Amérique du Nord 2009 **EXERCICE I : LE HOCKEY SUR GAZON (5 POINTS)**

Pratiqué depuis l'Antiquité sous le nom de « jeu de crosses », le hockey sur gazon est un sport olympique depuis 1908. Il se pratique sur une pelouse naturelle ou synthétique, de dimensions quasi identiques à celles d'un terrain de football. Chaque joueur propulse la balle avec une crosse ; l'objectif étant de mettre la balle dans le but.
Dans cet exercice, on étudie le mouvement de la balle de centre d'inertie G et de masse m, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
Cette étude peut être décomposée en deux phases.

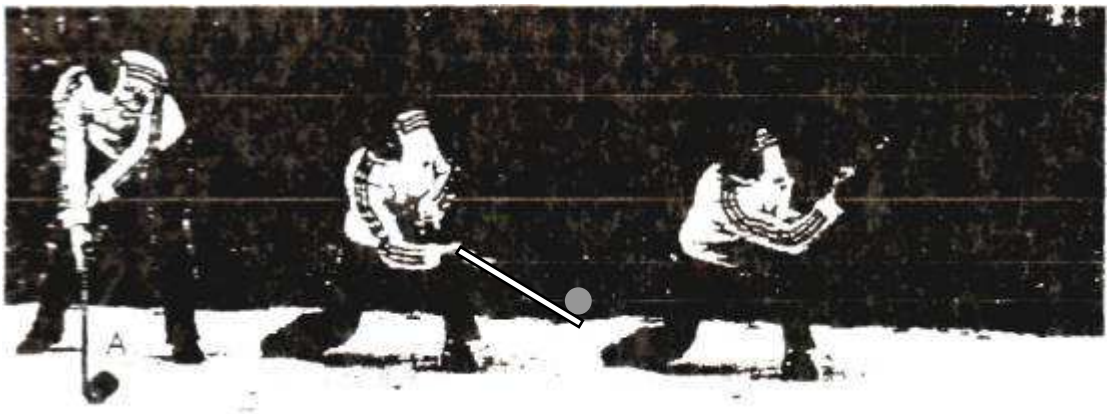


Figure 1 Figure 2 Figure 3

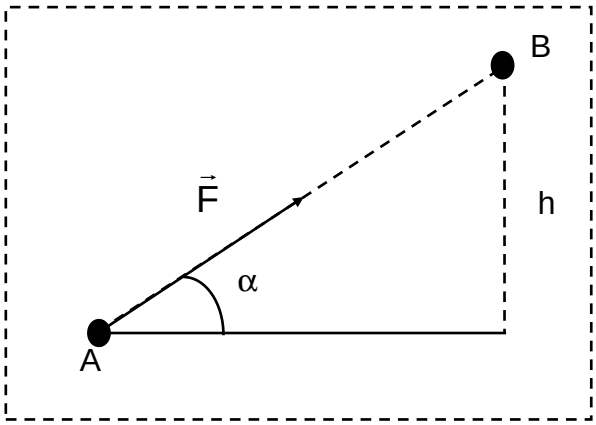


Figure 4

Les parties A, B et C sont indépendantes.

A - Première phase

Durant cette phase, on néglige toutes les actions liées à l'air ainsi que le poids de la balle.

1. *La première phase est illustrée par les figures* 1 *et* 2 *représentées sur la photographie ci-dessus et schématisée par la figure* 4.
Au point A, *la balle est immobile. Entre les points* A *et* B, *elle reste en contact avec la crosse. La force* $\vec{F}$ *exercée par la crosse sur la balle, supposée constante, est représentée sur la figure* 4. *Le segment* AB *représentant la trajectoire de la balle est incliné d'un angle* $\alpha = 30°$ *avec l'horizontale* .

   Données : - *masse de la balle :* m = 160 g
   - *intensité du champ de pesanteur :* g = 9,8 m.s^{-2}.

   1.1. Énoncer la deuxième loi de Newton et l'appliquer à la balle lors de son trajet entre A et B.

   1.2. Que peut-on dire de la nature du mouvement de la balle entre A et B ?

2. La force $\vec{F}$ s'exerce pendant une durée Δt = 0,11 s. La balle part du point A sans vitesse initiale et arrive en B avec une vitesse $\overrightarrow{v_B}$ telle que v_B =14 m.s^{-1}.

   2.1. Donner l'expression du vecteur accélération en fonction du vecteur vitesse.

   2.2. Calculer la valeur de l'accélération du centre d'inertie de la balle entre les points A et B.

3. En utilisant les résultats obtenus en 1.1.2, calculer l'intensité de la force exercée sur la balle par la crosse. L'hypothèse concernant le poids de la balle est-elle justifiée ?

B - Deuxième phase

Au point B, *la balle quitte la crosse à la date t = 0 avec le vecteur vitesse* $\overrightarrow{v_B}$ *contenu dans le plan (xOz) ; c'est la deuxième phase du mouvement correspondant à la figure 3 de la photographie.*
On néglige toutes les actions liées à l'air.
On étudie le mouvement du centre d'inertie G de la balle dans le champ de pesanteur supposé uniforme.
Le système d'axes utilisé est représenté sur le schéma ci-dessous : l'axe Ox *est horizontal dirigé vers la droite et* Oz *est vertical et dirigé vers le haut. L'origine des axes est située à la verticale du point B telle que* OB = h = 0,40 m.



1. Trajectoire de la balle.

1.1. Donner l'expression des coordonnées v_{Bx} et v_{Bz} du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_B}$ de la balle à l'instant t = 0 s, en fonction de v_B et de α.

1.2 Donner l'expression des coordonnées x_B et z_B du vecteur $\overrightarrow{OB}$ de la balle au point B.

1.3. En appliquant la deuxième loi de Newton, on obtient les équations horaires suivantes :

$$\overrightarrow{a_G}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_z = -g \end{cases} \qquad \vec{v}\begin{cases} v_x = v_B.\cos\alpha \\ v_z = v_B.\sin\alpha - gt \end{cases}$$

Montrer que la valeur v_S de la vitesse de la balle au sommet S de la trajectoire est $v_S = 12\ m.s^{-1}$.

1.4. Montrer que les coordonnées du vecteur position $\overrightarrow{OG}$ du centre d'inertie de la balle sont les suivantes :

$$\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = (v_B.\cos\alpha)t \\ z = h + (v_B.\sin\alpha)t - \frac{1}{2}g.t^2 \end{cases}$$

1.5. En déduire l'équation de la trajectoire de la balle.

2. La ligne de but est située à une distance d = 15 m du point O. La hauteur du but est L = 2,14 m. On néglige le diamètre de la balle devant la hauteur du but.

2.1. Quelles conditions doivent satisfaire x et z pour que le but soit marqué ?

2.2. Vérifier que ces conditions sont bien réalisées.

C - Étude énergétique

Le même tir est réalisé du milieu du terrain à une distance du but supérieure à 15 m.
On rappelle les valeurs suivantes ; OB = h = 0,40 m ; v_B = 14 m.s^{-1} *; vitesse au sommet S de la trajectoire :* v_S = 12 m.s^{-1}.

L'énergie potentielle de pesanteur Ep(0) *est choisie nulle à l'altitude z = 0.*

1. Donner l'expression littérale de l'énergie potentielle de pesanteur E_P puis celle de l'énergie mécanique E_M de la balle en fonction de g, m, v et z.

2. Calculer l'énergie mécanique E_M(B) de la balle au point B.

3. Toutes les actions de l'air sont négligées.

   3.1. Que peut-on dire de la valeur de l'énergie mécanique E_M de la balle au cours de son mouvement ?

   3.2. Exprimer l'altitude maximale z_{max} que pourrait atteindre la balle au point S dans ces conditions, en fonction de E_M, v_S, m et g.
   Calculer la valeur de z_{max}.

EXERCICE II : POURQUOI CUISINER DANS DES CASSEROLES EN CUIVRE ? (7 POINTS)

Les casseroles en cuivre semblent un luxe. En sont-elles vraiment ? La chose n'est pas certaine, car le cuivre conduit très bien la chaleur : tout excès de chaleur, en un point de la casserole, est rapidement dissipé parce que la chaleur se propage rapidement vers le reste de l'ustensile…
Pour éviter le contact toxique du vert de gris, on doit toutefois recouvrir les ustensiles en cuivre d'étain pur, aujourd'hui par électrolyse.

D'après Hervé This, les secrets de la casserole

C'est par oxydation que le cuivre se recouvre de « vert de gris ». La couche obtenue donne un aspect particulier aux statues, mais elle est constituée d'un sel d'un sel soluble qui est toxique.
L'électrolyse du cuivre consiste dans ce cas à déposer une fine couche d'étain sur toute la surface du récipient. Ce procédé est appelé étamage. L'électrolyte est constitué de sulfate d'étain, $Sn^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ *et de différents additifs. Le récipient à étamer constitue une électrode, l'autre étant de l'étain* $Sn_{(s)}$ *pur.*

Données :
Masse molaire de l'étain : $M(Sn) = 119\ g.mol^{-1}$
Constante de Faraday : $F = 9{,}65.10^4\ C.mol^{-1}$
L'étain appartient au couple : $Sn^{2+}_{(aq)}/Sn_{(s)}$

Partie A : Étamage d'une casserole

1. On considère le schéma du montage représenté en **annexe à rendre avec la copie**.

1.1. Indiquer sur ce schéma le sens du courant électrique dans le circuit ainsi que le sens de circulation des porteurs de charge dans les conducteurs métalliques et dans la solution.

1.2. L'électrolyse est-elle une transformation spontanée ? Justifier la réponse.

2. On étudie les réactions aux électrodes en considérant que le solvant n'intervient pas.

2.1. La réaction se produisant à l'électrode A reliée à la borne négative du générateur est-elle une oxydation ou une réduction ? Justifier. En déduire le nom de chaque électrode.

2.2. Écrire l'équation de la réaction ayant lieu à l'électrode A.
Le récipient à recouvrir doit-il constituer cette électrode ? Justifier.

2.3. Écrire l'équation de la réaction ayant lieu à l'autre électrode (B).

2.4. En déduire l'équation de la réaction globale de cette électrolyse.
Comment évolue la concentration en ions étain $Sn^{2+}_{(aq)}$ dans la solution au cours de la réaction ?

3. L'intensité du courant électrique est maintenue constante pendant toute la durée Δt de l'électrolyse et vaut I = 0,250 A.

3.1. Donner l'expression de la quantité d'électricité Q qui a traversé le circuit au cours de l'électrolyse.

3.2. En s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement, établir la relation entre la quantité d'électrons $n(e^-)$ échangée et la quantité d'étain déposé sur le récipient.

3.3. Donner la relation entre la quantité d'électricité Q et la quantité d'électrons $n(e^-)$ échangés aux électrodes.

3.4. Montrer alors que la durée de l'électrolyse peut être exprimée, en fonction de la masse m_{Sn} déposée, par la relation $\Delta t = \dfrac{2.m_{Sn}.F}{I.M_{sn}}$

4. On veut étamer une casserole cylindrique, de diamètre D = 15 cm, de hauteur H = 7,0 cm, et d'épaisseur négligeable. Le dépôt d'étain doit être réalisé sur les faces interne et externe et sur une épaisseur e = 20 µm.
Le volume d'étain nécessaire pour le dépôt est donné par la relation V = S e avec $S = \dfrac{\pi D^2}{2} + 2\,\pi\,D\,H$.

4.1. Calculer la valeur de V en cm^3.

4.2. La masse volumique de l'étain est ρ = 7,30 $g.cm^{-3}$. Calculer la masse d'étain nécessaire.

4.3. À l'aide de l'expression donnée en 3.4, calculer la durée minimale de l'électrolyse pour réaliser ce dépôt.

PARTIE B : Pourquoi ne pas utiliser un autre métal ?

1. Le cuivre est cher et l'électrolyse est un procédé coûteux. Le fer, par exemple, est beaucoup moins onéreux mais il rouille. La rouille apparaissant sur le fer est le résultat d'une réaction d'oxydoréduction. Les couples oxydant-réducteur en présence sont $(Fe_2O_3,H_2O)_{(s)}$ / $Fe_{(s)}$ et $O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$.

On donne la demi-équation électronique associée au premier couple :

$$2Fe_{(s)} + 4H_2O_{(l)} = (Fe_2O_3,H_2O)_{(s)} + 6H^+ + 6e^-$$

1.1. Donner la demi-équation électronique associée au second couple $(O_{2(g)}/H_2O_{(l)})$.

1.2. En déduire l'équation de la réaction globale de la formation de la rouille.

1.3. *Pour éviter la formation de rouille, on peut utiliser des alliages particuliers dits inoxydables, comme l'acier inox. On peut aussi protéger le fer par des vernis, des peintures ou des traitements de surface. Mais le procédé le plus répandu est l'étamage de l'acier. On obtient ainsi du fer blanc utilisé pour les boîtes de conserves et les canettes de boisson par exemple.*

Par analogie avec l'étamage du cuivre, proposer un schéma d'électrolyse d'une boîte de conserve, en disposant les électrodes de façon à ce que le dépôt d'étain se fasse de façon uniforme sur la face interne de la boîte.

2. L'aluminium est aussi utilisable en cuisine, mais il est très réactif vis-à-vis des acides et des bases.

2.1. Définir un acide selon Brønsted.

2.2. Écrire la réaction d'un acide $AH_{(aq)}$ avec l'eau.

2.3. Le pH d'un jus d'orange vaut $pH_1 = 3,0$. En déduire la concentration en ions oxonium $H_3O^+_{(aq)}$ dans ce jus.

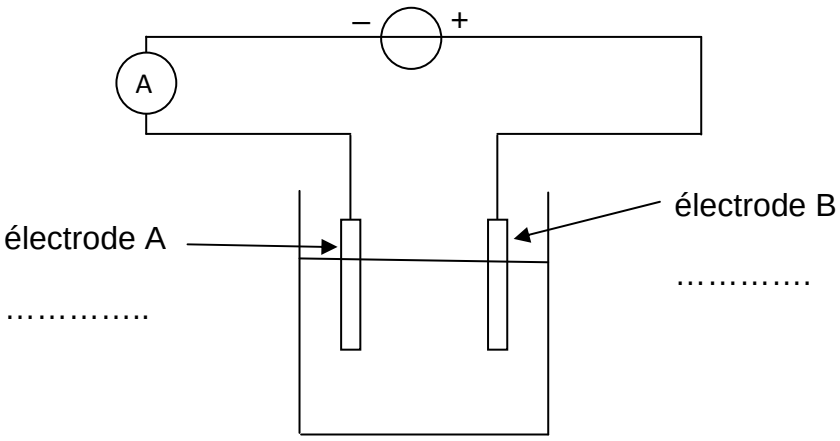
2.4. On mesure le pH d'un lait dans les mêmes conditions On trouve $pH_2 = 6,7$.
Pour lequel de ces deux ingrédients l'aluminium est-il théoriquement le moins recommandé ?

Remarque : en réalité l'aluminium est naturellement protégé de l'attaque des acides et des bases par recouvrement d'une couche d'oxyde appelé l'alumine.

ANNEXE à rendre avec la copie

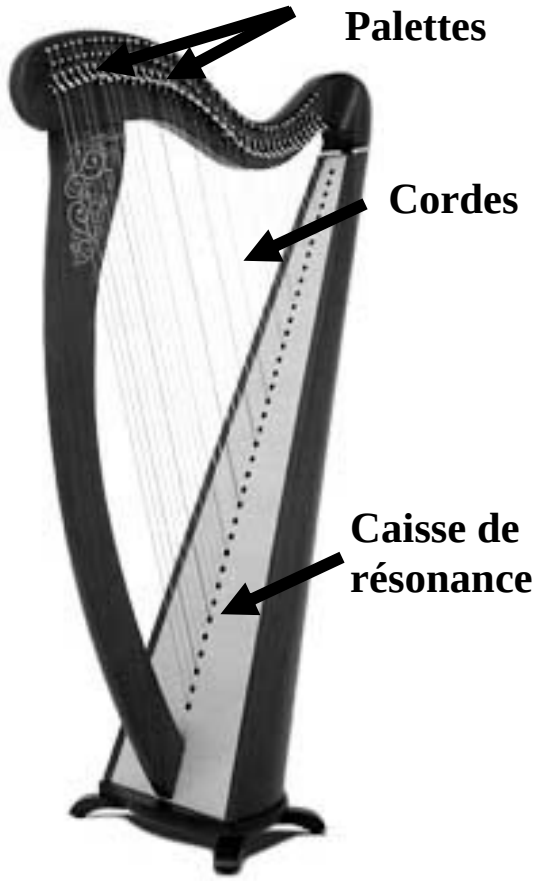
EXERCICE II :

Question 1



Amérique du nord 2009 EXERCICE III : LA HARPE CELTIQUE (4 POINTS)

La harpe est un instrument triangulaire à cordes pincées. La harpe celtique est munie de 32 à 38 cordes de longueurs variables. Des chevilles, non visibles sur la photographie, permettent de tendre plus ou moins les cordes et ainsi d'accorder la harpe. En soulevant les palettes (en position basse sur la photographie), on raccourcit de quelques centimètres la longueur de chaque corde ce qui permet d'obtenir des notes altérées (dièses, bémols).



Données :

notes	*la_1*	*la_3*
Fréquences (Hz)	*110*	*440*

Relation entre la célérité v *de l'onde sur la corde, la tension* T *de la corde, et la masse linéique* μ *de cette corde :* $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, *avec* T *en N et* μ *en* $kg.m^{-1}$.

1. Émission d'un son
   1.1. Quelles sont les deux fonctions que doit remplir un instrument de musique pour produire un son ?
   1.2. Parmi les différents éléments qui constituent la harpe, quels sont ceux qui assurent ces fonctions ?

2. On considère la corde « la_3 » de longueur L = 72 cm. Lorsque l'on pince la corde, elle vibre suivant ses différents modes propres de vibration.

   2.1. Représenter l'allure de la corde lorsqu'elle vibre dans le mode fondamental.

   2.2. En déduire, pour ce mode, la relation entre la longueur L de la corde et la longueur d'onde λ.

   2.3. Établir la relation liant la fréquence f du fondamental et la célérité v de l'onde sur la corde.

   2.4. En déduire la valeur de la célérité de l'onde se propageant sur la corde.

   2.5. Quelle devrait être la longueur L_1 d'une corde de même nature que la précédente et utilisée dans les mêmes conditions pour émettre le son « la_1 » ? Une telle longueur est-elle envisageable ?

   2.6. Sur quels paramètres est-il possible d'agir et dans quels sens pour obtenir le son « la_1 », avec une corde de longueur proche de 72 cm ?

   2.7. Si le musicien soulève la palette de l'une des cordes, le son émis par cette corde sera-t-il plus grave ou plus aigu ? Justifier.

3. Le musicien joue un « do_2 ». On analyse le son émis et on obtient le spectre n°1 figurant page suivante.

   3.1. Quelle est la hauteur du son émis ?

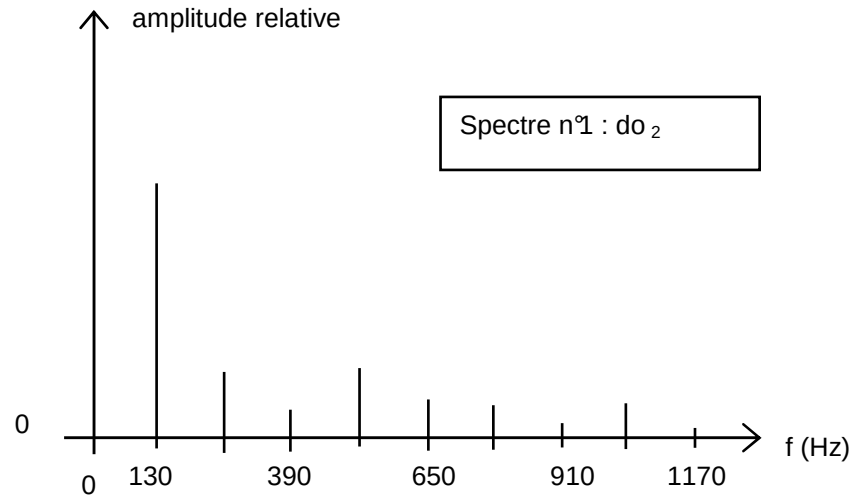
   3.2. À quoi correspondent les différentes fréquences obtenues ? Par quelle(s) relation(s) sont-elles liées ?

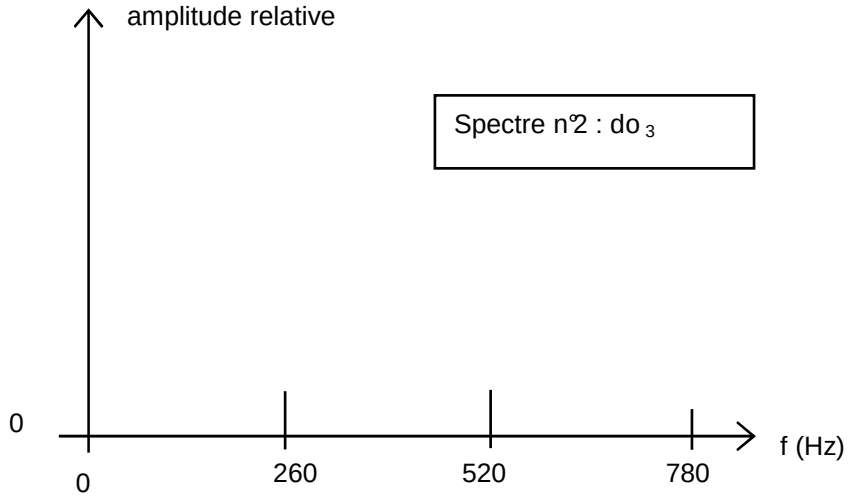
4. *Lorsque le musicien joue deux notes simultanément, l'effet produit à l'oreille dépend de l'intervalle entre les deux notes jouées. On appelle intervalles consonants, ou consonances, les intervalles agréables à l'oreille, et intervalles dissonants, ou dissonances, ceux pour lesquels l'impression est plus ou moins désagréables. L'effet de consonance de deux notes peut s'expliquer par le recouvrement plus ou moins important des harmoniques de chacune d'elles, autrement dit, les deux notes doivent avoir des harmoniques en commun.*

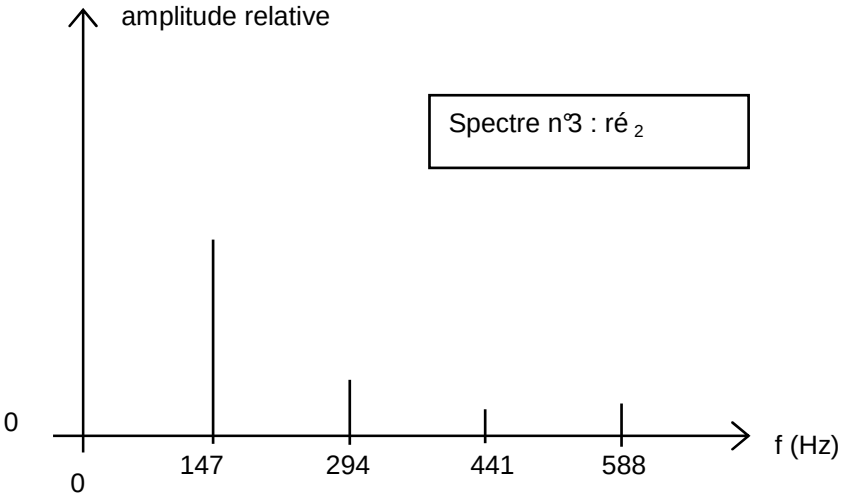
   4.1. Choisir parmi les deux ensembles de notes proposés, do_2-do_3 ou do_2-$ré_2$, celui que doit jouer le musicien pour obtenir un intervalle consonant. On s'appuiera sur les spectres de fréquences donnés page suivante et on justifiera la réponse.

   4.2. On rappelle que le niveau sonore en décibels est défini par la relation $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$, où I est l'intensité sonore et I_0 l'intensité sonore de référence. Si deux notes sont jouées simultanément avec la même intensité sonore, le niveau sonore doublera-t-il ?

Spectres de fréquence







Amérique du nord 2009 **EXERCICE III : LE PLUTONIUM (4 POINTS)**

En consultant l'encyclopédie Universalis on constitue la carte d'identité du plutonium fournie ci-dessous :

Description : *métal lourd artificiel*
Isotopes : *quinze isotopes dont plutonium 238, 239 et 241*
Production : *irradiation de l'uranium 238*
Utilisation : *plutonium 239 : composant de têtes nucléaires et de combustibles Mox ; plutonium 238 : source de neutrons et de chaleur*
Radioactivité : *émetteur de particules alpha et rayonnement gamma faible, sauf plutonium 241 émetteur bêta*
Commentaire : *plutonium 239 et 241 sont des matières fissiles…*

Données : 1 MeV = $1{,}6022.10^{-13}$ J ;
1 u = $1{,}66043.10^{-27}$ kg ;
c = $2{,}9979.10^{8}$ m.s^{-1}.

Extrait de la classification périodique :

$_{92}$U	$_{93}$Np	$_{94}$Pu	$_{95}$Am	$_{96}$Cm
Uranium	Neptunium	Plutonium	Américium	Curium

Masse atomique de quelques noyaux :

Noyau	$^{102}_{42}$Mo	$^{135}_{52}$Te	$^{239}_{94}$Pu	$^{1}_{0}$n
Masse (en u)	101,9103	134,9167	239,0530	1,0089

1. À partir de la carte d'identité du plutonium, répondre aux questions suivantes.

1.1. Le numéro atomique de l'élément chimique plutonium étant Z = 94, donner la composition des noyaux de plutonium 238 et 239.

1.2. Définir l'isotopie.

1.3. Quelle est la nature d'une « particule alpha » ?

1.4. En utilisant l'extrait de la classification périodique et en précisant les lois de conservation utilisées, écrire l'équation de la désintégration du noyau de plutonium 238 lorsque le noyau fils est émis dans un état excité.

1.5. Pourquoi y a-t-il émission d'un rayonnement gamma ?

1.6. De quelle réaction parle-t-on dans le commentaire de la carte d'identité ci-dessus ? La définir.

2. L'équation (1) de la réaction du plutonium 239 sous l'impact d'un neutron est :

$$^{239}_{94}Pu + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{135}_{52}Te + ^{102}_{42}Mo + 3\,^{1}_{0}n \quad (1)$$

2.1. Donner l'expression de la perte de masse du système au cours de cette réaction.
Calculer sa valeur en kilogramme.

2.2. Donner l'expression de l'énergie libérée par l'action d'un neutron sur un noyau de plutonium. Calculer sa valeur en MeV.

3. On donne les énergies de liaison des noyaux suivants :

noyaux	$^{239}_{94}Pu$	$^{135}_{52}Te$	$^{102}_{42}Mo$
Énergie de liaison (en MeV)	$1{,}79.10^{3}$	$1{,}12.10^{3}$	$8{,}64.10^{2}$

3.1. À partir des énergies de liaison de ces trois noyaux, donner l'expression de l'énergie libérée lors de la réaction (1). Calculer cette énergie et comparer le résultat à la valeur trouvée en 2.2.

3.2. Calculer l'énergie de liaison par nucléon de chacun des noyaux. Comparer la stabilité de ces trois noyaux.

3.3. À l'aide de ces résultats, donner et justifier le bilan énergétique de la réaction (1).