

Corrigé du bac blanc 2012 de sciences physiques (sujet obligatoire)

I. La double personnalité du nitrate d'ammonium:

1.a- Un acide, selon Brönsted, est une espèce chimique susceptible de libérer un ou plusieurs protons H^+

1.b- couple HNO_3 / NO_3^- $HNO_3 = NO_3^- + H^+$ couple H_3O^+ / H_2O $H_3O^+ = H_2O + H^+$
L'équation de la réaction de HNO_3 (acide) sur H_2O (base) est: $HNO_{3(aq)} + H_2O_l = NO_{3(aq)}^- + H_3O_{(aq)}^+$ (1)

1.c-

avancement	$HNO_{3(aq)}$	$+ H_2O_l$	$= NO_{3(aq)}^-$	$+ H_3O_{(aq)}^+$
0	$n_1 = C_1 \cdot V$	solvant	0	0
x_{f1}	$n_1 - x_{f1}$	solvant	x_{f1}	x_{f1}

x_{f1} représente l'avancement de la réaction lorsque l'équilibre est atteint ($pH = 3,0$).

A l'équilibre $n(H_3O^+) = x_{f1} = [H_3O^+] \cdot V$

Or $pH = 3,0$ et $[H_3O^+] = 10^{-pH}$, donc $[H_3O^+] = 10^{-3} \text{ mol/L}$

Le taux d'avancement de la réaction est donné par $\tau_1 = \frac{x_{f1}}{x_{max1}}$ avec x_{max1} tel que $n_1 - x_{max1} = 0$, donc $x_{max1} = n_1 = C_1 \cdot V$

Donc $\tau_1 = \frac{[H_3O^+] \cdot V}{C_1 \cdot V} = \frac{[H_3O^+]}{C_1} = \frac{10^{-3}}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 1$ donc la réaction est totale.

2.a- Une base, selon Brönsted, est une espèce chimique susceptible de capter un ou plusieurs protons H^+

2.b- couple NH_4^+ / NH_3 $NH_4^+ = NH_3 + H^+$ couple H_2O / HO^- $H_2O = HO^- + H^+$
L'équation de la réaction de NH_3 (base) sur H_2O (acide) est: $NH_{3(aq)} + H_2O_l = NH_{4(aq)}^+ + HO_{(aq)}^-$ (2)

2.c-

avancement	$NH_{3(aq)}$	$+ H_2O_l$	$= NH_{4(aq)}^+$	$+ HO_{(aq)}^-$
0	$n_2 = C_2 \cdot V$	solvant	0	0
x_{f2}	$n_2 - x_{f2}$	solvant	x_{f2}	x_{f2}

Les espèces ioniques présentes en solution sont NH_4^+ et HO^- . D'après le tableau d'avancement, elles sont en quantités égales, donc leurs concentrations molaires sont égales.

La conductivité de la solution est donnée par: $\sigma = \lambda(NH_4^+) [NH_4^+] + \lambda(HO^-) [HO^-]$

Or $[NH_4^+] = [HO^-]$, donc $\sigma = \{ \lambda(NH_4^+) + \lambda(HO^-) \} \cdot [HO^-]$

Ainsi, $[HO^-] = [NH_4^+] = \frac{\sigma}{\lambda(NH_4^+) + \lambda(HO^-)}$

A.N: $[HO^-] = [NH_4^+] = \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{7,0 \cdot 10^{-3} + 20,0 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{27,0 \cdot 10^{-3}} = 0,10 \text{ mol/m}^3 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

2.d- Par analogie avec la question précédente, on peut écrire $\tau_2 = \frac{x_{f2}}{x_{max2}} = \frac{[HO^-] \cdot V}{C_2 \cdot V} = \frac{[HO^-]}{C_2} = \frac{10^{-4}}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 0,10$

$\tau_2 < 1$, la réaction ici est donc partielle.

2.e- Le produit ionique de l'eau est une constante: $[H_3O^+]_{eq} \cdot [HO^-]_{eq} = K_e$

Donc, lorsque l'équilibre est atteint (ce qui est quasi-instantané), $[H_3O^+] = \frac{K_e}{[HO^-]} = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{1,0 \cdot 10^{-4}} = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$

Ainsi, $pH = -\log([H_3O^+]) = -\log(1,0 \cdot 10^{-10}) = -\log(10^{-10}) = 10$

2.f- La constante d'acidité du couple NH_4^+ / NH_3 est une constante: $K_{A1} = \frac{[NH_3]_{eq} \cdot [H_3O^+]_{eq}}{[NH_4^+]_{eq}}$

On en déduit: $\frac{[NH_4^+]_{eq}}{[NH_3]_{eq}} = \frac{[H_3O^+]_{eq}}{K_{A1}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-10}}{10^{-9,2}} = \frac{10^{-10}}{10^{-9,2}} = 10^{9,2-10} = 10^{-0,8} = \frac{1}{6,3} \approx 0,2$

$\frac{[NH_4^+]_{eq}}{[NH_3]_{eq}} < 1$ donc l'espèce qui prédomine dans ce couple, dans une solution d'ammoniac à $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$, est NH_3 .

On peut trouver l'espèce prédominante en comparant le pH de la solution (10) au pK_A du couple ($pK_{A1} = 9,2$)

3.a- La quantité de soude à peser est $n_B = C_B \cdot V$, avec $V = 0,500 \text{ L}$

La masse de soude à peser est $m = n_B \cdot M$ avec $M = M(NaOH) = 40 \text{ g/mol}$

Donc $m = 1,0 \cdot 10^{-1} \times 0,500 \times 40 = 2,0 \text{ g}$

3.b- couple NH_4^+ / NH_3 $NH_4^+ = NH_3 + H^+$ couple H_2O / HO^- $H_2O = HO^- + H^+$
L'équation de la réaction de NH_4^+ (acide) sur HO^- (base) est: $NH_{4(aq)}^+ + HO_{(aq)}^- = NH_{3(aq)} + H_2O_l$ (3)

On remarque que la réaction 3 est l'inverse de la réaction 2.

3.c- La constante d'équilibre est une constante: $K_r = Q_{req} = \frac{[NH_3]_{eq}}{[NH_4^+]_{eq} \cdot [HO^-]_{eq}}$

On peut écrire: $K_r = \frac{[NH_3]_{eq} \cdot [H_3O^+]_{eq}}{[NH_4^+]_{eq} \cdot [H_3O^+]_{eq} \cdot [HO^-]_{eq}} = \frac{K_{A1}}{K_e} = \frac{10^{-9,2}}{10^{-14}} = 10^{14-9,2} = 10^{4,8} = 10^4 \times 10^{0,8} \approx 6,3 \cdot 10^4$

On observe que $K_r > 10^4$, on peut donc considérer la réaction totale, elle peut donc servir de support à un titrage.

4.a- Obtention de la solution S': on prélève 10,0 mL de la solution S en utilisant une pipette jaugée (préalablement rincée à l'eau puis avec la solution S), le prélèvement est versé dans une fiole jaugée de contenance 1,00 L (préalablement rincée à l'eau distillée). On ajoute un peu d'eau (3/4 de la fiole), on agite, puis on complète la fiole au trait de jauge et on agite à nouveau.

4.b- Le point E est repéré en utilisant la méthode des tangentes.

Par lecture graphique on obtient: $\text{pH}(\text{E}) \approx 8$ et $V_B(\text{E}) \approx 10,0 \text{ mL}$

4.c- A l'équivalence (point E), les réactifs (NH_4^+ et HO^-) ont été mélangés dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage (réaction 3), c'est-à-dire en quantités égales, ici.

Ainsi, si on note C la concentration de la solution S, C' celle de la solution S' diluée, V' le volume titré, on peut écrire:

$$C' \cdot V' = C_B \cdot V_B(\text{E})$$

$$\text{Soit } C' = \frac{C_B \cdot V_B(\text{E})}{V'}$$

$$\text{A.N: } C' = \frac{1,0 \cdot 10^{-1} \times 10,0 \text{ (mL)}}{20,0 \text{ (mL)}} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\text{Et } C = 100 \cdot C' \text{ donc } C = 100 \times 5,0 \cdot 10^{-2} = 5,0 \text{ mol/L.}$$

4.d- La solution S est une solution de nitrate d'ammonium NH_4NO_3 de masse molaire $M = 80 \text{ g/mol}$.

Sa concentration massique est donnée par $C_m = C \cdot M$ A.N: $C_m = 5,0 \times 80 = 400 \text{ g/L}$

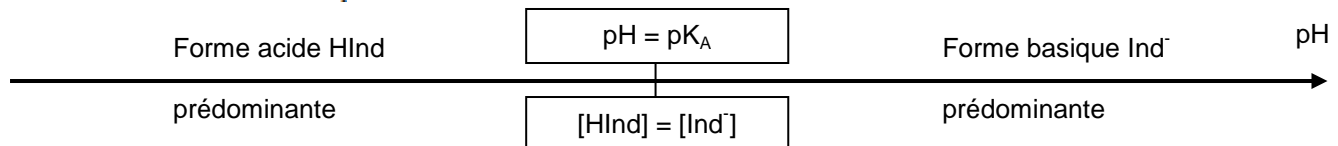
$C_m < 800 \text{ g/L}$, on peut donc considérer que ce composé est prévu pour une utilisation non offensive (engrais).

4.e- La réaction de l'indicateur coloré HInd sur l'eau: $\text{HInd}_{\text{aq}} + \text{H}_2\text{O}_{\text{l}} = \text{Ind}^-_{\text{aq}} + \text{H}_3\text{O}^+_{\text{aq}}$

Expression de la constante d'acidité du couple HInd / Ind^- : $K_A = \frac{[\text{Ind}^-]_{\text{eq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}}{[\text{HInd}]_{\text{eq}}}$

$$\text{p}K_A = -\log(K_A) = -\log\left(\frac{[\text{Ind}^-]_{\text{eq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}}{[\text{HInd}]_{\text{eq}}}\right) = -\log\left(\frac{[\text{Ind}^-]_{\text{eq}}}{[\text{HInd}]_{\text{eq}}}\right) - \log([\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}) = -\log\left(\frac{[\text{Ind}^-]_{\text{eq}}}{[\text{HInd}]_{\text{eq}}}\right) + \text{pH}$$

$$\text{donc } \text{pH} = \text{p}K_A + \log\left(\frac{[\text{Ind}^-]_{\text{eq}}}{[\text{HInd}]_{\text{eq}}}\right)$$



Pour repérer l'équivalence par un changement de couleur de l'indicateur coloré, celui-ci doit changer de couleur au voisinage de l'équivalence E, c'est-à-dire pour $\text{pH} \approx \text{pH}(\text{E})$. Or sa forme acide HInd et sa forme basique Ind^- ont des couleurs différentes et le changement de couleur a lieu dans une zone de virage autour de la valeur du $\text{p}K_A$ (voir diagramme précédent). Donc pour repérer l'équivalence par un changement de couleur de l'indicateur coloré, il faut le choisir de telle sorte que $\text{p}K_A \approx \text{pH}(\text{E})$.

Ici, $\text{pH}(\text{E}) \approx 8$. On choisit donc le rouge de crésol, dont la zone de virage (7,2 – 8,8) contient la valeur 8. On accepte aussi le choix du bleu de bromothymol, car sa zone de virage (6 – 7,6) en est très proche.

II. Analogies entre les évolutions temporelles d'un système radioactif et d'un système électrique:

1.1. ${}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{32}_{16}\text{S} + {}^0_{-1}\text{e}$ Conservation du nombre total de nucléons et de la charge totale.

Le noyau de soufre peut être formé dans un état excité, il émet alors une particule de lumière γ .

1.2. Si $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ alors $\frac{dN}{dt} = N_0 \cdot (-\lambda) \cdot e^{-\lambda t}$ et donc $\frac{dN}{dt} = (-\lambda) \cdot N(t)$. Ainsi, $\frac{dN}{dt} + \lambda \cdot N(t) = 0$.

1.3. La demi-vie $t_{1/2}$ est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux de phosphore 32 initialement présents ait disparu par désintégration radioactive, ou encore, $t_{1/2}$ est la durée nécessaire pour que l'activité d'un échantillon de phosphore 32 soit divisée par 2.

$$\text{Ainsi, } N(t_{1/2}) = N_0/2 \text{ et donc } N_0 \cdot e^{(-\lambda t_{1/2})} = N_0/2.$$

$$\text{Donc } e^{(-\lambda t_{1/2})} = 1/2, \text{ puis } -\lambda \cdot t_{1/2} = \ln(1/2) = -\ln(2) \text{ ou } \lambda \cdot t_{1/2} = \ln(2). \text{ Ainsi, } t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \text{ comme indiqué dans l'énoncé.}$$

$$1.4. N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ implique: } \ln(N) = \ln(N_0) - \lambda \cdot t.$$

1.5. Comme indiqué dans la formule précédente, on observe que $\ln(N) = f(t)$ est une fonction affine, car les points expérimentaux représentés dans le graphe sont très voisins d'une droite. De plus, le coefficient directeur de cette droite est bien négatif ($-\lambda$)

Pour calculer λ on prend 2 points A et B de la droite,

$$-\lambda = \frac{y(B) - y(A)}{x(B) - x(A)} \approx \frac{48,50 - 50,65}{45 - 0} = -2,15/45 \approx -2/40 = -(20 \cdot 10^{-1}) / (4 \cdot 10^1) = -5 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1} \text{ donc } \lambda \approx 5 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1}.$$

1.6. à $t=0$, $N(t) = N_0 = 1,00 \cdot 10^{22}$

D'après la définition de $t_{1/2}$, $N(t_{1/2}) = N_0/2$ et $N(2 \cdot t_{1/2}) = N(t_{1/2})/2 = N_0/4$. Donc $N_1 = 1,00 \cdot 10^{22} / 4 = 2,5 \cdot 10^{21}$.

N_1 représente le nombre de noyaux de phosphore³² encore présents dans l'échantillon à la date $t_{1/2}$. Donc le nombre de noyaux de phosphore³² désintégrés est $N'_1 = N_0 - N_1 = 7,5 \cdot 10^{21}$.

Or chaque noyau de phosphore³² disparu est transformé en noyau de soufre³². Donc le nombre N_2 de noyaux de soufre présents à la date $2 \cdot t_{1/2}$ est égal à N'_1 . Soit $N_2 = 7,5 \cdot 10^{21}$.

1.7. La masse perdue au cours d'une désintégration est donnée par l'expression $\Delta m = m(P) - m(S) - m(e^-)$

$$\text{Soit } \Delta m = 5,35631 \cdot 10^{-26} - 5,35608 \cdot 10^{-26} - 9 \cdot 10^{-31} = 1,4 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

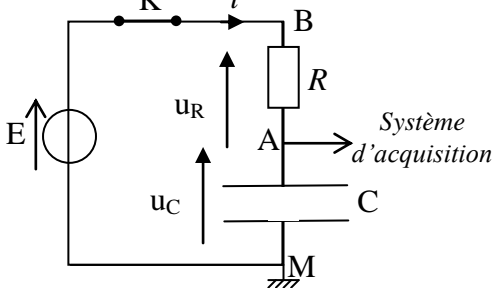
La perte de masse de l'échantillon est $\Delta m' = \Delta m \cdot N_2$

$$\text{soit } \Delta m' = 1,4 \cdot 10^{-30} \cdot 7,5 \cdot 10^{21} = 10,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg} = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 10,5 \text{ } \mu\text{g} \approx 10 \text{ } \mu\text{g}.$$

1.8. L'énergie libérée est donnée par $E = \Delta m' \cdot c^2$ où $\Delta m' = 10,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$ et $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$$\text{Donc } E = 9,45 \cdot 10^8 \text{ J (environ } 10 \cdot 10^9 \times (3 \cdot 10^8)^2 \approx 9 \cdot 10^8 \text{ J)}$$

2.1.



2.2. En respectant les sens donnés sur le schéma (c'est-à-dire le sens conventionnel), on a $E = u_R + u_C$

$$\text{Or } u_R = R \cdot i$$

$$\text{et } i = \frac{dq_A}{dt} \text{ avec } q_A = C \cdot u_C, \text{ donc } i = C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

$$\text{Ainsi: } E = RC \cdot \frac{du_C}{dt} + u_C.$$

2.3. Sur la figure 2, la tangente à la courbe en $t = 0$ coupe l'asymptote à cette courbe ($u_C = 5V$) en un point d'abscisse τ . On peut aussi définir τ comme la date à laquelle $u_C = 0,63 \cdot u_{C \text{ max}} = 0,63 \times 5 = 3,15V$.

On trouve $\tau = 1,0 \text{ ms} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

2.4. $\tau = RC$ donc $C = \tau/R = 1,0 \cdot 10^{-3} / 10^3 = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ F}$

2.5. On a $E = u_R + u_C$ donc $u_R = E - u_C$ or $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ donc $u_R = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

$$\text{soit } A = E \text{ et } k = \frac{1}{RC}$$

Ou encore: $i = C \cdot \frac{du_C}{dt}$, or $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$, ce qui donne $\frac{du_C}{dt} = -E \cdot (-\frac{1}{RC}) \cdot e^{-t/(RC)} = \frac{E}{RC} \cdot e^{-t/(RC)}$ et donc

$$i = \frac{E}{R} \cdot e^{-t/(RC)} \text{ or } u_R = R \cdot i \text{ donc } u_R = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \text{ soit } A = E \text{ et } k = \frac{1}{RC}$$

2.6. A $t = 0$, $u_C = 0$. Or $E = u_R + u_C$ donc $u_R = E = 5V$.

A t infini (en fait pour $t > 5\tau$), $u_C = 5V = E$ (voir figure 2), or $E = u_R + u_C$ donc $u_R = E - u_C = E - E = 0$.

Ou encore: $u_R = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$ donc u_R tend vers 0 si t tend vers l'infini.

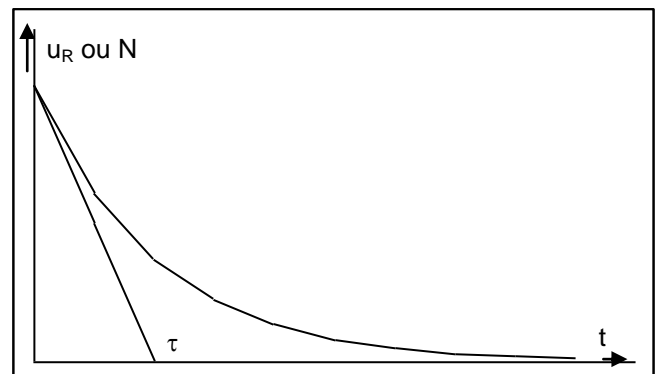
3.1. Les 2 courbes représentant u_R en fonction du temps et N en fonction du temps sont du même type: exponentielle décroissante.

3.2. La tangente à l'origine de chacune de ces courbes coupe l'axe des abscisses en $t = \tau$ où τ représente la constante de temps.

Pour la radioactivité: $\tau = 1/\lambda$

Pour le circuit RC: $\tau = RC$.

Donc l'équivalent de λ dans l'étude du circuit RC est $\frac{1}{RC}$.



III. Propagation des ondes:

Affirmation	vrai ou faux	justification ou explication
1	Vrai	La direction de la perturbation est perpendiculaire à celle de la propagation de l'onde
2	Faux	$f = 25 \text{ Hz}$, or $T = \frac{1}{f}$ donc $T = \frac{1}{25} = 0,04 \text{ s} = 40 \text{ ms}$
3	Faux	Il y a une longueur d'onde (une période spatiale) entre les positions 10 cm et 50 cm, donc $\lambda = 50 - 10 = 40 \text{ cm} = 0,40 \text{ m}$
4	Faux	La vitesse est donnée par l'expression $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$, donc $v = 0,40 \times 25 = 10 \text{ m.s}^{-1}$
5	Faux	L'énoncé indique que le milieu n'est pas dispersif.
6	Vrai	Pas de justification
7	Faux	2 points vibrent en phase s'ils sont distants d'une longueur d'onde (ou d'un multiple de λ), or ici ces 2 points sont distants de $20 \text{ cm} = \frac{\lambda}{2}$. Ces 2 points vibrent en opposition de phase.
8	Vrai	Pas de justification
9	Faux	Pas de justification
10	Faux	Si f est la fréquence de la vibration propagée par l'onde et a la taille de la fente traversée, l'angle de diffraction (ou $\frac{1}{2}$ angle d'ouverture du faisceau diffracté) est donné par l'expression $\theta = \frac{\lambda}{a}$ avec $\lambda = \frac{v}{f}$. Donc si f augmente, λ diminue et θ diminue.
11	Vrai	$\theta = \frac{\lambda}{a}$ (voir ci-dessus) donc si a diminue alors θ augmente.
12	Faux	Pas de justification
13	Vrai	Si n est l'indice de réfraction d'un milieu transparent ($n = 1$ dans le vide, $n > 1$ dans les autres milieux), la célérité de la lumière dans ce milieu est donnée par l'expression $v = \frac{c}{n}$ avec c la célérité de la lumière dans le vide ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$). Ainsi, $v < c$ dans tout autre milieu que le vide.
14	Faux	Toutes les radiations se propagent à la même vitesse $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide qui est un milieu non dispersif pour la lumière. Cette vitesse est une constante fondamentale.
15	Vrai	Pas de justification
16	Vrai	Pas de justification
17	Faux	Lorsqu'une onde lumineuse change de milieu, sa fréquence f est inchangée (affirmation 16) mais sa célérité change ($v = \frac{c}{n}$) donc sa longueur d'onde varie car $\lambda = \frac{v}{f}$.
18	Faux	D'après la formule donnée, la vitesse v est proportionnelle à \sqrt{T} où T représente la température de l'air.
19	Faux	La période $T = \frac{1}{f}$ de l'onde n'est pas un paramètre qui intervient dans l'expression donnée pour la vitesse de propagation du son.
20	Vrai	D'après la formule donnée, la vitesse v est inversement proportionnelle à \sqrt{M} où M représente la masse molaire du gaz, et $4 < 29$.