

Terminale spécialité

AVRIL 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

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 collègue » 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.

Dont 4 Annexes à rendre 12/15 à 15/15

L'énoncé EN ENTIER est à rendre avec la copie.

Il sera tenu compte de la propreté de la copie

De plus on tiendra compte du respect des chiffres significatifs dans les résultats.

PHYSIQUE - À LA DÉCOUVERTE DE SATURNE (10 points)

**Mots clefs : Lunette astronomique, Diffraction, Satellite, Loi de Newton,
Lois de Kepler, Circuit RC, Ondes, Intensité sonore**

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

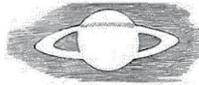


Figure 2. Un des premiers dessins de Saturne réalisé par Huygens en 1655



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 : $R = 1,22 \times 10^6 \text{ km}$.

1. 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 À 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.

1. Préciser le sens du terme « afocal ». Quel est l'intérêt pour l'œil de l'observateur ?
2. Placer, sur la figure A1 de l'**ANNEXE À 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. Aucune justification n'est demandée.
3. Construire, sur la figure A1 de l'**ANNEXE À 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 . Aucune justification n'est demandée.

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.

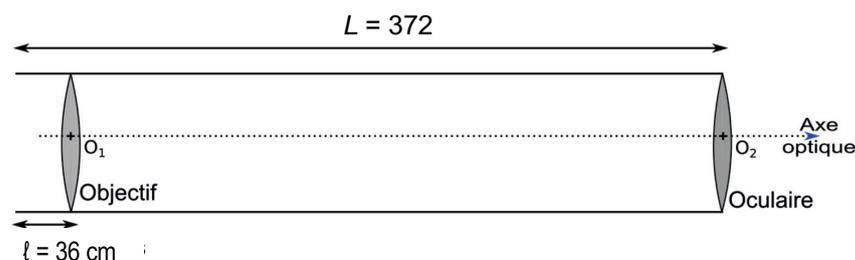


Figure 4. Représentation schématique de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

4. Vérifier, à partir des données et de la figure 4 donnée ci-dessus, que la lunette d'Huygens peut être considérée comme « afocale ».
5. L'angle θ , représenté sur la figure A1 de l'**ANNEXE À 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).

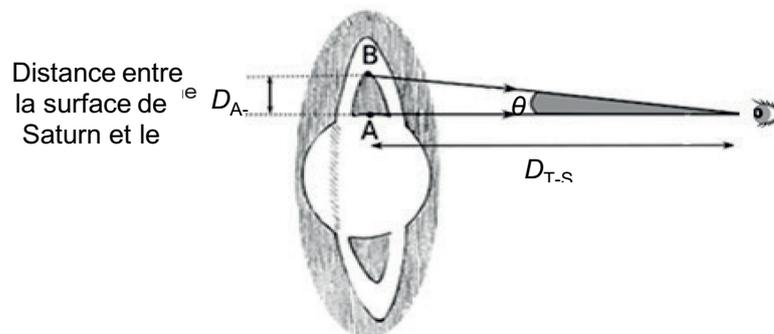


Figure 5. Angle sous lequel Saturne est vue par Huygens sans la lunette (échelle non respectée)

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

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

6. Donner l'expression du grossissement G_{Huy} de la lunette de Huygens en fonction des angles θ et θ' .
7. 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 :
$$G_{Huy} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

On suppose vraie cette relation en cas de besoin pour la suite de l'exercice.

8. Calculer la valeur du grossissement G_{Huy} de la lunette utilisée par Huygens.
9. 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).

2. 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 la diffraction.

En effet, l'image donnée par l'objectif d'une source ponctuelle « à l'infini » n'est pas un point mais une figure circulaire, appelée tache d'Airy, représentée en figure 6.

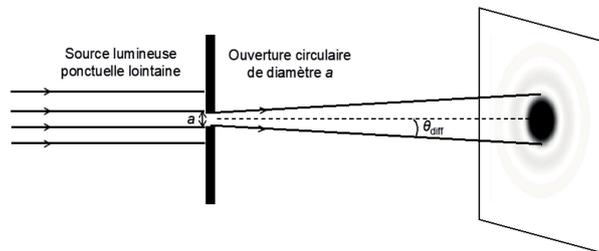


Figure 6. Figure obtenue par une ouverture circulaire (échelle non respectée – image en négatif)

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

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

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

10. Définir la notion de longueur d'onde. Préciser l'unité d'une longueur d'onde.
11. On donne en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** le spectre de la lumière.
Compléter le spectre donné en Annexe avec les notions de lumière visible, Infra Rouge et Ultra Violet.
Préciser les valeurs limites des longueurs d'onde du domaine visible.
Indiquer également les couleurs correspondantes à ces longueurs d'onde.
12. Quel caractère de la lumière l'apparition d'une figure de diffraction met-elle en évidence ?
13. 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 θ_{Dif} , c'est-à-dire si la condition $\theta \geq \theta_{Dif}$ 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.

Expliquer pourquoi on peut considérer que ce phénomène perturbateur 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.

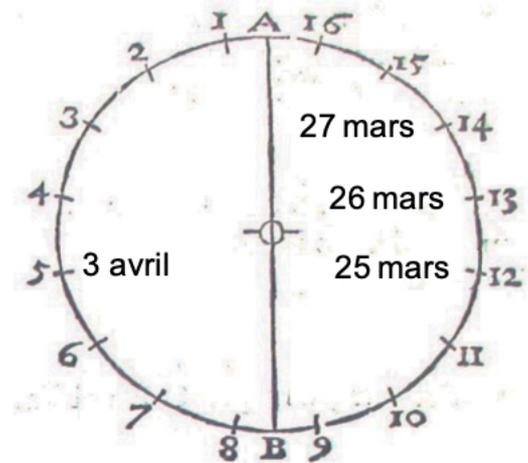
On rappelle que la distance entre Saturne et la limite du premier anneau visible à l'époque est égale à $D_{A-B} = 3,17 \times 10^4$ km et on effectuera les calculs avec une valeur de la longueur d'onde $\lambda = 550$ nm, pour laquelle l'œil humain est le plus sensible.

3. 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. [...]

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. »



14. 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 ».

15. 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.

16. Le mouvement de Titan autour de S est supposé circulaire. Montrer qu'il est uniforme puis établir l'expression de la vitesse du satellite. Bien détailler tout le raisonnement.

Il sera tenu compte du raisonnement clair et explicite.

17. Retrouver l'expression de la période de révolution notée T_{Kep} de Titan. Calculer sa valeur. Commenter.

18. Rappeler les trois lois de Kepler en les adaptant au cas du satellite Titan gravite autour de Saturne

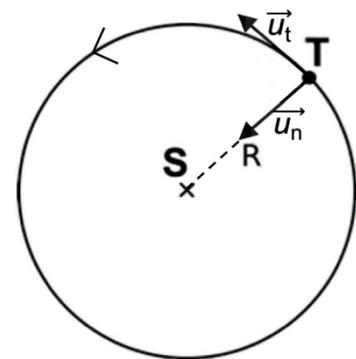


Figure 7. Schéma de la trajectoire de Titan dans le référentiel saturnocentrique

4. Un microphone pour communiquer – Circuit RC

Un astronome amateur décide d'observer Saturne au sommet du Hohneck.

Pour communiquer avec ses amis, il utilise un microphone électrostatique.

Le capteur des microphones électrostatiques est modélisable par un condensateur plan. En effet la vibration d'une membrane chargée électriquement à proximité d'une plaque fixe chargée électriquement entraîne la variation de la capacité du dipôle ainsi formé. Dans le modèle du condensateur plan, la membrane constitue alors l'une des armatures et la plaque fixe constitue la seconde armature comme illustre la figure 1.

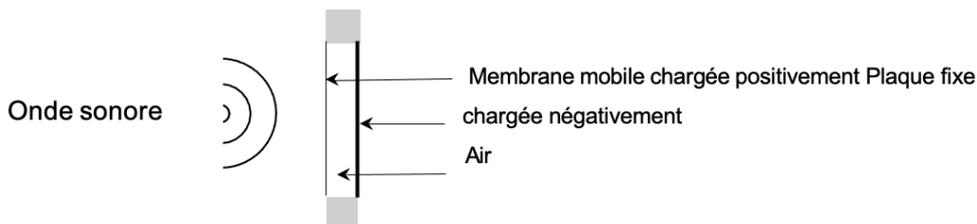


Figure 1 : Schéma de principe du capteur d'un microphone électrostatique.

Le circuit permettant la polarisation de la membrane et de la plaque fixe est modélisable par un circuit RC. On étudiera le circuit RC représenté sur la figure 2 avec R la résistance d'un conducteur ohmique, C la capacité du condensateur et E la tension aux bornes du générateur d'une valeur de 200 V.

À la date $t = 0$ s, l'utilisateur ferme l'interrupteur et déclenche la charge du condensateur de capacité C considéré comme initialement totalement déchargé.

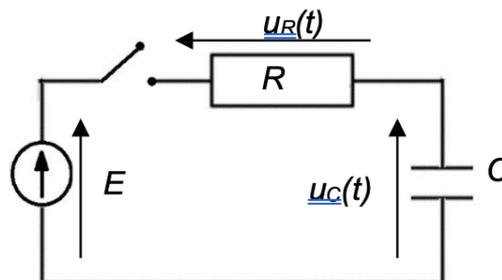


Figure 2. Circuit RC modélisant le fonctionnement du microphone.

19. Établir l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge.
20. Montrer que la solution de cette équation différentielle est $u_C = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ en précisant l'expression et l'unité de τ .
21. On donne en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de la charge en fonction du temps.
Déterminer à partir de cette courbe, le temps caractéristique τ en expliquant votre démarche.
22. En déduire la capacité C du condensateur sachant que la valeur de la résistance R du conducteur ohmique est égale à $1,0 \times 10^5 \Omega$.
23. La capacité C d'un condensateur plan idéal en farads s'exprime en fonction de la distance e entre les armatures en mètres, de la surface S des armatures en regard en mètres carrés et de la permittivité de l'air ϵ_{air} situé entre les armatures en farads par

$$C = \epsilon_{air} \times \frac{S}{e}$$

Lorsqu'une onde sonore exerce une pression sur la membrane du microphone électrostatique, sa capacité varie

Identifier le paramètre géométrique responsable de cette variation.

En déduire si la valeur de la capacité C aux bornes du capteur augmente ou diminue lors d'une surpression.

5. Un microphone pour communiquer – Ondes & Intensité sonore

Les caractéristiques du capteur induisent des limites sur le temps de réponse et sur la plage de niveaux d'intensité sonore mesurables.

On cherche à vérifier si le microphone étudié permet d'acquérir un son dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Valeur de la fréquence du son f égale à 440 Hz.
- Valeur de l'intensité sonore I égale à $4,7 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

24. Donner une définition complète d'une onde sonore. Soyez précis dans votre définition.

25. Donner la définition de la notion de fréquence.

Calculer la période T du son.

Commenter la possibilité d'acquérir fidèlement le son en comparant la période T au temps de réponse du capteur qui est de l'ordre de $1 \mu\text{s}$.

26. La relation entre le niveau sonore L (dB) et l'intensité sonore I (W/m^2) est donnée par :

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Avec la valeur de l'intensité sonore de référence I_0 est égale à $1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

D'après la notice du constructeur, le domaine d'utilisation du microphone est compris entre 32 dB à 160 dB.

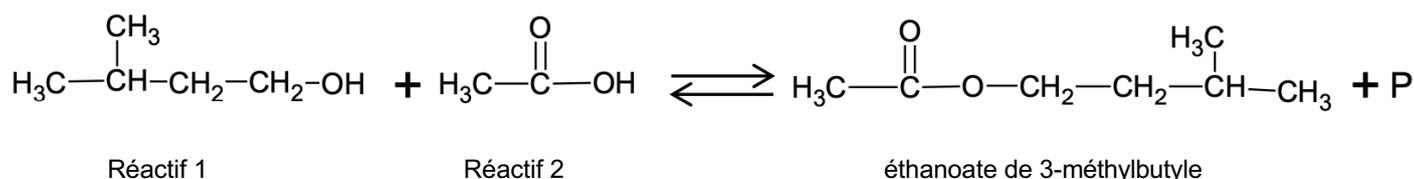
Vérifier si le niveau d'intensité sonore L du son peut être mesuré par le microphone étudié

CHIMIE - SYNTHÈSE DE L'ARÔME DE BANANE (10 points)
Mots clefs : Chimie Organique, Spectre IR, Synthèse Organique
Bilan de matière, Chimie Verte, Cinétique, Ordre de réaction.

L'arôme de banane est un mélange complexe de plusieurs espèces chimiques naturelles. Le principal constituant de cet arôme est l'éthanoate de 3-méthylbutyle aussi appelé acétate d'isoamyle : il est utilisé en parfumerie et comme additif alimentaire.

L'objectif de cet exercice est de comparer plusieurs protocoles permettant de synthétiser au laboratoire cette espèce chimique, afin de déterminer quelle synthèse est la plus éco-responsable.

L'équation de la réaction de synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle est la suivante :



Donnée : table de données de spectroscopie infrarouge :

| Liaison | O-H | C-H | C=C | C=O |
|--------------------------------------|----------------|-------------|----------------|---------------|
| Nombre d'onde (en cm ⁻¹) | 2800 – 3700 | 2850 – 3100 | 1620 – 1680 | 1650 – 1750 |
| Allure de la bande caractéristique | Forte et large | Forte | Faible et fine | Forte et fine |

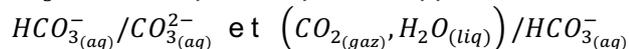
1. Identification des espèces mises en jeu dans la réaction

- Quel type de représentation a-t-on utilisé pour écrire l'équation de la réaction ?
- Recopier la formule du réactif 1. Y entourer le groupe caractéristique. Quel est le nom de ce groupe ? A quelle famille appartient cette molécule ? Donner le nom de ce réactif 1 dans la nomenclature officielle.
- Même question pour le réactif 2.
- Représenter la formule topologique de l'éthanoate de 3-méthylbutyle. Entourer le groupe caractéristique et identifier la famille fonctionnelle correspondante.
- Justifier que le produit P obtenu lors de cette synthèse est de l'eau.
- On donne en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** le spectre IR.
Expliquer les termes (Transmittance et nombre d'ondes) portés sur les deux axes du graphe. On attend une définition ou une formule pour chaque grandeur.
- Attribuer, à l'aide des données et en justifiant, le spectre A représenté ci-après soit au réactif 2 soit à l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

2. Comparaison de protocoles de synthèse

Données :

- l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- est une espèce amphotère appartenant aux couples acide-base suivants :



- données physico-chimiques à 20°C et données de sécurité :

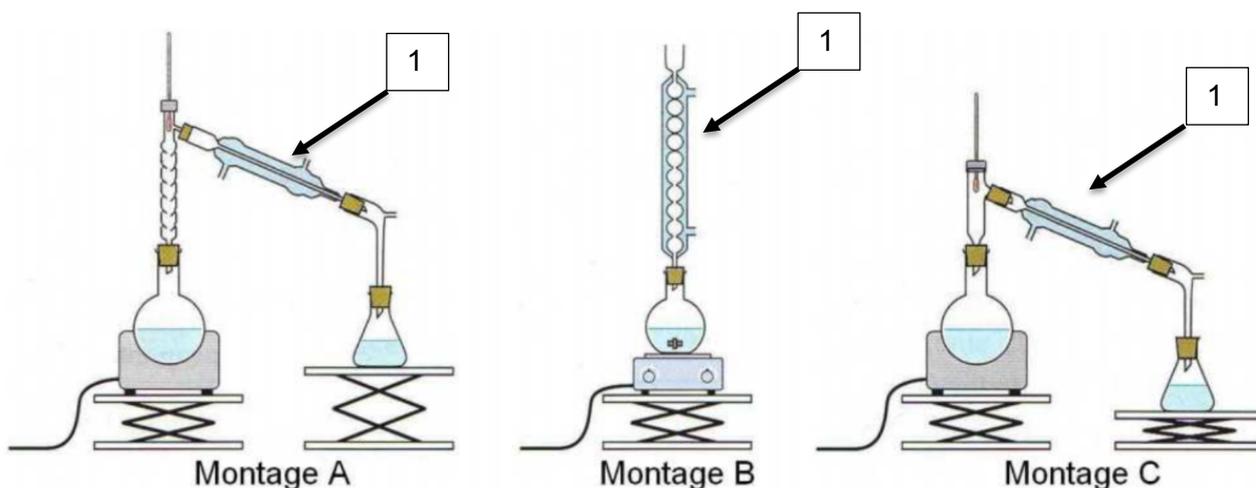
| Espèce chimique | Masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ | Densité | Solubilité dans l'eau salée | Pictogrammes de sécurité |
|-----------------------------|---|---------|-----------------------------|--------------------------|
| Réactif 1 | 88,2 | 0,81 | Peu soluble | |
| Réactif 2 | 60,0 | 1,05 | Très soluble | |
| Éthanoate de 3-méthylbutyle | 130,2 | 0,87 | Très peu soluble | |
| Cyclohexane | 84,2 | 0,78 | Insoluble | |

Dans la suite de l'exercice on compare trois protocoles de synthèse.

Protocole A : synthèse avec montage de chauffage à reflux

- Étape 1 : dans un ballon on introduit 22 mL de 3-méthylbutan-1-ol, 15 mL d'acide éthanóique pur et 10 gouttes d'acide sulfurique concentré, ainsi que quelques grains de pierre ponce.
- Étape 2 : le mélange est chauffé à reflux pendant 45 minutes puis refroidi à la température ambiante.
- Étape 3 : la phase organique est ensuite lavée avec une solution aqueuse saturée de chlorure de sodium puis avec une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium. La phase organique est alors séchée à l'aide de sulfate de magnésium anhydre.
- La masse d'éthanoate de 3-méthylbutyle obtenue est $m_B = 19,7 \text{ g}$.

- Nommer les étapes 2 et 3 du protocole A.
- Quel est le rôle de l'acide sulfurique concentré utilisé dans ce protocole ? Bien justifier votre réponse en donnant la définition du terme utilisé.
- On propose trois montages ci-dessous. Quel est le nom de la verrerie notée 1 ? Quel est son rôle ?



11. Parmi les montages ci-dessus, justifier celui qu'il convient pour l'étape 1. Quel est son nom ? Justifier en rappelant le rôle du montage choisi.
- Pourquoi les deux autres montages ne conviennent-ils pas ? On pourra justifier en donnant le nom de ces deux autres montages.
12. Lors du second lavage de l'étape 3 du protocole, on observe un dégagement gazeux.
- À l'aide des données, proposer une explication à cette observation et justifier l'utilité de cette étape.
13. Déterminer le réactif limitant utilisé dans le protocole A puis calculer le rendement de la synthèse réalisée en suivant ce protocole.
- Remarque. La masse volumique de l'eau est supposée connue du candidat.*
14. Dans les protocoles B et C, les étapes 1 et 3 sont identiques à celles du protocole A mais l'étape 2 est modifiée comme indiqué ci-dessous :

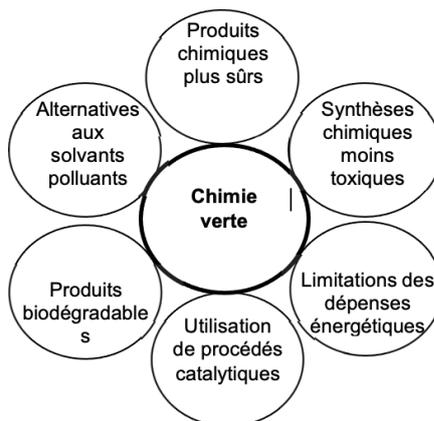
| | Protocole B | Protocole C |
|----------------------------|---|---|
| | Synthèse au four à micro-ondes | Synthèse avec un appareil de <u>Dean-Stark</u> |
| Modifications de l'étape 2 | Chauffage avec une puissance de 800 W pendant 30 s. | Chauffage à l'aide de l'appareil de Dean-Stark permettant d'extraire l'eau au cours de sa formation, en présence de <u>cyclohexane</u> jouant le rôle de solvant. |
| Rendement | 87 % | 85 % |

Le chauffe-ballon utilisé dans les protocoles A et C lors de l'étape 2 consomme une énergie de $4,1 \times 10^5$ J.

Calculer l'énergie utilisée pour chauffer le mélange réactionnel dans le protocole B. Commenter.

15. L'objectif de la chimie verte est de réduire l'impact de la chimie sur la santé humaine et l'environnement. Il s'agit donc de rechercher des milieux réactionnels alternatifs et respectueux de l'environnement tout en s'efforçant, dans le même temps, d'augmenter les vitesses et d'abaisser les températures de réaction.

Paul T. Anastas et John C. Warner ont développé 12 principes de la chimie verte en 1991. Ces principes se divisent en deux groupes : "réduire le risque" et "réduire le plus possible l'empreinte environnementale".



<https://www.sigmaaldrich.com/>

Figure 1. Schéma illustrant quelques principes directeurs de la chimie verte

À l'aide de la figure 1, identifier, en le justifiant, quel protocole répond le mieux aux principes directeurs de la chimie verte.

3. Mécanisme réactionnel

16. Le mécanisme réactionnel modélisant la réaction de synthèse comporte cinq étapes représentées sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Quels groupes d'atomes correspondent respectivement aux lettres R et R' ?

17. Compléter sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE les étapes 1 à 5 avec une ou plusieurs flèches courbes si nécessaires. Que représentent ces flèches courbes ?

18. Donner la catégorie des étapes 2 et 4 dans le sens direct.

19. D'après le mécanisme proposé, le rôle joué par l'acide sulfurique dans la synthèse est-il confirmé ? Justifier votre réponse.

4. Réaction d'ordre 1.

20. Donner l'expression de la vitesse de disparition du réactif 2.

21. En supposant que la réaction étudiée suit une loi d'ordre 1, retrouver la relation suivante :

$$\frac{d[R - COOH]}{dt} = -k \times [R - COOH]$$

22. La relation ci-dessus est une équation différentielle qui admet des solutions de la forme :

$$[R - COOH]_{(t)} = B \times e^{-k \times t}$$

Donner la signification physique de B

23. Tracer qualitativement la courbe $[R - COOH]_{(t)} = f(t)$ qui représente l'évolution de la concentration du réactif 2 au cours du temps, dans l'hypothèse d'une réaction d'ordre 1.

Préciser les grandeurs portées sur les axes horizontal et vertical.

On ne demande pas de valeurs portées sur les axes. Cela reste qualitatif.

24. A partir de cette courbe, comment évolue la vitesse de disparition du réactif 2 ? Faire apparaître graphiquement l'évolution de la vitesse au cours du temps.

Expliquer d'un point de vue microscopique, le tracé de votre courbe.

25. Sur ce même graphe, faire apparaître en rouge l'évolution de la courbe si on augmente la température du milieu réactionnel.

Expliquer d'un point de vue microscopique, le tracé de votre courbe.

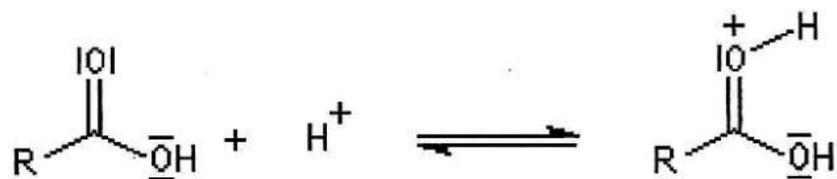
26. Définir la notion de temps de demi-réaction. Faire apparaître graphiquement la méthode pour déterminer sa valeur.

27. Montrer que le temps de demi-réaction a pour expression $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$

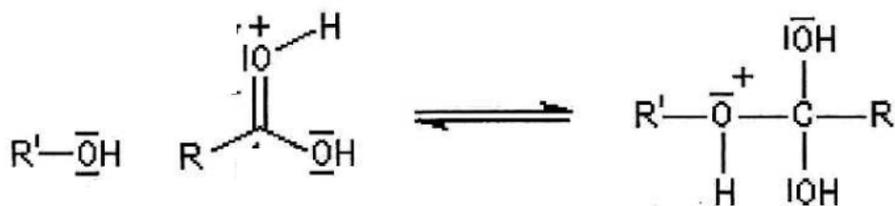
28. Préciser si $t_{1/2}$ dépend des conditions initiales dans le cas d'une réaction d'ordre 1.

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

Étape 1



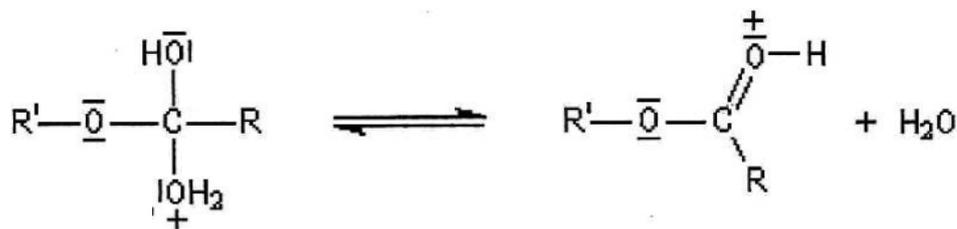
Étape 2



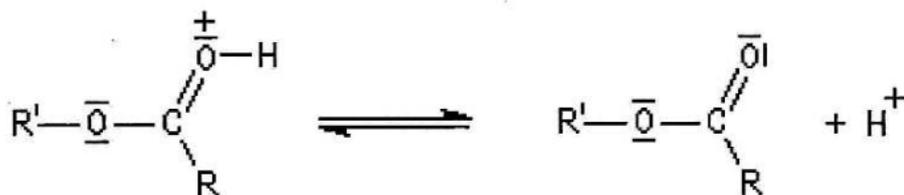
Étape 3

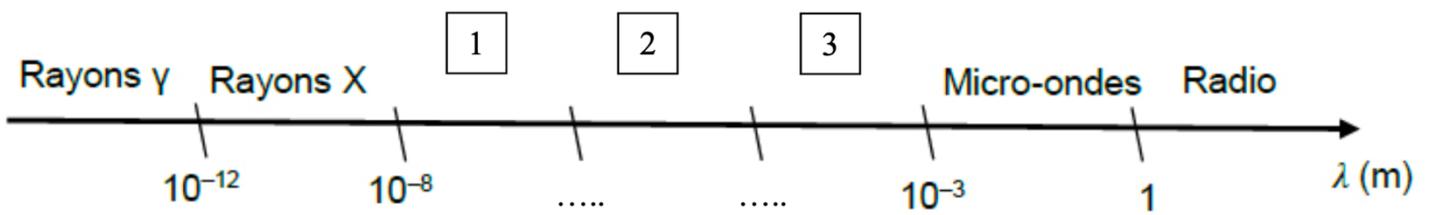


Étape 4

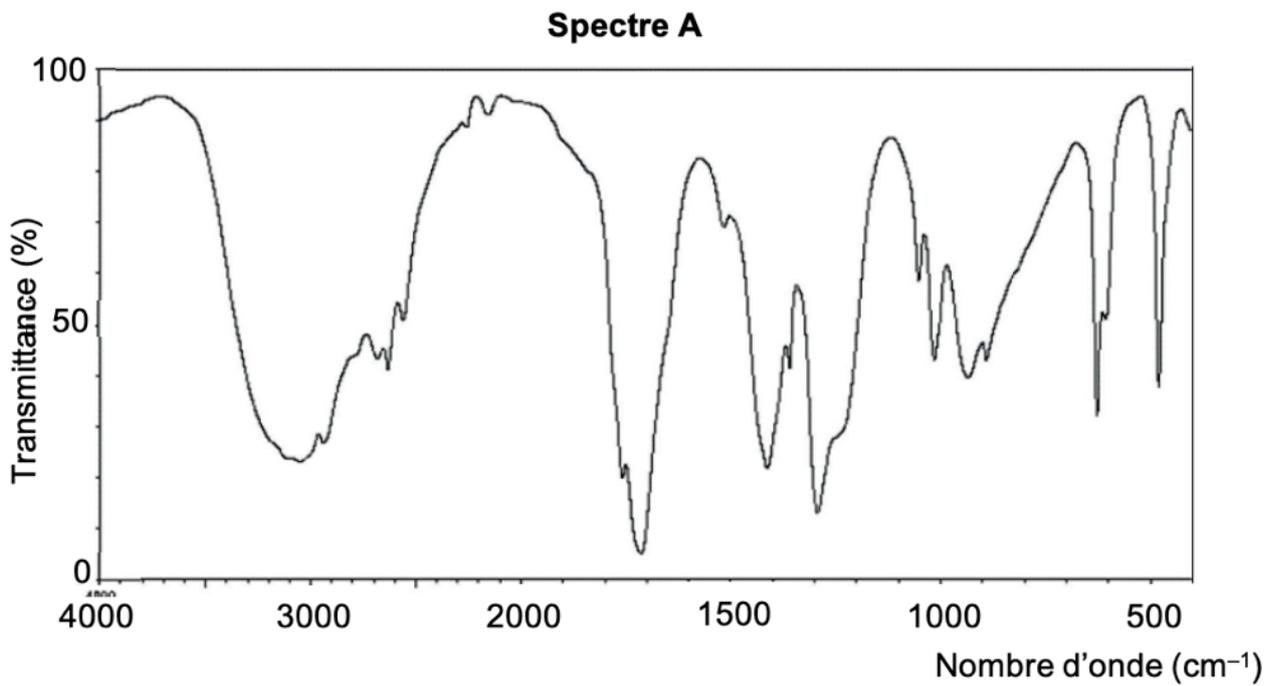


Étape 5





- 1
.....
- 2
.....
- 3
.....



NOM

PRENOM.....

ANNEXE OBSERVATION DE SATURNE À RENDRE AVEC LA COPIE

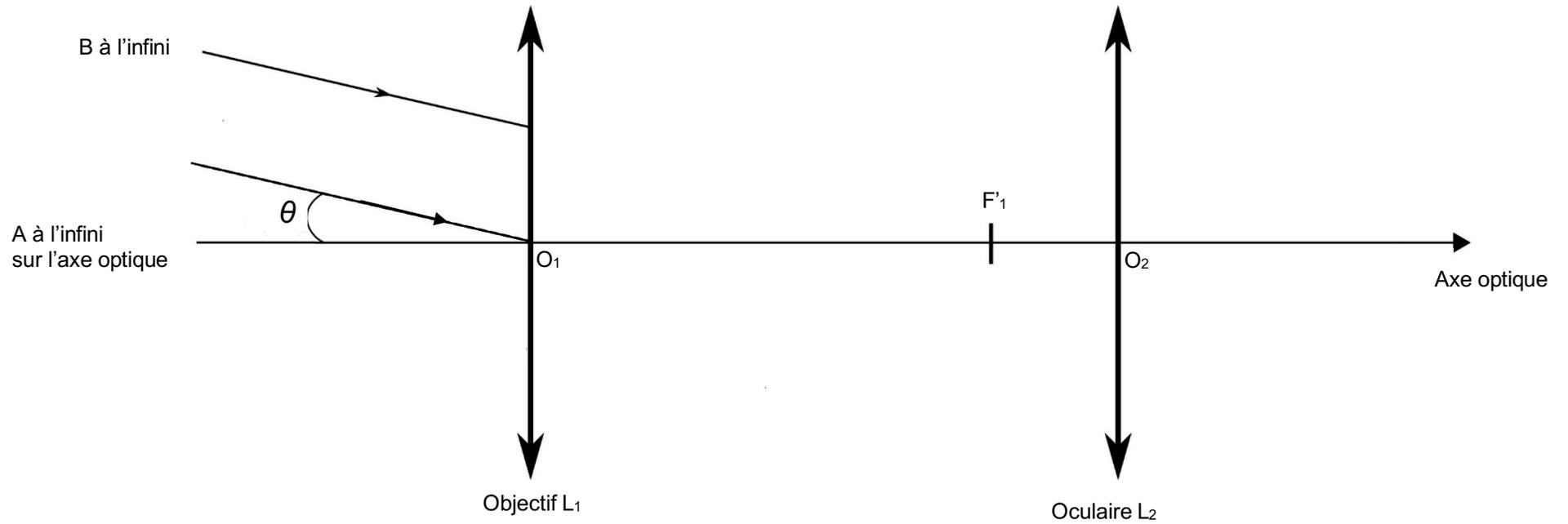


Figure A1. Schéma de la lunette de Huygens (échelle non respectée)

NOM

PRENOM.....

**ANNEXE MICROPHONE ELECTROSTATIQUE
À RENDRE AVEC LA COPIE**

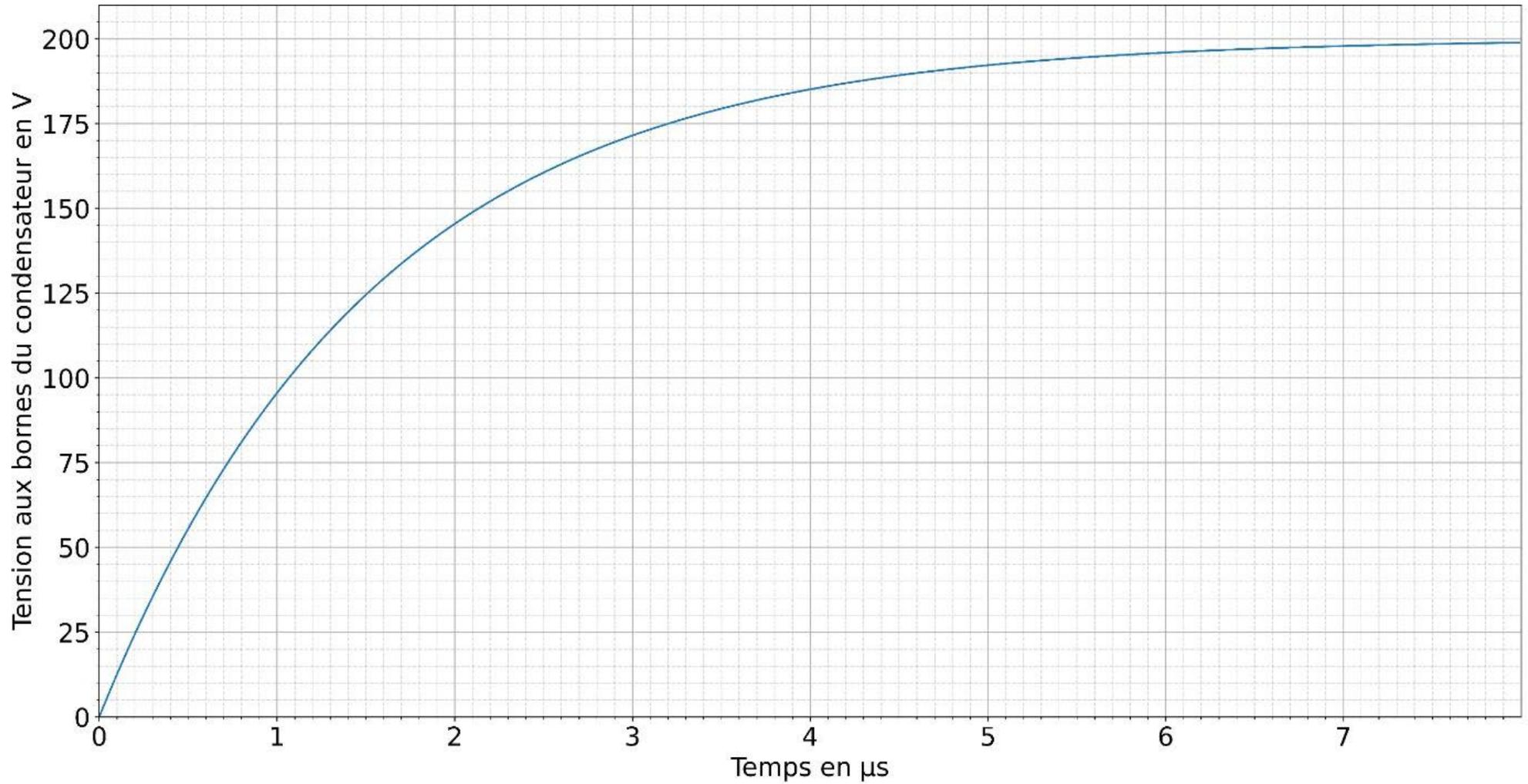


Figure 3. Évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de la charge en fonction du temps.