Calculatrice autorisée

Exercice 1 : Une solution pour éloigner les frelons ?

6,5 points

Le sel d'oseille est une substance chimique qui se présente sous la forme d'un solide cristallin blanc et inodore. On l'extrayait autrefois de plantes comme l'oseille ou la rhubarbe. Son nom officiel est acide éthanedioïque ; on l'appelle plus couramment acide oxalique. Il sert aujourd'hui dans l'industrie à la fabrication de polymères, mais aussi comme produit nettoyant ou comme répulsif contre les frelons en apiculture.

L'objectif de cet exercice est de tester deux hypothèses sur le type d'acidité de l'acide oxalique.

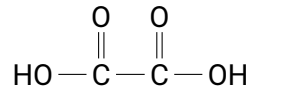
Partie A : première hypothèse, l'acide oxalique est un diacide fort

Données

- Électronégativités :

Atome	C	O	H
Électronégativité	2,55	3,44	2,20

- Concentration standard : $c^\circ = 1{,}0\,\text{mol·L}^{-1}$.



Formule semi-développée de l'acide oxalique

1) Donner la définition d'un acide selon Brönsted, puis justifier le terme « diacide » pour l'acide oxalique.

2) **a.** Représenter le schéma de Lewis de l'acide oxalique, ainsi que celui de l'une de ses deux autres formes acido-basiques.

b. Justifier le caractère acide des atomes d'hydrogène de la molécule.

3) Donner les deux couples acide/base associés à l'acide oxalique, puis indiquer la particularité de l'espèce chimique présente dans les deux couples.

Au laboratoire, on mesure le pH d'une solution d'acide oxalique de concentration en acide apporté $C_0 = 2{,}00 \times 10^{-2}\,\text{mol·L}^{-1}$: on obtient $\text{pH}_{\text{exp}} = 1{,}79$.

On cherche à modéliser la transformation chimique entre l'acide oxalique et l'eau en faisant l'hypothèse que l'acide oxalique se comporte comme un diacide fort. On note $AH_2(aq)$ l'acide oxalique et $A^{2-}(aq)$ l'ion oxalate.

4) Écrire l'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique.

5) En déduire que, dans cette hypothèse, la concentration en ions oxonium vaut $[H_3O^+] = 4{,}00 \times 10^{-2}\,\text{mol·L}^{-1}$. On pourra s'appuyer sur un tableau d'avancement.

6) À l'aide du résultat précédent, calculer le pH théorique de la solution, puis justifier que l'hypothèse « l'acide oxalique est un diacide fort » n'est pas valide.

Partie B : deuxième hypothèse, l'acide oxalique se comporte comme un monoacide faible

Données

- $C_0 = 2{,}00 \times 10^{-2}\,\text{mol·L}^{-1}$; $\text{pH}_{\text{exp}} = 1{,}79$; $\text{p}K_\text{a}$ de la première acidité : $\text{p}K_{\text{a}1} = 1{,}2$.
- Équation de la réaction associée à la première acidité : $AH_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons AH^-(aq) + H_3O^+(aq)$.

7) Écrire l'équation de la réaction de l'espèce AH^- avec l'eau, associée à la deuxième acidité.

8) À l'aide de la figure 1, déterminer la valeur du pK_a de la deuxième acidité de l'acide oxalique. Justifier.

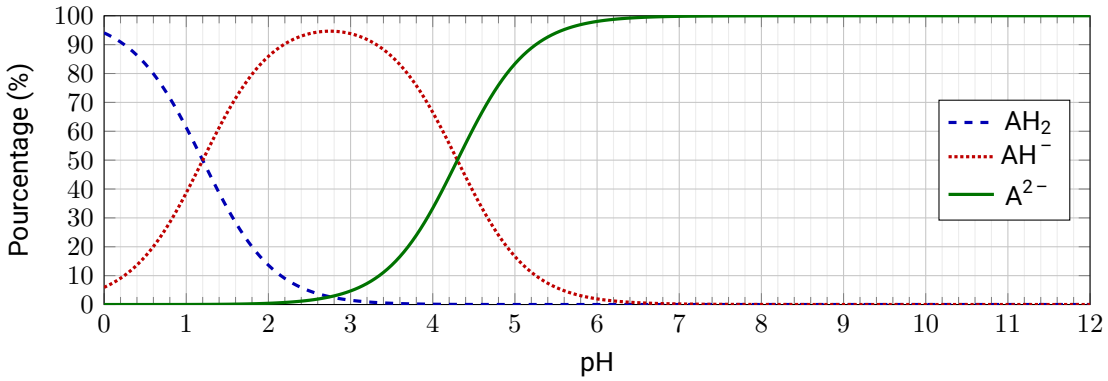


Figure 1 – Diagramme de distribution des espèces acido-basiques de l'acide oxalique

9) À l'aide de la figure 1 et du pH mesuré, donner le pourcentage approximatif de chaque espèce présente dans la solution, puis justifier que l'on peut faire l'hypothèse que l'acide oxalique se comporte comme un monoacide.

Dans le cadre de cette deuxième hypothèse, on cherche à retrouver par le calcul le pH de la solution.

10) À partir de l'équation de la réaction donnée dans les données, exprimer la constante d'acidité K_{a1} en fonction des concentrations des espèces à l'équilibre.

11) En utilisant la question précédente, justifier que la concentration en ions oxonium, notée $h = [H_3O^+]_{éq}$, vérifie l'équation du second degré :

$$h^2 + K_{a1}\,h - K_{a1}\,C_0 = 0$$

Pour résoudre cette équation, on utilise le programme Python incomplet de la figure 2, qui calcule la concentration h en ions oxonium et le pH théorique de la solution.

```
import math
pKa1 = float(input("pKa1 du couple : "))
concentration = float(input("Concentration apportee en mol/L : "))
Ka1 =
### Coefficients du polynome du second degre
a = 1
b = Ka1
c = -Ka1*concentration
### Calcul du discriminant
Delta = b**2 - 4*a*c
### Solution positive : concentration en ions oxonium
h = (-b + math.sqrt(Delta)) / (2*a)
### pH final
pH = -math.log10(h)
### Affichage des resultats
print("h =", format(h, "3.2E"), "mol/L", "   pH final :", round(pH, 2))
```

Résultat affiché (avec $pK_{a1} = 1{,}2$ et une concentration de $2{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol·L}^{-1}$) :

```
h = 1.60E-02 mol/L   pH final : 1.8
```

Figure 2 – Programme Python calculant h et le pH théorique de la solution

12) Compléter la ligne 4 du programme par l'instruction qui calcule la valeur de la constante d'acidité K_{a1}.

13) À l'aide du résultat affiché par le programme et des données, justifier que l'acide oxalique se comporte bien comme un monoacide faible.

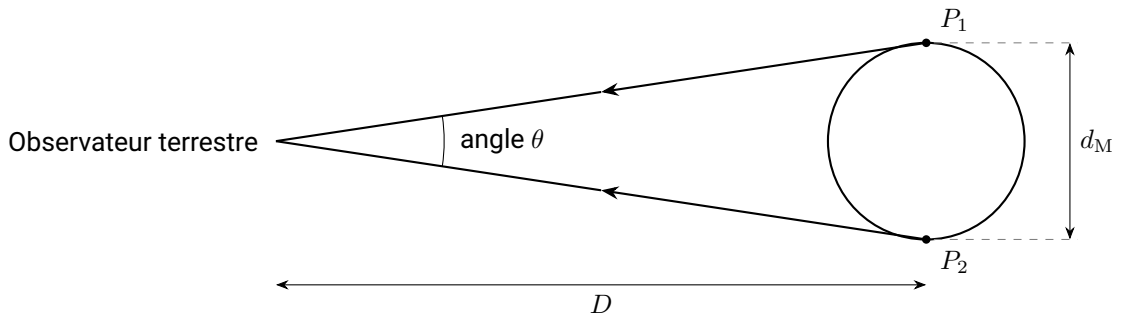
Exercice 2 : La planète Mars à la lunette

8 points

La planète Mars est au cœur de nombreux projets scientifiques internationaux destinés à mieux connaître son sol et son histoire. L'objectif de l'exercice est de déterminer quelques caractéristiques de Mars à partir de l'angle sous lequel elle est vue depuis la Terre, puis de l'observation de Déimos, l'un de ses deux satellites naturels.

Données

- Angle θ, en radian, sous lequel la planète Mars est vue par un observateur terrestre :



- Approximation des petits angles ($\theta \ll 1\,\text{rad}$) : $\tan\theta \approx \theta$ avec θ en radian ; la distance Terre-Mars D étant très grande devant le diamètre d_M de Mars, $\theta \approx \dfrac{d_M}{D}$.
- Pouvoir séparateur de l'œil humain : c'est l'angle minimal ε au-dessus duquel l'œil distingue deux points ; $\varepsilon = 2{,}9 \times 10^{-4}\,\text{rad}$.
- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\,\text{kg}$.

Partie A : observation de Mars avec une lunette astronomique

On observe Mars avec une lunette astronomique afocale formée de deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2, de distances focales $f'_1 = 1\,200\,\text{mm}$ et $f'_2 = 25\,\text{mm}$. Le schéma de la figure 3 représente des rayons lumineux provenant de deux points P_1 et P_2 de Mars. Ces deux points sont situés à la surface de Mars, diamétralement opposés, supposés à l'infini et vus depuis la Terre sous l'angle θ.



Figure 3 – Modèle de la lunette (schéma qui n'est pas à l'échelle ; à compléter sur le sujet)

1) Indiquer sur la figure 3, au-dessus de chaque lentille, celle qui joue le rôle d'objectif et celle qui joue le rôle d'oculaire.

2) Citer la propriété caractéristique d'une lunette astronomique dite « afocale ». Donner la position du foyer objet F_2 de la lentille L_2 par rapport au foyer image F'_1 de la lentille L_1. Placer ces deux points sur la figure 3.

3) Tracer sur la figure 3 la marche des rayons lumineux issus des points P_1 et P_2 :

- à travers la lentille L_1, en faisant apparaître les images intermédiaires P'_1 et P'_2 des points P_1 et P_2 ;
- puis à travers la lentille L_2, en faisant apparaître l'angle θ' sous lequel la planète Mars est vue à la sortie de la lunette.

4) Montrer que le grossissement G_{lunette} de la lunette afocale s'écrit $G_{\text{lunette}} = \dfrac{f'_1}{f'_2}$.

5) Calculer la valeur du grossissement G_{lunette} de la lunette utilisée.

En janvier 2023, l'angle sous lequel la planète Mars était vue à l'œil nu par un observateur terrestre valait $\theta = 5{,}6 \times 10^{-5}\,\text{rad}$. Cet observateur voyait alors un point lumineux.

6) Justifier cette observation.

7) Indiquer ce que voit cet observateur à travers la lunette astronomique précédente. Justifier par un calcul.

Partie B : détermination de la masse de Mars

La planète Mars, que l'on peut assimiler à une sphère de diamètre d_{M}, a une masse M_{M} environ dix fois plus petite que celle de la Terre. On peut déterminer cette masse en observant Déimos, l'un des satellites naturels de Mars, et en utilisant les lois de Newton. Ce satellite :

- a une période de révolution autour de Mars $T = 30\,\text{h}\,18\,\text{min}$;
- décrit une trajectoire quasi circulaire autour de Mars, de rayon $r_{\text{MD}} = 2{,}346 \times 10^4\,\text{km}$;
- n'est soumis qu'à la force de gravitation exercée par Mars.

8) En utilisant une loi de Newton, établir que la vitesse de Déimos sur son orbite circulaire autour de Mars s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{G\,M_{\text{M}}}{r_{\text{MD}}}}$$

9) Mars possède un autre satellite naturel, Phobos. Énoncer la troisième loi de Kepler appliquée aux mouvements de Phobos et de Déimos autour de Mars.

10) À partir de la question 8) et des données de l'énoncé, retrouver l'expression de la troisième loi de Kepler de la question 9), en précisant l'expression de la « constante ».

11) Déterminer la valeur de la masse M_{M} de Mars. Ce résultat est-il cohérent avec les données de l'énoncé ?

Exercice 3 : Miroir, mon beau miroir

5,5 points

Le VLT (*Very Large Telescope*) est installé dans le désert d'Atacama, au nord du Chili, à $2\,635\,\mathrm{m}$ d'altitude. Il est formé de quatre télescopes, nommés Antu, Kueyen, Melipal et Yepun, dont les miroirs mesurent $8{,}2\,\mathrm{m}$ de diamètre. L'objectif de cet exercice est de comprendre pourquoi les astronomes construisent des télescopes de diamètre toujours plus grand, et comment on entretient leurs miroirs. Les deux parties sont indépendantes.

Partie A : un télescope du VLT

Lorsqu'on observe une étoile à travers un télescope, son image est une tache, dont la taille dépend des défauts de l'instrument, par exemple :

- la sensibilité aux fluctuations de l'atmosphère ;
- la diffraction par l'ouverture limitée de l'instrument.

Pour étudier l'influence du diamètre de l'ouverture circulaire du télescope sur la qualité de l'image, on réalise le montage de la figure 4 : le laser joue le rôle de l'étoile, et le miroir du télescope est modélisé par une ouverture circulaire de diamètre a.

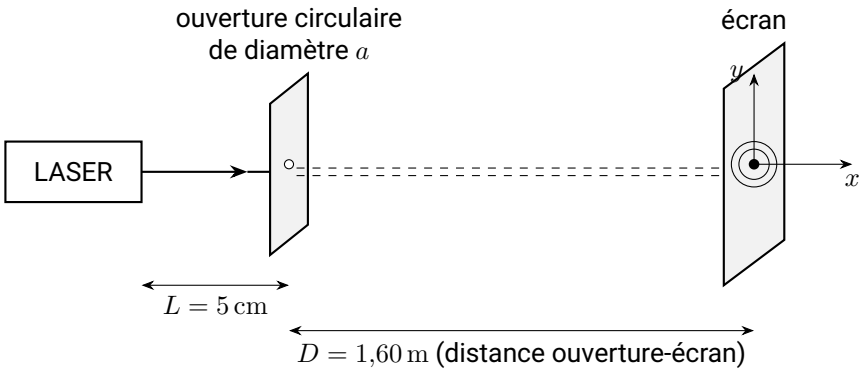
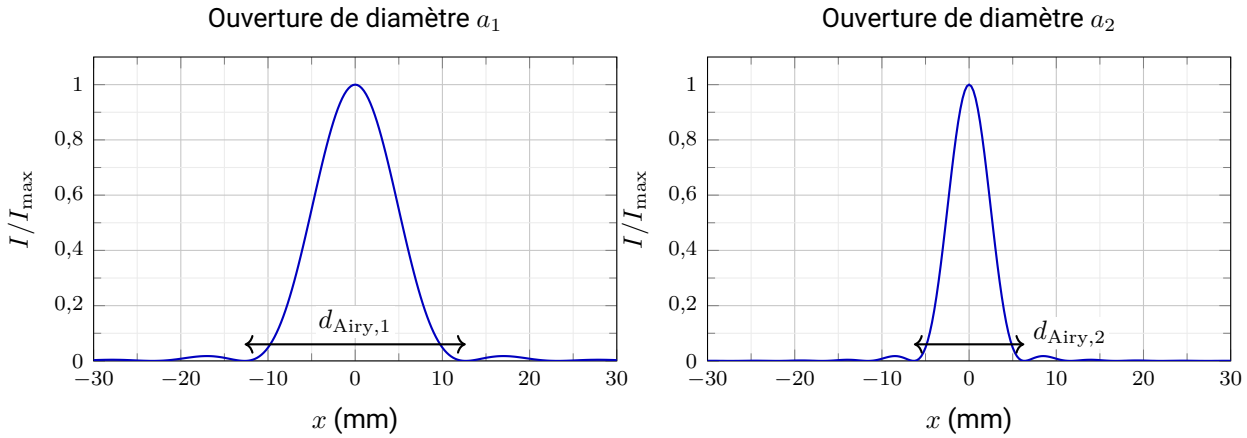


Figure 4 – Expérience de diffraction (schéma qui n'est pas à l'échelle)

1) Quel caractère de la lumière l'apparition d'une figure de diffraction met-elle en évidence ?

2) Décrire le phénomène de diffraction.

Document 1 – Figures de diffraction : intensité lumineuse relative sur l'écran le long de l'axe (Ox), pour deux ouvertures circulaires de diamètres a_1 et a_2.



3) Les deux ouvertures circulaires ont pour diamètres $0{,}10\,\text{mm}$ et $0{,}20\,\text{mm}$. Attribuer ces valeurs à a_1 et a_2 en expliquant le raisonnement, sans relation mathématique ni calcul.

La qualité d'un télescope est caractérisée par son pouvoir de résolution, c'est-à-dire sa capacité à séparer deux objets très proches, comme les deux étoiles d'une étoile double (figure 5).

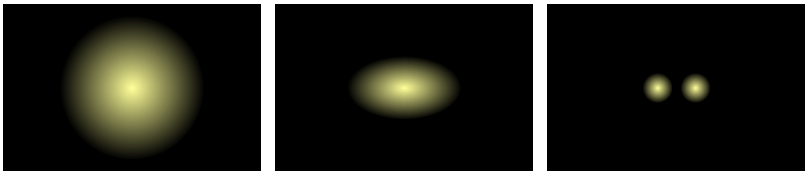
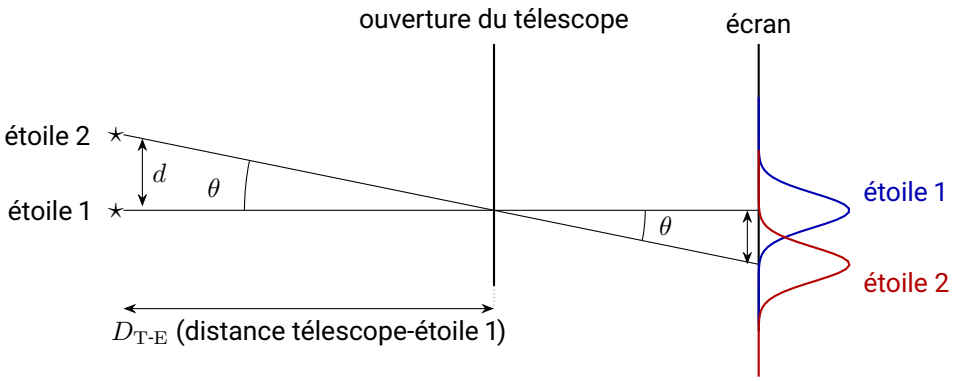


Figure 5 – Images d'une étoile double données par trois instruments différents

Deux étoiles vues sous un angle θ donnent deux taches distinctes sur l'écran si θ est supérieur à une valeur limite $\theta_{\min} = 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{a}$, où λ est la longueur d'onde de la lumière et a le diamètre de l'ouverture.

Document 2 – Séparation des images des deux étoiles d'une étoile double



Données

- Distance Terre-Lune : $D_{\text{T-L}} = 3{,}8 \times 10^8\,\text{m}$.

- Deux points séparés d'une distance d, vus par un observateur placé à une distance D très grande devant d, sont vus sous l'angle $\theta = \dfrac{d}{D}$ (en radian).

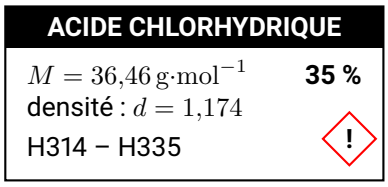
4) On considère deux objets posés sur la Lune, à une distance d l'un de l'autre. Déterminer la valeur minimale de d pour que ces deux objets puissent être séparés par un télescope du VLT (miroir de $8{,}2\,\text{m}$ de diamètre). *Une donnée est manquante : le candidat proposera une valeur raisonnable et la justifiera.*

Partie B : entretien des miroirs du VLT

Pour le documentaire *Superstructures SOS*, une équipe de télévision a suivi les ingénieurs et les astronomes chargés de rénover le miroir géant d'un des télescopes du VLT. L'ennemi numéro un est la poussière : le miroir est nettoyé par une machine spéciale, sorte de « gros lave-vaisselle ». La surface du miroir, d'environ $53\,\text{m}^2$, est débarrassée de sa couche réfléchissante d'aluminium, épaisse de $100\,\text{nm}$, à l'aide d'eau, d'acide et de sulfate de cuivre ; l'opération consomme environ $3\,000\,\text{L}$ d'eau. Le miroir est ensuite recouvert d'une nouvelle couche d'aluminium identique à la précédente.

Données

- Couples oxydant/réducteur : $H_3O^+(aq)/H_2(g)$ et $Al^{3+}(aq)/Al(s)$.
- Masse volumique de l'aluminium : $\rho_{Al} = 2{,}7 \times 10^6\,\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Masse molaire de l'aluminium : $M(\text{Al}) = 27\,\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1{,}0 \times 10^3\,\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Température : $T(\text{K}) = \theta(°\text{C}) + 273{,}15$.
- Le pourcentage massique de la solution indique la masse de chlorure d'hydrogène HCl dissous dans $100\,\text{g}$ de solution.



Étiquette du flacon d'acide chlorhydrique utilisé

On fait l'hypothèse que seul l'acide chlorhydrique attaque l'aluminium. Cette transformation est modélisée par la réaction d'équation :

$$2\,\text{Al}(s) + 6\,\text{H}_3\text{O}^+(aq) \longrightarrow 2\,\text{Al}^{3+}(aq) + 3\,\text{H}_2(g) + 6\,\text{H}_2\text{O}(l)$$

5) À partir des demi-équations électroniques des deux couples, retrouver l'équation de la réaction entre l'aluminium et les ions oxonium de la solution d'acide chlorhydrique.

6) Calculer le volume V_{Al} d'aluminium déposé sur le miroir. Vérifier que la quantité de matière d'aluminium de cette couche vaut $n_{\text{Al}} = 0{,}53\,\text{mol}$.

7) À l'aide des indications de l'étiquette, déterminer la concentration en quantité de matière C_a de la solution d'acide chlorhydrique à $35\,\%$.

On considère que le dihydrogène produit par la réaction se comporte comme un gaz parfait. Dans le hall de maintenance de l'observatoire, la température vaut $15\,°\text{C}$ et la pression $750\,\text{hPa}$.

8) Montrer que, dans ces conditions, le volume molaire d'un gaz parfait vaut environ $31{,}9\,\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

9) Déterminer le volume de dihydrogène produit lorsque toute la couche d'aluminium a été éliminée.