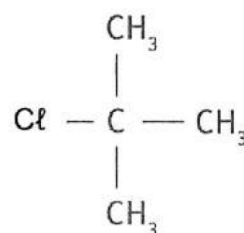


EXERCICE 1 - SUIVI CINÉTIQUE PAR CONDUCTIMÉTRIE DE L'HYDROLYSE DU CHLORURE DE TERTIOBUTYLE (10 POINTS)

Le chlorure de tertiobutyle est un composé organique utilisé comme solvant pour les peintures ou comme intermédiaire dans la synthèse de certains parfums. Instable en solution aqueuse, celui-ci se décompose par hydrolyse en formant un alcool.



La molécule de chlorure de tertiobutyle

L'objectif de cet exercice est de suivre l'évolution temporelle de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Suivi conductimétrique de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Lorsqu'une transformation chimique lente met en jeu une espèce ionique, la conductimétrie permet d'étudier sa cinétique.

Données :

- Le chlorure de tertiobutyle a pour formule $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{Cl}$. Pour simplifier, il sera noté par la suite RCl où le groupe alkyle R représente $(\text{CH}_3)_3\text{C}-$;
- L'équation de la réaction modélisant l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle est :



- La valeur de la masse volumique ρ du chlorure de tertiobutyle : $\rho = 0,850 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- Tableau regroupant les masses molaires atomiques des atomes de carbone, d'hydrogène et de chlore :

Atomes	Carbone C	Hydrogène H	Chlore Cl
Masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	12,0	1,00	35,5

Q1. Représenter la formule semi-développée de l'alcool ROH produit lors de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle. Entourer et nommer le groupe caractéristique présent.

Pour réaliser l'étude cinétique de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle, on met en œuvre le protocole suivant :

- Verser un volume $V_e = 200 \text{ mL}$ d'un mélange d'eau et de propanone dans un bécher ;
- Placer le bécher dans un cristalliseur rempli d'eau ;
- Installer une sonde conductimétrique et un dispositif d'agitation ;
- À l'aide d'une pipette jaugée, verser un volume $V = 1,0 \text{ mL}$ de chlorure de tertiobutyle dans le volume V_e et déclencher l'enregistrement à cet instant ;
- Mesurer la conductivité σ toutes les 5 minutes pendant environ 100 minutes en prenant soin de stopper l'agitation pendant les mesures.

La courbe représentant la variation de la conductivité σ en fonction du temps t est donnée figure 1.

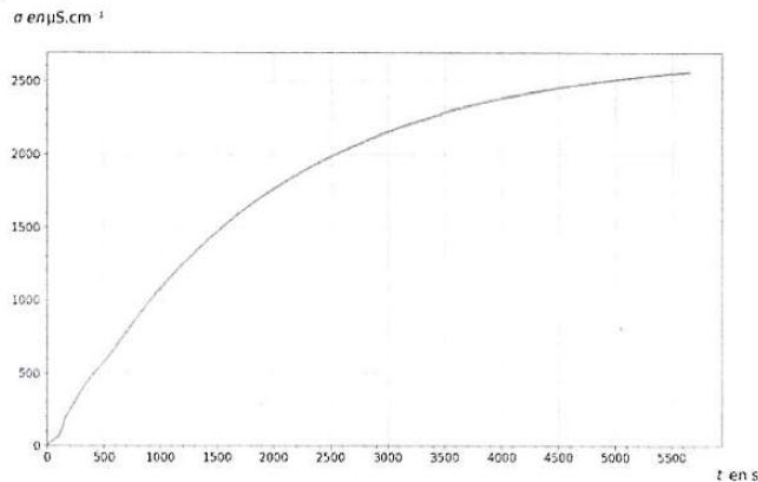


Figure 1. Représentation graphique des variations de la conductivité σ de la solution en fonction du temps t .

Donnée :

- Loi de Kohlrausch donne, pour une solution diluée, l'expression de la conductivité σ :

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot [X_i]$$

avec λ_i la conductivité molaire ionique de l'ion X_i et $[X_i]$ la concentration en quantité de matière de l'ion X_i .

Q2. À partir de la loi de Kohlrausch, exprimer la conductivité σ de la solution en fonction des concentrations en quantité de matière en ions oxonium H_3O^+ et en ions chlorure Cl^- respectivement notées $[\text{H}_3\text{O}^+]$ et $[\text{Cl}^-]$ et des conductivités molaires ioniques de chaque ion notées $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$ et λ_{Cl^-} .

Q3. En déduire une expression de σ en fonction de la concentration en quantité de matière en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ et des conductivités molaires ioniques $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+}$ et λ_{Cl^-} .

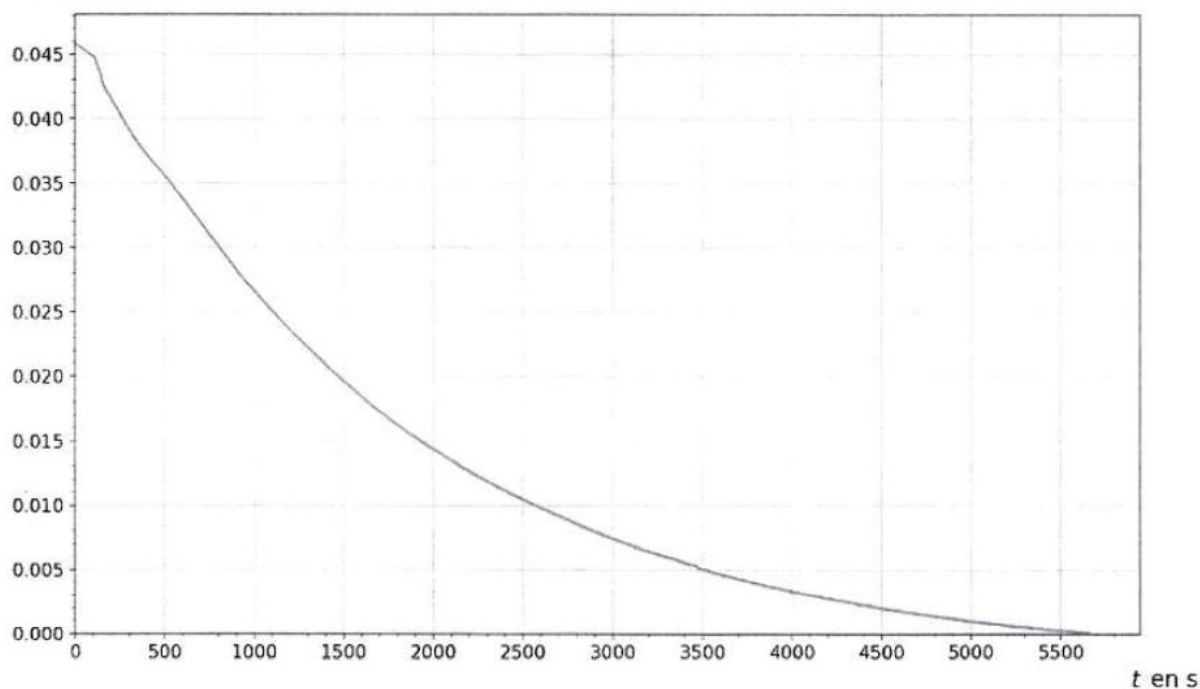
Q4. À partir de l'expression établie à la question précédente, justifier qu'il est possible de réaliser un suivi cinétique par conductimétrie de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Q5. Calculer la valeur de la quantité de matière initiale de chlorure de tertiobutyle introduit notée n_0 .

Q6. En déduire la valeur de la concentration en quantité de matière initiale en chlorure de tertiobutyle c_0 dans le mélange réalisé conformément au protocole.

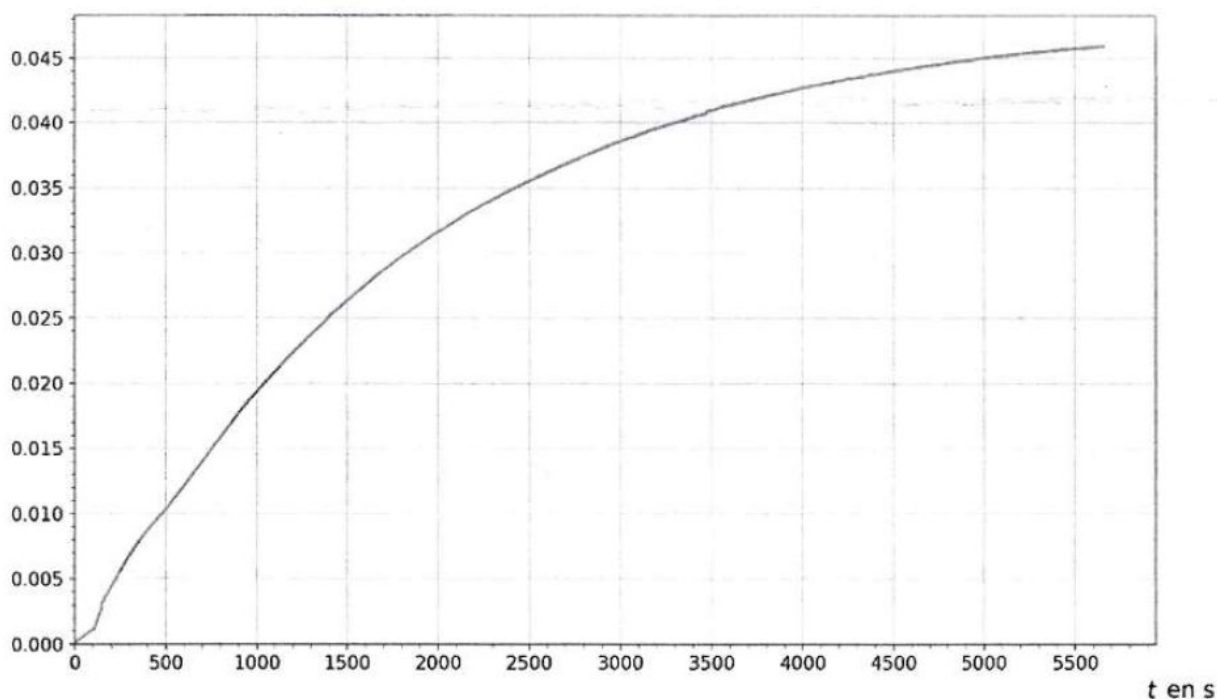
Les courbes représentant la concentration en quantité de matière en chlorure de tertiobutyle $[\text{RCl}]$ et la concentration en quantité de matière en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en fonction du temps t sont données figure 2.

concentration en
quantité de matière
en mol.L⁻¹



Courbe 1

concentration en
quantité de matière
en mol.L⁻¹



Courbe 2

Figure 2. Représentations graphiques des variations des concentrations en quantité de matière $[RC\ell]$ et $[H_3O^+]$ en fonction du temps.

Q7. Associer, en justifiant votre choix, chaque courbe 1 et 2 à chacune des espèces chimiques $RC\ell$ et H_3O^+ .

Q8. À l'aide d'une des deux courbes, montrer que l'hydrolyse du chlorure de tertibutyle est totale.

Q9. Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$ d'une transformation chimique.

Q10. Estimer graphiquement sa valeur $t_{1/2}$ à l'aide d'une des deux courbes de la figure 2.

Loi de vitesse.

Q11. Donner l'expression de la vitesse volumique de disparition v_{RCI} du chlorure de tertiobutyle.

Q12. Indiquer qualitativement comment évolue la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle v_{RCI} au cours du temps en justifiant votre réponse.

Si la cinétique de la transformation est d'ordre 1 alors la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle peut également s'écrire : $v_{RCI}(t) = k \cdot [RCI]_t$ où k est une constante positive.

Q13. Donner l'allure de la courbe représentant la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertiobutyle v_{RCI} en fonction de la concentration en chlorure de tertiobutyle $[RCI]$ en sachant que la réaction suit une loi d'ordre 1.

Q14. Établir l'expression de l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par $[RCI]_t$.

La solution de l'équation différentielle est de la forme $[RCI]_t = A \cdot e^{-k \cdot t}$.

Q15. Déterminer la valeur de A à partir des conditions initiales de la transformation d'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle.

Pour linéariser l'expression de la solution, on utilise la fonction logarithme népérien. La courbe représentant le logarithme népérien de la concentration en chlorure de tertiobutyle $\ln[RCI]$ en fonction du temps t est donnée figure 3.

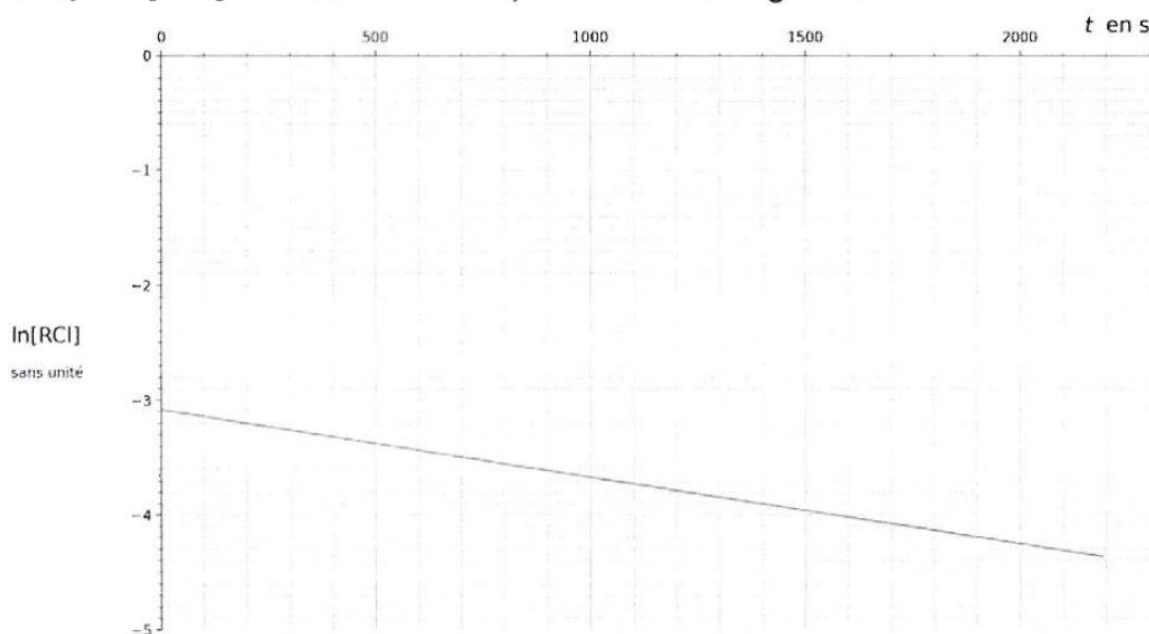


Figure 3. Représentation graphique des variations du logarithme népérien de la concentration en chlorure de tertiobutyle $\ln[RCI]$ en fonction du temps t .

Q16. Calculer la valeur du coefficient directeur noté a de la droite obtenue.

Données :

- La valeur de k dans l'expression de la vitesse volumique de disparition du chlorure de tertibutyle $v_{RCt}(t) = k \cdot [RCt](t)$ est $k = -a$;
- Le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$ s'exprime en fonction de k : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$.

Q17. À l'aide de l'expression précédente, calculer la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et comparer à la valeur obtenue à la question Q10.

EXERCICE 2 : à la découverte des lunes glacées de Jupiter (10 points)

Quelles sont les conditions qui président à la formation des planètes et à l'émergence de la vie ? Comment est né le système solaire ? Autant de questions fondamentales auxquelles la mission JUICE (*Jupiter Icy Moons Explorer*), qui a décollé avec succès le 14 avril 2023, tentera de répondre à partir de 2031, grâce à l'exploration de Jupiter et de trois de ses lunes. Au cours de cette phase d'exploration qui durera 4 ans, la sonde JUICE s'intéressera tout particulièrement à l'une d'elles, Ganymède, suspectée d'abriter un océan liquide sous sa croûte de glace.



Exploring Jupiter and Ganymede (artist's impression). Source : esa.int

Le but de cet exercice est d'étudier le mouvement de la sonde JUICE autour de Ganymède.

Données :

- rayon de Ganymède : $R_G = 2,63 \times 10^3$ km ;
- masse de Ganymède : $M_G = 1,82 \times 10^{23}$ kg ;
- distance maximale entre Jupiter et la Terre : $9,3 \times 10^8$ km ;
- valeur de la constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est supposée connue.

1. Orbites de la sonde JUICE autour de Ganymède

À partir de décembre 2034, la sonde JUICE se placera sur différentes orbites autour de Ganymède :

- durant une première phase de 30 jours, la sonde circulera sur une orbite elliptique ;
- elle restera ensuite 90 jours sur une orbite circulaire d'altitude 5 000 km ;
- une nouvelle manœuvre la placera sur une orbite circulaire d'altitude 500 km d'où elle étudiera Ganymède durant 102 jours ;
- enfin, la sonde se placera sur une orbite circulaire d'altitude inférieure à 500 km pour une durée de 30 jours.

On s'intéresse à l'orbite circulaire d'altitude $h = 500$ km de la sonde JUICE autour de Ganymède.

- Q.1.** Schématiser, sans souci d'échelle, Ganymède et l'orbite de la sonde JUICE. Placer le repère de Frenet (\vec{u}_t, \vec{u}_n) et représenter \vec{F}_G la force d'interaction gravitationnelle à laquelle la sonde JUICE est soumise de la part de Ganymède, à un point quelconque de sa trajectoire.
- Q.2.** Exprimer, dans le repère de Frenet, le vecteur de la force \vec{F}_G .
- Q.3.** On considère que \vec{F}_G est la seule force qui s'exerce sur la sonde JUICE. Montrer que la sonde JUICE a un mouvement circulaire uniforme dans le référentiel, supposé galiléen, centré sur Ganymède.
- Q.4.** Montrer que la vitesse de la sonde JUICE peut s'écrire :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_G}{R_G + h}}$$

- Q.5.** Établir l'expression de la période T en fonction de R_G , h , M_G et G puis en déduire que sur l'orbite circulaire d'altitude 500 km, la sonde JUICE a une période de valeur proche de $T_{500} = 2,77$ h.
- Q.6.** En utilisant la troisième loi de Kepler, déterminer la période de la sonde JUICE sur son orbite circulaire d'altitude 5 000 km.
- « Les 1167 orbites que la sonde JUICE effectuera autour de Ganymède suffiront à révéler les secrets qu'elle cache sous sa couche de glace. »

D'après Science&Vie du 19 avril 2023.

- Q.7.** En utilisant les réponses aux questions 5 et 6, estimer le nombre d'orbites effectuées par la sonde JUICE autour de Ganymède et commenter la phrase ci-dessus.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche pertinente, même non aboutie, sera valorisée.

2. Communication avec la Terre

« Le temps mis par le signal radio pour faire un aller-retour de la sonde JUICE à la Terre est de 1 h 46. »

D'après Wikipedia

- Q.8.** Indiquer à quel type d'ondes les ondes radio appartiennent : mécanique ou électromagnétique.
- Q.9.** Montrer, en négligeant la distance entre la sonde JUICE et Jupiter, que le temps mis par le signal radio pour faire un aller-retour entre la sonde JUICE et la Terre est proche de celui annoncé.