

## Document 1 - Qu'est ce qu'un TEP ?

La tomographie par émission de positons ou TEP en abrégé est parfois connue sous le nom de PETscan, abréviation de l'anglais *Positron Emission Tomography*. Le terme utilisé en France est TEP.

Les études scientifiques réalisées entre 1991 et 2003 et publiées dans des revues de cancérologie et de médecine nucléaire ont évalué à la fois les performances et l'utilité de la TEP en cancérologie par rapport aux autres examens d'imagerie.

Les études scientifiques ont également montré que cet examen était utile à différentes étapes de la prise en charge d'un grand nombre de cancers, que ce soit pour le diagnostic, le suivi du traitement ou la surveillance.

### • Qu'est-ce qu'une tomographie par émission de positons ?

Une tomographie par émission de positons (TEP) est un examen d'imagerie médicale. C'est une scintigraphie faite après l'injection d'un traceur faiblement radioactif, le [18F]-fluorodéoxyglucose (en abrégé [18F]-FDG) dans le bras du patient par voie intraveineuse. Ce traceur est semblable au glucose (sucre) : il va se fixer au niveau des tissus cancéreux pour émettre, de façon temporaire, des rayonnements que l'on peut suivre dans l'organisme du patient grâce à une caméra spéciale, une caméra TEP. Une caméra TEP est un appareil qui a l'aspect d'un scanner ou d'une IRM, mais son principe de fonctionnement est différent. Elle détecte des rayonnements qui proviennent des organes du patient et est équipée d'un système informatique capable de donner des images précises de la répartition du traceur au niveau d'une partie ou de la totalité du corps, en 3 dimensions. (...)

La TEP est un examen d'imagerie qui permet d'obtenir des images du fonctionnement des organes, des tissus ou des cellules, et leur activité.

C'est la raison pour laquelle, on parle parfois d'examen fonctionnel.

Le service dans lequel se réalise une tomographie par émission de positons est appelé service de médecine nucléaire ou, parfois, service de radio-isotopes.

### • Quel est le rôle du [18F]-FDG ?

Le [18F]-FDG est un sucre semblable au glucose rendu radioactif. C'est la radioactivité de ce fluor particulier rajouté au glucose qui permet sa détection par la caméra TEP.

Pour vivre, fonctionner et se reproduire, les cellules ont besoin d'énergie sous forme de glucose, sucre assimilable par l'organisme. Cette source énergétique est essentielle aux nombreuses cellules de l'organisme et elle se trouve naturellement dans le sang. Plus l'activité des cellules est importante, plus leur consommation de glucose augmente.

Les cellules cancéreuses se multiplient sans cesse. Ces nombreuses multiplications nécessitent beaucoup d'énergie. Elles ont donc une consommation anormalement élevée de glucose par rapport aux cellules normales. C'est grâce à cette consommation excessive de glucose que l'on peut repérer le tissu cancéreux avec la caméra TEP.

Le [18F]-FDG se comporte comme le glucose, mais contrairement à celui-ci, il n'est pas une source d'énergie utilisable par la cellule cancéreuse. Il s'accumule alors dans la cellule qui devient radioactive, puis les atomes de Fluor 18 présents dans le [18F]-FDG se désintègrent en émettant un isotope stable de l'oxygène et un positron (anti-particule de l'électron). Ce positron après un bref parcours dans la matière rencontrera sa particule sœur l'électron. Cette rencontre électron - positon entraîne une réaction d'annihilation provoquant l'émission de deux photons, de même énergie et émis dans des directions diamétralement opposées. Le tissu cancéreux est ainsi repéré grâce à l'accumulation du produit radioactif sous la forme d'une image d'\*hyperfixation\* (...)

Toutes les informations recueillies par la caméra TEP reposent sur la radioactivité repérée dans les tissus après que le [18F]-FDG a été injecté au patient. Le système informatique relié à la caméra TEP produit des coupes et des images en trois dimensions, des endroits du corps où le [18F]-FDG s'est accumulé. Ce sont ces images qui aident à localiser les hyperfixations.

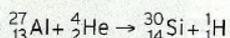
## Document 2 – Les réactions nucléaires

Calcul du nombre de noyaux contenus dans un échantillon :

« Si nous pouvons écrire avec certitude la réaction nucléaire correspondant à la plupart des transmutations spontanées, il n'en est pas de même pour les transmutations provoquées.

On peut cependant déduire la nature des atomes formés avec une assez grande sécurité en admettant, pour écrire la réaction nucléaire correspondante, qu'il y a d'une part conservation du nombre de masse, d'autre part conservation du nombre de charge nucléaire entre les éléments réagissant et les éléments formés.

C'est ainsi que le noyau d'aluminium capturant un hélium doit se transformer en silicium lorsqu'il y a émission d'un proton :



$$27 + 4 = 30 + 1$$

$$13 + 2 = 14 + 1$$

D'après la Conférence Nobel  
de Frédéric Joliot,  
le 12 décembre 1935.

## Document 3 – Formules et données

Avec : 
$$N = \frac{m \times N_A}{M}$$

m la masse de l'échantillon en grammes

$N_A$  le nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

M la masse molaire atomique en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse molaire atomique du fluor :  $M(\text{F}) = 18,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse d'un atome de fluor :  $m(\text{F}) = 2,9882 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Masse d'un atome d'oxygène :  $m(\text{O}) = 2,9879 \times 10^{-26} \text{ kg}$

Masse d'un positron :  $m(e) = 9,1064 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Vitesse de la lumière :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

### Document 4 – Les différents types de rayonnement

« Le rayonnement radioactif se subdivise en trois composantes. Si quelques mois se sont avérés nécessaires pour découvrir que le rayonnement  $\alpha$ , arrêté par une simple feuille de papier, était constitué d'atomes d'hélium 4 dépouillés de leurs électrons, le rayonnement  $\beta$ , absorbé par quelques millimètres d'aluminium, fut immédiatement identifié comme constitué d'électrons.

On établit également que, contrairement aux précédents, le rayonnement  $\gamma$  que seule une grande épaisseur de plomb ou de béton permettait de contenir, ne consistait pas en un ensemble de particules matérielles mais était de nature électromagnétique, s'apparentant à la lumière ou aux rayons X, avec toutefois une énergie supérieure. »

D'après M.-Ch. de la Souchère, *La Radioactivité*, Ellipses, 2005.

#### • Désintégration $\alpha$ (alpha)

La désintégration  $\alpha$  concerne les noyaux radioactifs lourds, c'est-à-dire comportant un grand nombre de nucléons. Ces noyaux se désintègrent en noyaux plus légers par émission de noyaux d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ , encore appelés particules  $\alpha$  [doc. 7].

#### • Désintégration $\beta^-$ (bêta -)

Certains noyaux instables se désintègrent en émettant un électron, noté  ${}^0_{-1}\text{e}$ . Ils diminuent ainsi leur nombre de protons et augmentent leur nombre de neutrons.

#### • Désintégration $\beta^+$ (bêta +)

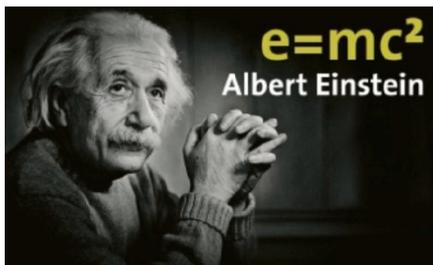
Les noyaux instables possédant un excès de protons se désintègrent en émettant un **positon** (ou positron), une particule identique à l'électron mais de charge opposée : elle est notée  ${}^0_{+1}\text{e}$ .

#### • Rayonnement $\gamma$ (gamma)

Si le noyau fils obtenu est dans un **état excité**, il retrouve son état fondamental en émettant un **photon** de haute énergie noté  $\gamma$ , très pénétrant.

### Document 5 – L'équivalence masse - énergie

Albert Einstein avait démontré via sa formule  $E = mc^2$  que la masse peut se transformer en énergie.



Unités : E (J) ; m (kg) ; c (m/s)

Lorsqu'une réaction nucléaire est exothermique, la masse des produits est inférieure à la masse des réactifs. C'est cette diminution de masse qui se traduit par une libération d'énergie.

On définit la **variation de masse**  $\Delta m(\text{réaction})$  par :

$$\Delta m(\text{réaction}) = m(\text{produits}) - m(\text{réactifs}) < 0$$

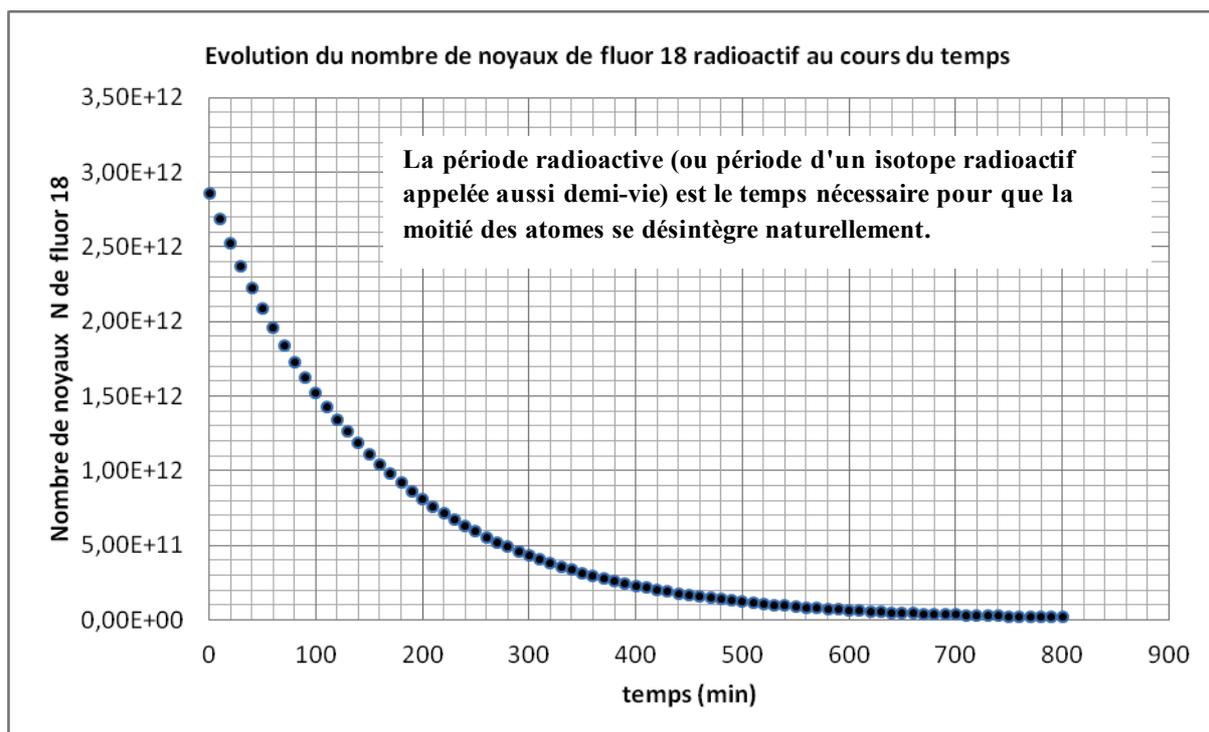
**Exemple** Pour la réaction de fusion deutérium-tritium  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ , la variation de masse est :

$$\Delta m(\text{réaction}) = m({}^4_2\text{He}) + m({}^1_0\text{n}) - m({}^2_1\text{H}) - m({}^3_1\text{H})$$

Lors d'une réaction nucléaire, la **variation d'énergie libérée par noyau subissant la réaction nucléaire** est :

$$\Delta E = |\Delta m(\text{réaction})| \times c^2$$

### Document 6 – Décroissance radioactive du fluor 18

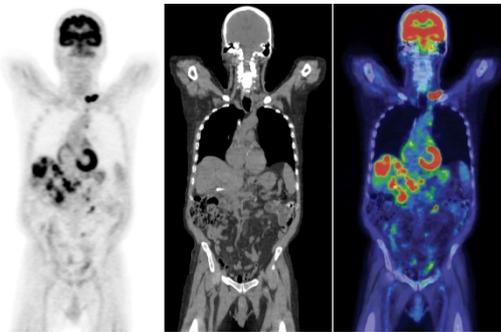


## DEMARCHE D'INVESTIGATION SCIENTIFIQUE

**Pour réaliser un TEP, un patient se voit administrer à 9h du matin, un comprimé contenant une masse de fluor 18 de  $8,55 \times 10^{-11}$  g.**

**Après ingestion du comprimé et une fois l'examen effectué, le patient n'est autorisé à sortir que lorsque l'énergie totale libérée par la désintégration radioactive du fluor 18 atteint la valeur de  $3,33 \times 10^{18}$  eV.**

**A quelle heure le patient pourra-t-il quitter la salle d'examen ?**



**Objectif :** Rechercher des informations utiles à la résolution d'un problème scientifique.

Méthode proposée :

- S'approprier** - Bien lire l'énoncé.
- S'approprier** - Noter toutes les questions que vous vous posez à la lecture de la situation de départ.
- Analyser** - Bien lire les documents fournis en surlignant tous les éléments en relation avec la problématique de départ et les questions nouvelles que vous vous êtes posés.
- Analyser** - Etablir le lien entre les données, informations... et les faire apparaître sur votre feuille (établir la stratégie de résolution du problème posé).
- Réaliser** - Réaliser votre stratégie de résolution.
- Valider et communiquer**
  - Répondre à la problématique en rédigeant proprement et en détail votre réponse.

**Merci à Marion Ramillien pour ce beau sujet ! Correction (résumée)** Ce que m'apprend chaque document :

**Document 1 - Qu'est ce qu'un TEP ?** Une tomographie par émission de positons (TEP) est un examen d'imagerie médicale. C'est une scintigraphie faite après l'injection d'un traceur faiblement radioactif, le [18F]-fluorodéoxyglucose (en abrégé [18F]-FDG). Le [18F]-FDG est un sucre semblable au glucose rendu radioactif. C'est la radioactivité de ce fluor particulier rajouté au glucose qui permet sa détection par la caméra TEP. Il s'accumule alors dans la cellule qui devient radioactive, puis il se désintègre en émettant un isotope stable de l'oxygène et un positron (anti-particule de l'électron).

**Document 2 – Les réactions nucléaires** Lors d'une réaction nucléaire il y a d'une part conservation du nombre de masse, d'autre part conservation du nombre de charge entre les éléments réagissant et les éléments formés.

**Document 3 – Les différents types de rayonnement** L'apparition d'un positron  ${}^0_1e$ , correspond à une désintégration notée  $\beta^+$ .

**Document 4 – L'équivalence masse - énergie**

Lors d'une réaction nucléaire, l'énergie libérée est donnée par la formule  $\Delta E = |\Delta m| c^2$ . Avec  $|\Delta m| = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$ .

**Document 5 – Formules et données**

Rappel sur la formule à utiliser pour calculer le nombre de noyau contenu dans un échantillon donné.

**Document 6 – Décroissance radioactive du fluor 18** Le nombre de noyaux de fluor 18 diminue avec le temps.

Le lien entre chaque information et l'élaboration de la stratégie :

- A partir des documents 1,2 et 3 je peux écrire l'équation de la réaction nucléaire de désintégration radioactive du fluor 18.
- A partir du document 3 je peux calculer l'énergie libérée par la désintégration radioactive d'un noyau fluor 18.
- Je peux alors calculer le nombre de désintégrations radioactive donc de noyaux de fluor 18 nécessaires à la libération de l'énergie donnée dans l'énoncé, condition pour que le patient puisse sortir de la salle d'examen.
- A partir de la masse de fluor 18 ingéré par le patient et de la formule du document 5 je peux calculer le nombre de noyaux de fluor 18 initialement ingéré par le patient.
- Je peux alors calculer le nombre de noyaux restants lorsque l'énergie a été libérée.
- A partir du doc 6, on détermine la durée nécessaire à la libération de cette énergie et donc l'heure de sortie de la salle d'examen.

**Résolution du problème :**

La réaction nucléaire de désintégration radioactive du fluor 18 s'écrit :  ${}^{18}_9F \rightarrow {}^{18}_8O + {}^0_1e$

L'énergie libérée par la désintégration radioactive du fluor 18 s'écrit :  $\Delta E = 1,88 * 10^{-18} \text{ J}$

L'énergie qui doit être libérée pour que le patient puisse sortir de la salle d'examen vaut en electronVolt (eV) :  $\Delta E = 0,533 \text{ eV}$

Cette énergie correspond à la désintégration de  $N_{\text{des}}$  noyaux de fluor 18, soit :  $E_{\text{sortie}} = N \times E_{\text{libérée}}$  D'où :  $N_{\text{desint}} = 2,84 * 10^{12}$

Initialement, le nombre  $N_0$  de noyaux de fluor 18 ingéré par le patient est :  $N_0 = 2,86 * 10^{12}$

Au moment où le patient peut quitter la salle d'examen, il reste donc :  $N_{\text{rest}} = N_0 - N_{\text{des}} = 2 * 10^{10}$

On peut alors remarquer sur la courbe que  $N_0$  correspond à l'instant  $t = 0 \text{ min}$ , on reporte la valeur de  $N_{\text{rest}}$  et on regarde le temps correspondant mais la valeur trouvée est très peu précise : On trouve environ 650 min soit 10h 50 min. Le patient étant rentré à 9h dans la salle d'examen, il pourra sortir à 19h50.

**Document 6 – Décroissance radioactive du fluor 18**

