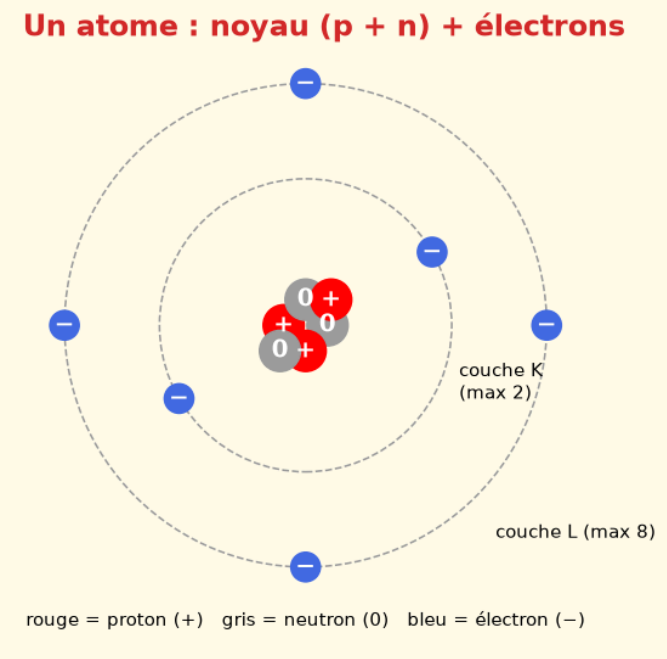
Fiche 1 illustrée – PCR Niveau 2, Module 01

Du début jusqu'à la p.85 du manuel (interactions des photons).

Résumé de révision personnel – Youssef AMAADOR – Formation PCR niveau 2.

Les éléments marqués **à vérifier** *sont des compléments ou des calculs personnels non vérifiés dans le manuel.*

1. L'atome



- Un atome = un **noyau** + des **électrons** autour.
- Le noyau contient des **protons (+)** et des **neutrons (0)**.
- Les électrons sont **négatifs (−)**.
- Le noyau est tout petit : 10 000 à 100 000 fois plus petit que l'atome.
- Mais il porte presque toute la masse.
- Couches K, L, M… : au maximum **$2n^2$** électrons (K = 2, L = 8).

Formule – couches et énergie

$$\text{électrons max par couche} = 2n^2$$

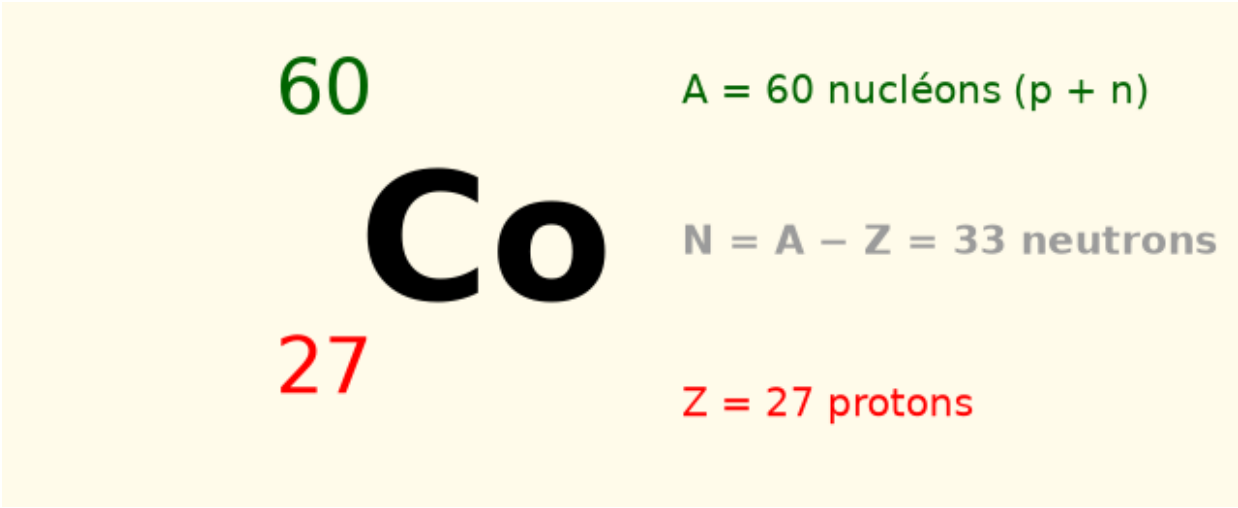
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Lire la notation $^{A}_{Z}X$

Formule – composition du noyau

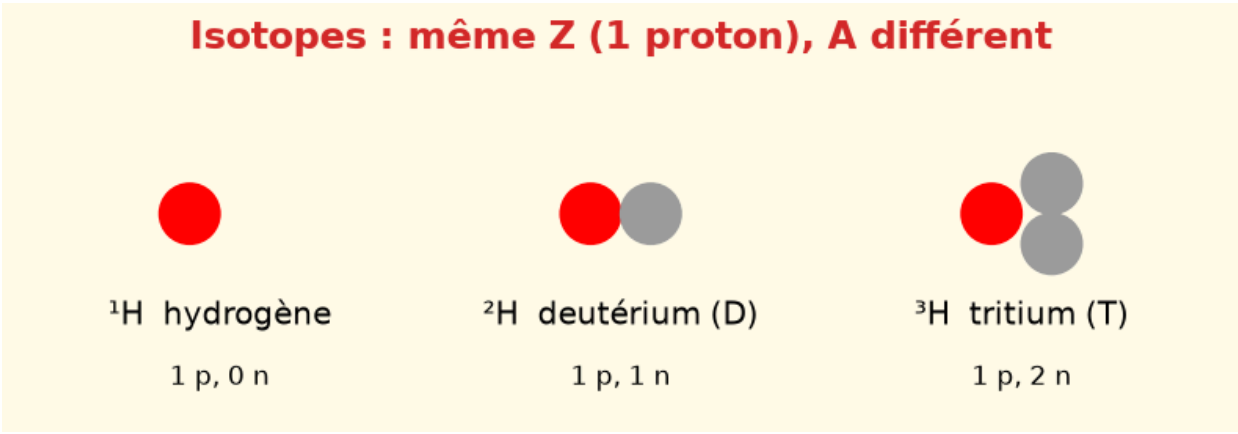
$$A = Z + N$$

$$N = A - Z$$



Exemple : cobalt 60 ($^{60}_{27}Co$)
A = 60, Z = 27 → **N = A − Z = 60 − 27 = 33 neutrons**.

Les isotopes



- Isotopes = **même Z**, **A différent**.
- Ils ont les mêmes propriétés chimiques.
- Autres exemples : Co-57, Co-58, Co-59, Co-60.

À retenir : Z = protons • A = protons + neutrons • **N = A − Z** • isotopes = même Z.

Mini-QCM 1
1. Pour $^{137}_{55}Cs$, N vaut : a) 55 b) 82 c) 137
2. Deux isotopes ont : a) même A b) même Z c) même N
3. La couche L contient au maximum : a) 2 b) 8 c) 18 électrons

2. La radioactivité

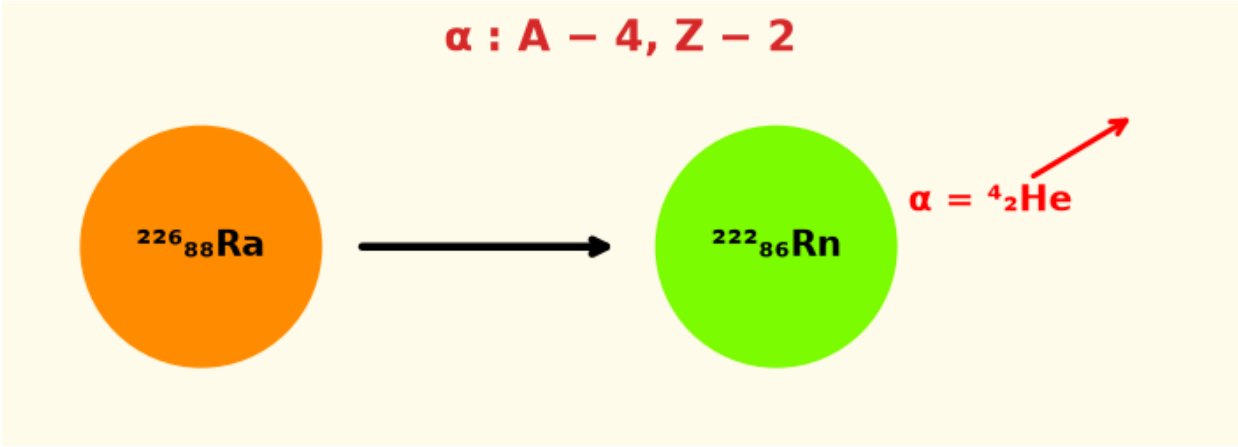
- Un noyau **instable** a trop d'énergie.
- Il se transforme (se « désintègre ») pour devenir stable.
- Elle peut être **naturelle** ou **artificielle** (ex. F-18).
- Trop de neutrons → β^-. Trop de protons → β^+ ou capture électronique. Trop de nucléons → α ou fission.

Règle d'or : dans une équation, la **somme des Z** et la **somme des A** sont les mêmes à gauche et à droite.

α : le noyau perd un « paquet » ^4_2He

📐 **Formule – α**

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$



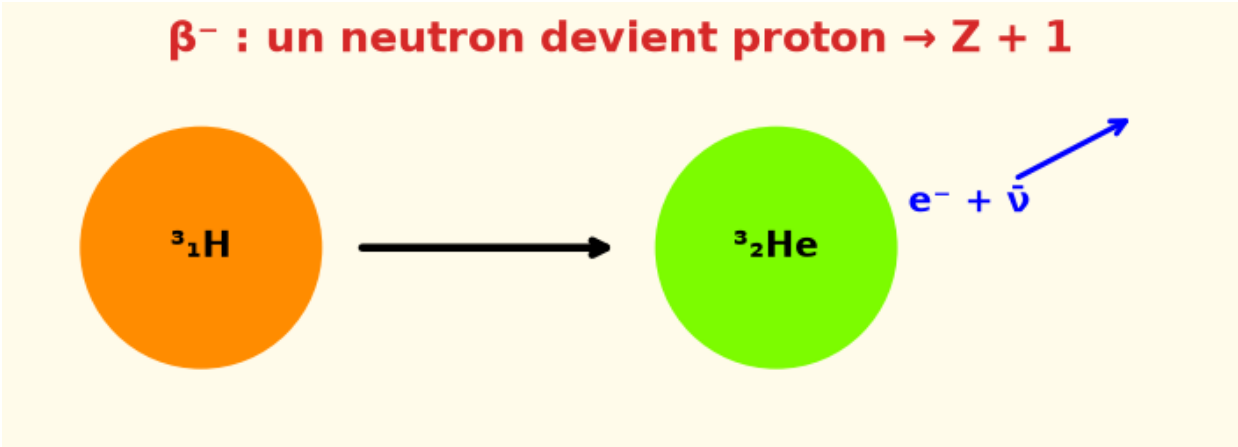
Exemple : $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$. Vérif : 226 = 222 + 4 ✔ ; 88 = 86 + 2 ✔. (T = 1600 ans)

β⁻ : un neutron devient proton

Formule – β⁻

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \bar{\nu}$$



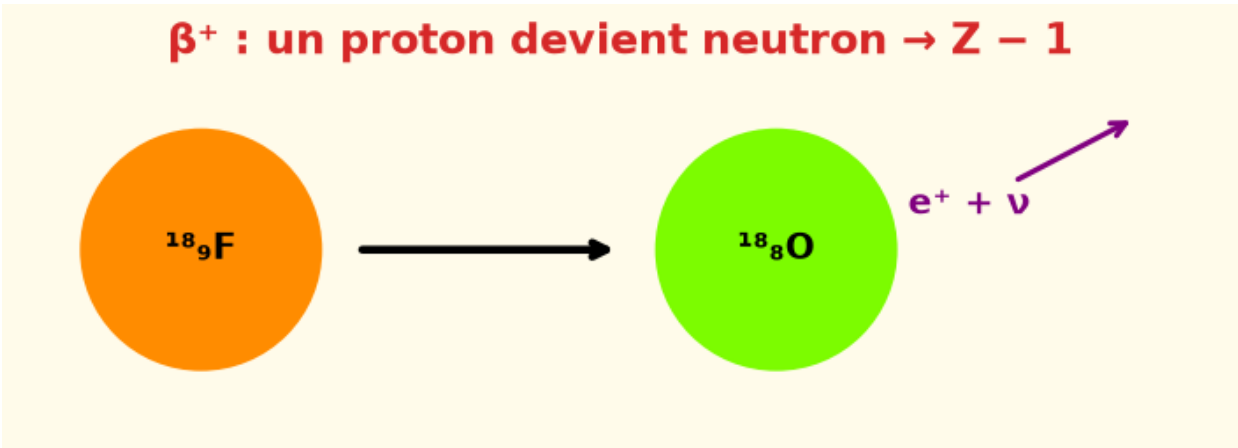
Exemple : $^{3}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + e^- + \bar{\nu}$ (T = 12,3 ans). Vérif Z : 1 = 2 + (−1) ✔ ; A : 3 = 3 ✔.
Autre : $^{32}P \rightarrow {}^{32}S$ (14,3 j).

β⁺ : un proton devient neutron

Formule – β⁺

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^+ + \nu$$



Exemple (cours) : $^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + e^{+} + \nu$. Charge : 6 = 5 + 1 ✔. Nucléons : 11 = 11 + 0 ✔.
Autre : $^{18}F \rightarrow {}^{18}O$ (109,8 min, β^{+} à 96,86 %).

Capture électronique (K)

- Le noyau « avale » un électron : $p + e^{-} \rightarrow n$. Donc Z − 1.

Formule – capture électronique

$$p + e^{-} \rightarrow n$$

- Le cortège se réarrange → **X de fluorescence**.
- Elle est en compétition avec le β^{+}. Ex. : $^{109}Cd \rightarrow {}^{109}Ag$ (461,9 j).

γ : le noyau se calme



- Le γ est un **photon**. Il ne change **ni A ni Z**.

Formule – γ

$$X^{*} \rightarrow X + \gamma$$

- Il suit souvent une autre désintégration.
- Ex. : $^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni^{*} \rightarrow \gamma$ de 1173 et 1332 keV.

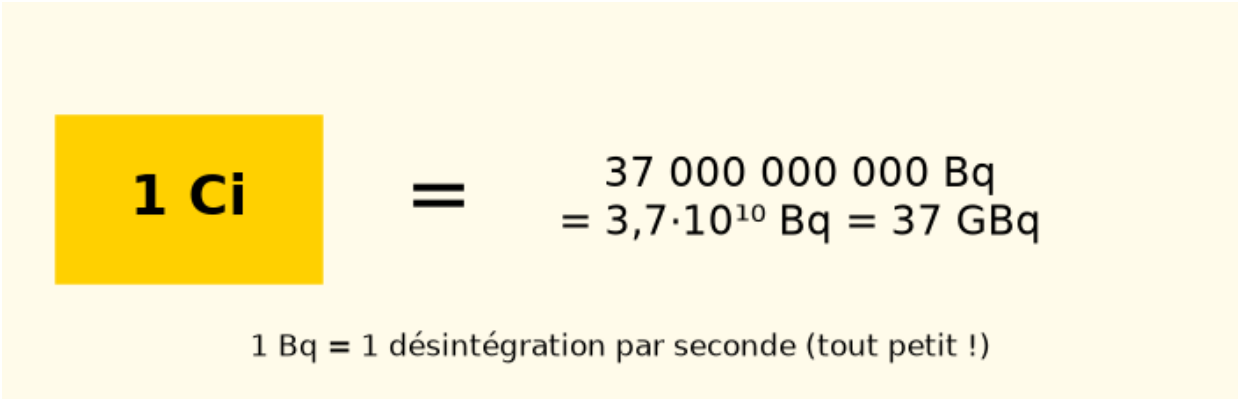
Type	Z	A
α	−2	−4
β^{-}	+1	=
β^{+} / capture	−1	=
γ	=	=

- Famille de l'U-238 : U-238 → … → Ra-226 → Rn-222 → … → Pb-206 (stable).

Mini-QCM 2
4. En β^-, Z : a) diminue de 1 b) augmente de 1 c) ne change pas
5. Une émission α fait baisser A de : a) 2 b) 4 c) 0
6. Le γ change : a) Z b) A c) ni Z ni A

3. Unités et activité

- **1 eV = 1,6·10⁻¹⁹ J** (et 1 J = 6,242·10¹⁸ eV). On utilise aussi keV et MeV.
- **Activité A** = nombre de désintégrations par seconde.
- Unité : **becquerel**, 1 Bq = 1 désintégration/s.
- Ordres de grandeur : corps humain ≈ 8000 Bq ; 1 t d'U-238 ≈ 1,25 GBq.

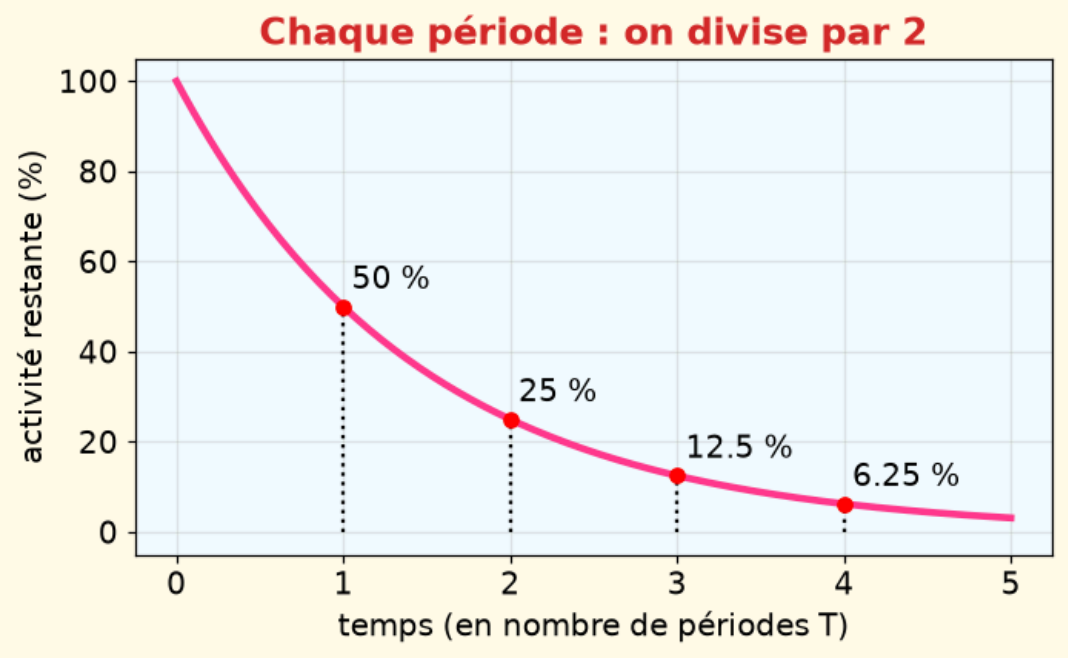


Formule – unités

$$1\ \text{Bq} = 1\ \text{désintégration/s}$$
$$1\ \text{Ci} = 3{,}7\cdot10^{10}\ \text{Bq} = 37\ \text{GBq}$$
$$1\ \text{eV} = 1{,}6\cdot10^{-19}\ \text{J}$$

Exemple : Ci → Bq. Un gammagraphe de 80 Ci :
80 × 3,7·10¹⁰ = **2,96·10¹² Bq** (≈ 3 TBq).

La période T



- **T** = temps pour que l'activité soit **divisée par 2**.
- Chaque radionucléide a sa période.
- Formule simple : **$A = A_0 / 2^n$** (n = nombre de périodes).
- Formule complète : $A = A_0 \cdot e^{(-\lambda t)}$, avec **$\lambda = \ln 2 / T$**.

Formule – décroissance

$$A = A_0 / 2^n \ (n = t / T)$$

$$A(t) = A_0 \cdot e^{(-\lambda t)}$$

$$\lambda = \ln 2 / T$$

Exemple : 3 périodes. A_0 = 800 MBq. Après 3 T : $800 / 2^3 = 800 / 8 =$ **100 MBq**.
Exemple du cours : 320 MBq, T = 6 h. 1 jour = 24 h = 4 périodes → 320 / 16 = **20 MBq**.
Après 10 périodes : divisé par 2^{10} = **1024**.

Radionucléide	Période
Co-60	5,27 ans
Cs-137	30 ans
Ra-226	1600 ans
U-238	4,5 milliards d'années
Co-57	≈ 271 j
O-14	74 s

A = λ·N (attention aux secondes !)

Formule – activité ↔ noyaux

$$A = \lambda \cdot N \text{ (T en secondes)}$$

$$A = (N_A \cdot m / M) \cdot \ln 2 / T$$

Exemple : combien de noyaux N dans 1 GBq de Co-60 ?
1. T = 5,27 ans × 3,156·10⁷ s/an ≈ 1,66·10⁸ s
2. λ = ln2 / T = 0,693 / 1,66·10⁸ ≈ 4,2·10⁻⁹ s⁻¹
3. N = A / λ = 10⁹ / 4,2·10⁻⁹ ≈ **2,4·10¹⁷ noyaux** à vérifier

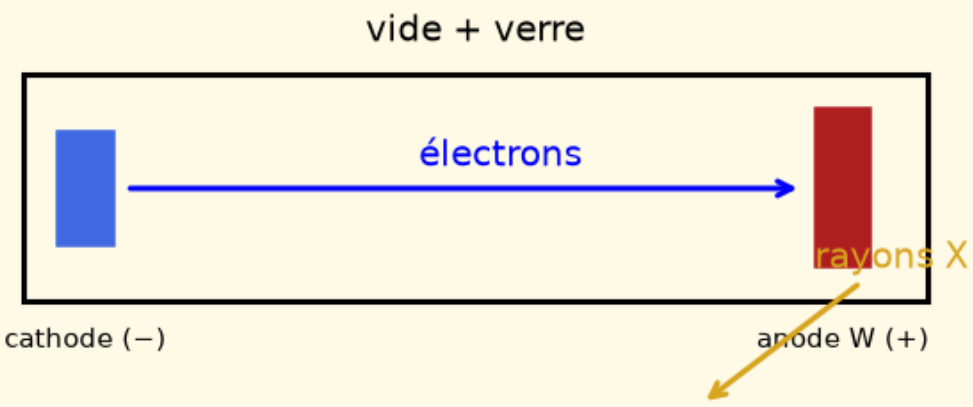
Masse ↔ activité : A = (N_A·m/M)·ln2/T, N_A = 6,022·10²³. Exemple du cours : 444 MBq de Co-57 ≈ 1,4·10⁻⁶ g.

À retenir : 1 Bq = 1 désintégration/s • **1 Ci = 3,7·10¹⁰ Bq** • $A = A_0/2^n$ • A = λN avec T **en secondes**.

Mini-QCM 3
7. 2 Ci = : a) 7,4·10¹⁰ Bq b) 3,7·10¹⁰ Bq c) 74 Bq
8. 1000 MBq après 3 périodes : a) 333 b) 125 c) 250 MBq
9. Dans A = λN, T est en : a) années b) heures c) secondes

4. Générateurs électriques

Tube à rayons X : pas d'électricité = pas de rayons



- 2 familles : **générateurs X** (15 à 1000 kV) et **accélérateurs** (> 1 MV).

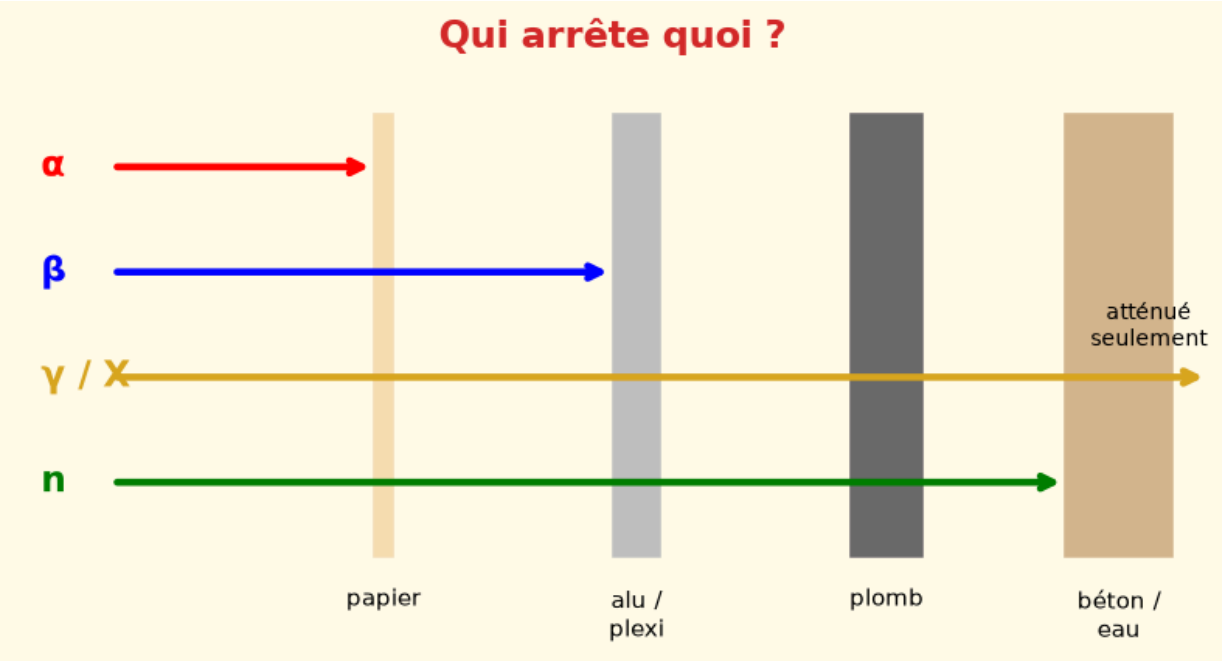
- Les électrons sont freinés dans la cible → **rayonnement de freinage** (spectre continu).
- S'y ajoutent des **raies de fluorescence**.

Pas d'électricité, pas de rayons. Appareil éteint = aucune émission.

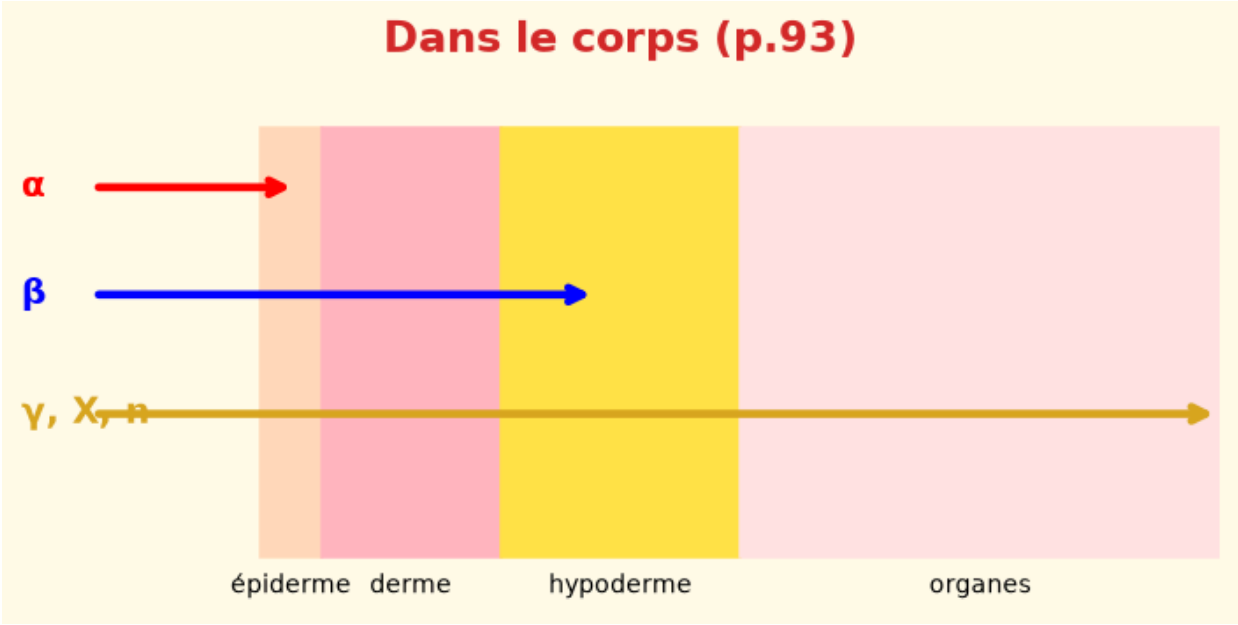
Mini-QCM 4
10. Un tube X débranché émet : a) des X b) des γ c) rien
11. Un accélérateur fonctionne au-delà de : a) 1 kV b) 1 MV c) 15 kV

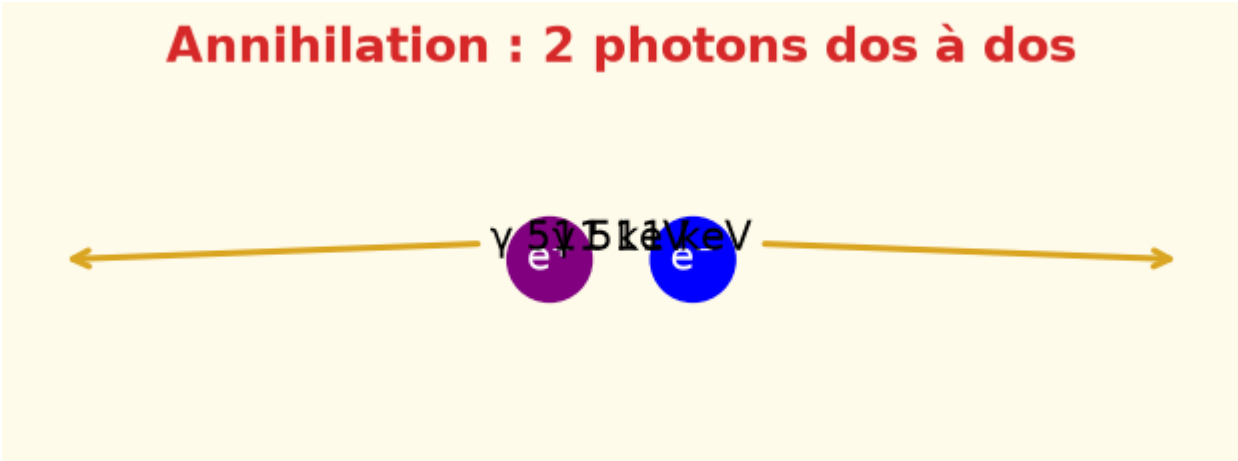
5. Rayonnements et matière (jusqu'à p.85)

- Un rayonnement **ionisant** arrache des électrons à la matière.
- L'effet dépend de la masse, de la charge, de la vitesse et de l'énergie.



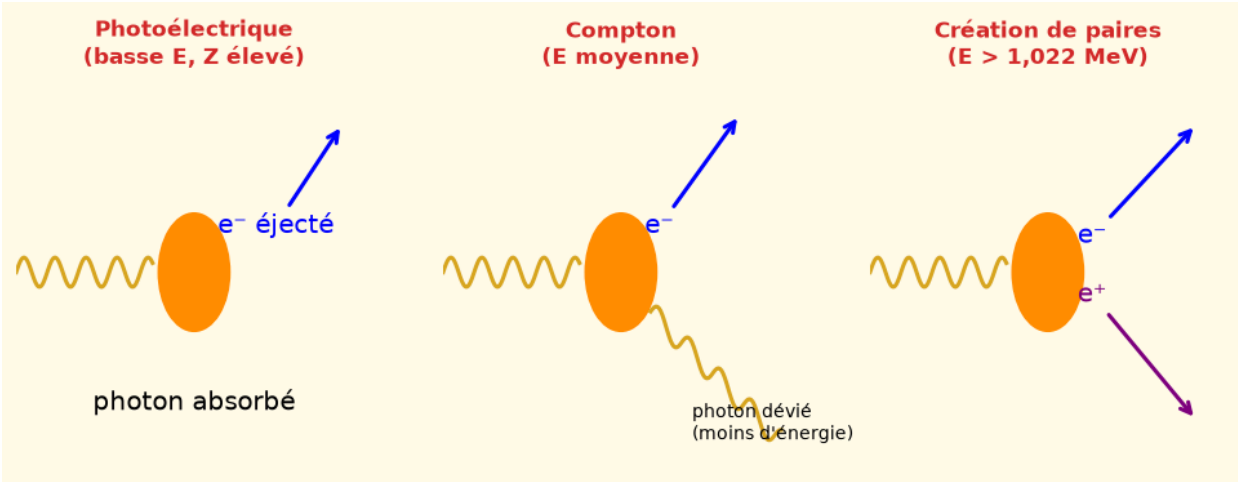
- **α** : très ionisant, ligne droite. Quelques cm dans l'air, quelques dizaines de µm dans les tissus. **Une feuille de papier suffit.** Danger surtout **interne**.
- **β** : quelques m dans l'air, quelques mm dans les tissus. Écran de **Z faible** (plexiglas, alu).
- ⚠️ Pas de plomb pour les β : il produit des **X de freinage**.
- **γ / X** : très pénétrants, on les **atténue** (plomb, béton).
- *(Hors notes, p.86+)* **Neutrons** : ralentis par l'eau ou le polyéthylène, absorbés par le bore ou le cadmium.





- Le positon (β^+) s'annihile avec un électron → **2 γ de 511 keV** dos à dos.

Les 3 effets des photons

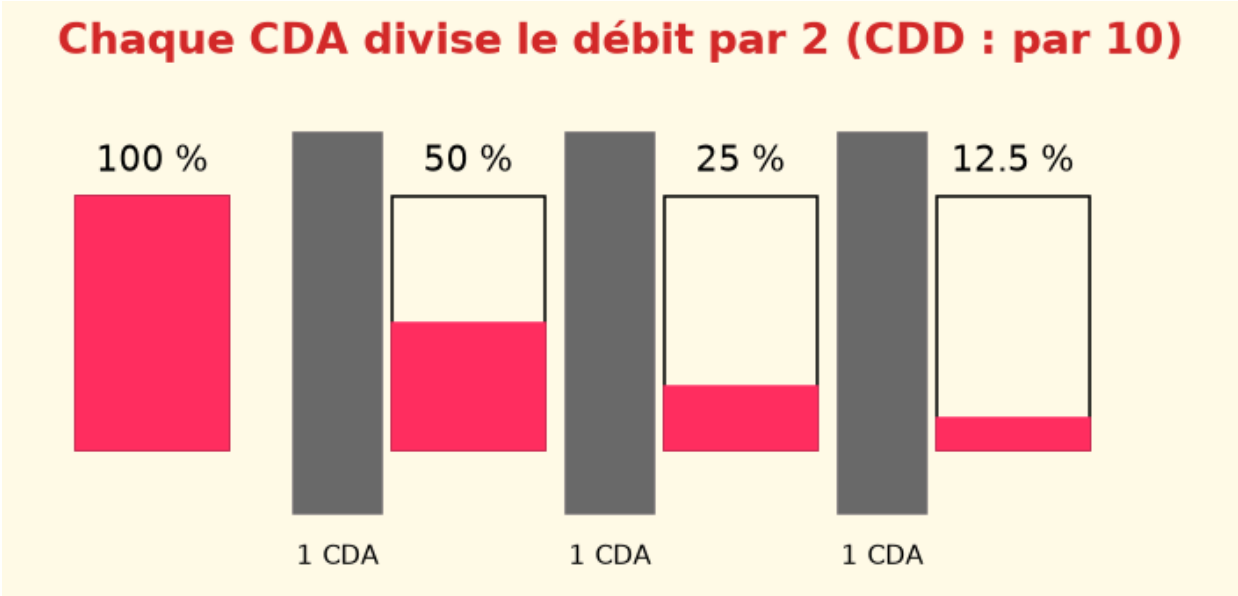


1. **Photoélectrique** : le photon disparaît. Basse énergie, Z élevé.
2. **Compton** : le photon est dévié. Énergie moyenne.
3. **Création de paires** : possible au-delà de **1,022 MeV** (= 2 × 0,511). Haute énergie, Z élevé.

Formule – seuil des paires

$$E > 2 \times 0{,}511 = 1{,}022 \text{ MeV}$$

Atténuation et CDA (détail au module 3)



- $I = I_0 \cdot e^{(-\mu x)}$, $\mu = \ln 2 / \text{CDA}$.

Formule – atténuation

$$I = I_0 \cdot e^{(-\mu x)}$$

$$I = I_0 / 2^n \text{ (n CDA)}$$

$$\mu = \ln 2 / \text{CDA}$$

- **CDA** divise par 2 ; **CDD** divise par 10.

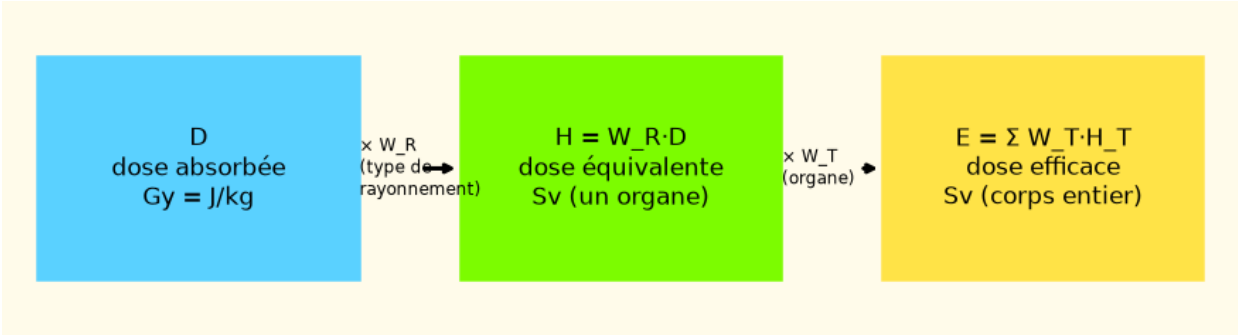
Exemple : 80 µSv/h derrière 3 CDA → 80 / 2^3 = **10 µSv/h**.

À retenir : α → papier • β → plexi/alu (pas de plomb) • γ/X → plomb/béton • n → eau puis bore.

Mini-QCM 5

12. Pour arrêter des β, on choisit : a) plomb b) plexiglas c) rien
13. La création de paires exige E > : a) 0,511 MeV b) 1,022 MeV c) 10 keV
14. L'annihilation donne : a) 1 γ de 1,022 MeV b) 2 γ de 511 keV c) un α

Unités dosimétriques (rappel)



- **Gy** = dose absorbée (1 J/kg). **Sv** : H = W_R·D ; E = Σ W_T·H_T.

Formule – doses

$$1\ \text{Gy} = 1\ \text{J/kg}$$

$$H = W_R \cdot D$$

$$E = \Sigma\, W_T \cdot H_T$$

Exemple : 2 mGy de γ (W_R = 1) → **2 mSv**. 2 mGy d'α (W_R = 20) → **40 mSv**.

Réponses des QCM

1 b (137 − 55 = 82) • 2 b • 3 b • 4 b • 5 b • 6 c • 7 a • 8 b (1000/8) • 9 c • 10 c • 11 b • 12 b • 13 b • 14 b