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 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 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

L'annexe page 14 est à rendre avec la copie.

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)

FERMENTATION DE LA PÂTE À PIZZA NAPOLITAINE



La « Pizza Napoletana » se présente comme un aliment de forme arrondie cuit au four, au diamètre variable qui ne doit pas dépasser 35 cm, au bord surélevé et dont la partie centrale est garnie. La partie centrale a une épaisseur de 0,4 cm, avec une tolérance admise de ± 10 %, et le bord de 1 à 2 cm. La pizza dans son ensemble est tendre, élastique, facilement pliable en quatre.

D'après Journal Officiel de l'Union européenne 14.2.2008

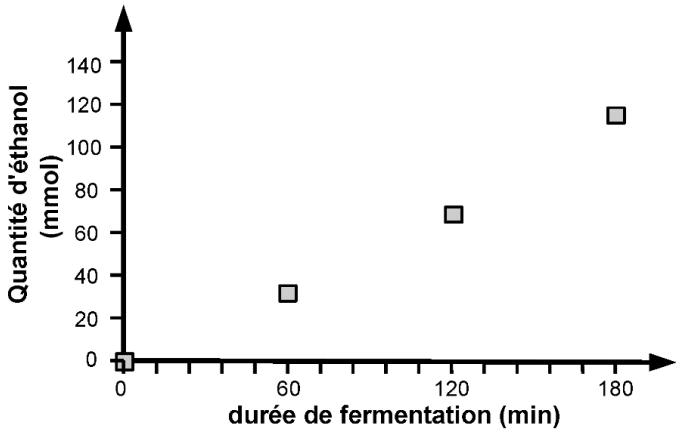
Pour réussir une bonne pizza napolitaine, le repos de la pâte s'avère crucial.
Lors de ce repos, la pâte gonfle : elle « s'aère » et les arômes se développent.
Les ingrédients de base d'une pâte à pizza napolitaine sont la farine, l'eau, le sel et la levure de boulanger. Cette dernière est composée de plusieurs souches de *Saccharomyces cerevisiae*, un champignon unicellulaire. Utilisée dans la fabrication de la pâte, la levure permet la dégradation des différents sucres présents (saccharose, glucose et maltose notamment) non seulement en dioxyde de carbone mais aussi en de nombreux composés aromatiques (dont des aldéhydes) responsables du goût de la pâte.
L'une des transformations chimiques responsables du gonflement de la pâte est la fermentation éthanolique, qui produit de l'éthanol et du dioxyde de carbone à partir de glucose ; elle est modélisée par la réaction dont l'équation est la suivante :

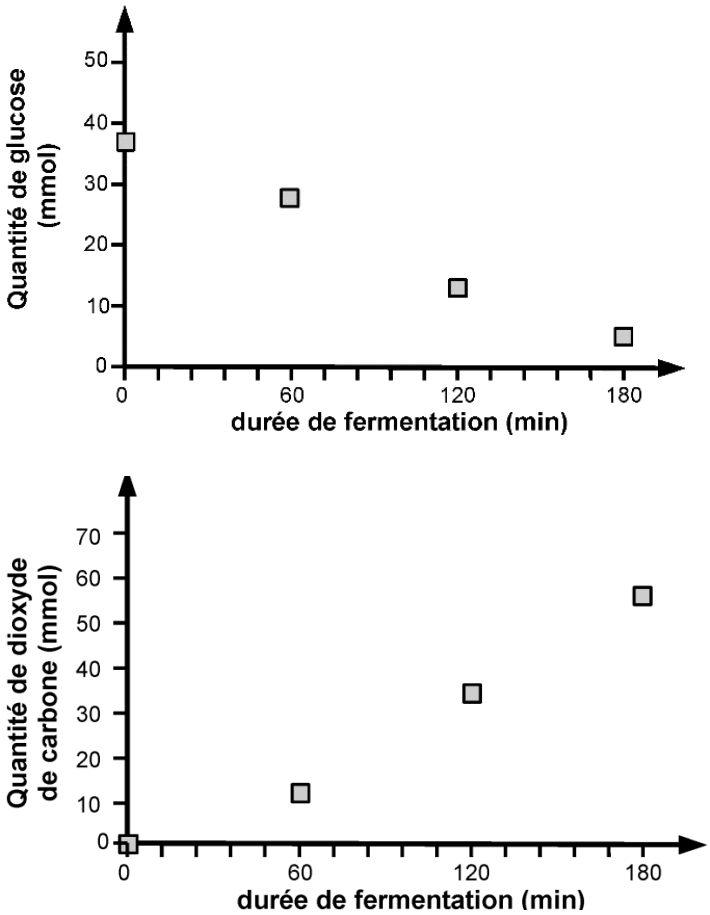
$$C_6H_{12}O_6(s) \rightarrow 2\ C_2H_6O(\ell) + 2\ CO_2(g) \quad (1)$$

D'après H.-D. Belitz, W. Grosh, P. Schierberle, Food Chemistry 4th ed., Springer

1. Gonflement de la pâte et production de dioxyde de carbone

Les évolutions temporelles des quantités d'éthanol, de glucose et de dioxyde de carbone, lors d'un essai de fermentation à partir de 100 g de farine, sont représentées graphiquement par les trois courbes ci-dessous.





D'après Mapping of Saccharomyces cerevisiae metabolites in fermenting wheat straight-dough reveals succinic acid as pH-determining factor, Jayaram and coll., Food Chemistry 136 (2013) 301-308

1.1. Vérifier qualitativement la cohérence des évolutions temporelles présentées avec la modélisation de la fermentation proposée.

1.2. La hauteur de la pâte augmente au cours du temps. Identifier l'espèce chimique qui en est responsable.

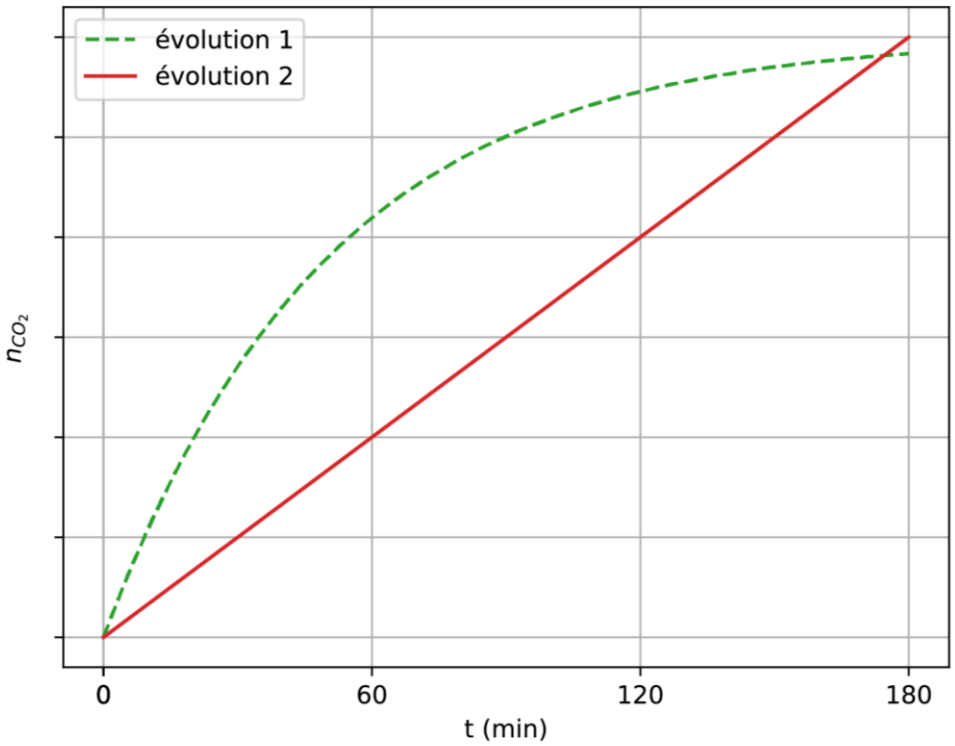
1.3. On admet pour simplifier que la réaction est étudiée dans un milieu réactionnel de volume constant V = 1 L. Déterminer la valeur de la vitesse volumique moyenne d'apparition de l'éthanol sur une durée de 3 h. Déterminer également la vitesse volumique moyenne de disparition du glucose pour une même durée.

1.4. Effectuer le rapport entre ces deux valeurs de vitesse et indiquer si ce rapport est cohérent ou non avec la modélisation de la fermentation proposée.

1.5. La vitesse de disparition du glucose est-elle plus élevée ou plus faible que celle attendue ? Proposer une explication à cette observation expérimentale en relation avec la composition de la pâte.

1.6. Modélisation de la vitesse de la réaction

1.6.1. Parmi les deux modèles d'évolution temporelle de la quantité de dioxyde de carbone représentés ci-après, indiquer celui qui modélise le mieux les résultats expérimentaux.



1.6.2. Dans le cadre du modèle choisi, préciser, en justifiant la réponse, si la vitesse d'apparition du dioxyde de carbone a une valeur constante ou non pendant la durée de l'expérience.

1.6.3. À l'aide de la définition d'une loi de vitesse d'ordre 1, expliquer qualitativement comment varie au cours du temps la vitesse d'apparition d'une espèce chimique qui suit une loi de vitesse d'ordre 1.

1.6.4. En raisonnant sur le coefficient directeur des tangentes aux courbes, expliquer, parmi les évolutions présentées à la question 1.6.1, laquelle peut modéliser une loi de vitesse d'ordre 1.

1.6.5. En déduire si la réaction de production de dioxyde de carbone dans la pâte suit une loi de vitesse d'ordre 1.

2. Acidification de la pâte et production de dioxyde de carbone

Lors de la fermentation, des mesures du *pH* de la pâte ont montré une acidification, le *pH* évoluant d'une valeur de 6,0 à environ 4,8.

Dans un premier temps, on peut supposer que l'acidification de la pâte est uniquement liée à la production de dioxyde de carbone. En effet, la forme solvatée du dioxyde de carbone, également appelée acide carbonique et notée $(CO_2, H_2O)(aq)$, est l'acide du couple acide-base $(CO_2,H_2O)(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$ dont le pK_A a pour valeur 6,37.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre le dioxyde de carbone solvaté et l'eau peut s'écrire :

$$(CO_2,H_2O)(aq) + H_2O = HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \quad (2)$$

2.1. Donner l'expression reliant le *pH* d'une solution et la concentration en ions oxonium $[H_3O^+]$, puis indiquer qualitativement pourquoi la production de dioxyde de carbone au sein de la pâte peut être responsable de la baisse du *pH* observée.

2.2. Donner, à l'équilibre, la relation entre le quotient de réaction et la constante d'équilibre. Écrire l'expression de la constante d'équilibre en fonction des concentrations à l'équilibre des différentes espèces chimiques.

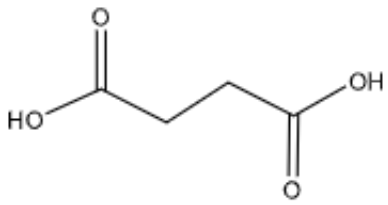
Pour évaluer l'influence de l'acide carbonique sur la diminution du *pH*, on réalise une solution de volume $V = 50$ mL, de concentration $c = 7{,}0\times10^{-6}$ mol·L^{-1} en dioxyde de carbone solvaté apporté qui correspond à la concentration en dioxyde de carbone dans la pâte en fin de levée. La mesure du *pH* de cette solution donne une valeur de $pH = 5{,}8$.

2.3. Justifier l'égalité des concentrations en H_3O^+ et en HCO_3^- à l'équilibre chimique.

2.4. À l'aide de l'expression de la constante d'équilibre en fonction des concentrations à l'équilibre, déterminer la valeur de la concentration en dioxyde de carbone solvaté à l'équilibre. Commenter.

3. Rôle de l'acide succinique produit lors de la fermentation de la pâte

Pour expliquer la baisse de *pH* observée, on envisage l'effet des autres acides produits lors de la fermentation, notamment l'acide succinique, dont la formule topologique est donnée ci-contre.



Données concernant l'acide succinique :

- l'acide succinique est un diacide ;
- $pK_{A1} = pK_A(C_4H_6O_4(aq) / C_4H_5O_4^-(aq)) = 4{,}19$;
- $pK_{A2} = pK_A(C_4H_5O_4^-(aq) / C_4H_4O_4^{2-}(aq)) = 5{,}63$;
- l'acide succinique est un solide blanc ;
- formule brute : $C_4H_6O_4$;
- masse molaire moléculaire : $M = 118{,}0$ g·mol^{-1}.

Données en spectroscopie IR

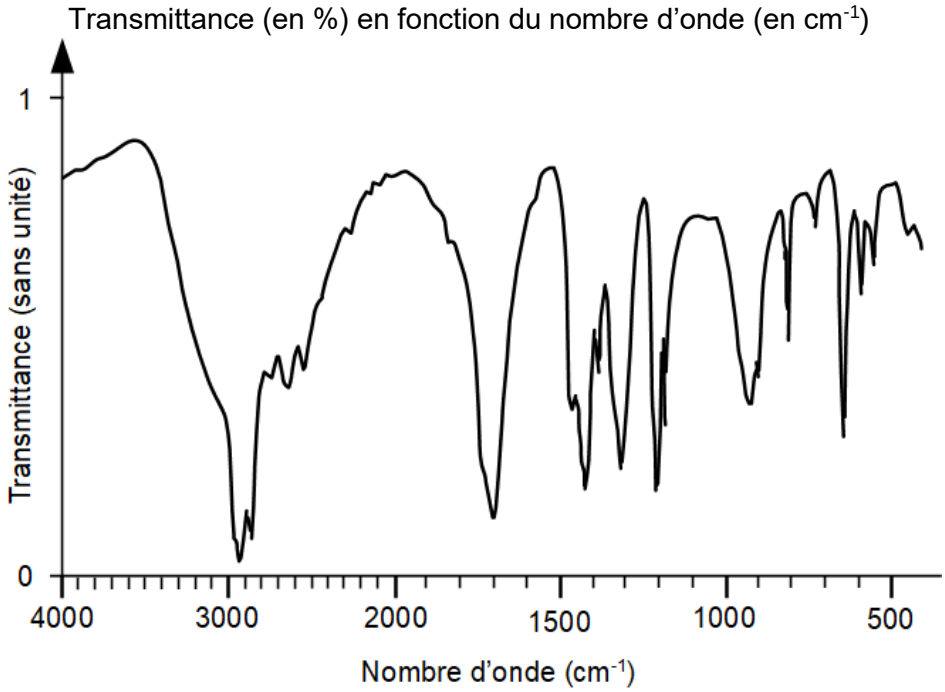
Type de liaison	Nombre d'onde de la bande caractéristique (en cm^{-1})	Intensité et largeur de la bande
O-H alcool	3200 – 3400	Forte, large
O-H acide carboxylique	2500 – 3200	Forte à moyenne, large
C=O ester	1735-1750	Forte
C=O acide	1700-1725	Forte
C=C	1620-1690	Moyenne, fine

3.1. Représenter la formule semi-développée de l'acide succinique. Justifier le fait que cet acide soit qualifié de « diacide ».

3.2. Choisir et justifier quel est le nom de l'acide succinique en nomenclature officielle, parmi les 4 propositions suivantes :

①	②	③	④
éthanoate d'éthyle	Acide hexanoïque	Acide butanedioïque	Acide éthanedioïque

3.3. Montrer que le spectre infrarouge présenté ci-après est cohérent et peut être attribué à l'acide succinique.



3.4. Établir le diagramme de prédominance des différentes espèces acide-base issues de l'acide succinique qui peuvent éventuellement être présentes dans la pâte.

3.5. Une de ces espèces peut être qualifiée d'amphotère. Identifier cette espèce et justifier ce choix.

Pour montrer l'influence de l'acide succinique sur la baisse de *pH*, on envisage de réaliser 50 mL d'une solution de concentration 0,031 mol·L^{-1} en acide succinique apporté (concentration à la fin de la levée de la pâte) et de mesurer son *pH*. La valeur du *pH* mesuré vaut 5,0.

3.6. Déterminer la valeur de la masse d'acide succinique à prélever pour préparer par dissolution 50,0 mL d'une solution de concentration 0,031 mol·L^{-1}.

3.7. Écrire le protocole succinct permettant de réaliser cette solution en précisant le matériel nécessaire et les différentes étapes.

3.8. Expliquer pourquoi l'hypothèse d'un lien entre acidification de la pâte et production d'acide succinique semble plausible.

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. OBSERVATION D'UN SATELLITE

Mots-clés : deuxième loi de Newton ; période de révolution ; lunette astronomique.

Les 18 mars et 22 avril 2020, deux fusées ont chacune mis en orbite soixante satellites de type « Starlink ». À terme, ce sont près de 12 000 satellites similaires qui doivent être mis en orbite.

L'objectif est de constituer un réseau de satellites, permettant un accès à internet en tout point de la planète.

D'après *https://theconversation.com/starlink-les-dommages-collateraux-de-la-flotte-de-satellites-delon-musk-135330*

Données :

- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97\times10^{24}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R_T = 6\,400$ km ;
- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$;
- l'étude est conduite dans le référentiel géocentrique : son origine coïncide avec le centre O de la Terre et ses axes pointent vers des étoiles lointaines. Il est supposé galiléen.

Données techniques d'un satellite Starlink :

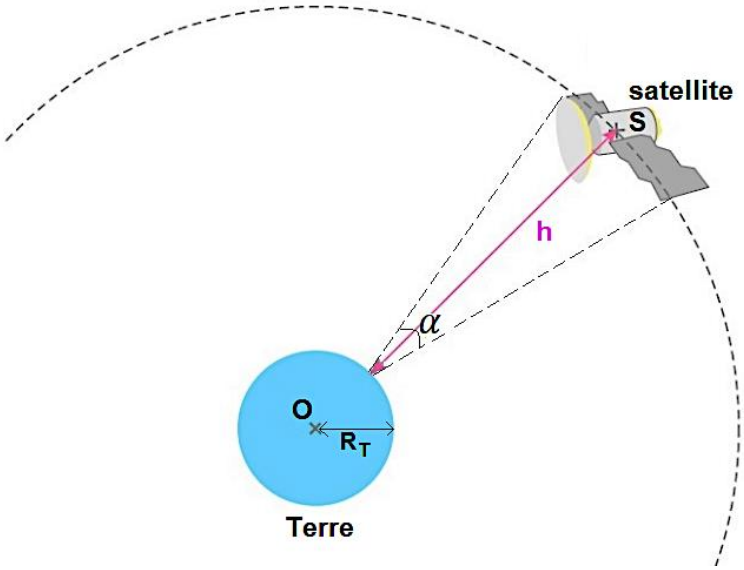
- masse : 227 à 260 kg ;
- altitude h : entre 340 et 1 200 km ;
- vitesse de déplacement sur son orbite dans le référentiel géocentrique : $v_S = 2{,}73\times10^4$ $km\cdot h^{-1}$;
- taille : environ 1,0 m × 1,0 m × 1,0 m.

Orbite d'un satellite Starlink

Le mouvement d'un satellite Starlink est circulaire.

Le schéma ci-contre, qui n'est pas à l'échelle, représente une partie de la trajectoire du satellite S.

L'altitude du satellite est notée h et son diamètre apparent depuis la surface de la Terre est l'angle noté α défini sur le schéma ci-contre.



1. Justifier à l'aide de la deuxième loi de Newton que le mouvement du satellite est uniforme.

2. Définir puis exprimer la période de révolution T en fonction de la vitesse v_S du satellite, du rayon terrestre R_T et de l'altitude h du satellite.

3. À l'aide de la deuxième loi de Newton, exprimer $R_T + h$ en fonction de G, M_T et v_S.

4. Calculer l'altitude *h* du satellite. Commenter.

Observation du satellite

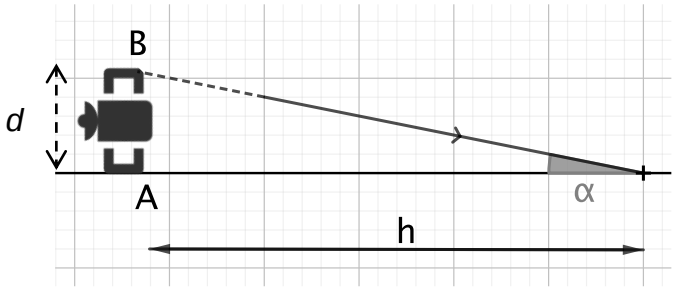
Le satellite peut être observé grâce à une lunette astronomique, instrument d'optique afocal constitué d'un objectif et d'un oculaire.

L'objectif (L_1) de la lunette utilisée est modélisé par une lentille mince de distance focale $f_1^{'}$ = 600 mm et l'oculaire (L_2) par une lentille mince de distance focale $f_2^{'}$ = 32 mm.

5. Donner la signification du terme afocal.

6. Le satellite est schématisé comme un objet AB perpendiculaire à l'axe optique, situé très loin de l'objectif (à « l'infini »). Sur **l'annexe à rendre avec la copie,** construire l'image intermédiaire, A_iB_i, de AB, donnée par l'objectif, puis construire l'image finale, A_fB_f de l'objet AB par la lunette astronomique.

7. Avec l'aide du schéma ci-dessous, exprimer le diamètre apparent α correspondant à l'angle sous lequel les deux extrémités A et B du satellite sont observées depuis la surface de la Terre dans les conditions les plus favorables.



Notre œil n'est pas capable de distinguer les détails d'un objet dont le diamètre apparent est inférieur à α_{min} = 2,9 ×10^{-4} rad.

8. Indiquer si les points A et B d'un satellite Starlink peuvent être distingués à l'œil nu. On suppose que *h* = 520 km.

Le grossissement G_L de la lunette a pour expression :

$$G_L = \frac{\alpha^{'}}{\alpha} = \frac{f_1^{'}}{f_2^{'}},$$

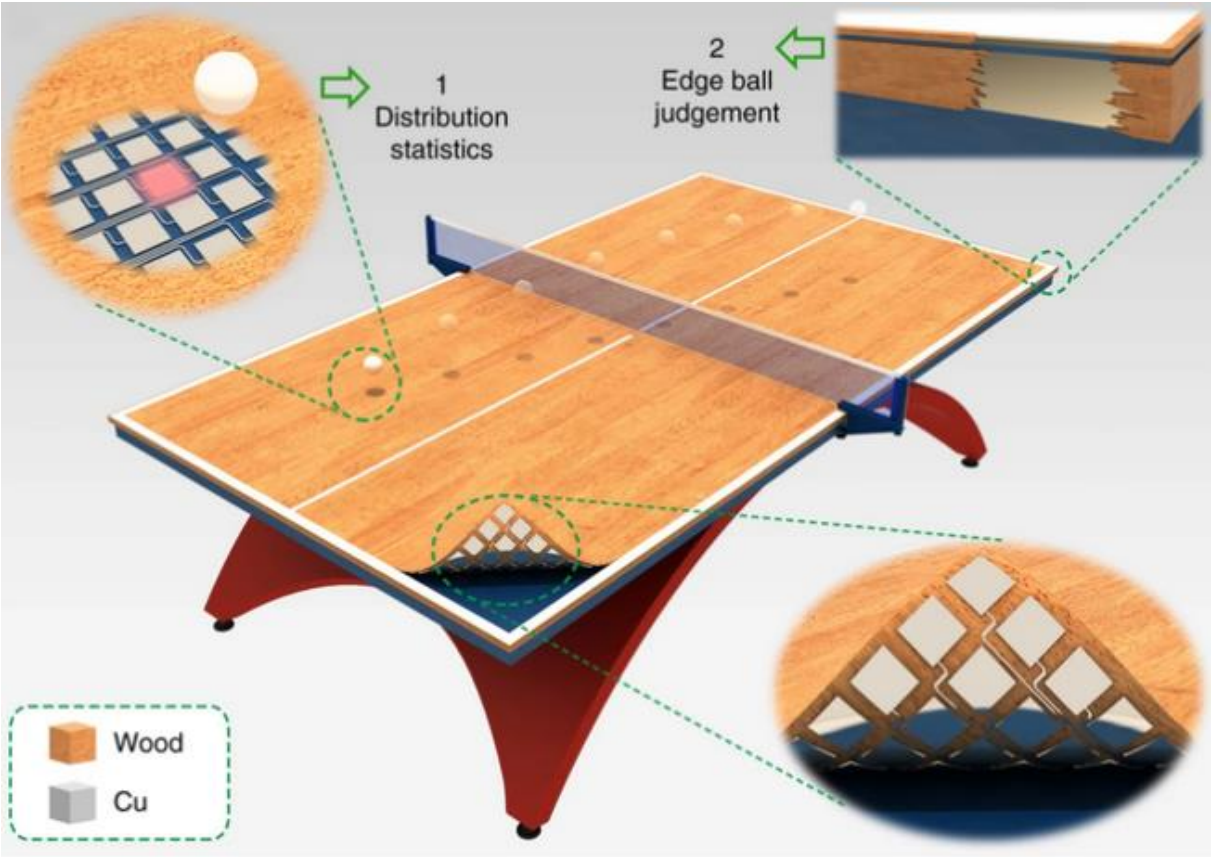
où l'angle α' représente le diamètre apparent de l'image du satellite à travers la lunette astronomique.

9. Montrer que la lunette utilisée dans cet exercice ne permet pas d'observer les détails d'un satellite Starlink.

EXERCICE B. UNE TABLE DE TENNIS DE TABLE CONNECTÉE

Mots-clés : mouvement dans un champ de pesanteur uniforme, énergie mécanique ; lecture d'un programme écrit en langage Python.

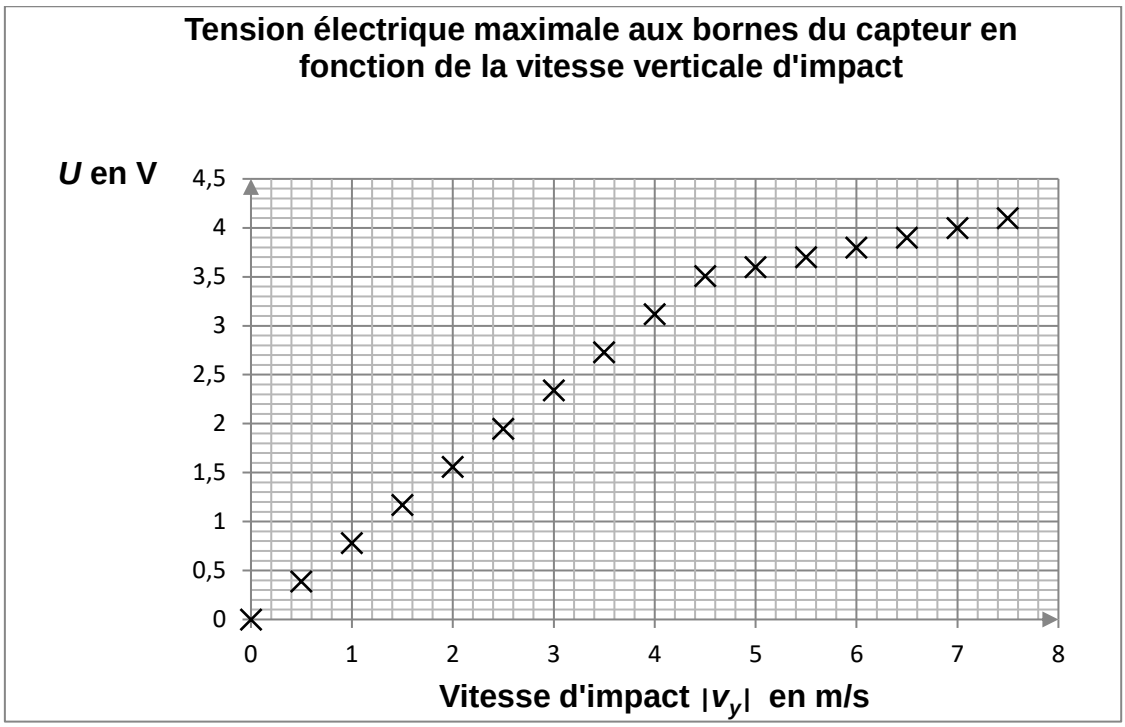
Des chercheurs ont développé une table de tennis de table connectée qui permet d'identifier les points de chute d'une balle et de déterminer sa vitesse lorsqu'elle touche la table. L'analyse des données peut être utilisée pour améliorer la performance des joueurs.



https://www.nature.com/articles/s41467-019-13166-6

Caractéristiques des capteurs de vitesse

La table connectée est équipée de capteurs qui convertissent les contraintes mécaniques reçues en tension électrique. Ces capteurs ont une surface sensible carrée d'environ 4 cm de côté. Lorsqu'une balle rebondit sur la surface sensible, un capteur horizontal délivre une tension variable dans le temps dont la valeur maximale U dépend de la valeur de la composante verticale de la vitesse que la balle possède juste avant de rentrer en contact avec le capteur.
Dans une étude expérimentale où le capteur est horizontal et où la verticale ascendante est la direction de l'axe Oy, on obtient les résultats résumés par le graphique suivant, où $|v_y|$ est la valeur absolue de la composante v_y de la vitesse avant l'impact.



1. Justifier que pour des vitesses d'impact $|v_y|$ inférieures à 4,5 $m \cdot s^{-1}$, la tension électrique U est proportionnelle à $|v_y|$. En déduire dans ce domaine de vitesses la relation entre $|v_y|$ et U avec $|v_y|$ exprimée en $m \cdot s^{-1}$ et U en V.

Un exemple de programme Python permettant l'affichage de la vitesse d'impact verticale à partir de la tension U est proposé ci-dessous :

```
# U est la tension maximale aux bornes du capteur en V
# v est la valeur absolue de la composante v_y de la vitesse avant
    l'impact, en m/s.
Ulim = 3.5
if U < Ulim:
    v = 1.3*U
else:
    v = 5,0*U-13
print("La vitesse d'impact est",v,"en m/s")
```

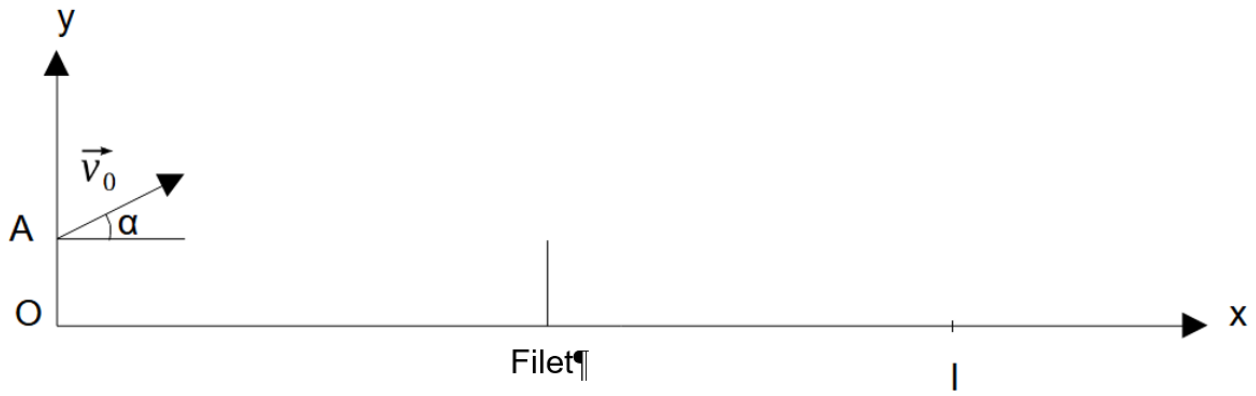
2. Expliquer la nécessité d'utiliser la variable « `Ulim = 3.5` » dans le programme informatique.

3. Calculer la valeur de la vitesse d'impact affichée par ce programme pour une tension U de 4,0 V. Comparer la valeur calculée à la valeur mesurée correspondante.

Exemple d'utilisation

On étudie le mouvement d'une balle de ping pong (tennis de table) de masse m = 2,7 g qui évolue dans le champ de pesanteur terrestre supposé uniforme. On néglige l'action de l'air.
L'étude du mouvement de la balle est réalisée dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, dans lequel on choisit un repère (O;x;y) où la verticale ascendante est parallèle à l'axe Oy. La table est dans le plan y = 0. Le point O est au bord de la table et l'axe Ox est parallèle au grand côté de la table dont la longueur est 2,74 m.
À la date t = 0 s, la balle est située au point A sur la verticale de O à la hauteur h = OA = 0,10 m.
La balle part du point A avec une vitesse v_0 = 5,0 m.s^{-1} faisant un angle α = 30,0 ° avec l'horizontale.
À la date t_I, elle touche la table au point d'impact I de coordonnées (x_I ;0).
Le document 1, tracé sans souci d'échelle, schématise la situation.

Représentation schématique du problème



Donnée

valeur du champ de pesanteur terrestre : g = 9,8 m·s^{-2}.

4. La balle de ping pong est une sphère de diamètre d = 40 mm. On étudie le mouvement de son centre de masse, localisé au centre de la sphère. Justifier qualitativement la position de ce centre de masse.

5. Indiquer, dans le cadre du modèle choisi, les caractéristiques (direction, sens et valeur) de la force appliquée à la balle pendant son mouvement.

6. Montrer que les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse du centre de masse de la balle au cours de son mouvement sont données par les relations :

$$\overrightarrow{v}\begin{vmatrix} v_x(t) = v_0 \cos\alpha \\ v_y(t) = -gt + v_0 \sin\alpha \end{vmatrix}$$

7. Déterminer les équations horaires donnant les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ du centre de masse.

8. L'impact de la balle sur la table a lieu à l'instant t_I valant approximativement 0,55 s. Montrer que la balle tombe sur la table.

9. Calculer la valeur de la tension U délivrée par un capteur situé au point d'impact.

EXERCICE C. RAFRAÎCHIR UNE BOISSON

Mots-clés : premier principe de la thermodynamique, loi de Newton de la thermique



On s'intéresse à l'évolution de la température T d'un système {canette + boisson} placé dans un congélateur dont l'air intérieur est assimilé à un thermostat. On désigne par Φ le flux thermique en watt entre le système et le thermostat.

Le flux thermique est compté positivement si le transfert thermique a lieu de l'air vers le système.

Dans l'exercice, on souhaite notamment tester la loi de Newton de la thermique.

Données :

- surface de la canette assimilée à un cylindre : $S = 3{,}1 \times 10^{-2}\ \mathrm{m}^2$;
- capacité thermique du système {canette + boisson} : $C = 1{,}50 \times 10^{3}\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$;
- température de l'air à l'intérieur du congélateur : $\theta_{th} = -18\ °\mathrm{C}$;
- température ambiante : $\theta_i = 25\ °\mathrm{C}$;
- gamme de valeurs du coefficient de transfert thermique surfacique h pour une interface paroi solide – air : de 5 à $50\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$.

1. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système {canette + boisson} entre l'état initial à la température θ_i et l'état final à la température θ_f, exprimer la variation ΔU de l'énergie interne du système en fonction de C, θ_i et θ_f.
2. Calculer la valeur de cette variation d'énergie interne au cours du refroidissement du système {canette + boisson} depuis la température ambiante jusqu'à la température finale $\theta_f = 5\ °\mathrm{C}$.
3. Commenter le signe du résultat obtenu et interpréter celui-ci en termes d'énergie microscopique.

Au cours d'une expérience, la température à l'intérieur de la canette a été mesurée en fonction du temps (figure 1).

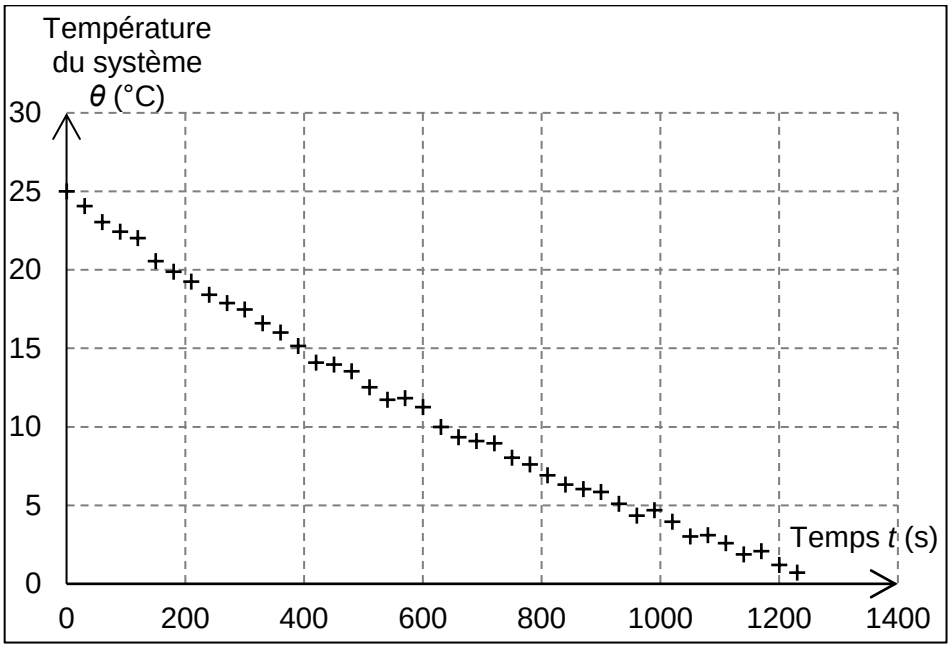




Photo de l'expérience

Figure 1. Évolution de la température du système en fonction du temps

D'après http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr

4. Déterminer graphiquement la durée Δt nécessaire au refroidissement du système jusqu'à la température $\theta_f = 5\ °\mathrm{C}$.

5. En formulant, dans un premier temps, l'hypothèse d'un flux thermique Φ constant au cours du refroidissement du système, calculer la valeur de ϕ. On prendra $\Delta U = -30\ \text{kJ}$ pour la valeur de la variation d'énergie interne.

L'expérience montre que le flux ϕ évolue au cours du refroidissement. Une exploitation des mesures de la figure 1 permet de représenter l'évolution du flux ϕ en fonction de l'écart de température entre le thermostat et le système : $\theta_{th} - \theta$.

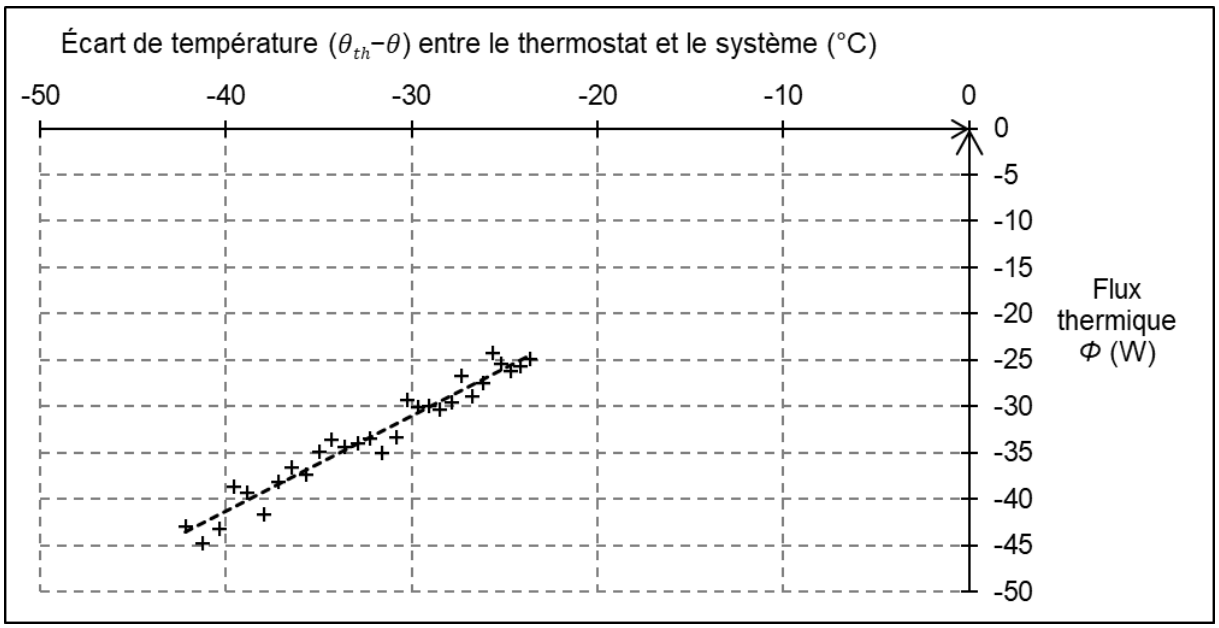


Figure 2 : Évolution du flux thermique en fonction de l'écart de température

Loi de Newton de la thermique

Lorsqu'un système à la température θ est placé dans un fluide à la température θ_{th}, il s'établit un flux thermique Φ entre le fluide et le système. La loi de Newton de la thermique modélise ce flux thermique sous la forme :

$\Phi = h \cdot S \cdot (\theta_{th} - \theta)$ avec h le coefficient d'échange thermique surfacique et S la surface d'échange entre le système et le fluide (thermostat).

6. Interpréter la courbe donnant l'évolution du flux thermique en fonction de l'écart de température (figure 2). Exploiter la courbe afin d'estimer la valeur du coefficient d'échange thermique surfacique h ; commenter.

L'évolution temporelle de la température du système {canette + boisson} en contact avec un thermostat de température θ_{th} et dont le flux thermique échangé avec celui-ci est modélisé par la loi de Newton de la thermique, est la suivante :

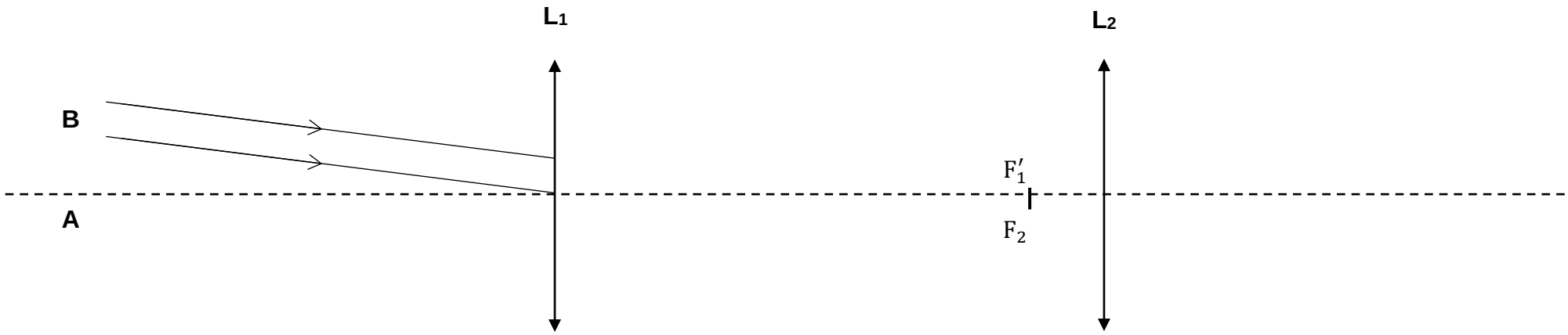
$$\theta(t) = (\theta_i - \theta_{th}) \cdot \exp\left(-\frac{hS}{C} \cdot t\right) + \theta_{th}$$

7. En utilisant la fonction $\theta(t)$ précédente, commenter l'évolution temporelle du système. Définir et évaluer un temps caractéristique τ.

8. En s'appuyant sur les données expérimentales de la figure 1, par exemple en exploitant la tangente à l'origine, évaluer le temps caractéristique τ. Commenter.

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.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2