

Procédure envisagée pour l'activité en classe

- 1) Faire visionner sur grand écran le film (durée **10 mn**) :
Arte - Le radium - Le petit guide de l'empoisonneur (Naissance de la médecine légale) - 9mn30s_133Mo
- 2) Les documents données aux élèves sont disponibles aussi sous forme de fichier (dans un dossier déterminé pour lequel le professeur donne le chemin d'accès). Ces textes pourront ainsi être utilisés informatiquement.
- 3) Quelle est, d'après vous, la problématique à laquelle vous allez répondre ?

Le professeur énonce celle-ci :

**« EXPLIQUEZ LE PROCESSUS QUI A AMENE LA MACHOIRE D'AMELIA MAGIA A SE DESAGREGER LORS DE L'INTERVENTION DU DENTISTE ? »
(ON ANALYSERA LES DIFFERENTS PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES INTERVENANTS)**

et distribue les documents explicatifs (contenus aussi dans dossier).

La classification périodique se trouve aussi accessible sur internet (<http://www.webelements.com/> par exemple)

Pour cette activité, il est tenu compte du temps de lecture (20 mn)

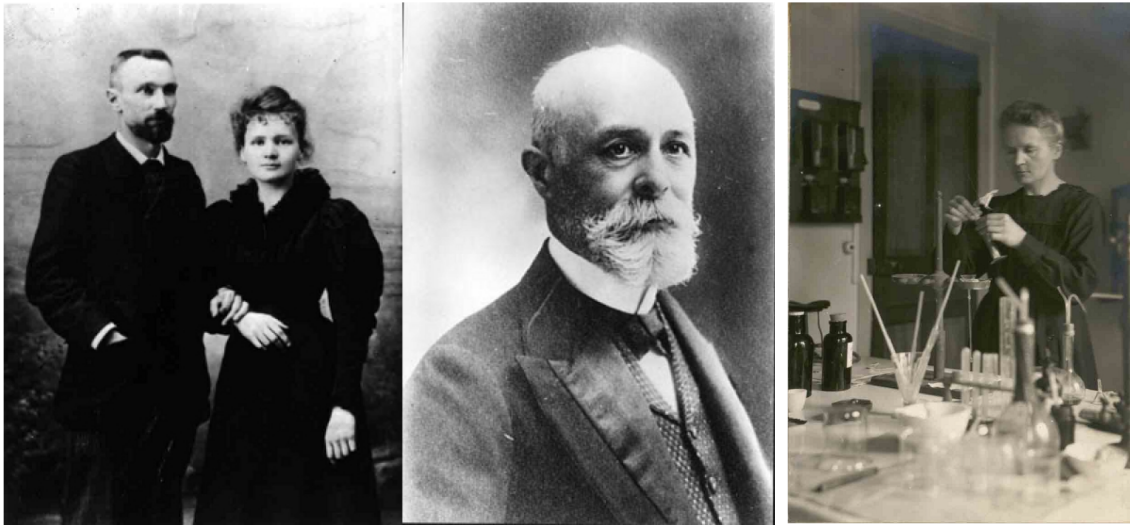
- 4) Pour comprendre le phénomène de désintégration, les élèves auront aussi accès, dans le dossier, à un petit film (**7 mn**) réalisé par le CEA : la vallée de stabilité (sous format flv, qu'on peut trouver à l'adresse suivante : <http://irfu.cea.fr/la-vallee-de-stabilite/>). Ils auront aussi à disposition des écouteurs (type oreillettes, une oreillette pour chacun des 2 membres d'un groupe) s'ils souhaitent écouter et comprendre, à leur rythme.
- 5) Le contenu de l'activité est peut-être trop long (40 mn de lecture des documents et de visionnage du film annexe) : la dernière partie (réponse à la problématique) peut être laissée ou complétée à la maison.

Matériel nécessaire

- 1) Film sur le radium
- 2) Vidéoprojecteur
- 3) Ordinateur avec logiciels (tableur + traitement de texte ou de présentation)
- 4) Dossier contenant le fichier word et le film « vallée de stabilité »
- 5) Connexion internet

Énoncé sur 4 pages (format A4, sur feuille A3) + feuille travail à réaliser indépendante (pour faciliter les lectures simultanées des docs et des questions).

DECOUVERTES DU RADIUM



Pierre et Marie Curie (à gauche), Henri Becquerel (au centre), Marie Curie dans son laboratoire à l'institut du Radium (1921)
En 1896, Becquerel découvre la radioactivité par hasard, alors qu'il fait des recherches sur la fluorescence des sels d'uranium.
En 1902, Marie Curie isole 0.1 g de chlorure de radium et identifie la position de l'élément radium dans le tableau de Mendeleïev.
Pierre Curie, quant à lui, découvre de nombreux phénomènes associés à la radioactivité du radium notamment l'émission de gaz (le radon), de lumière et de chaleur (de dégagement d'énergie). Il découvre également des phénomènes plus généraux tels que l'existence de 3 types de rayonnements, qui seront appelés α , β et γ par la suite.
En 1903, les Curie ainsi qu'Henri Becquerel, sont récompensés pour leurs travaux en recevant le prix Nobel de physique.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel + https://fr.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie
Voir http://evelyne.bouquet.free.fr/WebAlain/particules/120_curie.htm
<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-radium-d%C3%A9couverte-utilisation-et-danger>

CONSEQUENCES SOCIALES DE L'UTILISATION DU RADIUM DANS L'INDUSTRIE



Le droit individuel des travailleurs à engager des poursuites en dommages et intérêts à l'encontre des sociétés qui les emploient en raison d'un préjudice subi au travail a été établi après l'affaire des « Radium Girls ».
Dans le sillage de l'affaire, les normes de sécurité industrielle furent notablement améliorées pour de nombreuses décennies.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Radium_Girls

Lecture supplémentaire proposée (une fois l'activité terminée) : article

<http://www.larecherche.fr/savoirs/autre/radium-meilleur-pire-01-12-1998-79675>

**LES CIRCONSTANCES QUI ONT AMENE LA MACHOIRE D'UNE JEUNE OUVRIERE (AMELIA MAGIA)
A SE DESAGREGER LORS DE L'INTERVENTION D'UN DENTISTE. (DOCUMENT AUTORISE : LA CLASSIFICATION PERIODIQUE)**

Doc 1 : Résumé du film L'histoire commence en 1917 quand Amélia Magia décroche son premier emploi dans une usine où, sur des cadrans de montre, elle dépose de petits points d'une peinture qui émet de la lumière bleu-vert. Le pays est en guerre et les soldats, dans les tranchées, ont découvert que ces montres leur permettent de lire la nuit, sans être repérés par l'ennemi. La peinture est composée de radium, à raison de moins d'un milliardième de gramme par montre. Cela suffit à les rendre lumineuse. En 1921, au bout de 4 ans, Amélia doit quitter l'usine. Elle a perdu du poids et ses articulations sont extrêmement douloureuses. Elle souffre d'anémie et crache sans arrêt du sang. En l'espace de quelques mois, sa mâchoire inférieure s'est tellement effritée qu'elle désagrège sous la main de son dentiste. Amelia Magia meurt le 12 Septembre 1922, à l'âge de 25 ans. Le décès d'une jeune immigrante ne fait pas la une des journaux, mais Amélia n'est que la première d'une longue série. L'année suivante, une des collègues meurt dans les mêmes circonstances, puis une autre et encore une autre. En 1925, 5 ouvrières sont mortes et plusieurs autres présentent les mêmes symptômes terribles : anémie, tumeur et détérioration des os. Evidemment, les sociétés qui utilisaient le radium soutenaient que leur produit n'était pas en cause et rejetèrent toute responsabilité. Ces femmes étaient condamnées. Elles portaient le pinceau à leurs lèvres pour affiner la pointe. Le radium passait alors directement dans leur système sanguin via les muqueuses - Le radium étant perçu par l'organisme comme du calcium. Le corps humain dispose d'un système extraordinaire pour fournir aux os le calcium nécessaire à leur solidité. Mais ce système est leurré (trompé) par le radium et l'achemine directement vers le squelette où il se fixe. Et là, le radium attaque les os. La colonne vertébrale s'effrite, les os se brisent - Aucune de ses filles n'a pu être sauvée. Les médecins ne pouvaient rien faire pour elles.

<http://telescoop.tv/browse/654142/21/le-petit-guide-de-l-empoisonneur.html> (p 21 à p 23)

Doc 2 :

Le calcium, sous forme de cristaux de carbonate de calcium (CaCO₃) ou de cristaux d'hydroxyapatite, est un élément majeur du squelette chez les animaux ou humains. On le trouve aussi dans le sang majoritairement sous forme d'ions (indispensables au fonctionnement du système nerveux). Les os servent de charpente à notre corps.

La moelle osseuse qui se trouve à l'intérieur de l'os produit les cellules (globules blancs et rouges) et plaquettes sanguines.

<http://fr.medipedia.be/osteoporose/comprendre/les-role-et-structure>

Doc 3 : Le radium est un élément chimique, découvert par Marie (et Pierre) Curie en 1898, de symbole Ra et de numéro atomique 88. Il est extrêmement radioactif. Le temps de demi-vie du radium 226 est de 1602 ans et correspond à la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs se soient désintégrés (1 période permet une division par 2 du nombre de noyaux radioactifs initialement présents; 2 périodes une division par 4 ; 3 périodes une division par 8, etc..) Les Curie constatèrent que les composés radioactifs du radium étaient très analogues aux composés similaires du baryum, mais étaient moins solubles dans l'eau. Cela permit aux Curie d'isoler ces composés radioactifs du radium. Les effets du radium sont imputables au rayonnement complexe émis par ce radioélément et ses composés. Dans l'organisme, le radium se fixe principalement sur la moelle osseuse et sur le squelette. Une expérience, menée en 1966, sur des cobayes volontaires âgés (de 63 à 83 ans) a montré que l'absorption du radium contenu dans la peinture était de l'ordre de 20 % dans l'organisme. En cas d'exposition interne, c'est la capacité du corps de l'individu à éliminer – par les urines, les selles et la sueur - les éléments radioactifs qui est en jeu. encyclopedie.universelle.fr/academico.com/17482

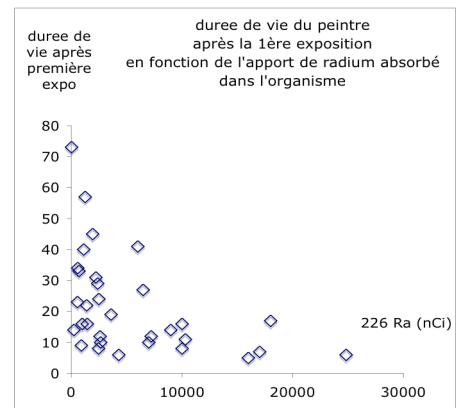
Doc 4 : Peu de temps après sa formation, la Société U.S. Radium Corporation a commencé à rencontrer des difficultés avec la santé de ses peintres de cadrans. Ces problèmes sont bien résumés dans une lettre écrite par son président, en date du 18 Juin 1928, au commissaire de la santé publique de la Ville de New York. La déclaration suivante est tirée de cette lettre ; « Au début de 1924, il a été appelé à notre attention, à travers un cabinet dentaire de très bonne réputation, que certains de nos employés souffraient de ce que l'on croyait être un empoisonnement au phosphore. . . . On nous dit, à l'époque, que si une condition d'empoisonnement existait, elle devait être due aux pinceaux, et donc toutes les brosses furent soigneusement stérilisées avant d'être utilisées par les opérateurs. Des instructions strictes furent données de ne plus amincir la pointe des pinceaux avec les lèvres ». Radium in humans (review of US study)

Sont regroupés, dans le tableau ci-dessous, des cas de peintres de cadran, touchés par des cancers des os,

TABLE A.1 Exposure Data for Radium Subjects to the End of 1990

Case	Sex	Born	Live	Died	Cause	Exp. Type	Year First Exp.	Exp. Dur. (wk)	Year of Meas.	²²⁶ Ra (nCi)
00-002	F	1896		1922	5280	DP	1917	223	1966	16000
00-017	F	1899		1924	9261E	DP	1917	156	1970	17000
01-002	F	1906		1939	2079	DP	1922	676	1936	18000
03-666	F	1905		1929	032	DP	1923	347	1978	24812

F : féminin, Cause (type de cancer : symbolisé par un n°), Exp : exposition , DP : dial painter (peintre de cadran) , Dur : durée , wk : semaine, Meas : mesure ²²⁶Ra (nCi) représente l'activité de l'ensemble des os ou du corps en ²²⁶Ra, mesurée à l'année indiquée (Year of Meas.) en nanoCurie (nCi). Afin de rendre la courbe de droite plus lisible, elle ne porte que sur une trentaine de cas. L'étude réelle portait sur plus de 2400 cas.



Robley D. Evans a réalisé une série de mesures de la charge corporelle en radium sur un nombre important de peintres de cadrans. Ces analyses ont été utilisées en 1941 par le National Bureau of Standards pour fixer la charge maximale admissible pour le radium à 0,1 µCi.

Doc 5 : Unités de radioactivité

Le Curie (symbole Ci) est l'ancienne unité de radioactivité. Il correspond à $3,7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde, ce qui est approximativement l'activité de 1 g de l'isotope du radium 226. Il a été nommé ainsi en 1910 en l'honneur de Pierre Curie, décédé en 1906 (et non en l'honneur de son épouse Marie car il est rare de mettre en valeur un scientifique vivant). Il n'a jamais fait partie du système international (SI). En 1964, il a été remplacé par l'unité SI : le Becquerel (Bq). On a : $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$ (GigaBecquerels) Le Curie est une unité bien adaptée aux très fortes radioactivités (ce qui est le cas du radium).

https://fr.wikipedia.org/wiki/Curie_%28unit%C3%A9%29

Le Becquerel (Bq) est l'unité de mesure de la radioactivité d'un corps. Elle caractérise le nombre de désintégrations spontanées de noyaux d'atomes instables qui s'y produit par seconde. Plus l'activité d'un élément instable est forte, plus sa radioactivité est puissante. $1 \text{ Bq} = 1$ désintégration par seconde.

<http://www.connaissancesdesenergies.org/fiche-pedagogique/mesure-de-la-radioactivite-unites>

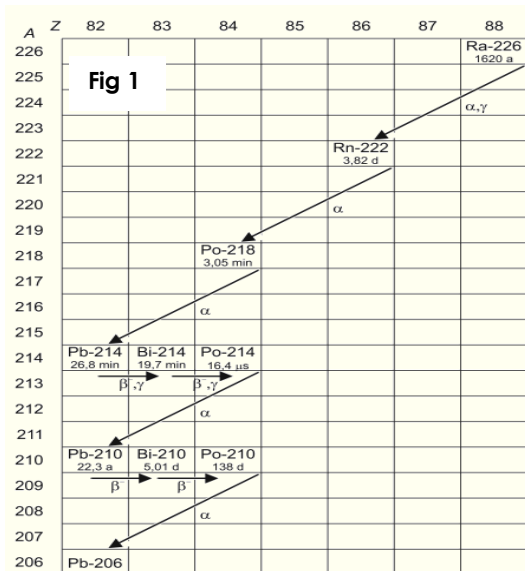
Doc 6 :

La radioactivité est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux instables, tel le radium 226 (^{226}Ra), se transforment spontanément (se «désintègrent»), en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements divers. Les rayonnements ainsi émis sont appelés, selon le cas, des rayons α , β ou γ .

Pour les organismes vivants, ces rayonnements sont nocifs, et même mortels en cas de dose élevée.

La chaîne de désintégration du radium, (voir Fig1) est une série de désintégrations, en cascade apparaissant par transformation spontanée d'un isotope instable (ici le radium 226 fournit du radon ^{222}Rn comme premier produit de désintégration, puis le radon 222, fournit ensuite le polonium 218, etc ...) permettant d'arriver à un élément chimique dont le noyau atomique est stable (c'est-à-dire non radioactif).

Le plomb 206 est généralement l'élément stable auquel les chaînes de désintégration s'arrêtent. <https://fr.wikipedia.org/>



^{226}Ra (1600 yr.) Decay Scheme

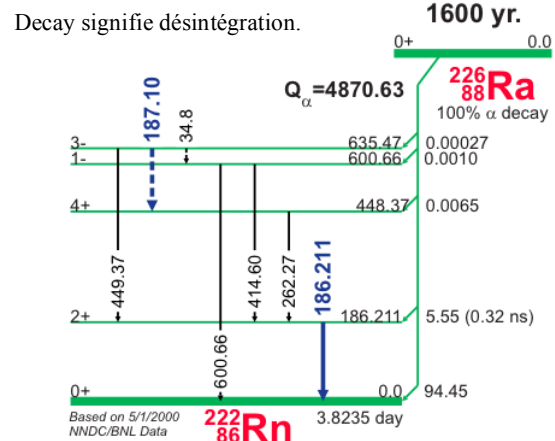


Fig 2

Sur la Fig 2 : A droite sont indiqués les pourcentages statistiques pour les différents types d'émissions.. Exemple : lorsqu'un noyau de radium 226 se désintègre avec une émission de particule α :

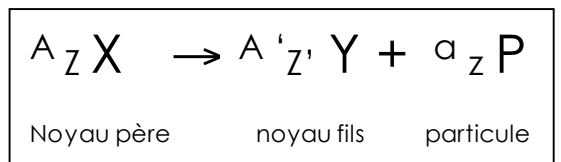
94,45 % de ces désintégrations l'amène du niveau 0+ du ^{226}Ra au niveau 0+ du ^{222}Rn
 5,55 % de ces désintégrations l'amène du niveau 0+ du ^{226}Ra au niveau 2+ du ^{222}Rn . S'ensuit alors un rayonnement γ d'énergie 186,211 keV

Doc 7 :

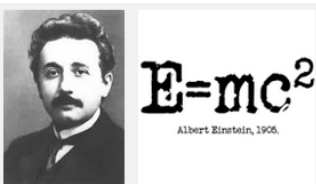
Une réaction nucléaire est écrite sous la forme d'une équation :

Toutes les réactions nucléaires (concernant le noyau) vérifient les lois de conservation suivantes :

- Conservation du nombre total de protons ou de la charge électrique : $Z = Z' + z$
- Conservation du nombre total de nucléons ou du nombre de masse : $A = A' + a$



Doc 8 :



Lorsqu'une réaction nucléaire est exothermique, la masse des noyaux (fils) produits est inférieure à la masse des noyaux (pères) réactifs. Une diminution de masse se traduit par une libération d'énergie. On définit la variation de masse Δm (réaction nucléaire) par :
 Δm (réaction nucléaire) = m (noyaux fils produits) - m (noyaux pères réactifs)
 Avec Δm (réaction nucléaire) < 0

Unités : E (J) ; m (kg) ; c (m/s)



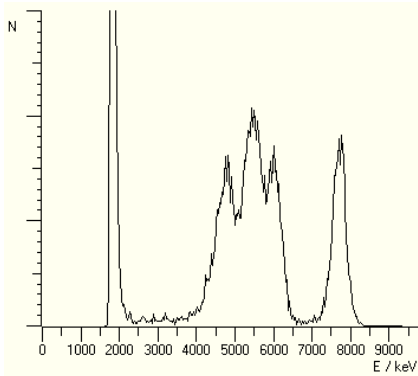
Exemple :

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

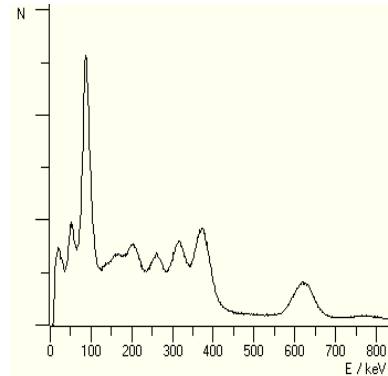
Lors d'une réaction nucléaire, la variation d'énergie libérée est : $\Delta E = |\Delta m| \times c^2$

Doc 9 : Il existe des appareils de mesure qui permettent d'obtenir le spectre électromagnétique dans d'autres parties que le visible. On peut ainsi obtenir :

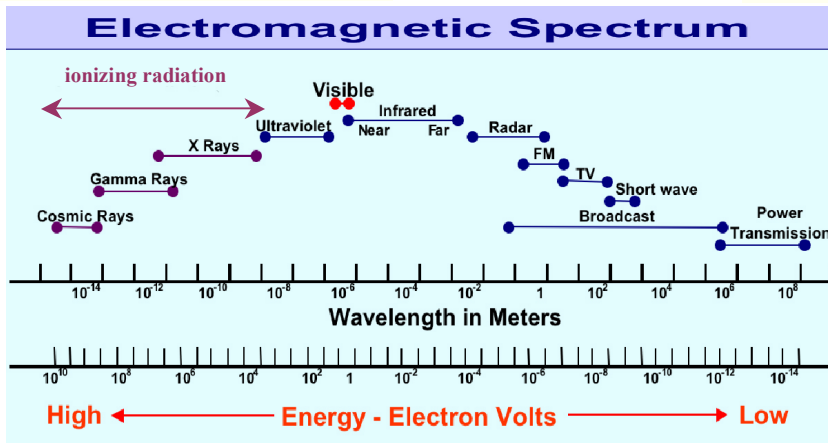
Le spectre α (alpha) d'une source de radium 226



Le spectre γ d'une source de radium 226



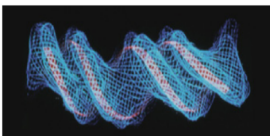
Doc 10 :



Chapter 13 Slides Radiation.11.08.10.ppt

Remarques : les rayons X prennent naissance dans le cortège électronique, les rayons γ non, ils sont eux émis par désexcitation d'un noyau . <http://www.ld-didactic.de/software/524221fr/Content/Appendix/Ra226.htm>
 Les rayonnements particulaires (émission de particules α et β) sont aussi considérés comme des rayonnements ionisants mais ils ne font pas partie des rayonnements électromagnétiques. https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant

Doc 11 : Quelques effets biologiques des rayons α , β ou γ : <http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/leseffetsbiologiques.htm>



Le vivant est un milieu à la fois robuste et fragile.
 Les rayonnements radioactifs peuvent induire des modifications chimiques qui, à leur tour, sont susceptibles d'introduire des modifications cellulaires dans la matière vivante.

Les dégâts des rayonnements sont très variables dans la matière vivante.

L'ionisation provoquée dans les cellules par les particules (ou rayons γ) est susceptible d'entraîner des modifications chimiques non seulement au niveau de molécules simples comme l'eau, mais d'agresser des structures aussi complexes et cruciales que la molécule d'ADN. Nos cellules sont donc fragiles. Mais elles ont la faculté de pouvoir se réparer si le dommage est limité et d'être éliminées si le dommage est important. Le vivant est aussi robuste.

La gravité des effets dépend de la densité des ionisations dans le milieu.

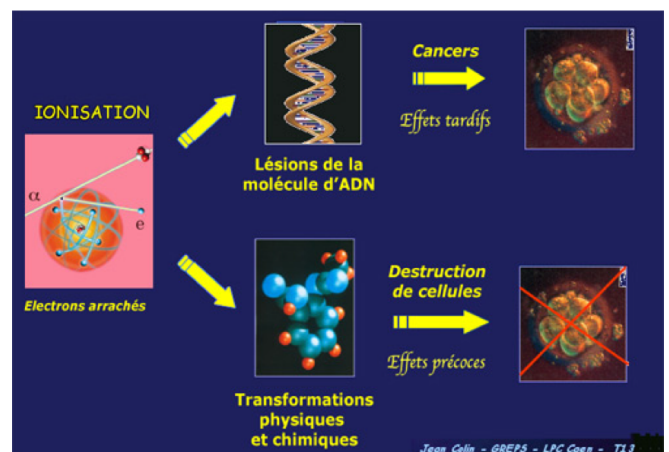
Les effets sont d'autant plus importants que l'énergie déposée dans le milieu est importante et localisée dans l'espace et dans le temps.

La cellule répare en permanence ces modifications dont les effets de celles radio-induites, sont analogues à ceux produits par des agressions d'origine chimique ou thermique. Cette capacité de réparation est toutefois limitée.

Les lésions mal réparées conduisent alors la cellule à une mort immédiate ou différée (l'incapacité de se diviser)

La toxicité de la radioactivité dépend d'un autre facteur, le débit de dose. Une dose reçue en un seul coup est plus nocive que la même étalée sur une longue période, comme si, débordés, les mécanismes de réparations cellulaires étaient moins efficaces. Cette nuisance devient un atout quand il s'agit de détruire des tumeurs cancéreuses.

En radiothérapie, on applique des doses très importantes, de manière localisée et pendant des temps courts.



Activité en classe

Travail à réaliser :

Partie 1 : Le phénomène de désintégration du radium (Questions préalables)

Regardez le film « la vallée de stabilité » réalisé par le CEA, qui donne des explications sur les différents types de désintégration pour un noyau radioactif.

- 1) a) Comment définiriez-vous la vallée de stabilité ?
- 1) b) Sur l'animation suivante : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/diagrammeNZ_1.swf , trouvez la position des noyaux du début et de la fin de chaîne de désintégration du radium 226.

Lors de la chaîne de désintégration du radium 226, un des processus d'émission d'énergie est la désintégration α .

- 2) a) Ecrire l'équation de désintégration α (alpha) dans le cas du radium 226. Donnez le nom de la particule α .

Lors de la désintégration du radium 226, le nombre de noyau N , présents dans un échantillon, ne cesse de décroître au cours du temps.

- 2) b) Tracez sur un tableur (type Excel) la courbe de décroissance radioactive. On représentera :
 - en abscisse : le temps (symbolisé par t) exprimé en années.
 - en ordonnée le pourcentage de noyaux de radium 226 restants (symbolisé par %N).
- 2) c) Le radium a été dosé dans les os d'Amélia Magia (voir TABLE A.1 du Doc 4). Déterminez, en microCurie (μCi), puis en Becquerel, l'activité du radium de l'échantillon à sa mort.
- 2) d) Donnez le nom de l'autre type de particule pouvant être émise dans la chaîne de désintégration du radium 226. Quel nom plus simple lui donneriez-vous ?

Partie 2 : L'énergie dégagée lors de la désintégration du radium (Questions préalables)

- 1) a) Calculez l'énergie libérée (en Joules puis en MeV) lors de l'émission d'une particule alpha quand un noyau de radium 226 se désintègre.

Données numériques : $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$; $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}$; $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
Les masses des noyaux de radium 226 et de radon 222 sont respectivement égales à 226,025410 u et 222,01758 u.
Celle d'une particule est égale à 4,002603 u.

- 1) b) Retrouvez cette raie d'émission sur le spectre α du radium 226.
- 1) c) A quoi sont dues les autres raies apparaissant sur le spectre α du radium 226 ?

Une partie de l'énergie précédente peut aussi être libérée sous forme de rayonnement électromagnétique gamma.

- 2) a) Retrouvez, sur le spectre γ du radium 226, la raie d'émission lors de l'émission d'une particule α par un noyau ^{226}Ra .
- 2) b) Par quelle expérience simple A. Gettler a-t-il mis en évidence ces émissions d'énergie lors de la désintégration ?

Partie 3 :

EXPLIQUEZ LE PROCESSUS QUI A AMENE LA MACHOIRE D'AMELIA MAGIA A SE DESAGREGER LORS DE L'INTERVENTION DU DENTISTE (ON ANALYSERA LES DIFFERENTS PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES INTERVENANTS)

On répondra à cette question en 30 lignes (max) en utilisant un logiciel de présentation (type Powerpoint) ou un traitement de texte (type Word). On pourra intégrer des photos ou graphiques (ou autres) jugés appropriés.

Au préalable, on ira chercher sur internet :

- le nom de la maladie entraînant la mort des os de la mâchoire (inférieure) par irradiation
- la définition de la période biologique (et sa valeur pour le radium dans le cas impliqué)

Activité Radium tiré du «petit guide empoisonneur» - Thèmes « Energie /Santé » 1^{re} S

Réponses :

Partie 1 : 1) a) Comment définiriez-vous la vallée de stabilité ? La vallée de stabilité désigne, en physique nucléaire, l'endroit où se situent les isotopes stables, quand on porte en abscisse le numéro atomique et en ordonnée le nombre de neutrons de chaque isotope (carte des nucléides - voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Vall%C3%A9e_de_stabilit%C3%A9)

2) a) Equation de désintégration α dans le cas du $^{226}_{88}\text{Ra}$: voir Doc 7 + doc 6 Fig1 : $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$ nom α : **noyau ^4_2He**

2) b) Courbe décroissance radioactive : **On trouve le modèle le plus adapté en courbe de tendance : % N = % N₀ × e^{-at} où a est une cst**

2) c) Déterminez, en μCi , en Bq, l'activité du radium des os à sa mort. **Amélia correspond au cas 00_002 (Doc 4). Depuis sa mort, il s'est écoulé $\Delta t = 1966 - 1922 = 44$ ans. On voit que 44 ans après la mort, vue la grande valeur de la demi-vie, le pourcentage de noyau encore présents est proche de 100%. Le modèle mathématique de la courbe de tendance donne une valeur voisine de 98%.**

En 1966, comme en 1922, l'activité est voisine de $A = 16000 \text{ nCi} = 16 \mu\text{Ci}$ soit 160 fois la charge maximale (fin Doc 4) Or $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$ (Doc 5) d'où $A = 16 \times 10^{-6} \times 3,7 \times 10^{10} \text{ desint/s}$, $A = 59 \times 10^4 \text{ Bq} = 590 \text{ kBq}$

2) d) Autre type de particule pouvant être émise dans la chaîne de désintégration du radium 226. **Emission bêta (ici β^- - en fait, par ex Doc 6 Fig1 $^{204}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{204}_{83}\text{Bi} + ^0_{-1}\text{e}$ Quel nom plus simple lui donneriez-vous ?**

électron (mais attention expulsé ici du noyau et non du cortège électronique !)

Partie 2 : 1) a) Energie libérée (en J puis en MeV) lors de l'émission d'une particule α quand un noyau ^{226}Ra se désintègre. Utilisat° Doc 8 ou ExamECsept08+Corrige.pdf <http://mascive.u-strasbg.fr/depotcel/DepotCel/827/pdf/ExamECsept08+Corrige.pdf>

Remarque : on trouve ici par ce calcul 4882 keV Valeur voisine de 4870 keV (valeur validation Fig 2)

1) b) Retrouvez cette raie d'émission sur le spectre α du radium 226. **1^{er} des 3 pics à 4700 MeV**

1) c) A quoi sont dues les autres raies apparaissant sur le spectre α du radium 226 ?

$$\Delta m = m(^4_2\text{He}) + m(^{222}_{86}\text{Rn}) - m(^{226}_{88}\text{Ra}) = 4,002603 + 222,017578 - 226,025410$$

$$\Delta m = -0,005259 \text{ u}$$

$$E = |\Delta m|c^2 = 0,005259 \times 1,66 \cdot 10^{-27} \times (3 \cdot 10^8)^2 = 7,812 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = \frac{7,812 \cdot 10^{-13}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,882 \cdot 10^6 \text{ eV} = 4,882 \text{ MeV}$$

Aux autres désintégrations α en cascade. L'énergie des particules alpha émises est caractéristique du noyau père émetteur (voir fichier sources et complément d'informations). Les sous produits vont aussi émettre une grande énergie.

Une partie de l'énergie précédente peut être libérée sous forme de rayonnement électromagnétique gamma.

2) a) Sur le spectre γ , la raie d'émission (5,5% des désintégrations α par un noyau ^{226}Ra), se situe à 186 keV (Doc 6, Fig 2)

2) b) Par quelle expérience simple A. Gettler a-t-il mis en évidence ces émissions d'énergie lors de la désintégration ? **Les rayonnements d'énergie supérieure au visible, provenant des os, impressionnent un papier photographique.**

Remarques : la désintégration de certains isotopes radioactifs peuvent aussi produire des rayons X. L'ordre de grandeur de l'énergie minimale mis en jeu pour impressionner un papier photo est celle du visible : 1 eV (voir Fig 10)

Partie 3 : - L'ostéoradionécrose est la mort des os causée par l'exposition à un rayonnement émis lors des désintégrations radioactives. L'os meurt parce que l'énergie radiative endommage les vaisseaux sanguins de l'os. Elle affecte habituellement la mâchoire inférieure parce que l'apport sanguin y devient très limité.

- La période biologique – temps au bout duquel la 1/2 du radium fixé dans les os est éliminée de l'organisme- est 66 mois. <http://www.cancer.ca/fr-ca/cancer-information/diagnosis-and-treatment/managing-side-effects/osteoradionecrosis/?region=qc>

- D'après le Doc 1, en portant le pinceau à ses lèvres, le radium passait dans le système sanguin d'Amélia Magia.

- Le radium est fixé comme le calcium dans l'organisme (Doc 1 : le radium est acheminé vers le squelette, où il se fixe dans la moelle osseuse et le squelette (les os et donc la mâchoire), et remplace le calcium (élément principal nécessaire à la solidité des os : Doc 1). En effet le radium, le calcium sont dans la même famille (voir class périodique) et ont la même réactivité chimique (comme le baryum), (Doc 3), mais ne conduisent pas à des composés de mêmes propriétés physiques (comme la solubilité dans l'eau ou la radioactivité).

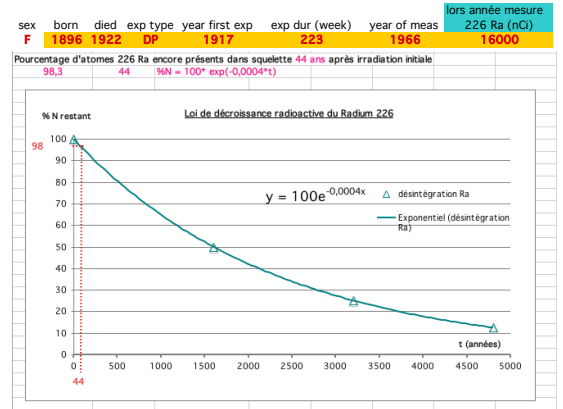
- Une fois fixé, le radium émet des rayonnements **très énergétiques** (nocifs et même mortels en cas de dose élevée : (voir Doc 6 et **calculs réalisés**) Cela a été le cas pour Amélia qui a été contaminée (alimentée en radium de manière continue) pendant 4 ans ! (voir Doc 1), ces rayons pouvant entraîner des modifications chimiques au niveau de l'ADN des cellules (voir Doc 11). Les globules blancs, rouges disparaissent, entraînant d'abord l'anémie (Doc 2 + Doc 1).

- Le temps au bout duquel la moitié du radium, fixé au niveau des os, est éliminé à l'extérieur de l'organisme est 66 mois, soit 5,5 ans (voir recherche internet), si on considère que Ra agit comme Ca. Si la dose de radium absorbée est trop élevée, le radium restera donc stocké dans les os sur des années. La capacité du corps à éliminer (par les urines, les selles et la sueur) - (Doc3 + Doc 11) - les éléments radioactifs n'est pas suffisante, sachant que 98% des noyaux initialement ingérés existent encore au bout de 40 ans, s'il s ne sont pas éliminés de l'organisme (voir courbe Excel).

- Le système immunitaire de réparation d'Amélia a été dépassé sous l'effet de l'énergie rayonnée (voir Doc 11) et l'ostéoradionécrose s'est installée, l'os de la mâchoire (particulièrement touché) s'est fragilisé, est mort petit à petit pour finalement se fracturer. (voir recherche internet sur ostéoradionécrose)

La sensibilité aux rayonnements varie enfin d'une personne à l'autre, mais on dispose encore de peu de moyens pour évaluer cette radiosensibilité individuellement (voir courbe doc 4). Les instructions données de ne plus amincir la pointe des pinceaux avec les lèvres a évité l'ingestion du radium par voie orale au cours de l'année 24 (Doc 4). Restait néanmoins la contamination par inhalation (le 1^{er} noyau fils est le Radon 222, radioactif lui aussi est un gaz rare).

Il est important de noter que 1 g de ^{226}Ra émet 1 Ci par définition (Doc 5). Pour 1 millionième de g (10^{-6} g) – (voir Doc 1)- l'activité sera de 1 μCi or la charge maximale admissible pour le radium est de 0,1 μCi . (Doc4). Il suffit donc au peintre de porter à sa bouche l'équivalent de 1/10 de la masse de peinture mise sur une montre pour se retrouver intoxiqué gravement. En fait il en faut à peu près 5 fois plus puisque l'absorption du radium contenu dans la peinture est de l'ordre de 20 % dans l'organisme (Doc3). On peut estimer que l'intoxication grave a eu lieu au bout de quelques mois.

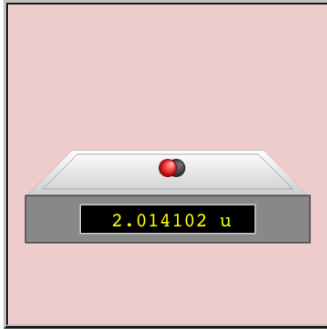


<http://www.labosim.net/nucleaire/energie-mc2>

La masse du noyau et $E = mc^2$

L'unité de masse unifiée

👉 Nous allons nous intéresser à la masse du noyau atomique. Nous savons déjà que la masse des électrons est négligeable par rapport à la masse du noyau. Mais lorsque les scientifiques ont cherché à calculer la masse du noyau d'un atome, ils se sont vite rendu compte que le kilogramme était difficile à utiliser, car l'atome est trop minuscule. Ils ont donc inventé une nouvelle unité qui est l'**unité de masse unifiée** dont le symbole est la lettre *u*. Cette unité a été définie arbitrairement par rapport à la masse du carbone 12 : le noyau du carbone 12 fait exactement 12 u.



Next

👉 Quelle est donc la correspondance entre le kilogramme et l'unité de masse *u* ?

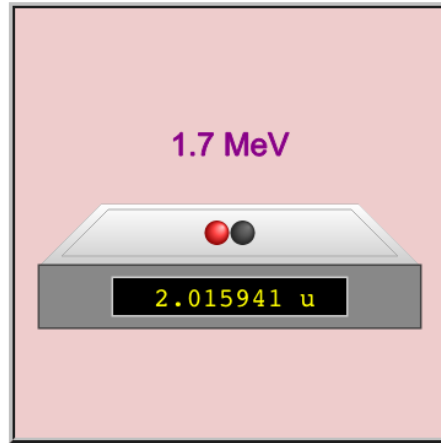
👉 $1 u = 1,660539 \cdot 10^{-27}$ kg. Et on obtient les masses suivantes pour les deux types de nucléons :

Nucléon	Masse (kg)	Masse (u)
Proton	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg	1,007276 u
Neutron	$1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg	1,008665 u

👉 Effectivement, cette unité est plus commode à utiliser que le kilogramme, car les nucléons ont presque une masse de 1 u. Tiens ! Le neutron est légèrement plus lourd que le proton ?

👉 Dans l'expérience, tu peux peser différents noyaux que tu peux changer en cliquant sur le bouton **Next**. La balance t'indique la masse en u.

👉 Si je sélectionne le noyau du carbone 12, j'obtiens une masse exactement de 12,000000 u. Ta balance est très bien réglée.



Next

L'énergie de liaison nucléaire

👉 J'ai une question : est-ce que les nucléons sont collés ensemble pour constituer un noyau ?

👉 Les nucléons sont collés avec une colle très forte : c'est la **liaison nucléaire**. Il faut donner beaucoup d'énergie à un noyau, si on veut le désintégrer. Si tu cliques plusieurs fois sur le noyau de l'animation, tu apporteras de l'énergie, jusqu'à la désintégration. L'**énergie de liaison** est l'énergie qu'il faut fournir au noyau pour le casser. On utilise la même unité d'énergie que dans les précédentes expériences : l'électronvolt. 1 MeV représente un million d'électronvolts.

👉 Il faut fournir plusieurs dizaines de MeV, pour casser certains noyaux ! Je dois insister et cliquer plusieurs fois dessus !

👉 Si tu te rappelles l'expérience sur l'atome de Bohr, il suffisait seulement de quelques eV pour ioniser un atome et lui faire perdre un électron. Par contre, pour désintégrer son noyau, c'est bien plus difficile car il faut fournir plusieurs millions d'électronvolts.

👉 C'est amusant de casser des noyaux d'atomes. Mais pourquoi doit-on les casser sur une balance ?

Le défaut de masse

👉 La balance est utile pour pouvoir observer la masse du noyau avant et après qu'il a été désintégré. Quand le noyau est cassé il a plus de masse. Cette différence de masse entre la somme de tous les nucléons d'un noyau et la masse du noyau s'appelle le **défaut de masse**. Tu pourras observer sur l'afficheur de la balance, que la masse augmente légèrement à l'instant que le noyau est cassé.

👉 Et pourquoi donc le noyau entier est-il moins lourd que l'ensemble de ses nucléons pris séparément ?

👉 Le noyau entier est moins massique, car une partie de sa masse est utilisée pour l'énergie de liaison. Le monde de l'atome est vraiment bien particulier et il y a **équivalence entre masse et énergie**. La masse est une énergie et l'énergie est une masse. Ainsi il est parfois courant de donner la masse d'une particule en électronvolt.

👉 Ah oui ? Et pour moi ? Tu peux calculer ma masse en électronvolt ? Je serai bien curieux de la connaître ?

$$E=mc^2$$

👉 On peut la calculer, mais cela n'offre aucun intérêt. On obtiendrait un nombre énorme avec plein de zéros. L'équation qui permet de calculer l'équivalence entre masse et énergie est l'équation $E=mc^2$ qui a été exprimée par Albert Einstein. Elle signifie qu'une particule de masse *m* possède une énergie propre à sa masse et qui est égale au produit de *m* par le carré de *c*, la vitesse de la lumière.

👉 Est-ce qu'il existe un rapport avec les bombes atomiques ?

👉 Le rapport est qu'une toute petite quantité de matière peut se transformer en une énorme quantité d'énergie. Ainsi 1 gramme de matière est équivalent à une bombe atomique.

👉 Hou la la ! C'est impressionnant ! Et pour nos petits noyaux atomiques, quelle est l'énergie équivalente ?

Tableau récapitulatif appliqué à l'expérience

👉 Pour nos nucléides, on peut calculer qu'une différence de masse de 1u est équivalent à 931,5 MeV. On obtient ainsi le tableau récapitulatif suivant, pour l'ensemble des isotopes de cette expérience.

Isotope	Protons	Neutrons	Masse nucléons (u)	Masse nucléaire (u)	Différence de masse (u)	Energie de liaison (MeV)
² H	1	1	2,015941	2,014102	0,001839	1,7
³ He	2	1	3,023217	3,016029	0,007188	6,7
⁴ He	2	2	4,031882	4,002603	0,029279	27,3
⁶ Li	3	3	6,047823	6,015123	0,032700	30,5
⁷ Li	3	4	7,056488	7,016005	0,040483	37,7
⁹ Be	4	5	9,072429	9,012182	0,060247	56,1
¹⁰ B	5	5	10,079705	10,012937	0,066768	62,2
¹¹ B	5	6	11,088370	11,009305	0,079065	73,6
¹² C	6	6	12,095646	12,000000	0,095646	89,1