

**Correction**  
**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC – MARS 2024**

Lycée général La Salle – Avignon

**Sujet**

**SPECIALITE PHYSIQUE-CHIMIE**

**Terminale Générale**

**DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30**

L'usage d'une calculatrice en mode examen EST autorisé

Exercice I – L'acide lactique à la base de composés « verts » (10 points).

Exercice II – Accélérateur de Van De Graaf (6 points).

Exercice III – Transformations spontanées ou forcées ? (4 points).

## Exercice 1 : L'acide lactique à la base de composés « verts » (10 points)

## A. Étude du caractère acide de l'acide lactique.

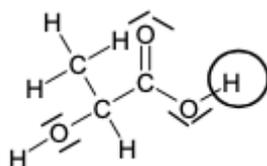
A.1. La chaîne carbonée comporte 3 atomes de carbone d'où « propan ».

La présence du groupe carboxyle COOH montre que cette molécule appartient à la famille des acides carboxyliques d'où « acide » et « oïque ». L'atome de carbone du COOH impose la numérotation, c'est l'atome de carbone n°1.

Un groupe hydroxyle OH est porté sur l'atome de carbone n°2 d'où « 2-hydroxy ».

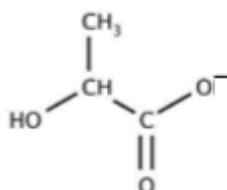
A.2.

Schéma de Lewis :



atome H responsable de l'acidité

A.3.



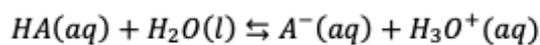
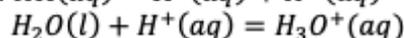
$10^{-6.4}$

$3.981071706 \times 10^{-7}$

A.4.  $[H_3O^+]_{\text{éq}} = 10^{-pH}$

$$[H_3O^+]_{\text{éq}} = 10^{-6.4} = 4,0 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$$

A.5.  $HA(aq) = A^-(aq) + H^+(aq)$



$$K_A = \frac{\frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}}{c^0} \cdot \frac{[A^-]_{\text{éq}}}{c^0}}{\frac{[HA]_{\text{éq}}}{c^0} \cdot 1} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot [A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}$$

$$A.6. K_A = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot [A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}$$

$$pK_A = -\log\left(\frac{[H_3O^+]_{\text{éq}} \cdot [A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) = -\left(\log\left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) + \log([H_3O^+]_{\text{éq}})\right) = -\log\left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) + pH$$

$$-pH = -\log\left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) - pK_A$$

$$pH = \log\left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) + pK_A$$

$$A.7. pH = \log\left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) + pK_A$$

$$\log\left(\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}\right) = pH - pK_A$$

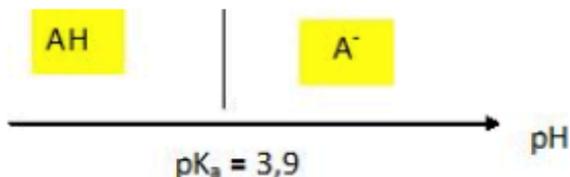
$$\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}} = 10^{pH - pK_A}$$

$$\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}} = 10^{6.4 - 3.9} = 10^{2.5} = 3,2 \times 10^2$$

$$[A^-]_{\text{éq}} = 3,2 \times 10^2 [HA]_{\text{éq}}$$

On en déduit  $[A^-]_{\text{éq}} > [HA]_{\text{éq}}$ , la base prédomine  $A^-$  sur l'acide HA.

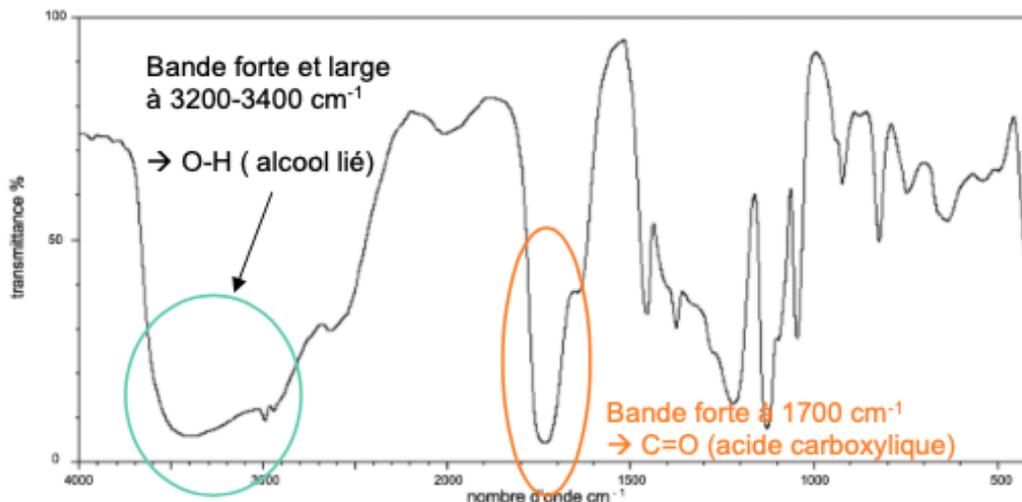
A.8.



A.9. HA prédomine pour un pH < 3,9 et A<sup>-</sup> prédomine pour un pH > 3,9.

Ici, pH = 6,4 > 3,9 donc on vérifie bien que la base A<sup>-</sup> prédomine.

A.10.



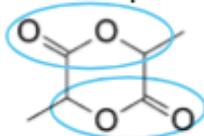
### B. La synthèse du lactide.

B.1. On écrit l'équation avec des formules brutes :  $2 C_3H_6O_3 \rightarrow C_6H_8O_4 + 2 B$

Pour respecter la conservation de la matière, on a 2 B contient  $12 - 8 = 4 H$  et  $6 - 4 = 2 O$

On en déduit que B = H<sub>2</sub>O

B.2.



B.3. On y trouve deux fonctions ester.

### C. L'acide lactique : réactif de la synthèse du lactate d'éthyle

C.1.  $n = \frac{m}{M}$

→ Éthanol  $n_{\text{éthanol},i} = \frac{66,7}{46,0} = 1,45 \text{ mol}$

→ Acide lactique :  $n_{\text{acide},i} = \frac{39,1}{90,0} = 0,434 \text{ mol}$

Les coefficients stœchiométriques de l'équation sont égaux à 1 et  $n_{\text{éthanol}} > n_{\text{acide}}$  ainsi l'éthanol est bien en excès.

C.2. On formerait une quantité de matière de lactate d'éthyle égale à la quantité de matière initiale en réactif limitant. Soit,  $n_{\text{lac}} = n_{\text{acide},i} = 0,434 \text{ mol}$

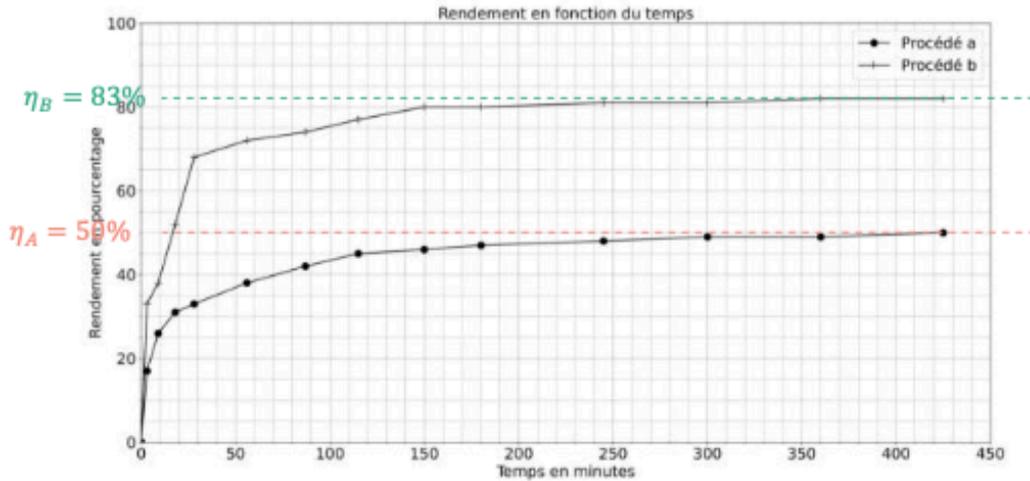
Or,  $m_{\text{lac}} = n_{\text{lac}} \cdot M_{\text{lac}}$

$m_{\text{lac}} = 0,434 \times 118 = 51,3 \text{ g}$

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| $\frac{39,1}{90}$ | 4.344444444E-1 |
| Rep*118           | 5.126444444E1  |

C.3.  $\eta_A = 50\% < \eta_B = 83\%$ .

Le procédé B permet d'obtenir un meilleur rendement.



$$C.4. Q_r = \frac{\frac{[Lactate\ d'\acute{e}thyle]_{[eau]}}{c^0}}{\frac{[acide\ lactique]_{[\acute{e}thanol]}}{c^0}} = \frac{[lactate\ d'\acute{e}thyle]_{[eau]}}{[acide\ lactique]_{[\acute{e}thanol]}}$$

Attention l'eau n'est pas le solvant

Elle doit apparaître dans  $Q_r$ .

C.5. Le lactate d'éthyle formé étant plus soluble dans le solvant ajouté que dans la phase de départ, on peut dire qu'il est extrait de la phase de départ au fur et à mesure de sa formation. Ainsi,  $[lactate\ d'\acute{e}thyle]$  est nulle alors  $Q_r = 0 < Q_{r, \acute{e}q}$ . On peut donc dire que l'on déplace l'équilibre dans le sens direct (gauche → droite).

C.6. On calcule la quantité de matière de lactate d'éthyle correspondant à 80% de 28 millions de tonnes ( $28 \times 10^6$  tonnes =  $28 \times 10^6 \times 10^3$  kg =  $28 \times 10^9$  kg =  $28 \times 10^{12}$  g)

$$m_{lac} = 0,80 \times 28 \times 10^{12} \text{ g.}$$

$$n_{lac} = \frac{m_{lac}}{M_{lac}}$$

$$n_{lac} = \frac{0,80 \times 28 \times 10^{12}}{118} = 1,9 \times 10^{11} \text{ mol}$$

|   |                              |
|---|------------------------------|
| $\frac{0,80 \times 28 \times 10^{12}}{118}$ | $1.898305085 \times 10^{11}$ |
|---|------------------------------|

Or, dans le procédé B le rendement est de 83%.

Autrement dit, seulement 83% du réactif limitant, l'acide lactique, sera réellement transformé en lactate d'éthyle.

$$\text{Soit, } n_{lac} = 0,83 \cdot n_{acide} \text{ ou } n_{acide} = \frac{n_{lac}}{0,83}.$$

Par ailleurs, on a introduit 3,34 fois plus d'éthanol que d'acide lactique, en effet  $\frac{n_{\acute{e}thanol, i}}{n_{acide, j}} = \frac{1,45}{0,434} =$

3,34, donc  $n_{\acute{e}thanol, i} = 3,34 \cdot n_{acide}$ .

$$n_{\acute{e}thanol, i} = 3,34 \times \frac{n_{lac}}{0,83} = 3,34 \times \frac{1,9 \times 10^{11}}{0,83} = 7,6 \times 10^{11}$$

Or,  $m_{\acute{e}thanol} = n_{\acute{e}thanol} \cdot M_{\acute{e}thanol}$

$$m_{\acute{e}thanol} = 7,6 \times 10^{11} \times 46,0 = 3,5 \times 10^{13} \text{ g}$$

Et  $V_{\acute{e}thanol} = \frac{m_{\acute{e}thanol}}{\rho_{\acute{e}thanol}}$

$$V_{\acute{e}thanol} = \frac{3,5 \times 10^{13}}{0,789} = 4,5 \times 10^{13} \text{ mL} = 4,5 \times 10^{10} \text{ L} = 45 \text{ milliards de litres}$$

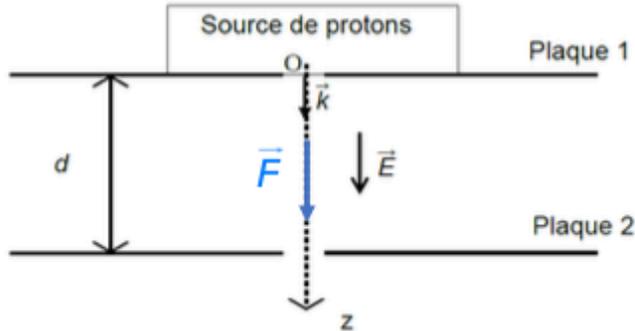
|  |                              |
|--|------------------------------|
| $\frac{0,80 \times 28 \times 10^{12}}{118} \times \frac{3,34 \times 10^{13} \times 250}{0,83}$ | $7.641281364 \times 10^{11}$ |
| Rep * 46   | $3.514989427 \times 10^{13}$ |
| Rep / 0.789  | $4.454992937 \times 10^{13}$ |

La volume d'éthanol formé chaque année est :  $V_{annuel} = 120$  milliards de litres

$$r = \frac{V_{\acute{e}thanol}}{V_{annuel}} = \frac{45}{120} = 0,37 \text{ soit, } 37\% \text{ de la production mondiale annuelle.}$$

**Mouvement du proton à l'entrée du condensateur plan**

- Q1.** Force électrostatique exercée sur le proton de charge positive  $q = +e$  :  $\vec{F} = q\vec{E} = e\vec{E}$ .  
 La force électrostatique est colinéaire et de même sens que le champ électrique  $\vec{E}$ .



<http://www.insp.upmc.fr/Accelerateur-d-ions-positifs-Van.html>

- Q2.** Poids du proton :  $P = m_p \times g$  soit  $P = 1,67 \times 10^{-27} \times 9,81 \text{ N} = 1,64 \times 10^{-26} \text{ N}$ .  
 Force électrostatique :  $F = e \times E$  soit  $F = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,5 \times 10^6 \text{ N} = 2,4 \times 10^{-13} \text{ N}$ .  
 $\frac{F}{P} = \frac{2,4 \times 10^{-13}}{1,64 \times 10^{-26}} = 1,5 \times 10^{13}$  donc  $F = 1,5 \times 10^{13} \times P$   $F \gg P$   
 Le poids du proton est bien négligeable devant la force électrostatique qu'il subit.

- Q3.** Système {proton} de masse  $m_p$ .  
 Référentiel terrestre supposé galiléen.  
 Repère  $(O, \vec{k})$  d'axe Oz vertical orienté vers le bas.  
 Forces :  $\vec{F} = e\vec{E}$  ; le poids de l'électron est négligé devant la force électrique.  
 Deuxième loi de Newton :  $\sum \vec{F}_{ext} = m_p \vec{a}$  soit ici :  $e\vec{E} = m_p \vec{a}$  d'où :  $\vec{a} = \frac{e}{m_p} \vec{E}$ .

Or :  $\vec{E} = E\vec{k}$  donc  $\vec{a} = \frac{eE}{m_p} \vec{k}$

- Q4.** On a :  $\vec{a} = a_z \vec{k} = \frac{dv_z}{dt} \vec{k}$  donc  $a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{eE}{m_p}$ .

En primitivant :  $v_z(t) = \frac{eE}{m_p} t + C_1$  où  $C_1$  est une constante.

Initialement, la vitesse du proton est nulle  $v_z(0) = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  soit  $0 + C_1 = 0$ .

Donc  $v_z(t) = \frac{eE}{m_p} t$

- Q5. Méthode 1 – Utilisation du théorème de l'énergie cinétique (plus rapide)**

Entre les plaques 1 et 2 :  $E_{C2} - E_{C1} = W(\vec{F})$ . Comme  $E_{C1} = 0 \text{ J}$  et  $W(\vec{F}) = qU = eU$  il vient :

$\frac{1}{2} m_p v_2^2 = eU$ . Or  $E = \frac{U}{d}$  donc :  $\frac{1}{2} m_p v_2^2 = edE$  soit  $v_2^2 = \frac{2edE}{m_p}$  donc  $v_2 = \sqrt{\frac{2edE}{m_p}}$ .

## Méthode 2 – Exploitation de l'équation horaire $z(t)$ (plus long)

$$\vec{v} = v_z \vec{k} = \frac{dz}{dt} \vec{k} \text{ donc } v_z = \frac{dz}{dt} = \frac{eE}{m_p} t.$$

$$\text{En primitivant : } z(t) = \frac{1}{2} \frac{eE}{m_p} t^2 + C_2 \text{ où } C_2 \text{ est une constante.}$$

Initialement, le proton est situé à l'origine O du repère  $z(0) = 0$  m soit  $0 + C_2 = 0$ .

$$\text{Finalement : } z(t) = \frac{eE}{2m_p} t^2$$

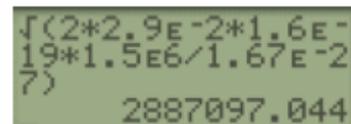
Au point de sortie de la plaque 2, le proton a parcouru la distance  $d$  à la date  $t_2$  telle que :

$$d = z(t_2) = \frac{eE}{2m_p} t_2^2 \text{ soit } t_2^2 = \frac{2m_p d}{eE} \text{ donc } t_2 = \sqrt{\frac{2m_p d}{eE}}.$$

$$\text{On reporte l'expression de } t_2 \text{ dans } v_z(t) : v_z(t_2) = \frac{eE}{m_p} t_2 \text{ soit } v_z(t_2) = \frac{eE}{m_p} \sqrt{\frac{2m_p d}{eE}}$$

$$v_z(t_2) = \sqrt{\frac{2m_p d (eE)^2}{eEm_p^2}} = \sqrt{\frac{2deE}{m_p}}. \text{ Comme } v_2 = \sqrt{v_z^2(t_2)} \text{ il vient : } v_2 = \sqrt{\frac{2edE}{m_p}}.$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 2,9 \times 10^{-2} \times 1,5 \times 10^6}{1,67 \times 10^{-27}}} = 2,9 \times 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$



```
√(2*2,9E-2*1,6E-19*1,5E6/1,67E-27)
2887097,044
```

Cette vitesse n'est pas comprise entre  $2,3 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $3,1 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Elle est donc insuffisante pour analyser un objet d'art.

## Accélérateur de Van de Graaff.

**Q6.** Entre les plaques 2 et 3, la force électrique exercée sur le proton est la même que celle qui s'exerçait entre les plaques 1 et 2. En effet le proton y est soumis au même champ uniforme.

L'accélération  $a_z$  du proton entre les plaques 2 et 3 est encore :  $a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{eE}{m_p}$  et donc on a encore

$$v_z(t) = \frac{eE}{m_p} t.$$

## VOIR COMPLÉMENT en fin de corrigé

**Q7.** Entre la première et la dernière plaque des 69 condensateurs :  $E_{Cf} - E_{C1} = W(\vec{F})$ .

$$\text{Comme } E_{C1} = 0 \text{ J et } W(\vec{F}) = qU = eU \text{ il vient } E_{C}(\text{final}) = eU$$

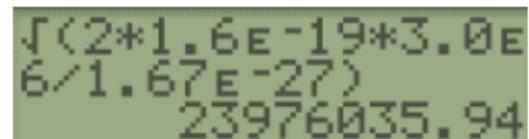
**Q8.** Entre la première et la dernière plaque des 69 condensateurs, la tension électrique vaut :

$$U = 3,0 \text{ MV} = 3,0 \times 10^6 \text{ V.}$$

Le théorème de l'énergie cinétique donne :

$$\frac{1}{2} m_p v_f^2 = eU \text{ donc } v_f^2 = \frac{2eU}{m_p} \text{ soit } v_f = \sqrt{\frac{2eU}{m_p}}.$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 3,0 \times 10^6}{1,67 \times 10^{-27}}} = 2,4 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$



```
√(2*1,6E-19*3,0E6/1,67E-27)
23976035,94
```

Cette vitesse est bien comprise entre  $2,3 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $3,1 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Elle est donc suffisante pour analyser un objet d'art.

**Q6. CE COMPLÉMENT N'EST PAS NÉCESSAIRE : (enfin on l'espère ...)**

En primitivant  $a_z$ , on obtient  $v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t + C_3$  où  $C_3$  est une constante.

Pour  $t = t_2$  la vitesse du proton est donc  $v_2 = \frac{eE}{m_p}t_2 + C_3$  soit :  $C_3 = v_2 - \frac{eE}{m_p}t_2$ .

$$\text{Donc } v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t + \left( v_2 - \frac{eE}{m_p}t_2 \right)$$

$$\text{Comme } v_2 = \sqrt{\frac{2edE}{m_p}} \text{ alors}$$

$$v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t + \sqrt{\frac{2edE}{m_p}} - \frac{eE}{m_p}t_2$$

$$\text{Comme } t_2 = \sqrt{\frac{2m_p d}{eE}}$$

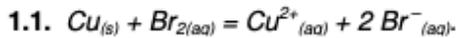
$$v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t + \sqrt{\frac{2edE}{m_p}} - \frac{eE}{m_p} \sqrt{\frac{2m_p d}{eE}}$$

$$v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t + \sqrt{\frac{2edE}{m_p}} - \sqrt{\frac{2m_p d \cdot e^2 \cdot E^2}{eEm_p^2}}$$

$$v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t + \sqrt{\frac{2edE}{m_p}} - \sqrt{\frac{2edE}{m_p}}$$

$$\text{D'où : } v_z(t) = \frac{eE}{m_p}t .$$

**1. Réaction entre le cuivre métal et le dibrome en solution aqueuse.**



Quotient de réaction initial  $Q_{r,i} = \frac{[Cu^{2+}_{(aq)}]_i \cdot [Br^{-}_{(aq)}]_i^2}{[Br_{2(aq)}]_i}$

Les solides ne figurent pas dans les quotients de réaction.

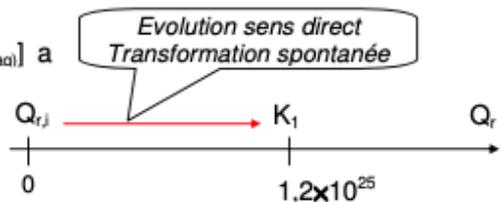
Initialement  $[Cu^{2+}_{(aq)}]_i = [Br^{-}_{(aq)}]_i = 0 \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[Br_{2(aq)}]_i$  est non nul donc  $Q_{r,i} = 0$ .

1.2. Comme  $Q_{r,i} < K_1$  le système va évoluer dans le **sens direct** de l'équation associée à la transformation d'après le **critère d'évolution spontané**. (On n'utilise pas les observations expérimentales pour le moment)

1.3. On observe la disparition de la coloration jaune donc  $[Br_{2(aq)}]$  a fortement diminué.

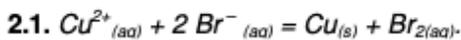
L'apparition d'une coloration bleue de la solution indique que  $[Cu^{2+}_{(aq)}]$  a augmenté. Par conséquent  $[Br^{-}_{(aq)}]$  augmente aussi.

Ainsi le quotient de réaction  $Q_r = \frac{[Cu^{2+}_{(aq)}] \cdot [Br^{-}_{(aq)}]^2}{[Br_{2(aq)}]}$  augmente au



cours du temps et se rapproche de  $K_1$  et **ceci sans apport extérieur d'énergie** électrique. La transformation est **spontanée**.

**2. La solution aqueuse de bromure de cuivre (II).**



Quotient de réaction initial  $Q_{r,i} = \frac{[Br_{2(aq)}]_i}{[Cu^{2+}_{(aq)}]_i \cdot [Br^{-}_{(aq)}]_i^2} = 0$  car initialement le système chimique ne contient pas de

dibrome en solution et les concentrations en ion cuivre et bromure sont non nulles.

2.2. À l'équilibre, le quotient de réaction est égal à la constante d'équilibre :  $Q_{r,eq} = K_2 = 8,3 \times 10^{-26}$ .

*Remarque:* dans cette partie l'équation étudiée est l'équation inverse de celle étudiée dans la partie 1. On peut vérifier alors que  $K_2 = \frac{1}{K_1}$ .

2.3. On a  $K_2 = 8,3 \times 10^{-26} \approx 0$  (voir les données en début d'énoncé). Donc  $K_2 \approx Q_{r,i}$ . **Initialement** le système chimique est dans **son état d'équilibre, il n'évolue donc pas**. La solution aqueuse de bromure de cuivre (II) est **stable**.

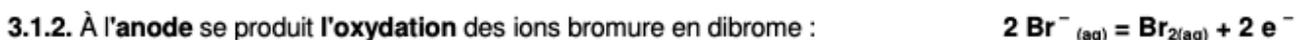
**3. Électrolyse de la solution aqueuse de bromure de cuivre (II).**

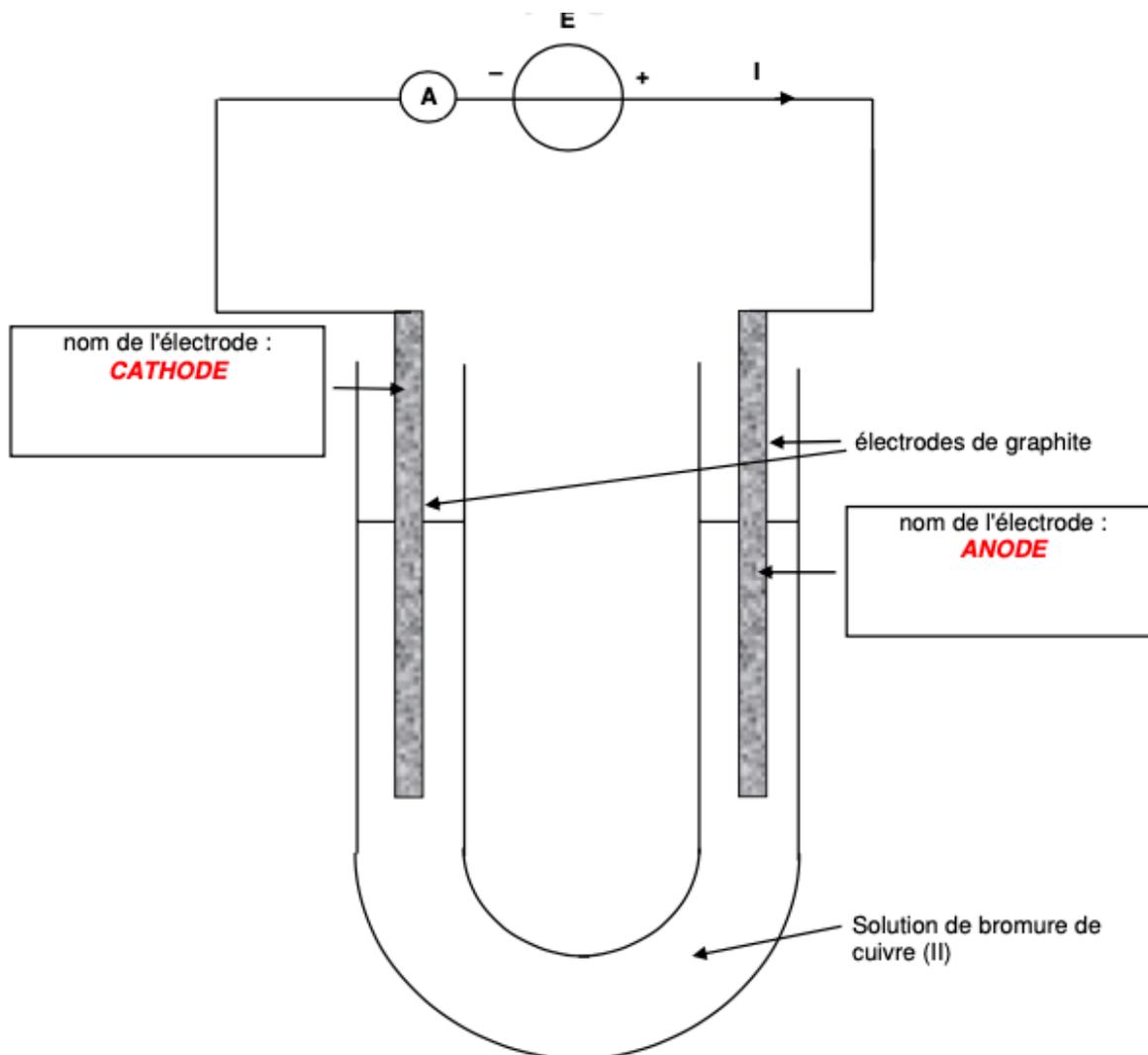
3.1. Étude qualitative.

3.1.1. **Les électrons** circulent dans le **sens opposé du courant**.

Les électrons sont libérés par la borne - du générateur, ils seront consommés lors d'une réaction de réduction qui a lieu au niveau de l'électrode appelée cathode. **La borne - est reliée à la cathode**.

Les électrons sont « pompés » par la borne + du générateur, une réaction d'oxydation fournit les électrons au générateur. **La borne + est reliée à l'anode**.





**3.1.5.** La transformation associée à la réaction d'électrolyse est **forcée**. (Car elle nécessite un apport extérieur d'énergie électrique pour avoir lieu. La réaction d'électrolyse est la réaction inverse de celle étudiée au 1.)

**3.2. Étude quantitative.**

**3.2.1.** Quantité d'électricité  $Q$  qui a traversé la solution de bromure de cuivre (II) :

$$Q = I \cdot \Delta t$$

$$Q = 1,00 \times 3600 = 3,60 \times 10^3 \text{ C}$$

**3.2.2.** Quantité de matière (en mol) d'électrons qui a été mise en jeu :

$$Q = n(e^-) \cdot F \quad \text{donc} \quad n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$$

$$n(e^-) = \frac{3,60 \times 10^3}{96500} = 3,73 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

**3.2.3.** Au cours de la transformation lorsque  $x$  mol d'ions  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  réagissent il se forme  $x$  mol d'atomes de cuivre  $\text{Cu}_{(s)}$  avec échange de  $2x$  mol d'électrons ( $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2 e^- = \text{Cu}_{(s)}$ ).

Donc la quantité d'électron échangée est  $n(e^-) = 2x$

La quantité de cuivre formée est alors  $n(\text{Cu}) = x = \frac{n(e^-)}{2} = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$

$n(\text{Cu}) = 1,87 \times 10^{-2} \text{ mol}$  valeur non arrondie stockée en mémoire

**3.2.4.** Masse de cuivre obtenue :  $m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} \cdot M(\text{Cu})$

$m(\text{Cu}) = 1,87 \times 10^{-2} \times 63,5 = 1,18 \text{ g}$  Calcul effectué avec la valeur non arrondie de  $n(\text{Cu})$