

Devoir de synthèse n°2

Section : Sciences Expérimentales
Epreuve : Sciences physiques

coefficient : 4

Durée : 3heures
Prof : Ramzi Rebai

Chimie : (9pts)

Exercice n°1 : (5pts)

A 25°C, on réalise la pile dont le symbole est le suivant : $\text{Sn} | \text{Sn}^{2+} (C_1) || \text{Pb}^{2+} (C_2) | \text{Pb}$ dont sa f.e.m normale est $E^\circ = 0,01\text{V}$.

- 1) a) Faire le schéma de la pile.
 - b) Préciser le rôle de pont salin .Peut-on le remplacer par un fil métallique ?
 - c) Ecrire l'équation de la réaction de cette pile.
- 2) a) Calculer la constante d'équilibre relative à la réaction associée.
 - b) En déduire une comparaison de pouvoir réducteur de deux couples redox de la pile.
 - c) Calculer la f.e.m normale $E^\circ (\text{Pb}^{2+} / \text{Pb})$ sachant que $E^\circ (\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}) = - 0,14\text{V}$.
- 3) a) Donner l'expression de la f.e.m initiale E_i de la pile en fonction C_1 et C_2 .
 - b) En déduire son expression en fonction de π (rapport de concentration initiale) et la constante d'équilibre K .
 - c) Etablir la relation entre C_1 et C_2 pour obtenir un dépôt de plomb.
- 4) On choisi $C_1 = 10^{-2}\text{mol.L}^{-1}$, $C_2 = 10^{-1}\text{mol.L}^{-1}$, $V_1 = 80\text{mL}$ et $V_2 = 60\text{ mL}$ (les volumes de deux compartiments).
 - a) Déterminer le sens de la réaction possible spontanément.
 - b) Sachant que le pont salin est imbibé par une solution de chlorure de potassium (K^+ ; Cl^-) préciser en le justifiant le sens de migration de chaque ion lorsque la pile débite.
 - c) Déterminer les concentrations C_1' et C_2' respectivement de Sn^{2+} et Pb^{2+} lorsque la pile et usée.

Exercice n°2 : (4pts)

Pour comparer les pouvoirs oxydants de deux couples $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$ et $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$, on peut utiliser leurs potentiels normales respectivement E°_1 et E°_2 .

- 1) Définir le potentiel normal d'un couple redox.
- 2) a) Donner le symbole de la pile qui permet de mesurer expérimentalement le potentiel normale d'un couple redox M^{2+} / M .
 - b) Représenter le schéma de cette pile avec toutes les précisions.
 - c) Ecrire l'équation associée à cette pile.
 - d) Montrer que la f.e.m de cette pile E_i est égale à $E^\circ (\text{M}^{2+} / \text{M})$.
- 3) Pour chacun des couples $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$ et $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$, on trouve respectivement $E_{i1} = - 0,76\text{V}$ et $E_{i2} = + 0,34\text{ V}$.
 - a) En déduire les valeurs de E°_1 et E°_2 .
 - b) Comparer, en le justifiant, leurs pouvoirs oxydants.
 - c) Dans un bécher contenant une solution d'acide chlorhydrique concentrée on introduit deux lames de cuivre et de Zinc, Préciser ce que l'on observe et écrire l'équation de la réaction qui se produit spontanément.

Physique : (11pts)

Exercice n°1 : (4pts)

On donne :

$$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}; 1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}; C = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Spectre de la lumière visible :

Couleur	violet	indigo	bleu	vert	jaune	orangé	rouge
$\lambda(\text{nm})$	400-430	430-460	460-490	490-560	560-580	580-620	620-700

L'atome d'hydrogène est constitué d'un proton et un électron, les niveaux d'énergie (en eV) de cet atome sont donnés par la relation : $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ Avec $E_0 = 13,6\text{eV}$ et n entier naturel non nul.

1) a) Définir l'état fondamental de l'atome d'hydrogène et préciser sa valeur.

b) Calculer les valeurs d'énergie des cinq premiers états excités.

c) Représenter le digramme d'énergie de l'atome d'hydrogène à l'échelle sur la feuille annexe.

2) On s'intéresse au retour de l'atome d'hydrogène de niveau n ($n > 2$) vers le niveau d'énergie E_2 . Un ensemble de transitions se produisent de longueurs d'onde λ_n .

a) Préciser le nom de cet ensemble de transitions.

b) Etablir l'expression de λ_n en fonction de E_0 , h, C et n.

c) Déterminer les valeurs limites λ_{max} et λ_{min} des radiations émises lors de ces transitions.

d) Compléter le tableau de la feuille annexe.

e) Représenter, sur la feuille annexe, le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène que l'on peut observer.

3) Un atome d'hydrogène, initialement dans son état fondamental, absorbe un photon de fréquence $\nu = 2,92 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

a) Déterminer, en eV, la valeur de W de la variation d'énergie correspondante.

b) En déduire la valeur du nombre n qui caractérise le niveau dans lequel se trouve l'atome après l'absorption de ce photon d'énergie.

4) a) Définir l'énergie d'ionisation de l'atome.

b) Déterminer la fréquence minimale ν_{min} du photon que doit absorber l'atome d'hydrogène pris dans son état fondamental pour qu'il s'ionise.

c) Donner le symbole de l'ion obtenu.

Exercice n°2 : (4,5pts)

On donne :

$$1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{C}^{-2}$$

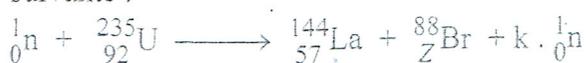
Masse de proton $m_p = 1,0073\text{u}$

Masse de neutron $m_n = 1,0087\text{u}$

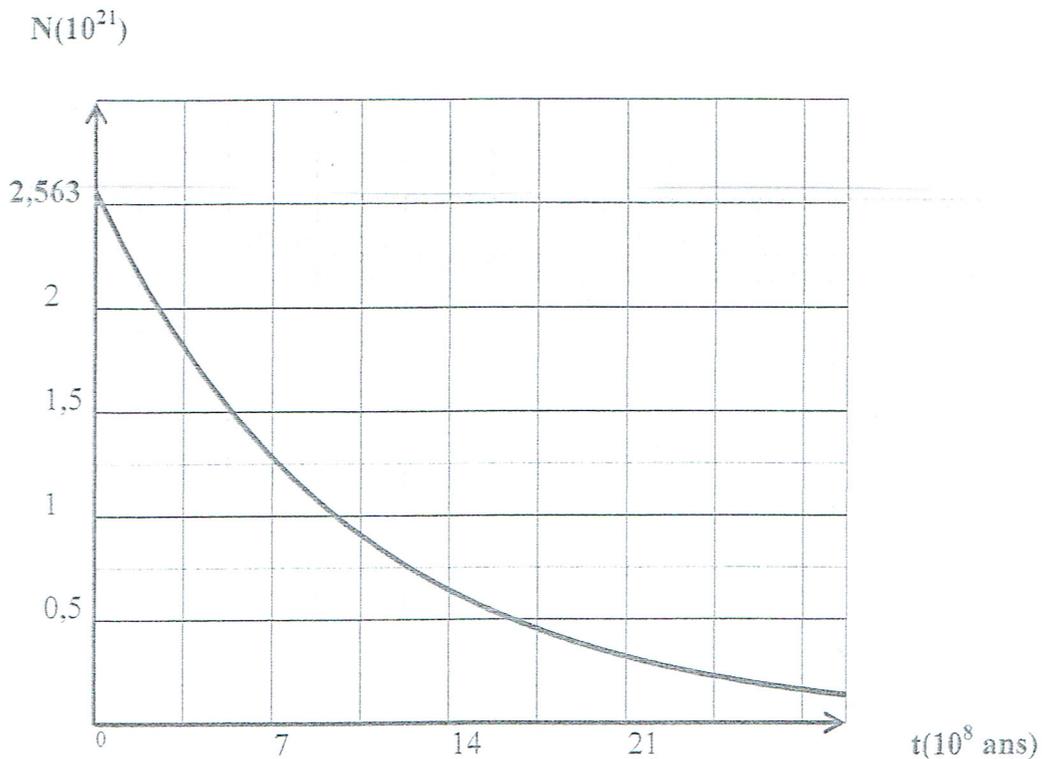
Masse de noyau d'uranium 235 : $m({}_{92}^{235}\text{U}) = 235,0134\text{u}$

Energie de liaison par nucléon : $E_{\text{VA}}({}_{57}^{144}\text{La}) = 8,28 \text{ MeV}$; $E_{\text{VA}}({}_{35}^{88}\text{Br}) = 8,56 \text{ MeV}$.

Dans une centrale nucléaire, les noyaux d'uranium ${}_{92}^{235}\text{U}$ subissent la fission sous le choc d'un neutron lent. Un des nombreux processus possibles conduit à la formation d'un noyau de Lanthane ${}_{57}^{144}\text{La}$, d'un noyau de brome ${}_{35}^{88}\text{Br}$ et de plusieurs neutrons selon la transformation suivante :



- 1) Déterminer, en précisant les lois de conservations, Z et k.
- 2) a) Définir l'énergie de liaison d'un noyau.
 b) Calculer sa valeur pour le noyau ${}_{92}^{235}\text{U}$.
 c) Comparer la stabilité de ${}_{92}^{235}\text{U}$ aux noyaux ${}_{57}^{144}\text{La}$ et ${}_{Z}^{88}\text{Br}$. Ce résultat est-il prévisible sans faire de calcul ? Justifier la réponse.
- 3) a) Exprimer, sans démonstration, l'énergie libérée par la fission d'un noyau de ${}_{92}^{235}\text{U}$ en fonction des énergies de liaison du noyau père et des noyaux fils. Calculer sa valeur.
 b) En déduire la valeur de l'énergie libérée par la fission d'un échantillon de masse $m_0 = 1\text{g}$ de ${}_{92}^{235}\text{U}$.
- 4) La courbe de décroissance radioactive de ${}_{92}^{235}\text{U}$ lors de cette fission est la suivante :



- a) Etablir la loi de décroissance radioactive pour le noyau ${}_{92}^{235}\text{U}$.
- b) Définir la période radioactive T et établir son expression en fonction de la constante radioactive λ .
- c) Déterminer les valeurs de N_0 , T et λ .
- d) Après une durée $t = n T$, montrer que le nombre de noyaux restant est $N = \frac{N_0}{2^n}$.
- e) En déduire le temps t_1 pour lequel le nombre de noyaux désintégrés est $N_d = 2,243 \cdot 10^{21}$ noyaux.
- f) Déterminer la valeur de l'activité de ${}_{92}^{235}\text{U}$ initiale A_0 et celle à t_1 .
- g) Etablir l'expression de $\ln A$ en fonction de λ , t et A_0 . Représenter la courbe $\ln(A) = f(t)$ sur la feuille annexe.

Exercice documentaire : (2,5pts)

Lorsqu'un neutron percute le noyau de certains isotopes lourds, il existe une probabilité que le noyau percuté se scinde en deux noyaux plus légers. Cette réaction, qui porte le nom de fission nucléaire, se traduit par un dégagement d'énergie très important (de l'ordre de 200MeV par événement, à comparer aux énergies des réactions chimiques, de l'ordre de l'eV). Cette fission s'accompagne de l'émission de plusieurs neutrons qui, dans certaines conditions, percutent d'autres noyaux et provoquent ainsi une réaction en chaîne. Dans un réacteur nucléaire, cette réaction en chaîne se déroule à vitesse lente et contrôlée. Dans une bombe, elle se propage si rapidement qu'elle conduit à une réaction explosive. L'importance de l'énergie émise dans la fission provient du fait que l'énergie de liaison par nucléon du noyau initial est plus faible que celle des noyaux produits. La plus grande partie de l'énergie se trouve sous forme d'énergie cinétique des neutrons et des noyaux fils, énergie récupérée sous forme de chaleur dans les réacteurs.

Wikipédia
L'encyclopédie libre

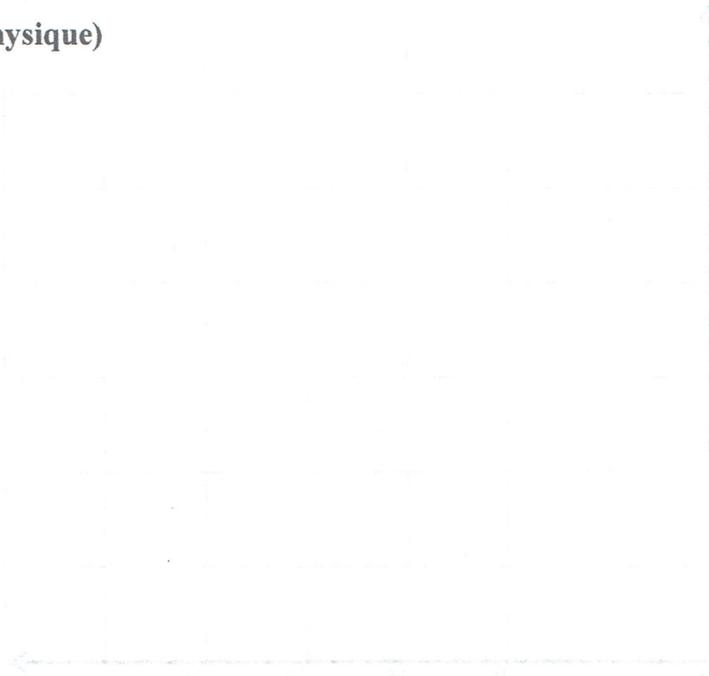
- 1) A partir du texte, donner la définition d'une réaction de fission.
- 2) Pourquoi la réaction de fission est utilisée pour la production d'électricité ?
- 3) La réaction de fission est-elle provoquée ou spontanée ? Justifier la réponse.
- 4) La fission est une réaction en chaîne. Expliquer ce caractère.
- 5) D'où vient l'importance de l'énergie émise dans la fission.

Feuille annexe à rendre

Nom :

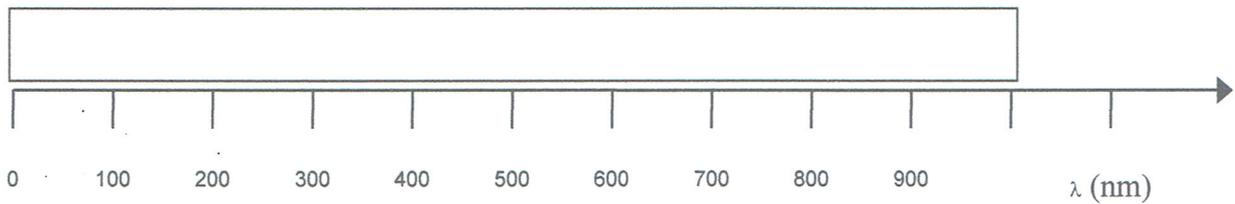
Prénom :

Exercice n°1 : (physique)



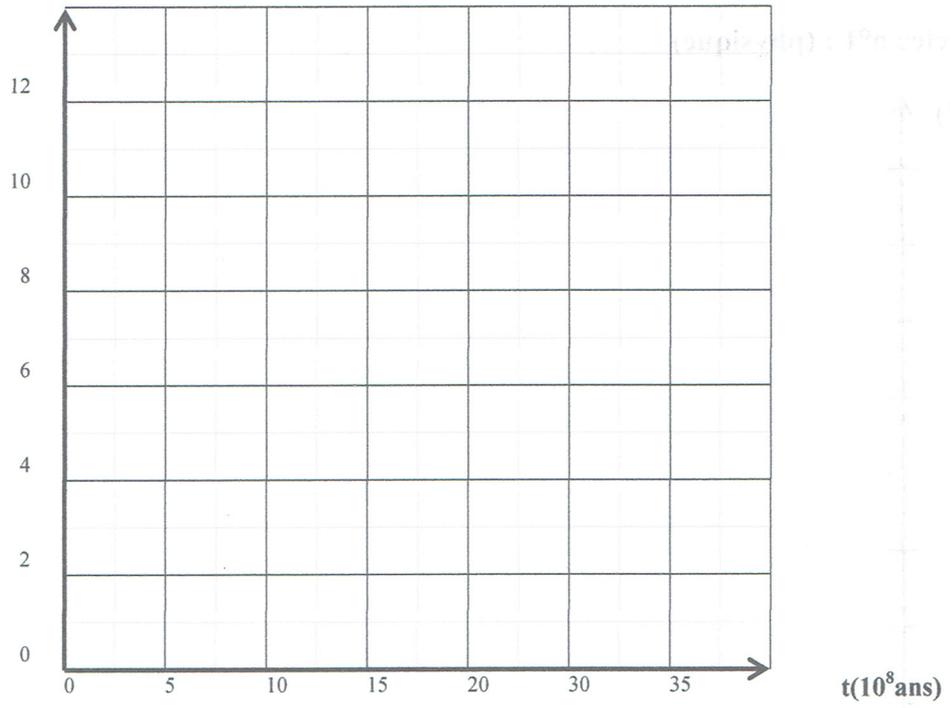
Transition	3-2	4-2	5-2	6-2
λ (nm)				
La couleur				

Spectre d'émission



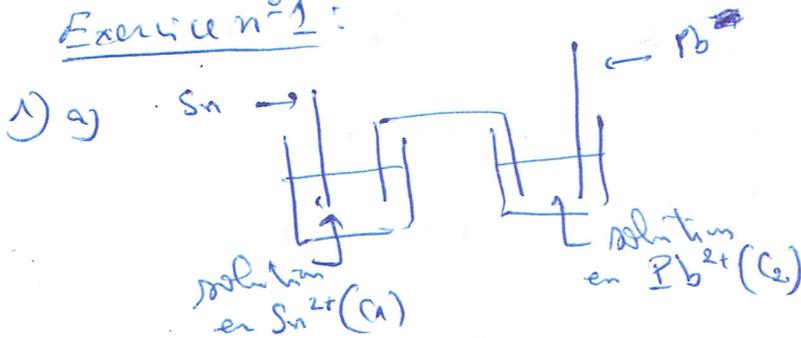
Exercice n°2 : (Physique)

Ln A



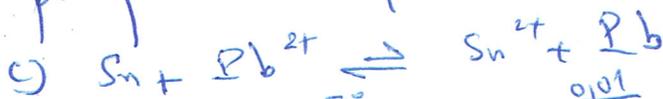
chimie

Exercice n°1:



b) Rôle de pont salin : - assure la fermeture de circuit
- assure l'électroneutralité des solutions

on ne peut pas le remplacer par un fil conducteur puisqu'il ne permet pas la migration des ions.



2) a)
$$K = 10^{\frac{E^\circ}{0,03}} = 10^{\frac{0,01}{0,03}} = 2,154$$

b) $K > 1$: Pb^{2+}/Pb est moins réducteur que Sn^{2+}/Sn

c)
$$E^\circ = E^\circ_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} - E^\circ_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}} \Rightarrow E^\circ_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} = E^\circ + E^\circ_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}$$

$$E^\circ_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} = 0,01 - 0,14 = -0,13 \text{ V}$$

3) a)
$$E_i = E^\circ - 0,03 \log\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$$

b)
$$\pi = \frac{C_1}{C_2} \text{ et } E^\circ = 0,03 \log K$$

$$\Rightarrow E_i = 0,03 (\log K - \log \pi) = 0,03 \log\left(\frac{K}{\pi}\right)$$

c) Pour obtenir un dépôt de Plomb : il faut que la réaction direct soit possible spontanément avec $E_i > 0$ alors $0,03 \log \frac{C_1}{C_2} < E^\circ$

$$\log \frac{C_1}{C_2} < \frac{E^\circ}{0,03}$$

c-à-d
$$\frac{C_1}{C_2} < 10^{\frac{E^\circ}{0,03}}$$

$$\boxed{\frac{C_1}{C_2} < 2,154}$$

0,15

0,25
0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,15

0,25

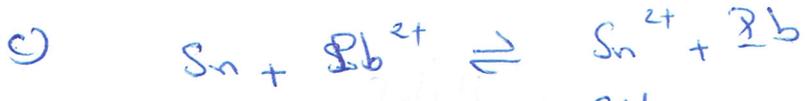
0,15

0,15

4) a) $E_j = 0,01 - 0,03 \log \frac{10^2}{10^1} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ V}$ 0,25

$E_j > 0$: La réaction direct est possible spontanément

b) Dans le pont salin les ions K^+ migrent vers le compartiment de plomb puisqu'il y a réduction de Pb^{2+} et les ions Cl^- migrent vers le compartiment d'étain puisqu'il y a oxydation de Sn en Sn^{2+} . 0,25



à t: $C_2 V_2$ $C_1 V_1$
 à l'f: $C_2 V_2 - x_f$ $C_1 V_1 + x_f$

$$K = \frac{[Sn^{2+}]_f}{[Pb^{2+}]_f} = \frac{\frac{C_1 V_1 + x_f}{V_1}}{\frac{C_2 V_2 - x_f}{V_2}} = \frac{V_2}{V_1} \frac{C_1 V_1 + x_f}{C_2 V_2 - x_f}$$

$$K \frac{V_1}{V_2} (C_2 V_2 - x_f) = C_1 V_1 + x_f \Rightarrow x_f \left(1 + K \frac{V_1}{V_2} \right) = (K C_2 - C_1) V_1$$

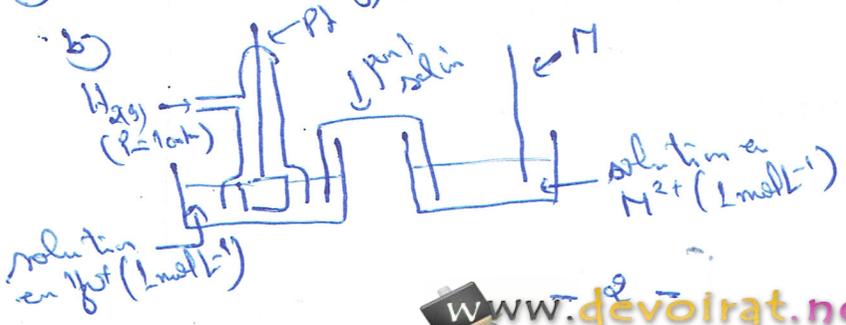
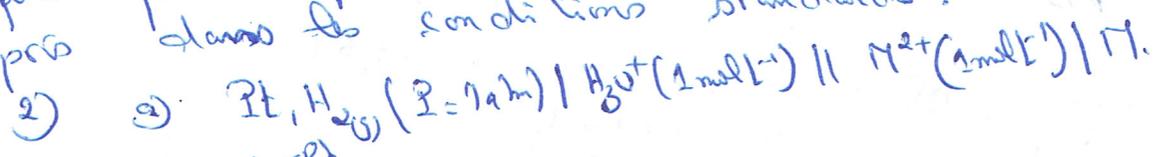
$$x_f = \frac{(K C_2 - C_1) \cdot V_1}{1 + K \cdot \frac{V_1}{V_2}} = \frac{(2,154 \cdot 0,1 - 0,01) \cdot 0,108}{1 + 2,154 \cdot \frac{0,108}{0,106}} = 4,24 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

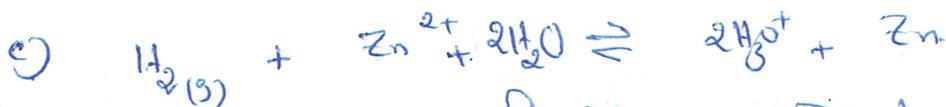
$$C_1 = [Sn^{2+}]_f = \frac{C_1 V_1 + x_f}{V_1} = C_1 + \frac{x_f}{V_1} = 0,01 + \frac{4,24 \cdot 10^{-3}}{80 \cdot 10^{-3}} = 0,063 \text{ mol l}^{-1}$$

$$C_2 = [Pb^{2+}]_f = \frac{C_2 V_2 - x_f}{V_2} = C_2 - \frac{x_f}{V_2} = 0,1 - \frac{4,24 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 10^{-3}} = 2,93 \cdot 10^{-3} \text{ mol l}^{-1}$$

Exercice n°2:

1) le potentiel normal d'un couple redox et la f.e.m de la pile formée par D'EN.H placée à gauche et la demi pile qui correspond au couple redox placée à droite dans les conditions standards. 0,5





d) $E_i = E^0 - 0,03 \log \pi$ or $\pi = 1$ dans les conditions standards
 donc $E_i = E^0 = E_{M^{2+}/M}^0 - E_{H_3O^+}/H_2$

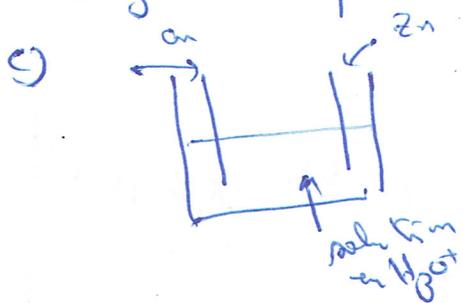
or $E_{H_3O^+}/H_2}^0 = 0V$ donc $E_i = E_{M^{2+}/M}^0$

$E_i = E^0$ (ox/red)

3) a) $E_1^0 = E_{Zn^{2+}/Zn}^0 = E_{i1} = -0,76V$

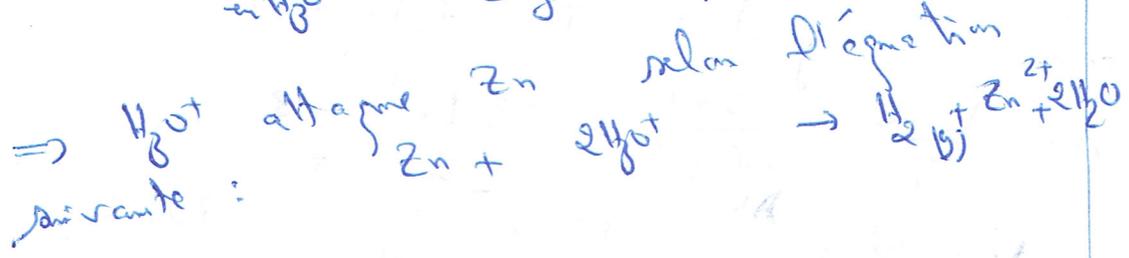
$E_2^0 = E_{Cu^{2+}/Cu}^0 = E_{i2} = +0,34V$

b) $E_{Cu^{2+}/Cu}^0 > E_{Zn^{2+}/Zn}^0$ donc Cu^{2+}/Cu est plus oxydant que Zn^{2+}/Zn .



$E^0(H_3O^+/H_2) = 0V$

donc H_3O^+ est plus oxydant et Zn est moins oxydant que Cu^{2+} .



Physique:

Exercice n°1:

a) l'état fondamental de l'atome d'hydrogène est le tel que l'énergie est la plus basse : $E_1 = -\frac{E_0}{1^2} = -E_0 = -13,6 eV$

b)

n	2	3	4	5	6
$E_n(eV)$	-3,4	-1,51	-0,85	-0,544	-0,377

c) diagramme d'énergie : voir feuille annexe.

d) c'est une série de transitions.
 a) $E_n - E_2 = \frac{hc}{\lambda_n} \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_n} = -\frac{E_0}{n^2} + \frac{E_0}{4} = E_0 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$
 b) $\lambda_n = \frac{hc}{E_0 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)}$

3) λ_{\min} correspond à $n = +\infty$ donc

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{E_0 \times \frac{1}{4}} = \frac{4hc}{E_0} = \frac{4 \times 6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$\lambda_{\min} = 365 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 365 \text{ nm}$$

λ_{\max} correspond à $n = 3$ donc $\lambda_{\max} = \frac{hc}{E_0 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right)}$

$$\lambda_{\max} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{13,6 \times 1,6 \times 10^{-19} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right)} = 657,1 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 657,1 \text{ nm}$$

d)

Transition	3-2	4-2	5-2	6-2
λ (nm)	657,1	486,76	434,6	410,7
la couleur	Rouge	Bleu	bleu-vert	violet

e)

a) $w = h\nu = 6,62 \cdot 10^{-34} \times 2,92 \cdot 10^{15} = 19,33 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$w = \frac{19,33 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 12,08125 \text{ eV}$$

b) $E_f = E_1 + w = -13,6 + 12,08125 = -1,51 \text{ eV} = E_3$

donc le niveau d'énergie d'énergie qui correspond

à $n = 3$.

4) a) c'est l'énergie minimale que l'on doit fournir à l'atome dans son état fondamental pour l'ioniser.

l'ioniser.

b) $w \geq E_i$

$$w_{\min} = E_0$$

alors $w_{\min} = E_i = E_{\infty} - E_1$

c'est-à-dire $h\nu_{\min} = E_0$

$$\nu_{\min} = \frac{E_0}{h} = \frac{13,6 \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,62 \cdot 10^{-34}} = 3,287 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

c) c'est l'ion hydrogène H^+ .

Exercice n°2 :

- 1) loi de conservation de nombre de masse :
 $236 = 144 + 88 + k \Rightarrow k = 236 - (144 + 88) = 4$
 loi de conservation de nombre de charge :
 $92 = 57 + Z \Rightarrow Z = 92 - 57 = 35$

2) a) l'énergie de liaison est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau ~~pour dans un état fondamental~~ au repos séparés et immobile pour le décomposer en ses nucléons.

b) $E_E(^{235}_{92}\text{U}) = [Z \cdot m_p + (A-Z)m_n - m(^{235}_{92}\text{U})] \cdot c^2$
 $= [92 \cdot 1,6726 + 143 \cdot 1,6749 - 235,0439] \cdot 931,5$
 $= 1771,99 \text{ MeV}$

c) $E_{E/A} (^{235}_{92}\text{U}) = \frac{E_E}{A} = 7,54 \text{ MeV}$
 $E_{E/A} (^{144}_{57}\text{La})$ et $E_{E/A} (^{88}_{35}\text{Br})$ sont plus grande que $E_{E/A} (^{235}_{92}\text{U})$
 \Rightarrow $^{144}_{57}\text{La}$ et $^{88}_{35}\text{Br}$ sont plus stable que $^{235}_{92}\text{U}$.
 ce résultat est prévisible puis que les noyaux fils sont plus stables que le noyau père.

3) a) $\Delta E = E_E(^{144}_{57}\text{La}) + E_E(^{88}_{35}\text{Br}) - E_E(^{235}_{92}\text{U})$
 $\Delta E = 144 \cdot 8,28 + 88 \cdot 8,56 - 1771,99 = 173,61 \text{ MeV}$

b) $\Delta E' = N_0 \cdot \Delta E$ avec $N_0 = \frac{m_0}{m(^{235}\text{U})}$
 $\Delta E' = \frac{m_0}{m(^{235}\text{U})} \cdot \Delta E = \frac{1}{235,0439 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}} \cdot 173,61$
 $\Delta E' = 4,45 \cdot 10^{23} \text{ MeV}$

4) a) $dN = -\lambda \cdot N \cdot dt \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$

ce qui donne $\ln N = -\lambda \cdot t + C$
 pour $t=0$: $N=N_0$ donc $C = \ln N_0$

$\Rightarrow \ln N = -\lambda t + \ln N_0 \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$

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

b) La période radioactive ou la demi-vie est la durée de temps au bout de laquelle la moitié de noyaux radioactifs initialement présents se désintègrent.

pour $t=T$ on $N = \frac{N_0}{2}$ alors $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$
 $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$ c.a.d. $-\ln 2 = -\lambda T$

donc $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

c) $N_0 = 2,563 \cdot 10^{21}$ noyaux

graphiquement pour $t=T$ on a : $N = \frac{N_0}{2} = 1,2815 \cdot 10^{21}$
 ce qui correspond à $T = 7 \cdot 10^3$ ans.

$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{7 \cdot 10^3} = 9,9 \cdot 10^{-10} \text{ ans}^{-1}$

d) $N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot n \cdot T} = N_0 e^{-n \ln 2}$
 $N = N_0 e^{-\ln(2^n)} = N_0 e^{\ln(\frac{1}{2^n})} = \frac{N_0}{2^n}$

e) pour t_1 : $N = N_0 - N_d = 2,563 \cdot 10^{21} - 2,243 \cdot 10^{21}$
 $= 0,32 \cdot 10^{21}$

alors $N = \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3} \Rightarrow t_1 = 3 \cdot T = 21 \cdot 10^3 \text{ ans.}$

f) $A = \lambda \cdot N$

à $t=0$: $A_0 = \lambda \cdot N_0 = \frac{9,9 \cdot 10^{-10}}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \times 2,563 \cdot 10^{21}$

$A_0 = 80459,47 \text{ Bq}$

$A = A_0 e^{-\lambda t_1} = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot 3T} = \frac{A_0}{2^3} = \frac{A_0}{8} = 10057,43 \text{ Bq}$

g) $A = A_0 e^{-\lambda t}$ donc $\ln A = -\lambda t + \ln A_0$ une application

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

0,25

Exercice documentaire :

- 1) La fission est une transformation nucléaire au cours de laquelle un noyau lourd se désintègre et libère d'un neutron en des noyaux plus légers.
- 2) c'est une réaction qui se traduit par un dégagement très important d'énergie.
- 3) lors de la fission les noyaux obtenus bombardent d'autres noyaux et ainsi de suite donc c'est une réaction en chaîne.
- 4) Dépendance de l'énergie émise dans la fission provient du fait que l'énergie de liaison par nucléon du noyau initial est plus faible que celle des noyaux produits.
- 5) c'est une réaction provoquée puisque le noyau père est bombardé par un neutron lent.

0,5

0,5

0,5

0,5

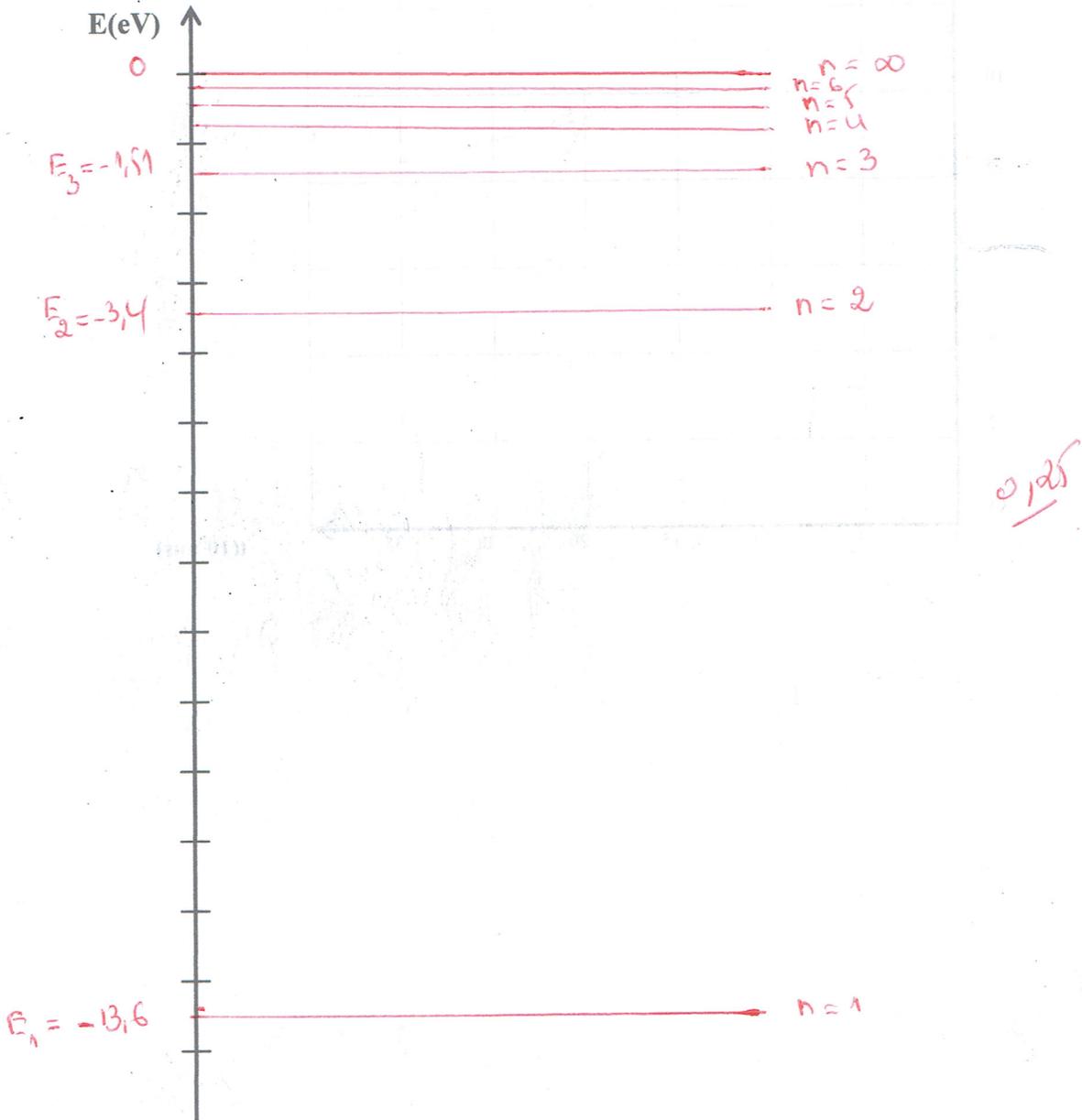
0,5

Feuille annexe à rendre

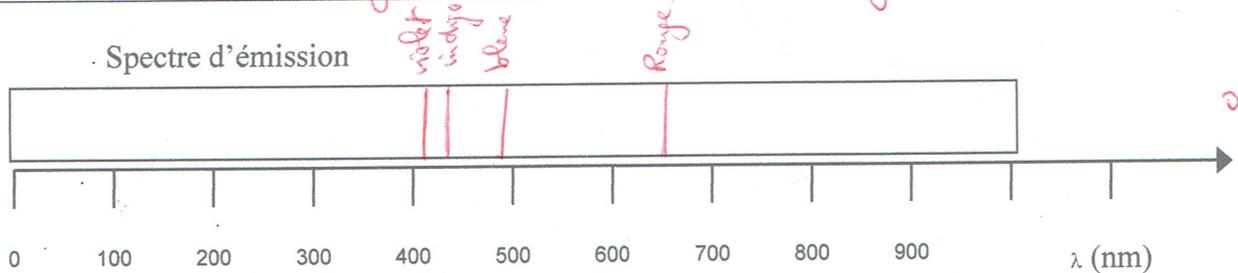
Nom :

Prénom :

Exercice n°1 : (physique)



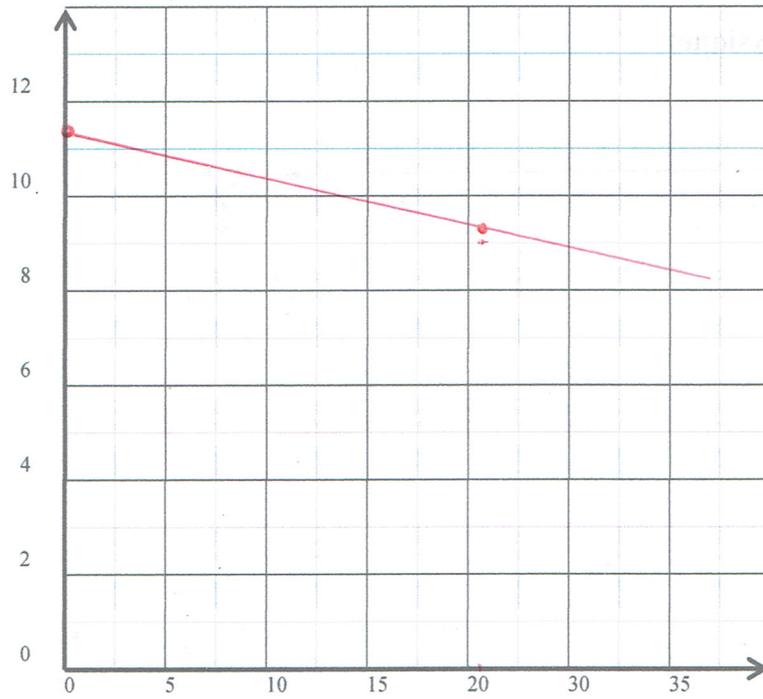
Transition	3-2	4-2	5-2	6-2
λ (nm)	657,1	486,76	434,6	410,7
La couleur	Rouge	bleu	indigo	violet



Exercice n°2 : (Physique)

Ln A

0,25



t(10⁸ans)