

2024-2025 - BAC BLANC DE PHYSIQUE CHIMIE N°2 - J1

MARDI 25 MARS / 8H00 - 11H30

- L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
- L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.
- Seule l'annexe est à rendre avec la copie

EXERCICE 1 (11 points) A LA DECOUVERTE DE SATURNE

La planète Saturne a été observée à travers une lunette astronomique pour la première fois par l'astronome Galilée en 1610. Il a pu entrevoir la planète, mais sa lunette ne lui a pas permis de distinguer clairement ce qui l'entourait (figure 1).

Ce n'est qu'en 1655, grâce à une lunette plus perfectionnée, que Christian Huygens comprend que ce qui entoure Saturne sont des anneaux dont l'aspect varie avec l'angle d'observation. La même année, il découvre également Titan, le plus gros satellite de Saturne (figures 2 et 3).



Figure 1. Saturne représentée par Galilée en 1610

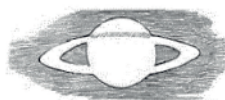


Figure 2. Un des premiers dessins de Saturne réalisé par Huygens en 1655



Figure 3. Positions respectives de Saturne et de Titan schématisées par Huygens en 1655

Source : *Systema Saturnium* de Huygens

Le but de cet exercice est d'étudier la lunette astronomique de Huygens afin de comparer ses observations de Saturne et de ses anneaux à celles de Galilée. La fin de l'exercice est consacrée à l'étude du mouvement du satellite Titan à partir des observations de Huygens.

Données :

- caractéristiques des lunettes astronomiques utilisées par Galilée et Huygens :

	Distance focale f_1' de l'objectif	Distance focale f_2' de l'oculaire	Diamètre a de l'objectif	Grossissement
Lunette de Galilée utilisée en 1610			29,0 mm	$G_{Gal} = 14$
Lunette de Huygens utilisée en 1655	329 cm	7,0 cm	51,0 mm	

- un observateur peut distinguer deux points différents d'un objet si l'angle sous lequel sont vus ces deux points, depuis le point d'observation, est supérieur ou égal à $3,0 \times 10^{-4}$ rad ;
- approximation dans le cas de petits angles ($\theta \ll 1$ rad) : $\tan(\theta) = \theta$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$;
- masse de Saturne : $M_S = 5,68 \times 10^{26} \text{ kg}$;
- masse de Titan : $M_T = 1,34 \times 10^{23} \text{ kg}$;
- distance moyenne entre la Terre et Saturne : $D_{T-S} = 1,42 \times 10^9 \text{ km}$;
- rayon de l'orbite de Titan autour de Saturne : $R = 1,22 \times 10^6 \text{ km}$.

A. Observation de Saturne par Huygens

La lunette de Huygens, considérée comme afocale, est modélisée par un système de deux lentilles minces convergentes notées L_1 et L_2 . La lentille L_1 représente l'objectif et la lentille L_2 l'oculaire. Leurs centres optiques respectifs sont notés O_1 et O_2 et leurs distances focales respectives sont notées f'_1 et f'_2 .

Sur la figure A1 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** , réalisée sans souci d'échelle, sont représentées les deux lentilles et la position du foyer image F'_1 de la lentille L_1 . La lunette est utilisée pour observer un objet AB , supposé « à l'infini », dont l'image par l'objectif sera notée A_1B_1 . Deux rayons lumineux issus de B sont représentés sur le schéma.

Q1. Préciser le sens du terme « afocal ».

Q2. Placer, sur la figure A1 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** , les foyers objet F_2 et image F'_2 de la lentille L_2 dans le cas d'une lunette afocale.

Q3. Construire, sur la figure A1 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** , la marche des deux rayons lumineux issus de B qui émergent de la lunette en faisant apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 .

La lunette de Huygens est constituée d'un tube long de 372 cm. Comme indiqué sur la figure 4, l'oculaire est placé à une extrémité du tube. L'objectif quant à lui est enfoncé de 36 cm par rapport à l'autre extrémité, afin de le protéger de la buée.

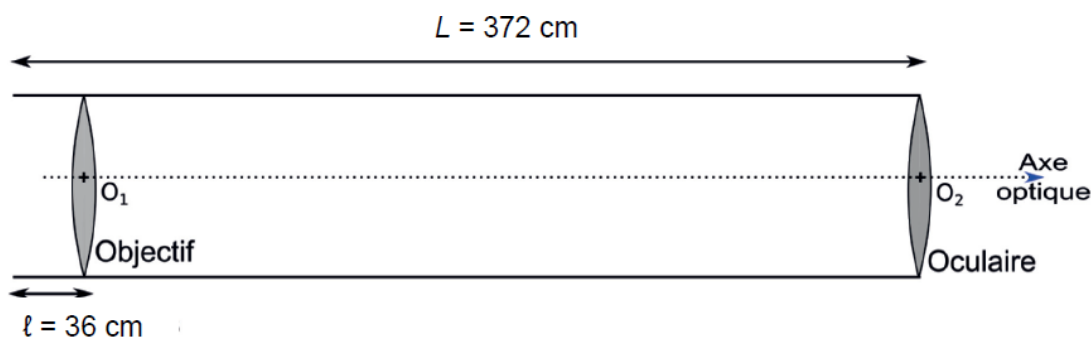


Figure 4. Représentation schématique de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

Q4. Vérifier, à partir des données, que la lunette d'Huygens peut être considérée comme « afocale ».

L'angle θ , représenté sur la figure A1 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** , désigne l'angle sous lequel l'espace AB entre la surface de Saturne et son premier anneau est vu à l'œil nu depuis la Terre, lorsque les anneaux de Saturne sont vus de face (voir figure 5).

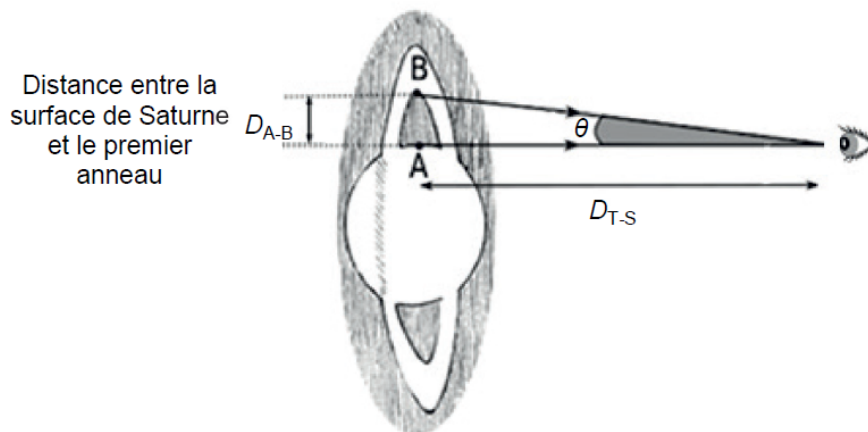


Figure 5. Angle sous lequel Saturne est vue par Huygens sans la lunette (échelle non respectée)

On note θ' l'angle sous lequel un observateur voit l'image $A'B'$ de l'espace AB , à travers la lunette astronomique.

Q5. Placer l'angle θ' sur la figure A1 de l' **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** .

Q6. Donner l'expression du grossissement G_{Huy} de la lunette de Huygens en fonction des angles θ et θ' .

Q7. Montrer que le grossissement G_{Huy} de la lunette de Huygens s'exprime en fonction des distances focales des lentilles L_1 et L_2 constituant la lunette :

$$G_{Huy} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

Q8. Calculer la valeur du grossissement G_{Huy} de la lunette utilisée par Huygens.

Q9. Conclure sur la possibilité pour Huygens de distinguer la surface de Saturne de son premier anneau en utilisant la lunette. La distance entre la surface de Saturne et son premier anneau est égale à $D_{A-B} = 3,17 \times 10^4$ km (figure 5).

B. Prise en compte de la diffraction dans l'observation astronomique

L'observation des détails d'un objet avec une lunette astronomique est principalement limitée par le phénomène de diffraction. En effet, l'image donnée par l'objectif d'une source ponctuelle « à l'infini » n'est pas un point mais une figure de diffraction circulaire, appelée tache d'Airy, représentée en figure 6.

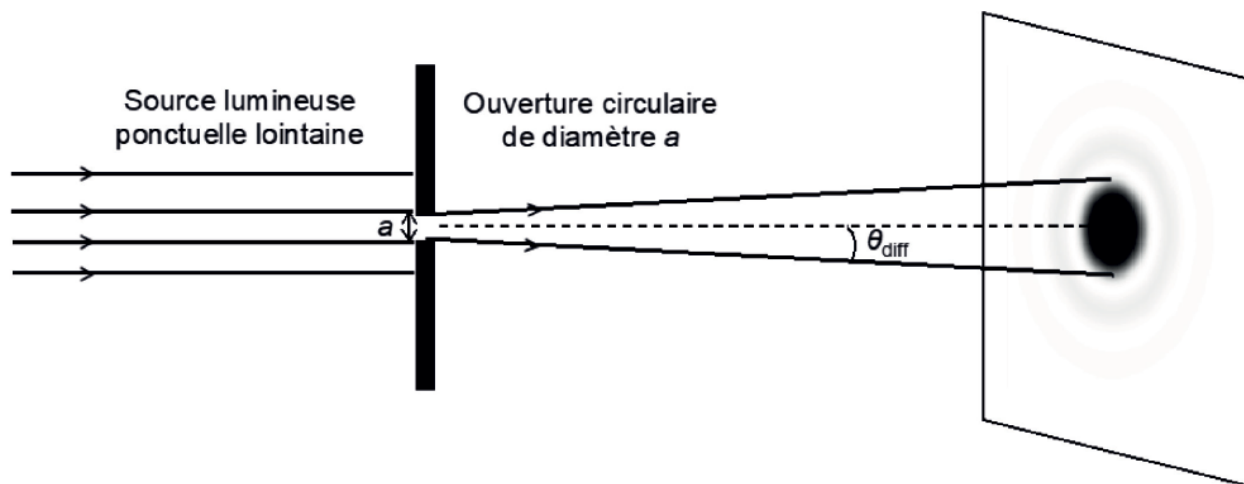


Figure 6. Figure de diffraction obtenue par une ouverture circulaire (échelle non respectée – image en négatif)

Dans le cas de la lunette astronomique, on admet que l'angle caractéristique de diffraction vérifie la relation :

$$\theta_{diff} = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$$

avec λ la longueur d'onde du faisceau incident et a le diamètre de l'objectif.

Une lunette astronomique ne permet de distinguer deux points A et B que si l'écart angulaire θ entre les directions de ces deux points vus depuis la Terre est supérieur ou égal à l'angle caractéristique de diffraction, c'est-à-dire si la condition $\theta \geq \theta_{diff}$ est vérifiée. Si ce n'est pas le cas, les taches d'Airy associées aux deux points se superposent et les deux points ne peuvent être séparés visuellement.

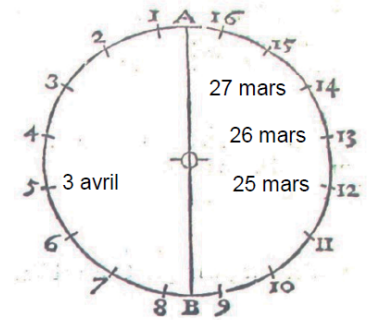
Q10. Expliquer pourquoi on peut considérer que le phénomène de diffraction a empêché Galilée d'observer les anneaux de Saturne avec sa lunette astronomique contrairement à Huygens qui a pu les observer. Une approche quantitative est attendue. On rappelle que la distance entre Saturne et la limite du premier anneau visible à l'époque est égale à $D_{A-B} = 3,17 \times 10^4$ km et on effectuera les calculs avec une valeur de la longueur d'onde $\lambda = 550$ nm, pour laquelle l'œil humain est le plus sensible.

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.

C. Découverte de Titan par Huygens

Le 25 mars 1655, à 8 heures du soir, employant sa lunette, Huygens aperçoit près de Saturne, un point brillant qu'il soupçonne être un satellite de cette planète. Plus tard, ce satellite sera appelé Titan.

« Après le 25 mars 1655, à savoir le 10 avril, le satellite a été vu à la même position qu'il occupait à cette première date. De même, le 3 et le 19 avril de cette même année des positions identiques furent observées ; de même encore le 13 et le 29 de ce mois. Tenant donc compte de ces résultats, j'ai dessiné une circonférence de cercle représentant l'orbite du satellite, avec Saturne au centre, et je l'ai divisée en 16 parties, comme le montre la figure suivante. Dans cette orbite, j'ai fait circuler le satellite suivant l'ordre naturel des chiffres. [...]



Source : d'après *Systema Saturnium*, Huygens

Cherchant ensuite sur cette circonférence l'endroit où le satellite s'était trouvé dans notre première observation et corrigeant plusieurs fois cet endroit, [...] il m'a semblé enfin que tout le mouvement peut être représenté le plus commodément, si dans le cas de la première observation, celle du 25 mars 1655, le satellite est placé auprès du nombre 12. Par suite le satellite de Saturne était le 26 mars auprès du nombre 13, le 27 mars auprès du nombre 14, le 3 avril auprès du nombre 5 et ainsi de suite aux endroits de l'orbite qui correspondent assez bien avec les situations observées la première année. »

Q11. Justifier le choix de Huygens de diviser la trajectoire de Titan en 16 parties.

Le mouvement de Titan, noté T , est étudié dans le référentiel saturnocentrique, dont l'origine est placée au centre S de Saturne et dont les axes sont dirigés vers des étoiles lointaines. Il est considéré comme galiléen. On travaille dans le repère de Frenet ($T, \vec{u}_t, \vec{u}_n$).

Dans *Systema Saturnium*, Huygens précise que la valeur de la période de révolution T_{Huy} de Titan est de « 15 jours 23 heures 13 minutes ».

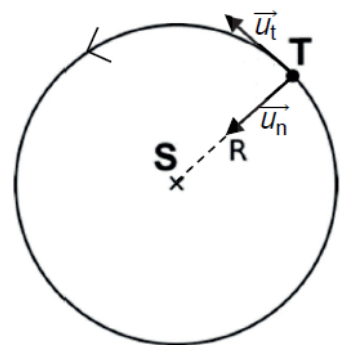


Figure 7. Schéma de la trajectoire de Titan dans le référentiel saturnocentrique

Q12. Donner l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle exercée par Saturne sur le satellite Titan en fonction de G , M_S , M_T , R et de l'un des vecteurs unitaires.

Q13. Le mouvement de Titan autour de S est supposé circulaire. Montrer qu'il est uniforme puis que l'expression de la vitesse du satellite s'écrit sous la forme :

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M_S}{R}}$$

Q14. En déduire l'expression de la période de révolution notée T_{Kep} de Titan. Calculer sa valeur. Commenter.

EXERCICE 2 (5 points) ÉTUDE D'UNE PILE AU LABORATOIRE

Chaque année en France, 1,3 milliard de piles sont vendues dans le commerce. Petits réservoirs d'énergie, elles constituent des objets indispensables au quotidien. L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'une pile réalisée au laboratoire et de comparer sa capacité électrique à celle d'une pile AA vendue dans le commerce, photographiée ci-contre.



Photographie de piles AA de capacité 2 800 mAh

Données :

- masses molaires :

Espèce chimique	Al	$Al_2(SO_4)_3$
Masse molaire en $g \cdot mol^{-1}$	27,0	342,15

- couples oxydants-réducteurs : $(Cu^{2+}_{(aq)} / Cu_{(s)})$ et $(Al^{3+}_{(aq)} / Al_{(s)})$;
- charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} C$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} mol^{-1}$
- constante de Faraday : $F = 9,65 \times 10^4 C \cdot mol^{-1}$
- concentration standard : $c^0 = 1 mol \cdot L^{-1}$
- 1 mAh = 3,60 C.

A- Construction de la pile au laboratoire

Pour réaliser la pile étudiée, deux solutions aqueuses sont préparées : une de sulfate d'aluminium notée S , et une de sulfate de cuivre $(Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)})$, notée S' , toutes les deux sont à la concentration en soluté apporté de $C = 0,100 mol \cdot L^{-1}$. Le sulfate d'aluminium est un solide de formule $Al_2(SO_4)_3(s)$, disponible sous forme de poudre.

L'équation de dissolution du sulfate d'aluminium s'écrit : $Al_2(SO_4)_3(s) \longrightarrow 2Al^{3+}_{(aq)} + 3SO_4^{2-}_{(aq)}$

Q1. Calculer les concentrations en quantité de matière en ions aluminium $Al^{3+}_{(aq)}$ et en ions sulfate $SO_4^{2-}_{(aq)}$ dans la solution S .

La pile est assemblée selon le schéma de la figure 1 représenté ci-dessous :

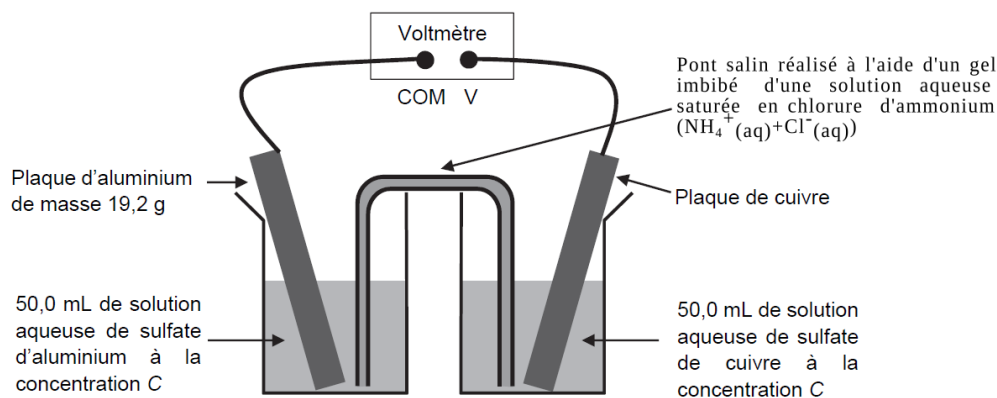


FIG. 1 : Schéma de la constitution de la pile

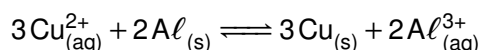
Pour déterminer la polarité de la pile ainsi constituée, un voltmètre est relié aux deux plaques métalliques. La borne COM du voltmètre est reliée à la plaque d'aluminium. Dans ces conditions, la tension mesurée aux bornes de la pile vaut $U = 0,92 \text{ V}$.

Q2. Déterminer le pôle positif de la pile à l'aide du montage expérimental de la figure 1. (justifier votre choix)

Dans la suite de l'étude, le voltmètre est retiré puis est remplacé par un conducteur ohmique de résistance R .

Q3. Compléter le schéma fourni **ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE** en y indiquant la polarité de la pile, le sens du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge à l'extérieur de la pile lors de son fonctionnement.

Q4. Établir les équations modélisant les réactions aux électrodes lors du fonctionnement de la pile. En déduire que l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile s'écrit :



La constante d'équilibre K associée à cette réaction a pour valeur $K \simeq 10^{200}$, à 25°C .

Q5. Montrer que la valeur initiale du quotient de réaction du système vaut $Q_r = 40$. Conclure quant à l'évolution du système.

Q6. Indiquer comment évoluent les concentrations des ions métalliques dans chacun des béchers

Q7. En déduire le sens du mouvement des ions présents dans le pont salin.

B - Capacité électrique de la pile.

Q8. Déterminer quel est le réactif limitant.

Q9. Déterminer la capacité électrique Q de la pile du laboratoire, puis la comparer aux piles commerciales de type « AA ».

Q10. Identifier un paramètre de la composition de la pile de laboratoire qu'il faudrait faire évoluer pour augmenter la capacité électrique de la pile, en précisant comment ce paramètre doit évoluer. Justifier.

EXERCICE 3 (4 points)

L'acide méthanoïque

L'acide méthanoïque, ou acide formique, est produit par des fourmis rouges qui l'utilisent pour se défendre. Il est synthétisé dans l'industrie pour être utilisé dans de nombreux domaines comme le textile, l'agroalimentaire, ou encore la fabrication de solvants.

L'objectif de cet exercice est d'étudier les propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque

Donnée :

- couple acide-base acide méthanoïque / ion méthanoate : $\text{HCOOH}_{(\text{aq})} / \text{HCOO}^{-}_{(\text{aq})}$

Pour étudier les propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque, une solution aqueuse d'acide méthanoïque, notée S , est préparée à partir de $1,0 \text{ mL}$ d'acide méthanoïque concentré commercial dilué dans une fiole jaugée de 250 mL .

Le titrage d'un volume $V = 25,0 \text{ mL}$ de solution S est réalisé et suivi par pH-métrie. La solution titrante est une solution d'hydroxyde de sodium de concentration c_B égale à $0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La courbe de suivi pH-métrique est donnée en figure 1.

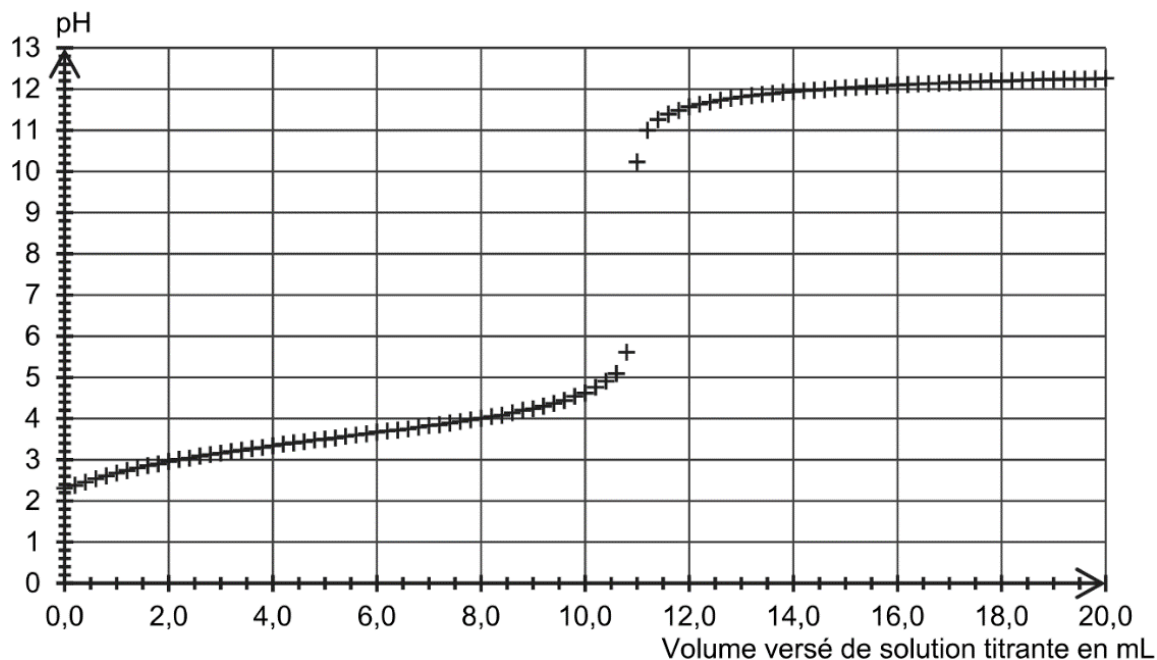


FIG. 1 : Courbe expérimentale du titrage par suivi pH-métrique

On utilise les valeurs de pH mesurées au cours de ce titrage pour obtenir la figure 2.

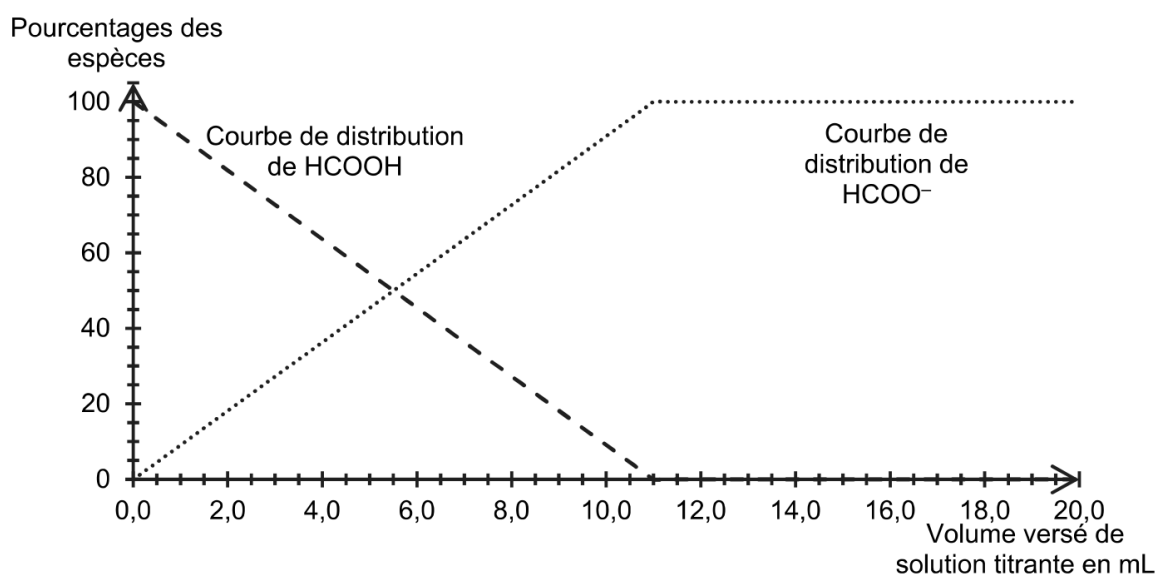


FIG. 2 : Courbes de distribution obtenues à partir des mesures de pH effectuées lors du titrage

- Q1.** Établir l'équation de la réaction de l'acide méthanoïque avec l'eau
- Q2.** Estimer, en expliquant la démarche, à l'aide des figures 1 et 2, la valeur de la constante d'acidité K_A du couple acide méthanoïque / ion méthanoate à la température du titrage.

La valeur tabulée de la constante d'acidité associée à ce couple est égale à $1,75 \times 10^{-4}$ à 25 °C.

- Q3.** Identifier une des causes expliquant l'écart entre la valeur tabulée et la valeur calculée à la question **Q2** de la constante d'acidité K_A du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.

On étudie une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration initiale en soluté apportée c_A , obtenue par la réaction de l'acide méthanoïque avec l'eau étudiée à la question **Q1**.

Q4. Montrer que le quotient de réaction, noté Q_r , associé à la réaction écrite à la question **Q1**, s'écrit :

$$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{(c_A - [\text{H}_3\text{O}^+]) \cdot c^0}$$

avec c^0 la concentration standard.

Q5. Montrer qu'à l'état final on a $[\text{HCOO}^-]_f = [\text{H}_3\text{O}^+]_f = \tau_f \cdot c_A$ et que $[\text{HCOOH}]_f = (1 - \tau_f) \cdot c_A$ où τ_f représente le taux d'avancement final.

Q6. Montrer que l'on peut estimer la valeur de K_A à une température donnée avec la relation suivante :

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0}$$

Le taux d'avancement final τ_f vérifie une équation du 2nd degré de la forme :

$$A \cdot \tau_f^2 + B \cdot \tau_f + C = 0 \text{ avec } A, B \text{ et } C \text{ des constantes.}$$

Le calcul du taux d'avancement final est effectué à l'aide d'un programme écrit en langage Python dont un extrait est donné en figure 3.

4	<i># Demandes des valeurs utiles</i>
5	<code>cA=float(input("Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :"))</code>
6	<code>kA=float(input("Indiquer la valeur de la constante d'acidité KA :"))</code>
7	<code>C0 = 1.0 # valeur de la concentration standard en mol/L</code>
8	
9	<i># Equation du 2nd degré vérifiée par le taux d'avancement</i>
10	<i># équation du type : A*tau^2 + B*tau + C = 0</i>
11	<code>A = ?</code> <i># expression de A</i>
12	<code>B = ?</code> <i># expression de B</i>
13	<code>C = ?</code> <i># expression de C</i>

FIG. 3 : Extrait du programme écrit en langage Python

Q7. Compléter les lignes 11, 12 et 13 permettant au programme d'être exécuté. Détailler la démarche.

Pour une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration apportée égale à $8,8 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, le résultat obtenu par le programme est donné ci-dessous :

```
Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :0.088
Indiquer la valeur de la constante d'acidité KA :1.75e-4
Il y a 2 solutions possibles pour le taux d'avancement final :
tau1 = -0.046
tau2 = 0.044
```

Q8. À partir des résultats ci-dessus du programme, déterminer en justifiant si l'acide méthanoïque peut être considéré comme un acide fort ou un acide faible dans l'eau dans les conditions de l'expérience.

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE 1

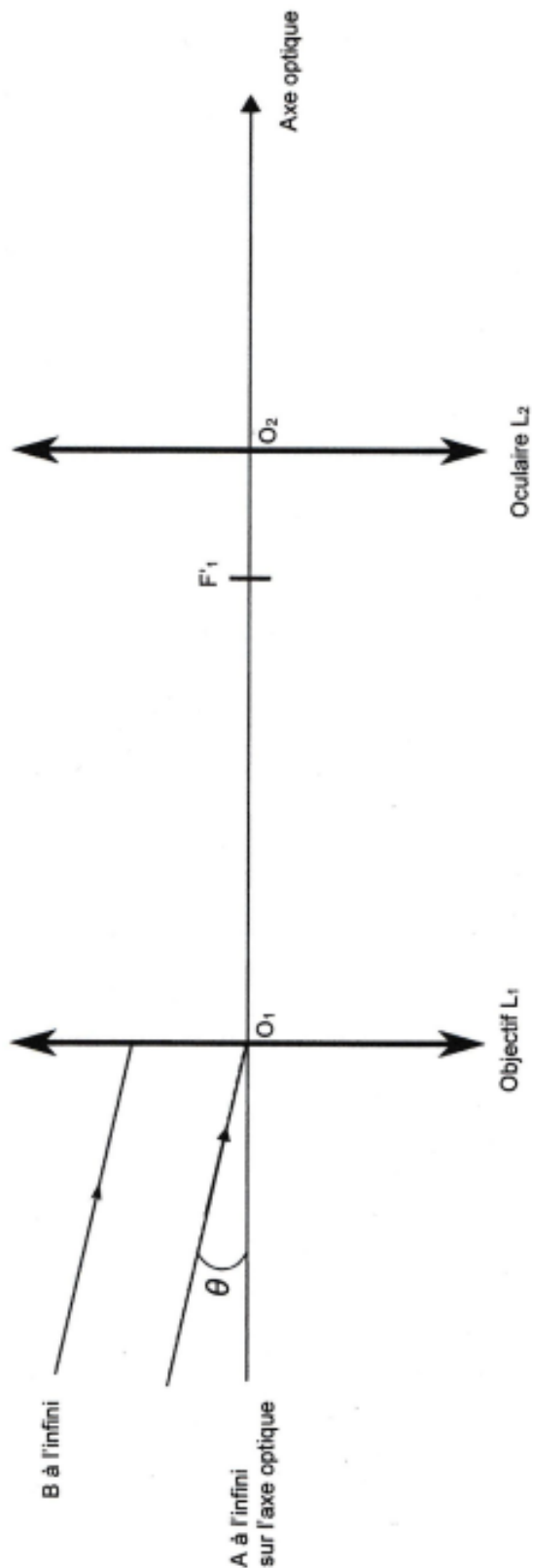


Figure A1. Schéma de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

EXERCICE 2

