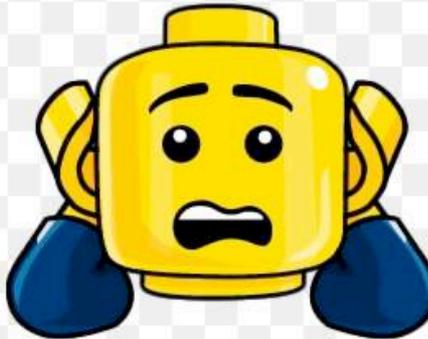


Rayonnements Ionisants

(par delà le bien et le mal)



On ne les
voit pas



On ne les
entend pas



Mais ce n'est
pas une raison
pour ne pas en
parler !



Rayonnements Ionisants

Radioactivité
Rayons X
Radioprotection
Environnement
Santé



Cours 1 : "Ils" sont partout !

05/11

Cours 2 : A quelle dose ?

12/11

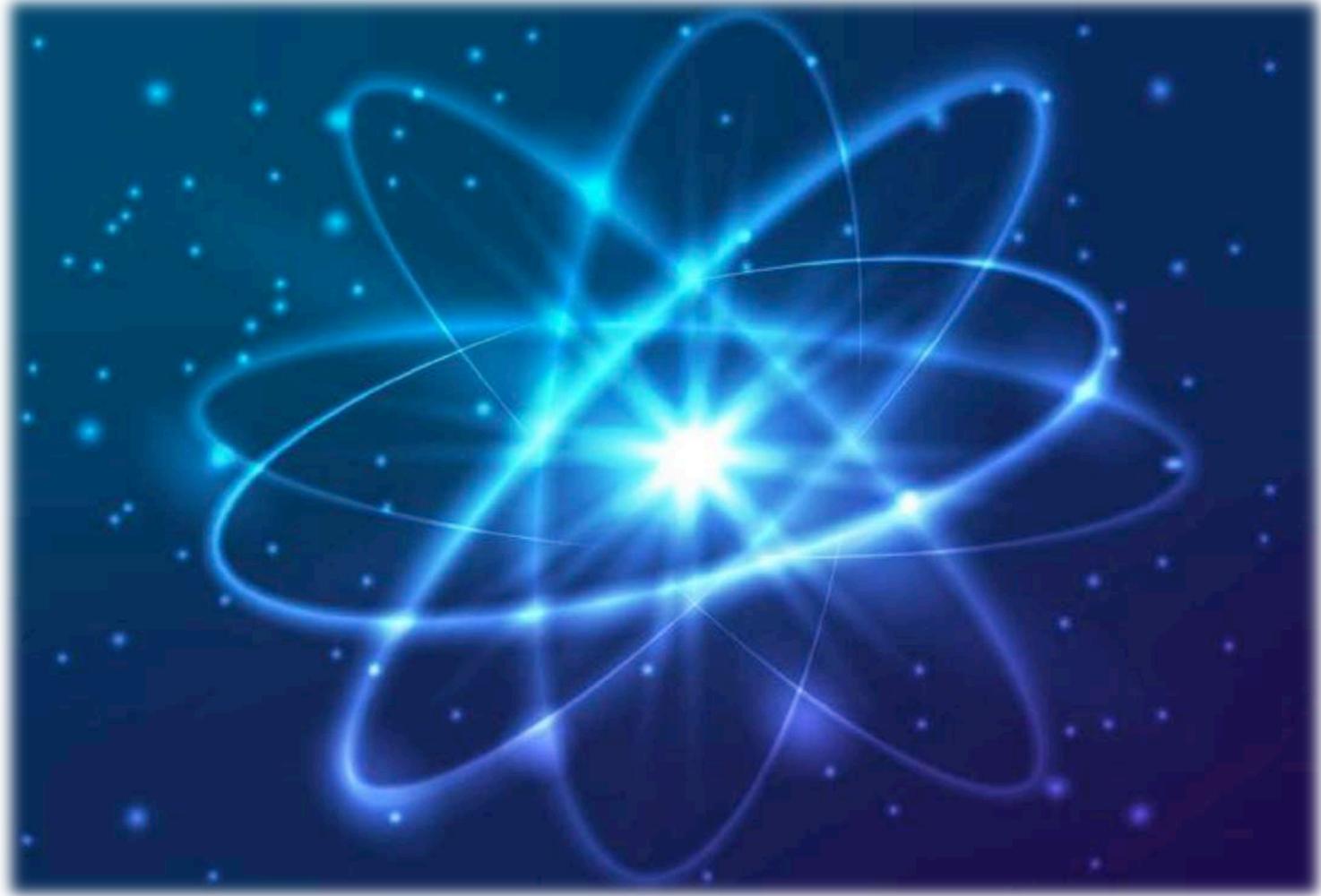
Cours 3 : Vous avez dit "risque" ?

26/11



Physique pour Tous !

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)



Physique pour Tous !

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

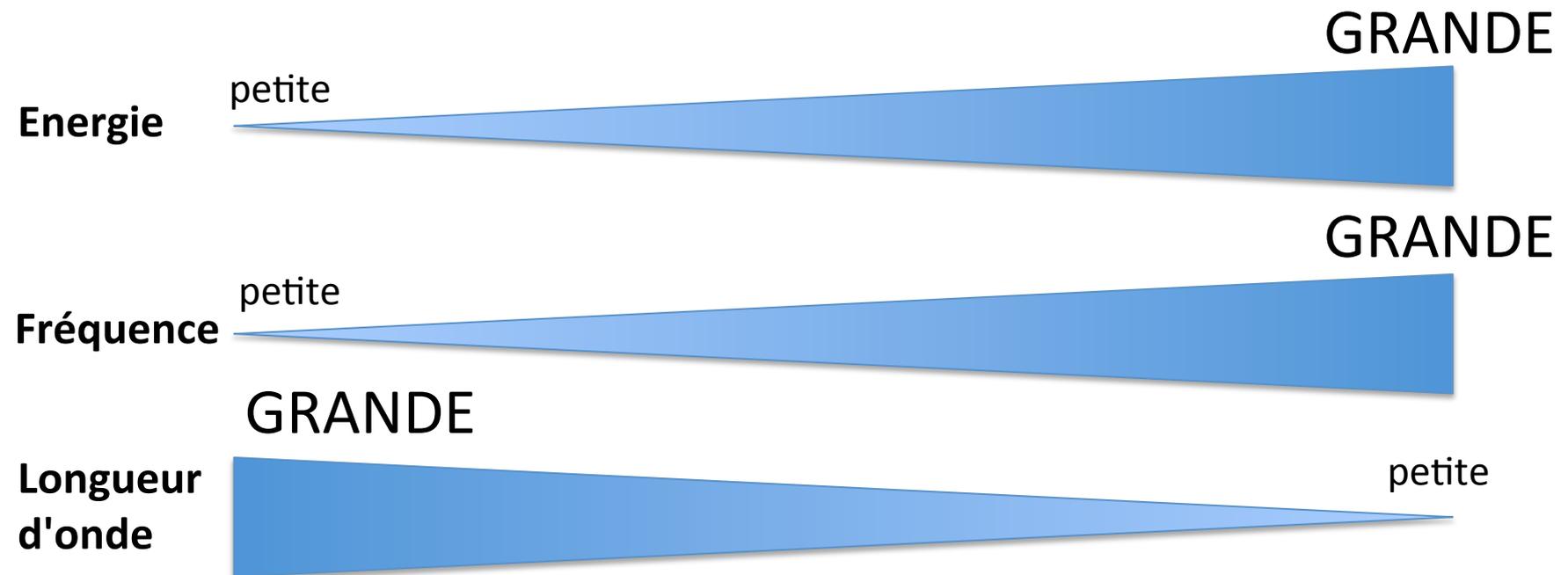
- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$\textit{Energie} \propto \textit{fréquence} (\nu) \propto \frac{1}{\textit{longueur d'onde} (\lambda)}$$

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$Energie \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$



Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$Energie \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- Quels ordres de grandeur ?
 - voiture roulant à 100 km/h : 100000 Joules
 - balle de tennis : 100 Joules
 - pomme tombant d'une hauteur de 1 mètre : 1 Joule
 - moustique en vol : 10^{-7} Joule

=> rayonnement ionisant : 10^{-19} Joules !!

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$Energie \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- Quels ordres de grandeur ?
 - voiture roulant à 100 km/h : 100000 Joules
 - balle de tennis : 100 Joules
 - pomme tombant d'une hauteur de 1 mètre : 1 Joule
 - moustique en vol : 10^{-7} Joule

=> rayonnement ionisant : 10^{-19} Joules !!

0,00000000000000000001 Joules

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$\text{Energie} \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- L'**électron-volt** (eV) est l'unité d'énergie de référence

1 eV = énergie acquise par un électron dans une différence de potentiel de 1V

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$\text{Energie} \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- L'**électron-volt** (eV) est l'unité d'énergie de référence

1 eV = énergie acquise par un électron dans une différence de potentiel de 1V

[Volt] = [Joule] / [Coulomb]

charge de l'électron : $e \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$1 \text{ eV} = (1e) \times (1V) \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

énergie

charge

tension

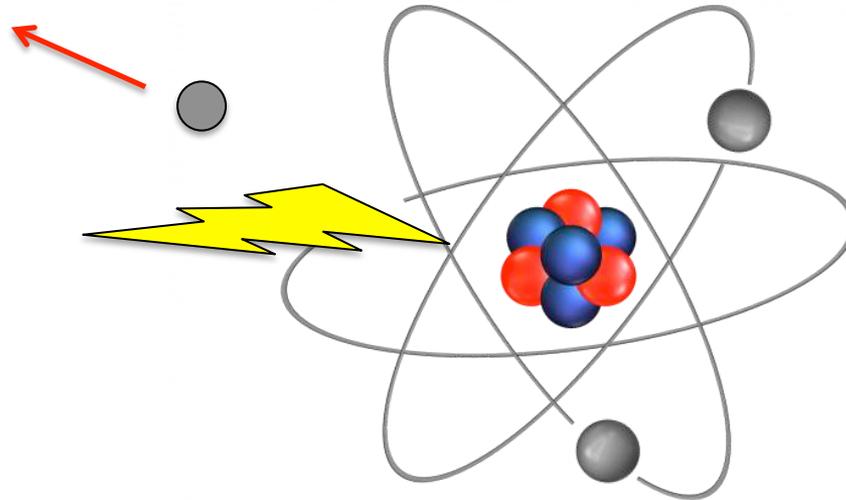
Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$\text{Energie} \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- Ioniser \Leftrightarrow arracher un ou plusieurs électrons aux atomes

$$\begin{aligned} E_{\min} &\approx 10 \text{ eV} \\ f_{\min} &\approx 10^{16} \text{ Hz} \\ \lambda_{\max} &\approx 10^{-7} \text{ m} \end{aligned}$$

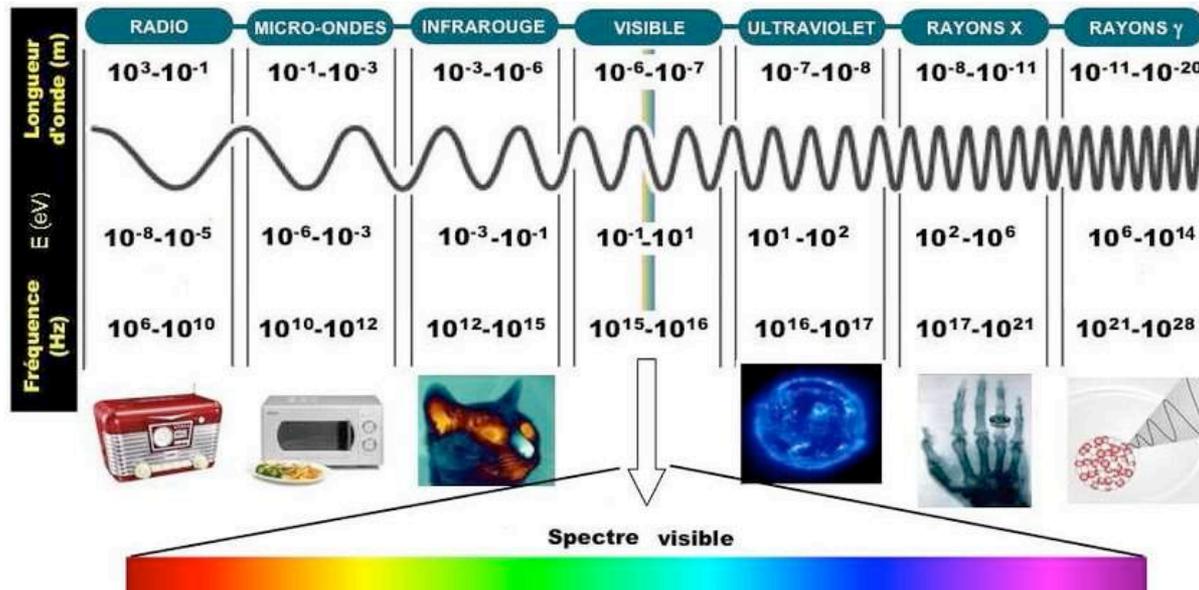


Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$Energie \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- Cas du spectre électromagnétique (= photons)



Credit : D. Pellion

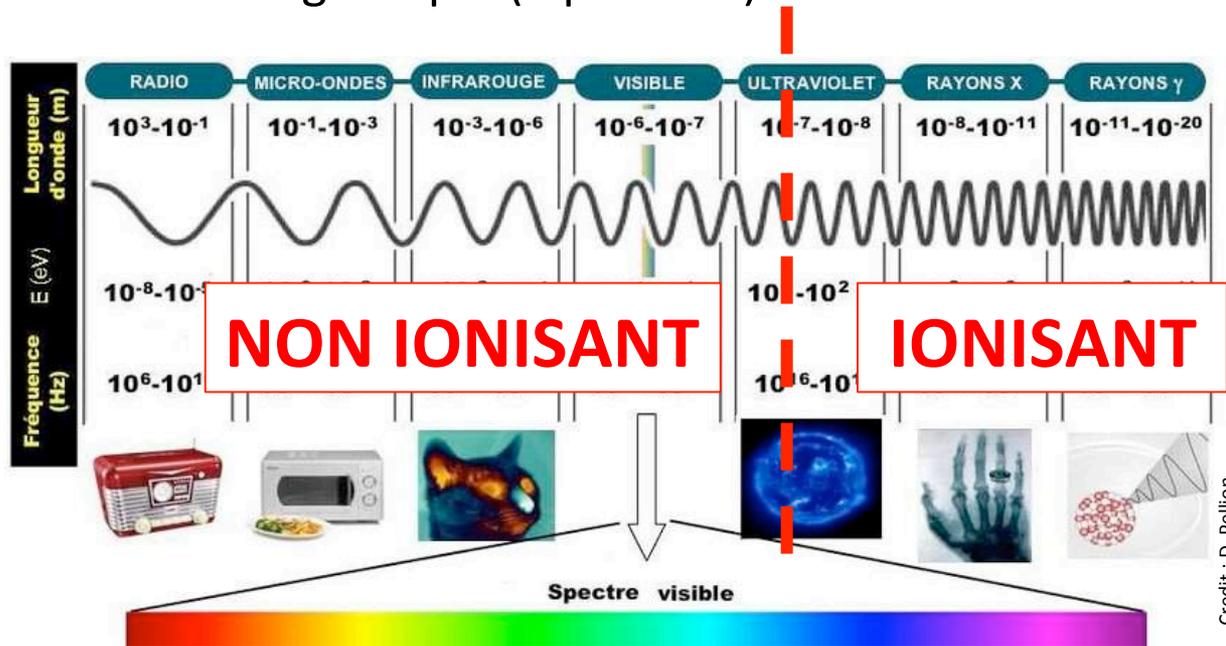
Physique pour Tous !

Ioniser ou ne pas ioniser (telle est la question)

- Tout est question d'énergie (donc de longueur d'onde...donc de fréquence)

$$\text{Energie} \propto \text{fréquence } (\nu) \propto \frac{1}{\text{longueur d'onde } (\lambda)}$$

- Cas du spectre électromagnétique (= photons)



Physique pour Tous !

Qui sont-ils ?

- Dualité onde-corpuscule : rayonnement ionisant \Leftrightarrow particule ionisante

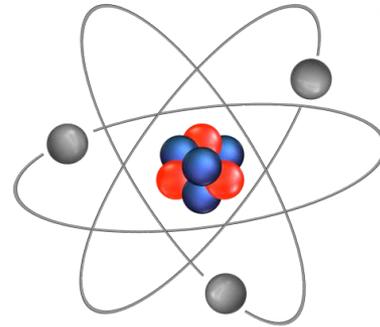
Qui sont-ils ?

- Dualité onde-corpuscule : rayonnement ionisant \Leftrightarrow particule ionisante
- Trois types de rayonnements / particules (principaux) :

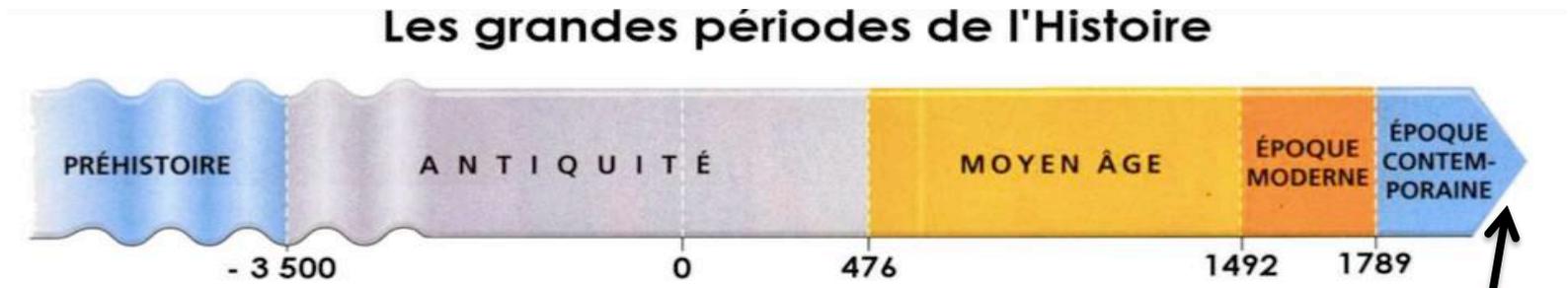
→ photons

→ électrons

→ protons / neutrons



Un peu d'Histoire (et d'histoires)



≈ 1900
découverte
des rayons X et de la
radioactivité

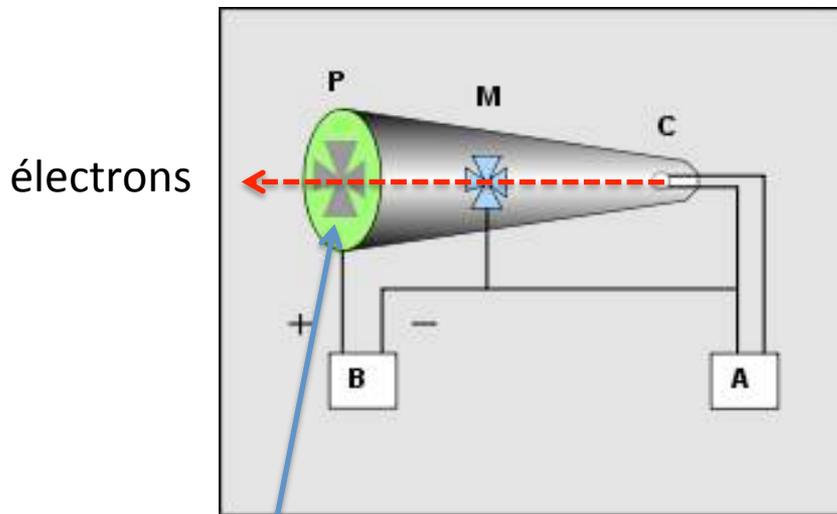
Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Rayons X : W. Roentgen (1895)

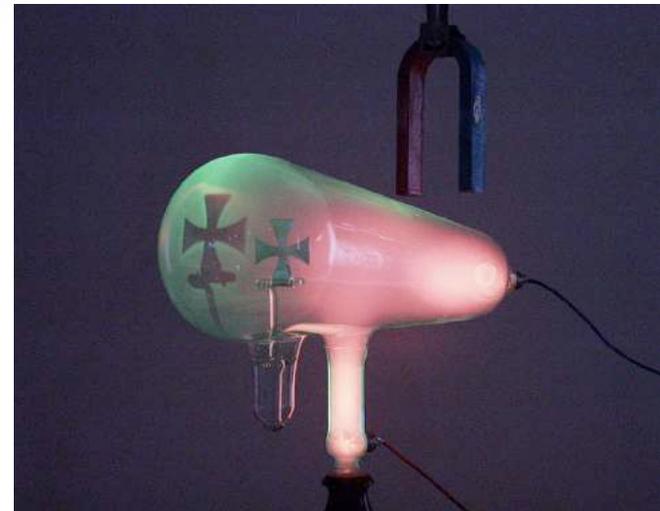


Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Rayons X : W. Roentgen (1895)



écran fluorescent
(exemple : sulfure de zinc)

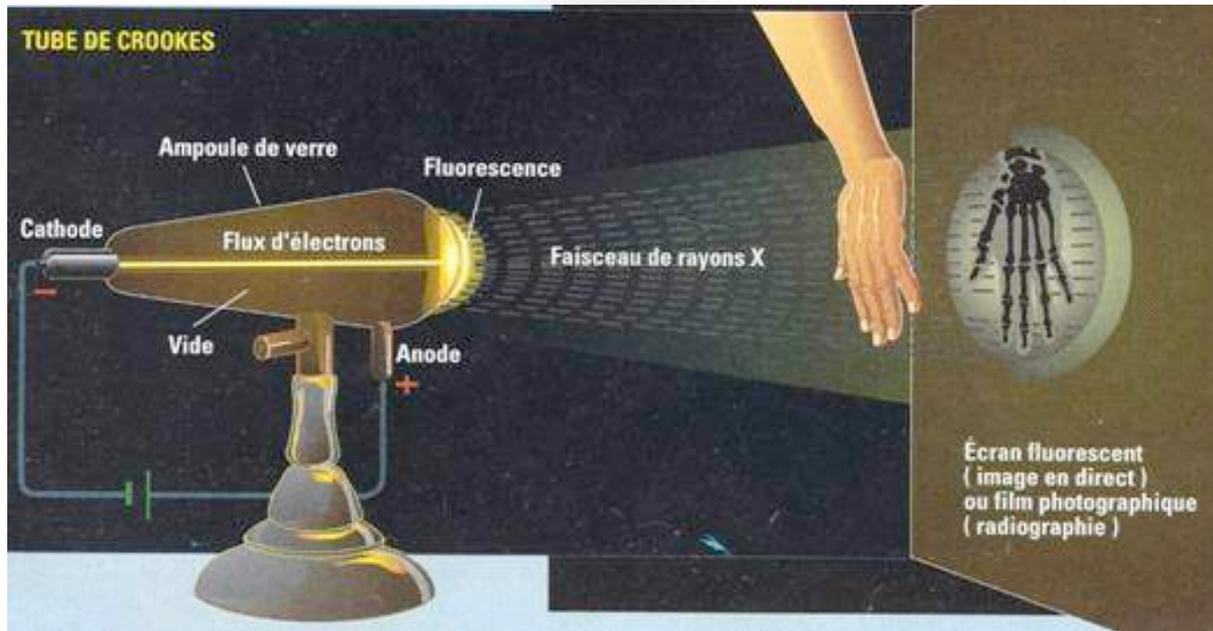


Tube de Crookes
(1869)

<https://www.youtube.com/watch?v=IVTA6moqVEM>

Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Rayons X : W. Roentgen (1895)



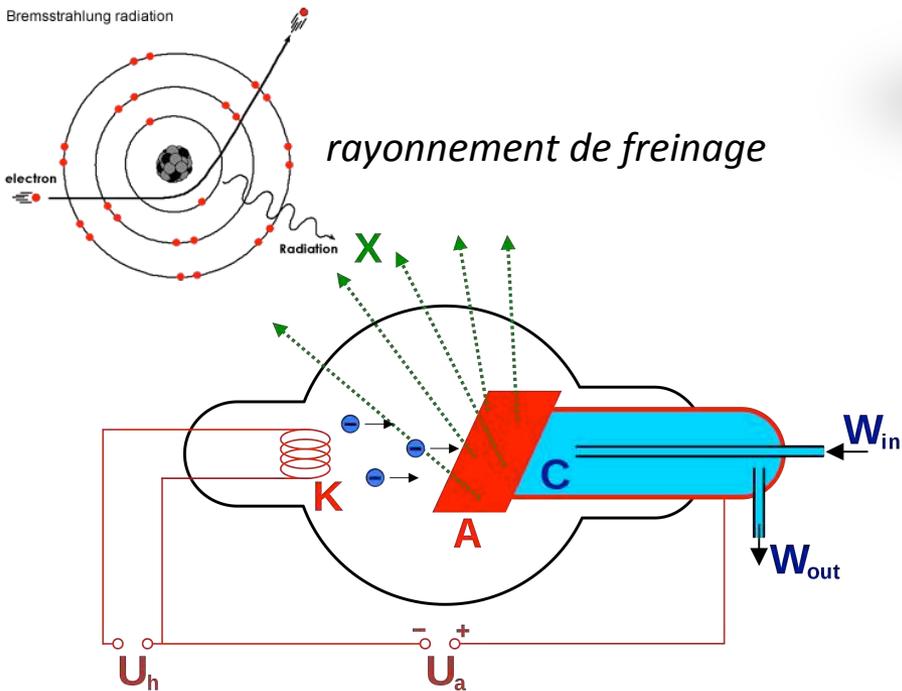
1895

Credit : Vorilhon

Physique pour Tous !

Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Rayons X : W. Roentgen (1895)



Credit : cphr

Tube de Coolidge
(1913)

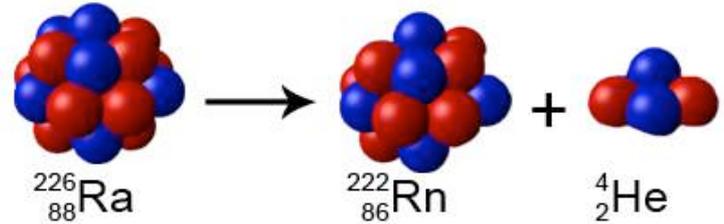
Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Radioactivité : H. Becquerel (1896), M. Curie (1897)



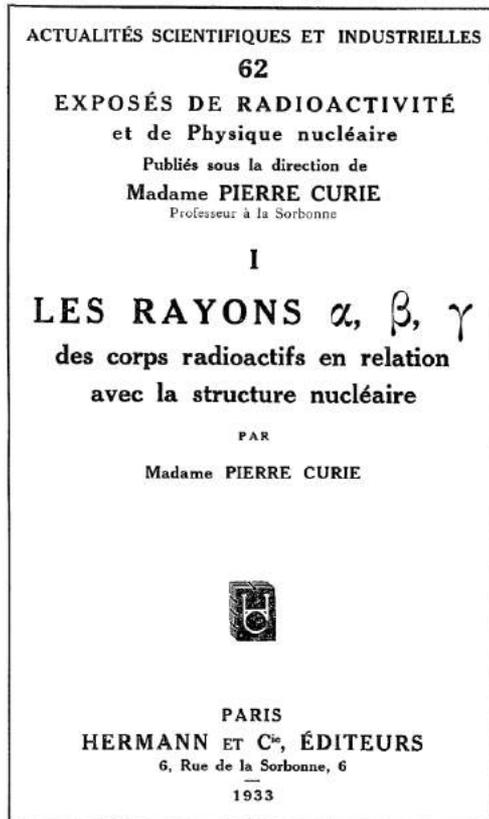
Roche Uranifère

Radium (^{226}Ra)



Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Radioactivité : H. Becquerel (1896), M. Curie (1897)

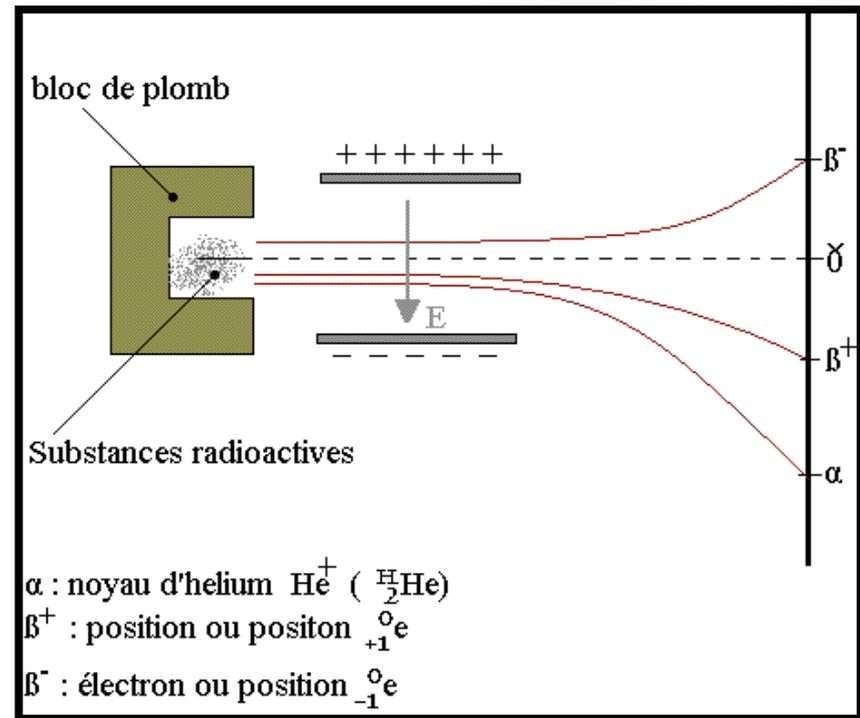
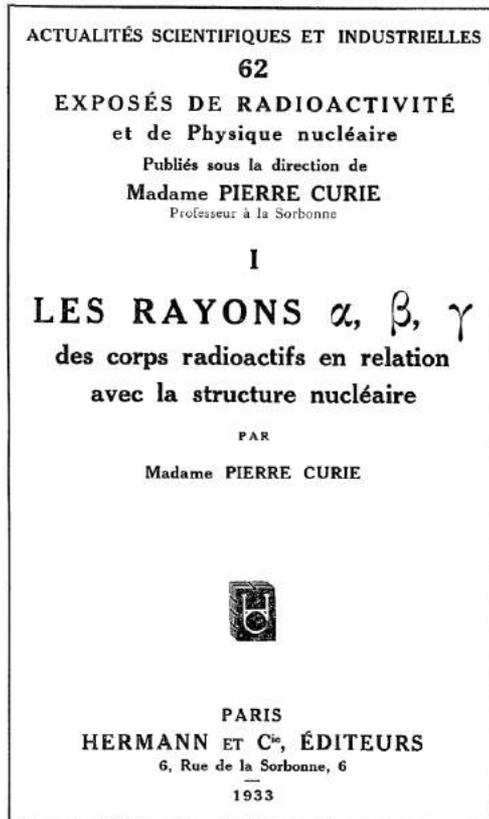


"Tout élément radioactif éprouve une transformation atomique, qui atteint successivement les atomes dont il se compose. La transformation consiste soit dans l'émission d'un rayon α , soit dans celle d'un rayon β . Un rayon α est un atome d'hélium doublement ionisé (charge positive), tandis qu'un rayon β est un électron (charge négative) [...] Les rayons γ sont une radiation électromagnétique émise comme suite de la perturbation produite dans l'atome par l'émission d'un rayon α ou d'un rayon β primaire."

La nature des rayons α a été établie par la mesure de leur déviation dans un champ magnétique et dans un champ électrique, d'où l'on déduit le rapport E/M de la charge à la masse, ainsi que la vitesse v des rayons."

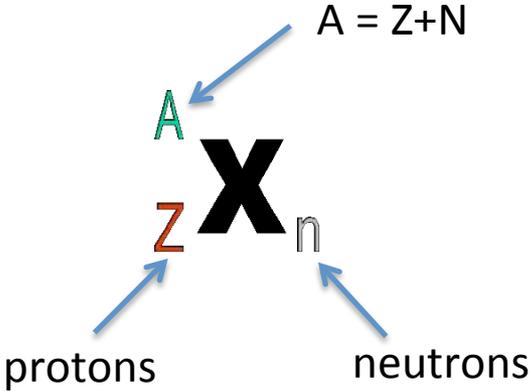
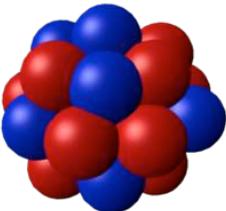
Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Radioactivité : H. Becquerel (1896), M. Curie (1897)



Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Radioactivité : H. Becquerel (1896), M. Curie (1897)



proton-proton



force électromagnétique

neutron-proton



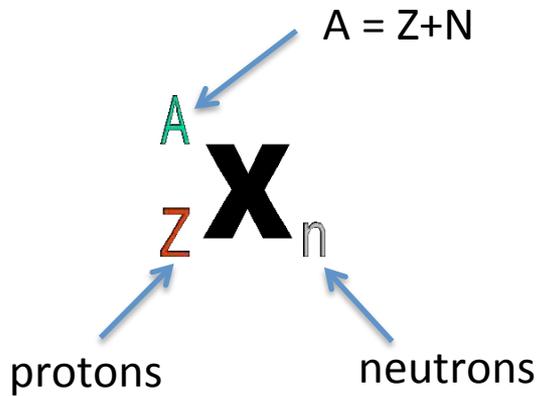
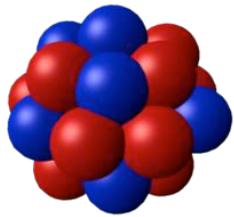
force nucléaire (forte)

neutron-neutron



Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Radioactivité : H. Becquerel (1896), M. Curie (1897)



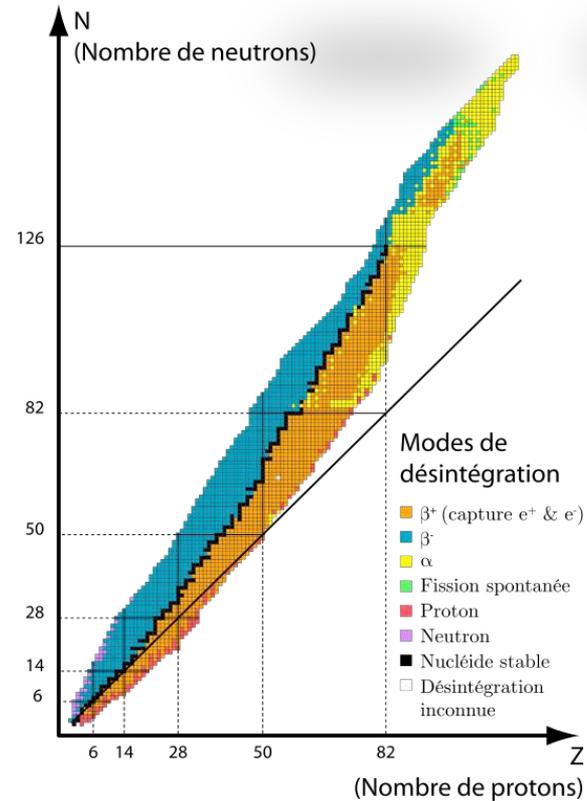
proton-proton



neutron-proton



neutron-neutron



Physique pour Tous !

Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- L'euphorie du Radium au début du XX^{ème} siècle



Une saine et douce chaleur,
radio-active...

Une laine, souple, élastique, résistante, épaisse et confortable, qu'un traitement physico-chimique a doué d'un remarquable pouvoir : la radio-activité. Chacun connaît les extraordinaires effets de stimulation organique, d'excitation cellulaire, transmis par le radium. Une laine ainsi traitée allie aux avantages propres du textile une indéniable valeur hygiénique. Pour tricoter la layette de Bébé, les lainages des enfants, vos sous-vêtements et vos pull-overs, utilisez la

LAINES ORADIUM

Source précieuse de chaleur et d'énergie vitale, irrétrécissable, infébrile. C'est un Produit de la LAINE MÉDICALE, 20, rue St-Georges, PARIS - Trud. 07-28

La LAINE ORADIUM est vendue chez votre pharmacien au prix normal de 100 à 1.50 la pelote de 30 grammes.

DEMANDEZ LA BROCHURE ET LA CARTE DES COULEURS

Si votre pharmacien ne l'a pas en stock, écrivez immédiatement au 10, rue St-Georges, Paris, en joignant un bon montant que nous vous adresserons en même temps, ainsi qu'un plan de votre ville pour nous indiquer la pharmacie de LAINE ORADIUM qui vous en fera parvenir.

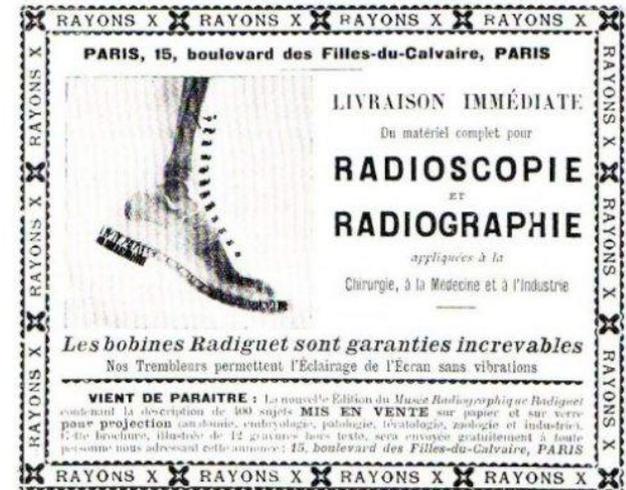
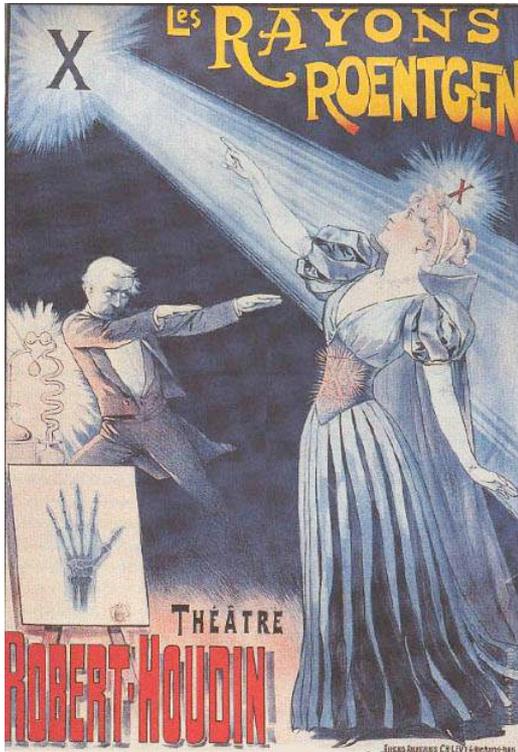
ORADIUM

Crédit : ANDRA

Physique pour Tous !

Un peu d'Histoire (et d'histoires)

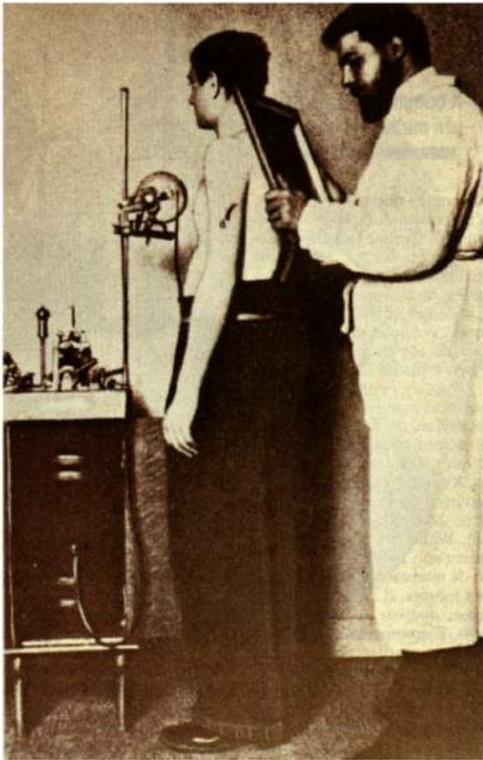
- La folie des rayons X au début du XX^{eme} siècle



Crédit : Rougée

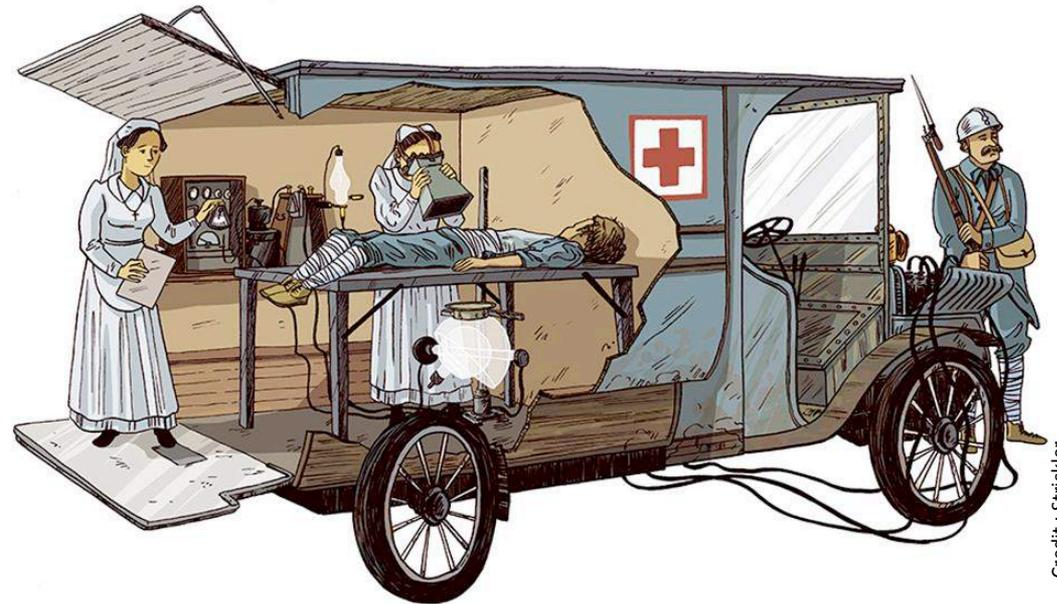
Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- 1^{ère} image médicale 2 semaines après la découverte de W. Roentgen
- Amélioration des tubes à rayons X dès 1913



Crédit : Institut Curie

A. Béclère (1897)



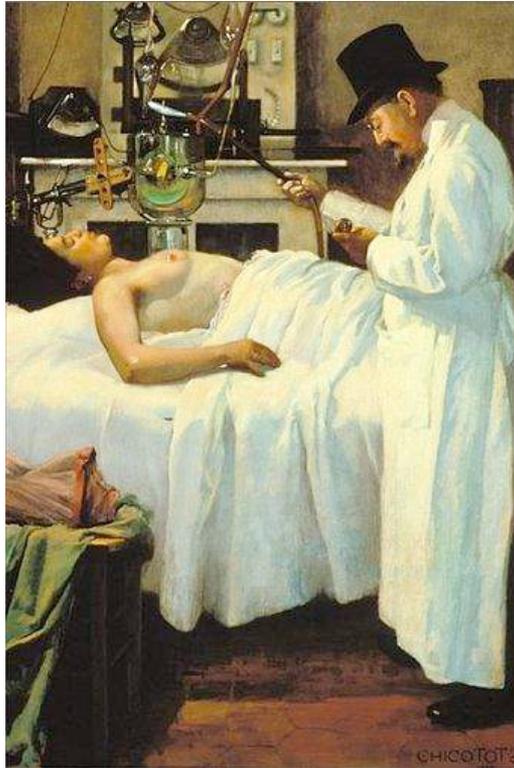
Credit : Strickler

"Petites Curies" (1914)

Physique pour Tous !

Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- 1^{er} traitement en radiothérapie en 1896
- "Bombe au radium" à partir des années 1920



Crédit : Assistance Publique, Paris

G. Chicotot (1907)



Physique pour Tous !

Un peu d'Histoire (et d'histoires)

- Puis prise de conscience du danger (**voir Cours 3 sur le risque radiologique**)



Radium Girls



Stèle en hommage aux premiers radiologues (Hambourg)

Crédit : Wikipédia

Physique pour Tous !

Espace et Environnement

Rayonnements naturels

- L'humanité baigne dans les rayonnements ionisants depuis ses origines



Physique pour Tous !

Rayonnements naturels

- L'humanité baigne dans les rayonnements ionisants depuis ses origines
- Sources naturelles de rayonnements ionisants

Rayonnements naturels

- L'humanité baigne dans les rayonnements ionisants depuis ses origines
- Sources naturelles de rayonnements ionisants

—→ **rayonnements cosmiques**



Crédit : illustrer.fr

Rayonnements naturels

- L'humanité baigne dans les rayonnements ionisants depuis ses origines
- Sources naturelles de rayonnements ionisants

→ rayonnements cosmiques

→ radioactivité tellurique



Terre



Eau



Air

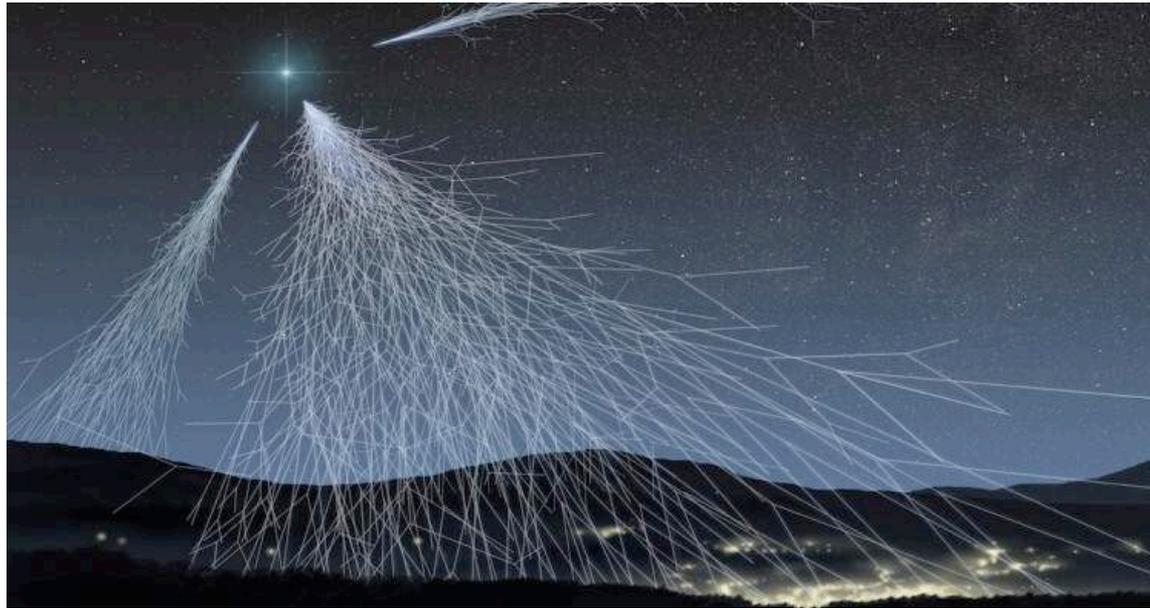
Rayonnements naturels

- L'humanité baigne dans les rayonnements ionisants depuis ses origines
- Sources naturelles de rayonnements ionisants
 - rayonnements cosmiques
 - radioactivité tellurique
 - faune et flore



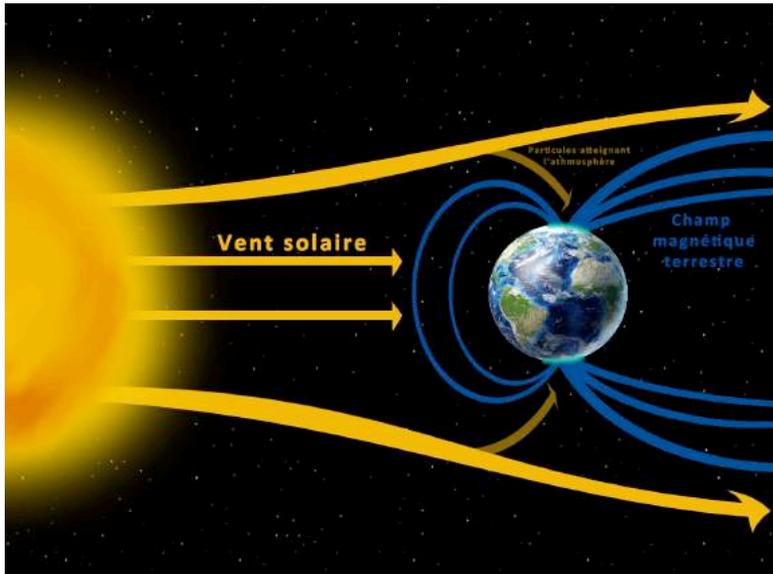
Du ciel ...

- Le rayonnement cosmique, c'est :
 - environ 200 particules par m^2 (muons, photons, électrons) au niveau du sol
 - 1000 milliards de neutrinos qui nous traversent par seconde (avec une probabilité d'interaction de $1 / 10\,000\,000\,000\,000\,000$)



Du ciel ...

- L'exposition aux rayonnements cosmiques dépend de :
 - la latitude (protection du champ magnétique plus faible aux pôles)
 - l'altitude (protection de l'atmosphère diminue avec l'altitude)



Crédit : lepetitjournal.com



Crédit : larousse.com

Physique pour Tous !

Du ciel ...

- L'exposition aux rayonnements cosmiques dépend de :
 - la latitude (protection du champ magnétique plus faible aux pôles)
 - l'altitude (protection de l'atmosphère diminue avec l'altitude)

Ionisation

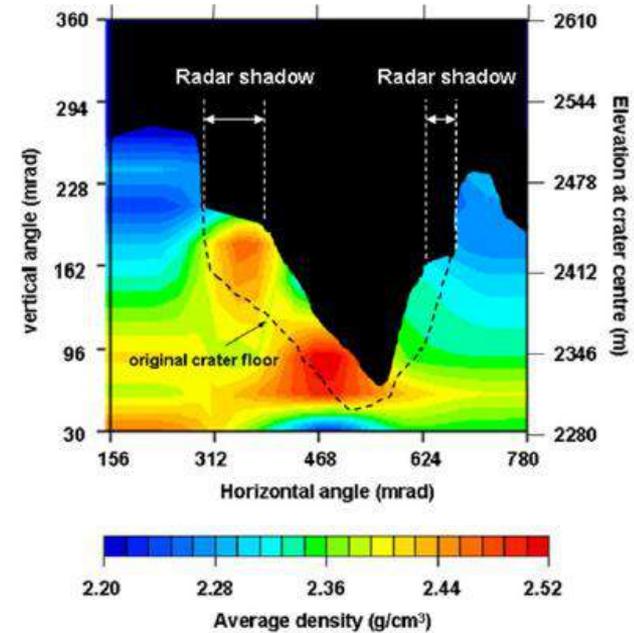
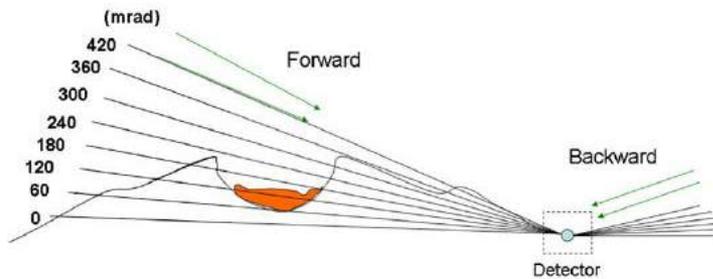


Crédit : den-belitsky

Physique pour Tous !

Du ciel ...

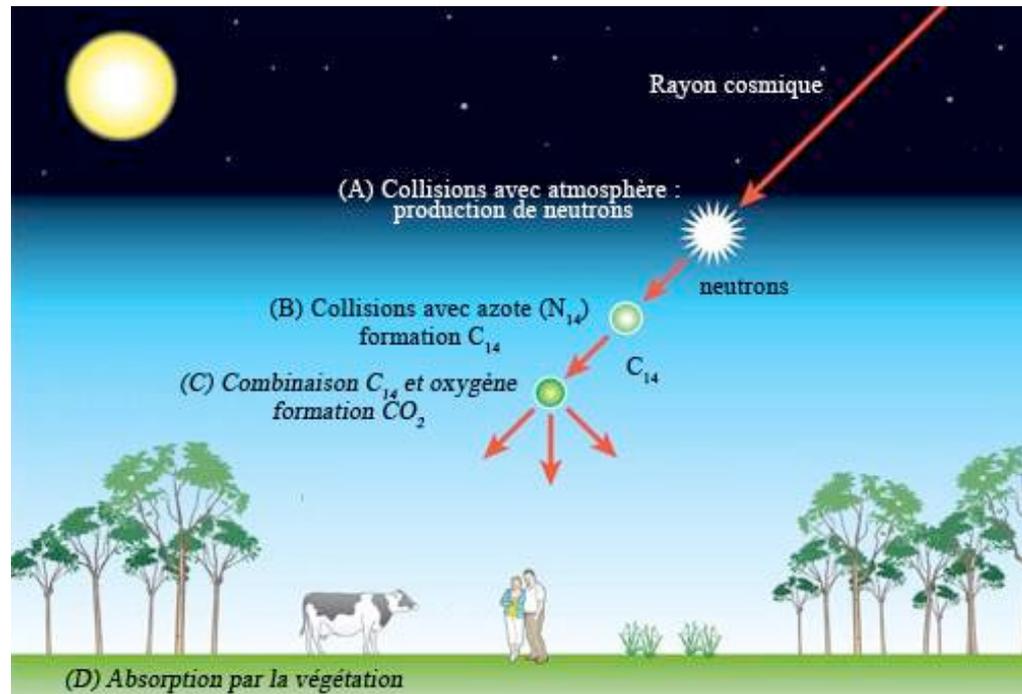
- Nombreuses applications des rayonnements cosmiques :



Volcanologie avec les muons cosmiques
(Marteau2008)

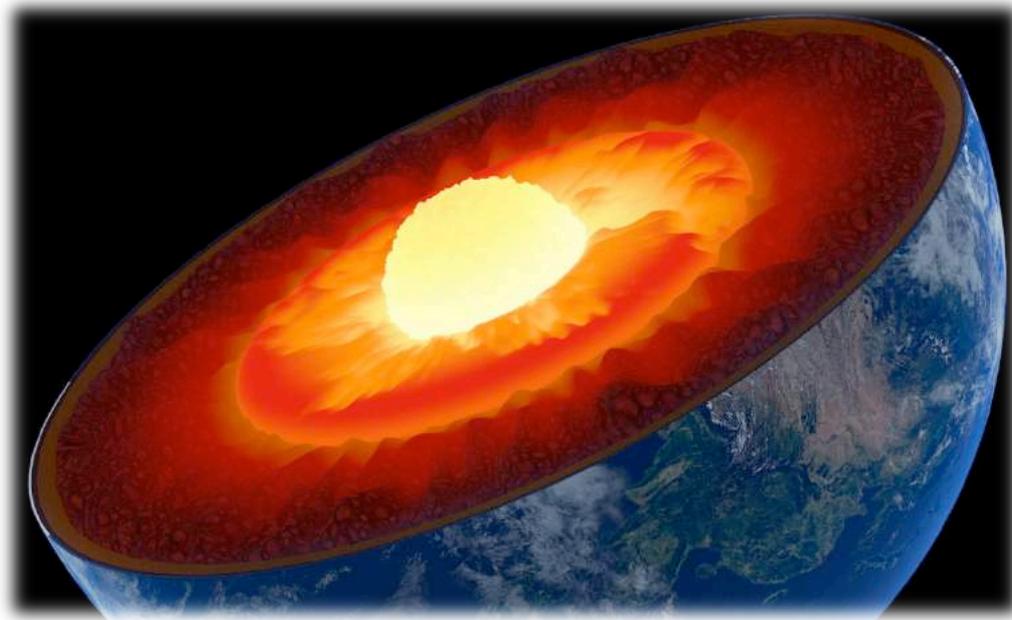
Du ciel ...

- Fabrication de noyaux radioactifs (carbone 14, tritium (^3H)) dans l'atmosphère
- Le carbone 14 forme ensuite du CO_2 absorbé par la faune et la flore (1 pour 1000 milliards de noyaux de carbone 12 (stable))



A la terre

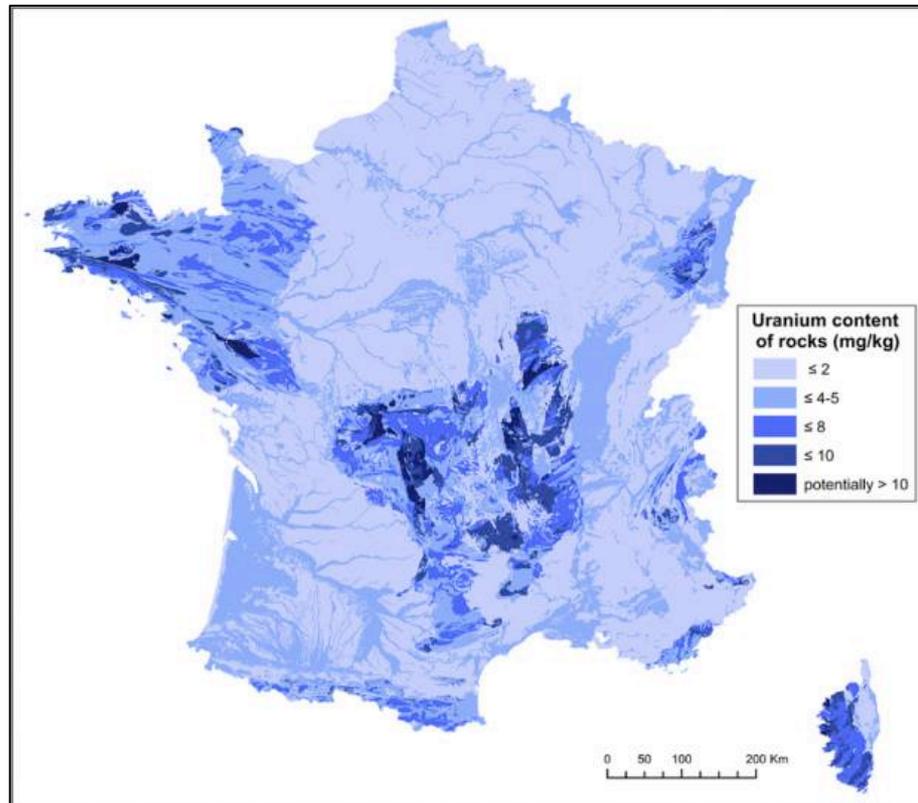
- Noyaux radioactifs dans le sol : Thorium (^{232}Th), Uranium ($^{235-238}\text{U}$), Potassium (^{40}K)
- Durée de vie des noyaux > 1 milliard d'années (Terre \approx 4,5 milliard d'années)
- Plus de 50% de l'énergie (chaleur) produite par la Terre



A la terre

- Noyaux radioactifs dans le sol : Thorium (^{232}Th), Uranium ($^{235-238}\text{U}$), Potassium (^{40}K)
- Variations géographiques liées à la composition des sols

Roches uranifères



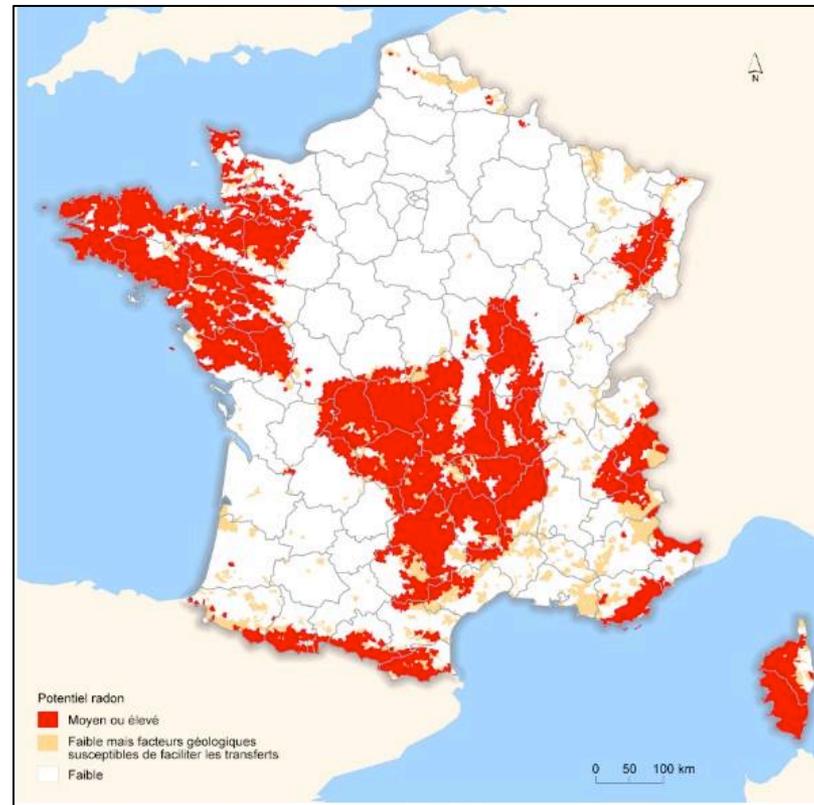
Credit : G. Leisch

Physique pour Tous !

A la terre

- Noyaux radioactifs dans le sol : Thorium (^{232}Th), Uranium ($^{235-238}\text{U}$), Potassium (^{40}K)
- Variations géographiques liées à la composition des sols

Radon
(majoritairement le ^{222}Rn descendant du ^{238}U)

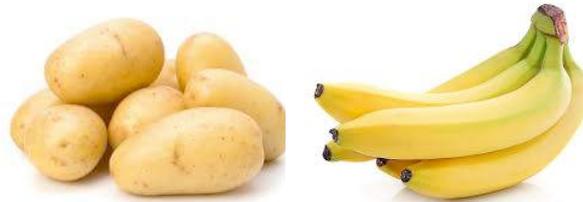


Crédit : IRSN

Physique pour Tous !

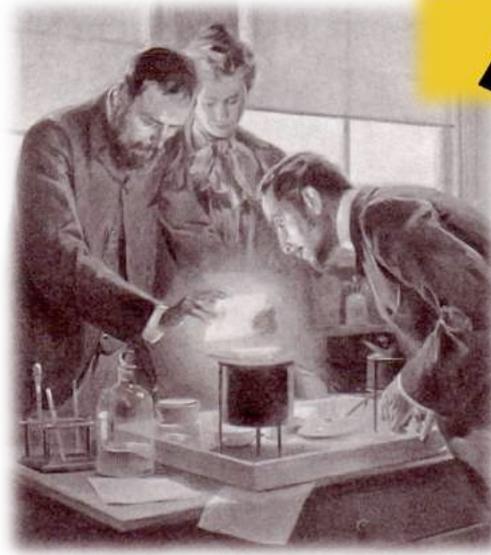
Radioactivité naturelle : Potassium 40

- Le corps humain est naturellement radioactif (potassium (^{40}K))
- Certains aliments contiennent plus de radioactivité que les autres



Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements ionisants !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

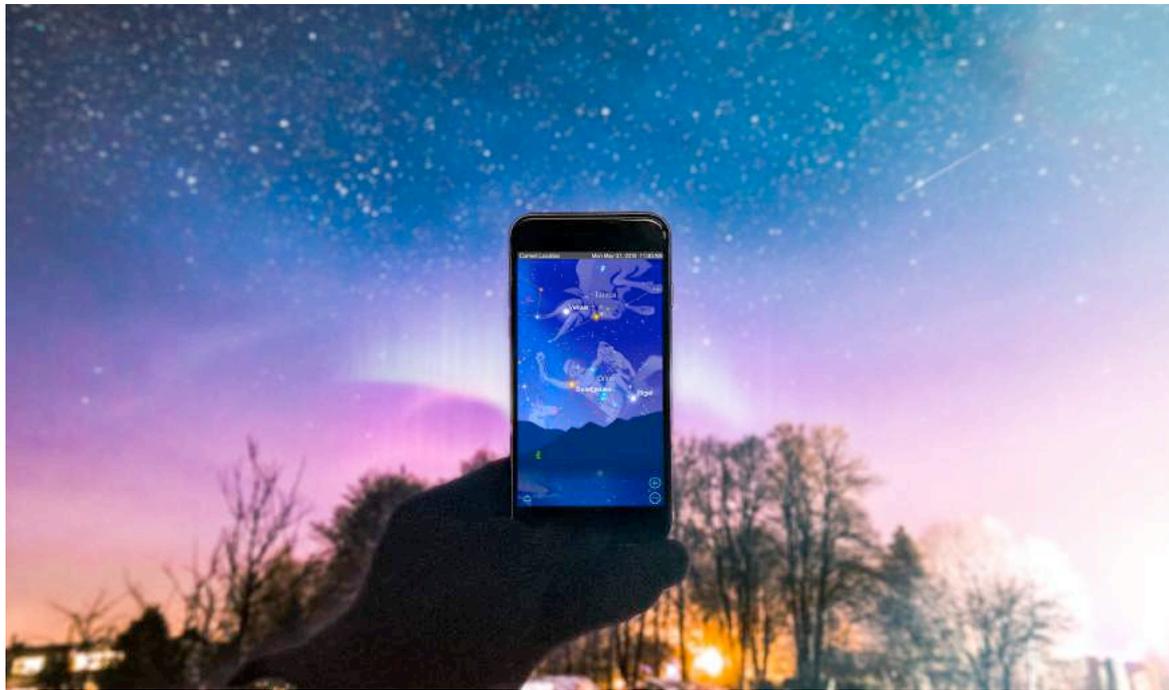


Crédit : wikipédia

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?



Physique pour Tous !

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?

- Matériel : 1 webcam, 1 rouleau de scotch, 1 ordinateur



capteur CMOS

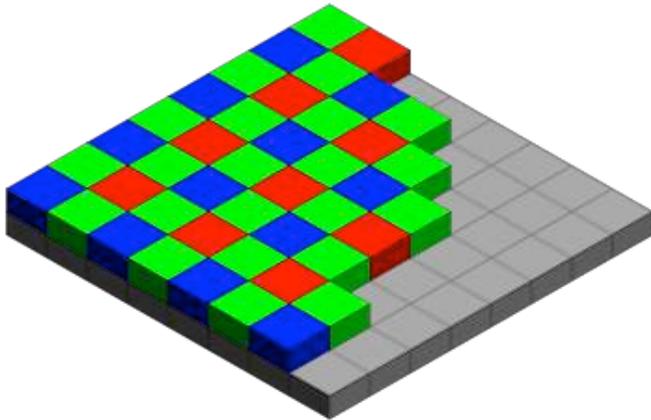


Physique pour Tous !

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?

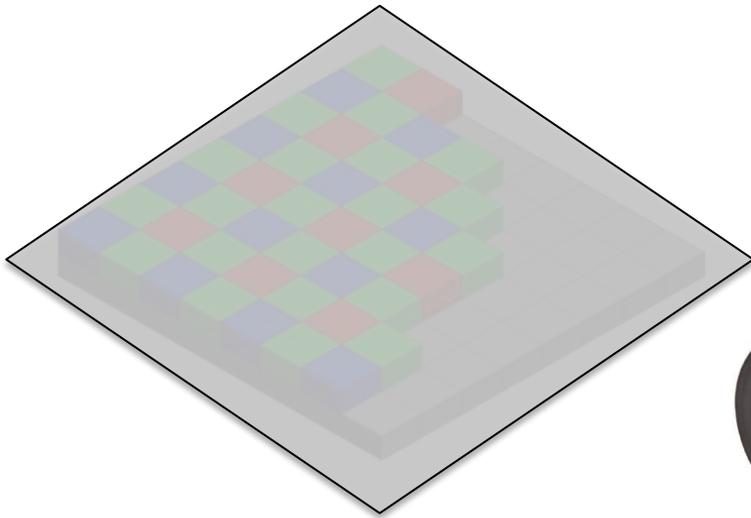


- Composante Rouge, Vert, Bleu (RVB)
- 256 valeurs pour chaque couleur

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?



- Composante Rouge, Vert, Bleu (RVB)
- 256 valeurs pour chaque couleur



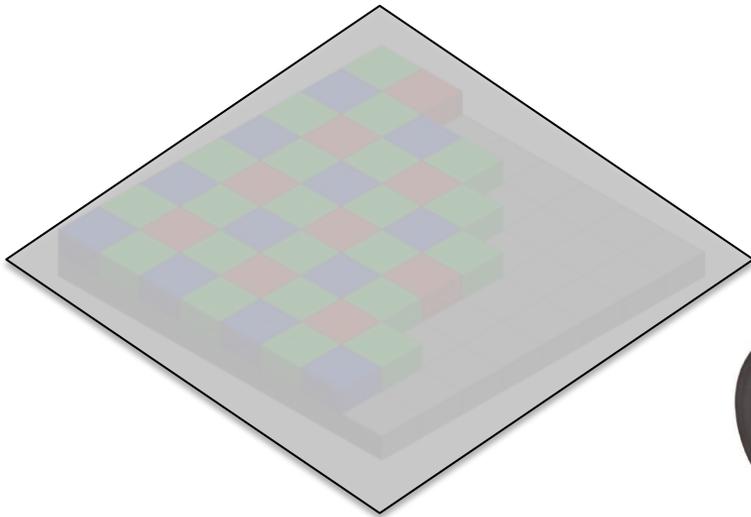
⇒ Protection contre la lumière visible

Physique pour Tous !

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?



- Composante Rouge, Vert, Bleu (RVB)
- 256 valeurs pour chaque couleur



⇒ Recherche dans chaque image du pixel présentant la plus grande valeur RVB [0-255]

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?

Calcul rapide

$\approx 1 \text{ muon} / \text{cm}^2 / \text{minute}$ (détecteur à l'horizontal)

Taille capteur = $3.58 \times 2.02 \text{ mm}^2 \approx 0.07 \text{ cm}^2$

Taux de détection $\approx 4 \text{ muons} / \text{heure}$

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?

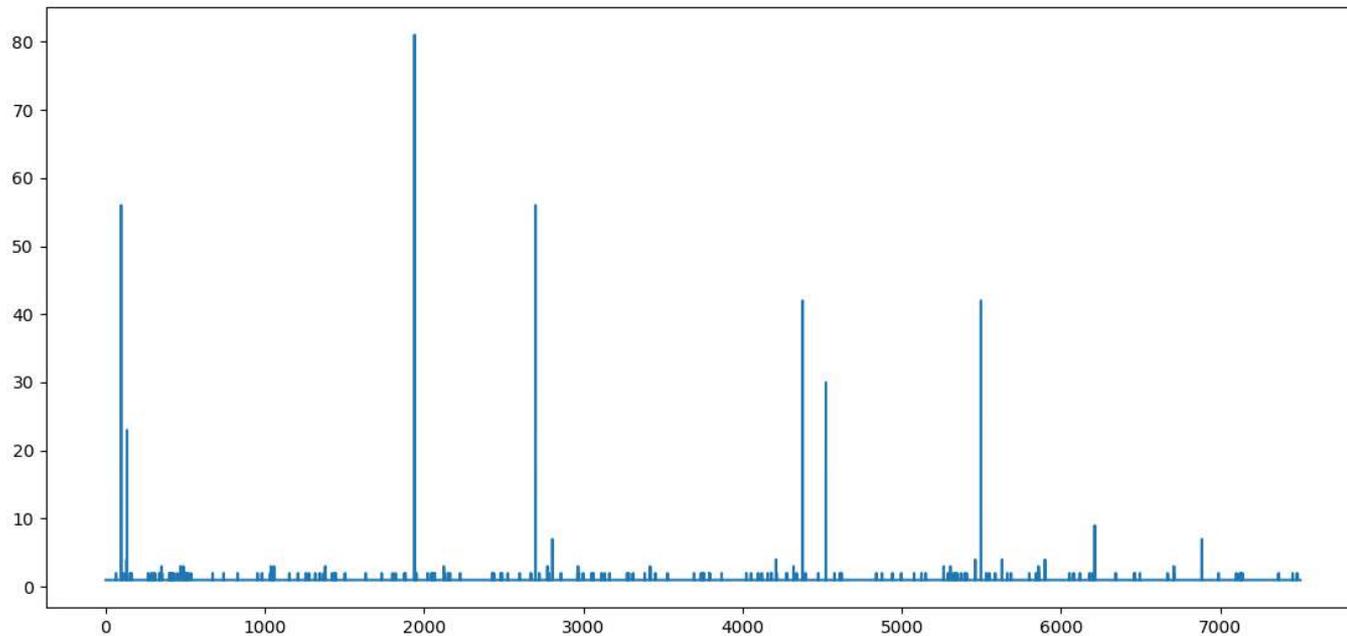


Physique pour Tous !

Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

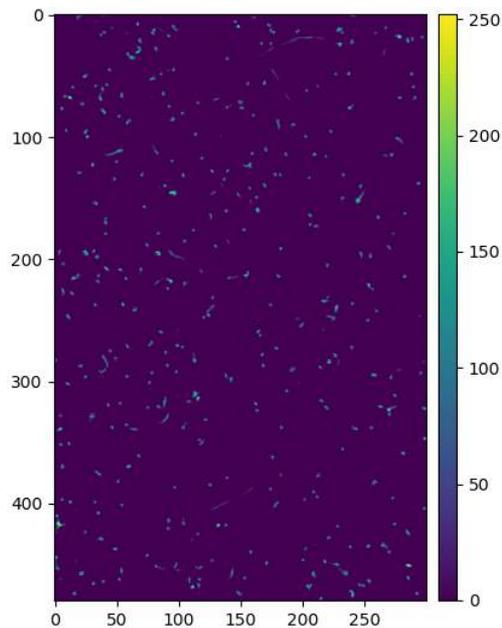
Photographier les muons cosmiques ?



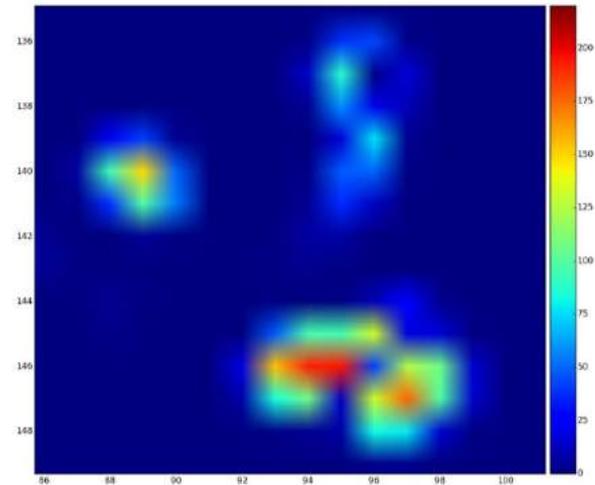
Rayonnements naturels

- Nous baignons en permanence dans un flux de rayonnements naturels !
- Pouvons-nous "voir" ces rayonnements ?

Photographier les muons cosmiques ?



Source radioactive



Muons cosmiques

Physique pour Tous !

Industrie, Vie quotidienne, Culture

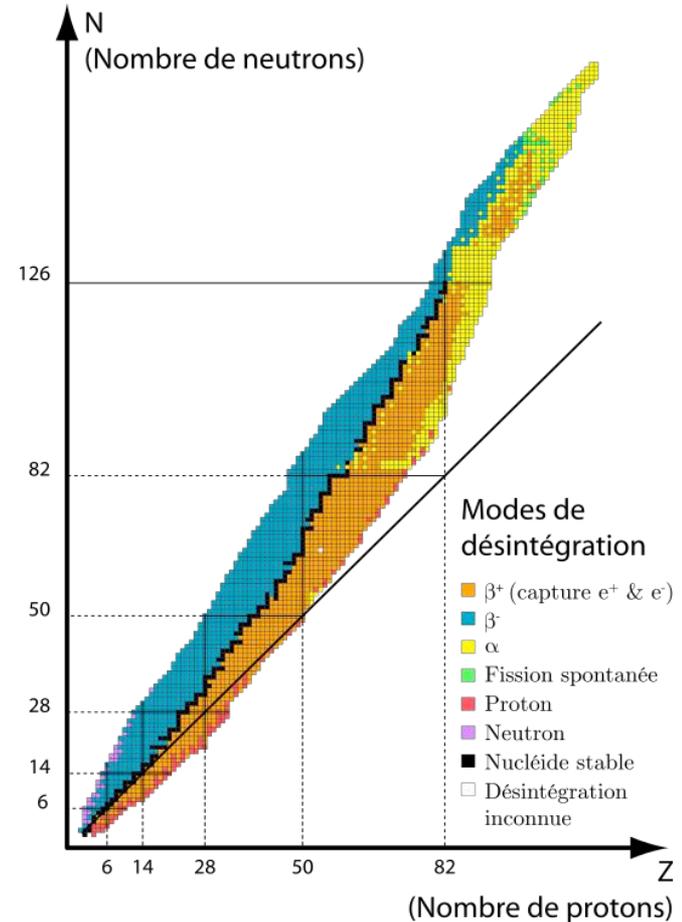
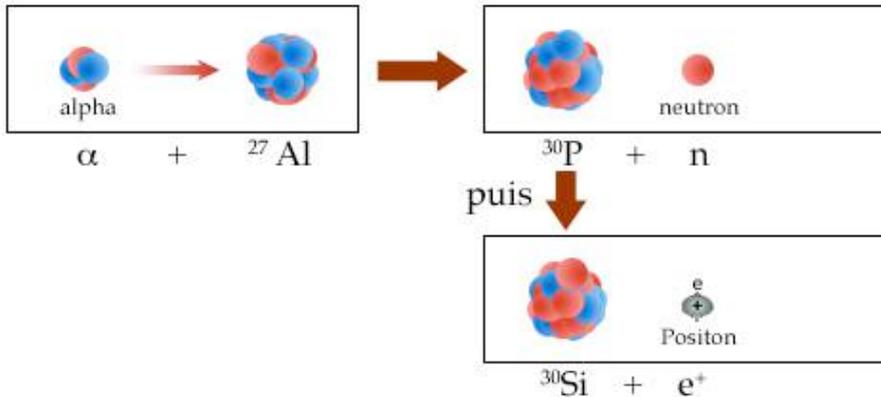
Physique pour Tous !

Radioactivité artificielle

- Radioactivité artificielle mise en évidence par F. et I. Joliot-Curie en **1934**



Crédit : Institut Curie



Physique pour Tous !

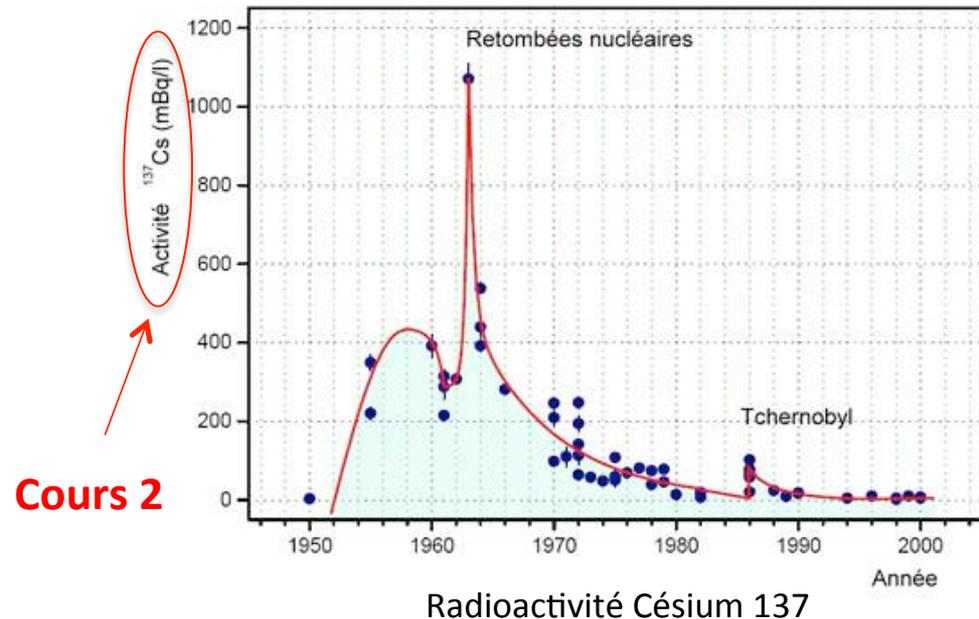
Radioactivité artificielle

- Radioactivité artificielle mise en évidence par F. et I. Joliot-Curie en **1934**
- Application à l'énergie nucléaire (1^{ère} pile nucléaire en France en **1948**)



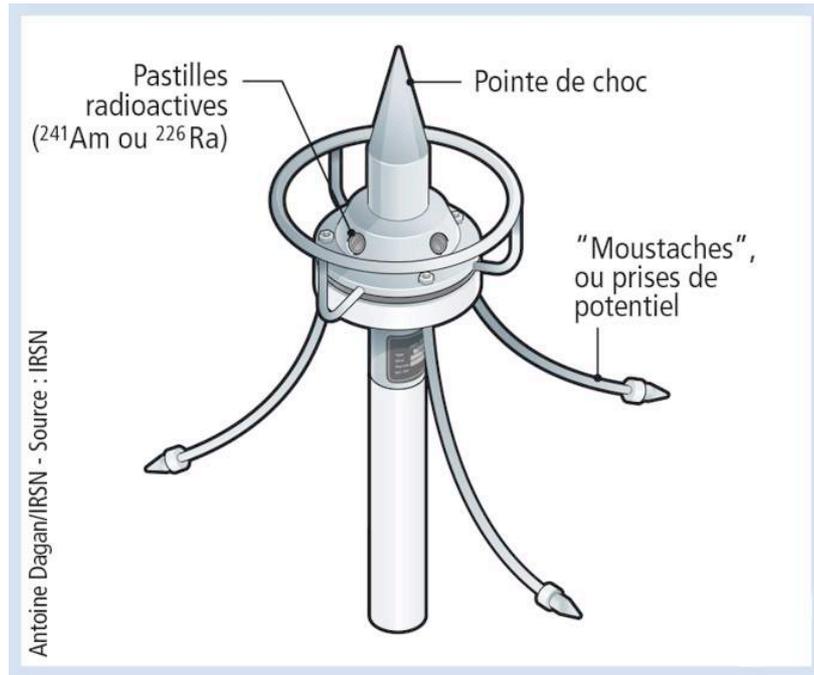
Radioactivité artificielle

- Radioactivité artificielle mise en évidence par F. et I. Joliot-Curie en **1934**
- Application à l'énergie nucléaire (1^{ère} pile nucléaire en France en **1948**)
- Application aux armes nucléaires (1^{ère} explosion en **1945** ⇔ projet Manhattan)

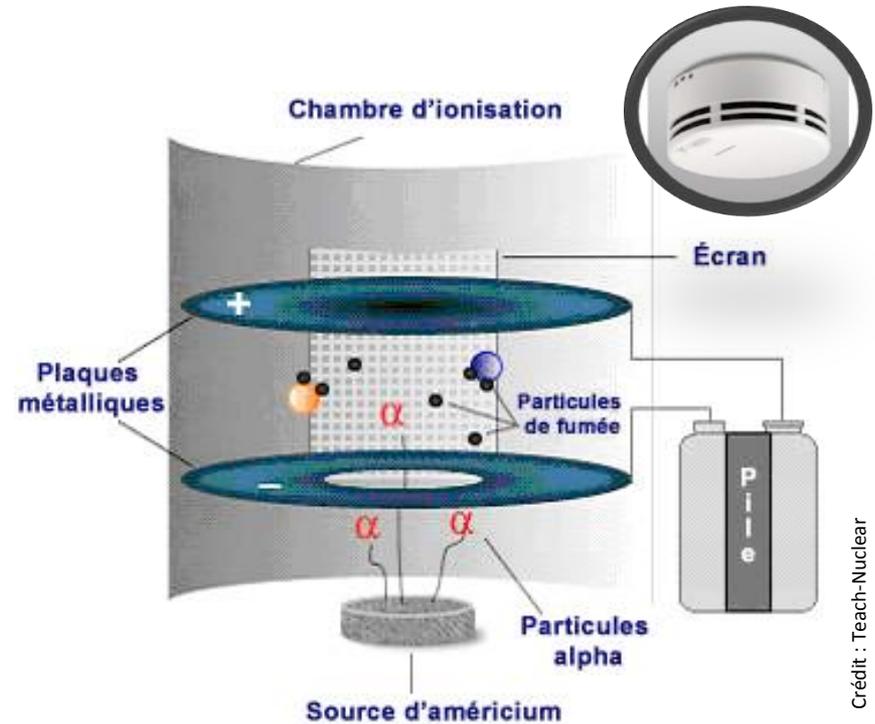


Objets du quotidien

- Nombreuses applications industrielles...dont beaucoup interdites aujourd'hui



Paratonnerre au Radium 226
(interdit en 1987)



Détecteur de fumée à l'Américium 241
(interdit en 2018)

Objets du quotidien

- Nombreuses applications industrielles...presque toute interdite aujourd'hui



Crédit : LosAlamos

Pacemaker au Plutonium 238
(arrêté vers 1980)



Manchons de CampingGaz au Thorium 232
(arrêté en France depuis les années 2000)



Applications industrielles

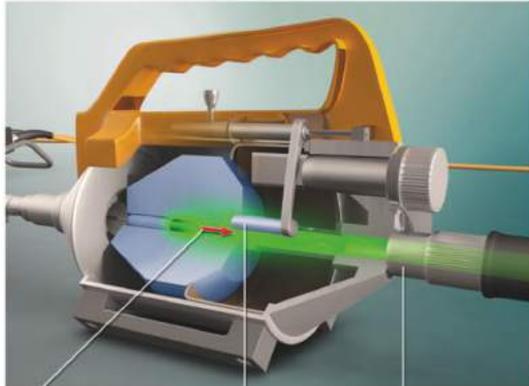
- Contrôles non destructifs



Crédit : isgroupe



Position ouverte



Sens d'éjection
de la source

Doigt obturateur
en position ouverte

Gaine d'éjection

Crédit : CEA

Gammagraphie



Crédit : usine nouvelle

Contrôle de niveau

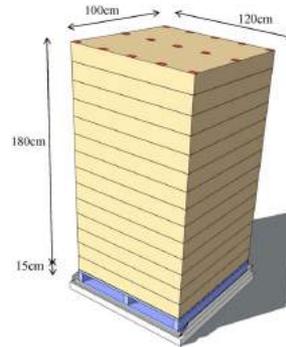
Physique pour Tous !

Applications industrielles

- Irradiation industrielle



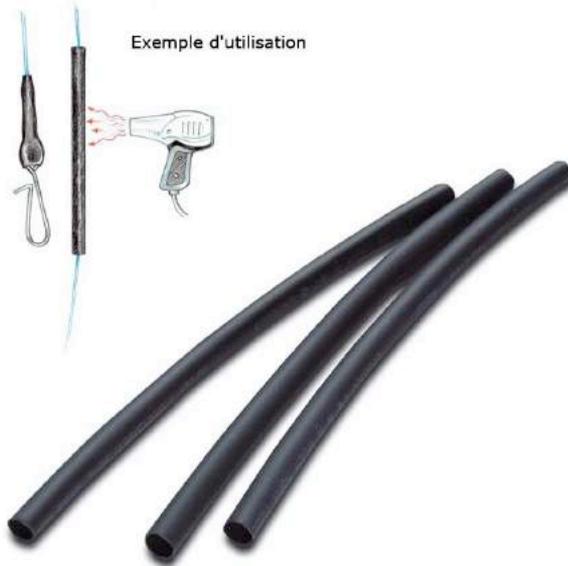
**Sources radioactives
(Cesium 137, Cobalt 60)**



Rayons X

Applications industrielles

- Possibilité de modifier les propriétés de la matière :
 - mécaniques (amélioration de la résistance des plastiques)
 - thermiques (point de fusion des câbles électriques)
 - optiques (changement de couleur)
 - électriques/magnétiques (conductivité du Silicium)



Gaines thermo-rétractables



Verres

Applications industrielles

- Stérilisation de matériel médical ou d'aliments



Physique pour Tous !

Applications industrielles

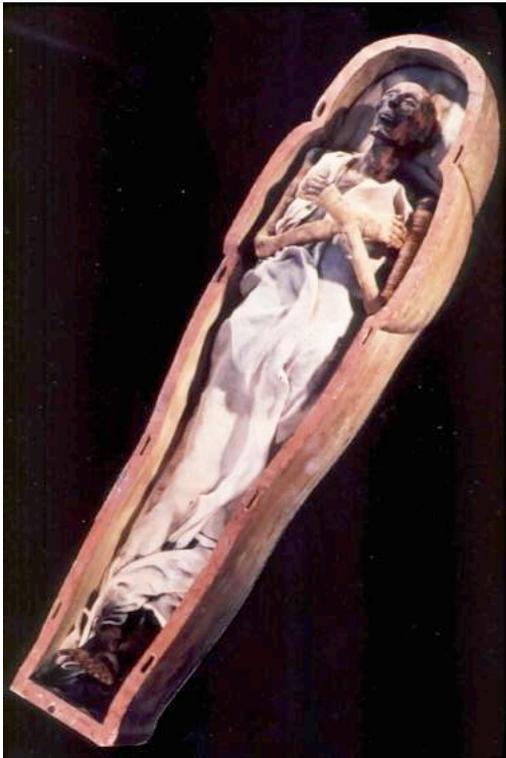
- Stérilisation de matériel médical ou d'aliments



Physique pour Tous !

Au musée

- Rayonnements ionisants utilisés pour de nombreuses applications culturelles :
 - stérilisation d'objets anciens



Momie Ramses-II



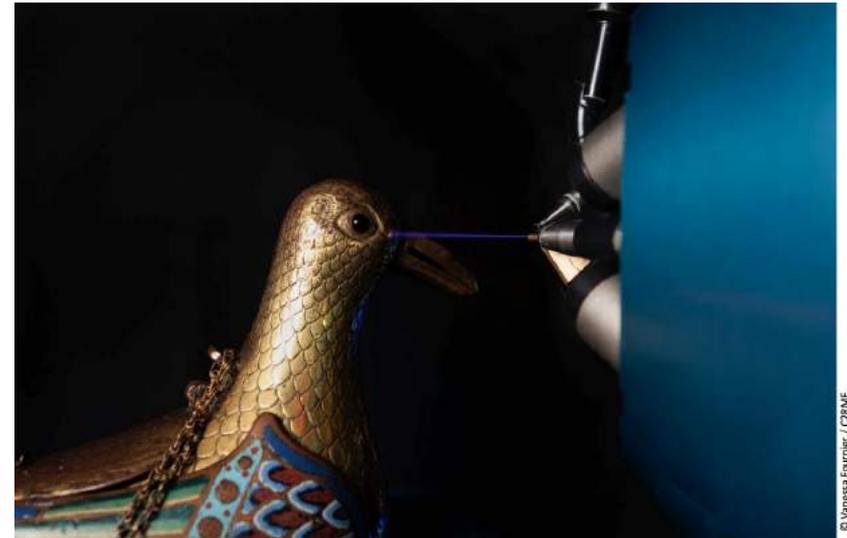
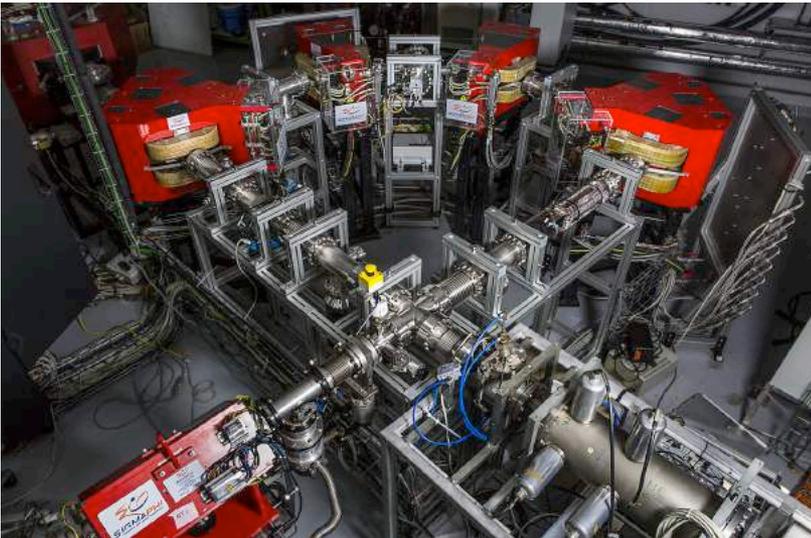
Pirogue Carolingienne

Au musée

- Rayonnements ionisants utilisés pour de nombreuses applications culturelles :
 - stérilisation d'objets anciens
 - identification des techniques, analyse de la composition

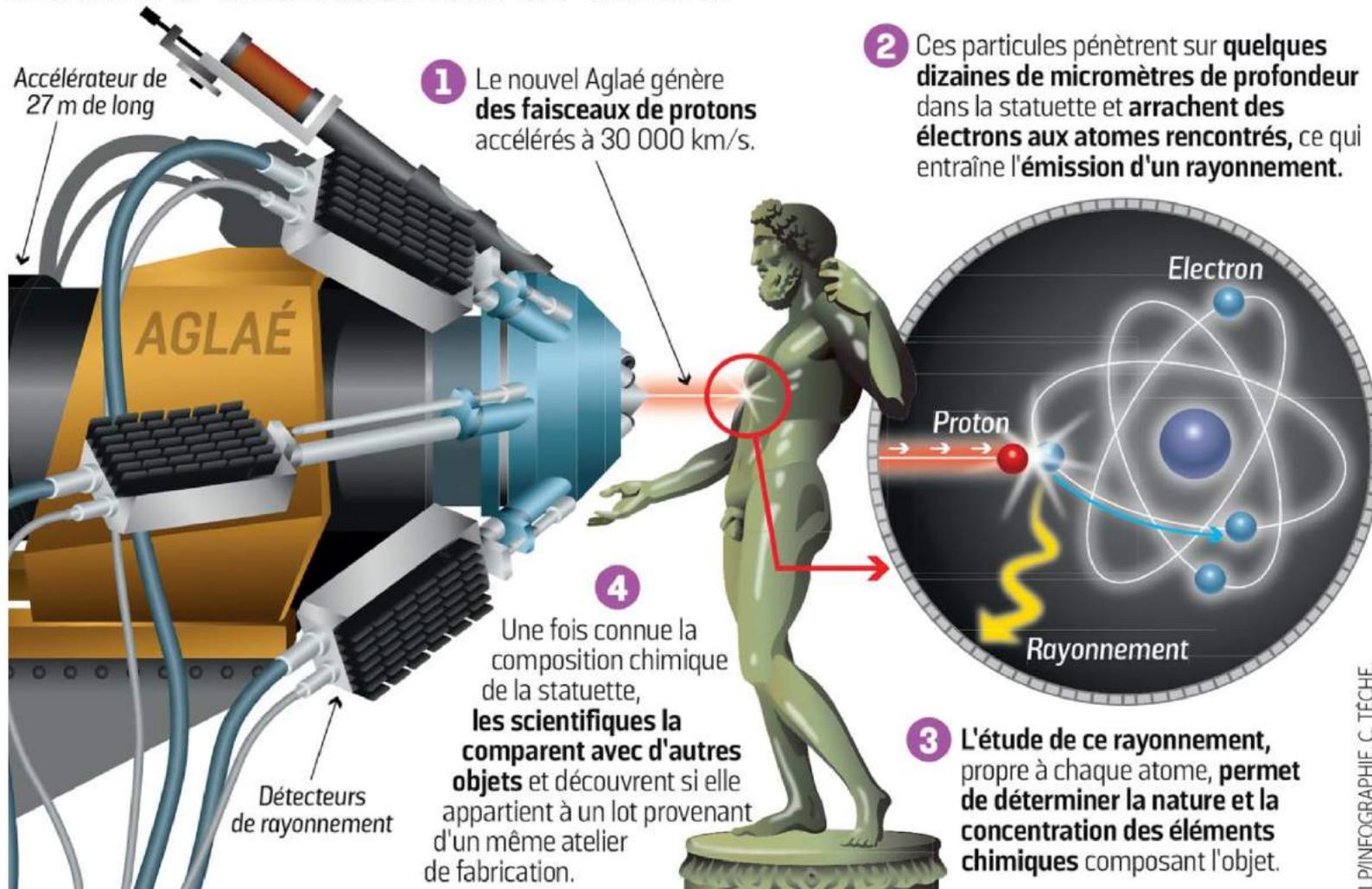
Musée du Louvre :
10 générateurs de rayons X
1 accélérateur de particules
(protons et alpha)

(new) AGLAE



Physique pour Tous !

L'étude d'une statuette de bronze



Au musée

- Rayonnements ionisants utilisés pour de nombreuses applications culturelles :
 - stérilisation d'objets anciens
 - identification des techniques, analyse de la composition
 - radiographie



© Elsa Lambert / C2RMF

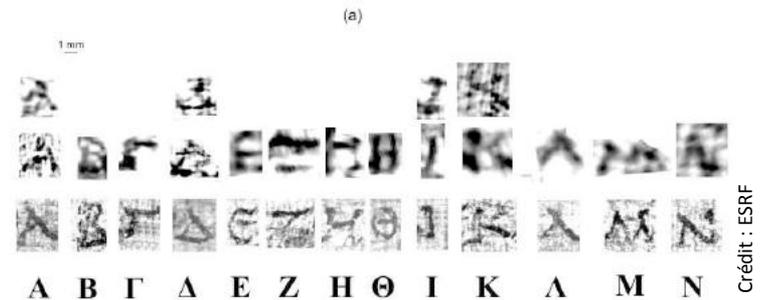
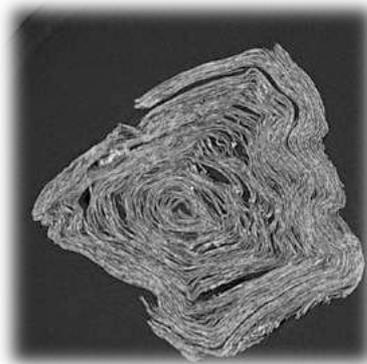


© Elsa Lambert / C2RMF

L'homme blessé, 1854, G.Courbet, Musée d'Orsay

Au musée

- Rayonnements ionisants utilisés pour de nombreuses applications culturelles :
 - stérilisation d'objets anciens
 - identification des techniques, analyse de la composition
 - radiographie



<https://vimeo.com/124498036>

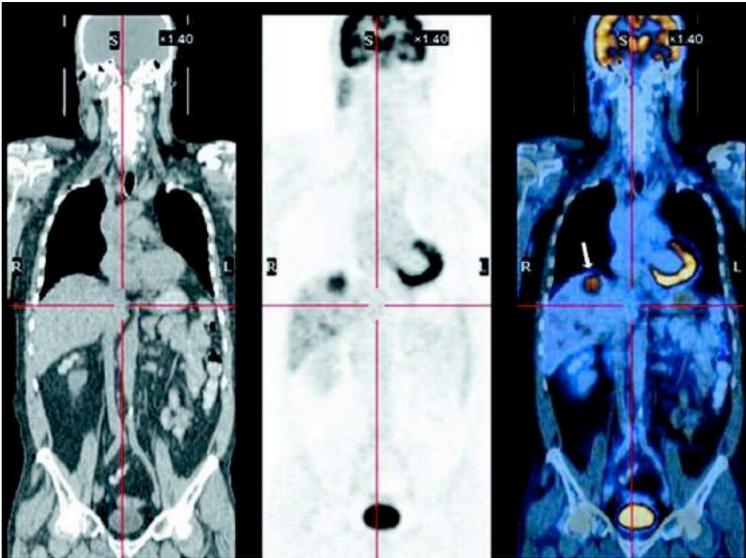
Médical

Applications médicales

- Premières applications historiques des rayonnements ionisants (≈ 1900)

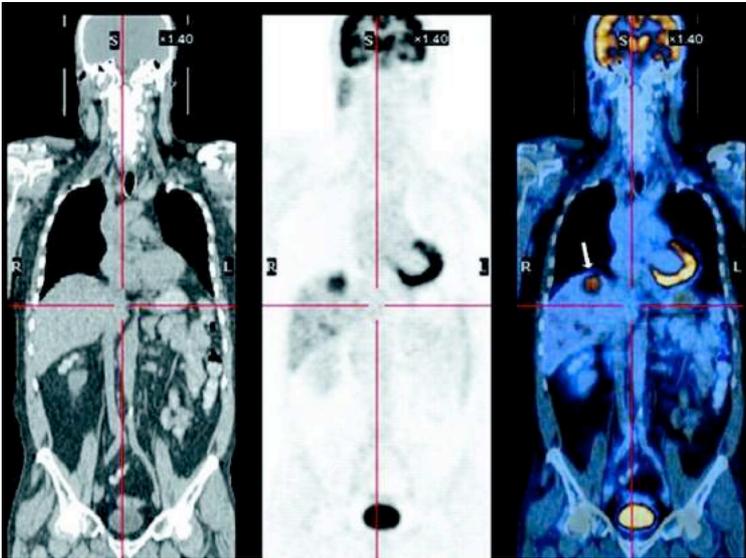
Applications médicales

- Premières applications historiques des rayonnements ionisants (≈ 1900)
- Deux modes d'utilisation :
 - diagnostique \Leftrightarrow imagerie de l'anatomie ou de l'activité du corps humain



Applications médicales

- Premières applications historiques des rayonnements ionisants (≈ 1900)
- Deux modes d'utilisation :
 - diagnostique \Leftrightarrow imagerie de l'anatomie ou de l'activité du corps humain
 - thérapie \Leftrightarrow destruction des cellules cancéreuses par irradiation

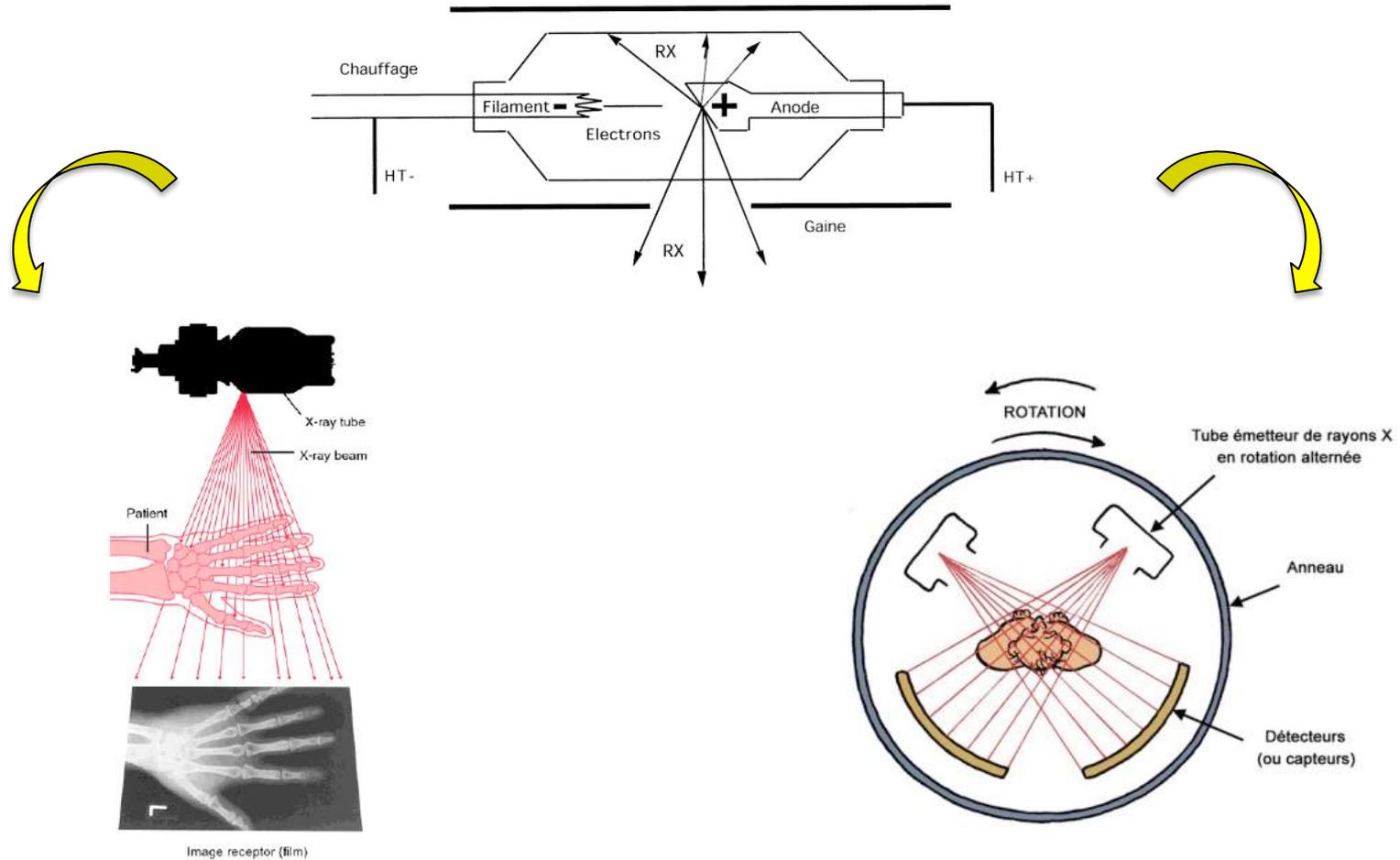


Crédit : DOSEO

Physique pour Tous !

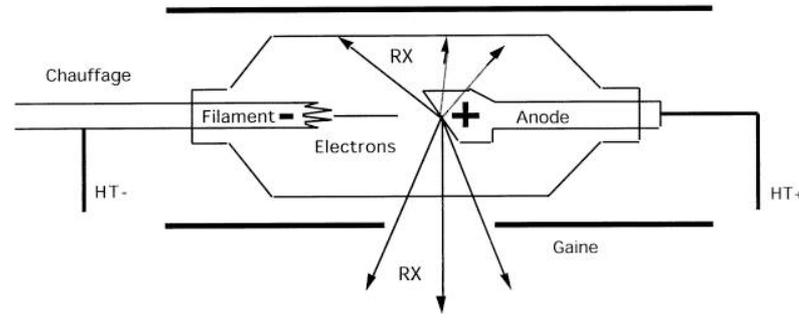
Applications médicales : rayons X

- La radiographie (2D, 3D) est basée sur l'**atténuation** des rayons X dans le corps



Applications médicales : rayons X

- La radiographie (2D, 3D) est basée sur l'**atténuation** des rayons X dans le corps



Physique pour Tous !

Applications médicales : rayons X

Radiologie conventionnelle



Radiologie interventionnelle



Dentaire



Scanner (CT)

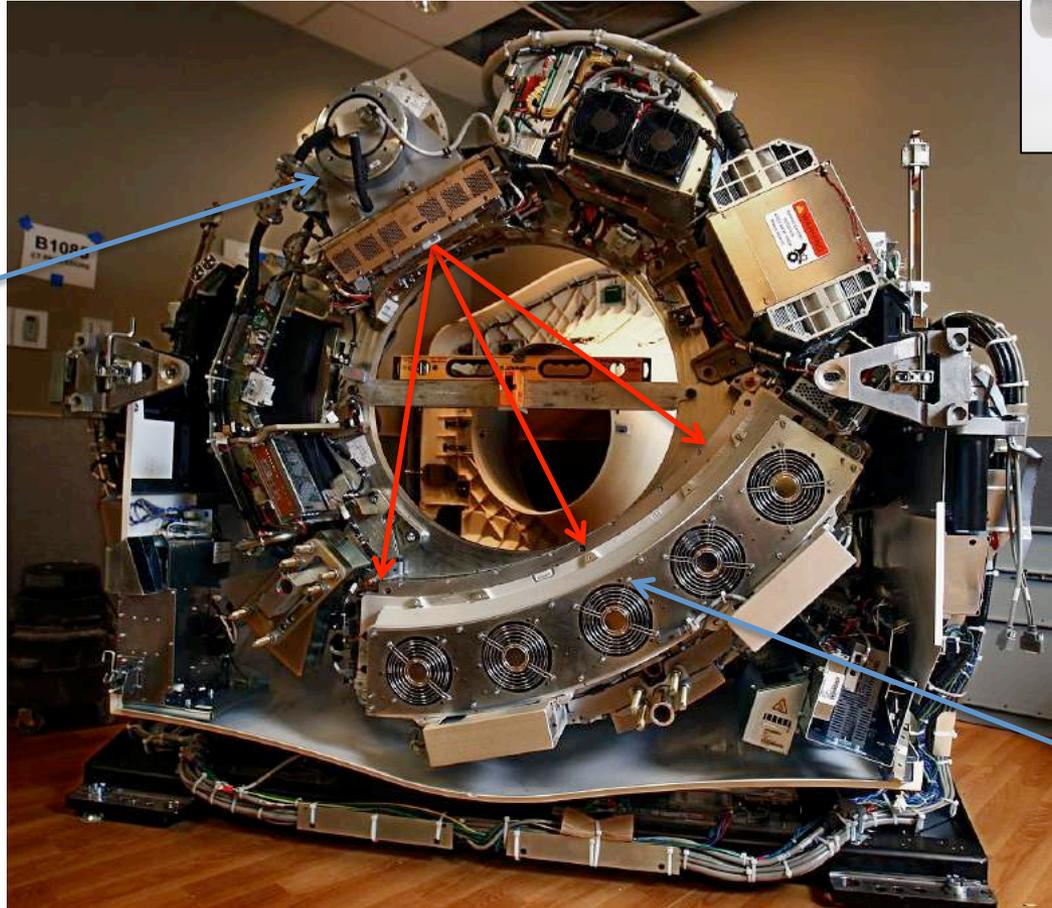


Mammographie



Physique pour Tous !

Applications médicales : rayons X



Tube rayons X

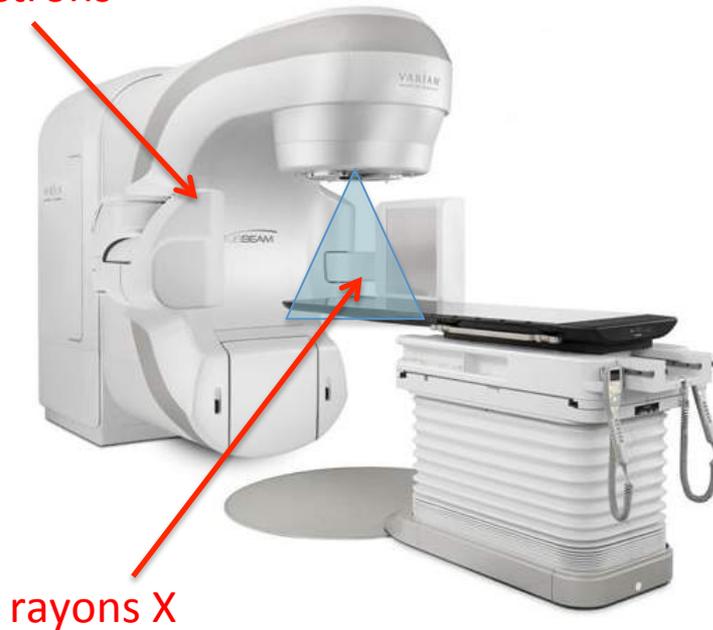
Détecteurs

Physique pour Tous !

Applications médicales : rayons X

- La radiothérapie est basée sur l'**interaction** des rayons X dans les tumeurs
- Les rayons X sont 100 fois plus énergétiques que pour la radiologie

accélérateur
d'électrons

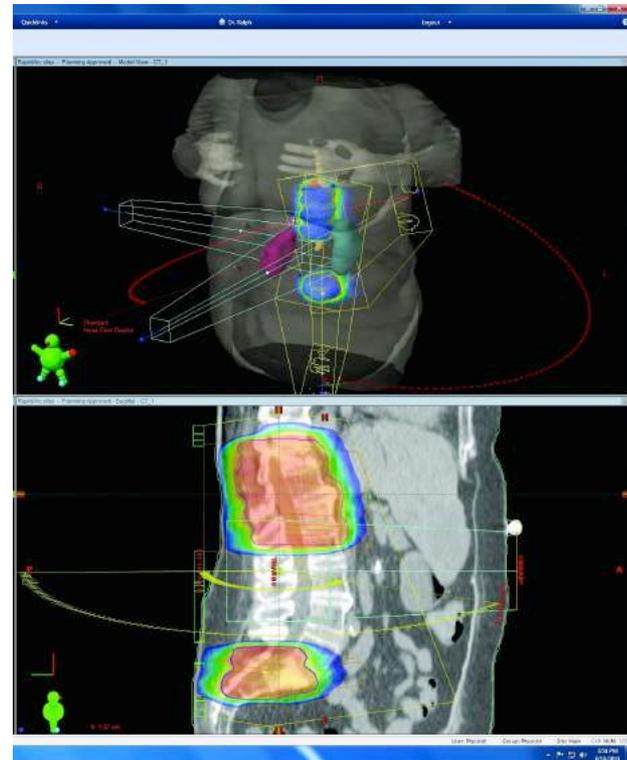
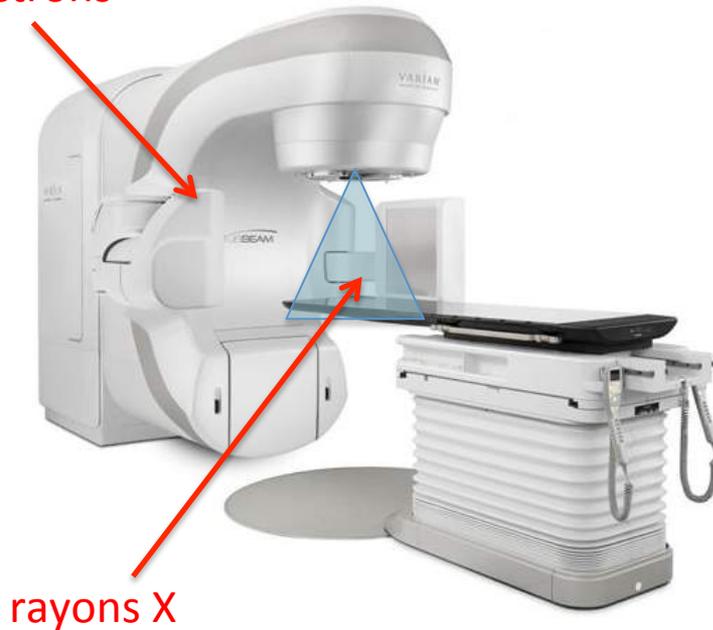


Physique pour Tous !

Applications médicales : rayons X

- La radiothérapie est basée sur l'**interaction** des rayons X dans les tumeurs
- Les rayons X sont 100 fois plus énergétiques que pour la radiologie

accélérateur
d'électrons



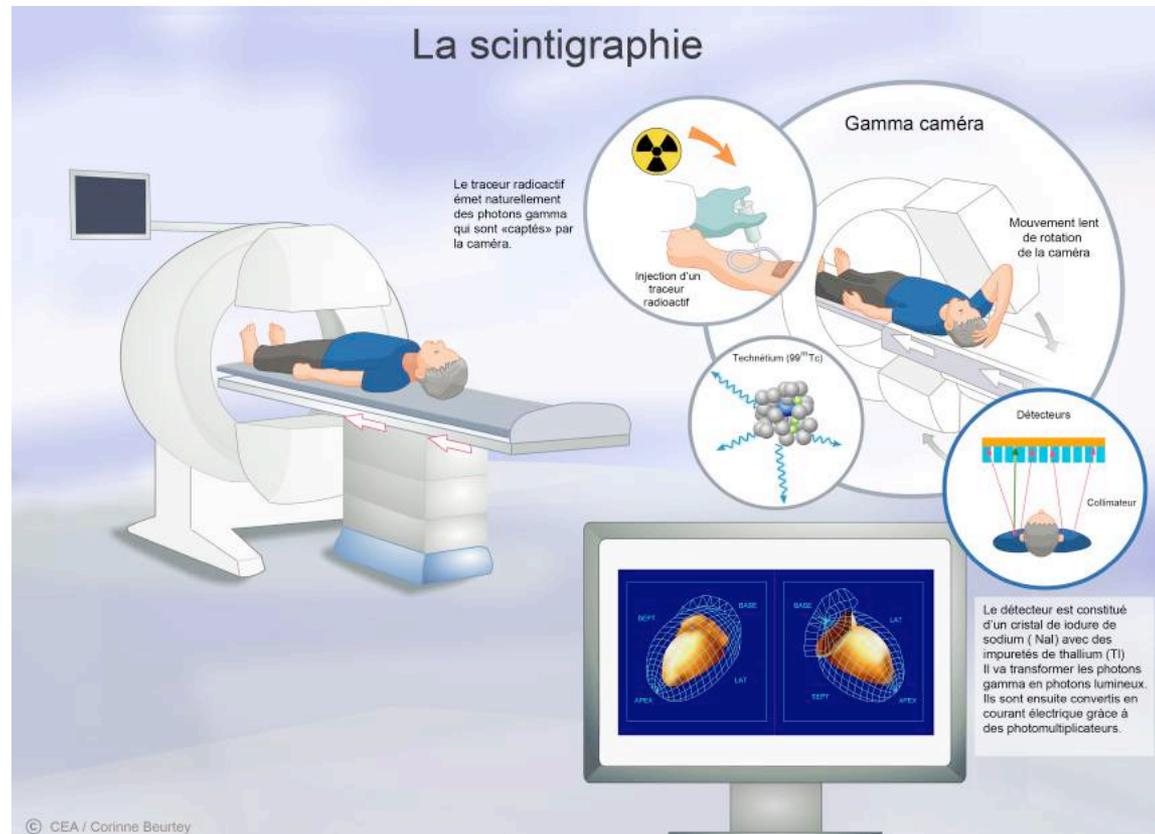
Physique pour Tous !

Applications médicales : radioactivité

- L'imagerie nucléaire est basée sur la **localisation** de sources radioactives
- La source radioactive est couplée avec un traceur biologique (exemple : glucose) puis injectée dans le corps

Applications médicales : radioactivité

- L'imagerie nucléaire est basée sur la **localisation** de sources radioactives
- La source radioactive est couplée avec un traceur biologique (exemple : glucose) puis injectée dans le corps



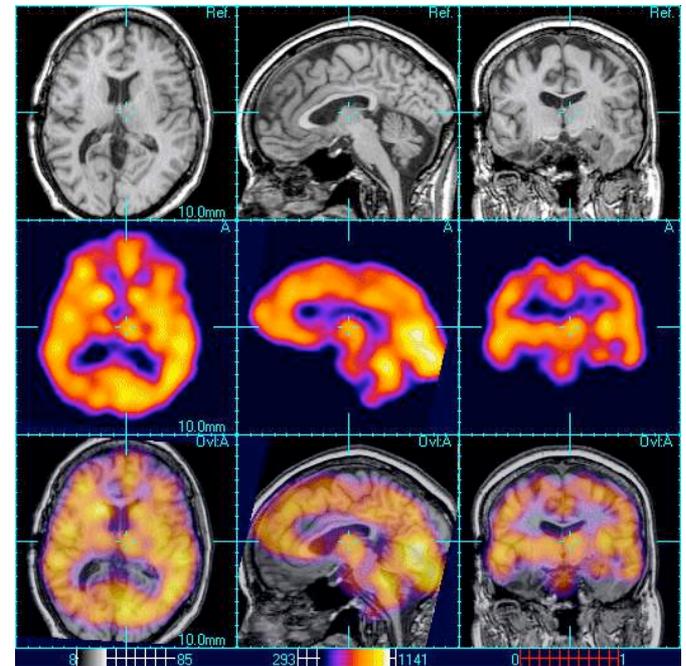
Physique pour Tous !

Applications médicales : radioactivité

- L'imagerie nucléaire est basée sur la **localisation** de sources radioactives
- La source radioactive est couplée avec un traceur biologique (exemple : glucose) puis injectée dans le corps

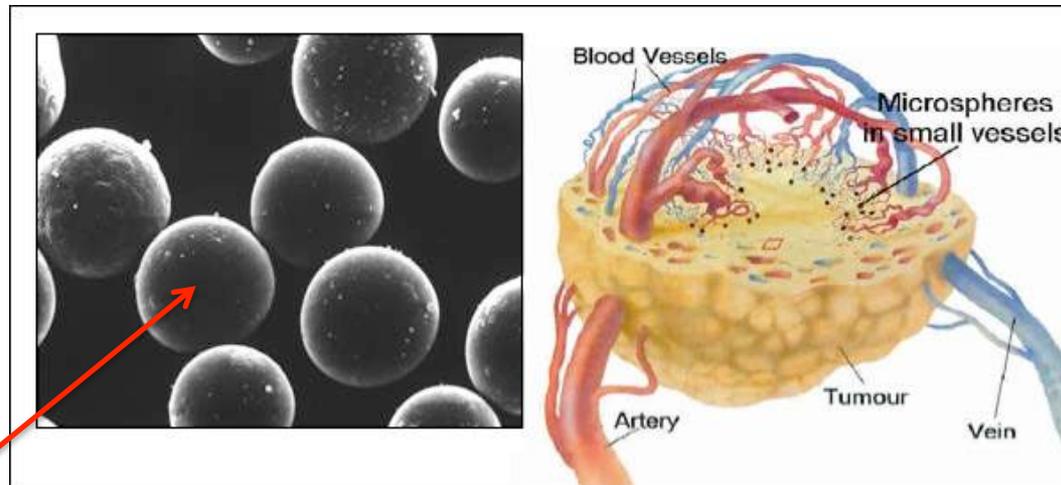


Couplage imagerie nucléaire – rayons X



Applications médicales : radioactivité

- La médecine nucléaire est basée sur la **l'interaction** de sources radioactives dans les tumeurs



Micro-sphères
radioactives (^{90}Y)

Applications médicales : radioactivité

- La médecine nucléaire est basée sur la **l'interaction** de sources radioactives dans les tumeurs
- Radiographie temps-réel pour guider l'injection au plus près de la tumeur



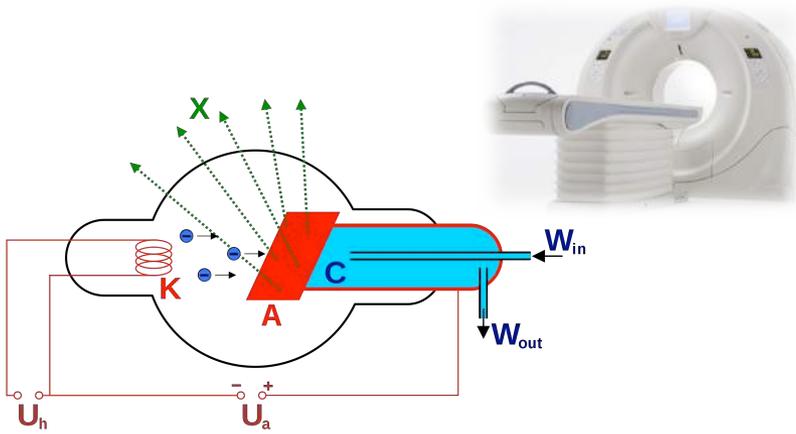
TUBE À RAYONS X

injection de
microsphères
radioactives

Physique pour Tous !

Résumé du Cours 1

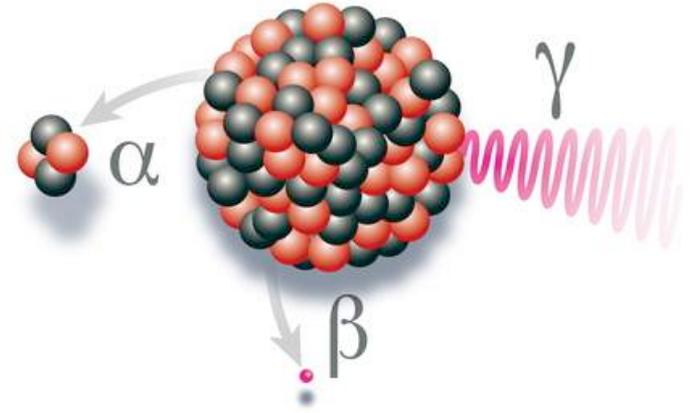
- Principaux types de rayonnements ionisants



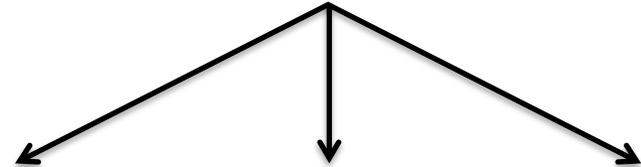
Rayons X



Photons



Radioactivité



Photons
(gamma)

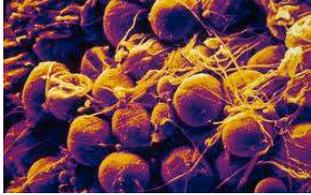
Electrons
(beta)

Noyau He
(alpha)

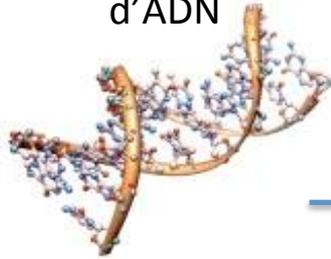
Résumé du Cours 1

- Principaux effets sur la matière (dépend de l'énergie du rayonnement)

Vivant (cellule)

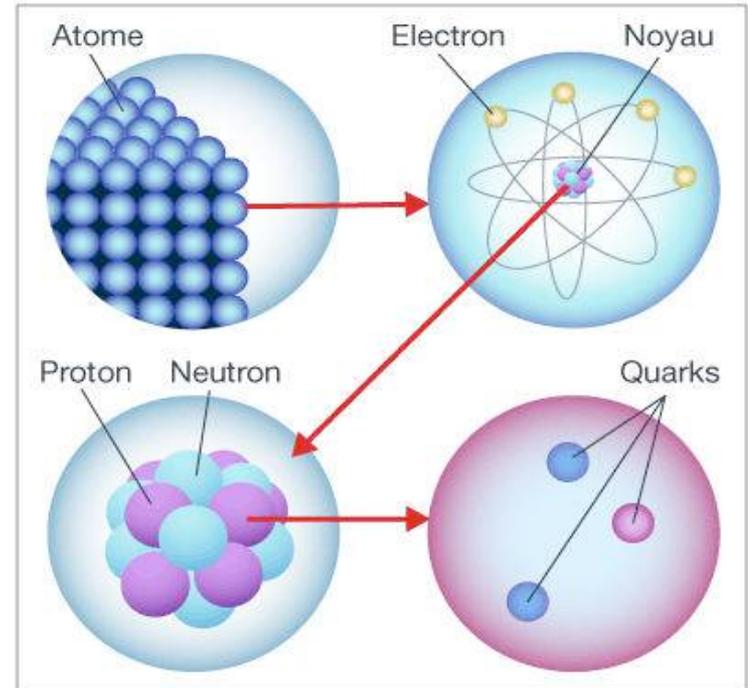
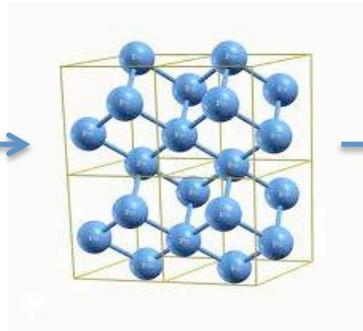


Molécule
d'ADN



Inerte
(cristaux)

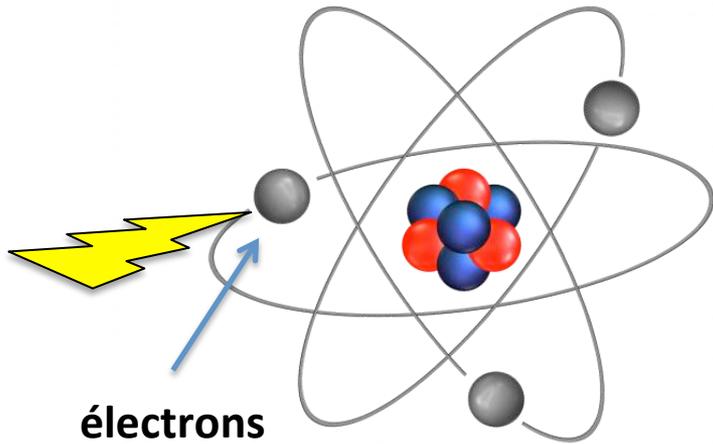
Réseau
d'atomes



Physique pour Tous !

Résumé du Cours 1

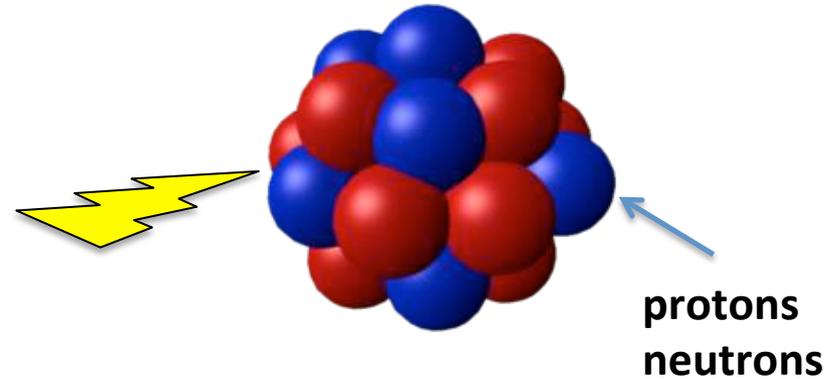
- Principaux effets sur la matière (dépend de l'énergie du rayonnement)



Ionisation



Modifier la structure de
l'atome



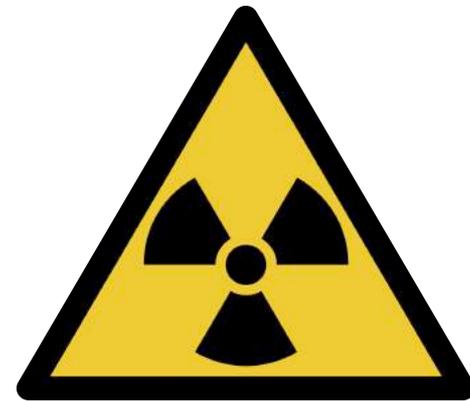
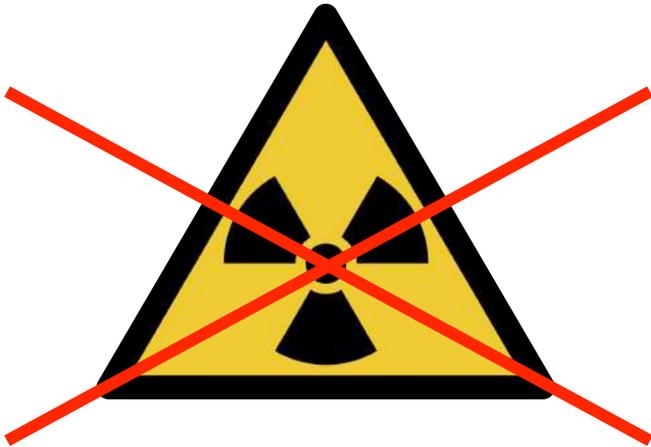
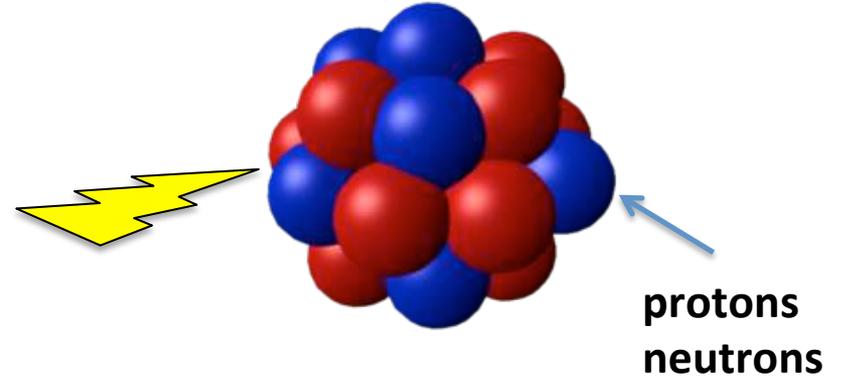
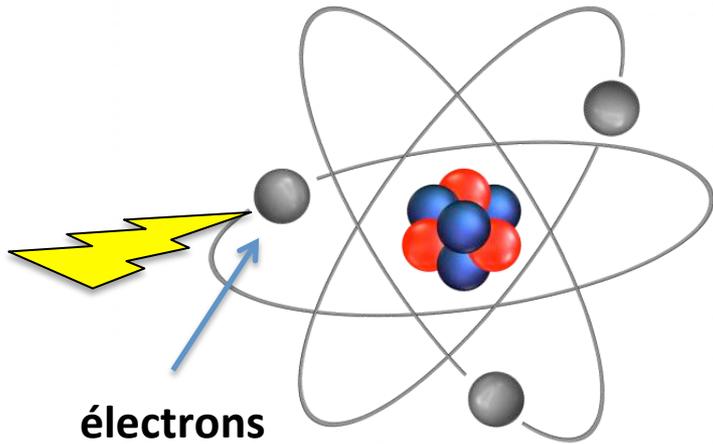
Activation



Modifier la structure du noyau

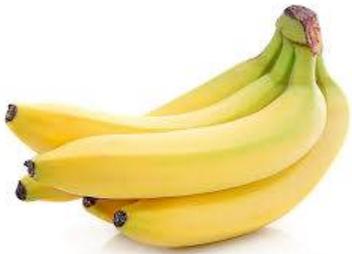
Résumé du Cours 1

- Principaux effets sur la matière (dépend de l'énergie du rayonnement)



Résumé du Cours 1

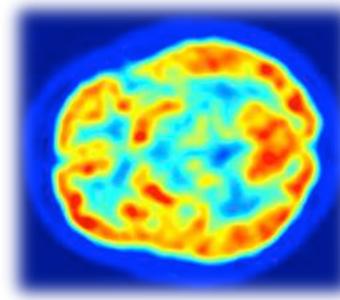
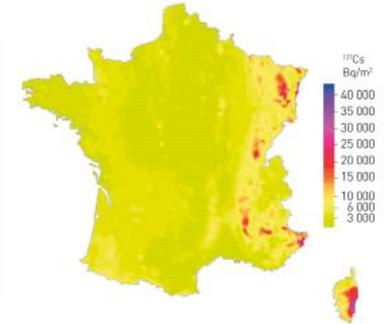
- Principales sources de rayonnements ionisants "au quotidien"



Radioactivité naturelle



Radioactivité artificielle



**Applications
médicales**