



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Montpellier pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

# BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL

## ENVIRONNEMENT NUCLÉAIRE

SESSION 2012

### ÉPREUVE E1 : ÉPREUVE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

#### Sous épreuve E11 : Physique nucléaire Détection des rayonnements, radioprotection

*Calculatrice autorisée, conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 99*

*Aucun document autorisé*

*Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10.  
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.*

**L'annexe 3, page 10/10 sera rendue et agrafée dans la copie anonymée**

SUJET		Session 2012	
Baccalauréat Professionnel ENVIRONNEMENT NUCLÉAIRE			
Sous épreuve E11 : Physique nucléaire - Détection des rayonnements - Radioprotection			
Repère : 1206-EN ST 11	Durée : 3 heures	Coefficient : 3	Page : 1/10

## Exercice 1 - Fonctionnement d'un détecteur de fumée

En fonctionnement normal, un détecteur de fumée comporte une chambre de détection où les molécules constituant l'air sont ionisées par les radiations d'une source d'Américium 241.

Dès que de la fumée apparaît le processus d'ionisation est perturbé engendrant une variation de courant dans le détecteur, ce qui déclenche l'alarme.

Nous allons étudier les réactions nucléaires qui interviennent dans la fabrication et le fonctionnement de ce détecteur.



### Partie 1 - Production de l'Américium 241 (2,25 points)

L'Américium est un élément artificiel, il peut être produit à partir du plutonium 239 en 2 étapes :

- le plutonium 239 va capter deux particules pour donner du plutonium 241,
- le plutonium 241 va se désintégrer pour donner de l'américium 241.

**1-1-1.** Donner une définition du mot isotope et citer un exemple de 2 nucléides isotopes.

**1-1-2.** Recopier et compléter l'équation correspondante à l'étape a).



**1-1-3.** Nommer la particule captée par le plutonium 239 lors de cette étape.

**1-1-4.** Écrire l'équation de désintégration correspondant à l'étape b).

**1-1-5.** Citer le type de désintégration lors de l'étape b).

**1-1-6.** Parmi les propositions ci-dessous, recopier celle qui correspond à un écran adapté et suffisant pour se protéger des particules émises à l'étape b).

Feuille de  
papier

Feuille  
d'aluminium

Vitre en verre  
de 8 mm

Plaque de  
plomb de 5 cm

Mur de béton  
de 3 m

## Partie 2 - Étude de l'américium 241 (2 points)

La source d'un détecteur de fumée est constituée d'américium 241 (Am) qui se désintègre en neptunium 237 (Np).

- 1-2-1. Donner le nom et le nombre des constituants du noyau de l'américium 241.
- 1-2-2. Écrire son équation de désintégration.
- 1-2-3. Préciser la nature de la désintégration et le nom de la particule émise.
- 1-2-4. Expliquer pourquoi ce type de rayonnement présente un risque interne important et un risque externe faible.

## Partie 3 - Détermination de la masse d'américium dans un détecteur de fumée

(1,75 point)

### Données

Masse d'un noyau d'américium 241 :  $m = 4,00 \cdot 10^{-25}$  kg  
Période radioactive de l'américium 241 :  $T = 432$  ans  
Activité mesurée dans un détecteur de fumée :  $A = 30000$  Bq

- 1-3-1. Définir une période radioactive.
- 1-3-2. Calculer la constante radioactive de l'américium 241 en  $s^{-1}$ .  
Arrondir à deux chiffres après la virgule en écriture scientifique.
- 1-3-3. Calculer le nombre de noyaux d'américium présents dans un détecteur de fumée.  
Arrondir à deux chiffres après la virgule en écriture scientifique.
- 1-3-4. En déduire la masse d'américium utilisée dans un détecteur de fumée.  
Arrondir à deux chiffres après la virgule en écriture scientifique.

## Exercice 2 - Médecine nucléaire

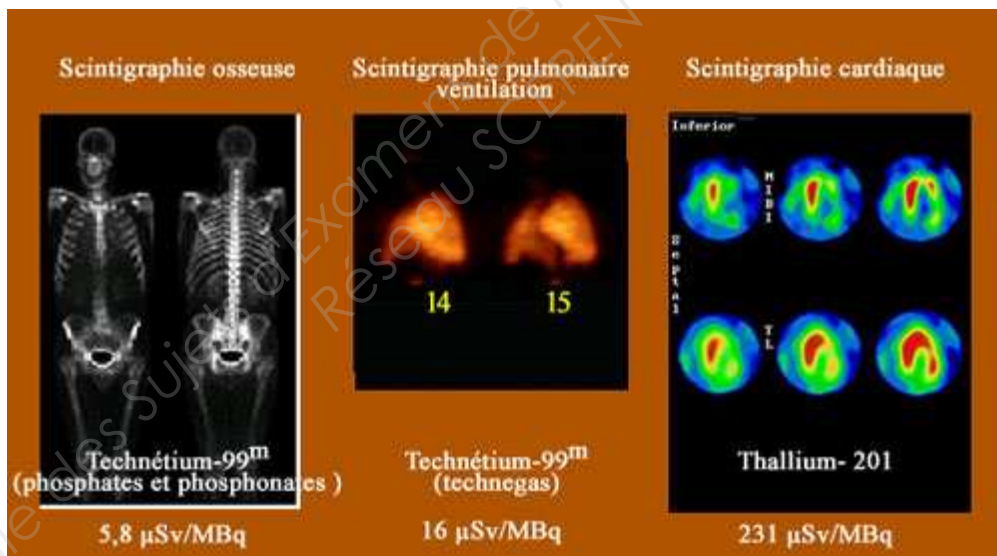
### Partie 1 - Radiologie et Scintigraphie (0,75 point)

Dans une radiographie traditionnelle, on mesure les différences d'absorption des rayons X qui traversent la matière vivante.

Dans le cas d'une scintigraphie, un produit radiopharmaceutique choisi pour se fixer préférentiellement sur un organe et comportant quelques atomes radioactifs, est injecté au patient. On mesure ensuite les rayonnements émis depuis l'intérieur du corps du patient. Ces mesures sont réalisées à l'aide de gamma-caméras reliées à une informatique puissante pour la visualisation et le traitement des images.

Le caractère irradiant d'un examen est défini comme la dose résultant de l'injection d'un million de becquerels (MBq). Si l'on exprime la dose en  $\mu\text{Sv}$ , le caractère irradiant se mesure en  $\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ . Ce caractère irradiant varie dans de grandes proportions d'un type de scintigraphie à l'autre.

Dans 70 % des examens scintigraphiques, on utilise le technétium 99.



Source : <http://www.laradioactivite.com>

**2-1-1.** D'après l'image ci dessus, quel examen présente le caractère irradiant le plus important ?

**2-1-2.** Donner le symbole et le numéro atomique du radio-élément utilisé dans l'examen le plus irradiant.

## Partie 2 - Les isotopes du technétium (1,25 point)

On a caractérisé 25 isotopes du technétium. C'est l'élément le plus léger pour lequel aucun de ses isotopes n'est stable.

Les moins instables sont : le  $^{98}\text{Tc}$  (demi-vie de 4 200 000 ans),  
le  $^{97}\text{Tc}$  (2 600 000 ans),  
le  $^{99}\text{Tc}$  (211 100 ans).

Leurs masses atomiques varient entre 87,933 u ( $^{88}\text{Tc}$ ) et 112,931 u ( $^{113}\text{Tc}$ ).

2-2-1. Définir « noyau stable ».

2-2-2. Quel isotope est le plus instable ? Justifier votre réponse.

2-2-3. Le technétium ne peut pas provenir de la désintégration naturelle d'un autre radio élément. En comparant la période de son isotope le plus stable avec l'âge de la Terre (4,57 milliards d'années environ), expliquer pourquoi le technétium n'existe plus naturellement à la surface de la terre.

## Partie 3 - Préparation du Technécium 99 (4,5 points)

Le technétium 99 ( $^{99}\text{Tc}$ ) est obtenu à partir de Molybdène 99 ( $^{99}\text{Mo}$ ).

Le  $^{99}\text{Mo}$  est l'un des sous produits de l'industrie nucléaire de l'Uranium ; l'une des réactions possibles est la suivante :



2-3-1. Cette réaction est-elle une fusion ou une fission nucléaire ? Justifier votre réponse.

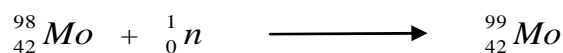
2-3-2. Citez les règles à respecter pour équilibrer une équation nucléaire.

2-3-3. Recopier l'équation précédente. La compléter en ajoutant le numéro atomique Z, le nombre de nucléons A et le symbole X du noyau fils.

2-3-4. Cette réaction peut-elle conduire à une réaction en chaîne ? Pourquoi ?

La majeure partie du  $^{99}\text{Mo}$  utilisé en médecine nucléaire est produite, au sein du réacteur OSIRIS du C.E.A., à Saclay, par bombardement de neutrons sur une cible en  $^{98}\text{Mo}$ .

La réaction est la suivante :



2-3-5. Calculer, en unité de masse atomique, la masse des nucléons d'un atome de  $^{99}\text{Mo}$ .

2-3-6. Calculer en unité de masse atomique le défaut de masse  $\Delta m$  d'un noyau de  $^{99}\text{Mo}$ .  
(Masse d'un noyau de  $^{99}\text{Mo}$  :  $m = 98,8827$  u)

2-3-7. Calculer en MeV l'énergie de liaison d'un noyau de  $^{99}\text{Mo}$ . Arrondir à l'unité.

2-3-8. Montrer que l'énergie de liaison par nucléon du  $^{99}\text{Mo}$  vaut :  $E_L = 8,625$  MeV/nucléon.

- 2-3-9.** L'énergie de liaison par nucléon du  $^{98}\text{Mo}$  vaut :  $E_L = 8,633 \text{ MeV/nucéon}$ .  
Le tableau ci-dessous est-il en accord avec ces deux valeurs ?

Sur fond noir : isotopes stables

83 Mo	84 Mo	85 Mo	86 Mo	87 Mo	88 Mo	89 Mo	90 Mo	91 Mo	92 Mo
93 Mo	94 Mo	95 Mo	96 Mo	97 Mo	98 Mo	99 Mo	100 Mo	101 Mo	102 Mo
103 Mo	104 Mo	105 Mo	106 Mo	107 Mo	108 Mo	109 Mo	110 Mo	111 Mo	112 Mo
113 Mo									

#### Partie 4 - Propriétés du Technétium 99 (1,75 point)

La désintégration radioactive du  $^{99}\text{Mo}$  conduit à la production de  $^{99}\text{Tc}^*$ . Cet atome correspond à un état excité du  $^{99}\text{Tc}$ . Le  $^{99}\text{Tc}^*$  moins stable que le  $^{99}\text{Tc}$ , comporte un nombre de nucléons identique mais une énergie plus élevée.

Le  $^{99}\text{Tc}^*$  (demi-vie : 6,01 h) se désintègre en libérant un rayonnement gamma présentant une énergie de 143 keV pour conduire au  $^{99}\text{Tc}$ . C'est l'intensité de cette radioactivité gamma qui va être mesurée au cours d'un examen scintigraphique.

Le  $^{99}\text{Tc}$  est lui aussi radioactif (il subit une désintégration  $\beta^-$  pour conduire au  $^{99}\text{Ru}$  stable).

Cependant sa période est telle que sa radioactivité n'a pas d'effet sur le patient car le corps de celui-ci élimine très vite ce métal.

- 2-4-1.** Après avoir calculé le rapport  $\frac{N}{Z}$  du  $^{99}\text{Ru}$ , justifier sa stabilité.

- 2-4-2.** Convertir en Joule, l'énergie libérée par un atome de  $^{99}\text{Tc}^*$ . En déduire la perte de masse, en kg. Donner les résultats en écriture scientifique avec deux chiffres après la virgule.

Un médecin, pesant 75 kg, manipule, pendant une minute, une seringue contenant l'échantillon de radio-marqueur à injecter à un patient pendant une minute. Cet échantillon présente une activité de 700 MBq.

- 2-4-3.** En considérant que le médecin reçoit 3 % des radiations gamma émises par le  $^{99}\text{Tc}^*$ , calculer la dose D en Gray reçue par le médecin. Donner le résultat en écriture scientifique avec deux chiffres après la virgule (on prendra pour valeur de l'énergie d'un rayonnement gamma  $E = 2,29 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ ).

#### Partie 5 - Radioprotection pendant un examen scintigraphique (5,75 points)

En 2006, une équipe scientifique a publié ses résultats portant sur l'étude de la radioprotection nécessaire pendant les examens scintigraphiques osseux chez le cheval.

(Source : D. Didierlaurent, F. Audigié, A. Martzloff, J-M. Denoix - Revue médicale vétérinaire, 2006)

Au cours de cet examen, un échantillon de radiomarqueur à base de  $^{99}\text{Tc}^*$  est injecté à un cheval à raison de 10 MBq par kg.

- 2-5-1.** Calculer l'activité de l'échantillon injecté à un cheval de 500 kg.

- 2-5-2.** Au bout de combien de temps, l'activité due au  $^{99}\text{Tc}^*$  de cet échantillon a-t-elle diminué de moitié ?
- 2-5-3.** La constante radioactive du  $^{99}\text{Tc}^*$  est égale à  $3,2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . Calculer en MBq, arrondie à l'unité, l'activité due aux atomes de  $^{99}\text{Tc}^*$  présents dans le corps du cheval au bout de 30 heures (on ne tiendra pas compte de l'élimination naturelle du technétium).

Afin de vérifier l'efficacité des mesures de protection mises en jeu, les scientifiques ont mesuré les émissions radioactives totales (en coups) en fonction de l'énergie des rayonnements gamma (en keV) émises par le cheval au cours de l'examen :

- sans protection (Figure a, **Annexe 3**, page 10/10),
- sur le vétérinaire porteur d'un tablier de plomb d'une épaisseur de 0,5 mm (Figure b, **Annexe 3**, page 10/10),
- sur le vétérinaire porteur du tablier de plomb de 0,5 mm, abrité derrière un paravent plombé de 2 mm d'épaisseur (Figure c, **Annexe 3**, page 10/10).

On rappelle que les rayonnements gamma dus au  $^{99}\text{Tc}^*$  ont une énergie de 143 keV.

- 2-5-4.** Déterminer graphiquement une valeur approchée au millier près du nombre de coups à 143 keV mesuré sans protection. Reporter le résultat dans le tableau de l'**annexe 3**, page 10/10.
- 2-5-5.** En déduire dans chaque cas, une valeur de l'activité mesurée en coups par minute (cpm). Reporter les résultats dans le tableau de l'**annexe 3**, page 10/10.
- 2-5-6.** Expliquer à partir des résultats précédents pourquoi les scientifiques recommandent l'emploi combiné d'un tablier et d'un paravent.

Dans leurs conclusions, les scientifiques recommandent également de s'éloigner autant que possible du cheval pendant l'examen.

L'institut national de radioprotection et de sûreté nucléaire (I.R.S.N.) indique un débit de dose de  $2,8 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$  à une distance de 30 cm d'une source ponctuelle composée de  $^{99}\text{Tc}^*$  présentant une activité de 1 MBq.

- 2-5-7.** Calculer le débit de dose d'une telle source, à une distance de 1 m.

Au cours de l'étude, le vétérinaire a réalisé 90 scintigraphies du même type sur un an. Il a au total reçu un équivalent de dose E de  $318 \mu\text{Sv}$ . Les scientifiques jugent cette exposition très inférieure aux limites annuelles réglementaires pour les personnes travaillant en présence de sources radioactives.

- 2-5-8.** Citer un appareil capable de mesurer la dose E.
- 2-5-9.** La limite légale annuelle d'exposition pour un travailleur du secteur du nucléaire est-elle respectée par le vétérinaire ?
- 2-5-10.** Si l'on considère que chacune des 90 scintigraphies a duré environ 3 heures. Quel a été le débit de dose moyen  $\dot{E}$ , en  $\mu\text{Sv/h}$ , subi par le vétérinaire ? Arrondir le résultat au centième.
- 2-5-11.** Les protections mises en jeu (un tablier et un paravent plombés) correspondent respectivement à des écrans 1/2 et 1/10. Calculer le débit de dose moyen qu'aurait subi le vétérinaire sans ces protections. En déduire le type de zone réglementée à appliquer pour la salle d'examen scintigraphique des chevaux.



Annexe 1

# TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

<http://www.kfzsplit.hr/periodni/f/>

PÉRIODE	GROUPE	Masse molaire (g/mol)																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
		I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	8	9	VIII B	10	11	IB	12	13	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	1	H	He																			
2	2	Li	Be																			
3	3	Na	Mg																			
4	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	6	Cs	Ba	Lanthanides	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	7	Fr	Ra	Actinides	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uuq	Uuq	Uuq	Uuq	Uuq	Uuq			

Copyright 2002 Evg. Iengulov-ashby

Lanthanides		Actinides	
57	138.91	58	140.12
La	Ce	Pr	Nd
89	227	90	232.04
Ac	Th	Pa	U

(1) Pure Appl. Chem., 75, No. 4, 667-683 (2003)  
 La masse atomique relative est donnée avec 6 chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masses de plus grande.  
 Tableau, pour les trois éléments Th, Pa et U connus, une masse atomique relative est indiquée.

Édité: Michel Deltis

## Annexe 2

### Formulaire

#### Constantes

Célérité de la lumière :	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Masse d'un proton :	$m_p = 1,00728 \text{ u}$
Masse d'un l'électron :	$m_e = 5,486 \times 10^{-4} \text{ u}$
Masse d'un neutron :	$m_n = 1,00866 \text{ u}$
Nombre d'Avogadro :	$N = 6,023 \times 10^{23}$

#### Formules mathématiques

##### Loi de décroissance radioactive

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

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

$$A(t) = \lambda N(t)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

##### Dose et distance

$$\dot{E}_1 \times (d_1)^2 = \dot{E}_2 \times (d_2)^2$$

##### Équivalence masse énergie

$$\Delta m = m_{\text{Nucléons}} - m_{\text{Atome}}$$

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

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$$

##### Conversions d'unités

$$1 \text{ u} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

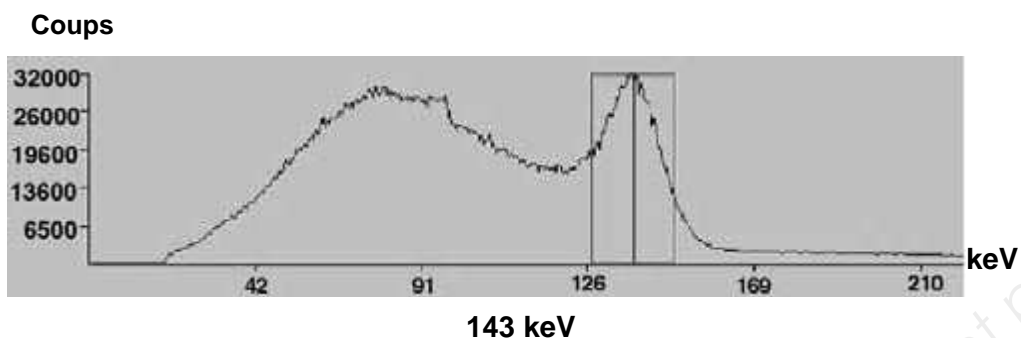
$$1 \text{ MBq} = 1\,000 \text{ kBq} = 1\,000\,000 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

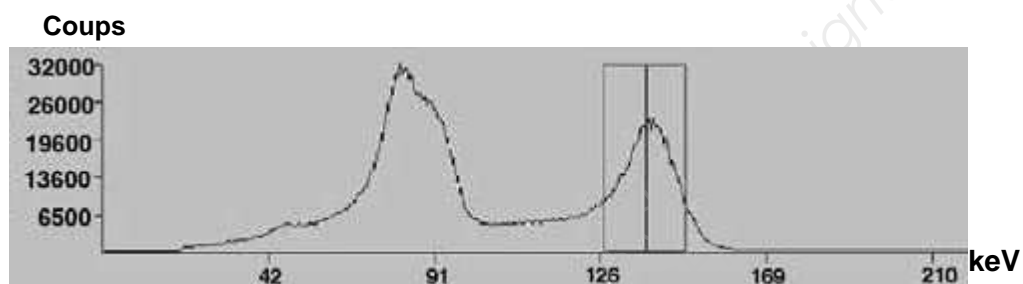
### Annexe 3

(À rendre avec la copie)

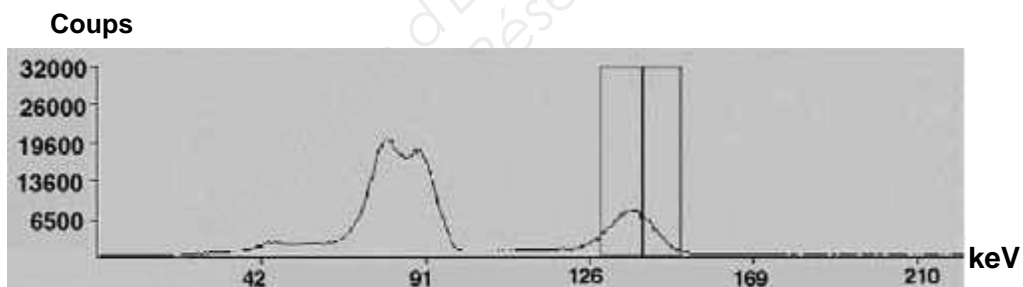
**Figure a :** Sans protection (Durée de la mesure = 20 s)



**Figure b :** Derrière un tablier de plomb d'une épaisseur de 0,5 mm (Durée de la mesure = 60 s)



**Figure c :** Derrière un tablier de plomb d'une épaisseur de 0,5 mm + un paravent de plomb d'une épaisseur de 2 mm (Durée de la mesure = 16 min)



	Sans protection	Avec tablier	Avec tablier + paravent
Nombre de coups à 143 keV		23 000	8500
Durée de la mesure (en min)		1	16
Activité mesurée (cpm)			