Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2022

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 puis il choisit 2 exercices parmi les 3 proposés.

EXERCICE 1 commun à tous les candidats (10 points)

L'AIRBAG

Un airbag, ou coussin gonflable de sécurité, est une membrane ou enveloppe flexible dans laquelle un gaz est très rapidement injecté par une transformation chimique explosive pour gonfler l'enveloppe et ainsi amortir un choc.

Les airbags sont principalement utilisés dans les automobiles pour protéger les passagers lors d'une collision et ainsi leur éviter une décélération excessive en percutant certains accessoires de la voiture.

Donnée

Dans les expériences de laboratoire, l'accélération est souvent exprimée en g, correspondant à la valeur : $g = 9{,}81\ \mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$.

Partie 1. Étude d'un circuit RC et application à un détecteur de choc

Les airbags sont déclenchés par une chaîne électronique utilisant un capteur d'accélération, tel que l'accéléromètre MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System).

Le but de cette partie est de montrer qu'un MEMS se comporte comme un circuit RC.

1. On s'intéresse à la réponse d'un circuit RC soumis à un signal d'entrée $u_G(t)$ ayant la forme d'une tension en créneaux.
Cette tension en créneaux prend alternativement des valeurs E et $0\ \mathrm{V}$, sa période est notée T. Le schéma de la figure 1 en propose une représentation.

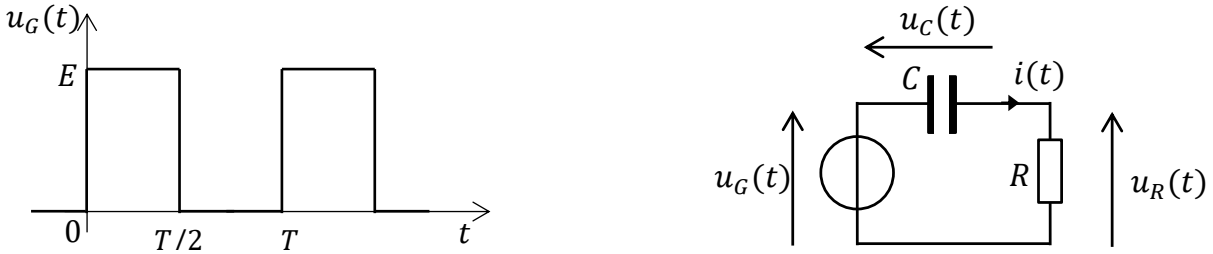


Figure 1. Signal d'entrée $u_G(t)$ et schéma électrique du circuit

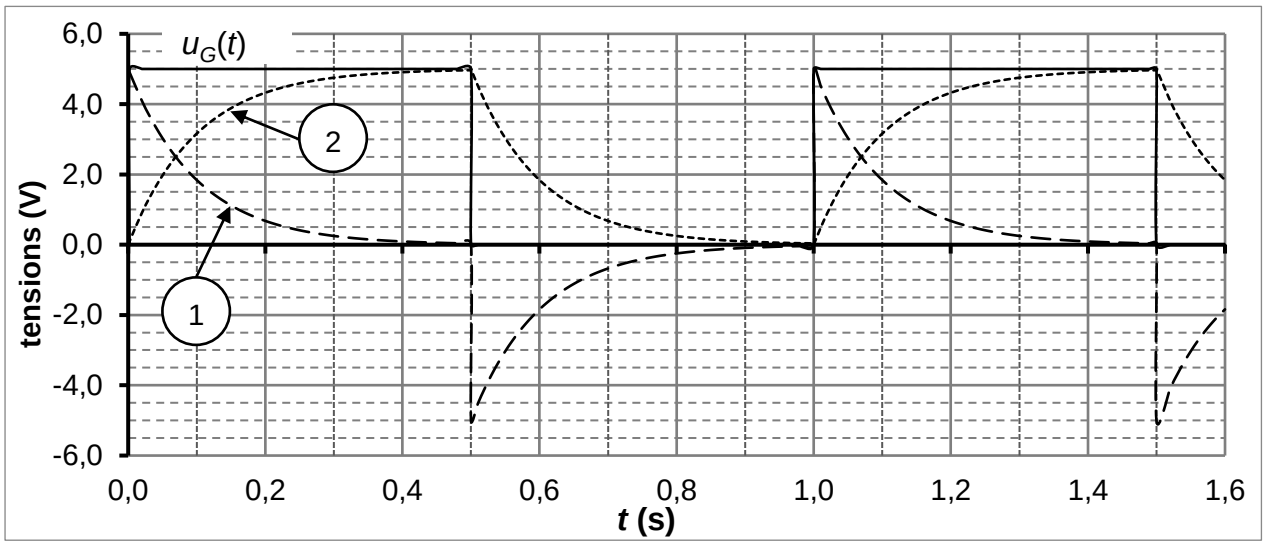


Figure 2. Représentation temporelle simulée des tensions $u_G(t)$, $u_C(t)$ et $u_R(t)$

1.1. À l'aide de la figure 2, déterminer la valeur de E ainsi que celle de la fréquence f de la tension en créneau $u_G(t)$.

1.2. Établir l'expression de l'intensité $i(t)$ du courant circulant dans le circuit en fonction de C et $\frac{\mathrm{d}u_C(\mathrm{t})}{\mathrm{d}t}$.

1.3. À $t = 0$ s, la tension $u_G(t)$ passe de 0 V à E. Le condensateur est initialement déchargé. On étudie dans cette question la phase de charge du condensateur entre $t = 0$ s et $t = \frac{T}{2}$.

1.3.1. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lorsque $u_G(t) = E$.

1.3.2. Vérifier que $u_C(t) = E\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)$ est solution de l'équation différentielle.

1.3.3. À partir de l'expression de $u_C(t)$, montrer que $u_R(t) = E\exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$.

1.4. Associer les courbes 1 et 2 de la figure 2 aux tensions $u_C(t)$ et $u_R(t)$. Justifier.

1.5. Les représentations temporelles de ces tensions ont été simulées avec $C = 1$ µF. Estimer la valeur de la résistance R en explicitant la méthode.

2. L'accéléromètre MEMS est constitué d'une partie mobile qui, soumise à une accélération, entraîne le déplacement de l'armature commune aux deux condensateurs. En l'absence d'accélération, chaque condensateur a une capacité C. On considère un déplacement de l'accéléromètre MEMS suivant Ox, lorsqu'il est soumis à une accélération, leurs capacités prennent respectivement les valeurs C_1 et C_2 comme l'illustrent les schémas de la figure 3.

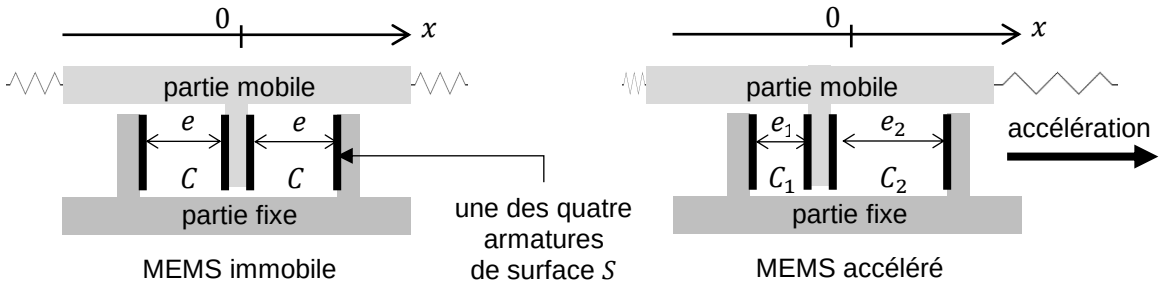


Figure 3. Schémas de principe de l'accéléromètre MEMS

2.1. La capacité d'un condensateur plan dont les armatures ont une surface S et sont séparées d'une distance e est donnée par la relation :

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{e}$$ où ε est une constante.

Comparer C_1 et C_2 en justifiant la réponse.

On suppose que les capacités sont reliées à l'accélération par les relations suivantes :
$C_1 = C \cdot (1 + k \cdot a_x)$ et $C_2 = C \cdot (1 - k \cdot a_x)$ où k est une constante positive et a_x est la composante de l'accélération suivant l'axe Ox.

2.2. Donner le signe de a_x qui permet de rendre compte de la situation schématisée sur la figure 3. Commenter.

Un circuit électrique non décrit permet de délivrer une tension de sortie continue V_{out} reliée à la composante de l'accélération a_x par la fonction affine : $V_{out} = V_0 + S \cdot a_x$ où V_0 est une tension continue et S est appelée sensibilité du capteur d'accélération.

2.3. Pour un accéléromètre dédié à la détection d'un accident frontal et au déclenchement d'un airbag, $S = 27\ \text{mV}/g$ avec $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Donner la signification physique de V_0 et calculer la variation de la valeur de la tension de sortie pour une accélération suivant x de $40\ g$. Commenter.

Partie 2. Étude d'un crash-test

Un essai de choc (crash-test) est une opération réalisée en laboratoire consistant à tester le comportement des véhicules en cas de choc ou de collision. Le véhicule testé est projeté à une vitesse donnée sur un obstacle massif de façon à reconstituer les conditions d'un choc et de mesurer les déformations du véhicule et les dommages causés aux passagers. Ceux-ci sont remplacés par des mannequins.

La figure 4 présente trois images issues de la vidéo d'un crash-test.

Le chronométrage est indiqué en millisecondes en haut à gauche sur chaque photo.

L'impact a lieu à la date $t = 0\ \text{s}$. Toutes les photos sont à la même échelle.



Source : euroncap.com

Figure 4. Photos du crash-test

1. Lors du crash-test, la voiture arrive à vitesse donnée sur l'obstacle.
À partir des images, évaluer cette vitesse en $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$. Détailler la démarche.

2. L'analyse de la vidéo permet de représenter les vitesses d'une des mires de la portière arrière de la voiture et de la tête du mannequin simulant le conducteur.

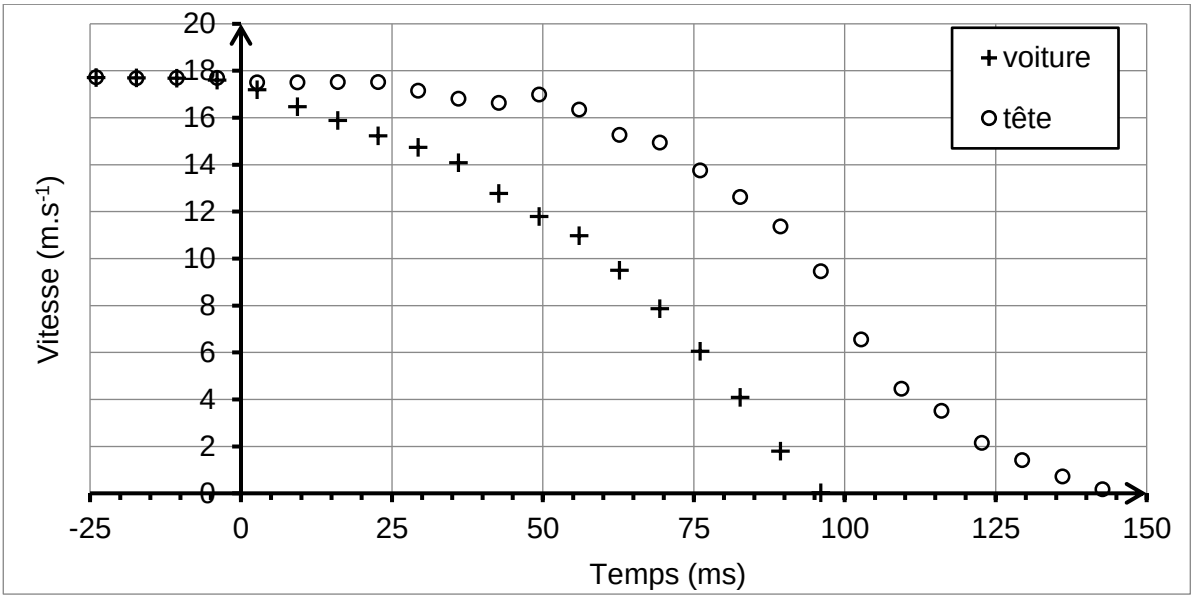


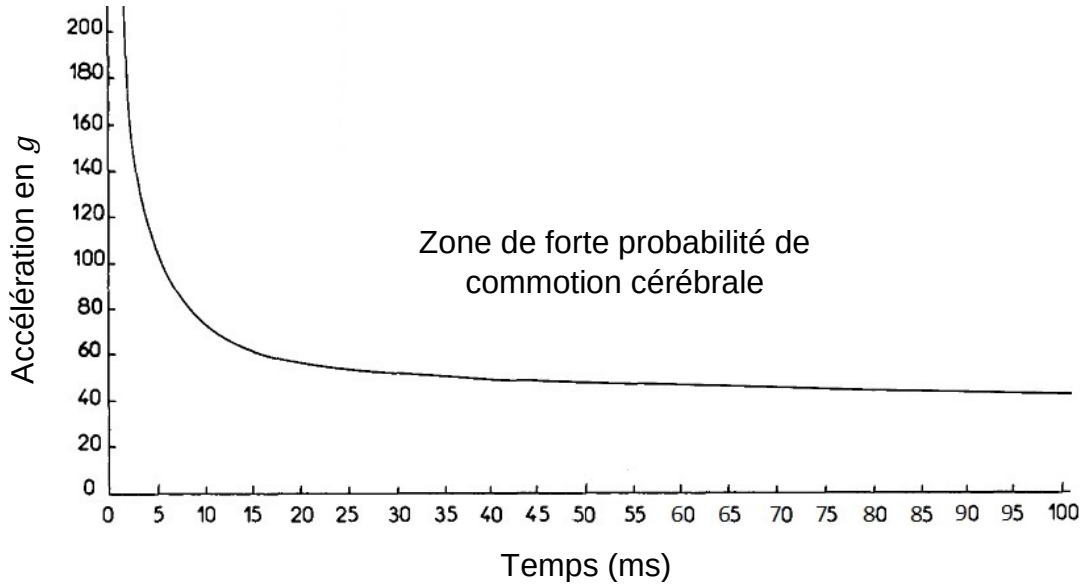
Figure 5. Évolutions au cours du temps des vitesses de la voiture et de la tête

2.1. Caractériser le mouvement de la tête pendant les $25\ \text{ms}$ suivant la date de l'impact qui a lieu à la date $t = 0\ \text{s}$.

2.2. Schématiser sommairement la voiture à la date $t = 75\ \text{ms}$ et représenter sans souci d'échelle ses vecteurs vitesse et accélération.

2.3. Estimer la valeur maximale de l'accélération subie par la tête du mannequin au cours du choc. Détailler la démarche.

La courbe suivante délimite la zone de forte probabilité d'apparition d'une commotion cérébrale en fonction de la valeur et de la durée de l'accélération subie par la tête.



D'après la Fédération Internationale des Ingénieurs et Techniciens de l'Automobile et de la Society of Automobile Engineers.

Figure 6. Probabilité d'apparition d'une commotion cérébrale

2.4. La probabilité d'apparition d'une commotion cérébrale est-elle importante pour un conducteur lors d'un choc similaire à celui réalisé lors du crash-test étudié ? Justifier.

Partie 3. Charge explosive

Données :

Espèce chimique	NaN_3	KNO_3
Masse molaire $(\mathrm{g \cdot mol^{-1}})$:	65,0	101,1

- pression atmosphérique : $P_0 = 101\ \mathrm{kPa}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31\ \mathrm{J{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}}$;
- la conversion de température de degré Celsius en degré Kelvin est donnée par la relation : $T(\mathrm{K}) = \theta(°\mathrm{C}) + 273$.

Lorsqu'une accélération excessive est détectée, un mélange constitué d'azoture de sodium (NaN_3) et de nitrate de potassium (KNO_3) contenu dans une cartouche est mis à feu.

Cette mise à feu produit du diazote, gaz nécessaire au gonflage de l'airbag. La modélisation de cette transformation chimique, supposée totale, conduit à la réaction dont l'équation est la suivante :

$$10\ NaN_3(s) + 2\ KNO_3(s) \rightarrow 16\ N_2(g) + K_2O(s) + 5\ Na_2O(s)$$

1. Rappeler l'équation d'état du gaz parfait en précisant les unités de chacune des grandeurs. On note P la pression, V le volume, T la température et n le nombre de moles du gaz parfait.

2. Dans le cadre du modèle du gaz parfait, déterminer la valeur de la quantité de matière de diazote permettant, à $20\ ^oC$ et à la pression atmosphérique, le gonflement d'un airbag de $60\ \mathrm{L}$, volume moyen d'un airbag conducteur.

3. Montrer que la masse minimale d'azoture de sodium nécessaire à la production de diazote pour le gonflement de l'airbag est de $101\ \mathrm{g}$. En déduire la masse minimale de nitrate de potassium que doit contenir la cartouche.

4. Le volume occupé par les réactifs solides est égal à $70\ \mathrm{cm^3}$.
Expliquer l'intérêt d'utiliser un dispositif avec des réactifs solides plutôt que du diazote stocké dans un réservoir sous pression à la température de $20\ ^oC$.

EXERCICES au choix du candidat (5 points)
Vous indiquerez sur votre copie **les 2 exercices choisis** :
exercice **A** ou exercice **B** ou exercice **C**.

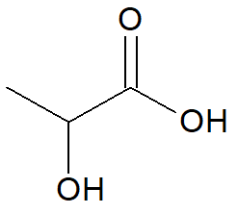
EXERCICE A. LE PLA OU ACIDE POLYLACTIQUE

Mots-clés : titrage avec suivi colorimétrique

Le PLA ou acide polylactique est un polymère dont la demande est croissante. Il est utilisé dans le secteur des emballages, des fibres, de la vaisselle jetable ou encore dans les matériaux d'impression pour les imprimantes 3D.
Il est souvent biosourcé car obtenu à partir de ressources renouvelables (amidon de maïs) et peut remplacer avantageusement de nombreux polymères pétrosourcés, car il possède des propriétés similaires à celles du PS (polystyrène) ou du PET (polyéthylène téréphtalate). De plus son recyclage chimique est possible. Il peut donc être une alternative à la pollution des milieux naturels par les plastiques.

1. La molécule d'acide lactique

On donne la formule topologique de la molécule d'acide lactique :



1.1. Dans la nomenclature officielle, l'acide lactique se nomme acide 2-hydroxypropanoïque. Justifier ce nom.

1.2. Écrire le couple acide base associé à l'acide lactique en utilisant les schémas de Lewis.

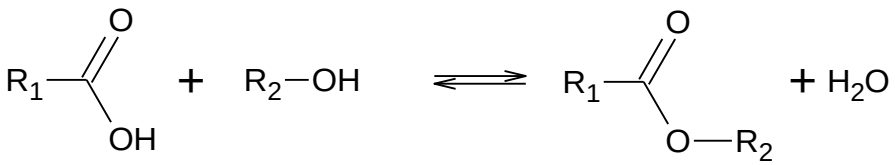
Une solution d'acide lactique de concentration en soluté apporté $C = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol·L}^{-1}$ a un pH égal à $2{,}8$.

1.3. Indiquer si, dans ces conditions expérimentales, cet acide est fort ou faible. Justifier.

1.4. Écrire l'équation de la réaction qui modélise la transformation chimique entre l'acide lactique et l'eau, en notant AH l'acide lactique.

2. Synthèse de l'acide polylactique (PLA)

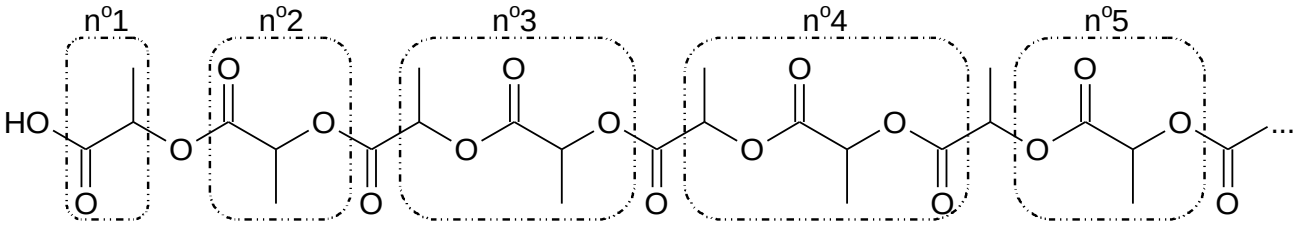
L'une des méthodes suivies pour la polymérisation industrielle de l'acide lactique utilise une réaction de type :

(1) 

où R_1 et R_2 sont des groupes alkyles.

2.1. Citer la famille fonctionnelle à laquelle appartient le produit organique formé.

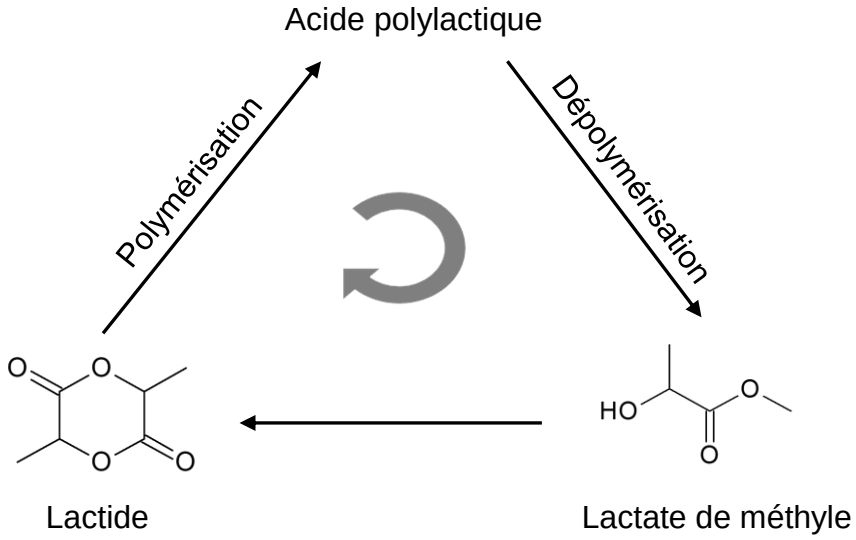
Les molécules d'acide lactique réagissent entre elles en chaîne selon l'équation de la réaction (1) et forment le PLA dont le début de la chaîne est représenté ci-après :



2.2. Parmi les groupements d'atomes encadrés, indiquer celui qui correspond au motif du polymère obtenu.

3. Dégradation de l'acide polylactique (PLA)

Une dépolymérisation du PLA consiste à faire réagir le polymère avec du méthanol. Le PLA est ainsi transformé en lactate de méthyle. Celui-ci peut ensuite être transformé en lactide, pouvant reconduire ultérieurement au polymère, dans la perspective du recyclage du PLA.



D'après Industrial & Engineering Chemistry Research
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.0c01122#

La dépolymérisation du PLA est réalisée à différentes températures : 70 °C, 90 °C et 110 °C. On obtient les courbes suivantes :

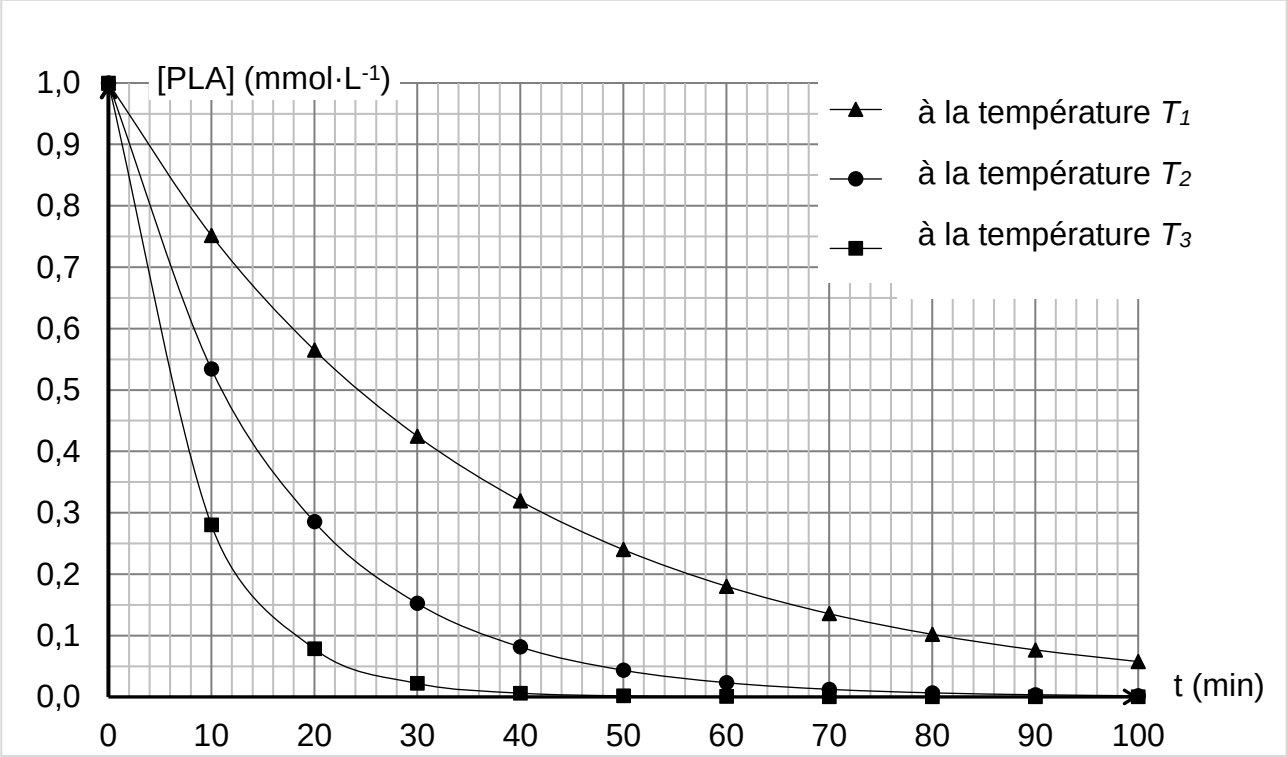


Figure 1. Étude de la dégradation chimique du PLA

3.1. Attribuer à T_1, T_2 et T_3 la valeur de température correspondante. Justifier.

3.2. L'exploitation de la courbe obtenue à la température T_1 permet d'obtenir les résultats suivants :

Date t (min)	0	20	40	60	80
$[PLA]$ (mol·L^{-1})	$1{,}0 \times 10^{-3}$	$5{,}6 \times 10^{-4}$	$3{,}2 \times 10^{-4}$	$1{,}8 \times 10^{-4}$	$1{,}0 \times 10^{-4}$
Vitesse volumique de disparition du PLA (mol·L^{-1}·s^{-1})	?	$2{,}7 \times 10^{-7}$	$1{,}5 \times 10^{-7}$	$8{,}5 \times 10^{-8}$	$4{,}8 \times 10^{-8}$

3.2.1. Définir la vitesse volumique de disparition du PLA.

3.2.2. Déterminer graphiquement la valeur de la vitesse volumique de disparition du PLA à la date $t = 0\ s$ pour la température T_1 afin de compléter le tableau ci-dessus. Décrire la méthode utilisée.

3.2.3. Montrer, en explicitant la démarche, que l'évolution de la concentration en PLA suit une loi de vitesse d'ordre 1.

EXERCICE B. BESOINS EN MAGNÉSIUM

Mots-clés : titrage avec suivi colorimétrique, exploitation de mesures

Le magnésium est un oligoélément indispensable à notre organisme. Il intervient dans le bon fonctionnement des systèmes musculaires et nerveux, la santé osseuse et la synthèse des protéines et de l'ADN. L'organisme humain ne peut pas produire ses propres réserves de magnésium aussi faut-il lui en apporter par le biais de l'alimentation.
En France, pour un adulte, l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) a conseillé un apport en magnésium de 6 mg/jour/kg.

Les cartouches « Edition Mg^{2+} » disponibles pour des carafes filtrantes permettraient de faire consommer une eau enrichie en magnésium.

Dans une cartouche filtrante « Edition Mg^{2+} », l'eau passe notamment par une résine échangeuse d'ions qui va éliminer le tartre et les métaux lourds ; les ions calcium présents dans l'eau sont alors remplacés par des ions magnésium […]

D'après https://www.bwt.com/fr-fr/



Le but de cet exercice est de vérifier l'efficacité de ces cartouches filtrantes relative au remplacement des ions calcium par des ions magnésium.

Données

- Masses molaires : M(Mg) = 24,3 g·mol^{-1} M(Ca) = 40,1 g·mol^{-1}
- Méthode de détermination de la concentration totale en ions magnésium et calcium.

  La concentration totale en ions magnésium et en ions calcium d'une eau peut être déterminée grâce à un titrage par l'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) en présence d'un indicateur coloré de fin de réaction et d'une solution tampon permettant de maintenir le pH de la solution entre 9 et 10.
  La concentration de la solution d'EDTA utilisée est $c = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol·L}^{-1}$.

  En milieu basique, l'EDTA contient des ions Y^{4-} (ions éthylènediaminetétraacétate) qui réagissent avec les ions magnésium (Mg^{2+}) et avec les ions calcium (Ca^{2+}). Ces transformations chimiques sont modélisables par deux réactions représentées par les équations suivantes :

  $$Mg^{2+}(aq) + Y^{4-}(aq) \rightarrow MgY^{2-}(aq)$$

  $$Ca^{2+}(aq) + Y^{4-}(aq) \rightarrow CaY^{2-}(aq)$$

- Méthode de détermination de la concentration en ions calcium

  La concentration en ions calcium d'une eau est déterminée grâce à un titrage par l'EDTA, à un pH supérieur à 12, en présence d'un indicateur coloré de fin de réaction. Dans ce domaine de pH, les ions magnésium forment un précipité.
  La concentration de la solution d'EDTA utilisée est $c = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol·L}^{-1}$.
  La réaction, support du titrage, modélisant la transformation s'écrit :

  $$Ca2+(aq) + Y4-(aq) \rightarrow CaY2-(aq)$$

Sur de l'eau obtenue après filtration avec une carafe munie de la cartouche « édition Mg^{2+} », on réalise les deux titrages décrits pour déterminer les concentrations des ions magnésium et calcium d'une part et les ions calcium seuls d'autre part.
Les deux titrages sont réalisés sur un volume $V = 100{,}0\ \mathrm{mL}$ d'eau filtrée.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Volumes d'EDTA versés	Eau filtrée
Volume V_E (en mL) d'EDTA versé pour atteindre l'équivalence lors du titrage des ions calcium	8,8
Volume V_E (en mL) d'EDTA versé pour atteindre l'équivalence lors du titrage des ions magnésium et des ions calcium	10,8

1. Réaliser le schéma légendé du montage permettant de réaliser le titrage des ions calcium présents dans une eau.

2. Pourquoi le titrage des ions calcium seuls est-il réalisé à un pH supérieur à 12 ?

3. Déterminer la concentration en quantité de matière en ions calcium de l'eau filtrée.

4. Montrer que la concentration en quantité de matière en ions magnésium est égale à $0{,}20\ \mathrm{mmol{\cdot}L^{-1}}$.

Un technicien de laboratoire procède à l'analyse de l'eau du robinet non filtrée et fournit les résultats suivants :

Concentrations en quantité de matière	Eau non filtrée
Concentration en quantité de matière des ions calcium	$2{,}2\ \mathrm{mmol{\cdot}L^{-1}}$
Concentration en quantité de matière des ions calcium et magnésium	$2{,}3\ \mathrm{mmol{\cdot}L^{-1}}$

5. Les résultats obtenus sont-ils en accord avec les propriétés annoncées pour la carafe filtrante munie de la cartouche « Edition Mg^{2+} » ?

6. Un adulte de masse $70\ \mathrm{kg}$ peut-il couvrir ses besoins journaliers en magnésium en consommant uniquement de l'eau filtrée ?

EXERCICE C. LA BATTERIE AU LITHIUM – FER – PHOSPHATE D'UNE AUTOMOBILE

Mots-clés : quotient de réaction et sens d'évolution d'un système, réaction d'oxydo-réduction

Les batteries lithium-ion sont devenues une source d'électricité indispensable pour nos dispositifs électroniques portables et portatifs dont la taille ne cesse de se réduire. En outre, du fait de leurs avantages remarquables par rapport aux autres types de batteries, par exemple leur densité de stockage d'énergie supérieure, elles ont permis le développement d'un large éventail d'applications au-delà de leur cœur de cible technologique, notamment pour les véhicules hybrides et électriques.
https://cordis.europa.eu/article/id/242819-improved-lithiumion-batteries-to-boost-electric-vehicles/fr

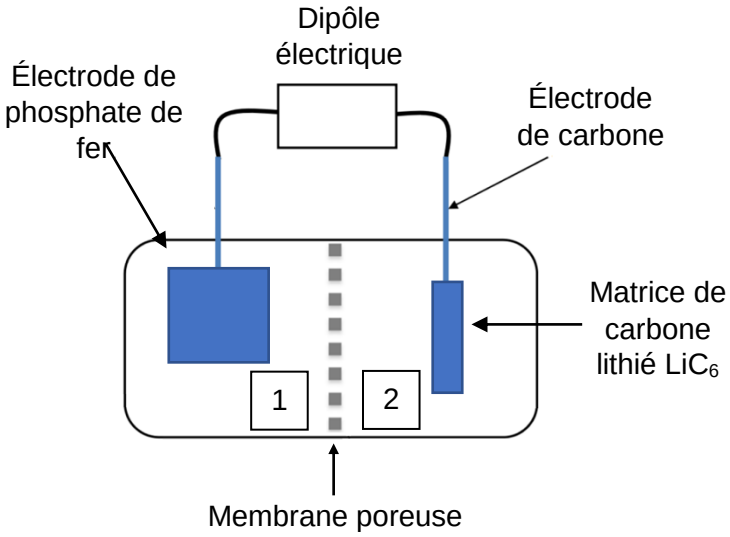
Données :

- charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$;
- équivalence ampère-heure / coulomb : $1{,}0\ \text{Ah} = 3{,}6 \times 10^{3}\ \text{C}$;
- masses molaires : $M(\text{LiC}_6) = 78{,}9\ \text{g·mol}^{-1}$, $M(\text{FePO}_4) = 150{,}8\ \text{g·mol}^{-1}$.

Caractéristiques de la batterie

L'électrode de phosphate de fer, FePO_4, du compartiment 1 a une masse $m(\text{FePO}_4) = 4{,}7\ \text{kg}$ et lorsque la batterie est chargée, l'électrode du compartiment 2 est recouverte d'une matrice de carbone lithié de formule LiC_6 pesant $1{,}1\ \text{kg}$. Les électrodes plongent dans un électrolyte organique ionique contenant des ions lithium et les deux compartiments sont séparés par une membrane.

Pour démarrer, la voiture nécessite une charge électrique $q_D = 45\ \text{Ah}$.



Lors de la décharge de la batterie, les transformations chimiques en jeu sont modélisables par deux réactions électrochimiques aux électrodes dont les équations figurent ci-dessous.

- Libération du lithium dans le compartiment 2 :

$$\text{LiC}_6(\text{s}) = 6\ \text{C}(\text{s}) + \text{Li}^+ + \text{e}^-$$

- Formation de phosphate de fer lithié de formule LiFePO_4 :

$$\text{Li}^+ + \text{e}^- + \text{FePO}_4(\text{s}) = \text{LiFePO}_4(\text{s})$$

1. Identifier l'électrode où se produit une oxydation et celle où se produit une réduction. Justifier.

2. Reproduire le schéma de la pile, indiquer les polarités des électrodes et représenter les porteurs de charges et leur sens de circulation lorsque la pile débite.

3. Écrire l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile.

4. La valeur de la constante d'équilibre de la réaction de fonctionnement de la pile à 25 °C vaut $K = 10^{54}$. Conclure quant à la transformation chimique mise en jeu dans la pile.

5. Montrer que la valeur de l'avancement final de la transformation est $x_{\text{max}} = 14\ \text{mol}$. Indiquer ce qu'il se passe lorsque cette valeur est atteinte lors du fonctionnement de la batterie ?

6. Déterminer la valeur de la capacité électrique maximale q_{max} de cette batterie.

7. Indiquer si la batterie permet le démarrage du véhicule.