence · Piézoluminescence · Sonoluminescence) · Thermoluminescence · Cryoluminescence · Chimiluminescence (Bioluminescence) · Électroluminescence · Électrochimiluminescence · Photoluminescence (Fluorescence · Phosphorescence) · Radioluminescence · Cristalloluminescence · Cathodoluminescence · Anodoluminescence | |

Conclusion

- Elargir notre vision aux ondes plus courtes ou plus longues donne accès à énormément d'informations.
- Connaître la façon dont les ondes sont émises, diffusées ou réfléchies accroît notre capacité d'analyse.
- En chemin, nous avons aperçu :
 - comment la matière peut émettre ou absorber des ondes électromagnétiques
 - Un modèle d'atome
 - La première pierre à la quantification des ondes

A suivre...



Liste non exhaustive de sources

- The Historical Development of Quantum Theory De Jagdish Mehra, Helmut Rechenberg, p25 and following
(<https://books.google.fr/books?id=W5kyppVPyesC&pg=PA40&lpg=PA40&dq=kirchof+Wien+Lummer++history&source=bl&ots=oD3yb69eni&sig=ACfU3U2rc0ynukRCH467FdOylkSdKc54sg&hl=fr&sa=X&ved=2ahUKEwiJsMOT5O3hAhXQxoUKHWzEAocQ6AEwAHoECAgQAQ#v=onepage&q=kirchof%20Wien%20Lummer%20%20history&f=false>)
- Introduction to Quantum Mechanics De B.H. Bransden and C.J. Joachain p3 and following
- https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_19e/ha-experiences-bunsen-kirchhoff.html
- <https://www.crtsite.com/>
- <http://www.lecompendium.com>