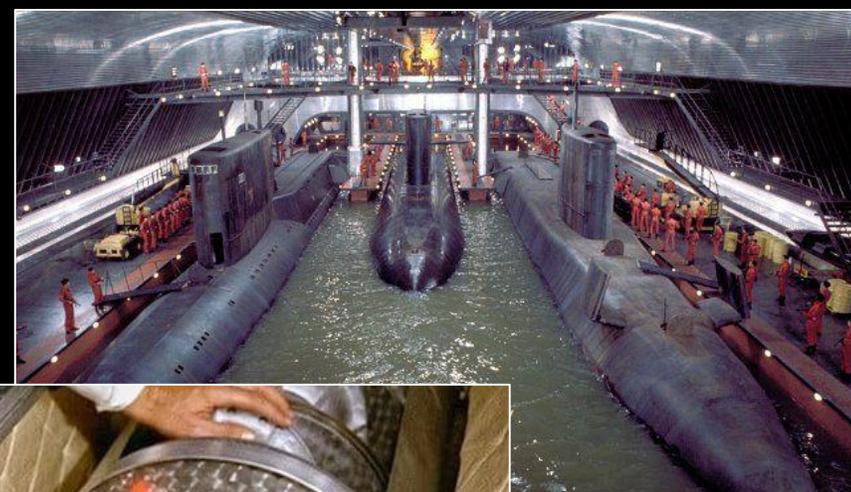


Physique
pour Tous !

Saison 4
2021-2022

Cycle
« Physique & Cinéma, édition spéciale 007 »

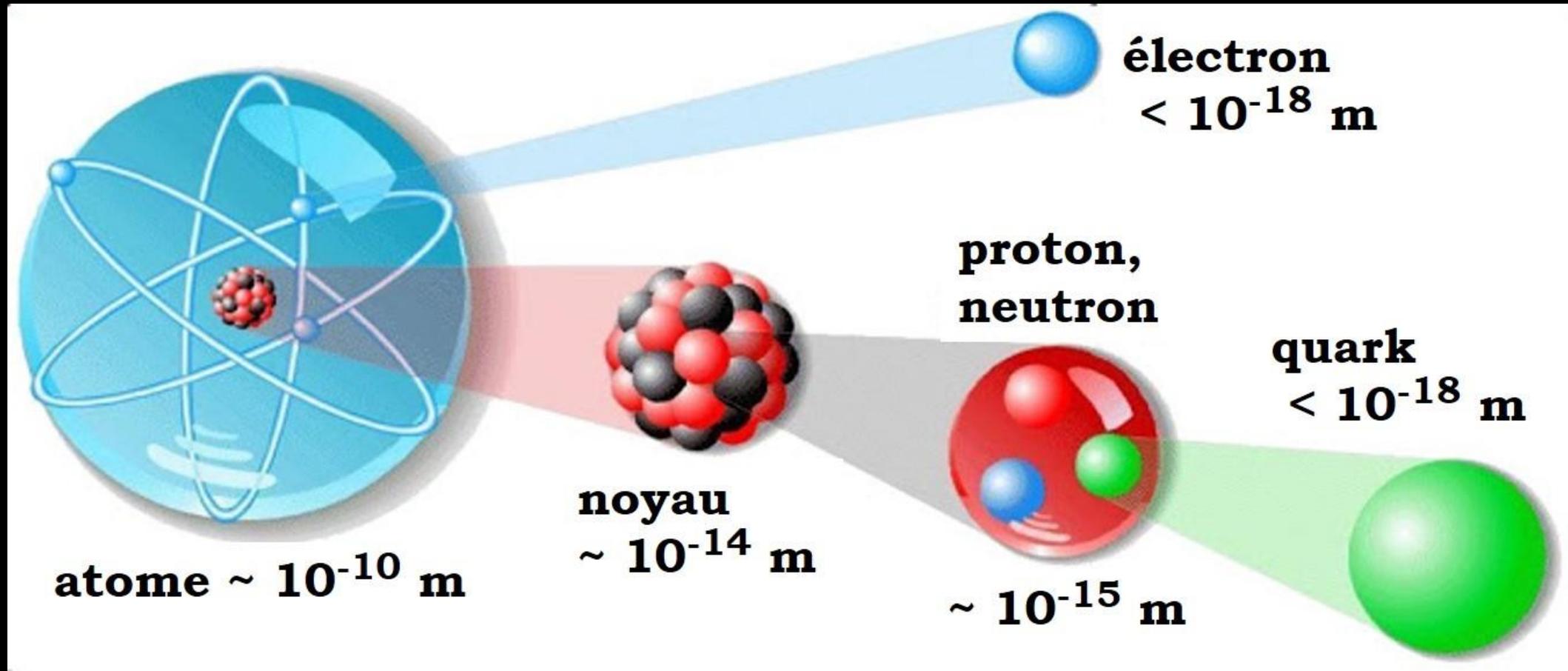
JAMES BOND FACE À LA MENACE **NUCLÉAIRE**



Mardi 19/10/2021, de 18h15 à 19h45, amphi Fresnel

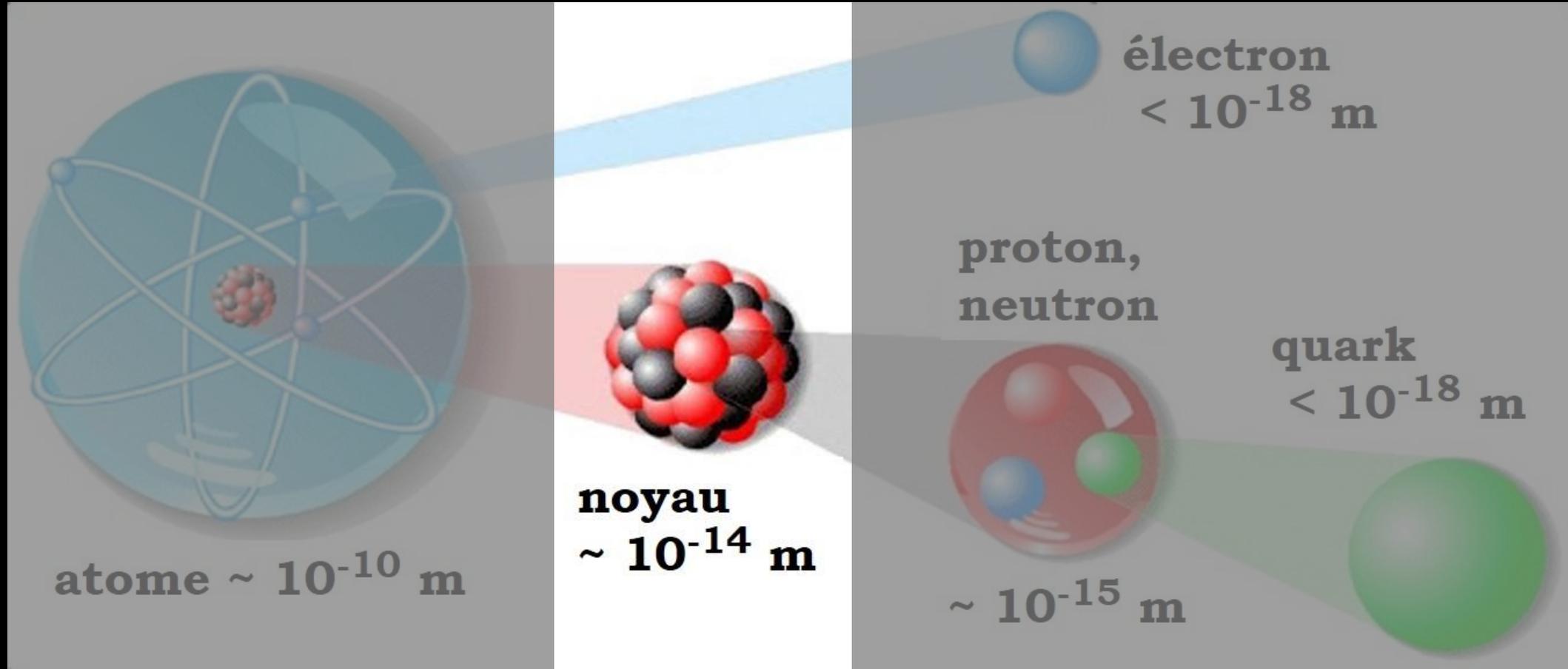
Introduction

La physique nucléaire



Introduction

La physique nucléaire



Introduction

- Dans les films de James Bond, deux phénomènes issus de la physique nucléaire sont mis en avant :
 - La radioactivité
 - L'énergie nucléaire } existent à l'état naturel
- Le Spectre ou d'autres génies du mal s'emparent de ces sciences pour menacer le monde.
→ plus d'un 1/3 des aventures filmiques de James Bond a pour sujet la menace nucléaire.
- Quelques exemples :



Contamination ou irradiation radioactive



Dysfonctionnement d'une centrale nucléaire



Arme nucléaire

Le cinéma de James Bond a contribué à donner une image négative au secteur du nucléaire auprès du grand public.



Au programme ce soir

1. La radioactivité
2. Activité et compteur Geiger-Müller
3. Effet de la radioactivité sur la santé et dosimètre
4. Les armes atomiques
5. L'opération Grand Chélem



Disclaimer

Toutes les cascades montrées dans les extraits de films ont été réalisées par des professionnels ou sont le fruit de la magie du cinéma.

N'essayez surtout pas de les reproduire chez vous !



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen is illuminated and displays the text '1. La radioactivité' in a bold, blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is quiet and focused on the presentation.

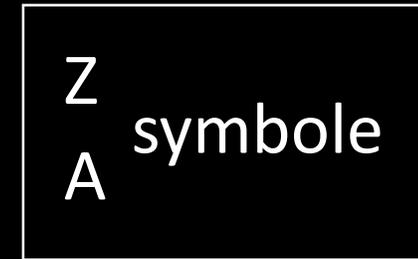
1. La radioactivité

La radioactivité

Comment caractériser le noyau d'un atome ?

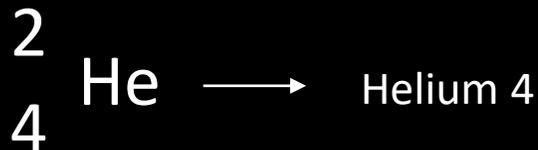
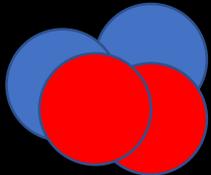
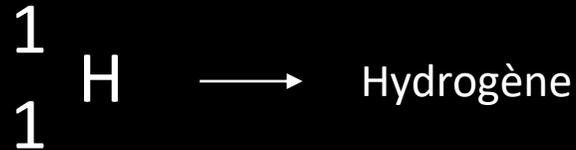
- Nombre de protons = Z appelé **numéro atomique**
- Nombre de neutrons = N
- Nombre total de nucléons (protons/neutrons) : A appelé **masse atomique**

Notation d'un noyau



Le nombre de neutron est obtenu en calculant $N = A - Z$.

Exemples :

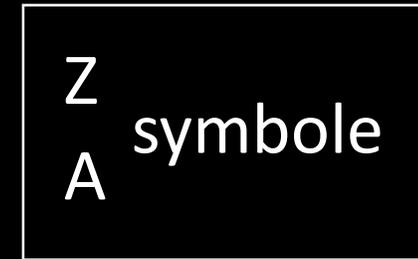


La radioactivité

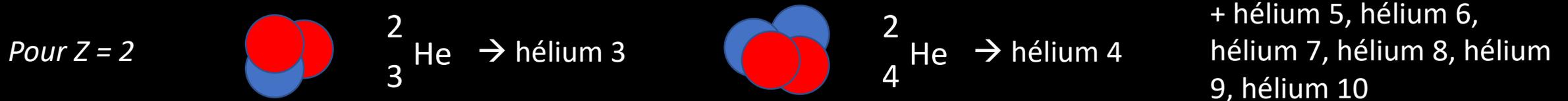
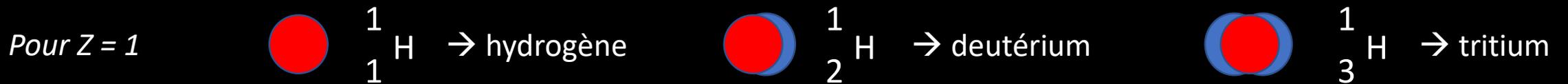
Comment caractériser le noyau d'un atome ?

- Nombre de protons = Z appelé **numéro atomique**
- Nombre de neutrons = N
- Nombre total de nucléons (protons/neutrons) : A appelé **masse atomique**

Notation d'un noyau



Pour un même Z , il existe plusieurs noyaux possibles qui diffèrent par leur nombre de neutron. On parle d'**isotope**.



La radioactivité

Représentation de tous les noyaux : tableau périodique de Mendeleïev (1869)

- On ne représente que les **éléments** : une case par Z.
- Numéro atomique A = moyenne sur les isotopes existant à l'état naturel sur Terre et selon leur proportion.
- Visualisation de familles d'éléments (même propriétés chimiques)

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Masse atomique → 55.845

Symbole chimique → **Fe**

Nom → fer

← Numéro atomique (nombre de protons dans le noyau) 26

1	2											13	14	15	16	17	18	
1.00794 1 H hydrogène													10.811 5 B bore	12.0107 6 C carbone	14.0067 7 N azote	15.9994 8 O oxygène	18.998403 9 F fluor	20.1797 10 Ne néon
6.941 3 Li lithium	9.012182 4 Be béryllium												26.98153 13 Al aluminium	28.0855 14 Si silicium	30.973762 15 P phosphore	32.06 16 S soufre	35.453 17 Cl chlore	39.948 18 Ar argon
22.98976 11 Na sodium	24.3050 12 Mg magnésium												69.723 31 Ga galium	72.64 32 Ge germanium	74.92160 33 As arsenic	78.96 34 Se sélénium	79.904 35 Br brome	83.798 36 Kr krypton
39.0983 19 K potassium	40.078 20 Ca calcium	44.95591 21 Sc scandium	47.867 22 Ti titane	50.9415 23 V vanadium	51.9962 24 Cr chrome	54.93804 25 Mn manganèse	55.845 26 Fe fer	58.93319 27 Co cobalt	58.93319 27 Ni nickel	63.546 29 Cu cuivre	65.38 30 Zn zinc	69.723 31 Ga galium	72.64 32 Ge germanium	74.92160 33 As arsenic	78.96 34 Se sélénium	79.904 35 Br brome	83.798 36 Kr krypton	
85.4678 37 Rb rubidium	87.62 38 Sr strontium	88.90585 39 Y yttrium	91.224 40 Zr zirconium	92.90638 41 Nb niobium	95.96 42 Mo molybdène	98 43 Tc technétium	101.07 44 Ru ruthénium	102.9055 45 Rh rhodium	106.42 46 Pd palladium	107.8682 47 Ag argent	112.441 48 Cd cadmium	114.818 49 In indium	118.710 50 Sn étain	121.760 51 Sb antimoine	127.60 52 Te tellure	126.9044 53 I iode	131.293 54 Xe xénon	
132.9054 55 Cs césium	137.327 56 Ba barium	lanthanides 57-71	178.49 72 Hf hafnium	180.9478 73 Ta tantalum	183.84 74 W tungstène	186.207 75 Re rhenium	190.23 76 Os osmium	192.227 77 Ir iridium	195.084 78 Pt platine	196.9665 79 Au or	200.59 80 Hg mercure	204.3833 81 Tl thallium	207.2 82 Pb plomb	208.9804 83 Bi bismuth	210 84 Po polonium	210 85 At astate	220 86 Rn radon	
223 87 Fr francium	226 88 Ra radium	actinides 89-103	261 104 Rf rutherfordium	262 105 Db dubnium	266 106 Sg seaborgium	264 107 Bh bohrium	277 108 Hs hassium	288 109 Mt meitnérium	271 110 Ds darmstadtium	272 111 Rg roentgenium	285 112 Cn copernicium	284 113 Uut ununtrium	289 114 Fl flérovium	288 115 Uup ununpentium	292 116 Lv livermorium	292 117 Uus ununseptium	294 118 Uuo ununoctium	
			138.9054 57 La lanthane	140.116 58 Ce cérium	140.9076 59 Pr praséodyme	144.242 60 Nd néodyme	145 61 Pm prométhium	150.36 62 Sm samarium	151.964 63 Eu europium	157.25 64 Gd gadolinium	158.9253 65 Tb terbium	162.500 66 Dy dysprosium	164.9303 67 Ho holmium	167.259 68 Er erbium	168.9342 69 Tm thulium	173.054 70 Yb ytterbium	174.9668 71 Lu lutécium	
			227 89 Ac actinium	232.0380 90 Th thorium	231.0368 91 Pa protactinium	238.0289 92 U uranium	237 93 Np neptunium	244 94 Pu plutonium	243 95 Am américium	247 96 Cm curium	247 97 Bk berkélium	251 98 Cf californium	252 99 Es einsteinium	257 100 Fm fermium	258 101 Md mendélévium	259 102 No nobélium	262 103 Lr lawrencium	

métaux alcalins
 alcalino-terreux
 métaux pauvres
 métaux de transition
 métalloïdes
 non-métaux
 halogènes
 gaz rares

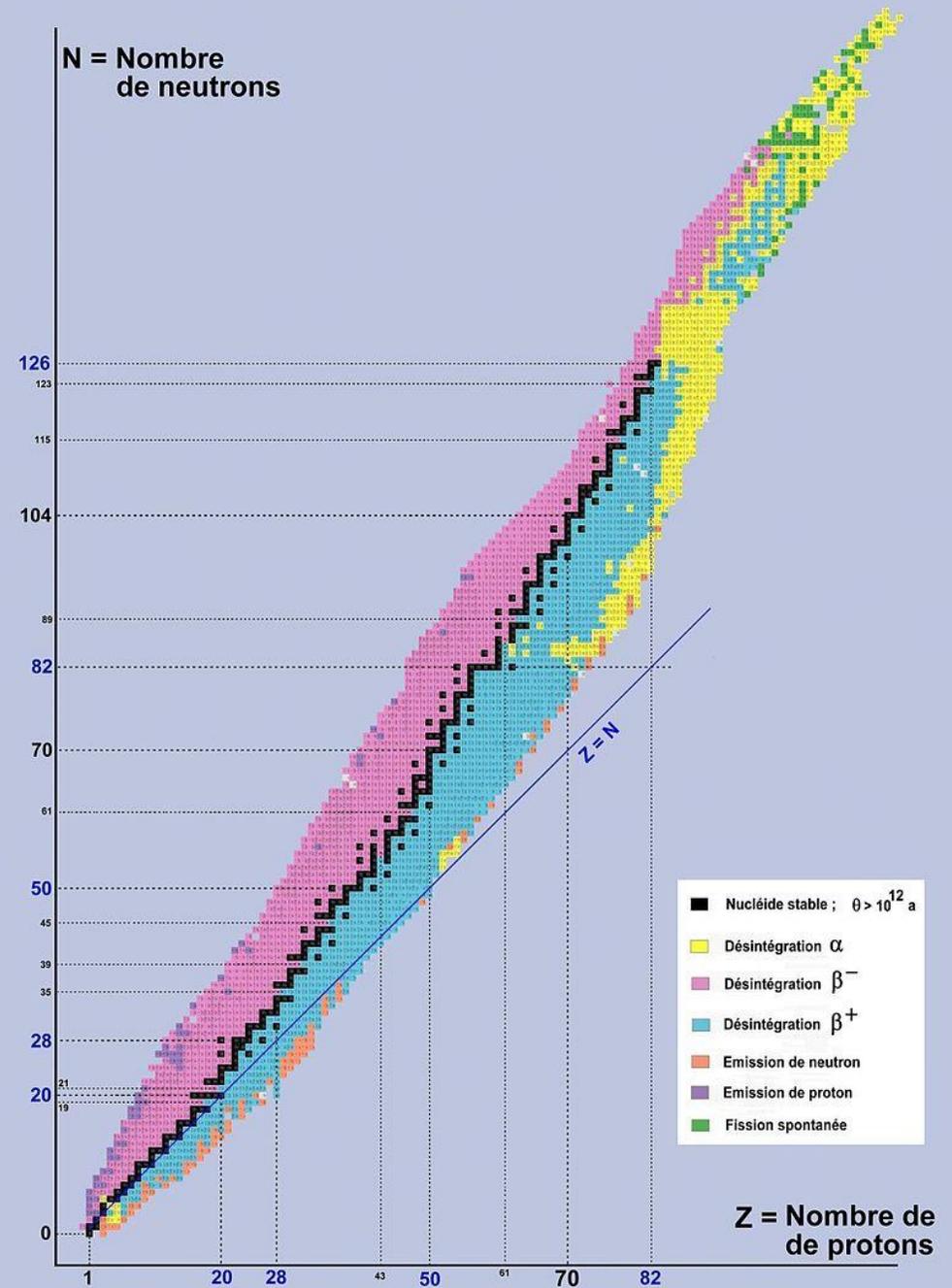
Sources : IUPAC, Wikimedia Commons



La radioactivité

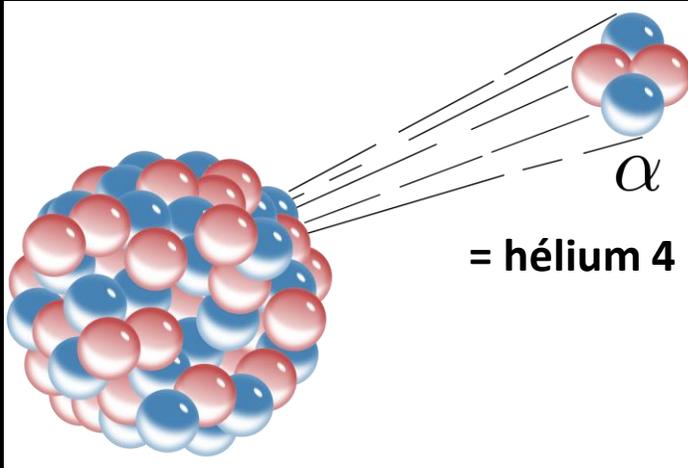
Représentation de tous les noyaux : la vallée de stabilité

- Pour $Z \leq 20$, la courbe de stabilité suit la droite $N = Z$.
- Le noyau est instable quand :
 - excès ou défaut de neutrons.
 - Z est très grand (> 85)



La radioactivité

Les 3 désintégrations principales :

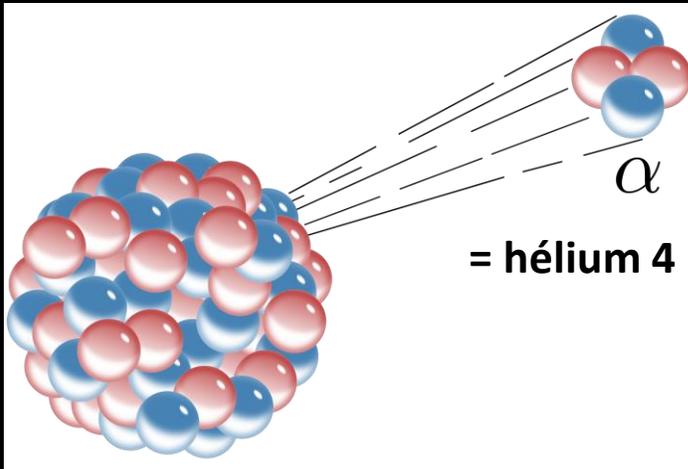


Rayonnement alpha

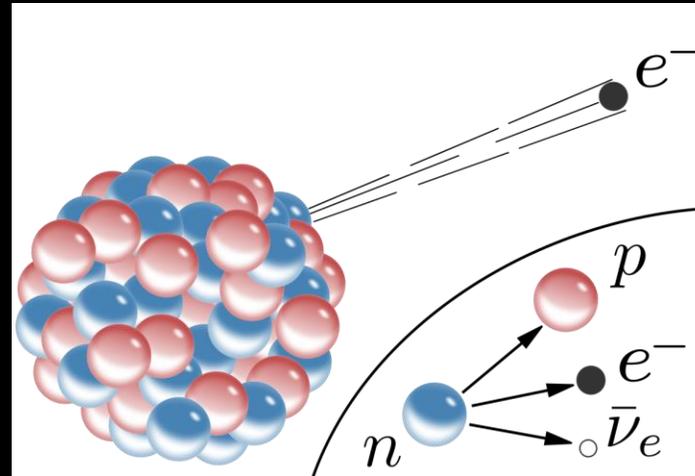


La radioactivité

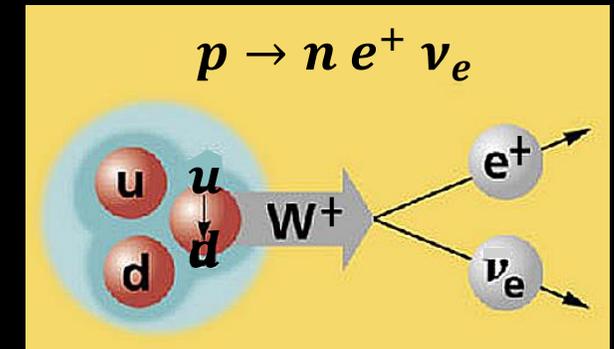
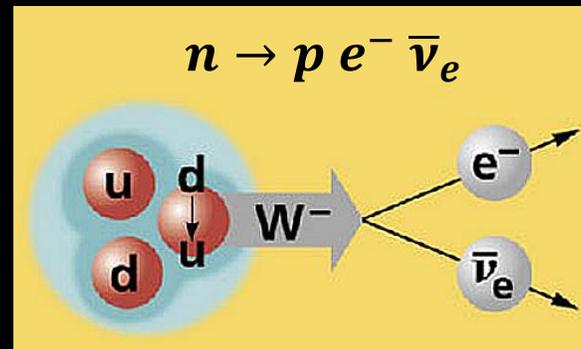
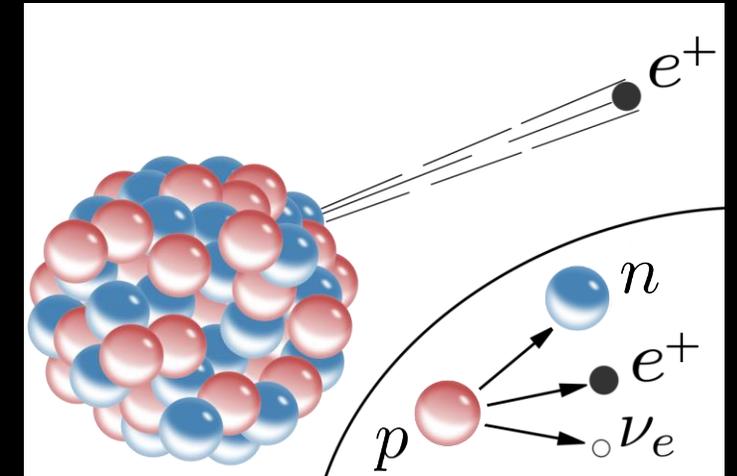
Les 3 désintégrations principales :



Rayonnement alpha

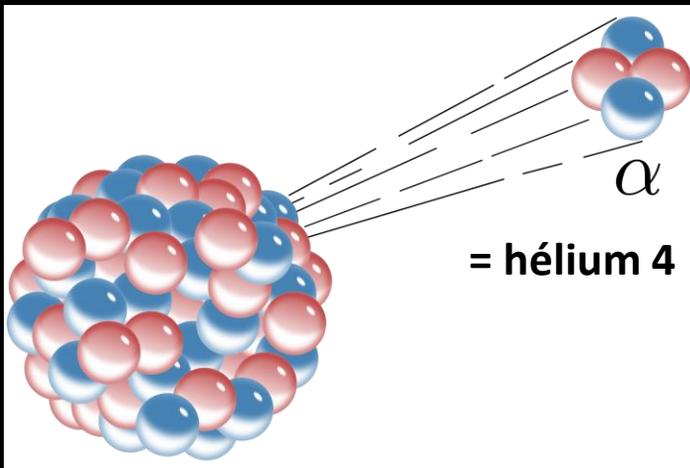


Rayonnement beta

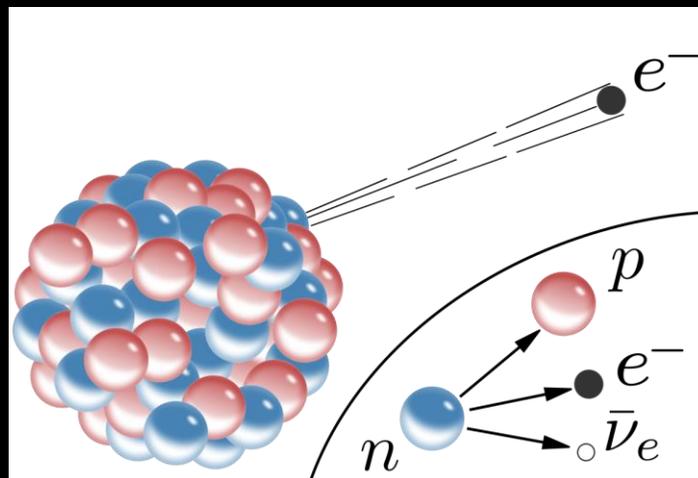


La radioactivité

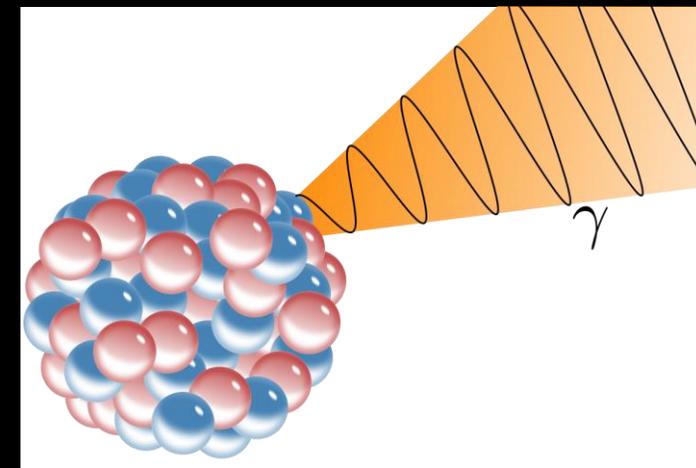
Les 3 désintégrations principales :



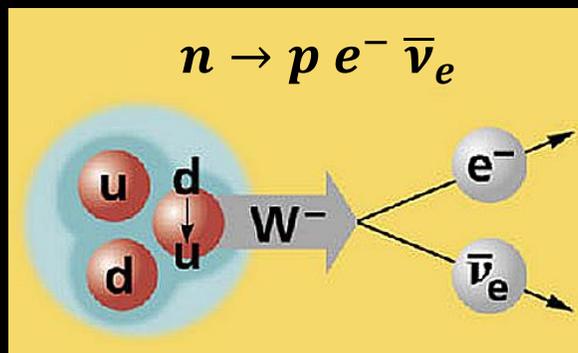
Rayonnement alpha



Rayonnement beta



Rayonnement gamma



La radioactivité

Le pouvoir de pénétration des rayonnements

α

Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour l'arrêter.

alpha

β

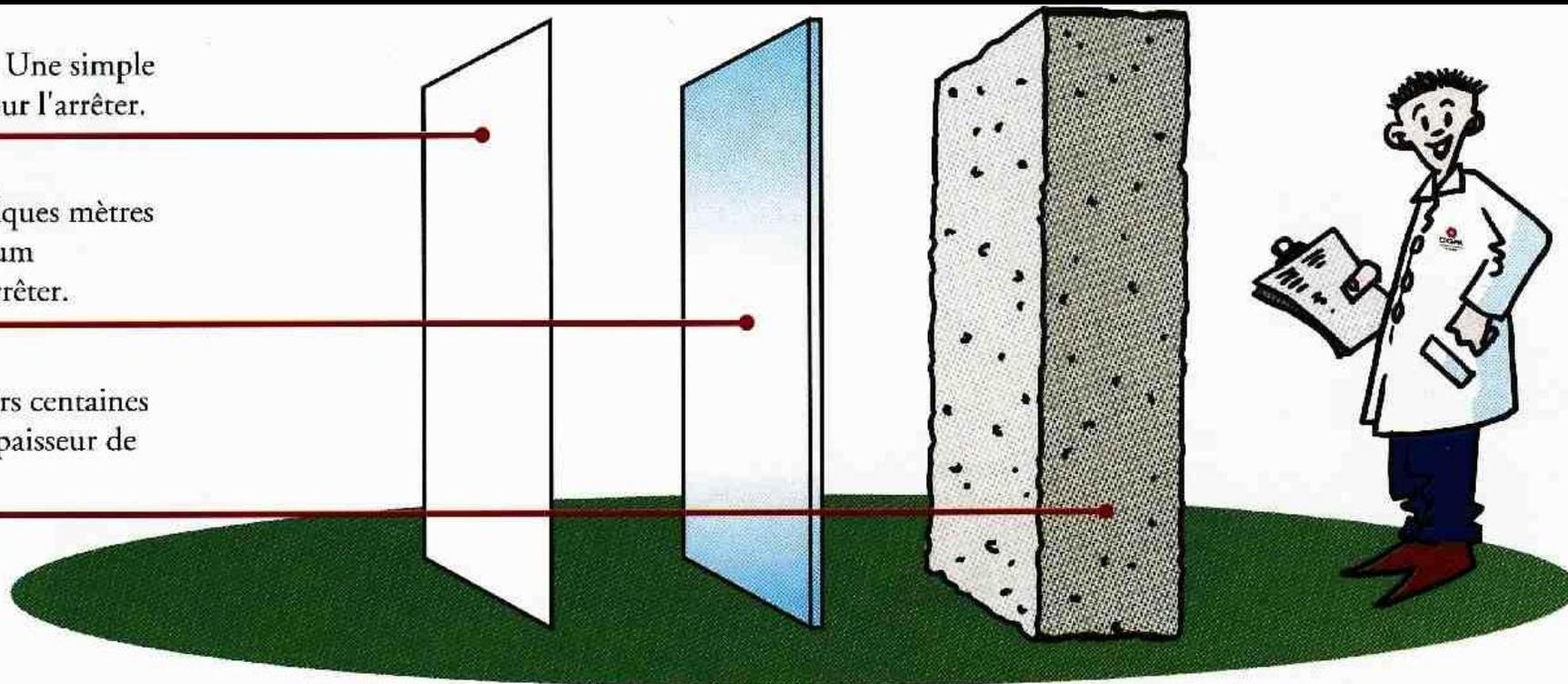
Pénétration faible. Parcourt quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut l'arrêter.

bêta

γ

Pénétration très grande : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb l'arrête.

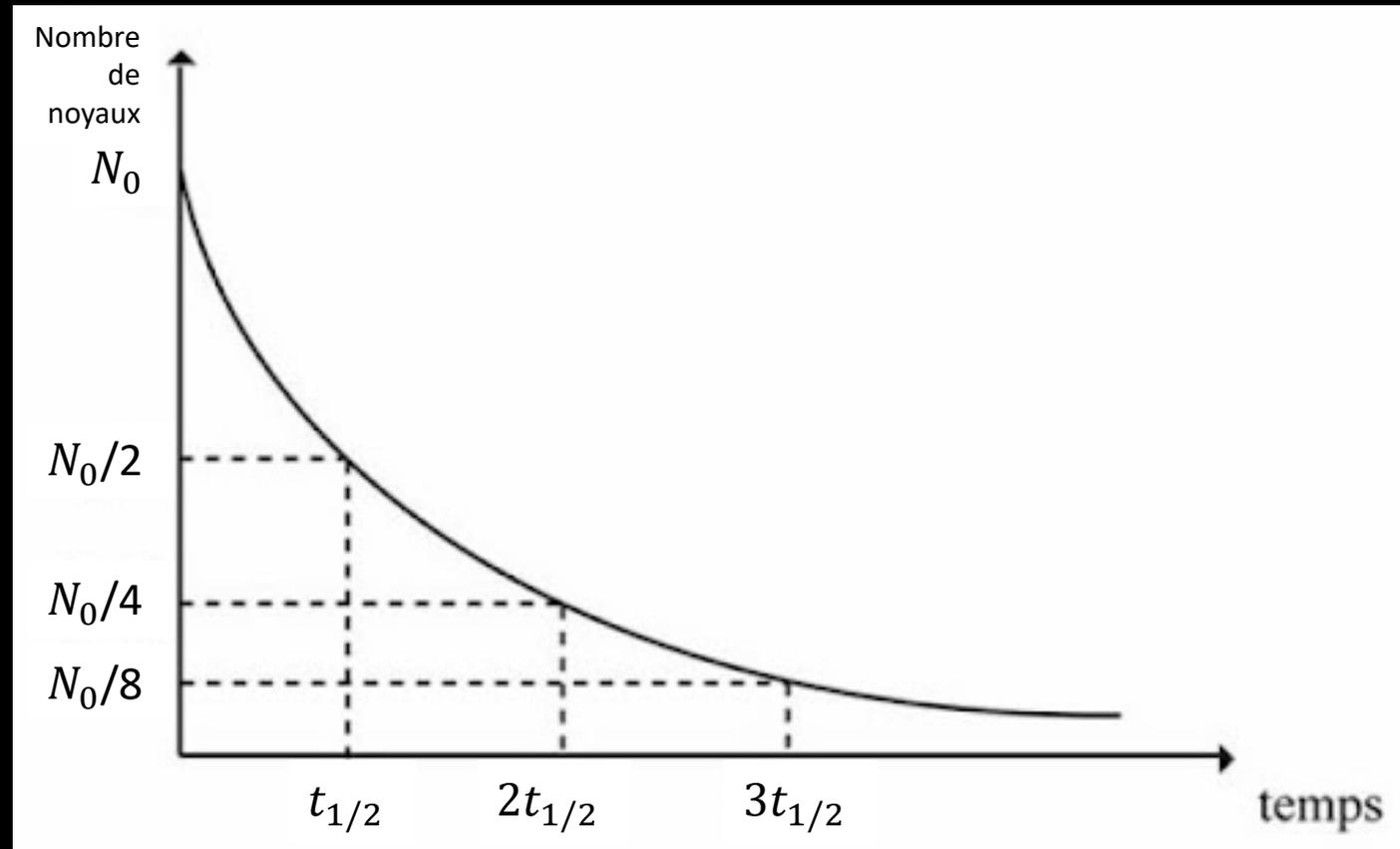
gamma



La radioactivité

Décroissance radioactive

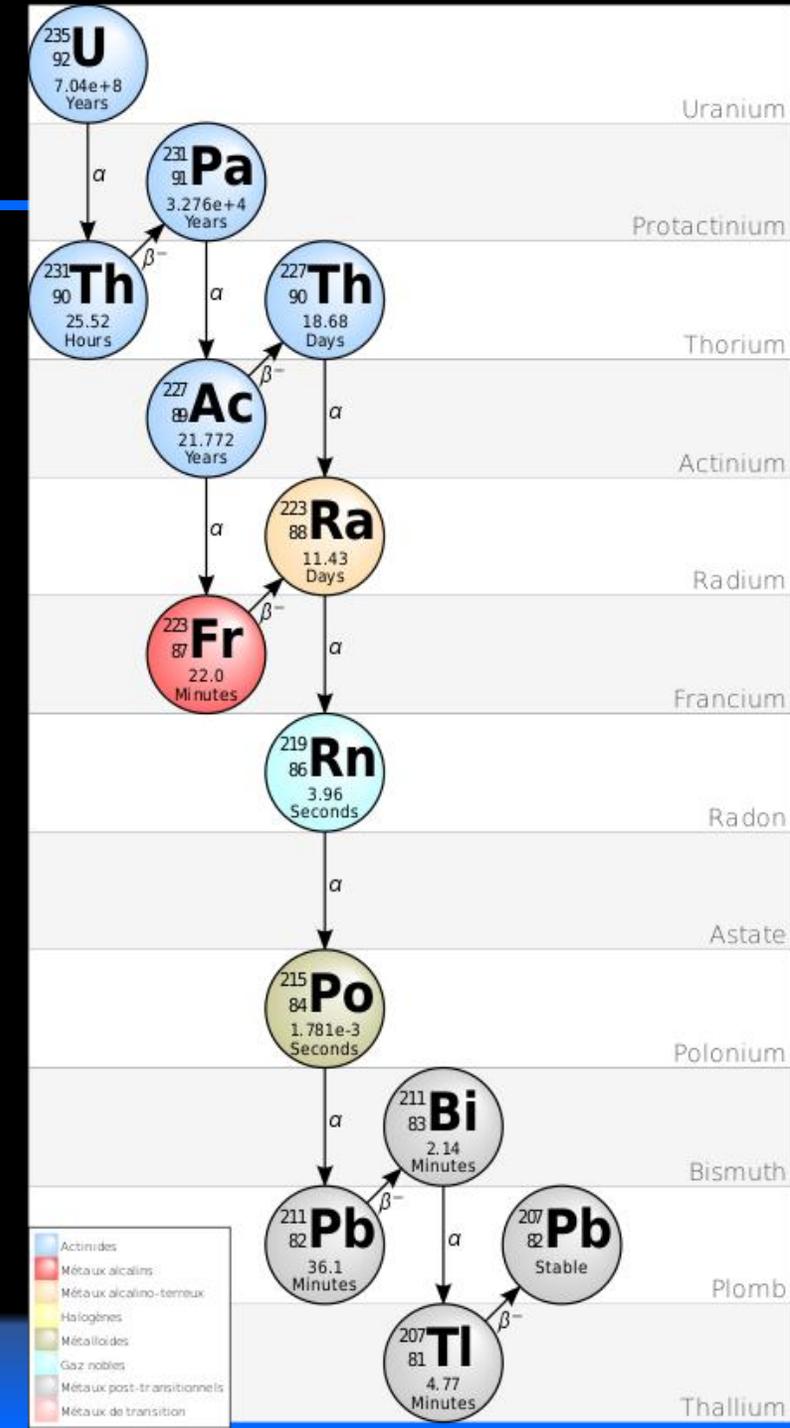
- Quand on a N_0 noyaux instables, la population décroît avec le temps selon une **exponentielle décroissante**.
- On peut caractériser cette décroissance par :
 - la médiane ou **demi-vie** $t_{1/2}$: temps à partir duquel la population est divisée par 2.
 - La moyenne ou temps de vie \bar{t} : temps moyen de désintégration pour un noyau. *Indicateur moins utilisé en physique nucléaire.*



La radioactivité

Chaîne de désintégration

- L'uranium 235 a une demi-vie d'environ 700 millions d'années.
- L'uranium 235 se désintègre par désintégration α en Thorium 231 qui lui aussi est radioactif. Ce dernier a une demi-vie d'environ 25 heures.
- Plusieurs désintégrations successives sont nécessaires pour arriver à un noyau stable (ici le plomb).



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text '2. Activité et compteur Geiger' in a bold, blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing attention on the screen.

2. Activité et compteur Geiger

Activité

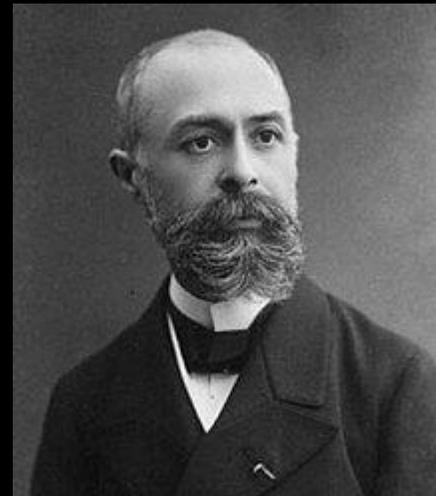
Activité d'une source radioactive



- Activité d'une source = nombre de désintégrations par seconde.
- Ne dépend pas du type de désintégration (alpha, beta, gamma).
- A cause de la décroissance radiative, l'activité d'une source diminue avec le temps.

Unité SI pour l'activité:

1 Bq ou 1 Becquerel
=
1 désintégration par seconde

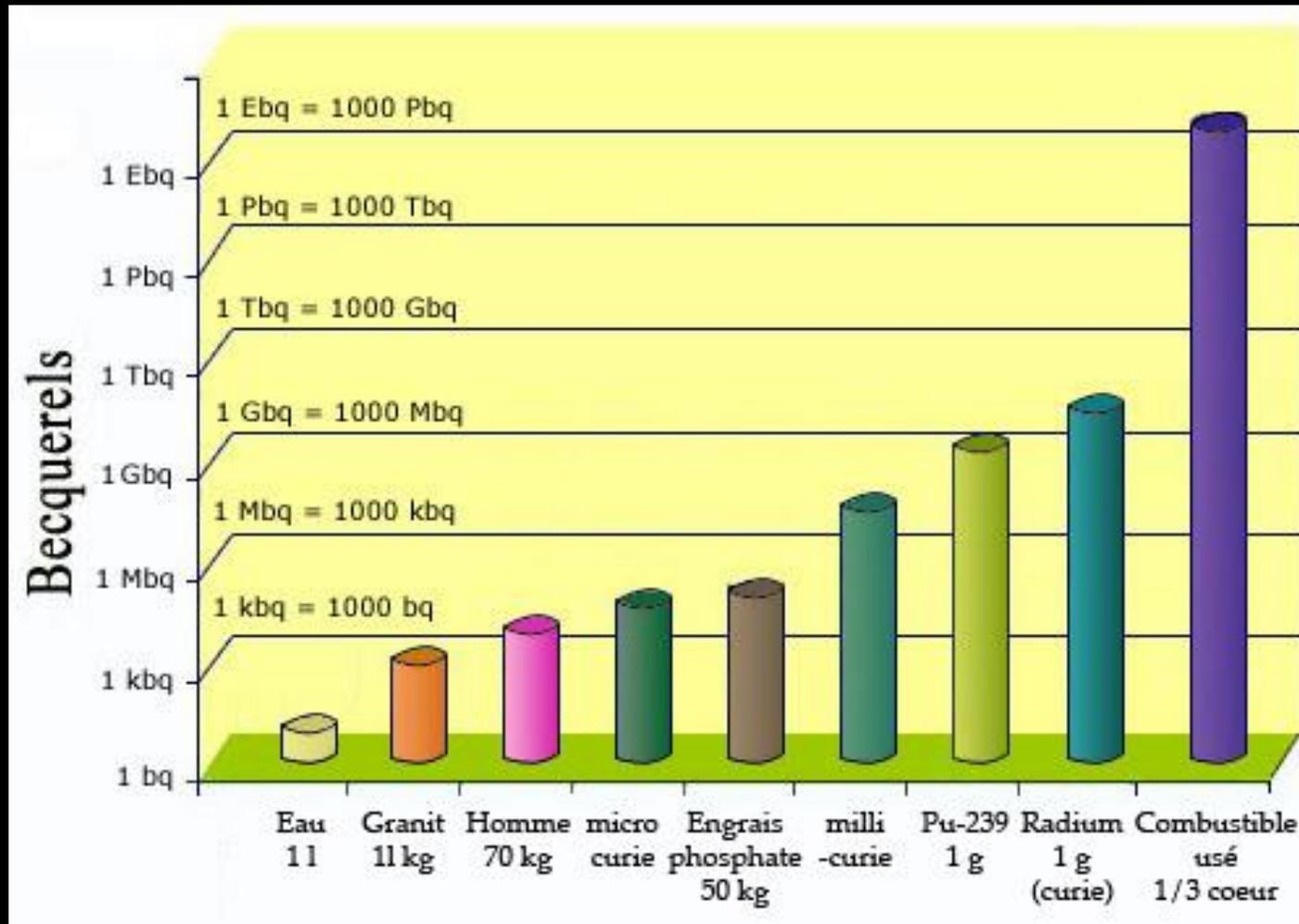


Henri Becquerel (1852-1908),
découvreur de la radioactivité

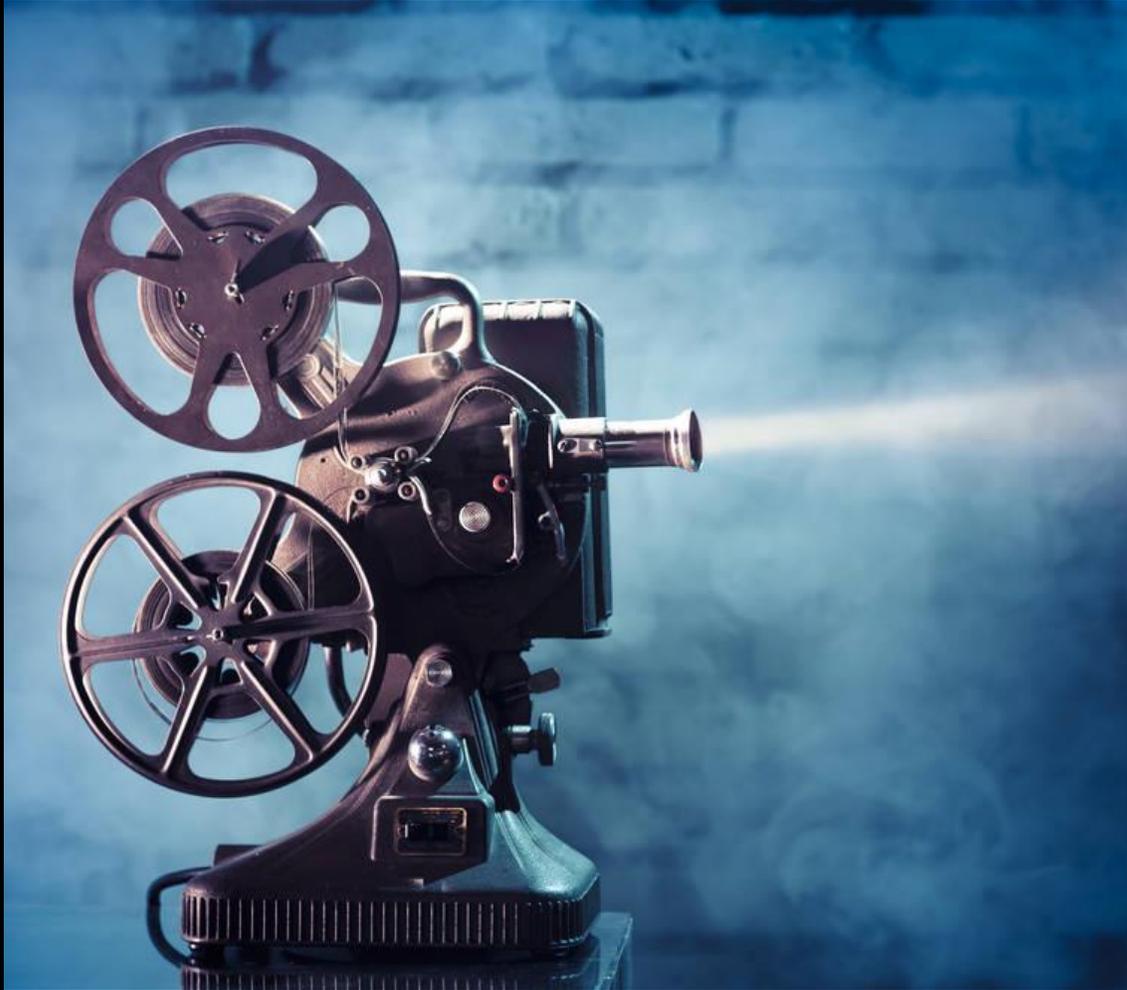


Activité

Quelques valeurs d'activité



Le compteur Geiger-Müller



Extrait de « *Dr No* », 1962, EON Productions

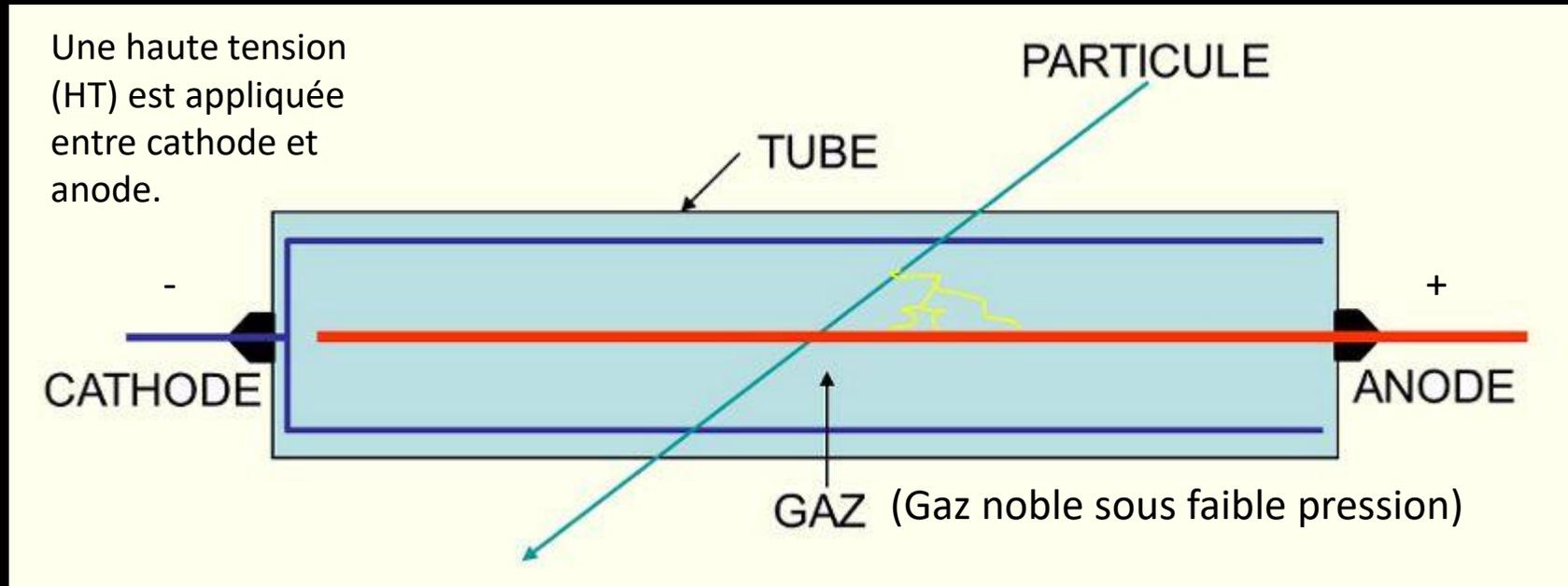


James Bond analyse des échantillons de terre rapportés par le commandant Strangways de l'île de Crab Key (île mystérieuse possédée par un chinois du nom de Docteur No). Il décide de les passer au compteur Geiger-Müller.



Le compteur Geiger-Müller

Principe du compteur Geiger-Müller

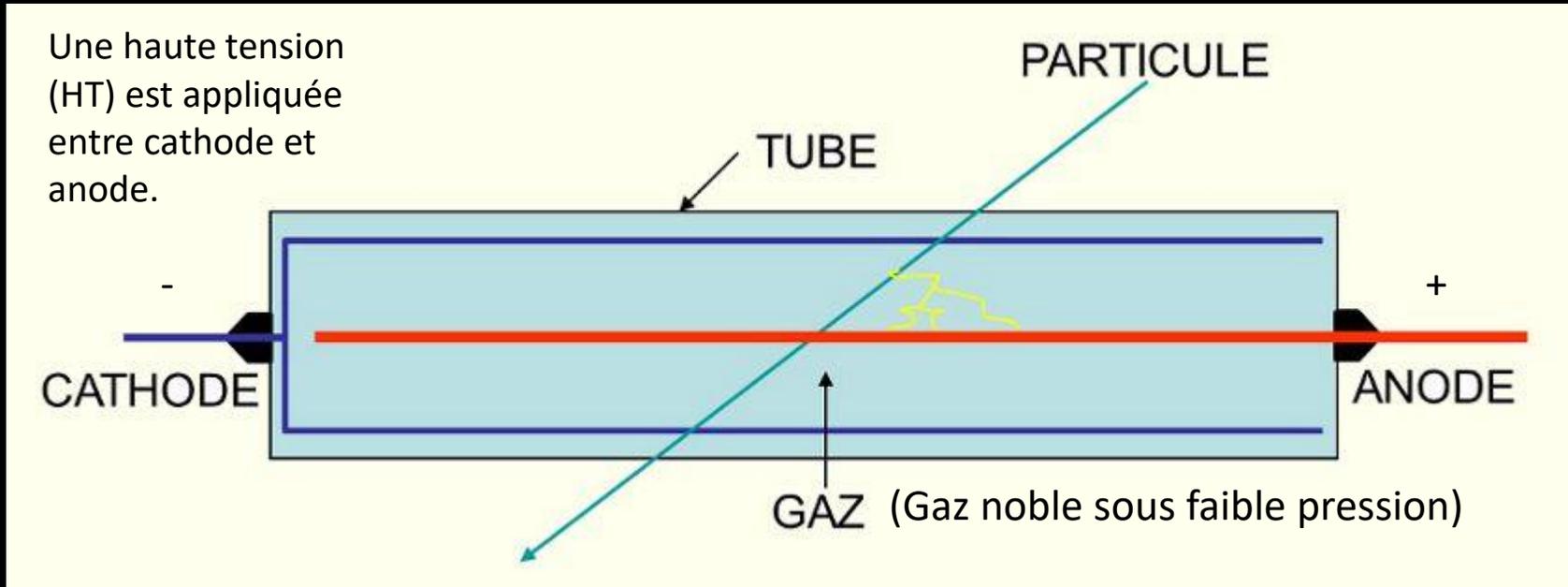


1. Lorsqu'une particule passe, elle ionise le gaz contenu dans le cylindre : des électrons sont arrachés.
2. A cause de la HT, les électrons sont accélérés et ionisent à leur tour le gaz : un effet d'avalanche est créé.
3. Le compteur collecte les charges électriques et détecte ainsi le passage d'une particule sans infos sur sa nature et son énergie.



Le compteur Geiger-Müller

Principe du compteur Geiger-Müller



Peut-on différencier les 3 types de rayonnement ?

- En théorie non
- Mais il est possible d'ajouter un écran opaque devant le compteur pour ne compter que les rayons gamma.

1. Lorsqu'une particule passe, elle ionise le gaz contenu dans le cylindre : des électrons sont arrachés.
2. A cause de la HT, les électrons sont accélérés et ionisent à leur tour le gaz : un effet d'avalanche est créé.
3. Le compteur collecte les charges électriques et détecte ainsi le passage d'une particule sans infos sur sa nature et son énergie.



Le compteur Geiger-Müller

Que mesure un compteur Geiger-Müller ?



Nombre de particules ionisantes détectées par le compteur

=

Acceptance géométrique, sensibilité, temps morts, ...

Acceptance du compteur

×



Activité de la source radioactive (nb de désintégrations par seconde)

×



Durée (en secondes)

+ parasites



Le compteur Geiger-Müller

Comment vérifier que son compteur Geiger-Müller fonctionne correctement ?

Rolex Submariner,
reference 6538



- Pour vérifier le bon fonctionnement du compteur, James Bond passe la sonde sur sa montre et entend grésiller le compteur.
- Partie phosphorescente du cadran de la montre = **radium** (fortement radioactif).
- L'année même du film, Rolex remplace le radium par du **tritium** (faiblement radioactif). Interdit en France depuis 2002.
- Actuellement : procédés chimiques non radioactifs = **Luminova, LumiBrite, Chromalight, ...**
- Question annexe : que risquent les collectionneurs de montres anciennes ?



Le compteur Geiger-Müller

Radium vs Tritium

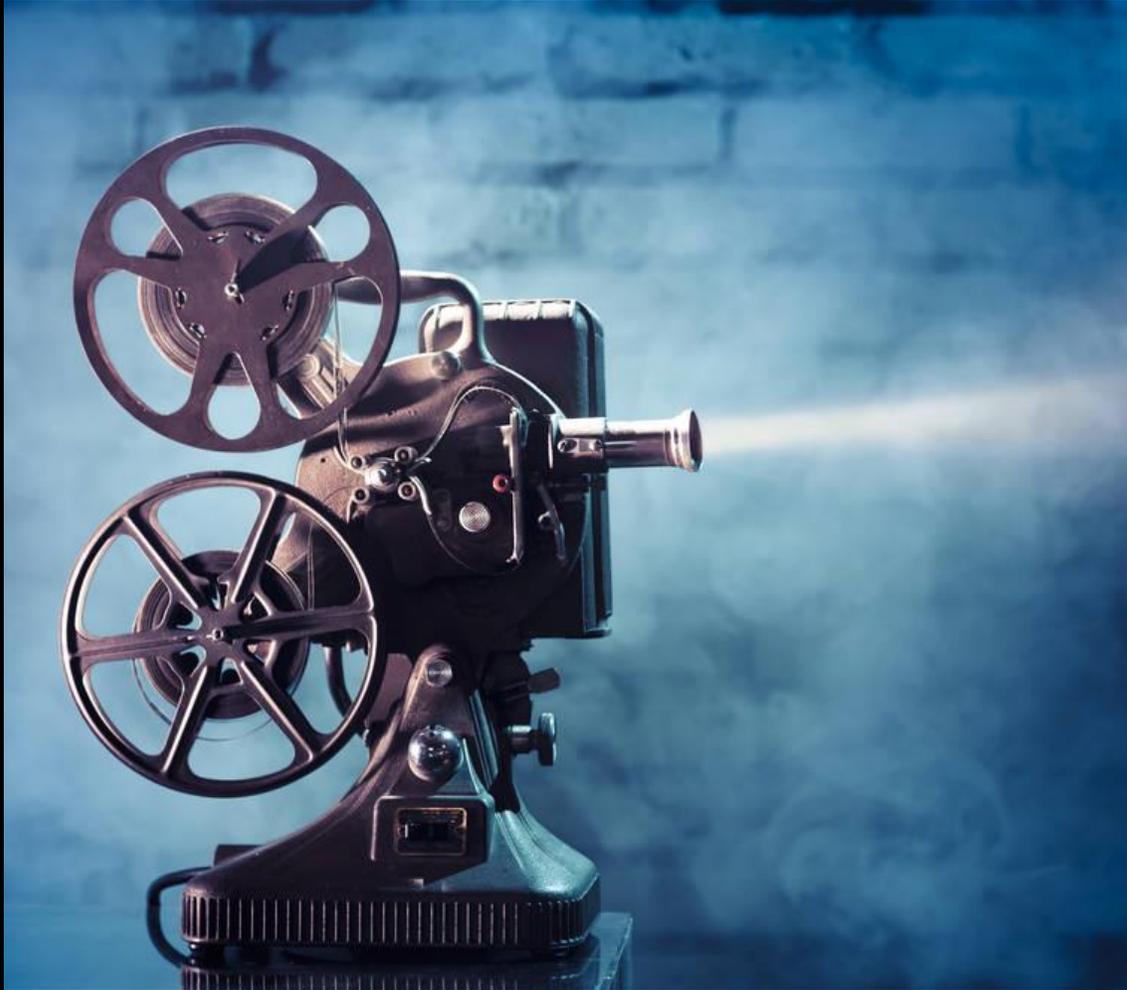


- Partie phosphorescente du cadran de la montre = **radium** (élément radioactif, 37×10^9 Bq/g, qui subit une chaîne de désintégration beta et alpha).
- L'année même du film, Rolex remplace le radium par du **tritium** (isotope radioactif de l'hydrogène, 356×10^{12} Bq/g, qui se désintègre en Hélium 3 par désintégration beta). Interdit en France depuis 2002.

TO DO



Le compteur Geiger-Müller



Extrait de « Opération tonnerre », 1965, EON Productions



Q (le major Boothroyd) rend visite à James Bond et lui présente ses tous derniers gadgets, dont une montre Geiger.

<https://www.youtube.com/watch?v=UPb52WKR93I>



Le compteur Geiger-Müller

Est-il possible de le miniaturiser un compteur Geiger-Müller dans une montre ?

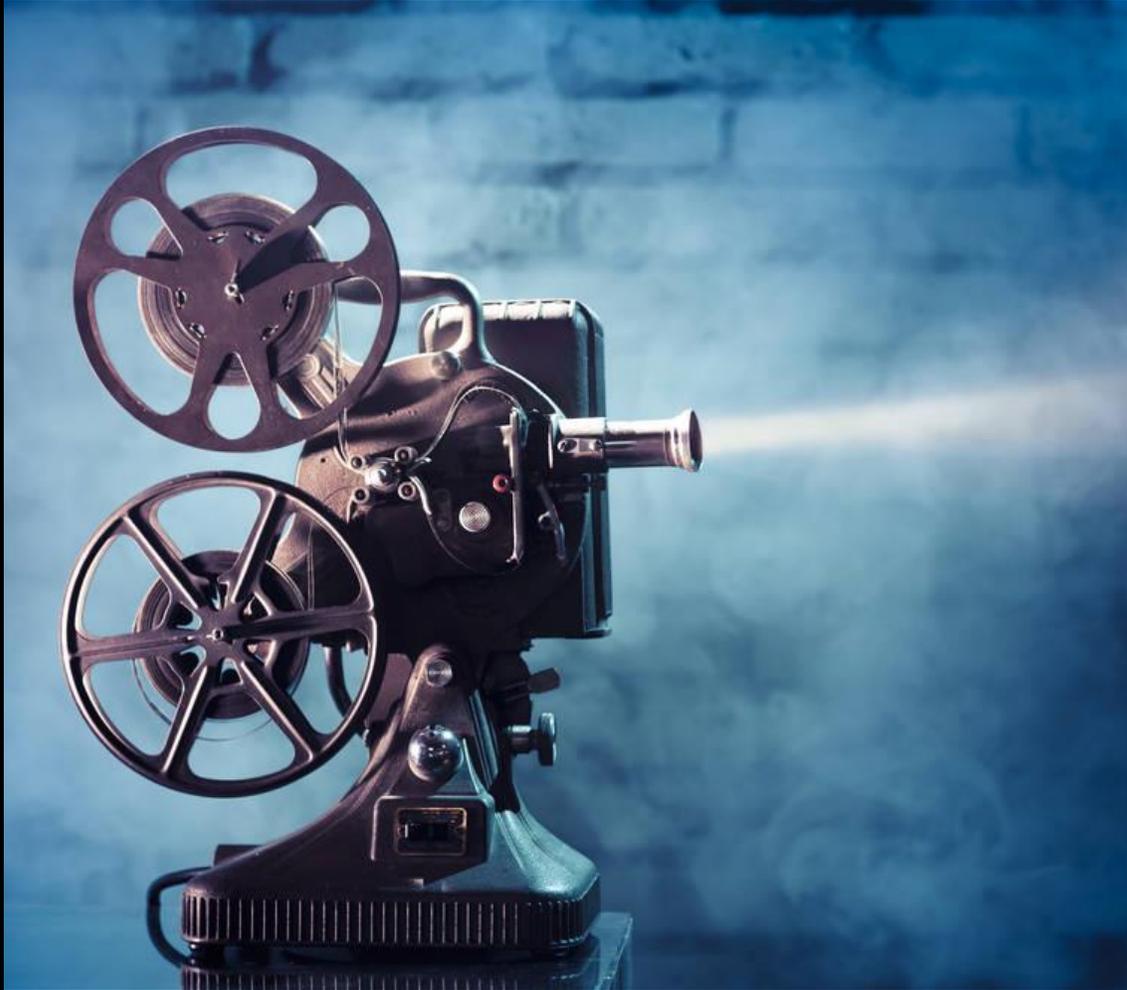


Breitling TopTime ref 2002

- Oui, les forces spéciales russes étaient dotées en 1954 d'une montre Raketa intégrant un compteur Geiger-Müller.
- Actuellement il est possible de remplacer le tube par un semi-conducteur.



Le compteur Geiger-Müller



Extrait de « Opération tonnerre », 1965, EON Productions

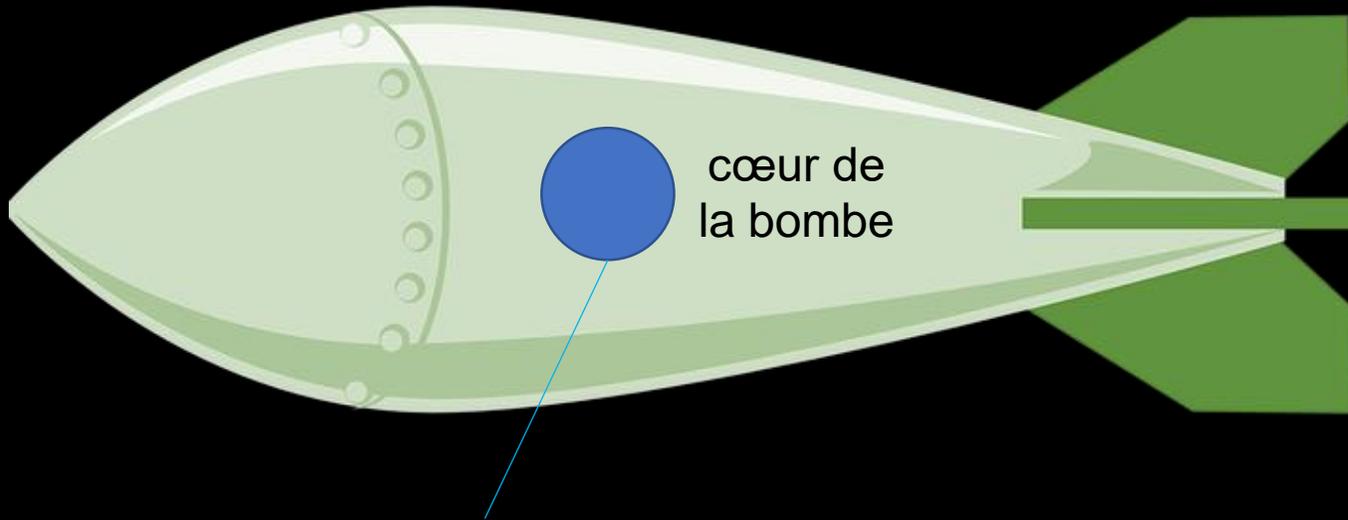


Equipé pour la plongée sous-marine, James Bond inspecte la coque du bateau de son ennemi Emilio Largo. Ce dernier n'aurait-il pas caché des ogives nucléaires dans son bateau ?



Le compteur Geiger-Müller

Est-il possible de détecter une bombe atomique (bombe A) avec un compteur Geiger ?



Uranium 235 ou Plutonium 239

- ${}^{235}_{92}\text{U}_{143} \rightarrow {}^{231}_{90}\text{Th} + \alpha \rightarrow \dots \rightarrow {}^{207}_{82}\text{Pb}$ *uniquement α et β*
- ${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U} + \alpha$

Rappel sur le pouvoir pénétrant des radiations :

- Les rayons alpha sont arrêtés par une feuille de papier.
- Les rayons bêta sont arrêtés par une feuille d'aluminium.

Conclusion : James Bond ne peut pas détecter la radioactivité du cœur depuis l'extérieur de l'ogive à l'aide d'un compteur Geiger.



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text '3. Effet de la radioactivité sur la santé et dosimètre' in a bold, blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the lighting is focused on the screen.

**3. Effet de la
radioactivité sur la
santé et dosimètre**

Les doses

Dose absorbée d'une source radioactive



- La notion d'activité a quelques défauts :
 - On ne sépare pas les différents rayonnements (alpha, bêta, gamma).
 - Elle ne prend pas en compte l'énergie du rayonnement.
 - Quel est l'impact du rayonnement sur des tissus organiques ?
→ La notion de dose absorbée prend en compte le 2^{ème} item.
- Définition de la **dose absorbée D** : l'énergie déposée par unité de masse (du milieu détecteur) par un rayonnement ionisant.

Unité SI pour la dose absorbée :

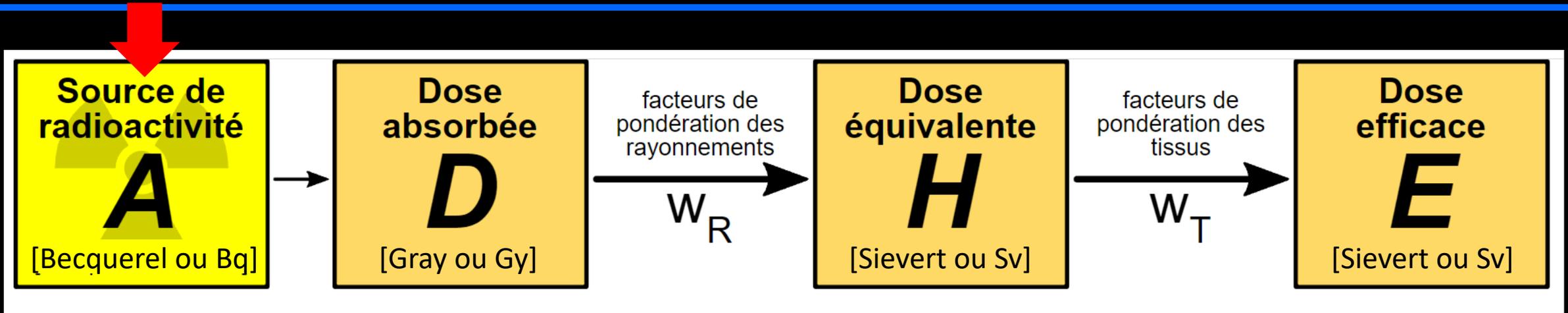
$$\begin{aligned} 1 \text{ Gy ou 1 Gray} \\ = \\ 1 \text{ Joule / kilogramme} \end{aligned}$$



Louis Harold Gray
(1905-1965),
physicien en nucléaire et
père de la radiobiologie



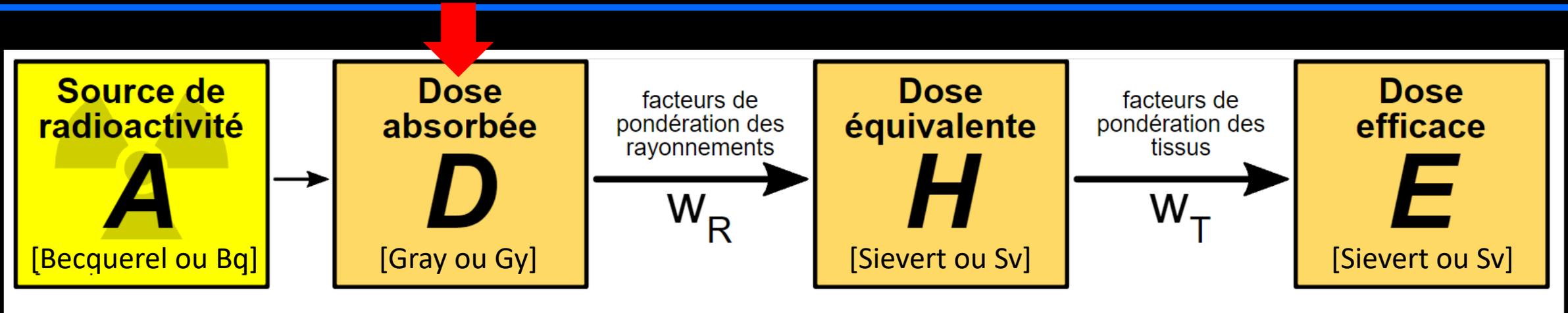
Les doses



Activité
=
nb de
désintégrations
par seconde



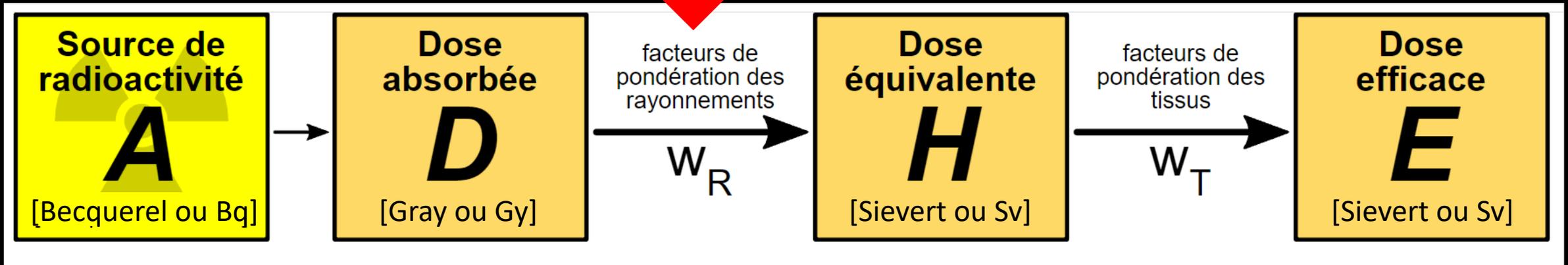
Les doses



Dose absorbée
=
Énergie du
rayonnement
reçue par kg de
médium de
détection



Les doses



Facteur de pondération des rayonnements W_R devrait prendre en compte :

- Type de rayonnement
- Energie du rayonnement
- Effet biologique

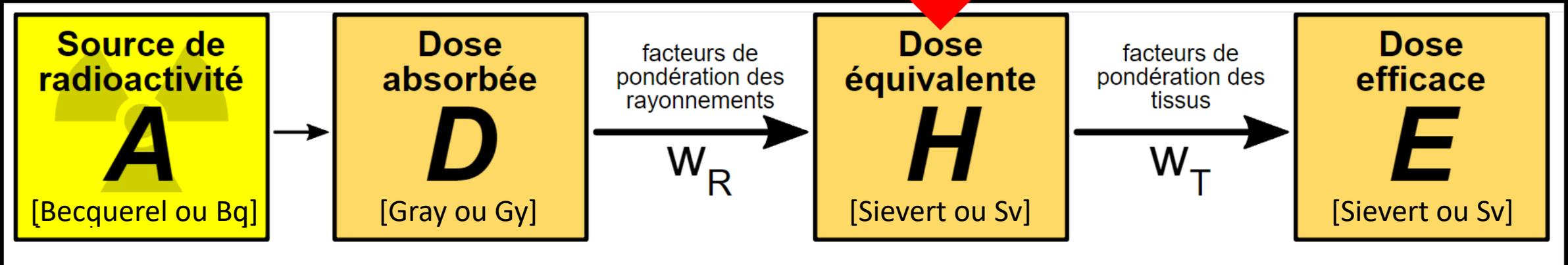
Valeurs simplifiées

issues de la publication n°103 de la CIPR (Commission internationale de protection radiologique) en 2007

Rayonnement	W_R
alpha	20
bêta	1
gamma	1



Les doses



Dose équivalente H :

la dose absorbée corrigée d'un facteur de pondération prend en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré.

Unité SI de la dose équivalente :

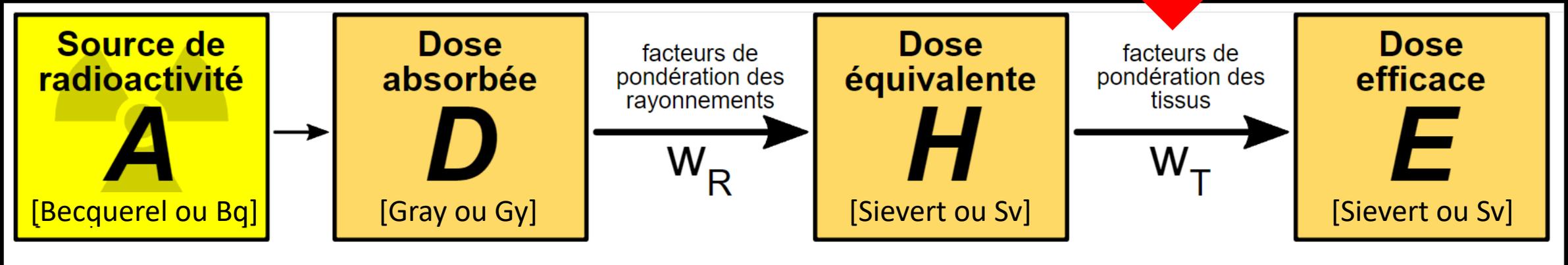
1 Sv = 1 J / kg (si pondération de 1)



Rolf Sievert,
1896 – 1965,
physicien suédois ayant
travaillé sur les effets
biologiques dus aux
rayonnements ionisants



Les doses



Facteur de pondération des tissus W_T qui prend en compte l'effet de faible dose sur le moyen et long terme.

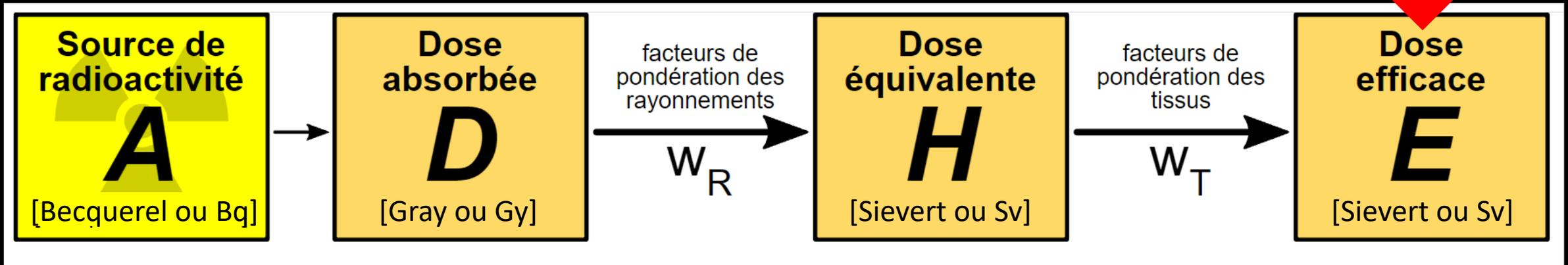
Organe	W_T
Gonades	0,08
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Sein	0,12
Foie	0,04
Peau	0,01
Cerveau	0,01

Quelques valeurs

issues de la publication
n°103 de la CIPR
(Commission internationale
de protection radiologique)
en 2007



Détection de la radioactivité



Dose efficace E :

la dose absorbée corrigée des 2 facteurs de pondération pour prendre en compte la dangerosité du rayonnement et l'effet relatif sur les différents organes.

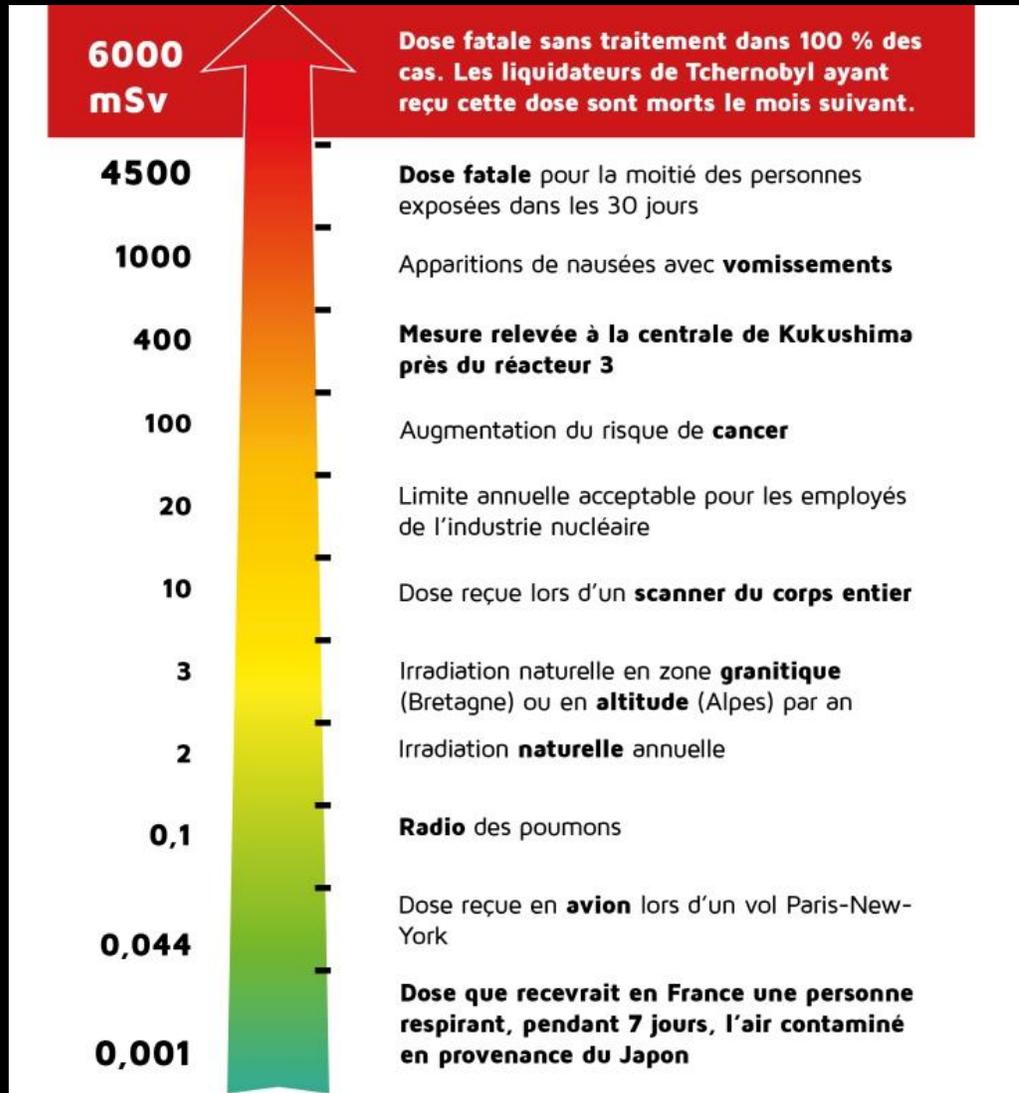
Unité SI de la dose efficace :

1 Sv = 1 J / kg (si pondérations de 1)



Les doses

Echelle des doses



Réglementation

Rayonnement autre que celui de cause naturelle ou médicale

20 mSv/an

Travailleurs exposés de catégorie A (majeurs et en CDI)

6 mSv/an

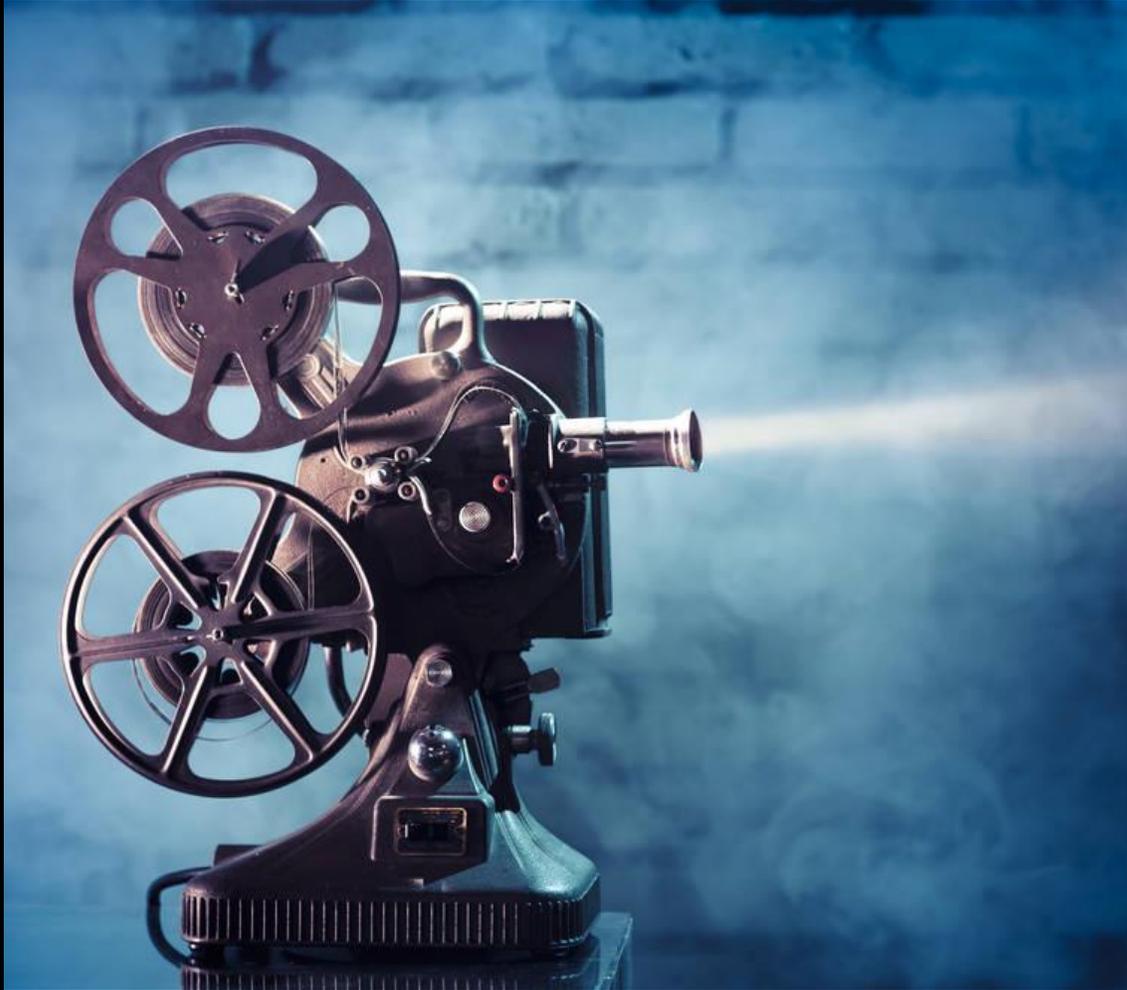
Travailleurs exposés de catégorie B (étudiants, stagiaires, CDD, intérimaires)

1 mSv/an

Public



Dosimètre



Extrait de « *Le monde ne suffit pas* », 1999, EON Productions



Arrivé au Kazakhstan, James Bond se fait passer pour un physicien du nucléaire russe. Le docteur Christmas Jones a quelques doutes sur son identité.

<https://www.youtube.com/watch?v=6366rRm3uHE>



Dosimètre

Comment mesurer la dose absorbée ? Le dosimètre

2 types

dosimètre passif



- Il permet de mesurer l'accumulation des doses reçues par une personne. La lecture est différée (pas de résultat direct).
- Plusieurs technologies ... mais principe de base unique : matériau détecteur émet de la lumière quand il reçoit un rayonnement. La lumière impressionne un film.

dosimètre actif



- Il s'agit d'un dosimètre électronique qui indique en temps réel la dose intégrée mais aussi le débit de dose.
- Technologie fondée sur la science des semi-conducteurs.



Exposition à la radioactivité

3 types d'exposition

Irradiation

- La source radioactive est à l'extérieur du corps de la personne exposée.
- La distance entre la source et la personne est un paramètre important.

SPECTRE

007



Ancien ennemi de Bond, M. White a encore quelques semaines à vivre.

Il a trouvé une source de Thallium dans son téléphone portable.



Un traitement existait (Prussian Blue) mais c'était trop tard.



Exposition à la radioactivité

3 types d'exposition

Irradiation

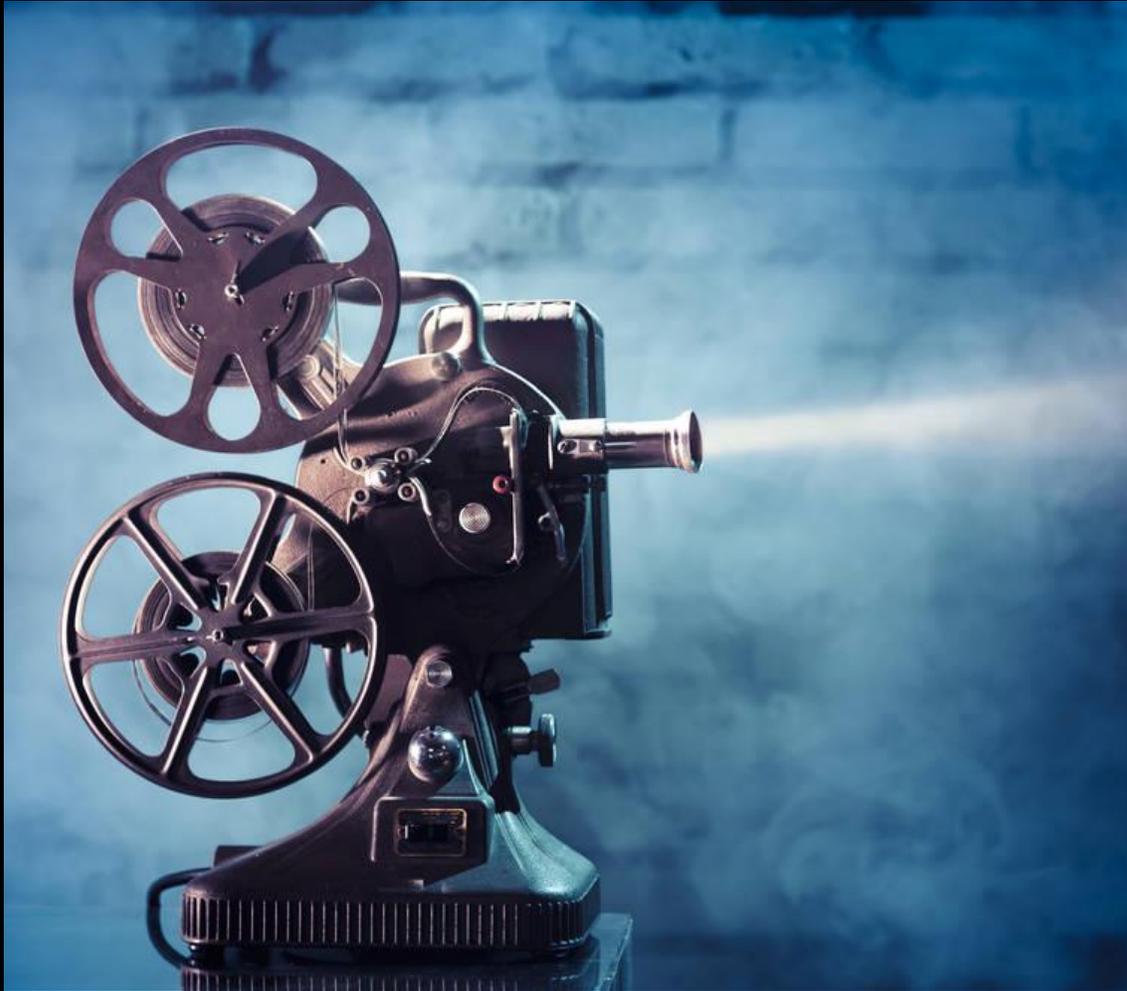
- La source radioactive est à l'extérieur du corps de la personnes exposée.
- La distance entre la source et la personne est un paramètre important.

Contamination externe

- Les particules radioactives sont déposées sur la peau ou les vêtements de la personne.
- Décontamination = déshabillage + douche



Exposition à la radioactivité



Extrait de « *Doctor No* », 1962, EON Productions



James Bond et Honey Rider ont été capturés par les hommes du docteur No. Malheureusement ils ont pataugé dans les marécages radioactifs de l'île de Crab Key. Une décontamination s'avère nécessaire.



Exposition à la radioactivité

3 types d'exposition

Irradiation

- La source radioactive est à l'extérieur du corps de la personnes exposée.
- La distance entre la source et la personne est un paramètre important.

Contamination externe

- Les particules radioactives sont déposées sur la peau ou les vêtements de la personne.
- Décontamination = déshabillage + douche

Contamination

- Les particules radioactives pénètrent à l'intérieur du corps (inhalation ou ingestion).
- Le temps de séjour des particules dans le corps est variable.



- Alexandre Litvinenko : ancien agent des services secrets russes
- 1998 : Il devient lanceur d'alerte en dénonçant des missions illégales.
- 2000 : il se réfugie en Angleterre.
- 2006 : il meurt d'un empoisonnement au polonium 210 (caché certainement dans une tasse de thé).



Exposition à la radioactivité

Protection contre les (faibles) radiations

- Dans les installations, mettre épaisseur de béton, verre ou plomb adéquat pour confiner les matières radioactives.
- Les travailleurs exposés portent une tenue étanche (avec des bottes, des gants, une combinaison, un masque).
- On respire une atmosphère contrôlée (pas d'inhalation de particules radioactives).
- Toute personne exposée doit porter un dosimètre.

Dr.No



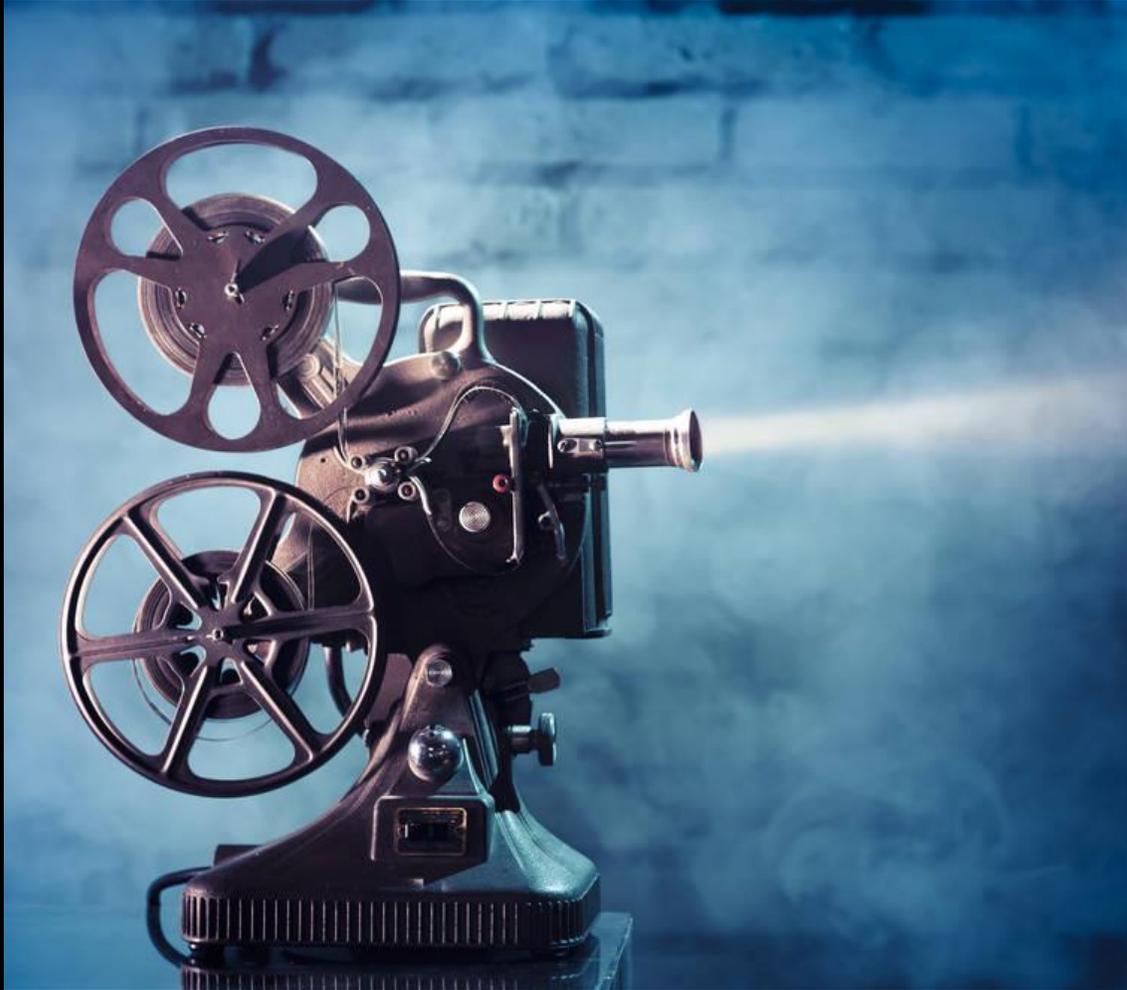
<https://www.youtube.com/watch?v=Mh2Tf40llqw>



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen is illuminated and displays the text '4. Les armes atomiques' in a bold, blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is dimly lit, focusing attention on the screen.

4. Les armes atomiques

Les armes atomiques



Extrait de « *Octopussy* », 1983, EON Productions



James Bond doit désamorcer une bombe atomique dans un cirque. Pris pour un fou, il est obligé de se déguiser en clown pour passer inaperçu.

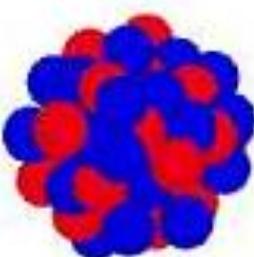
<https://www.youtube.com/watch?v=7vPUsPcUYDQ&t=114s>



Origine de l'énergie nucléaire

Energie de liaison dans un noyau

- Dressons un bilan de masse d'un noyau d'Uranium 235

<p>Masse globale du noyau</p> <p>$m_{\text{totale}} = 390,2167 \times 10^{-27} \text{ kg}$</p>	 <p>U-235</p>	<p>Somme de la masse des constituants</p> <ul style="list-style-type: none">92 protons ($m_{\text{proton}} = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$)235 - 92 = 143 neutrons ($m_{\text{neutron}} = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$) <hr/> <p>$m_{\text{totale}} = 393,3899 \times 10^{-27} \text{ kg}$</p>
---	---	---

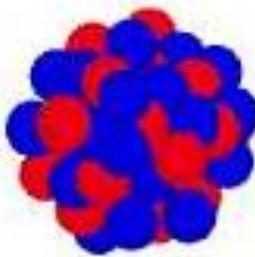
→ **Conclusion** : la masse n'est pas conservée car il y a un **défaut de masse de $3,17 \times 10^{-27} \text{ kg}$** .



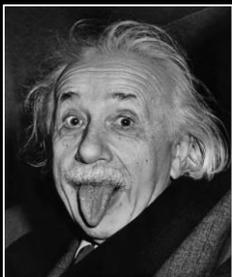
Origine de l'énergie nucléaire

Energie de liaison dans un noyau

- Dressons un bilan de masse d'un noyau d'Uranium 235

Masse globale du noyau		Somme de la masse des constituants
$m_{\text{totale}} = 390,2167 \times 10^{-27} \text{ kg}$	U-235	<ul style="list-style-type: none">92 protons ($m_{\text{proton}} = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$)235 - 92 = 143 neutrons ($m_{\text{neutron}} = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$)
		$m_{\text{totale}} = 393,3899 \times 10^{-27} \text{ kg}$

→ **Conclusion** : la masse n'est pas conservée car il y a un défaut de masse de $3,17 \times 10^{-27} \text{ kg}$.



- C'est l'énergie qui se conserve.
- La masse est une forme particulière d'énergie.

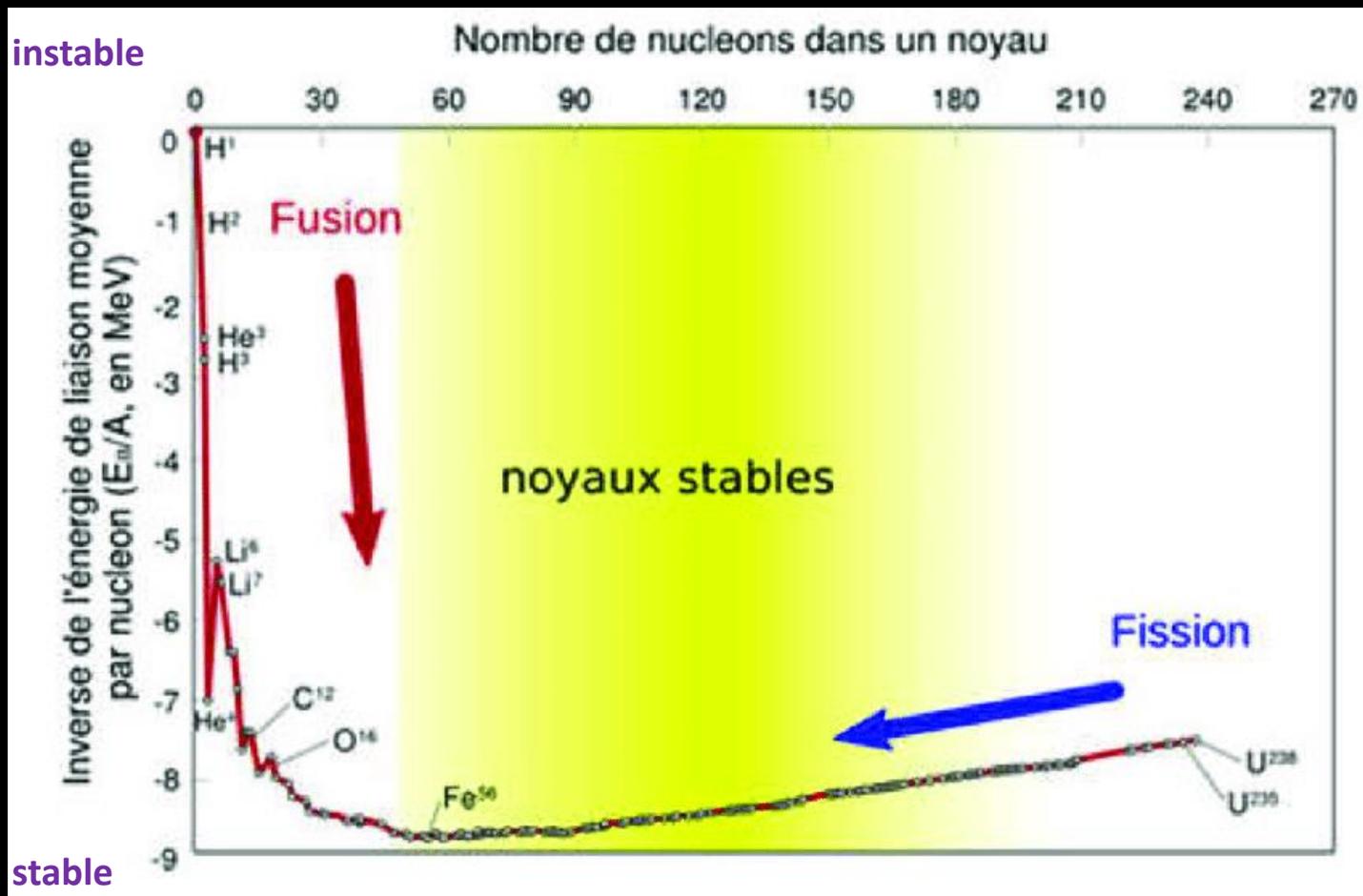
$$E = mc^2$$

Énergie de liaison entre nucléons :
 $2,85 \times 10^{-10} \text{ J}$



Origine de l'énergie nucléaire

La courbe d'Aston

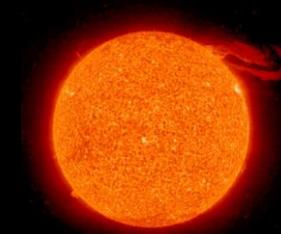


- Principe de la fission : produire de l'énergie en cassant un noyau lourd instable en 2 noyaux moyens stables.

→ bombe A

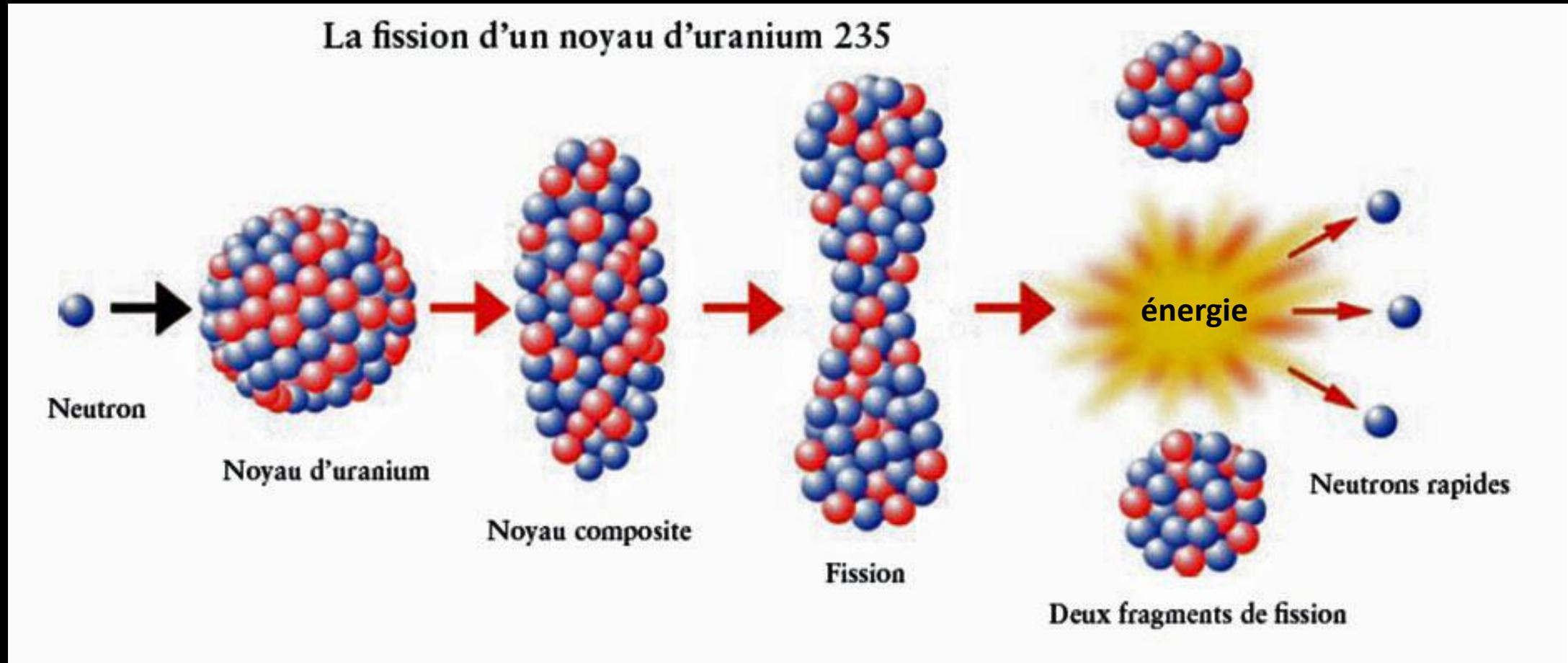
- Principe de la fusion : produire de l'énergie en rassemblant 2 noyaux légers instables en un noyau moyen stable.

→ bombe H



La fission

Réaction de fission (modèle de la goutte liquide)



La fission

Réaction de fission

Quand on envoie un neutron sur un noyau Uranium 235, plusieurs réactions de fission sont possibles.

Leurs probabilités dépendent de l'énergie du neutron.

Exemple de réaction possible :



A partir du bilan de masse, on peut en déduire la quantité d'énergie produite : $2,67 \times 10^{-11}$ J

Que se passerait-il si tous les noyaux d'uranium 235 d'un échantillon de 1 kg fissionnaient ?

- Nombre de noyaux d'uranium 235 dans 1 kg : $2,56 \times 10^{24}$
- Energie totale libérée : $2,56 \times 10^{24} \times 2,67 \times 10^{-11} = 6,84 \times 10^{13}$ J

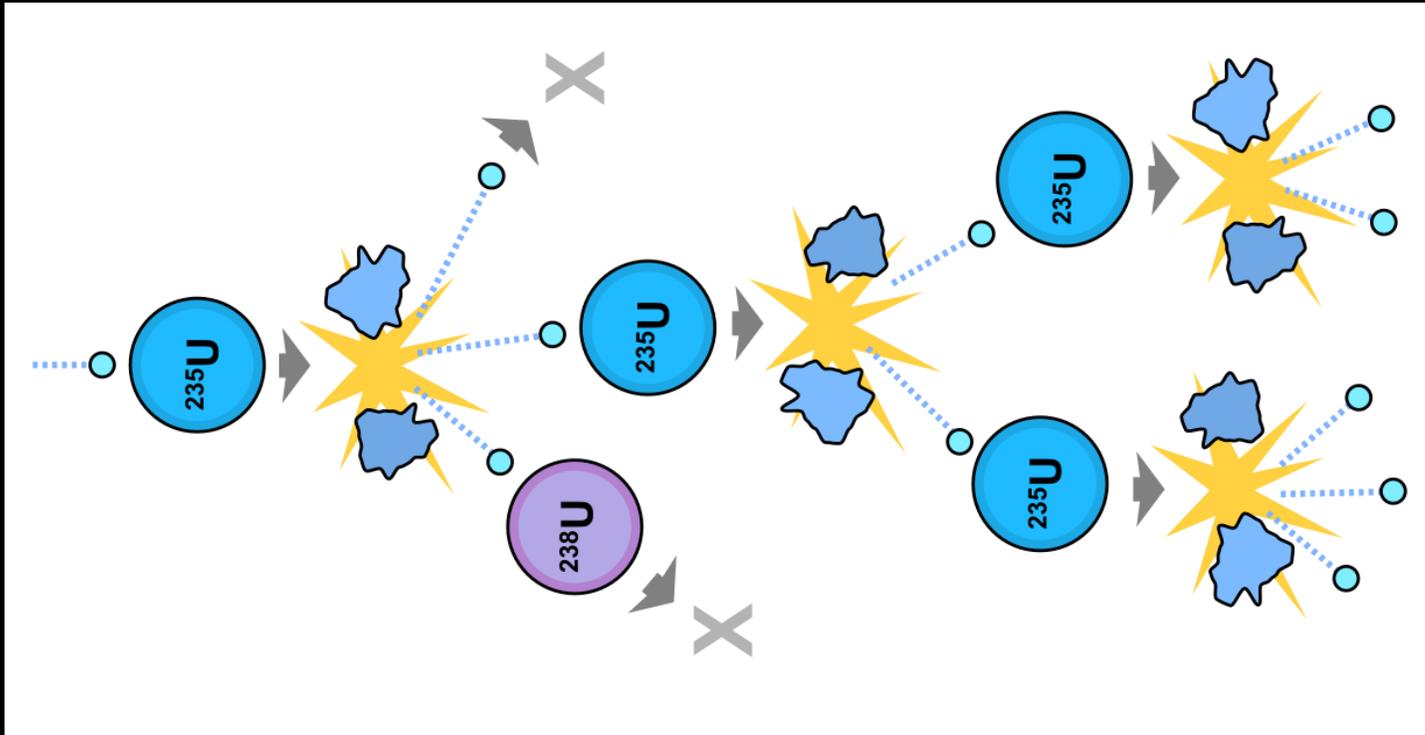
1,6 kilo-tonnes équivalent pétrole

16,3 kilo-tonnes de TNT



La fission

Réaction en chaîne



Elle se produit si la quantité de matière (sous forme sphérique) est suffisamment grande : **masse critique**.

Masse critique d'uranium 235 est de **48 kg**.

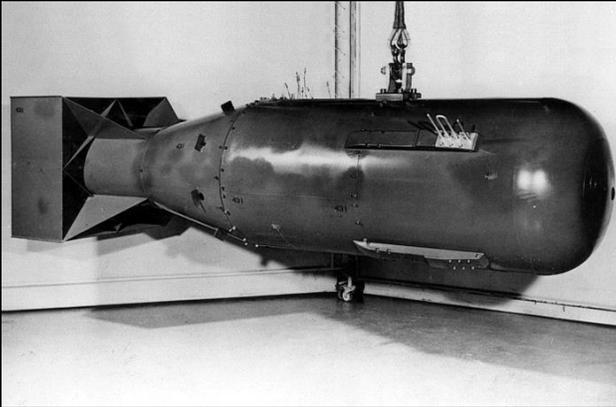
Possibilité de diminuer la masse critique en :

- Ajoutant des réflecteurs de neutrons
- Comprimant la matière.

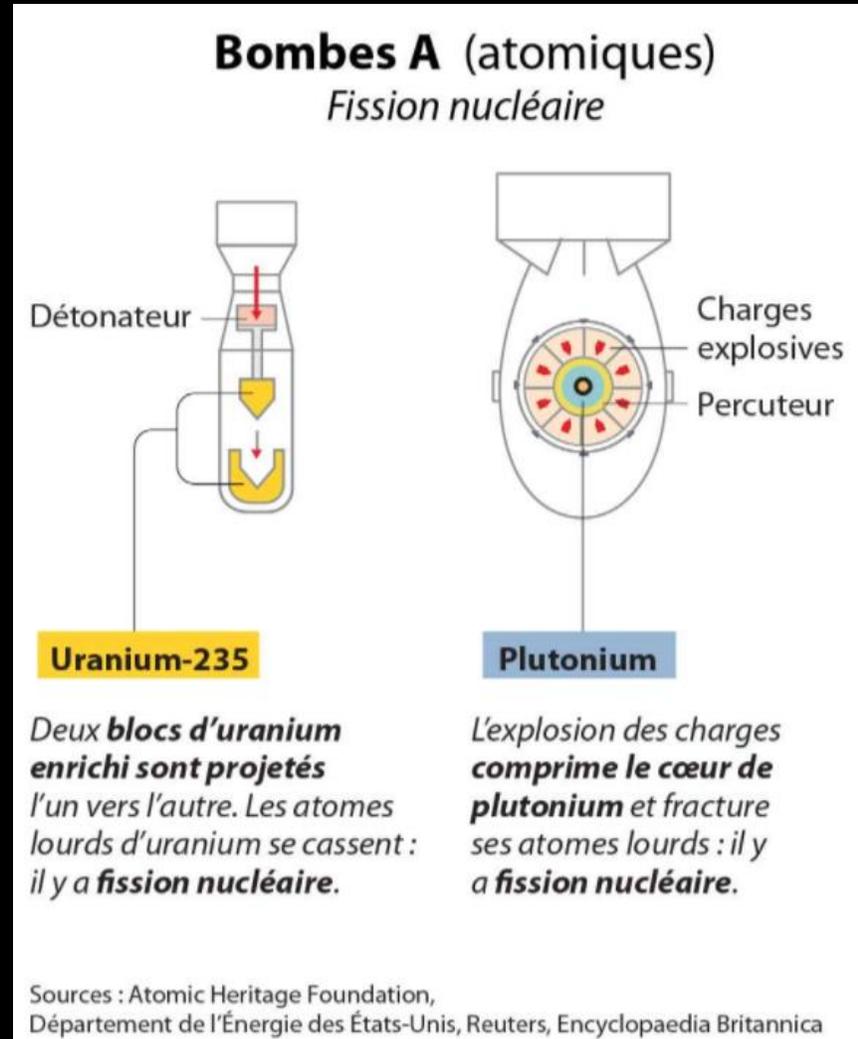


Principe de la bombe atomique

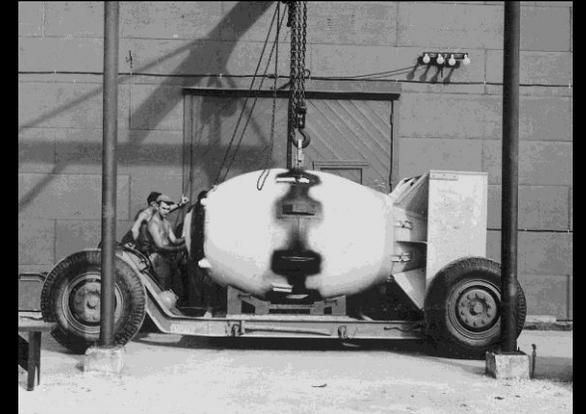
Exemple :
Little Boy, le 6 août 1945 à Hiroshima



Technique de l'insertion



Exemple :
Fat Man, le 9 août 1945 à Nagasaki



Technique de l'implosion



Explosion nucléaire

1. La boule de feu

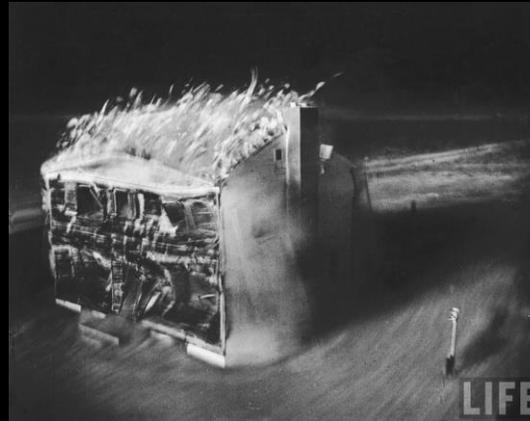
Sur le lieu de l'explosion, formation d'une boule de gaz incandescent dont la température peut atteindre des millions de °C.



Emission de rayonnement sous forme de rayon X qui est absorbé par l'atmosphère. La boule se dilate et se refroidit.

2. L'onde de choc

La boule de feu atteint son diamètre final en quelques secondes. Comme la dilatation a lieu à vitesse supersonique, il y a création d'une onde de choc et un effet de souffle.



3. Le champignon atomique

La boule de feu s'élève en altitude à cause de la convection. La vapeur d'eau contenue se condense et forme le sommet du champignon atomique.



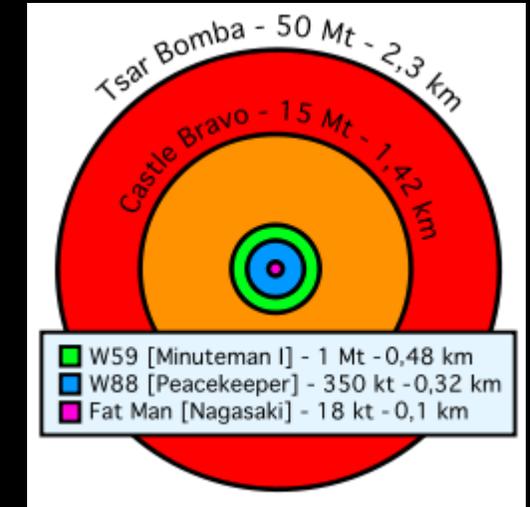
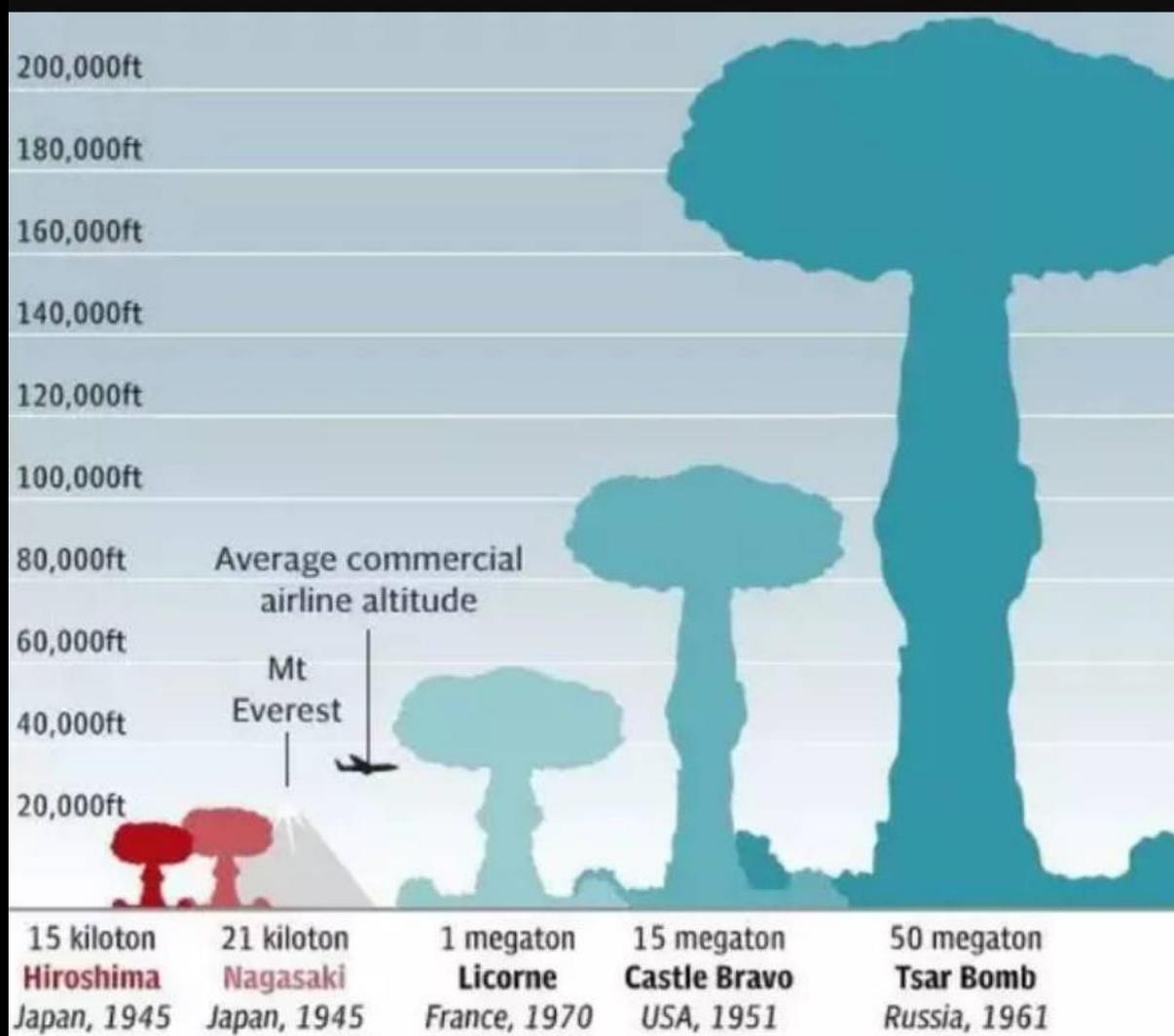
4. Retombées radioactives



Explosion nucléaire

Comparaison de la hauteur du champignon atomique

1 pied (ft) = 0,3 m



Comparaison des rayons de la boule de feu de quelques armes nucléaires. Les effets de souffle s'étendent bien au-delà de la boule de feu.



Impulsion électromagnétique (EMP)

Conséquence d'une explosion nucléaire :

Impulsion électromagnétique

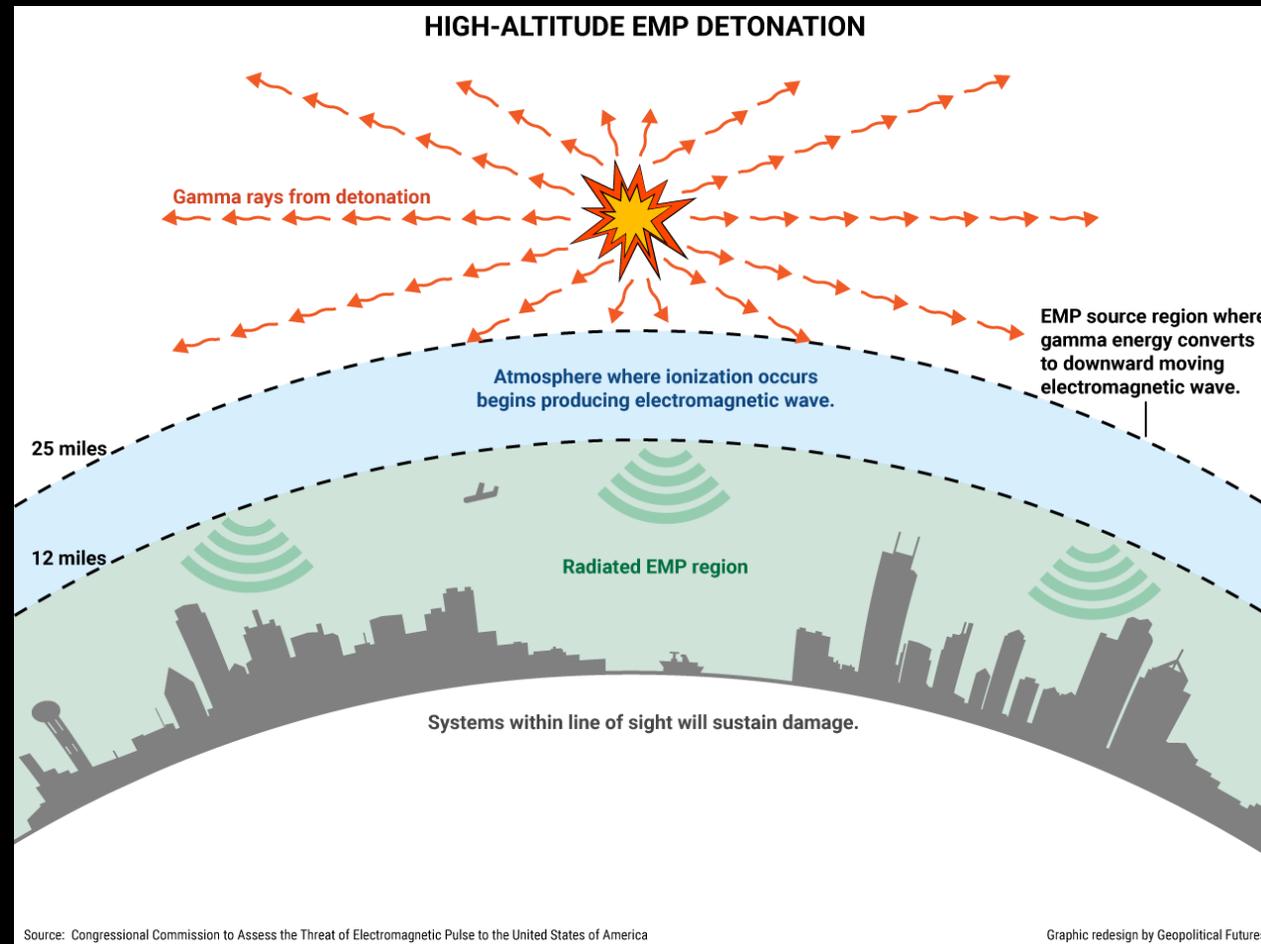
- Les rayons gamma produits par l'explosion arrachent des électrons à l'atmosphère.
- Les électrons créent un champ électrique dense et intense.
- Ils peuvent provoquer des tensions très élevées dans les composants électriques qui dépassent alors leur tension de claquage et grillent.
 - Destruction des ordinateurs et des équipements de communication.

Similitude avec les tempêtes solaires



Impulsion électromagnétique (EMP)

Neutraliser un ennemi avec une EMP issue d'une explosion nucléaire



Impulsion électromagnétique (EMP)

Est-il possible de créer une EMP sans explosion nucléaire ?

- A l'état de recherche, secret d'état. Aucune arme de ce type semble avoir déjà été utilisée.
- Mais déjà une réalité dans l'univers de James Bond !



Le satellite russe *Goldeneye* (dans le film éponyme)



La nouvelle montre de James (*Mourir peut attendre*).



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text '5. Le plan Grand Chélem' in a bold, blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing attention on the screen.

**5. Le plan Grand
Chélem**

Introduction à Goldfinger



- Industriel milliardaire, Auric Goldfinger est obsédé par l'or.
- Il en veut toujours plus. C'est pourquoi il monte le « Plan Chelem ».



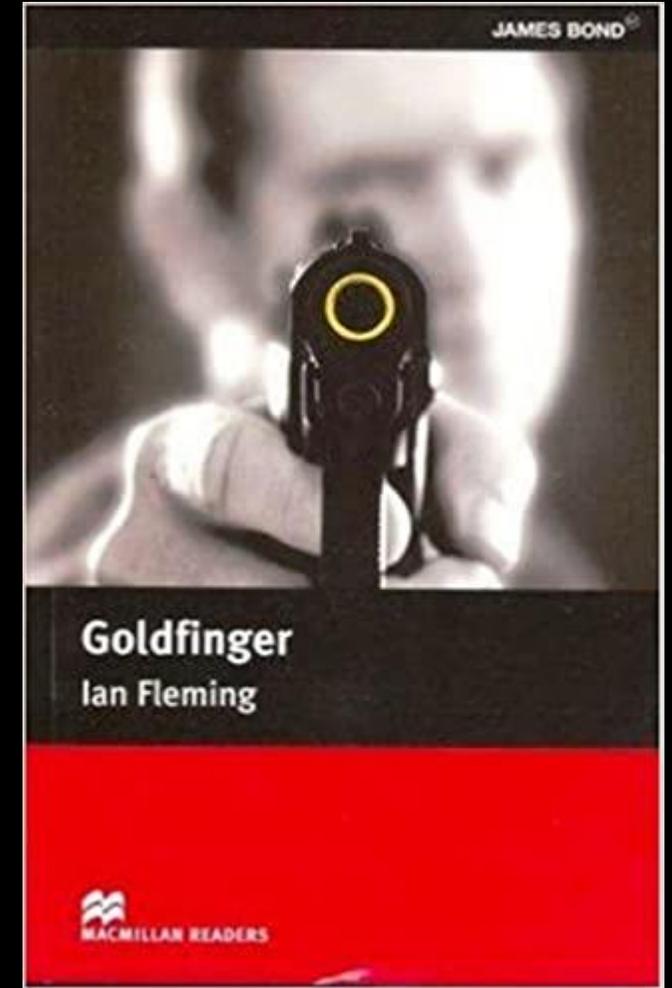
Le plan Grand Chelem (livre)

- Goldfinger s'associe à plusieurs gangs de truands pour voler l'intégralité de l'or de la réserve des Etats-Unis qui se situe à Fort Knox (Kentucky).

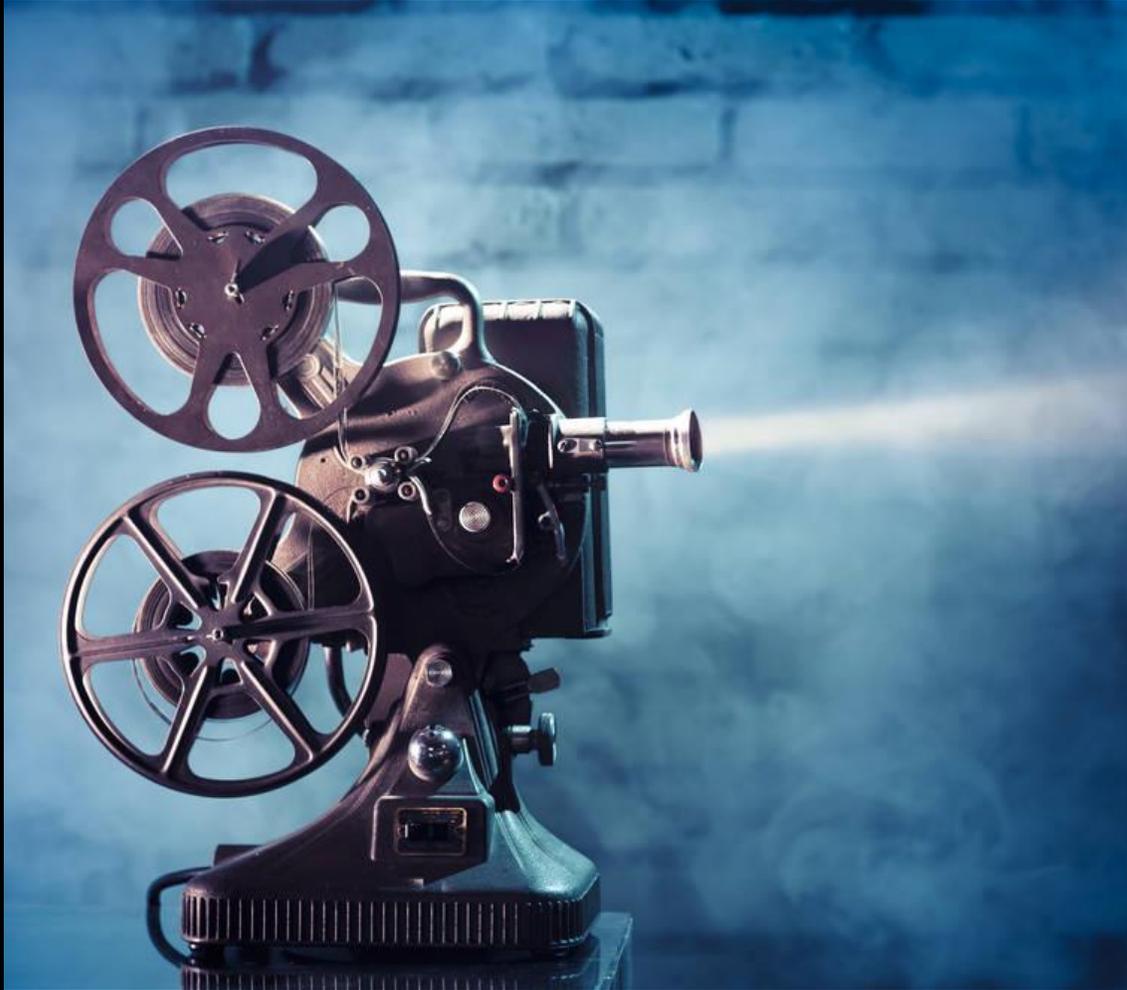


- Dans un premier temps, il tuera tous les soldats à l'aide d'un gaz empoisonné Delta-9 (fictif).
- Puis ses hommes devront charger l'or dans un train de fret.
- Somme à dérober : 15 milliards de dollars en lingots d'or (11,3 kg)

N'y aurait-il pas un problème de logistique ?



Le plan Grand Chelem (livre)



Extrait de « *Goldfinger* », 1964, EON Productions



James Bond essaye de deviner le plan de Goldfinger.

<https://www.youtube.com/watch?v=efOL7hF-YDU&t=85s>



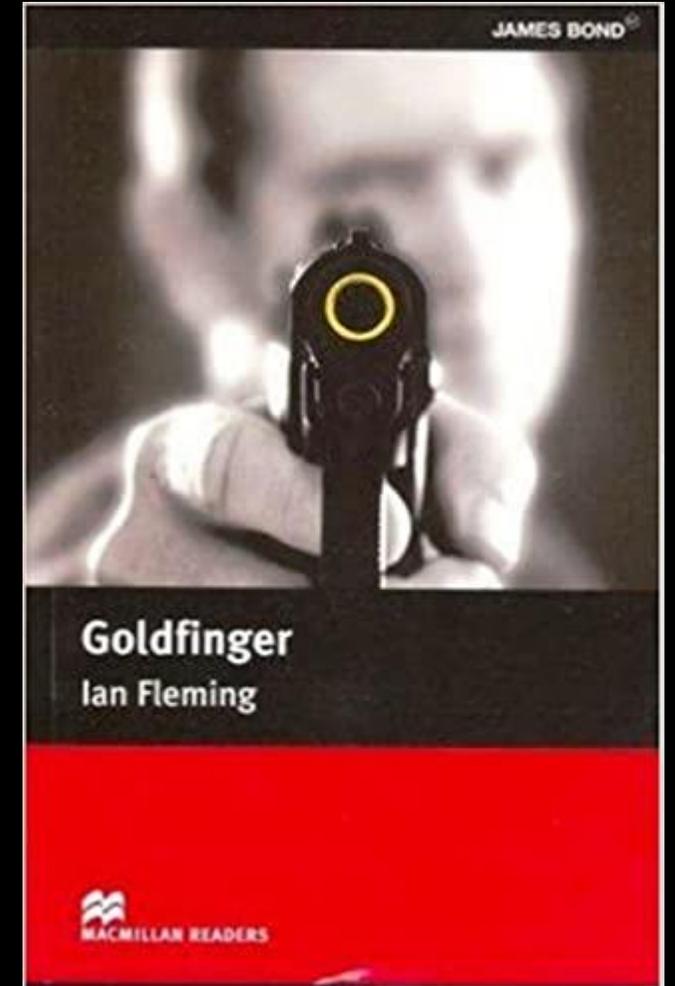
Le plan Grand Chelem (livre)

- Goldfinger s'associe à plusieurs gangs de truands pour voler l'intégralité de l'or de la réserve des Etats-Unis qui se situe à Fort Knox (Kentucky).

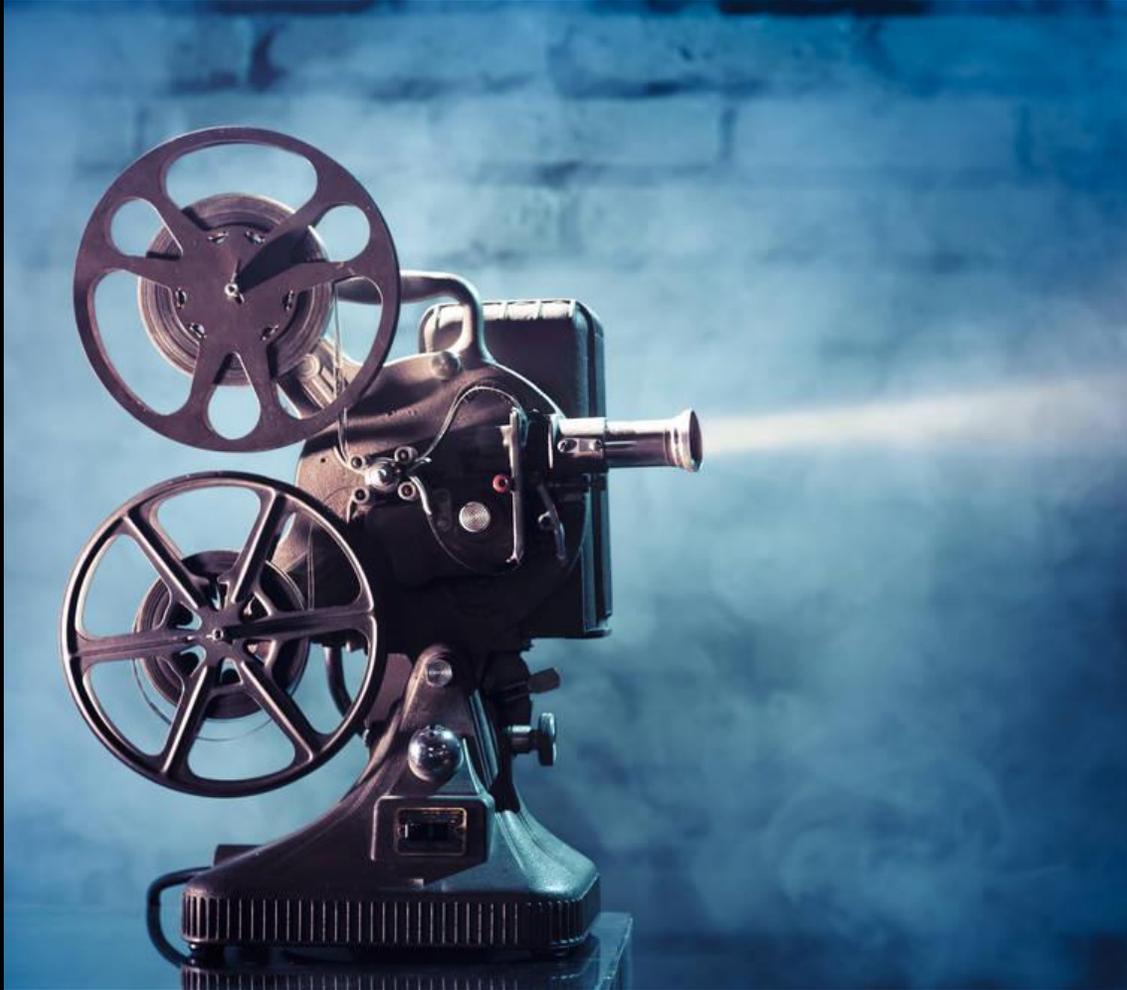


- Dans un premier temps, il tuera tous les soldats à l'aide d'un gaz empoisonné Delta-9 (fictif).
- Puis ses hommes devront charger l'or dans un train de fret.
- Somme à dérober : 15 milliards de dollars en lingots d'or (11,3 kg)

60 hommes mettraient 12 jours pour charger 200 camions.



Le plan Grand Chelem (film)



Extrait de « *Goldfinger* », 1964, EON Productions



James Bond essaye de deviner le plan de Goldfinger.

<https://www.youtube.com/watch?v=efOL7hF-YDU&t=85s>



Le plan Grand Chelem (film)



Faire exploser une bombe nucléaire dans Fort Knox pour rendre l'or radioactif pendant 58 ans.
→ Crise économique aux Etats-Unis et augmentation de la valeur de mon or.

Premières réflexions :

- **Est-ce une bombe atomique (bombe A) que souhaite utiliser Goldfinger ?**
 - Non car la boule de feu initiale a une température de plusieurs millions de degré.
 - l'or serait vaporisé et réparti dans l'atmosphère.
- **Est-il possible d'activer l'or ? c'est-à-dire de rendre l'or radioactif**
 - Oui en théorie, il suffit de soumettre l'or ($^{197}_{79}\text{Au}$) à un rayonnement de neutrons pour obtenir des isotopes.
 - Problème : les isotopes tels que $^{195}_{79}\text{Au}$, $^{198}_{79}\text{Au}$, $^{199}_{79}\text{Au}$ se désintègrent en des éléments différents de l'or : Hg ou Pt.



Le plan Grand Chelem (film)



Faire exploser une bombe nucléaire dans Fort Knox pour rendre l'or radioactif pendant 58 ans.

→ Crise économique aux Etats-Unis et augmentation de la valeur de mon or.

Solution la plus vraisemblable :

- Goldfinger veut utiliser une **bombe radiologique** ou **bombe sale**.
 - = une bombe traditionnelle entourée de matières radioactives
 - objectif est de contaminer radioactivement l'endroit où à exploser la bombe.
 - Fort Knox ne serait plus accessible aux humains avant plusieurs années (les robots n'existaient pas en 1964).



Le plan Grand Chelem (film)



Faire exploser une bombe nucléaire dans Fort Knox pour rendre l'or radioactif pendant 58 ans.
→ Crise économique aux Etats-Unis et augmentation de la valeur de mon or.

Solution la plus vraisemblable :

- L'or inaccessible pendant 58 ans ?

La bombe est composée de Cobalt. Isotope avec une demi-vie > 1 année : ${}^{60}_{27}\text{Co}$ avec une demi-vie de 5,3 ans.

Valide sur le plan de la physique



Le plan Grand Chelem (film)

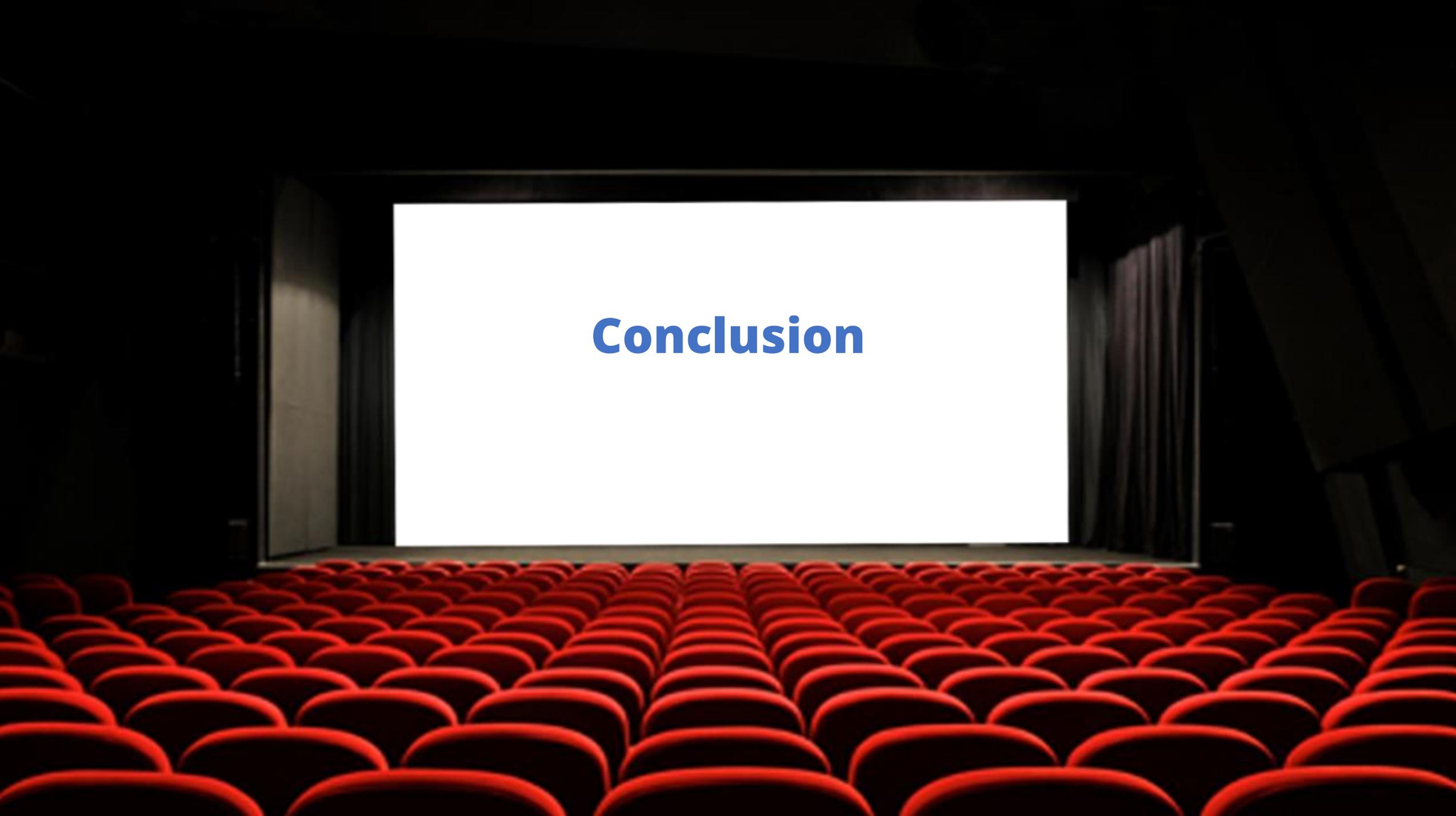


Faire exploser une bombe nucléaire dans Fort Knox pour rendre l'or radioactif pendant 58 ans.
→ Crise économique aux Etats-Unis et augmentation de la valeur de mon or.

Pour aller + loin :

- **La totalité de l'or des Etats-Unis ne se situait pas à Fort Knox en 1964.**
→ une grosse partie se trouve dans la Federal Reserve Bank de New York
MAIS cette banque abrite surtout des capitaux étrangers.



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen is illuminated and displays the word "Conclusion" in a bold, blue, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is quiet and focused.

Conclusion

Conclusion

- **Notions de physique nucléaire (= noyau de l'atome) étudiées :**
 - **La radioactivité** : désintégration spontanée, demi-vie, quantifiée par l'activité (compteur Geiger-Müller) et les doses (dosimètres), effet sur le corps humain.
 - **L'énergie nucléaire** : réaction de fission et de fusion, réaction en chaîne.
- **Manifestations de la physique nucléaire dans les aventures de James Bond :**
 - ~~Mauvaise gestion d'une centrale nucléaire (Doctor No)~~
 - ~~Explosion du réacteur nucléaire d'un sous-marin (Le monde ne suffit pas)~~
 - Risque d'explosion d'une bombe atomique (Opération tonnerre, L'espion qui m'aimait, ...)
 - Irradier la réserve d'or (Goldfinger)
 - Contaminer et empoisonner un traître (Spectre)
 - Technologie annexe : une bombe à impulsion électromagnétique (Goldeneye, Mourir peut attendre)



Conclusion

- **Des côtés positifs du nucléaire dans les aventures de James Bond :**

- Tracer des agents ou des ennemis par un traceur radioactif



- **La physique nucléaire est fondamentale dans les activités de la société :**

- Production d'énergie (contrôlée) :
 - Fission nucléaire = principale source en France mais en diminution (énergie non durable)
 - Quid de la fusion nucléaire dans 100 ans ?
- Médecine : utiliser des traceurs radioactifs permettant d'accéder à une imagerie fonctionnelle et métabolique
- Archéologie : datation au carbone 14
- Contrôle non destructif

