

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

L'acide lactique ou acide 2-hydroxypropanoïque est un acide carboxylique de formule brute $C_3H_6O_3$ (figure 1). On le trouve dans le lait mais aussi dans le vin et dans certains fruits et légumes. Obtenu industriellement via des transformations chimiques de réactifs issus de la pétrochimie, l'acide lactique peut également être produit par fermentation à partir de sucres d'origine naturelle. Il est utilisé dans l'industrie alimentaire comme additif (E270) mais aussi en cosmétique et en tant que détergent.

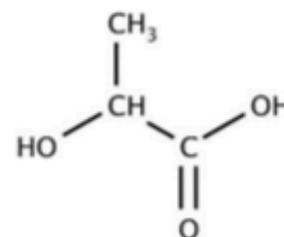


Figure 1. Formule semi-développée de l'acide lactique

Le but de l'exercice est d'étudier l'acide lactique et les réactions qui l'impliquent en tant que réactif dans des synthèses écoresponsables.

Données :

- Couple acide-base : H_3O^+ / H_2O
- Règles de nomenclature dans le cas de composés polyfonctionnels à chaîne non ramifiée :
 - ① Dans un premier temps, on identifie la chaîne principale et le groupe caractéristique principal (cf. tableau 1) puis on numérote la chaîne pour que le carbone fonctionnel ait le plus petit indice possible.
 - ② Ensuite, on nomme l'espèce en remplaçant le « e » final de l'alcane correspondant (cf. tableau 2) par le suffixe correspondant au groupe principal et en ajoutant le préfixe du groupe secondaire. On précise si besoin l'indice de position du groupe caractéristique.

Tableau 1. Suffixes et préfixes utilisés pour désigner quelques groupes importants. Les groupes présentés dans ce tableau sont rangés dans l'ordre décroissant de priorité.

Fonction	Formule	Préfixe : groupe secondaire	Suffixe : groupe principal
Acide carboxylique	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array} $	carboxy-	acide ...oïque
Ester	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{O}-\text{C} \end{array} $...yle-oxycarbonyl-	...oate de ...yle
Aldéhyde	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{H} \end{array} $	formyl- ou oxo-	-al
Cétone	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \end{array} $	oxo-	-one
Alcool	$ \begin{array}{c} -\text{OH} \end{array} $	hydroxy-	-ol

Tableau 2. Nomenclature des alcanes.

Nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5	6
Nom	méthane	éthane	propane	butane	pentane	hexane

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

Le nom de cette molécule en nomenclature officielle est acide 2-hydroxypropanoïque.

- A.1. Exploiter les règles de nomenclature fournies dans les données pour justifier son nom.
- A.2. Donner le schéma de Lewis de l'acide lactique. Sur celle-ci, identifier, en l'entourant, l'atome d'hydrogène responsable de l'acidité de la molécule.
- A.3. Écrire la formule semi-développée de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.

On notera, par la suite, HA l'acide lactique et A⁻ l'ion lactate. La valeur du pH d'un lait est égale à 6,4.

Donnée : La valeur de la concentration standard c° est égale à 1 mol.L⁻¹.

- A.4. Pour ce lait, calculer la valeur de la concentration en ion oxonium [H₃O⁺]_{éq}.
- A.5. Établir l'équation de réaction de l'acide lactique (HA) avec l'eau. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide HA / A⁻.
- A.6. À partir de l'expression de la constante d'acidité K_A du couple HA / A⁻, retrouver la relation :

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

Donnée : La valeur du pK_A du couple HA / A⁻ est égale à 3,9.

- A.7. Calculer, à partir de la relation de la question 6, le rapport $\frac{[A^-]_{\text{éq}}}{[HA]_{\text{éq}}}$ dans ce lait dont la valeur du pH est égale à 6,4. En déduire l'espèce prédominante.
- A.8. Tracer le diagramme de prédominance du couple HA / A⁻.
- A.9. À l'aide du diagramme de prédominance, vérifier que l'espèce prédominante pour ce lait est en accord avec la réponse à la question 7.

- B.1.** Identifier, en justifiant, la molécule notée B produite lors de la réaction.
- B.2.** Écrire la formule topologique de la molécule de lactide.
- B.3.** Sur cette formule topologique, entourer et nommer la fonction chimique présente dans la molécule de lactide.

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

Document 1 : Synthèse d'un solvant agrosourcé : le lactate d'éthyle.

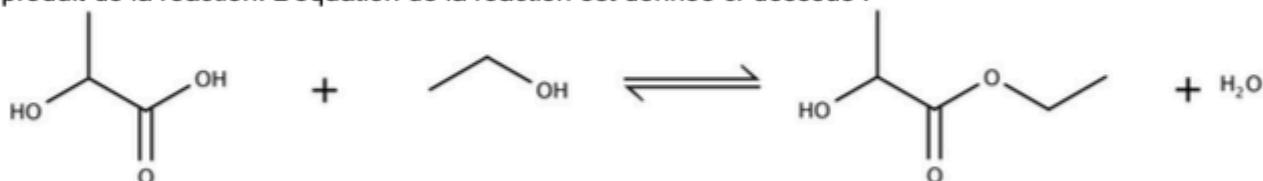
Les solvants constituent une classe de substances largement utilisées dans de nombreux secteurs économiques où ils jouent des rôles divers. Ce sont des liquides capables de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres composés sans engendrer de modifications chimiques. Cependant, les solvants traditionnels sont généralement des composés organiques volatils, nocifs pour la santé et pour l'environnement. Dans ce contexte, de nouveaux solvants, non toxiques et biodégradables, sont apparus sur le marché.

Le lactate d'éthyle est l'un de ces solvants agrosourcés. Il est produit par estérification de l'acide lactique avec l'éthanol (produit par fermentation de sucres). Un problème majeur de cette réaction est qu'elle est équilibrée. Pour obtenir un rendement correct, il est donc nécessaire de déplacer l'équilibre. Ceci est notamment possible en utilisant un excès d'éthanol.

Une autre solution est d'ajouter au milieu réactionnel un solvant insoluble dans l'eau dans lequel le lactate d'éthyle est plus soluble que dans la phase de départ (acide lactique, éthanol).

D'après <https://patents.google.com/patent/WO2011107712A1/fr>

Le lactate d'éthyle est synthétisé par action de l'éthanol sur l'acide lactique. L'eau constitue un sous-produit de la réaction. L'équation de la réaction est donnée ci-dessous :



Cette estérification est réalisée selon deux modes opératoires :

Procédé a.

La synthèse de lactate d'éthyle est réalisée dans un ballon équipé d'un réfrigérant. Les quantités suivantes de réactifs sont introduites dans le réacteur : 66,7 g d'éthanol et 39,1 g d'acide lactique. 0,33 g d'acide sulfurique est ajouté aux réactifs. Le milieu réactionnel est agité au moyen d'un agitateur magnétique et porté à la température de 80 °C. Le rendement en lactate d'éthyle en fonction de la durée de la réaction est représenté sur la figure 4.

Procédé b.

La synthèse de lactate d'éthyle est réalisée de la même manière que pour le procédé a mais en ajoutant un solvant d'extraction aux réactifs. Le rendement en lactate d'éthyle en fonction de la durée de la réaction est représenté sur la figure 4.

D'après <https://patents.google.com/patent/WO2011107712A1/fr>

On obtient les résultats suivants :

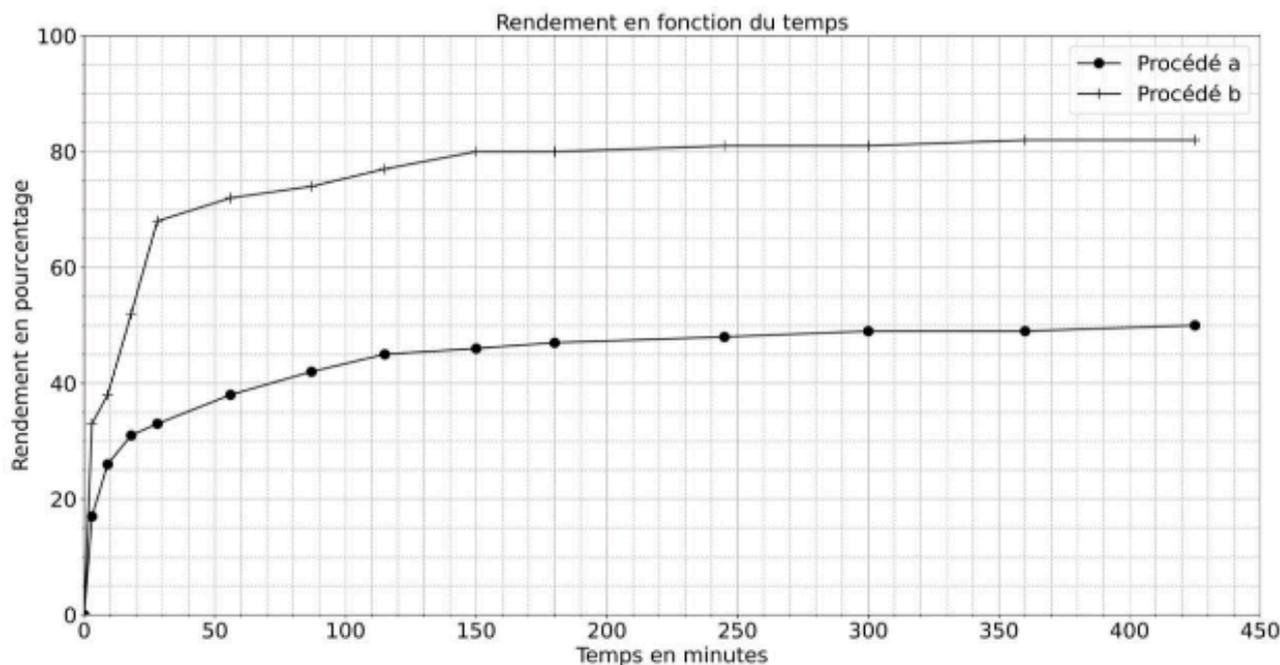


Figure 4. Évolution temporelle du rendement de la réaction d'estérification suivant le procédé a ou b.

Données :

➤ Caractéristiques physiques de quelques espèces chimiques :

	Acide lactique	Éthanol	Lactate d'éthyle
Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	90,0	46,0	118
Masse volumique ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,25	0,789	1,03

➤ Solubilités dans le solvant d'extraction utilisé lors de la synthèse du lactate d'éthyle :

	Acide lactique	Éthanol	Lactate d'éthyle	Eau
Solubilité dans le solvant d'extraction ajouté dans le procédé b	insoluble	insoluble	soluble	insoluble

- C.1. Vérifier par calcul que l'éthanol est en excès dans les procédés a et b décrits précédemment.
- C.2. Calculer la masse de lactate d'éthyle m_{lac} que l'on pourrait obtenir si la transformation chimique était totale.
- C.3. En utilisant la figure 4, comparer les rendements obtenus par les deux procédés et indiquer le procédé le plus efficace.
- C.4. Donner l'expression du quotient de la réaction Q_r d'estérification étudiée.
- C.5. Le lactate d'éthyle étant plus soluble dans le solvant introduit dans le procédé b que dans la phase de départ (acide lactique, éthanol), justifier que l'ajout d'un solvant lors de la synthèse du lactate d'éthyle permet de déplacer l'équilibre de la réaction d'estérification.

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

C.6. Certains solvants organiques sont nocifs pour la santé et dangereux pour l'environnement : ils peuvent dégrader la qualité de l'air ou encore contaminer les nappes phréatiques, les eaux de surface et les sols.

28 millions de tonnes de solvants organiques sont produits chaque année. Évaluer le volume d'éthanol nécessaire à la substitution de 80 % en masse des solvants organiques par des solvants agrosourcés.

On fera l'hypothèse que la totalité du solvant agrosourcé produit est du lactate d'éthyle obtenu par le procédé b décrit précédemment. Comparer cette valeur au volume d'éthanol produit annuellement dans le monde : 120 milliards de litres.

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

Dans les années 30, le physicien américain Van de Graaff invente un accélérateur électrostatique de particules. Ce type d'accélérateur qui porte son nom est toujours utilisé de nos jours dans des domaines aussi variés que la médecine, le traitement de l'eau, l'expertise d'objets d'art...

L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement de l'accélérateur de Van de Graaff afin de vérifier si la vitesse d'un proton à sa sortie est suffisante pour être utilisée dans l'analyse d'objet d'art.

Ce type d'accélérateur est modélisable par une succession de condensateurs plans. Nous étudions dans un premier temps l'accélération par l'un des condensateurs plans puis par l'accélérateur dans son ensemble.

Données :

- Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- Masse du proton : $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- Champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- Champ électrique au sein du condensateur : $E = 1,5 \times 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$;
- Distance entre deux plaques : $d = 2,9 \times 10^{-2} \text{ m}$;
- Formule du travail de la force électrostatique pour un champ uniforme :
$$W(\vec{F}) = q \cdot U$$
- $1 \text{ MV} = 10^6 \text{ V}$;
- L'analyse d'objets d'art nécessite l'utilisation de protons ayant une vitesse comprise entre $2,3 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $3,1 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dans cet exercice, le mouvement du proton est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Mouvement du proton à l'entrée du condensateur plan.

La source de protons libère un proton sans vitesse initiale au point O de la figure 1. Le proton est ensuite soumis à un champ électrique \vec{E} uniforme associé à une tension imposée entre les plaques 1 et 2 situées à une distance d l'une de l'autre. On définit le repère (O, z) perpendiculaire aux plaques du condensateur et orienté de la plaque 1 vers la plaque 2 comme l'illustre la figure 1.

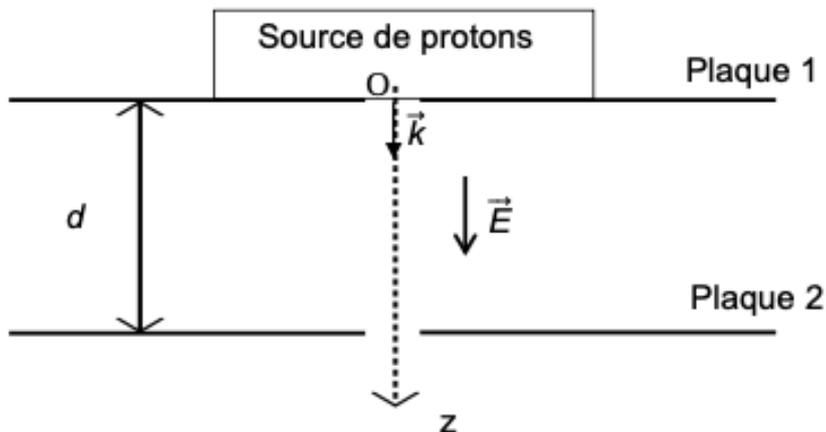


Figure 1. Schéma d'un accélérateur constitué du condensateur plan.

Q1. Reproduire le schéma du condensateur plan et représenter sans souci d'échelle la force électrostatique \vec{F} exercée sur le proton à un endroit quelconque de sa trajectoire.

Q2. Vérifier que l'influence du poids \vec{P} du proton est négligeable par rapport à la force électrostatique \vec{F} dans la situation présente, en calculant la valeur du poids P du proton et la valeur de la force électrostatique F appliquée au proton.

On négligera dans la suite de l'exercice l'influence du poids \vec{P} du proton devant la force électrostatique \vec{F} .

Q3. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'expression littérale du vecteur accélération du proton \vec{a} .

Q4. Montrer que dans le repère (O, z) la coordonnée du vecteur vitesse $v_z(t)$ du proton est :

$$v_z(t) = \frac{e \times E}{m_p} \times t$$

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Q5. Déterminer la valeur de la vitesse v_2 du proton au niveau de la plaque 2 à la sortie du premier condensateur plan et vérifier qu'elle est insuffisante pour analyser un objet d'art.

Accélérateur de Van de Graaff.

Le proton arrive ensuite dans un second condensateur plan dans lequel il est soumis au même champ électrique uniforme \vec{E} comme l'illustre la figure 2.

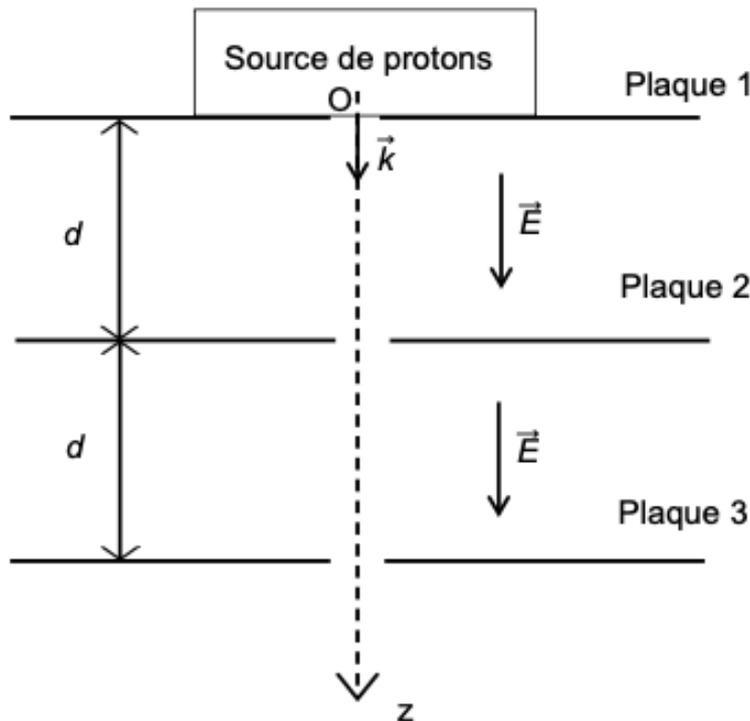


Figure 2. Schéma d'un accélérateur constitué de deux condensateurs plans.

L'origine du temps est conservée au point O correspondant à la sortie de la source de proton.

Q6. Donner un argument montrant que l'expression de la coordonnée du vecteur vitesse $v_z(t)$ dans le deuxième condensateur est la même qu'à la question 4.

L'accélérateur de Van de Graaff considéré par la suite est constitué de 69 condensateurs plans successifs. La valeur de la tension U entre la première plaque et la dernière plaque est de 3,0 MV.

Q7. Montrer en appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre l'entrée de la première plaque et la sortie de la dernière plaque que l'expression de l'énergie cinétique au niveau de la dernière plaque $E_c(\text{final})$ peut s'exprimer sous la forme :

$$E_c(\text{final}) = e \times U$$

Q8. Calculer la valeur de la vitesse v_f du proton au niveau de la dernière plaque à la sortie de l'accélérateur et déterminer si ce proton permet l'analyse d'un objet d'art.

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

Données : masse molaire atomique du cuivre : $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$; faraday : $1 \text{ faraday} = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$; charge électrique élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$; constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
On considérera que $8,3 \times 10^{-26} = 0$.

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

Dans un becher, on verse 100 mL de solution aqueuse jaune de dibrome ($\text{Br}_2(\text{aq})$) telle que $[\text{Br}_2] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et on y ajoute, sans variation de volume, de la poudre de cuivre en excès. On place sous agitation. Après filtration, on observe la disparition de la coloration jaune et on obtient un filtrat de couleur bleue.

L'équation de l'équation associée à la transformation est : $\text{Cu}(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{aq}) = \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Br}^{-}(\text{aq})$. La constante d'équilibre associée à cette réaction est $K_1 = 1,2 \times 10^{25}$.

1.1. Donner l'expression du quotient de réaction initial. Calculer sa valeur.

1.2. Dans quel sens le système va-t-il évoluer ? Justifier la réponse.

1.3. La transformation est-elle forcée ou spontanée ?

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

Dans un becher, on verse 100 mL d'une solution aqueuse de bromure de cuivre (II). Les concentrations des ions en solution sont : $[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})] = 0,50 \text{ mol.L}^{-1}$ et $[\text{Br}^{-}(\text{aq})] = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$.

Au sein de cette solution, on pourrait envisager une réaction entre les ions $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{Br}^{-}(\text{aq})$. L'équation de cette réaction serait : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Br}^{-}(\text{aq}) = \text{Cu}(\text{s}) + \text{Br}_2(\text{aq})$. La constante d'équilibre associée à cette réaction est $K_2 = 8,3 \times 10^{-26}$.

2.1. Calculer la valeur du quotient de réaction initial.

2.2. Quelle sera la valeur de ce quotient à l'équilibre ?

2.3. Justifier l'affirmation "la solution aqueuse de bromure de cuivre (II) est stable".

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

Pour conduire cette électrolyse, on réalise le montage représenté sur **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

3.1. Étude qualitative.

Sur le schéma du montage représenté sur **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, est indiqué le sens conventionnel du courant électrique imposé par le générateur.

3.1.1. Identifier l'anode et la cathode sur **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

3.1.2. Écrire la demi équation de la réaction qui a lieu à l'anode.

3.1.3. Écrire la demi équation de la réaction qui a lieu à la cathode.

3.1.4. Écrire l'équation de la réaction d'électrolyse.

3.1.5. La transformation associée à la réaction d'électrolyse est-elle spontanée ou forcée? Aucune justification n'est demandée.

3.2. Étude quantitative.

L'électrolyse est effectuée pendant 1 heure avec un intensité constante $I = 1,00 \text{ A}$.

Calculer :

3.2.1. La quantité d'électricité Q qui a traversé la solution de bromure de cuivre (II).

3.2.2. La quantité de matière (en mol) d'électrons qui a été mise en jeu.

3.2.3. La quantité de matière (en mol) de cuivre qui s'est formée. On pourra s'aider d'un tableau d'évolution du système.

3.2.4. La masse de cuivre obtenue.

ANNEXE DE L'EXERCICE III

À RENDRE AVEC LA COPIE

