BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

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 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

Les annexes page 11 et 12 sont à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 - JUSTE UNE IMPRESSION GUSTATIVE ? (9 points)



Il existe plus de 7 000 variétés de pommes à la texture et au goût variés. Lors de leur dégustation, certaines semblent plus acides que d'autres, entraînant une sensation moins sucrée en bouche.

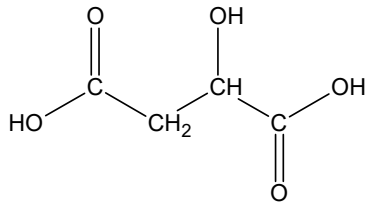
L'objectif de cet exercice est de comparer la teneur en sucre et en acide de jus de plusieurs variétés de pommes, afin de voir s'il existe un lien entre ces deux teneurs et l'impression gustative que ces pommes laissent en bouche.

1. Étude de l'acidité d'un jus de pomme Granny Smith

Une pomme contient différents acides comme l'acide malique, l'acide tartrique et l'acide citrique. L'acide malique étant majoritairement présent, on émet l'hypothèse dans cette première partie qu'il est le seul acide présent dans le jus de pomme étudié.

Données :

- formule semi-développée de l'acide malique :



- l'acide malique $C_4H_6O_5$ est un diacide que l'on notera H_2A ;
- masse molaire de l'acide malique : $M(H_2A) = 134{,}0\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- valeurs des pK_A à 25 °C des couples acide-base associés à l'acide malique :
  - $H_2A(aq)$ / $HA^-(aq)$: $pK_{A1} = 3{,}5$;
  - $HA^-(aq)$ / $A^{2-}(aq)$: $pK_{A2} = 5{,}1$.

Q1. Représenter la formule topologique de la molécule d'acide malique, puis entourer les groupes caractéristiques et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

On souhaite déterminer la concentration en masse d'acide malique dans le jus de pomme étudié. Pour cela on réalise un titrage, avec suivi pH-métrique, d'un volume $V_A = 20{,}0$ mL de ce jus par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C_B = 1{,}0\times10^{-1}\ mol{\cdot}L^{-1}$.

Q2. Schématiser et légender le montage permettant de réaliser ce titrage, en indiquant le nom et la position des espèces titrante et titrée.

La courbe obtenue lors du titrage de l'acide malique dans le jus de pomme Granny Smith est donnée en figure 1.

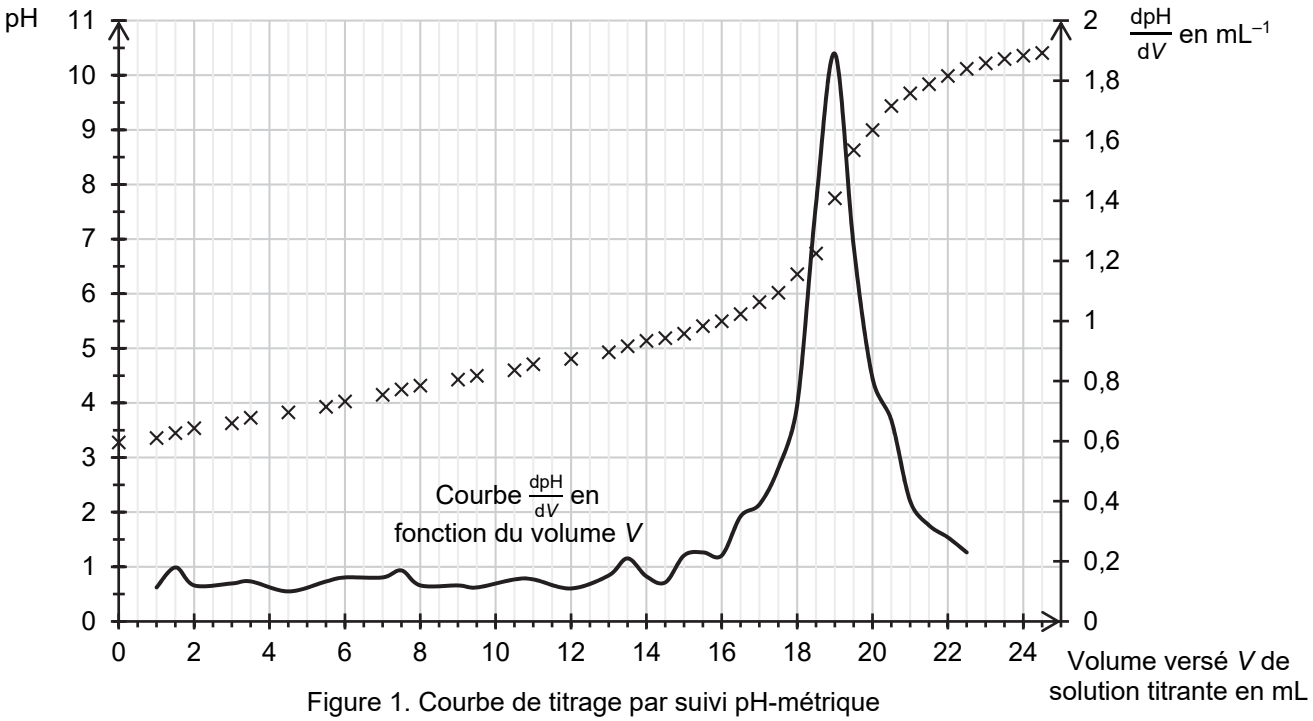


Figure 1. Courbe de titrage par suivi pH-métrique

Q3. Établir le diagramme de prédominance des différentes formes acide-base associées à l'acide malique.

Q4. Déterminer graphiquement le pH de la solution à la fin du titrage. Identifier alors, parmi les deux équations proposées ci-dessous, la réaction support du titrage :

(1) $H_2A(aq) + HO^-(aq) \rightarrow AH^-(aq) + 2\ H_2O(\ell)$
(2) $H_2A(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\ H_2O(\ell)$

Q5. Montrer que la concentration en masse d'acide malique dans le jus de pomme étudié est de 6,4 g·L^{-1}.

2. Dosage du glucose dans le jus de pomme Granny Smith

Une pomme contient différents sucres, notamment le glucose de formule brute $C_6H_{12}O_6$. Dans cette partie, on souhaite doser le glucose présent dans le jus de pomme Granny Smith identique à celui de la partie 1.

Données :

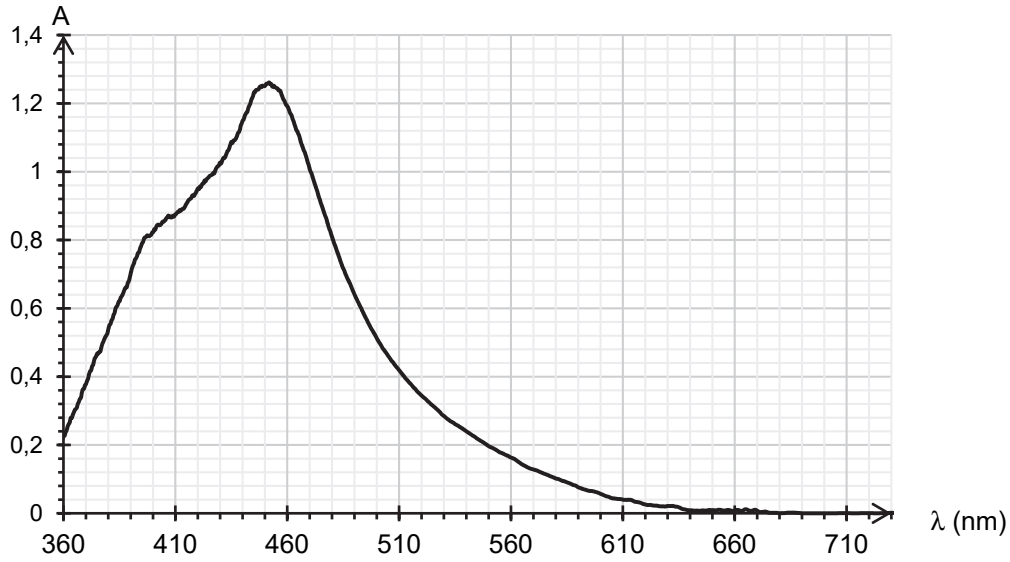
- protocole expérimental :
  - introduire 10,0 mL de jus de pomme dans une fiole jaugée de 50 mL, puis compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On obtient la solution nommée S_0 ;
  - introduire, dans un bécher, 10,0 mL de solution S_0, puis ajouter 20,0 mL d'une solution aqueuse de diiode, de concentration $[I_2] = 5{,}0\times10^{-2}$ mol·L^{-1}, et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium jusqu'à obtenir un volume $V_1 = 75{,}0$ mL. Mettre sous agitation pendant 60 minutes. On appelle S_1 la solution obtenue.

- on modélise la transformation ayant lieu dans la solution S_1, supposée totale, par la réaction d'équation :

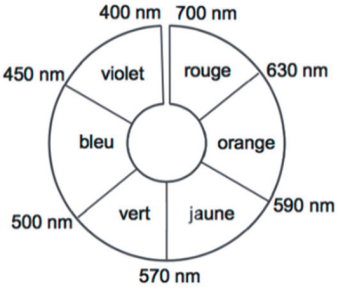
$$I_2(aq) + 3\ HO^-(aq) + C_6H_{12}O_6(aq) \longrightarrow C_6H_{11}O_7^-(aq) + 2\ H_2O(\ell) + 2\ I^-(aq)$$

- une solution aqueuse de diiode est de couleur jaune-brun et les autres espèces présentes sont incolores en solution aqueuse ;
- masse molaire du glucose : $M(C_6H_{12}O_6) = 180{,}2$ g·mol^{-1} ;

- spectre d'absorbance d'une solution aqueuse de diiode :



- cercle chromatique :



Q6. Montrer que la quantité de matière de diiode $n_0(I_2)$ initialement présente dans la solution S_1 est proche de $1{,}0\times10^{-3}$ mol.

Q7. Sachant que le glucose est le réactif limitant de la réaction ayant lieu dans la solution S_1, montrer que la relation entre la quantité de matière finale de diiode $n_f(I_2)$, la quantité de matière initiale de glucose $n_0(C_6H_{12}O_6)$ et la quantité de matière initiale de diiode $n_0(I_2)$, est :

$$n_0(C_6H_{12}O_6) = n_0(I_2) - n_f(I_2)$$

On veut déterminer la quantité de matière $n_f(I_2)$ dans la solution S_1 à l'aide d'un dosage spectrophotométrique selon le protocole décrit ci-dessous.

- Diluer la solution S_1 d'un facteur 10, on obtient la solution S_2.
- Préparer 6 solutions étalons de concentrations connues en diiode I_2 et en mesurer l'absorbance à la longueur d'onde appropriée ; les mesures sont reportées sur le graphe de la figure A1 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE.**
- Mesurer l'absorbance de la solution S_2 à la même longueur d'onde.

On mesure une valeur d'absorbance A = 0,619 pour la solution S_2.

Q8. Justifier la couleur de la solution aqueuse de diiode.

Q9. En utilisant et en complétant la figure A1 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, montrer que $n_f(I_2)$ dans la solution S_1 est de l'ordre de 7×10^{-4} mol.

Q10. Déterminer alors la concentration en masse de glucose contenu dans le jus de pomme étudié.

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 doit être correctement présentée.

3. Perception en bouche d'un jus de pomme

En plus du glucose, le saccharose est un autre sucre présent dans le jus de pomme ; il contribue également à la perception du goût sucré. La teneur en saccharose est évaluée en degré Brix (°B) : un degré Brix équivaut à 1 g de saccharose dans 100 g de solution.

Pour évaluer la perception en bouche d'un jus de pomme, un des critères utilisés par les industriels est le rapport R, sans dimension, entre sa teneur en saccharose évaluée en degré Brix et son titre massique d'acide malique, noté t_m. Pour la majorité des consommateurs, on considère que l'équilibre entre les saveurs acides et sucrées est satisfaisant si ce rapport R est compris entre 30 et 40.

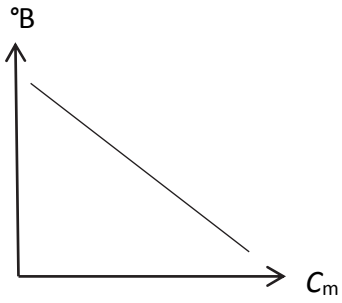
Données :

- $R = \frac{°B}{t_m}$ avec °B le degré Brix et t_m le titre massique en acide malique exprimé en pourcentage.
- résultats obtenus pour des jus de plusieurs variétés de pomme :

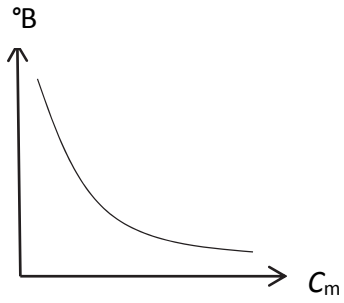
Variétés des pommes	C_m : Concentration en masse d'acide malique ($g \cdot L^{-1}$)	Degré Brix (°B)	R
Granny Smith	6,4	12,0	
Pink Lady	5,2	13,0	25
Chantecler	4,5	12,7	28
Golden	3,5	12,9	37
Royal Gala	2,5	12,7	51

Q11. Déterminer, en pourcentage, le titre massique t_m d'acide malique dans le jus de pomme Granny Smith sachant que la masse volumique de ce jus de pomme est de $1{,}04 \times 10^3$ $g \cdot L^{-1}$. Vérifier que le rapport R pour ce jus de pomme est inférieur à 25.

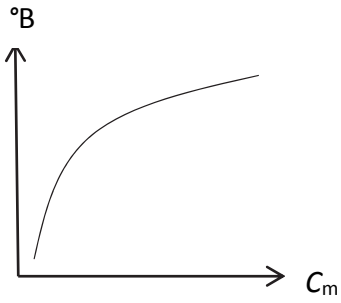
Q12. Choisir en justifiant, parmi les trois représentations graphiques A, B et C ci-dessous de °B = f(C_m), celle(s) qui pourrai(en)t traduire l'affirmation indiquée en début d'exercice : « Lors de leur dégustation, certaines semblent plus acides que d'autres, entraînant une sensation moins sucrée en bouche. »



Représentation A



Représentation B



Représentation C

Les résultats du tableau des analyses de différentes variétés de pomme sont reportés sur le graphe de la figure A2 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q13. Entourer sur le graphe de la figure A2 de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** la mesure correspondant à la variété « Granny Smith ».

Q14. Commenter ce graphique au regard de l'existence potentielle d'un lien entre les teneurs °B et C_m étudiées et l'impression gustative laissée en bouche.

EXERCICE 2 - MARS VUE SOUS L'ŒIL DE KEPLER (6 points)

Johannes Kepler (1571-1630) est un astronome allemand connu pour avoir établi les trois lois qui portent son nom et qui permettent notamment de décrire le mouvement des planètes du système solaire.



Johannes Kepler
D'après fr.wikipedia.org

On étudie dans cet exercice la troisième loi de Kepler appliquée à la planète Mars, puis on détermine les caractéristiques d'une lunette astronomique permettant d'observer cette planète.

1. Étude et utilisation des lois de Kepler

Donnée :

- valeur de l'unité astronomique (au, *astronomical unit*) : 1 au = 1,496×10^{11} m.

En 1600, Kepler devient l'assistant de l'astronome danois Tycho Brahe. Celui-ci le charge d'étudier la trajectoire de Mars et de déterminer son orbite à l'aide des observations astronomiques et des mesures qu'il a lui-même effectuées. Cette tâche, longue et délicate, conduit Kepler à envisager une trajectoire elliptique pour Mars. Il publie ses deux premières lois en 1609, puis la troisième loi en 1618.

D'après La science moderne : de 1450 à 1800, de René Taton

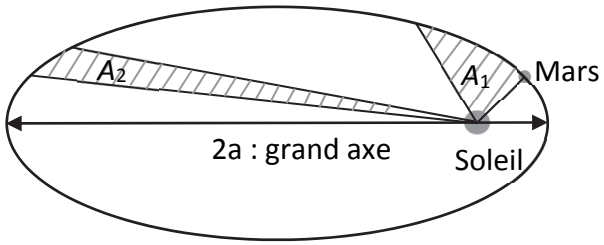


Figure 1. Trajectoire elliptique de Mars dans le référentiel héliocentrique (échelle non respectée).
Les aires A_1 et A_2 sont balayées pendant des durées égales.

Le référentiel d'étude est le référentiel héliocentrique supposé galiléen : son origine est au centre du Soleil et ses axes pointent vers des étoiles lointaines.

Q1. Énoncer les deux premières lois de Kepler. En exploitant la deuxième loi et le schéma de la figure 1, justifier que le mouvement de Mars dans le référentiel héliocentrique n'est pas uniforme.

Les périodes de révolution *T* (en année) et les demi-grands axes *a* (en unité astronomique) des trajectoires des planètes du système solaire (à l'exception de Mars) sont saisies dans un programme écrit en langage Python, afin de vérifier la troisième loi de Kepler. Un extrait de ce programme est donné sur la figure 2.

```
1  # Importation des bibliothèques utilisées
2  import numpy as np
3  import matplotlib.pyplot as plt
4  from scipy.optimize import curve_fit
5
6  # Définition des constantes : 1 unité astronomique, notée au (en m) et 1 année, notée an (en secondes)
7  au = 1.496*10**11
8  an = 
9
10 # Création des tableaux de données d'affichage
11 a = np.array([0.38,0.72,1,5.20,9.54,19.2,30.1])          # a : demi-grand axe, exprimé en au
12 T = np.array([0.241,0.615,1,11.86,29.46,84.02,165])      # T : période de révolution, exprimée en années
13 am = a*au
14 Ts = T*an
15
16 acube = am**3          #
17 Tcarre = Ts**2         #
```

Figure 2. Extrait de programme en langage Python ayant pour but de vérifier la troisième loi de Kepler

Le programme permet d'obtenir une représentation graphique dont un zoom est proposé en figure 3.

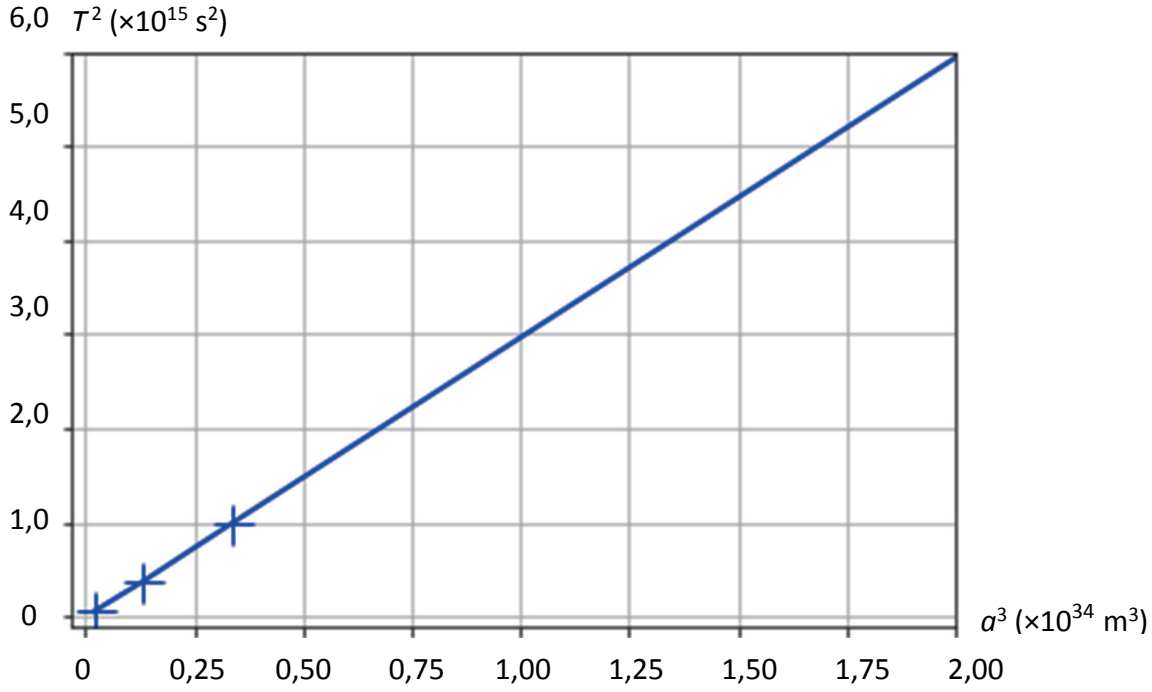


Figure 3. Modélisation graphique de la 3ème loi de Kepler

Dans le tableau 1 sont regroupés les périodes de révolution (en s) et les demi-grands axes (en m) des trajectoires des planètes du système solaire (à l'exception de Mars).

	Mercure	Vénus	Terre	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
T (en s)	$7{,}6\times10^{6}$	$1{,}9\times10^{7}$	$3{,}2\times10^{7}$	$3{,}7\times10^{8}$	$9{,}3\times10^{8}$	$2{,}6\times10^{9}$	$5{,}2\times10^{9}$
a (en m)	$5{,}7\times10^{10}$	$1{,}1\times10^{11}$	$1{,}5\times10^{11}$	$7{,}8\times10^{11}$	$1{,}4\times10^{12}$	$2{,}9\times10^{12}$	$4{,}5\times10^{12}$

Tableau 1. Périodes de révolution et demi-grands axes des trajectoires des planètes (*d'après https://cnes.fr)*

Q2. Recopier sur la copie la ligne 8 du programme et la compléter.

Q3. Proposer sur la copie un commentaire en précisant la finalité des lignes 16 et 17 du programme et les unités des grandeurs calculées.

Q4. Commenter la figure 3 au regard des lois de Kepler.

À partir des relevés de Tycho Brahe, Kepler a pu déterminer que la période de révolution de Mars, notée T_{Mars}, était de 687 jours.

Q5. Déterminer la valeur du demi-grand axe de l'orbite de Mars, noté a_{Mars}, et justifier qu'elle correspond à la quatrième planète du système solaire en partant du Soleil.

2. Observer Mars à l'aide d'une lunette astronomique

En 1611, Johannes Kepler propose dans son ouvrage *Dioptricae* une nouvelle combinaison optique pour la lunette astronomique utilisée par Galilée en remplaçant la lentille divergente par une lentille convergente.

D'après La science moderne : de 1450 à 1800, de René Taton

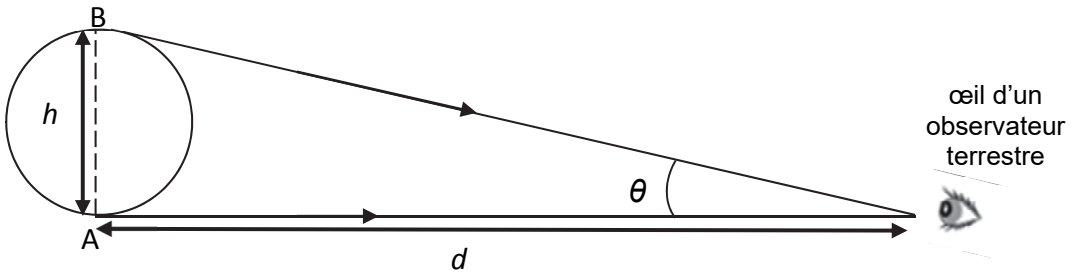
Fondées sur ce modèle, les lunettes astronomiques actuelles sont formées de deux lentilles minces convergentes. On a représenté sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** le schéma optique d'une lunette astronomique afocale.

Données :

- la distance minimale entre Mars et la Terre est de 62,07 millions de kilomètres ;
- à l'œil nu, l'angle sous lequel est vue la Lune est de $9{,}0\times10^{-3}$ rad ;
- le diamètre de Mars est de 6 794 km ;
- pour des angles suffisamment petits, c'est-à-dire très inférieurs à 1 radian, on peut écrire :

$$\tan\theta = \theta \text{ (où } \theta \text{ est exprimé en radian).}$$

On présente sur le schéma ci-dessous l'angle θ sous lequel un observateur voit un objet AB de hauteur h lorsqu'il se situe à une distance d grande devant h.



Q6. Sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**, on note L_1 et L_2 les deux lentilles minces convergentes. Préciser la lentille correspondant à l'objectif et celle correspondant à l'oculaire de la lunette.

On considère un objet situé à l'infini, noté $A_\infty B_\infty$. On observe cet objet avec la lunette.

Q7. Tracer sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE** la marche des rayons lumineux provenant de B_∞ à travers la lentille L_1 et la lentille L_2 en faisant apparaitre l'image intermédiaire, notée A_1B_1, de l'objet $A_\infty B_\infty$ à travers la lentille L_1.

La plupart du temps, il est difficile d'observer Mars depuis la Terre, notamment à cause de sa petite taille. La situation la plus favorable est quand Mars est en opposition, c'est-à-dire alignée avec la Terre et le Soleil. Cette situation correspond au moment où Mars est au plus près de la Terre.

D'après https://www.observatoiredeparis.psl.eu

On observe Mars à l'aide d'une lunette astronomique dont les caractéristiques sont données en tableau 2.

Distance focale de l'objectif	900 mm
Diamètre de l'objectif	70 mm
Masse du tube optique	1,75 kg
Distance focale des oculaires interchangeables	10 mm ; 25 mm ; 40 mm

Tableau 2. Fiche technique d'une lunette astronomique 70/900 (*d'après www.maison-astronomie.com)*

Q8. Représenter les angles θ_1 (angle sous lequel est vu Mars à l'œil nu) et θ_2 (angle sous lequel est vu Mars à l'aide de la lunette) sur la figure A1 de l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q9. On rappelle que le grossissement G de la lunette s'écrit : $G = \frac{\theta_2}{\theta_1}$. Établir que le grossissement s'exprime en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire notées respectivement f'_{obj} et f'_{ocu} : $G = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}$.

Q10. Dans la situation où Mars est au plus près de la Terre, déterminer parmi les oculaires fournis avec la lunette décrite au tableau 2, celui qui permet à un observateur de voir Mars au moins aussi grosse que la Lune vue à l'œil nu.

EXERCICE 3 - IMPRIMANTE À JET D'ENCRE CONTINU (5 points)

De nombreuses applications technologiques, dans des domaines très variés, reposent sur l'utilisation d'un champ électrique.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le principe de fonctionnement des imprimantes à jet d'encre continu dévié, principalement utilisées pour imprimer les dates d'expiration figurant sur les produits alimentaires.



D'après le site domino-printing.com

On donne sur le schéma de la figure 1, le principe de fonctionnement de l'imprimante à jet d'encre continu dévié : le jet d'encre sort de la tête d'impression par une buse qui le décompose en très petites gouttes dont certaines sont chargées électriquement.

Celles-ci passent sous un déflecteur constitué de deux plaques P_1 et P_2 parallèles, chargées électriquement, assimilables à un condensateur plan. Ces plaques dévient les gouttes chargées de leur trajectoire initiale.

Les gouttes non chargées poursuivent quant à elles leur mouvement rectiligne vers une gouttière de recyclage et sont réintégrées dans le module d'encre afin d'être réutilisées.

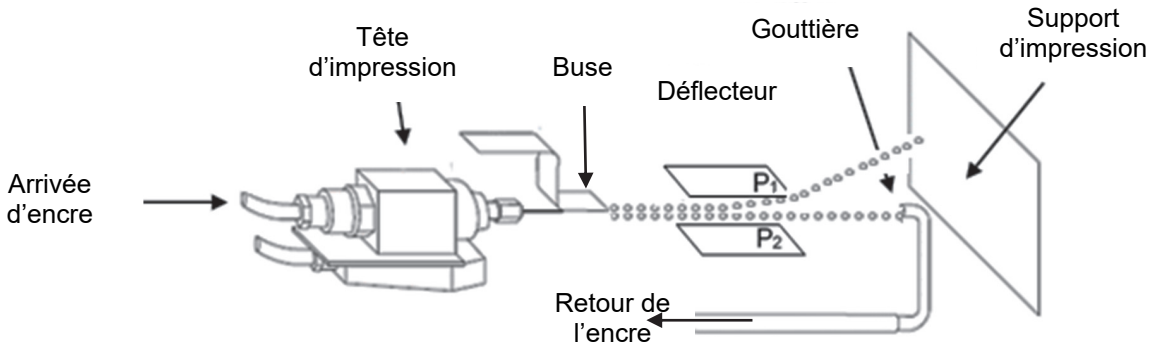


Figure 1. Schéma de principe de l'imprimante à jet d'encre continu dévié (d'après le site *timis.fr*)

Données :

- les mouvements sont étudiés dans le référentiel terrestre supposé galiléen associé au repère $(O, \vec{i}, \vec{k})$ représentés sur la figure 2. Les vecteurs $\vec{i}$ et $\vec{k}$ sont unitaires ;
- on considère que la charge électrique et la masse des gouttes d'encre restent constantes entre la buse et le support d'impression ;
- masse d'une goutte d'encre : $m = 2\times10^{-10}$ kg ;
- charge électrique d'une goutte : $q = -4\times10^{-13}$ C ;
- valeur de la vitesse d'éjection des gouttes d'encre : $v_0 = 20$ m·s^{-1} ;
- longueur des plaques du déflecteur : $L = 2$ cm ;
- distance entre le déflecteur et le support d'impression : $D = 3$ cm ;
- le champ électrique est supposé uniforme dans le déflecteur, il s'écrit $\overrightarrow{E} = -E\,\overrightarrow{k}$ avec $E = 9\times10^{5}$ V·m^{-1} ;
- le champ électrique est nul à l'extérieur du déflecteur ;
- hauteur moyenne d'un caractère imprimé : $h = 3$ mm ;
- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

On étudie le mouvement d'une goutte d'encre G, supposée ponctuelle, de masse m et de charge q négative.

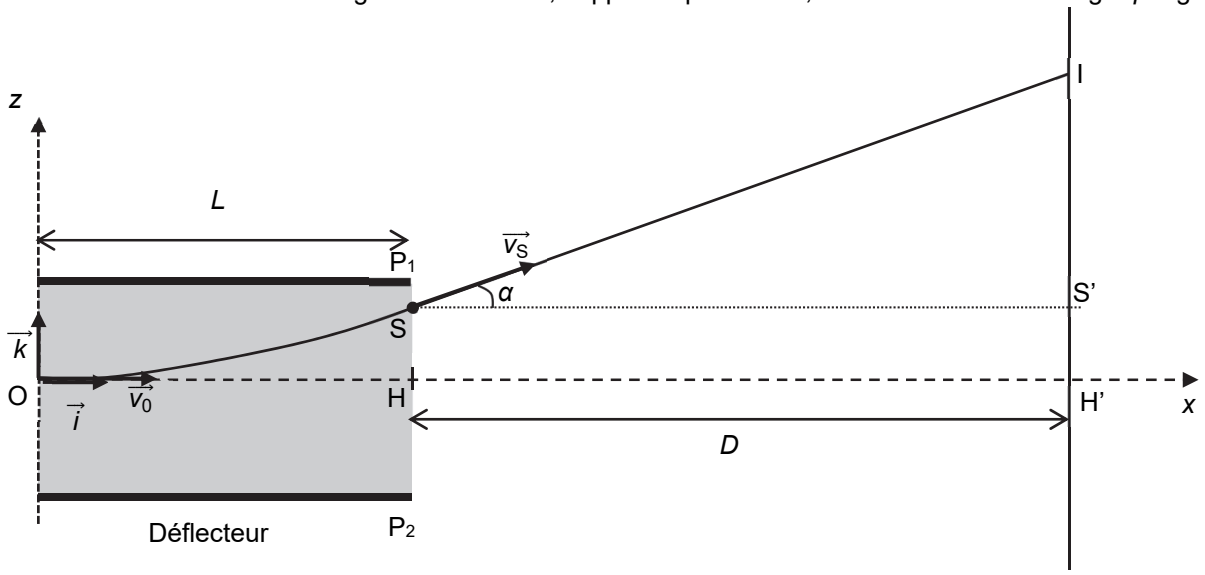


Figure 2. Schéma de la trajectoire de la goutte G

À la date t_0 = 0 s, la goutte d'encre G pénètre dans la zone de champ électrique uniforme au niveau du point O avec une vitesse initiale notée $\overrightarrow{v_0} = v_0 \vec{i}$.
On suppose que l'action mécanique de l'air est négligeable devant les autres actions.

Q1. Indiquer les signes des charges portées par les plaques P_1 et P_2 sachant que la goutte chargée négativement est déviée vers le haut (sens des z croissants) puis justifier que le vecteur champ électrique $\vec{E}$ est orienté de P_1 vers P_2.

On suppose que la valeur du poids de la goutte d'encre G est négligeable par rapport à celle de la force électrique subie dans le déflecteur.

Q2. Établir l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ de la goutte d'encre en fonction de le masse m, de la charge q et du vecteur champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques du déflecteur.

Q3. Montrer que les équations horaires $x_G(t)$ et $y_G(t)$ du mouvement de la position de la goutte d'encre G dans le déflecteur sont données par les relations :

$$\begin{cases} x_G(t) = v_0 \times t \\ z_G(t) = -\dfrac{1}{2} \times \dfrac{q \times E}{m} \times t^2 \end{cases}$$

Q4. Exprimer la date t_S à laquelle la goutte d'encre G sort du déflecteur puis montrer que la valeur de la déviation HS est d'environ 0,9 mm.

Q5. Exprimer les coordonnées du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_S}$ de la goutte d'encre G à la date t_S.

Q6. Montrer que la valeur de l'angle α entre l'axe (Ox) et le vecteur vitesse $\overrightarrow{v_S}$ est donnée par la relation :

$$\tan \alpha = -\frac{q \times E \times L}{m \times v_0^2}$$

On suppose que le mouvement de la goutte entre le point S et le support d'impression est rectiligne uniforme.

Q7. En déduire la valeur de la hauteur H'I du point d'impact I de la goutte sur le support d'impression. Commenter.

Q8. Proposer, en justifiant, plusieurs moyens permettant d'augmenter la taille du caractère imprimé sur le support d'impression.

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

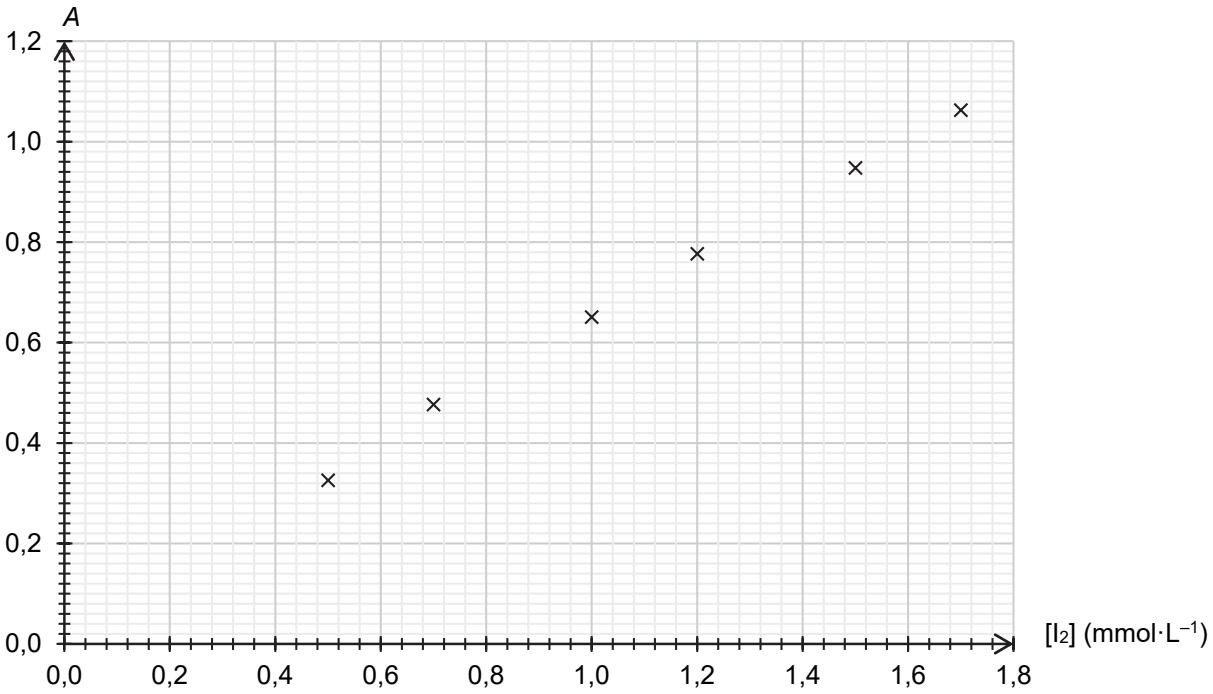


Figure A1. Évolution de l'absorbance de solutions étalon de diiode en fonction de la concentration

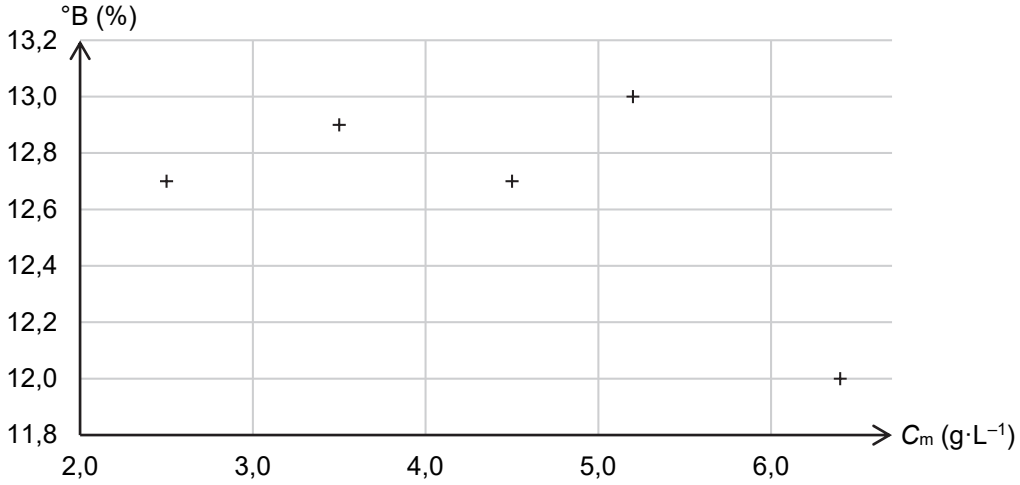


Figure A2. Évolution du degré Brix en fonction de la concentration en masse d'acide malique, notée C_m, pour des jus de variétés différentes de pomme.

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

ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

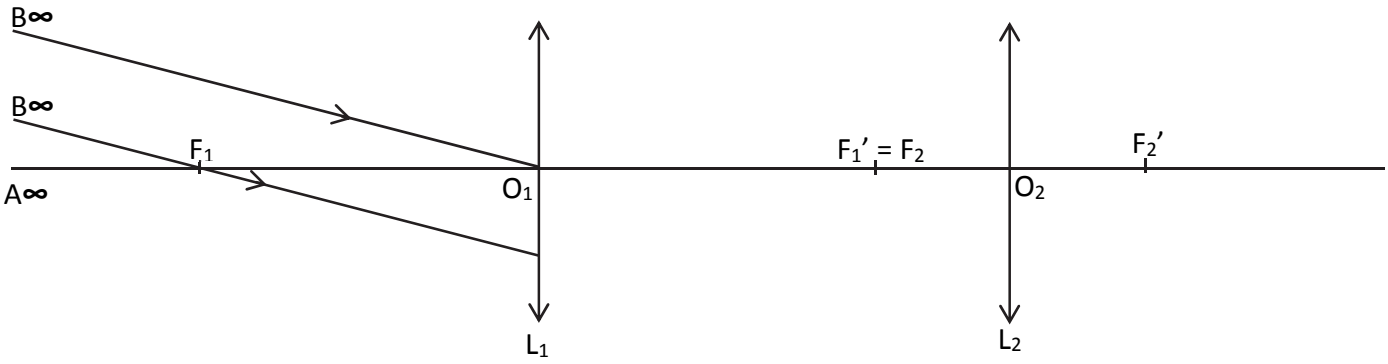


Figure A1 – Modèle de la lunette astronomique

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