Biophysique – BPH2

Chapitre 5

Bases biophysiques de l'utilisation des rayonnements ionisants dans les professions de santé: décroissance, période radioactive et activité.

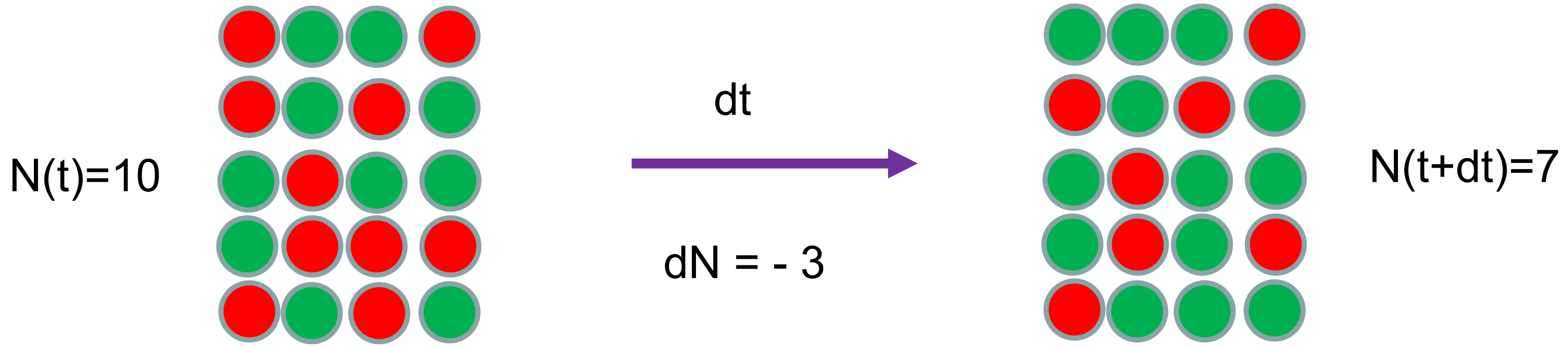
Dr. Jean-François ADAM

Objectifs pédagogiques du cours

- Connaître les paramètres clés de la décroissance radioactive
  - Constante de désintégration
  - Période radioactive
  - Activité
- Appréhender les notions de filiation radioactive
  - Radioactivité naturelle: filiation de l'uranium
  - Médecine nucléaire: production de ^{99m}Tc

Décroissance radioactive

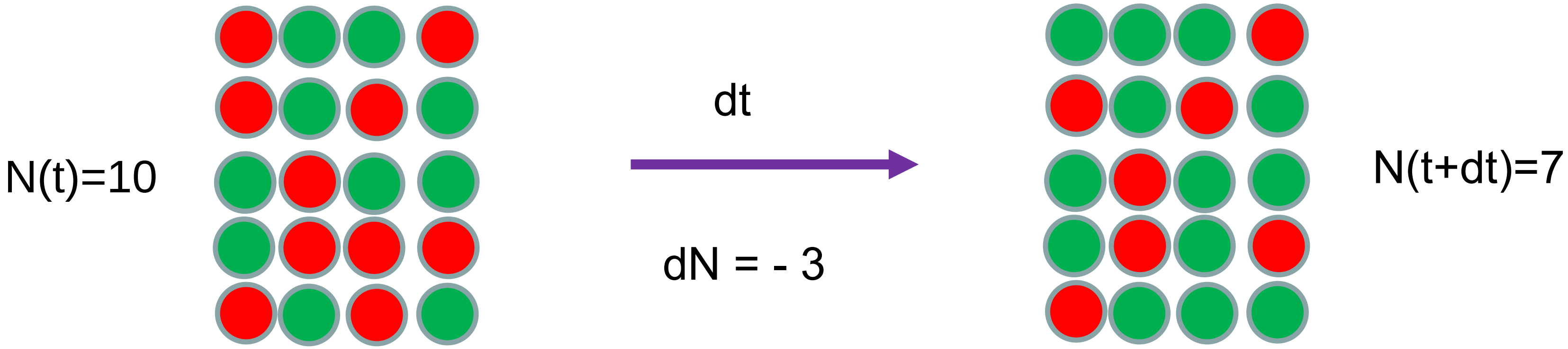
- Soit –(dN) = - (N(t+dt) – N(t)) , le nombre de noyaux qui se sont désintégrés pendant la durée dt



- On définit λ, la <u>constante de décroissance radioactive</u>, comme la probabilité de désintégration par unité de temps et s'exprimant en <u>s^{-1}</u>

Décroissance radioactive

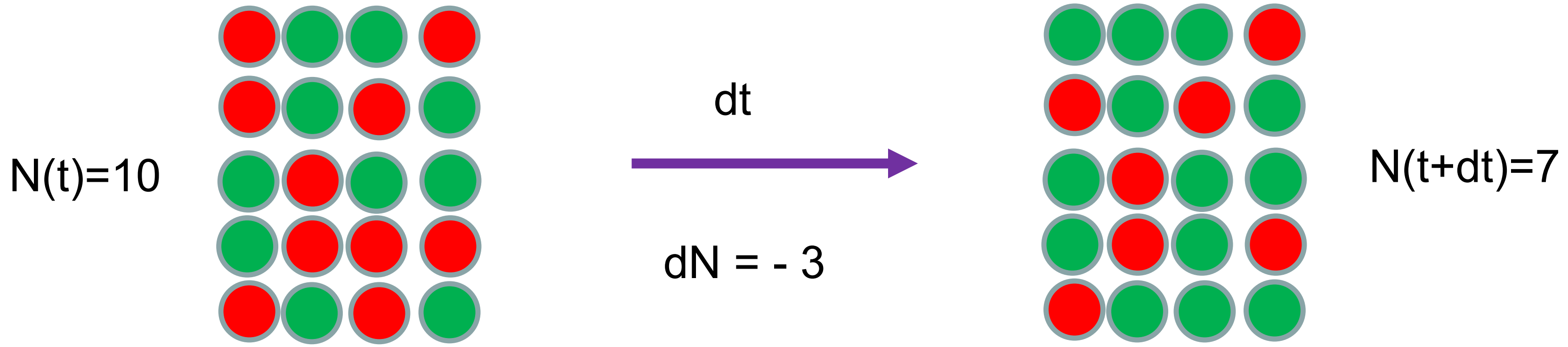
- Soit –(dN) = - (N(t+dt) – N(t)) , le nombre de noyaux qui se sont désintégrés pendant la durée dt



- On définit λ, la constante de décroissance radioactive, comme la probabilité de désintégration par unité de temps et s'exprimant en s^{-1}

Décroissance radioactive

- Soit $-(dN) = -(N(t+dt) - N(t))$, le nombre de noyaux qui se sont désintégrés pendant la durée dt



- On définit λ, la <u>constante de décroissance radioactive</u>, comme la probabilité de désintégration par unité de temps et s'exprimant en <u>s^{-1}</u>

Décroissance radioactive

Alors on exprime la décroissance radioactive par l'équation différentielle:

$dN = - \lambda N(t).dt$, si N(t) est le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t

Si $dN = - \lambda N.dt$ alors $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

Décroissance radioactive

- En intégrant $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$ et en sachant que le nombre initial de noyaux radioactifs est égal à N_0 :

  $$N(t) = N_0 . e^{-\lambda t}$$

- Ou encore : **$Ln\ (N(t)) = Ln\ (N_0) - \lambda\ t$**

Période radioactive

- La période radioactive T (ou $T_{1/2}$) est le temps au bout duquel la moitié des noyaux se sont désintégrés

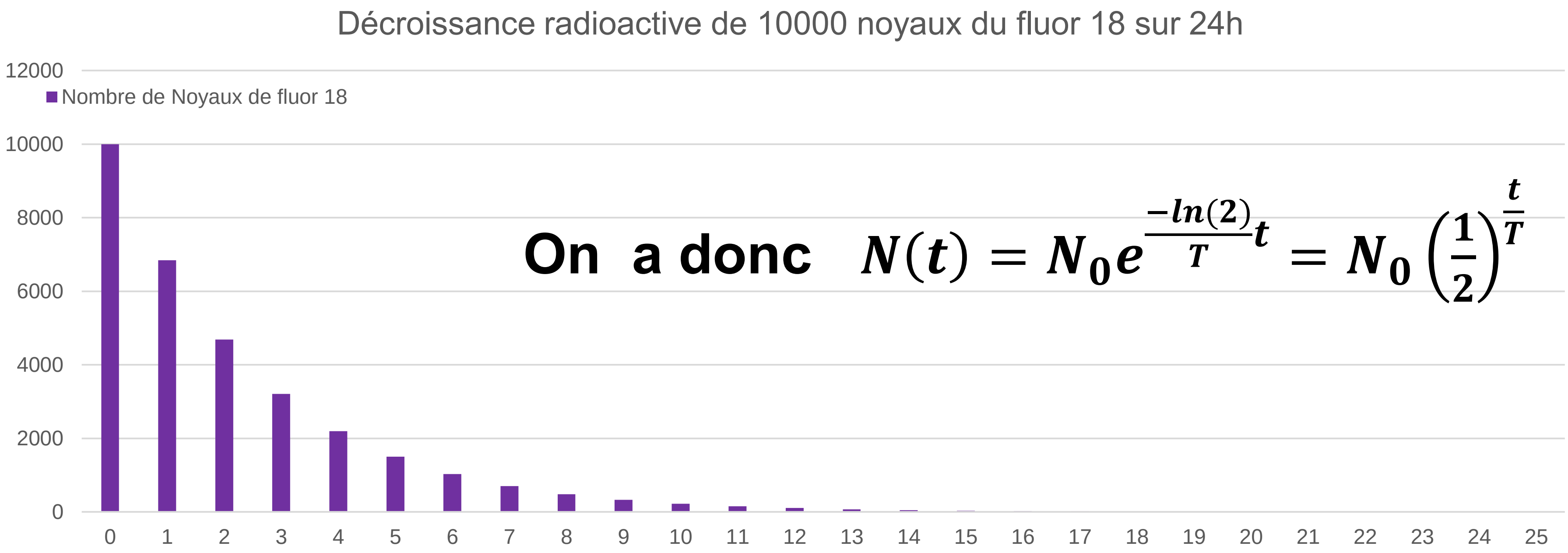
- à $t = T$ on a $N(T)/N_0 = ½$ donc

$\ln(1/2) = -\lambda T$ et donc $\mathbf{T = \ln(2)/\lambda}$

$\ln 2 \approx 0{,}693 = \lambda T$ Donc $T \approx 0{,}693/\lambda$

Décroissance et période radioactive

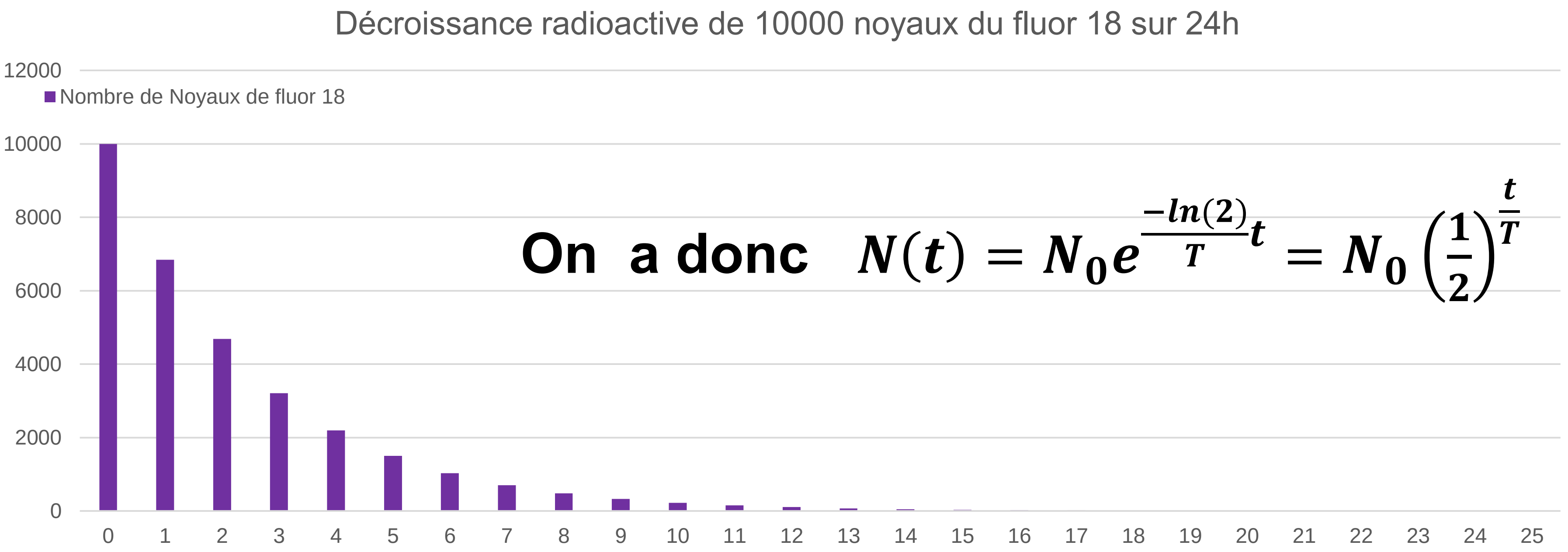
- **Exemple désintégration du fluor 18 (emetteur beta + (97%) et capture électronique (3%)) en oxygène 18.**
- **T=109,77 min et donc λ = 6,31 10^{-3} min^{-1} = 1,05 10^{-4} s^{-1}**



On a donc $\boldsymbol{N(t) = N_0 e^{\frac{-ln(2)}{T}t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}}$

Décroissance et période radioactive

- **Exemple désintégration du fluor 18 (emetteur beta + (97%) et capture électronique (3%)) en oxygène 18.**
- **T=109,77 min et donc λ = 6,31 10^{-3} min^{-1} = 1,05 10^{-4} s^{-1}**

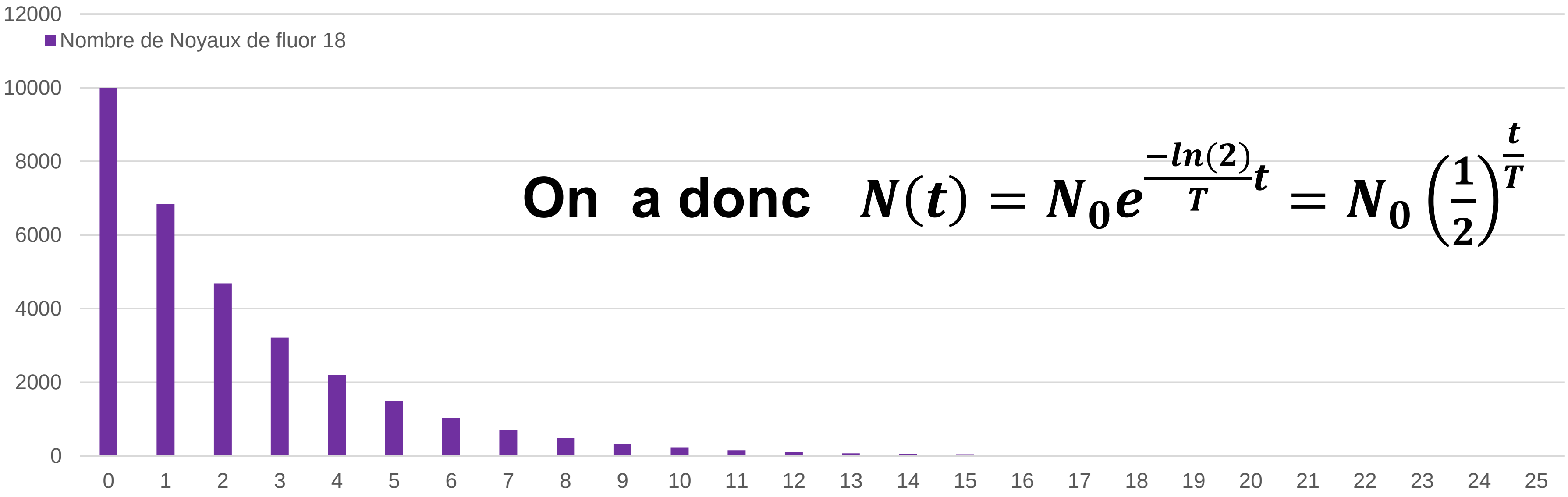


On a donc $$N(t) = N_0 e^{\frac{-ln(2)}{T}t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

Décroissance et période radioactive

- **Exemple désintégration du fluor 18 (emetteur beta + (97%) et capture électronique (3%)) en oxygène 18.**
- **T=109,77 min et donc λ = 6,31 10^{-3} min^{-1} = 1,05 10^{-4} s^{-1}**

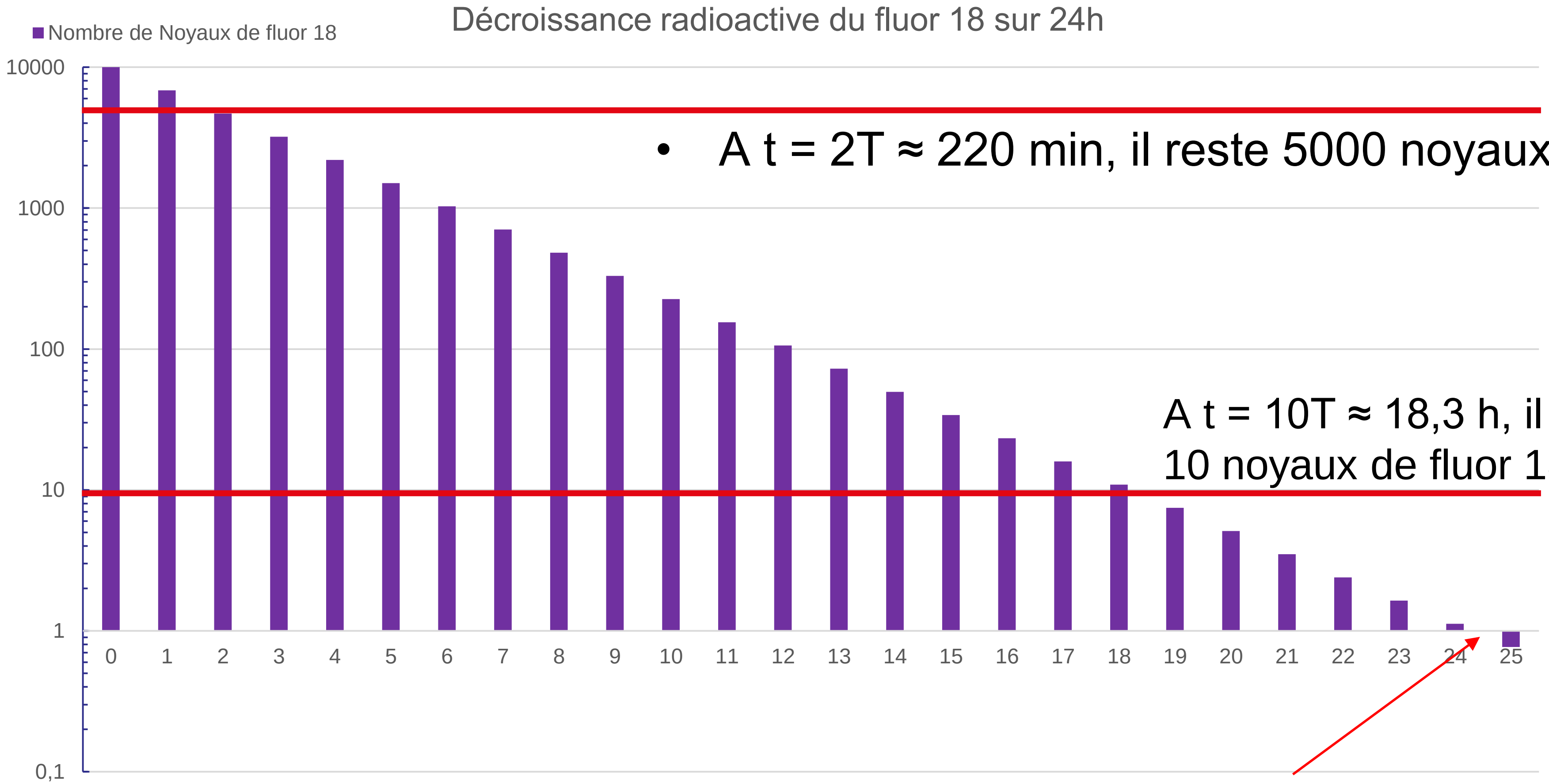
Décroissance radioactive de 10000 noyaux du fluor 18 sur 24h



On a donc $\boldsymbol{N(t) = N_0 e^{\frac{-ln(2)}{T}t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}}$

Décroissance et période radioactive

T=109,77 min



- A t = 2T ≈ 220 min, il reste 5000 noyaux de fluor 18

A t = 10T ≈ 18,3 h, il reste moins de 10 noyaux de fluor 18 (9,76)

- Entre 13 et 14 périodes, autour de 24,3h il existera moins d'un noyau de fluor 18: on redevient probabiliste. Exemple à 25 h , la probabilité d'existence d'un noyau de fluor 18 est de 0,77.

Décroissance et période radioactive

On a donc $N(t) = N_0 e^{\frac{-ln(2)}{T}t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

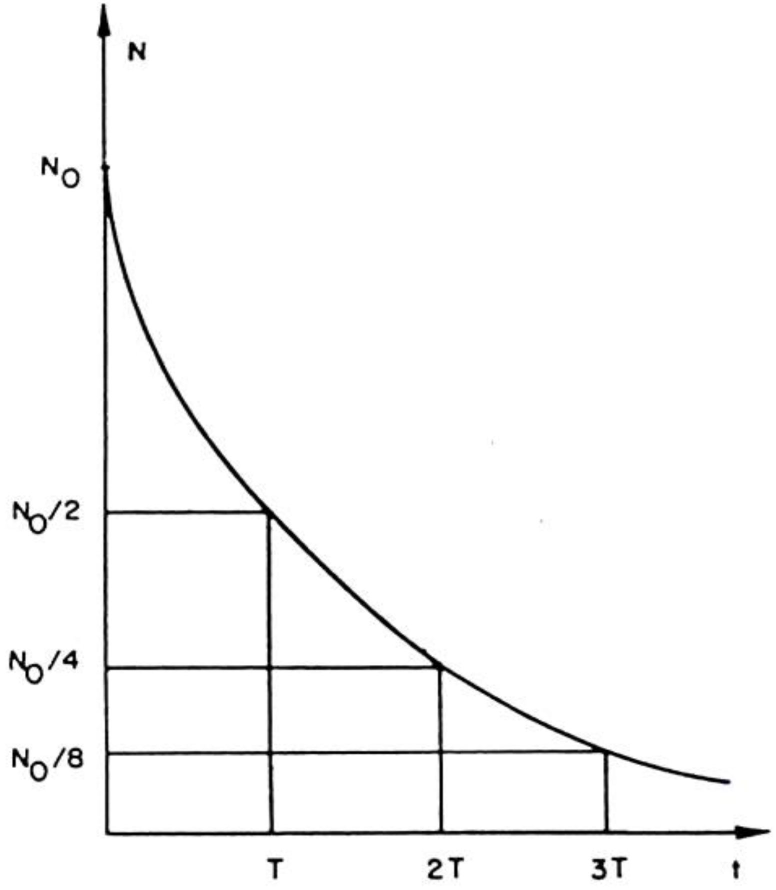


Figure 13-2 **Décroissance radioactive en coordonnées usuelles**

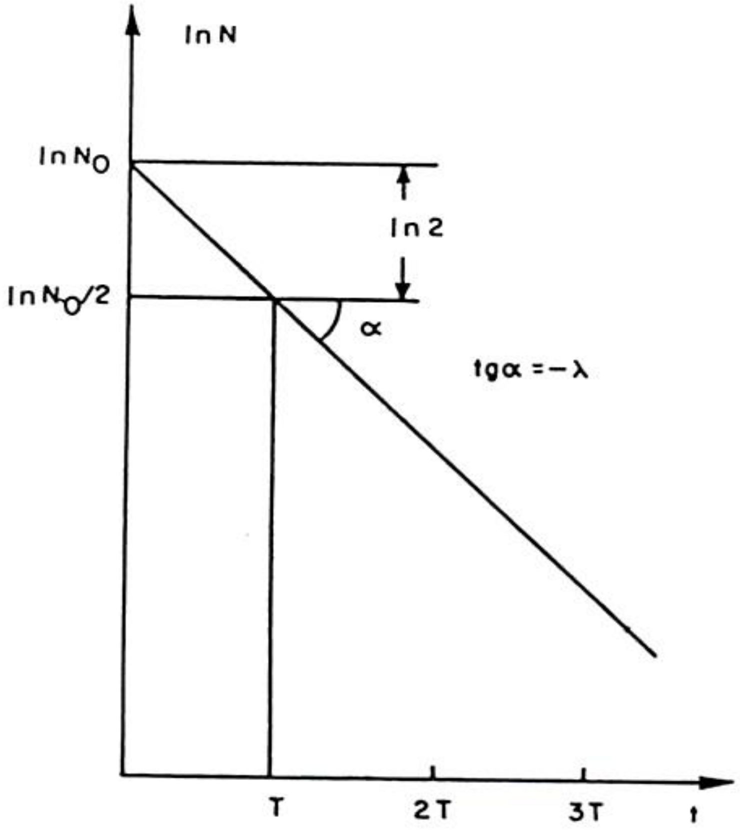


Figure 13-3 **Décroissance radioactive en coordonnées semi-logarithmiques**

Décroissance et période radioactive

On a donc $N(t) = N_0 e^{\frac{-ln(2)}{T}t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

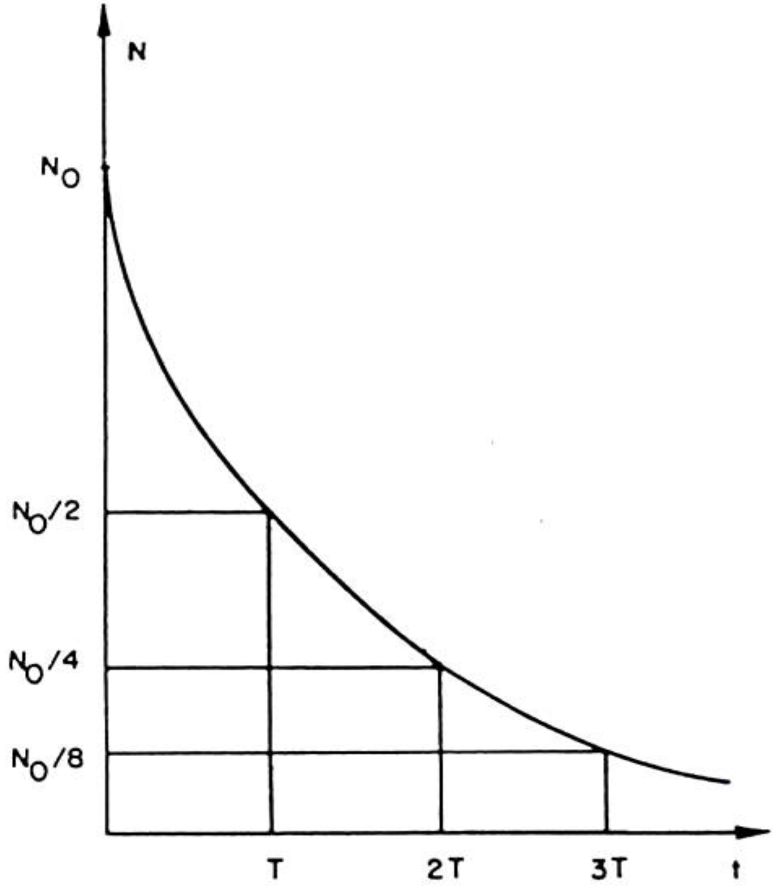


Figure 13-2 **Décroissance radioactive en coordonnées usuelles**

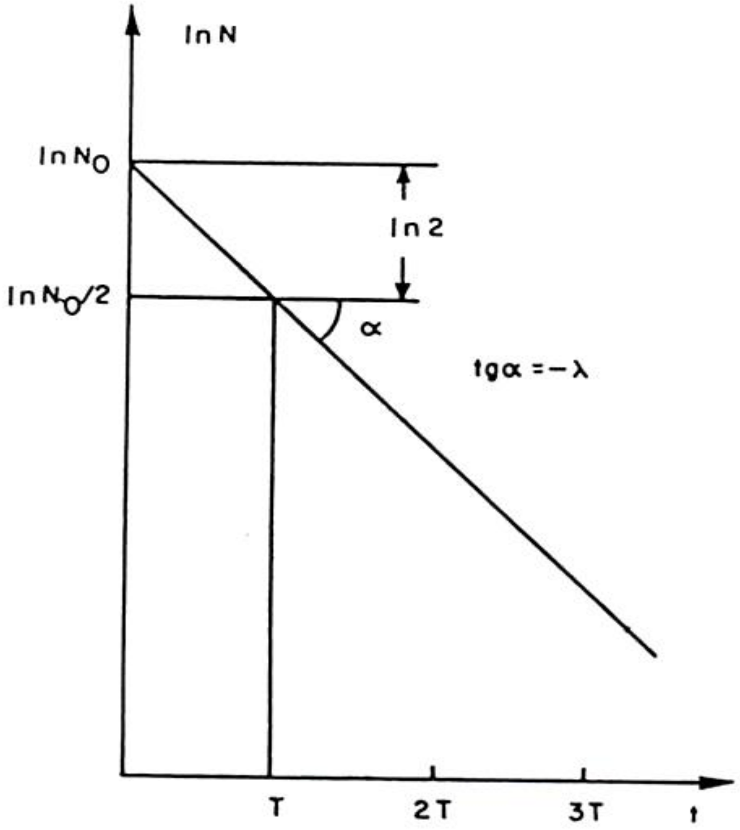


Figure 13-3 **Décroissance radioactive en coordonnées semi-logarithmiques**

Activité

- **Unité :**
  le Becquerel (Bq) = 1 désintégration par seconde

- kBq, MBq, GBq

Mesure de la radioactivité

- **Activité en *becquerel (Bq)*** **: quantité de noyaux radioactifs qui se désintègrent par unité de temps.**

- **1 Bq = 1 désintégration par sec 1 Bq -> 1 s^{-1}**

- **Anciennement le curie… 1 Ci est approximativement l'activité de 1 g de Radium 226 (^{226}Ra)**

  1 mCi = 37 000 000 Bq = 37 MBq

- **Attention l'activité ≠ de la dose !!!**

Mesure de la radioactivité

- L'activité en *becquerel (Bq)* d'une source dépend de
  - La constante de désintégration radioactive (probabilité de désintégration par unité de temps pour un noyau donné)
  - Le nombre de noyaux radioactifs contenus dans cette source…

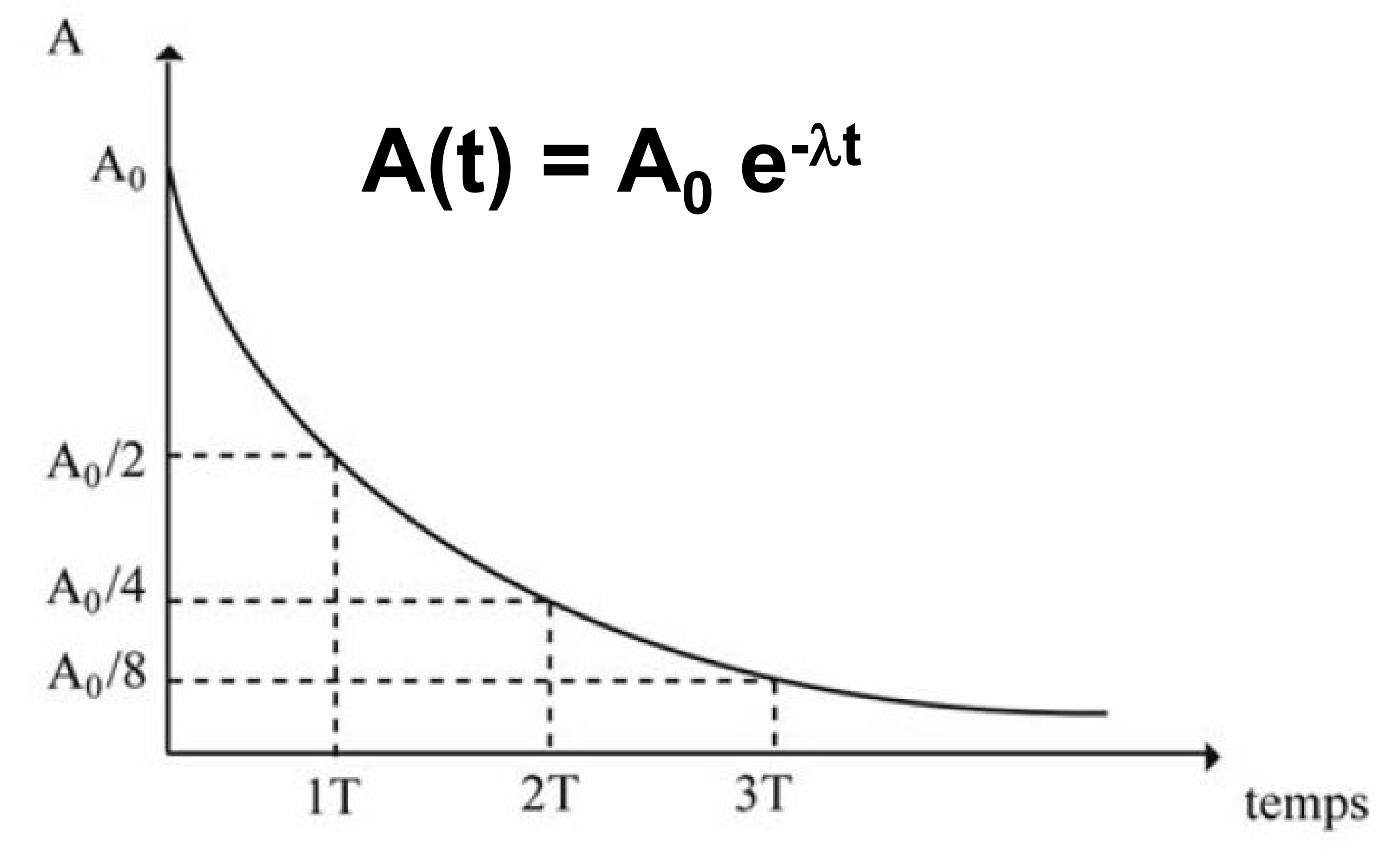
$$\mathbf{A\ (t) = \lambda\ N(t) = \lambda N_0 . e^{-\lambda t}}$$

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

Mesure de la radioactivité

$$A\,(t) = \lambda\, N(t) = \lambda N_0 . e^{-\lambda t}$$

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



Filiation radioactive

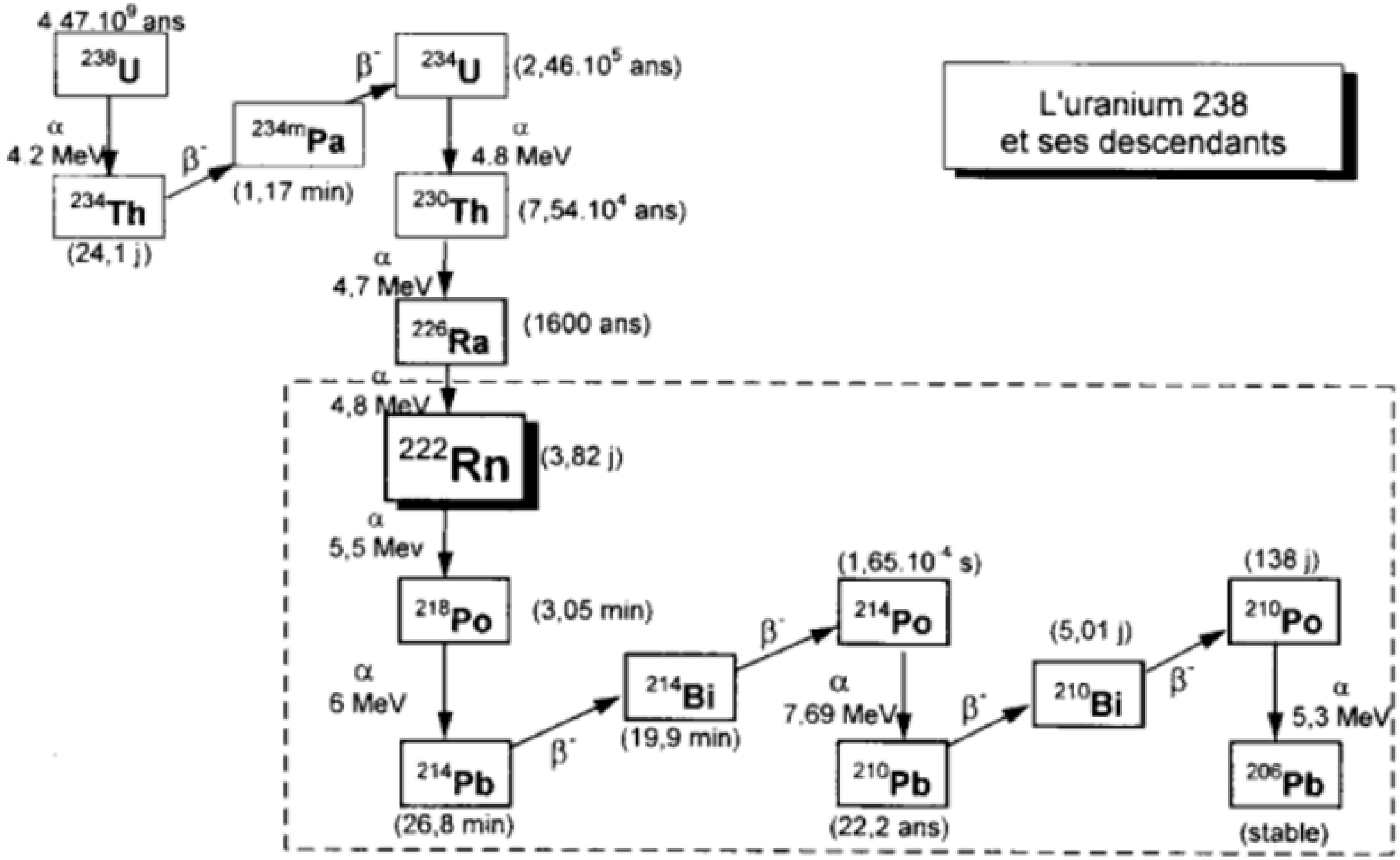


Figure 1.7. Exemple de filiation radioactive : l'uranium-238.

Filiation radioactive

L'allure de l'évolution du nombre de noyaux ou de l'activité associée va dépendre des constantes de désintégration radioactives.

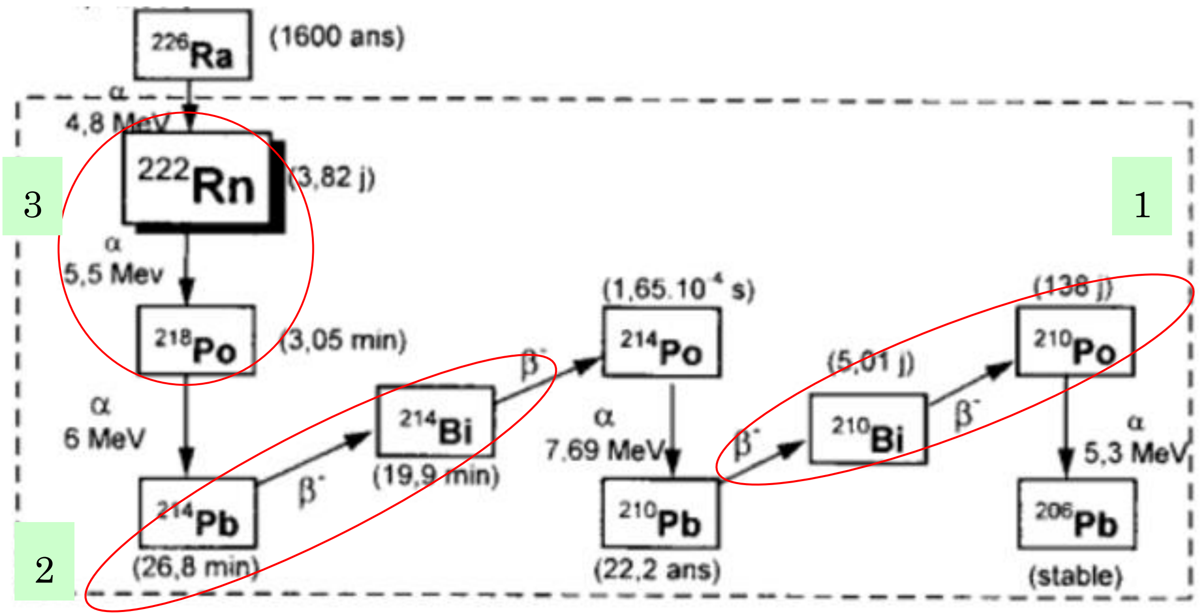


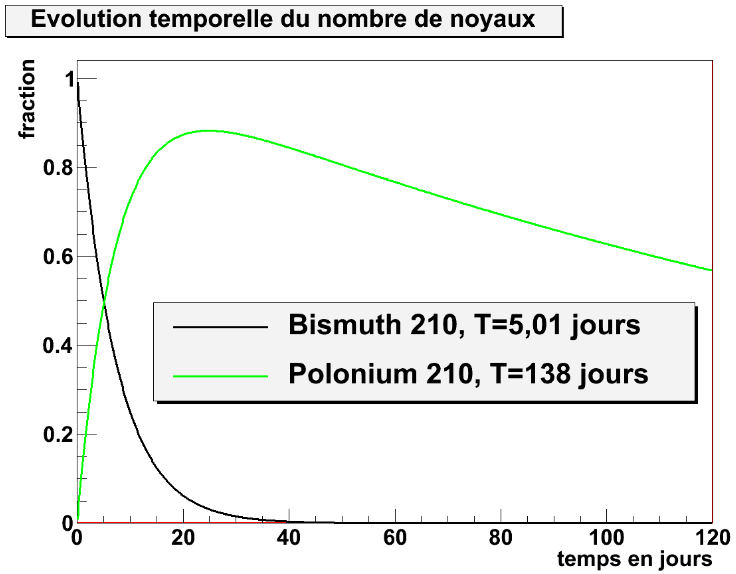
Figure 1.7. Exemple de filiation radioactive : l'uranium-238.

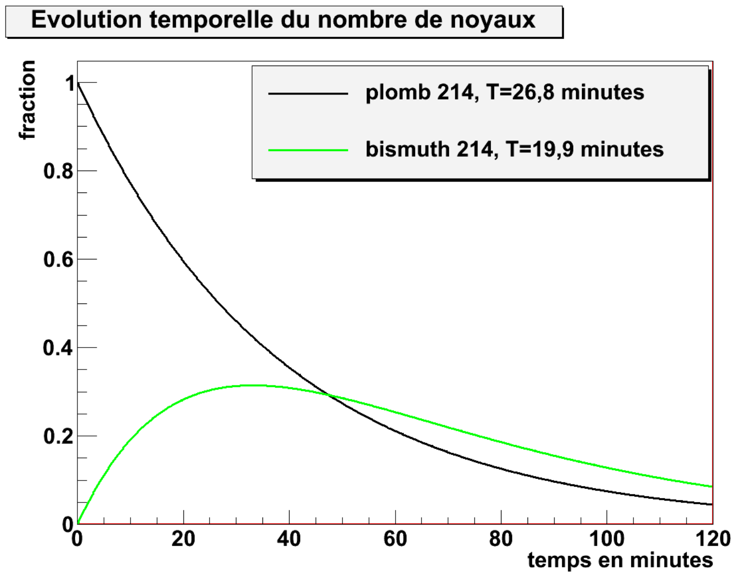
Filiation radioactive

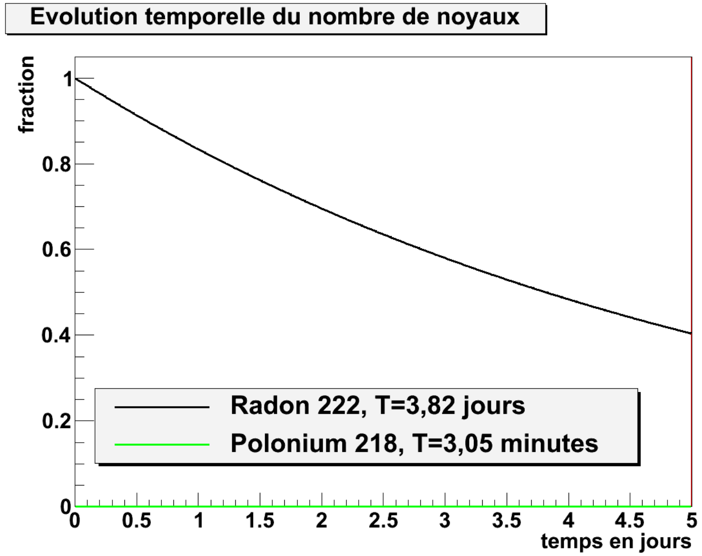
$\lambda_A >> \lambda_B$: les noyaux A se désintègrent beaucoup plus vite que ceux de l'espèce B, qui deviennent rapidement majoritaires.

$\lambda_A \sim \lambda_B$: les noyaux A et B ont des probabilités de désintégration similaires.

$\lambda_A << \lambda_B$: les noyaux A se désintègrent très lentement par rapport aux noyaux B.



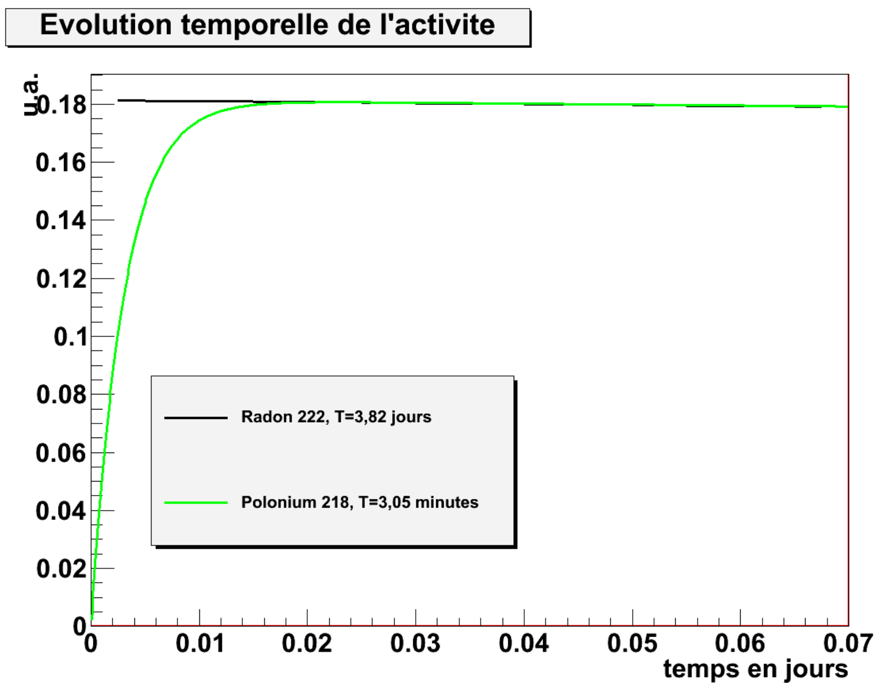


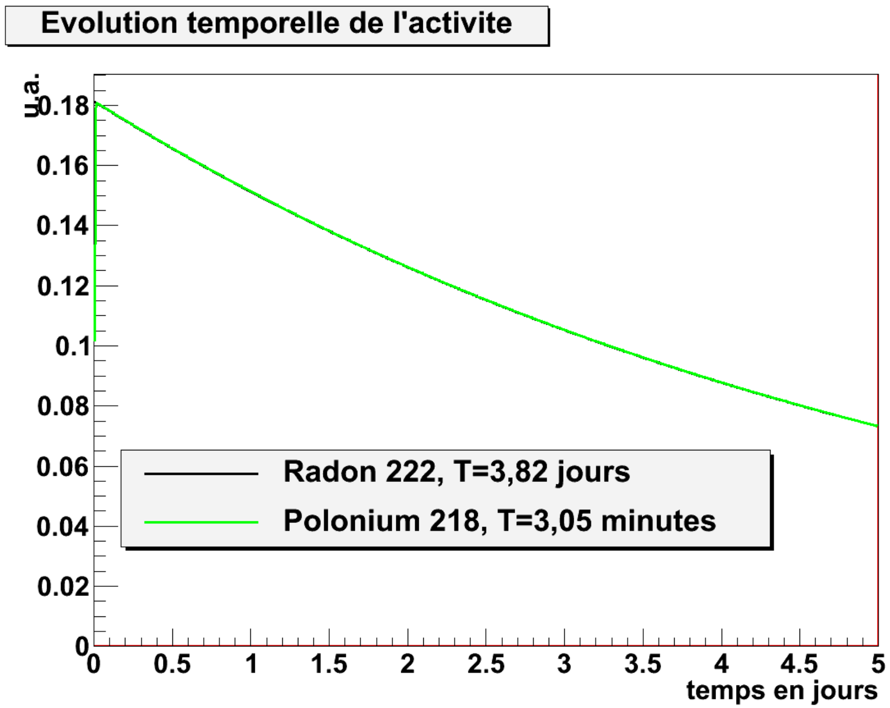


Crédits : Y Arnoud, UGA

Equilibre séculaire

$\lambda_A << \lambda_B$: les noyaux A se désintègrent très lentement par rapport aux noyaux B. L'activité de B suit celle de A après ~ 5 T_B : on parle **d'équilibre séculaire** : $a_A(t) \sim a_B(t)$

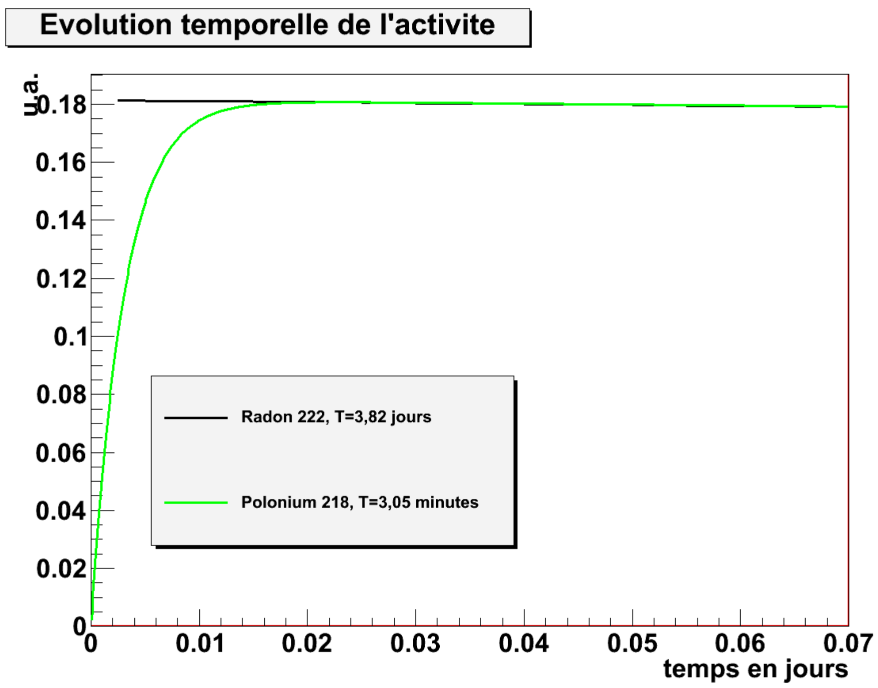


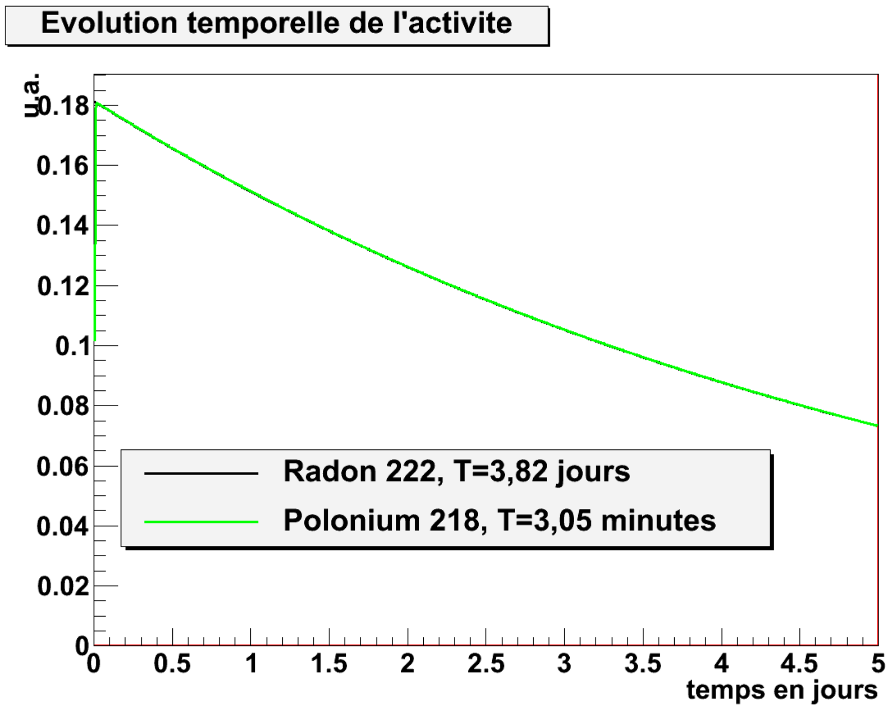


Crédits : Y Arnoud, UGA

Equilibre séculaire

$\lambda_A << \lambda_B$: les noyaux A se désintègrent très lentement par rapport aux noyaux B. L'activité de B suit celle de A après ~ 5 T_B : on parle d'**équilibre séculaire** : $a_A(t) \sim a_B(t)$

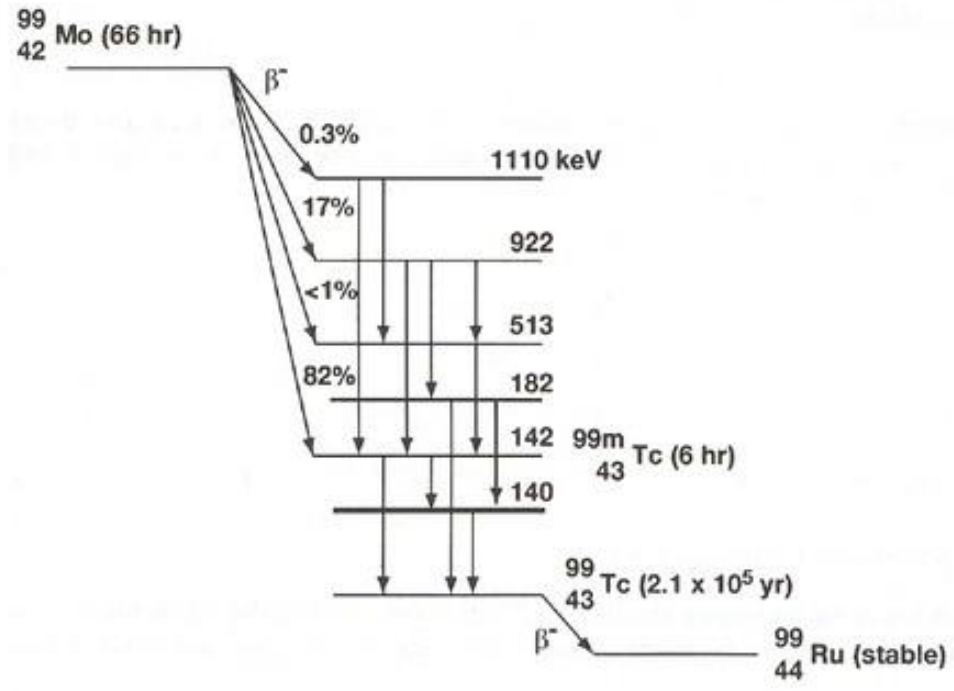


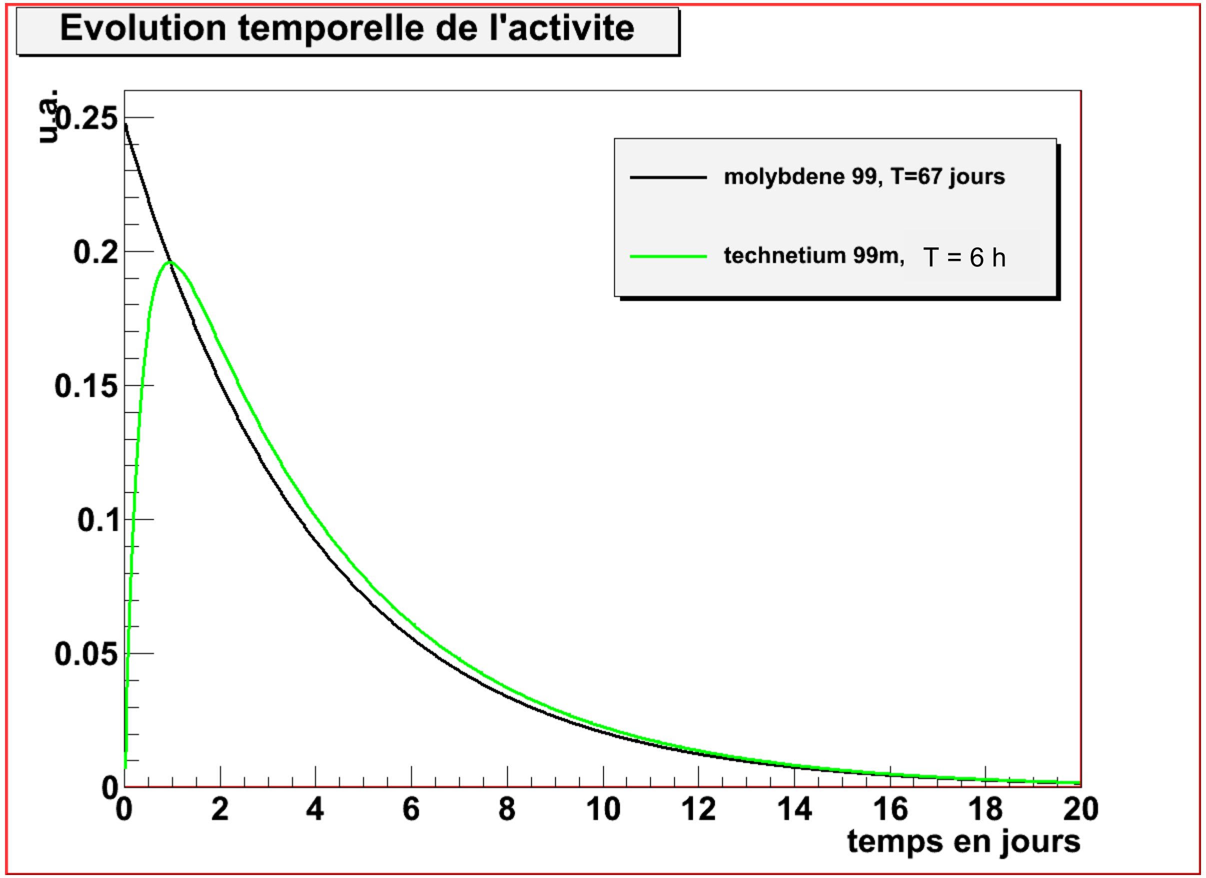


Crédits : Y Arnoud, UGA

Exemple: production de ^{99m}Tc

Le technétium 99métastable (^{99m}Tc) est utilisé en médecine nucléaire notamment pour réaliser les scintigraphies osseuses. Il est obtenu à partir de la désintégration béta du molybdène 99, dont la demi vie vaut 67 h.

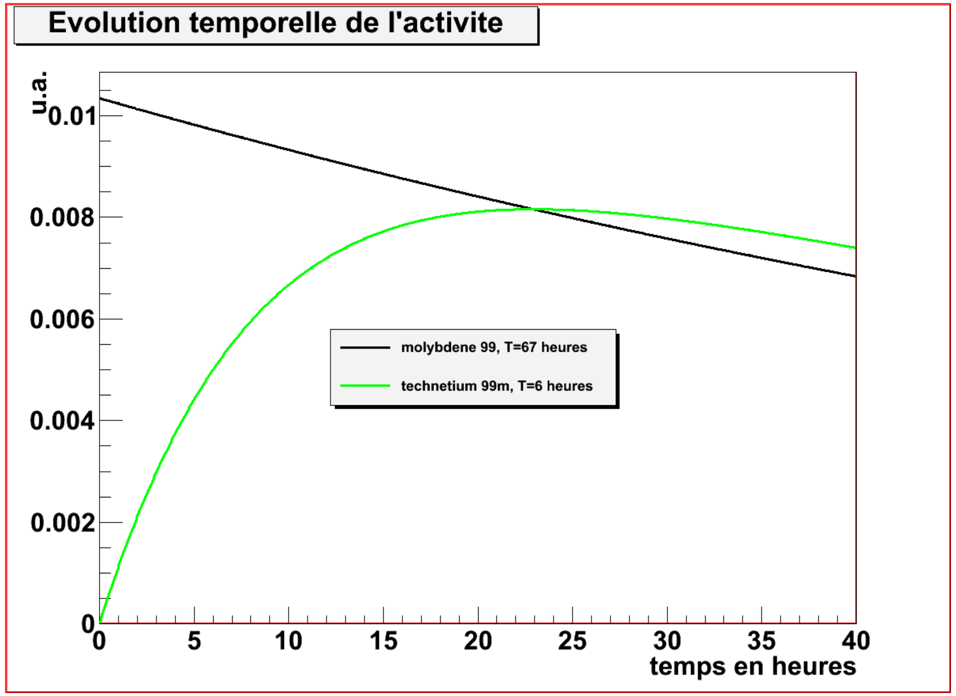


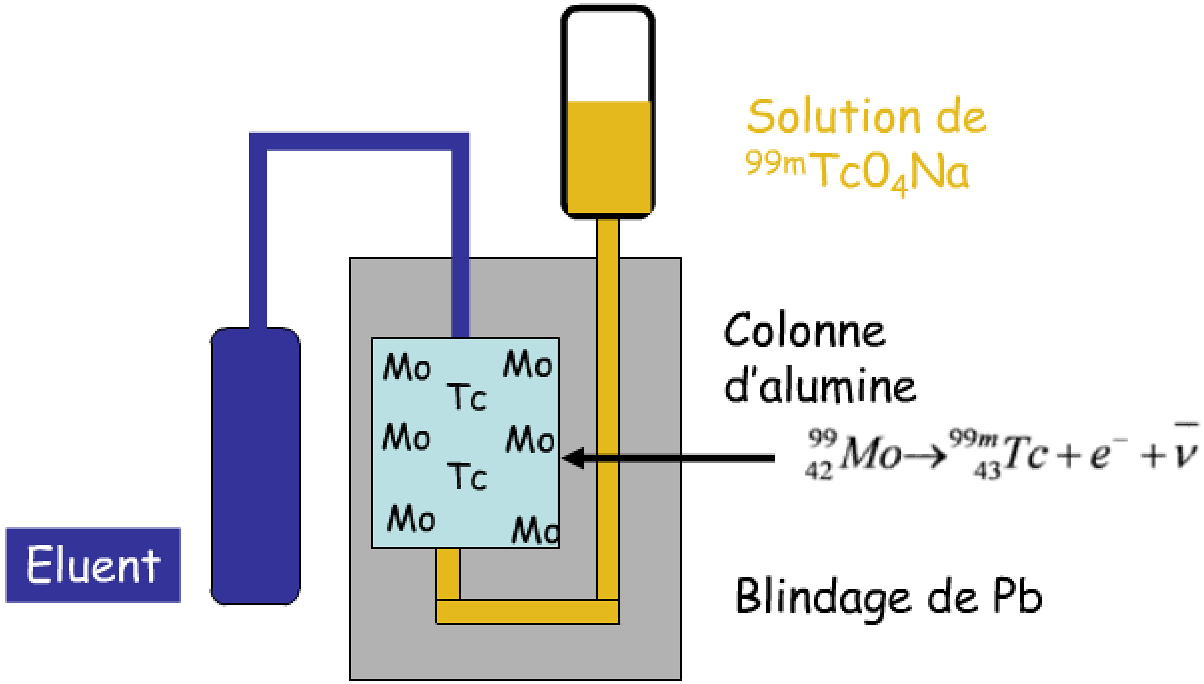


Exemple: production de ^{99m}Tc

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \times N_{A_0} \times \left(e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right)$$

L'élément père, le molybdène 99, est accroché sur une résine dont il se détache lorsqu'il se désintègre. Ainsi, la solution baignant la résine contient principalement du technétium 99m. Au bout de 24 heures, on lave le réservoir (on élude…) pour récupérer le technétium 99m.

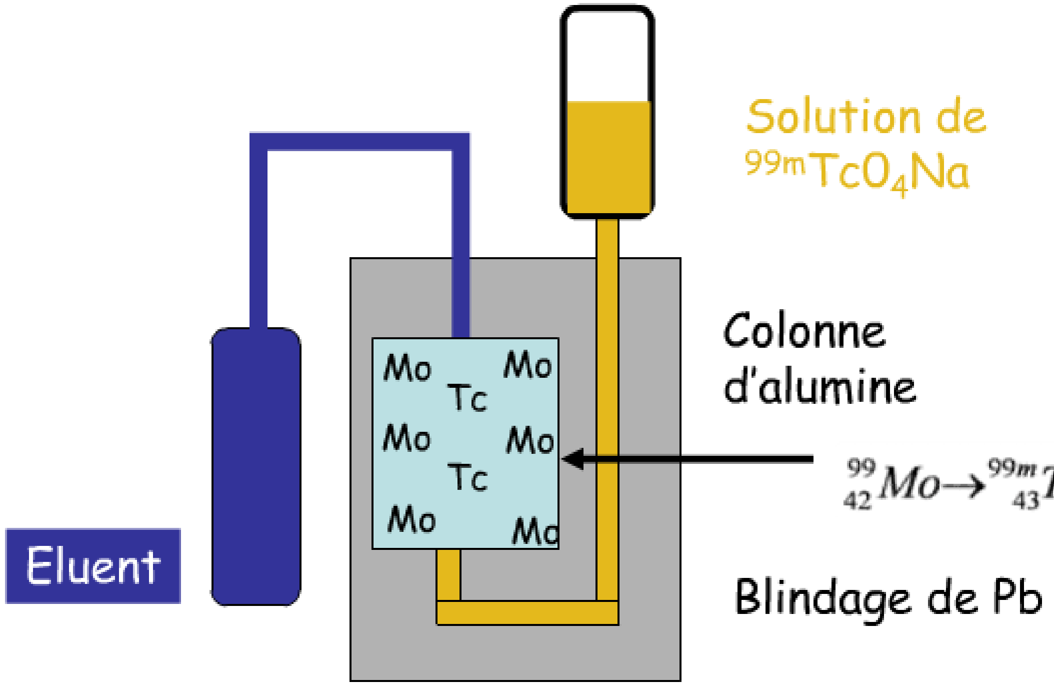




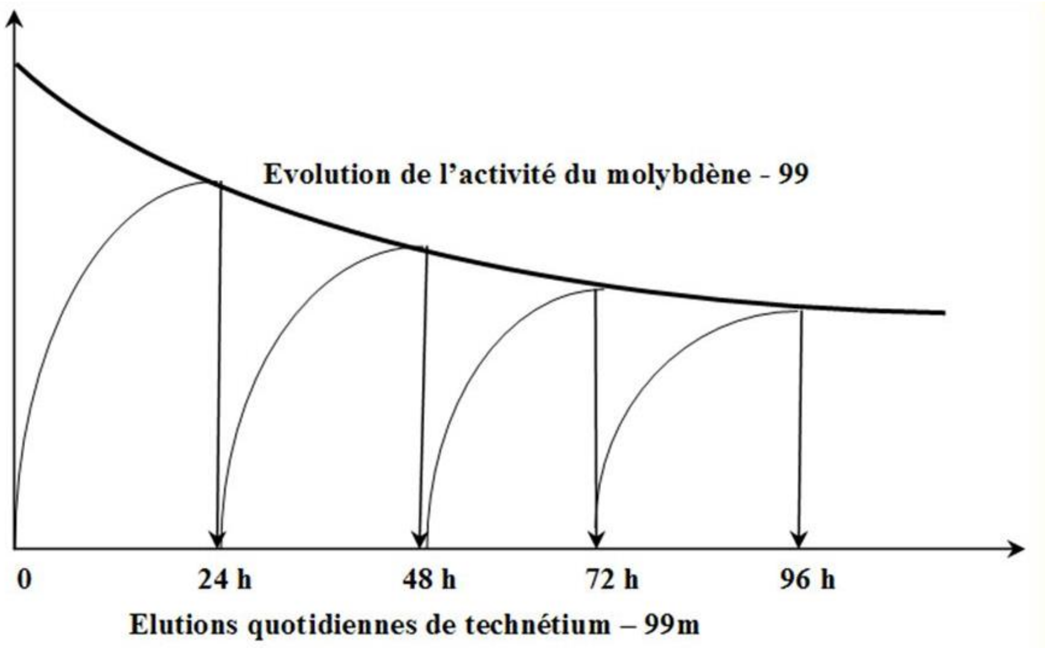
Crédits : Y Arnoud, UGA

Exemple: production de ^{99m}Tc

Principe de la vache à Technétium : élutions quotidiennes



$$^{99}_{42}Mo \rightarrow {}^{99m}_{43}Tc + e^- + \bar{\nu}$$



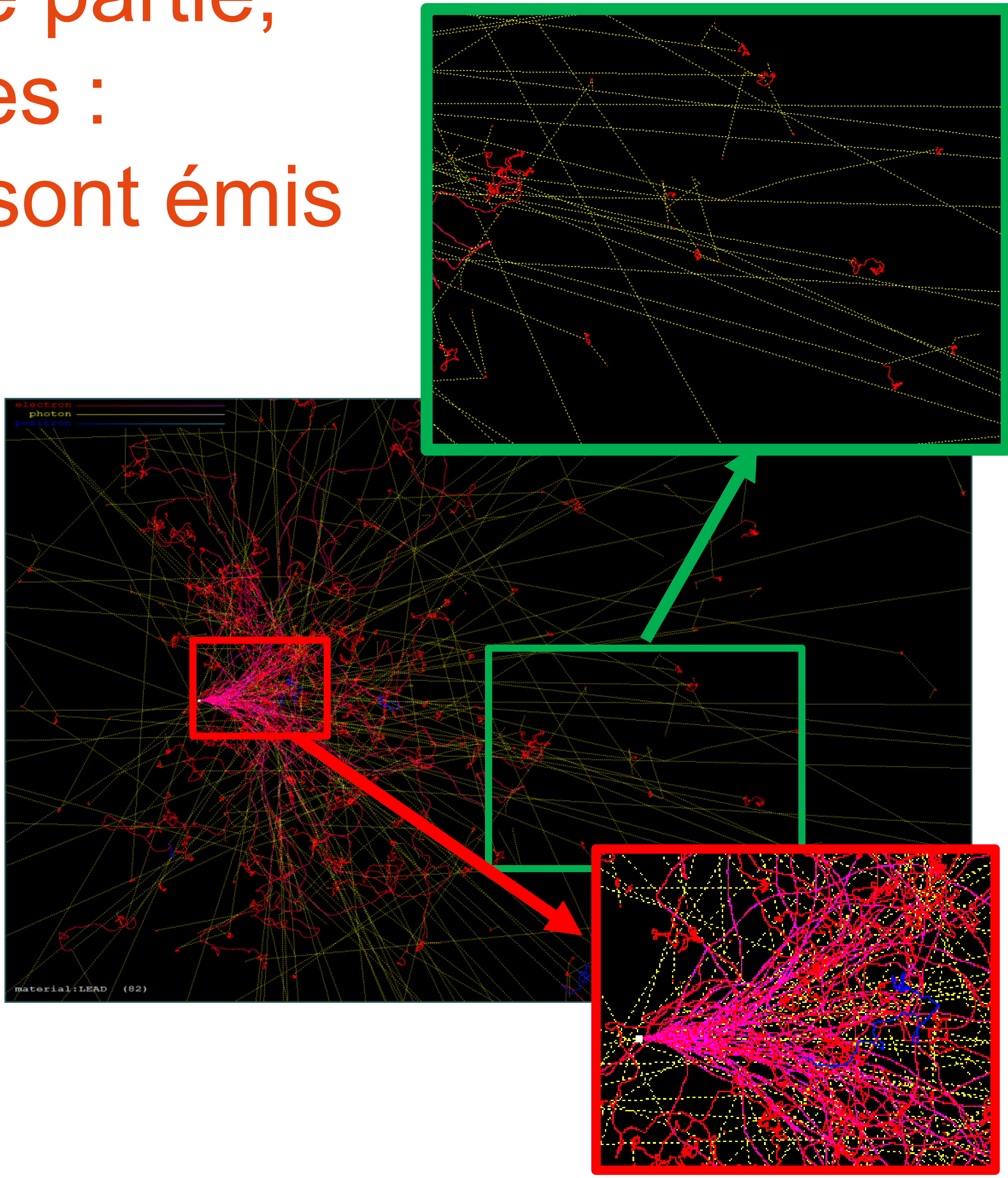
Messages essentiels du cours

- La constante de décroissance radioactive λ représente la probabilité pour un noyau de se désintégrer en fonction du temps
- La période radioactive T est le temps au bout duquel la moitié d'une population de noyaux s'est désintégrée et $T = \ln(2)/ \lambda$
- L'activité radioactive représente le nombre de désintégrations par secondes d'une population de noyaux. Son unité est le Bq.
- La filiation radioactive représente les chaines de désintégrations et les périodes associées. On peut ainsi calculer l'activité d'un élément fils en tenant compte des réactions précédentes

Pour conclure cette première partie, et introduire les suivantes : deux types de rayonnements sont émis

- **Les particules chargées**
  - **Résultent de la radioactivité le plus souvent**
  - **Épuisent la totalité de leur énergie dans la matière**
  - **Par le biais de nombreuses interactions**

- **Les photons (>13,6 eV)**
  - **Rayonnements électromagnétiques**
  - **Loi d'atténuation**
  - **Peu d'interactions primaires, nombreuses interactions secondaires**



Mentions légales