BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 1

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 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

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)

PREPARATION D'UNE BIERE BRUNE AROMATISEE

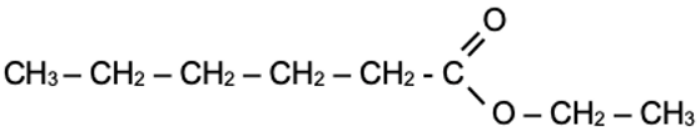
Depuis l'antiquité, les bières sont produites selon le même procédé à partir de quatre constituants : l'eau, le malt, le houblon et les levures. L'origine des ingrédients et les différentes étapes de transformation vont apporter à la bière sa couleur, sa saveur ou encore son amertume.

Entre 250 et 300 espèces chimiques présentes dans la bière proviennent des huiles essentielles du houblon, parmi lesquelles plus de 60 esters différents dont les plus importants sont l'acétate d'éthyle, l'acétate d'isoamyle, l'acétate d'isobutyle, l'acétate de phényle, l'hexanoate d'éthyle et le caprylate d'éthyle.

Afin d'intensifier la saveur fruitée d'une bière, on peut rajouter, en fin de fabrication, un ester dont la réaction de synthèse va être étudiée dans un premier temps **(partie 1)**. La qualité de l'eau utilisée étant très importante dans la fabrication de la bière, l'analyse d'une eau de brassage sera effectuée dans un second temps **(partie 2)**.

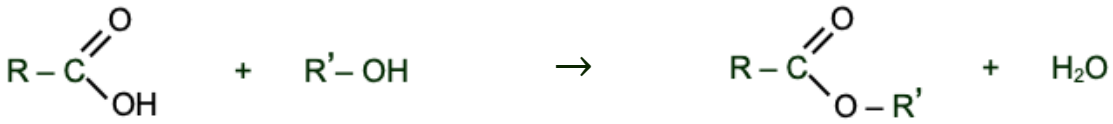
Partie 1 – Synthèse d'un ester au laboratoire

L'ester, noté E, dont la formule semi-développée est représentée ci-après, permet d'obtenir un arôme de fruits rouges qui peut servir pour intensifier le goût d'une bière.



Ester E

Cet ester peut être synthétisé au laboratoire à partir d'un acide carboxylique et d'un alcool. La réaction modélisant cette synthèse est appelée réaction d'estérification. L'équation de la réaction d'estérification, écrite dans le cas général avec R et R' chaines carbonées, est la suivante :



Acide carboxylique — Alcool — Ester — Eau

Données

- Préfixes utilisés dans les règles de nomenclature

Nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5	6	7	8
Préfixe	méth-	éth-	prop-	but-	pent-	hex-	hept-	oct-

- Masse volumique ρ (en $\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$) à $25\ °\mathrm{C}$

acide carboxylique A	alcool B
0,930	0,789

- Masse molaire (en $\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$)

Acide A	Alcool B	Ester noté E
116,2	46,1	144,2

- Extrait d'une table de spectroscopie infrarouge

Liaison	Nombre d'onde ($\mathrm{cm^{-1}}$)	Intensité
O-H alcool libre	3500 – 3700	forte, fine
O-H alcool lié	3200 – 3400	forte, large
O-H acide carboxylique	2500 – 3200	forte à moyenne, large
C_{tri} - H	3000 – 3100	Moyenne
$C_{tét}$ - H	2800 – 3000	Forte
C = O	1680 – 1740	Forte

Remarques :

C_{tri} signifie que l'atome de carbone est trigonal, c'est-à-dire relié à trois voisins.
$C_{tét}$ signifie que l'atome de carbone est tétragonal, c'est-à-dire relié à quatre voisins.

1. Nommer l'ester E et représenter sa formule topologique.

2. Écrire les formules semi-développées de l'acide carboxylique A et de l'alcool B intervenant dans la synthèse de l'ester E et nommer chacun d'eux.

Pour obtenir l'ester E, on chauffe à reflux un volume d'alcool $V_{alcool} = 20{,}0\ \mathrm{mL}$ avec un volume d'acide carboxylique $V_{acide} = 43{,}0\ \mathrm{mL}$, en présence d'acide sulfurique. On obtient, après séparation, rinçage et séchage, une masse $m_E = 33{,}1\ \mathrm{g}$ d'ester E.

3. Justifier le double intérêt d'un chauffage à reflux.

4. L'acide sulfurique joue le rôle de catalyseur lors de cette synthèse. Citer la définition d'un catalyseur.

5. Montrer que les réactifs sont dans des proportions pratiquement stoechiométriques et déterminer la valeur du rendement de cette synthèse.

Pour améliorer le rendement de la synthèse, on réalise trois synthèses en faisant varier différents paramètres expérimentaux. Pour chaque synthèse, un suivi temporel de la concentration en acide carboxylique est réalisé par titrage. Ce suivi conduit aux tracés des courbes représentant l'évolution de la concentration de l'acide carboxylique en fonction du temps (figure 1).

	Volume d'acide	Volume d'alcool	Catalyseur	Température
Synthèse 1	43 mL	20 mL	Oui	50 °C
Synthèse 2	43 mL	25 mL	Oui	50 °C
Synthèse 3	43 mL	20 mL	Oui	70 °C

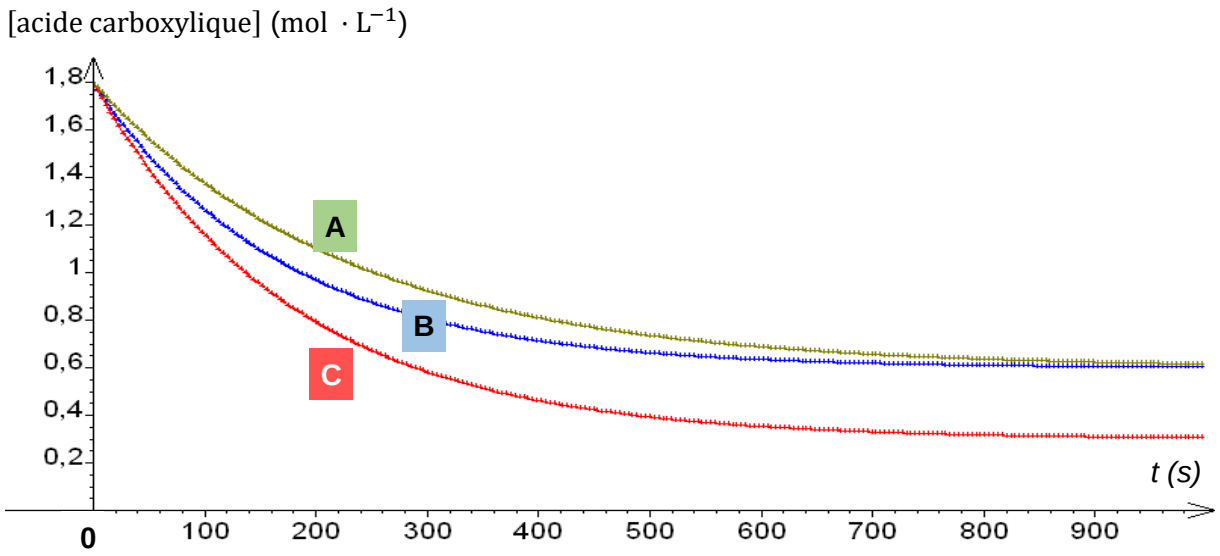


figure 1 : évolutions temporelles de la concentration en acide carboxylique

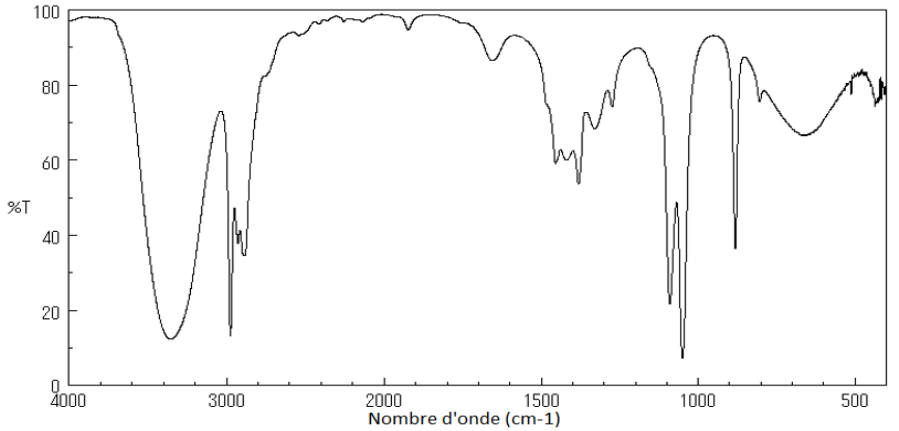
6. Identifier les conditions expérimentales, en précisant le numéro de la synthèse, pour lesquelles la réaction d'estérification est la plus lente. Préciser la courbe associée.

7. Identifier les conditions expérimentales, en précisant le numéro de la synthèse, pour lesquelles le rendement de la réaction d'estérification est amélioré. Préciser la courbe associée.

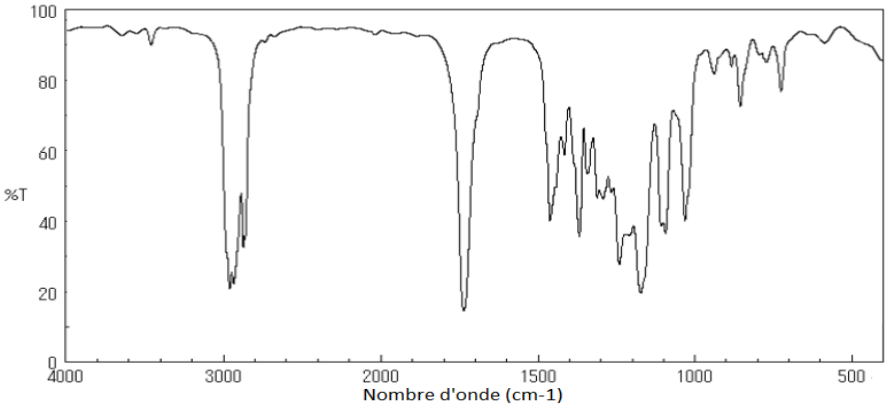
Les spectres infrarouge de chacun des réactifs avant la synthèse et du produit organique isolé et purifié après la synthèse ont été réalisés. Ils sont reproduits ci-après.

8. Parmi ces trois spectres infrarouge (page 5/15), identifier celui de l'ester E en précisant la démarche suivie.

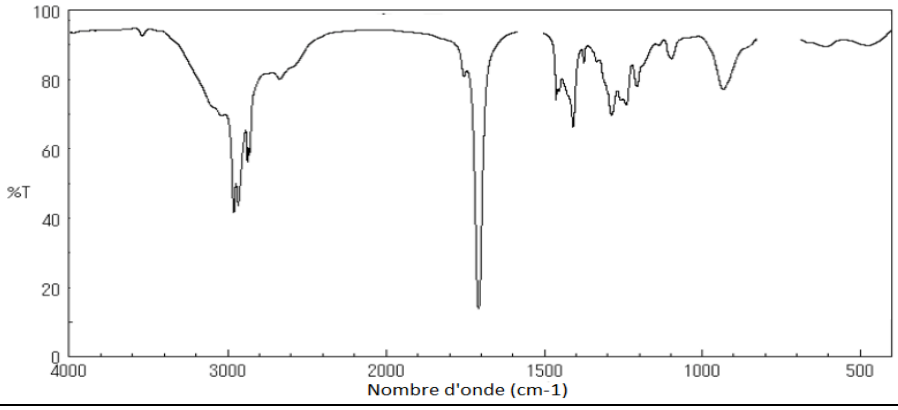
Spectre 1



Spectre 2



Spectre 3



Partie 2 – Étude de l'eau de brassage d'une bière brune

La composition de l'eau utilisée pour la fabrication d'une bière a une influence sur sa saveur ou sa couleur. Dans le cas de la bière brune, l'eau utilisée doit contenir, entre autres, des ions chlorure à une concentration massique comprise entre 100 et $200\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Dans cette partie, on souhaite savoir si une eau de source peut convenir au brassage d'une bière. À cette fin, les ions chlorure présents dans cette eau de source sont titrés par une solution de nitrate d'argent. Le titrage est suivi par conductimétrie.

Données :

- Conductivités molaires ioniques à $25°\text{C}$:

ions	ion nitrate NO_3^-	ion chlorure $C\ell^-$	ion argent Ag^+	ion sodium Na^+
$\lambda\ (\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1})$	7,1	7,7	6,2	5,0

- Masse molaire atomique du chlore : $M(C\ell) = 35{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Étude de la réaction support du titrage

Pour que la réaction entre les ions argent et les ions chlorure soit adaptée pour réaliser le titrage, il faut que la transformation associée soit rapide et totale. On souhaite s'assurer qu'elle respecte ces conditions.
Pour cela, on mélange, dans un tube à essai :

- un volume $V_1 = 2{,}0\ \text{mL}$ de solution aqueuse de chlorure de sodium $(Na^+\,(aq)\,,\ C\ell^-\,(aq))$ de concentration $C_1 = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- et un volume $V_2 = 2{,}0\ \text{mL}$ de solution aqueuse de nitrate d'argent $(Ag^+\,(aq)\,,\ NO_3^-(aq))$ de concentration $C_2 = 4{,}25 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On observe la formation immédiate d'un précipité blanc, solide identifié comme étant du chlorure d'argent. L'équation de la réaction modélisant cette transformation est :

$$Ag^+\,(aq) + C\ell^-\,(aq) \rightarrow AgC\ell(s)$$

La valeur de la constante d'équilibre de cette réaction à $25°\text{C}$ est $K = 6{,}4 \times 10^9$.

9. Montrer qu'à l'équilibre du système chimique, l'avancement à l'équilibre x_{eq} peut être déterminé par la résolution de l'équation :

$$\frac{(V_1 + V_2)^2\ (C^0)^2}{(V_1\ C_1\ - x_{eq})(\ V_2\ C_2\ - x_{eq})} = K \quad \text{avec} \quad C^0 = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Cette équation du second degré en x_{eq} admet deux solutions dont les valeurs arrondies sont :

$$x_1 = 1 \times 10^{-4}\ \text{mol} \ \text{ et } \ x_2 = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \text{mol}$$

Indiquer la solution qui peut être retenue pour ce système chimique.

10. Discuter si cette transformation est adaptée au titrage des ions chlorure.

Dosage par titrage de l'eau de source envisagée pour le brassage

On prélève un volume $V_1 = 100{,}0\ \text{mL}$ d'eau de source que l'on introduit dans un grand bécher dans lequel on plonge une cellule conductimétrique. À l'aide d'une burette graduée, on ajoute progressivement une solution aqueuse de nitrate d'argent $(Ag^+(aq)\ ,\ NO_3^-(aq))$ de concentration $C_3 = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La conductivité σ du mélange dans le bécher, maintenu sous une agitation régulière, évolue en fonction du volume V_3 de la solution de nitrate d'argent ajouté. Le tracé de cette évolution est représenté en figure 2.

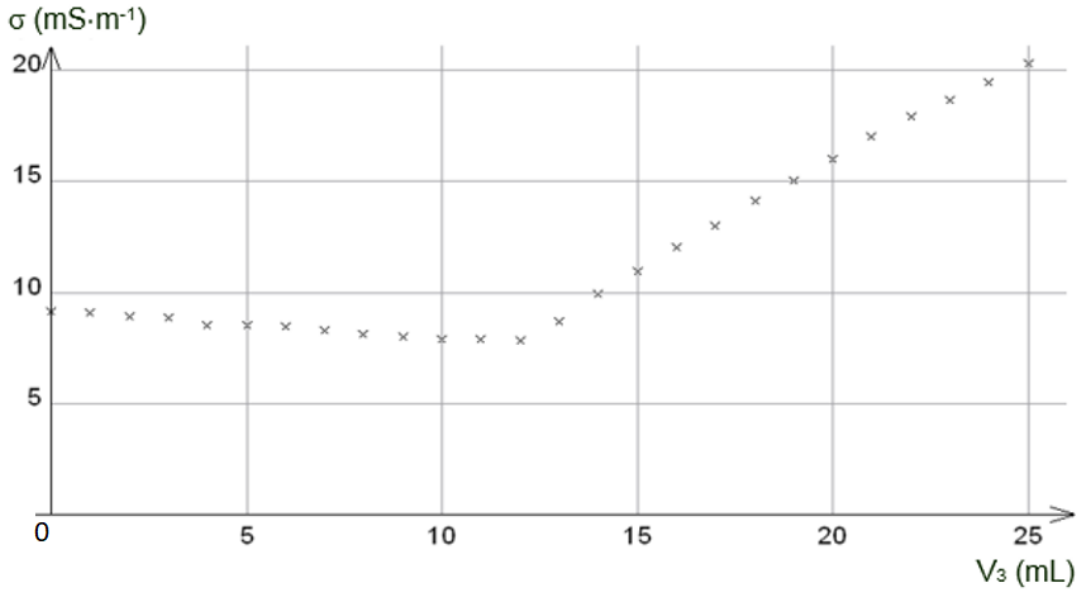


figure 2 : évolution de la conductivité σ du mélange dans le bécher en fonction du volume V_3 de solution de nitrate d'argent versé

11. Faire un schéma légendé du dispositif utilisé lors de ce titrage.

12. Justifier les évolutions de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher avant et après l'équivalence.

13. Indiquer si la teneur en ions chlorure de l'eau analysée peut convenir pour la fabrication de la bière brune.

Le candidat est invité à prendre des initiatives, à indiquer les hypothèses qu'il est amené à formuler et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

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 : LES SUPERCONDENSATEURS (5 POINTS)

Mots-clés *: modèle du condensateur, circuit RC série.*

Un supercondensateur permet de stocker et de restituer rapidement de l'énergie électrique.
Dans certains transports en commun, un supercondensateur est utilisé pour emmagasiner un maximum d'énergie électrique en quelques secondes lors des phases de freinage.

Si des condensateurs classiques étaient utilisés à la place des supercondensateurs, il faudrait *des armatures de très grandes surfaces* et *très rapprochées*, séparées par un excellent diélectrique.

Cet exercice a pour objectifs :

- de comparer qualitativement un supercondensateur avec un condensateur usuel ;
- d'étudier le comportement d'un supercondensateur lors de sa charge afin de déterminer expérimentalement la valeur de sa capacité et de la comparer à celle fournie par le fabricant.

Données constructeur sur le supercondensateur étudié :

- dimensions : $35\ \text{mm} \times 60\ \text{mm}$
- capacité : $400\ \text{F}$
- tension maximale : $2{,}5\ \text{V}$
- énergie maximale : $0{,}35\ \text{Wh}$



1. Comparer la valeur de la capacité du supercondensateur étudié aux valeurs usuelles des capacités des condensateurs utilisées au lycée ou en électronique.

La valeur de la capacité C d'un condensateur plan peut être déterminée à l'aide de la relation :

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

où :

S est la surface en regard des deux armatures,

d est l'écartement entre les deux armatures,

ϵ est une constante caractéristique du matériau isolant placé entre les deux armatures.

2. Justifier qualitativement les parties en italique et soulignées du texte de présentation des supercondensateurs.

Étude du modèle du circuit RC série

On souhaite déterminer la valeur de la capacité du supercondensateur en utilisant un cycle de charge dans un circuit RC. Pour cela, on étudie dans un premier temps le comportement d'un modèle de circuit RC série.

On considère le circuit électrique schématisé ci-dessous (**figure 1**) composé d'une source idéale de tension E, d'un interrupteur K, d'un conducteur ohmique de résistance R, du supercondensateur de capacité C et d'un ampèremètre de résistance interne négligeable (la tension aux bornes de l'ampèremètre est considérée comme nulle).

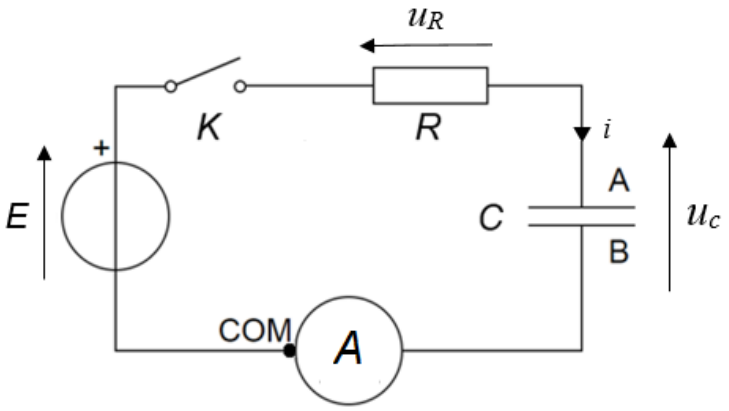


figure 1. Circuit électrique RC série

Le supercondensateur est initialement déchargé. À l'instant $t = 0$ s, on ferme l'interrupteur.

3. Donner la relation entre l'intensité $i(t)$ du courant électrique et la dérivée de la charge $q(t)$ portée par l'armature A du supercondensateur, puis la relation entre l'intensité $i(t)$, la capacité C et la dérivée de la tension électrique $u_C(t)$ aux bornes du supercondensateur.

4. Montrer que l'équation différentielle dont la tension électrique $u_C(t)$ aux bornes du supercondensateur est une solution est de la forme :

$$\frac{du_C}{dt}(t) + \frac{1}{\tau}\, u_C(t) = \frac{E}{\tau}$$

Exprimer la constante de temps τ en fonction de R et de C.

5. Vérifier que les solutions de cette équation différentielle sont de la forme :

$$u_C(t) = A\, e^{-\frac{t}{\tau}} + E$$

Déterminer l'expression de A pour la situation étudiée.

Etude expérimentale et détermination de la valeur de la capacité

On réalise le montage précédent avec une source idéale de tension de valeur $E = 2{,}5\ V$ et un conducteur ohmique de résistance $R = 2{,}0\ \Omega$.

À l'aide d'une carte d'acquisition, on réalise le suivi temporel de la tension aux bornes du supercondensateur durant sa charge (**figure 2 page 10/15**).

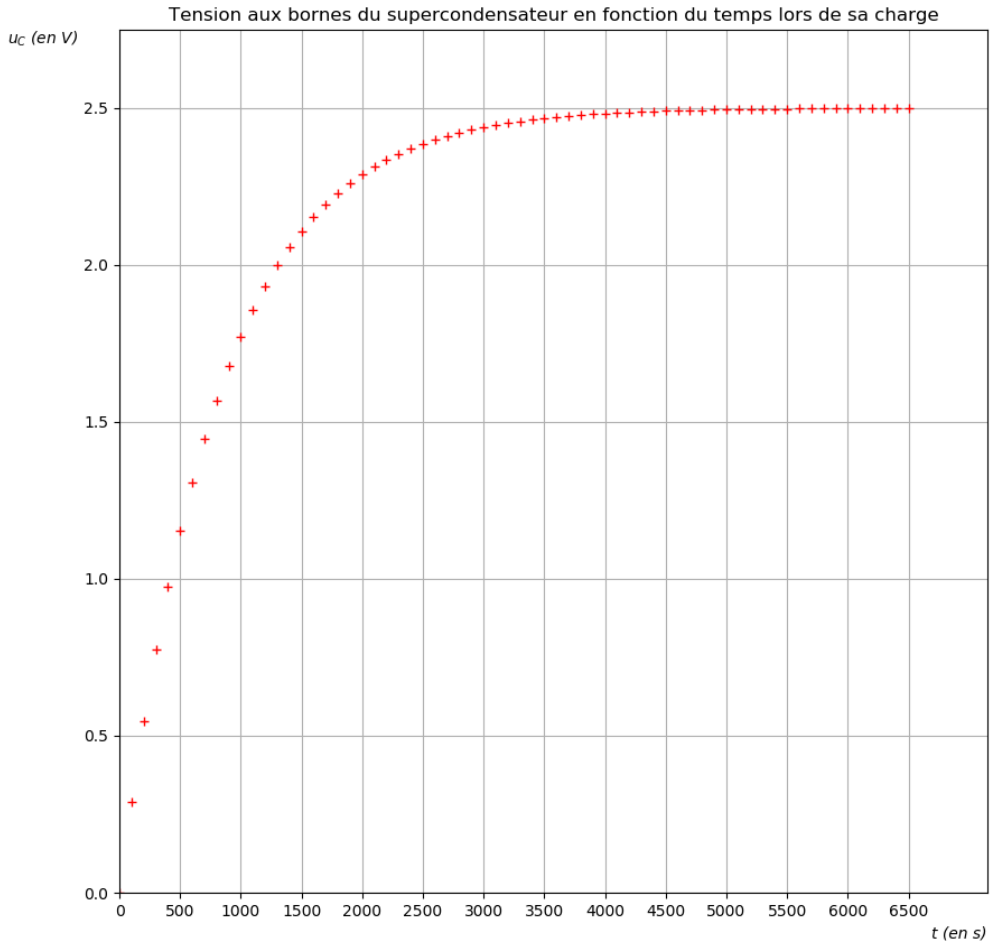


figure 2.

6. Déterminer la valeur C_1 de la capacité du supercondensateur en explicitant la démarche suivie.

À l'aide d'un microcontrôleur et d'un programme en python, on peut reproduire l'expérience un grand nombre de fois pour affiner la détermination du temps caractéristique du dipôle *RC* réalisé avec ce même supercondensateur. Ce programme permet d'obtenir le temps caractéristique du dipôle RC en déterminant la date pour laquelle le condensateur est chargé à 63%.

Après 10 exécutions successives du programme, on obtient, pour le temps caractéristique du dipôle RC, la série de valeurs suivantes exprimées en ms :

811614	*818076*	*810301*	*810495*	*818526*	*812067*	*811327*	*813109*	*817838*	*819474*

La moyenne $\overline{\tau_2}$ de la série de mesures est $\overline{\tau_2}$= 814,2827 s.

La calculatrice donne 1,175 s pour le calcul de l'incertitude-type.

7. Écrire de manière appropriée le résultat de la mesure du temps caractéristique avec son incertitude-type.

On estime que l'incertitude-type de la résistance du conducteur ohmique est $u(R) = 0{,}1\ \Omega$.

L'incertitude-type sur la valeur de la capacité C_2 du supercondensateur se déduit des mesures de la résistance et du temps caractéristique moyen par la relation :

$$u(C_2) = C_2\sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{u(\overline{\tau_2})}{\overline{\tau_2}}\right)^2}$$

8. Déterminer la valeur de la capacité C_2 du supercondensateur ainsi que son incertitude-type.

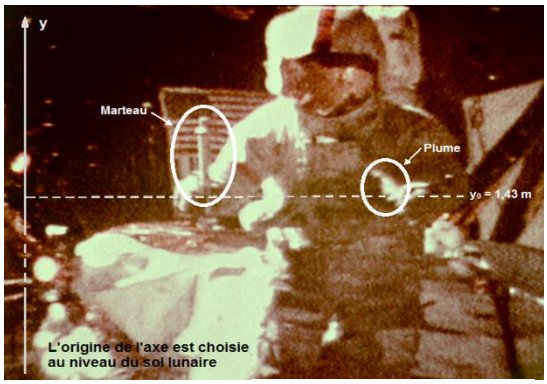
9. Comparer la valeur de la capacité C_2 mesurée expérimentalement avec la valeur de référence C_{ref} donnée par le constructeur en utilisant le quotient $\frac{|C_2 - Cref|}{u(C_2)}$. Conclure.

EXERCICE B : DETERMINATION DE LA MASSE DE LA LUNE (5 POINTS)

Mots-clés *: deuxième loi de Newton, mouvement dans un champ uniforme.*

Au XVII^{ème} siècle, Galilée a établi que la vitesse d'un objet en chute libre est indépendante de la masse de cet objet : lâchés avec des conditions initiales identiques, deux objets quelconques ont le même mouvement de chute libre.

Une vérification expérimentale spectaculaire a été réalisée sur la Lune par l'astronaute David Scott en 1971. Scott a utilisé un marteau et une plume qu'il a lâchés simultanément d'une même hauteur avec une vitesse initiale nulle. Les deux objets ont touché le sol lunaire au même instant.



https://nssdc.gsfc.nasa.g

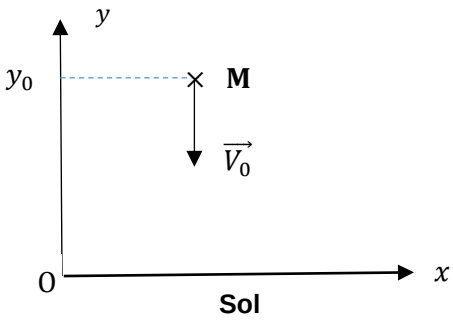
Outre cette vérification de la loi de la chute des corps, cette expérience permet également d'estimer la masse de la Lune en utilisant les lois de la mécanique de Newton.

L'objet de cet exercice est de retrouver la masse de la Lune en analysant le mouvement de l'un des deux corps lâchés par Scott. On s'intéresse au mouvement du système {marteau}.

Données

- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.
- Rayon de la Lune : $R_L = 1{,}74 \times 10^6\ \text{m}$.
- Masse de la Lune : $M_L = 7{,}34 \times 10^{22}\ \text{kg}$.

Le mouvement du centre de masse du marteau est étudié dans un référentiel lunaire supposé galiléen. L'origine du repère est choisie au niveau du sol lunaire.



Le pointage des positions du marteau débute à un instant choisi comme origine des dates lorsque le marteau se trouve à $1{,}43\ \text{m}$ du sol. Il a alors une vitesse $\overrightarrow{V_0}$ verticale, dirigée vers le bas.

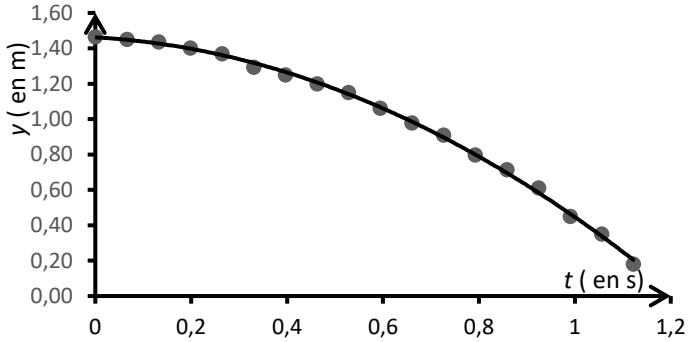
Le mouvement du marteau est vertical suivant l'axe $(0y)$.

Le pointage des positions successives occupées par le marteau a permis de réaliser un graphe représentant ces positions, repérées par des points, en fonction du temps.

Le tableur utilisé permet de modéliser la courbe $y = f(t)$ représentant l'évolution temporelle des positions par une parabole d'équation : $y = A\,t^2 + B\,t + C$

avec :

$A = -0{,}865\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$,
$B = -0{,}15\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,
$C = 1{,}43\ \text{m}$.
y en mètre
t en seconde



Questions préliminaires

1. Compte tenu de la faible valeur de la hauteur initiale, on considère que la distance entre le centre de la Lune et le marteau tout au long de sa chute est égale au rayon de la Lune R_L.
Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\vec{F}_{\text{Lune/marteau}}$ modélisant l'action exercée par la Lune sur le marteau en fonction de la masse de la Lune M_L, de la masse du marteau m, du rayon de la Lune R_L et d'un vecteur unitaire $\vec{u}$ orienté du centre de la Lune vers la surface lunaire. Représenter cette force sur un schéma, sans souci d'échelle.

2. Par approximation, on peut assimiler le champ de gravitation lunaire $\overrightarrow{\mathcal{G}_L}$ à la surface de la Lune au champ de pesanteur sur la Lune $\overrightarrow{g_L}$.
Montrer que l'expression du champ de pesanteur $\overrightarrow{g_L}$, au lieu où se trouve le marteau sur la Lune, s'écrit :

$$\overrightarrow{g_L} = -G \times \frac{M_L}{R_L^2}\,\vec{u}$$

3. Montrer que, pendant la chute, le vecteur accélération du marteau $\vec{a}$ vérifie :
$$\vec{a} = \overrightarrow{g_L} .$$

Problème à résoudre

En s'appuyant sur les questions préliminaires et sur la modélisation de l'évolution temporelle des positions fournie par le tableur, déterminer la masse de la Lune M_L.
L'analyse des données, la démarche suivie ainsi que les calculs doivent être correctement présentés et justifiés.
Un regard critique sera porté sur le résultat et des propositions seront faites sur les causes possibles d'un éventuel écart avec la valeur de référence fournie.

Le candidat est invité à présenter sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

EXERCICE C : LA CONGELATION DE L'EAU (5 POINTS)

Mots clés *: premier principe de la thermodynamique, flux thermique, loi phénoménologique de Newton.*

Dans cet exercice, on souhaite estimer la durée nécessaire pour que toute l'eau d'un bac à glaçons, placée dans un congélateur, soit transformée en glace. L'eau est initialement à la température ambiante. On distingue deux phases au processus.

(phase a) : Le refroidissement de l'eau de la température ambiante (T_a) à la température de solidification (T_s).

(phase b) : Le changement d'état de l'eau qui s'effectue à température constante (T_s).

Dans l'ensemble de l'exercice, le système étudié {eau} est l'eau placée dans le bac à glaçons. L'énergie reçue par le système est comptée positivement, celle perdue est comptée négativement.

Données

- Masse d'eau à congeler : $m = 150\ \text{g}$
- Température ambiante : $T_a = 23{,}0°\text{C}$
- La température de solidification de l'eau à la pression atmosphérique T_s est supposée connue du candidat.
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4\,185\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

1. Préciser le sens dans lequel se font les transferts thermiques entre le système {eau} et l'air du congélateur. En déduire le signe de l'énergie échangée sous forme de transfert thermique Q entre le système et l'air du congélateur.

2. Indiquer si le changement d'état de l'eau *(phase b)* est une transformation *endothermique* ou *exothermique*.

3. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne ΔU du système {eau} durant la phase de refroidissement *(phase a)* en fonction de la variation de sa température ΔT, de sa masse m et de sa capacité thermique massique c_{eau}.

Première estimation de la durée de congélation à l'aide de la puissance du dispositif de refroidissement du congélateur

Dans le congélateur, un dispositif de refroidissement permet de prélever de l'énergie à l'air de la cavité intérieure du congélateur, l'air prélevant de l'énergie à l'eau placée dans le bac à glaçons. Dans cette partie, on prend pour hypothèse que l'énergie prélevée par unité de temps à l'eau est égale à la puissance du dispositif de refroidissement du congélateur, qui vaut 40 W.

4. À l'aide du premier principe, montrer que l'énergie échangée par l'eau avec l'air, sous forme de transfert thermique Q_r au cours du refroidissement *(phase a)* a pour valeur $-14{,}4\ \text{kJ}$.

5. Estimer la durée nécessaire pour que cette énergie soit prélevée par le dispositif de refroidissement du congélateur

Pour le changement d'état de l'eau, le même raisonnement conduit à estimer que la durée nécessaire pour que toute l'eau soit transformée en glace est de 1250 secondes soit environ 21 minutes. Or, la réalisation de l'expérience fait apparaître une durée nécessaire pour la

congélation complète de l'eau de l'ordre d'une heure. Pour expliquer cet écart, on envisage un autre modèle.

Deuxième estimation de la durée de congélation avec la loi phénoménologique de Newton

On fait l'hypothèse que l'air à l'intérieur du congélateur joue le rôle d'un thermostat, sa température T_{th} restant constante.
Les transferts thermiques entre le système {eau} et l'air intérieur du congélateur (mis en mouvement par une ventilation) peuvent être décrit par la loi de Newton. Cette loi lie le flux thermique échangé Φ (en W) à l'écart de température entre l'air (T_{th}) et le système (T), et à la surface d'échange S.

$$\Phi = -h\,S\,(T - T_{th})$$

Pendant la phase de refroidissement (*phase a)*, la température T du système {eau} n'est pas constante. Pour pouvoir estimer la durée nécessaire au refroidissement, il convient de modéliser son évolution temporelle.

Données

- Température de l'air dans l'espace intérieur du congélateur : $T_{th} = -18{,}0°\text{C}$
- La valeur du produit $h\,S$ est estimé à : $h\,S = 0{,}92\ \text{W}\cdot\text{K}^{-1}$

6. La loi de Newton permet d'estimer les valeurs du flux thermique entre l'eau et l'air au début ($T = T_a$) et à la fin ($T = T_s$) de la phase de refroidissement :

$$\Phi(T_a) = -\,38\ \text{W} \quad \text{et} \quad \Phi(T_s) = -\,17\ \text{W}$$

Comparer ces valeurs à la puissance du système de refroidissement du congélateur. Discuter de ce qu'apporte ce modèle par rapport à celui utilisé lors de la première estimation.

7. Donner l'expression reliant l'énergie échangée sous forme de transfert thermique Q entre l'air et l'eau pendant une durée Δt très petite, le flux thermique Φ, supposé constant pendant cette durée, et la durée Δt.

8. À l'aide du premier principe de la thermodynamique et de la loi de Newton, dans le cas où Δt tend vers 0, montrer que l'évolution temporelle de la température de l'eau est régie par :

$$\frac{dT}{dt} = -r\,(T - T_{th})$$

Exprimer le coefficient r en fonction de h, S, m et c_{eau} , préciser sa valeur et son unité.

Dans les conditions de l'expérience, la solution de cette équation différentielle est :

$$T(t) = (T_a - T_{th})e^{-rt} + T_{th}$$

9. Déduire de cette modélisation, une estimation de la durée nécessaire pour refroidir l'eau liquide lors de la première phase du processus (*phase a*). Comparer avec la première étude. Conclure.