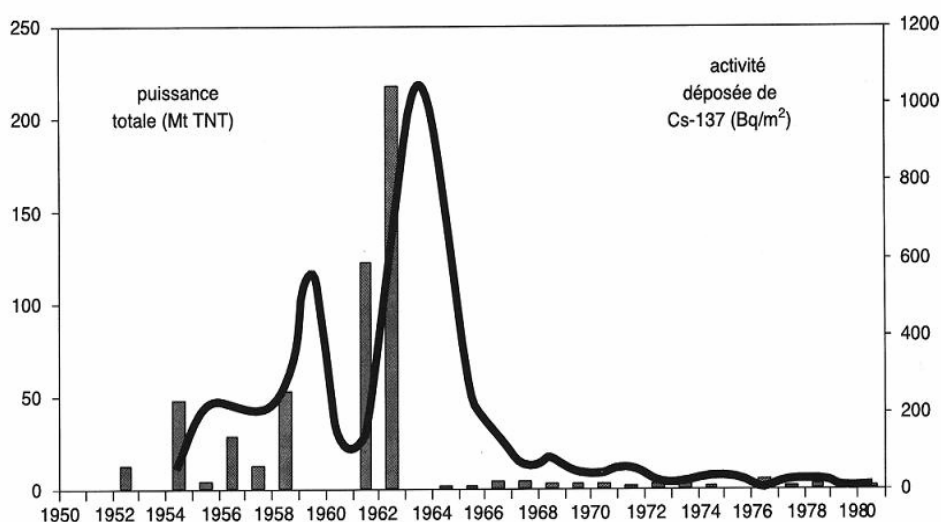


Essais nucléaires – Retombées radioactives

Le *césium 137*, de période : $T = 30,2 \text{ ans}$, a été introduit pour la première fois sur toute la surface de la planète à partir de 1945, mais surtout entre les années 1953 et 1963, conséquence de plusieurs centaines d'essais nucléaires atmosphériques. La puissance de ces explosions a été telle que des activités considérables d'éléments radioactifs ont été injectées à très haute altitude. Ce passage dans la stratosphère a permis une homogénéisation de leur répartition autour de la planète, surtout dans l'hémisphère Nord. Ces essais ont libéré une quantité de *césium 137* estimée à 1.10^{18} Bq en 1980.

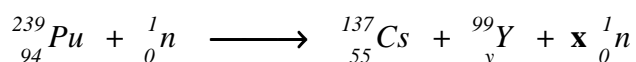


Calendrier des essais nucléaires en atmosphère, en puissance estimée (Mt de TNT, PNUE, 1984) et bilan des retombées de ¹³⁷Cs aux moyennes latitudes de l'hémisphère Nord (en Bq/m², Cambray *et al.*, 1989).

Le *césium 137* s'est rapidement et très solidement fixé aux particules les plus fines du sol et des sédiments. Les activités déposées sont partout suffisamment élevées pour permettre leur détection.

I - Fission nucléaire

Une des réactions de fission possibles du plutonium 239 avec un neutron rapide est la suivante :



$$m^{239}\text{Pu} = 239,0522 \text{ u} \quad m^{137}\text{Cs} = 136,9071 \text{ u} \quad m^{99}\text{Y} = 98,9278 \text{ u} \quad m_n = 1,0087 \text{ u}$$

$$1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV} \cdot c^{-2} \quad 1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Masse molaire du plutonium 239 : } M = 239 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

1) Déterminer le nombre de charge y de l'yttrium et le nombre x de neutrons rapides produits lors de cette fission ?

2) Calculer le défaut de masse Δm de cette réaction.

- En déduire l'énergie totale E (en MeV) libérée par cette réaction.
- En déduire l'énergie totale E' (en MeV et en J) libérée par la fission de 5 kg de plutonium.
- La tonne *TNT* ($t \text{ TNT}$) est une unité d'énergie égale à $4,185 \text{ GJ}$ ($1 \text{ GJ} = 10^9 \text{ J}$) servant à quantifier la puissance d'une *explosion*, et notamment celle d'une *arme nucléaire*.
- Donner l'équivalent de l'énergie E' libérée par 5 kg de plutonium en $t \text{ TNT}$.

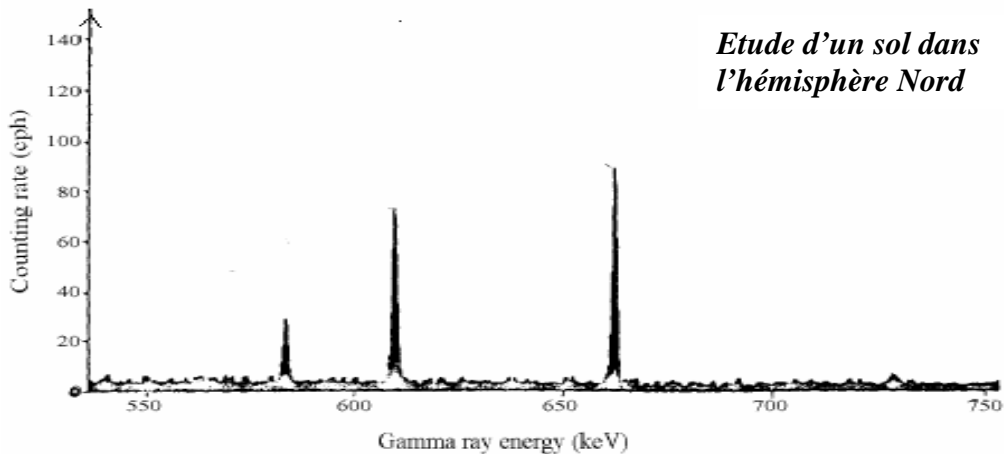
II - Césium 137

1) Pourquoi ne trouvait-on pas de *césium 137* pour la Terre avant les premiers essais nucléaires ?

2) Dans 85 % des cas, le césium $^{137}_{55}\text{Cs}$ conduit par désintégration β^- au baryum, désintégration suivie de l'émission d'un photon γ d'énergie : $E_\gamma = 661 \text{ keV}$.

L'énergie totale libérée au cours de cette désintégration est : $E = 1173 \text{ keV}$

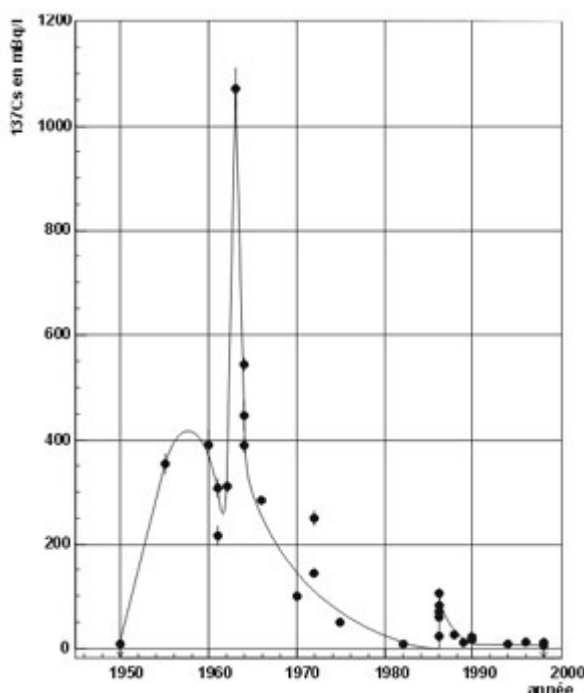
- Ecrire l'équation de désintégration.
 - Pourquoi cette désintégration est-elle suivie de l'émission d'un photon γ ?
 - Donner le *schéma de désintégration* du *césium 137*.
 - Noter sur ce schéma les énergies E et E_γ
 - Tracer le spectre d'émission γ du *césium 137*.
 - Pourquoi ce spectre est-il spécifique au *césium 137* ?
- 3) Pour prouver la présence de césium dans un prélèvement, on utilise un *détecteur à scintillation*.
- Quel est le principe de ce détecteur ? Faire un schéma explicatif.
 - Le rendement de ce détecteur est faible pour les *photons γ* . Pourquoi ?
 - Pourquoi ce type de détecteur permet-il de connaître *l'énergie des photons γ* ?



- Peut-on détecter du *césium 137* dans cet échantillon ? Justifier votre réponse.
 - Pourquoi observe-t-on d'autres pics lors de cette étude ?
- 4) L'échantillon étudié est protégé de l'activité γ ambiante par un château de plomb d'épaisseur : $x = 6 \text{ cm}$.
La couche de demi atténuation du plomb pour des photons γ est : $x_{1/2} = 6 \text{ mm}$.
- Pourquoi l'activité ambiante n'est-elle pas nulle ?
 - Quelle est l'atténuation d'un faisceau traversant 6 cm de plomb ?
- 5) On estime que tout le *césium 137* émis dans la stratosphère lors des essais nucléaires avait une activité : $A_o = 1 \cdot 10^{18} \text{ Bq}$ en 1980.
- Que signifie « *activité* » ?
 - Quel est le nombre N_o de noyaux de césium 137 qui se sont formés ?
 - Quelle masse m de césium 137 cela représente-il ?
 $A_o = \lambda N_o$ Période $T = 30,2 \text{ ans}$ Masse molaire du césium : 137 g. mol^{-1}
- 6) Aujourd'hui, on peut considérer que l'activité due au *césium 137* déposé sur le sol français est en moyenne égale à : $A'_o = 3 \text{ 000 Bq.m}^{-2}$.
- Quelle sera cette activité dans un siècle ?

Datation des vins

Les premières mesures ont montré qu'un vin contenait essentiellement du potassium 40 (30 Bq/l, soit 0,9 g/l de potassium). Rien d'original à cela, n'en déplaise aux amateurs, le vin contenant beaucoup de bi-tartrate de potassium et le potassium 40 radioactif étant un élément naturel. Mais certaines bouteilles de vin contiennent aussi du césium 137 (^{137}Cs), radioélément anthropogénique. Ce résultat a intéressé le Laboratoire interrégional de Bordeaux de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) qui était à la recherche d'une méthode simple et rapide de vérification du millésime et qui en outre savait où se procurer quelques vieux Bordeaux millésimés avec certitude, point crucial de l'affaire !



Évolution de l'activité du césium 137 pour les vins de la région de Bordeaux d'âge compris entre 1950 et nos jours.

Des mesures de la radioactivité de ces vins en fonction des années ont été réalisées. Les activités observées sont très faibles, toujours inférieures au Bq/l (par comparaison, on trouve environ 4 500 Bq de potassium 40 dans le corps humain). Mais la présence de "pics" d'activité en ^{137}Cs montre que le vin garde la mémoire des retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques (années 1950-1963) et de l'accident de Tchernobyl (1986). Ces résultats indiquent qu'il existe une forte corrélation entre le taux de ^{137}Cs et l'année de production. Cette courbe est d'ores et déjà exploitée pour la recherche de millésimes, voire pour la détection d'anomalies. Affaire à suivre...