BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 1

Durée de l'épreuve : 3 h 30

Coefficient : 16

L'usage de la calculatrice avec mode examen activé 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 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

L'annexe page 11/11 est à rendre impérativement avec la copie, même non complétée.

Le candidat traite les 3 exercices.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.

EXERCICE 1 – DE L'ASPIRINE POUR FAVORISER L'ÉCOULEMENT SANGUIN (9 points)

L'aspirine ou acide acétylsalicylique est fréquemment employée dans le cas d'un traitement préventif de certaines maladies cardiovasculaires (infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral, etc.) pour sa capacité à fluidifier le sang. Toutefois, elle produit des effets irritants sur l'estomac.

L'aspirine existe sous la forme de comprimés ayant un enrobage gastro-résistant pour les traitements de longue durée.

Lorsque survient un accident ischémique* transitoire (ou AIT), l'aspirine sans enrobage peut être donnée par une prise urgente d'une dose de charge comprise entre 160 et 300 mg.

** Ischémie : diminution de l'apport sanguin.*

Données :

- Masse molaire de l'aspirine : $M = 180\ \text{g·mol}^{-1}$.
- Formule brute de l'aspirine : $C_9H_8O_4$.
- pK_A du couple $C_9H_8O_4/C_9H_7O_4^-$: pK_A = 3,5 à 25 °C.

Les différentes parties de cet exercice peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

Partie A – À propos de l'aspirine

La formule topologique de l'aspirine est donnée ci-contre.

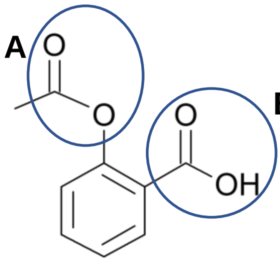

Figure 1 – Formule topologique de l'aspirine

1. Nommer les groupes caractéristiques **A** et **B** entourés sur la **figure 1**.

2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation acide-base de l'aspirine avec l'eau.

3. À l'aide d'un diagramme de prédominance associé à ce couple, déterminer la forme prédominante dans l'estomac, dont le pH est compris entre 1 et 3.

4. Expliquer pourquoi un comprimé avec enrobage est préférable à un comprimé sans enrobage pour un traitement de longue durée.

Partie B – Titrage d'un comprimé

On dispose d'un comprimé d'Aspirine du Rhône©. Il s'agit d'une formulation sans enrobage. On désire savoir si ce comprimé pourrait convenir à une dose de charge dans le cas d'un AIT.

Pour cela, on met en œuvre le protocole expérimental suivant :

- dans un mortier et à l'aide d'un pilon, broyer le comprimé d'Aspirine du Rhône ;
- préparer un volume V = 500,0 mL de solution, notée S, en dissolvant la poudre d'aspirine ainsi obtenue dans de l'eau distillée ;
- prélever un volume V_A = 20,0 mL de la solution S ;
- titrer avec une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$), de concentration en quantité de matière $C_B = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol·L}^{-1}$, en réalisant un suivi pH-métrique.

Les courbes de la **figure 2** ci-après représentent l'évolution du pH et la dérivée du pH en fonction du volume V_B d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$) versé au cours du titrage.

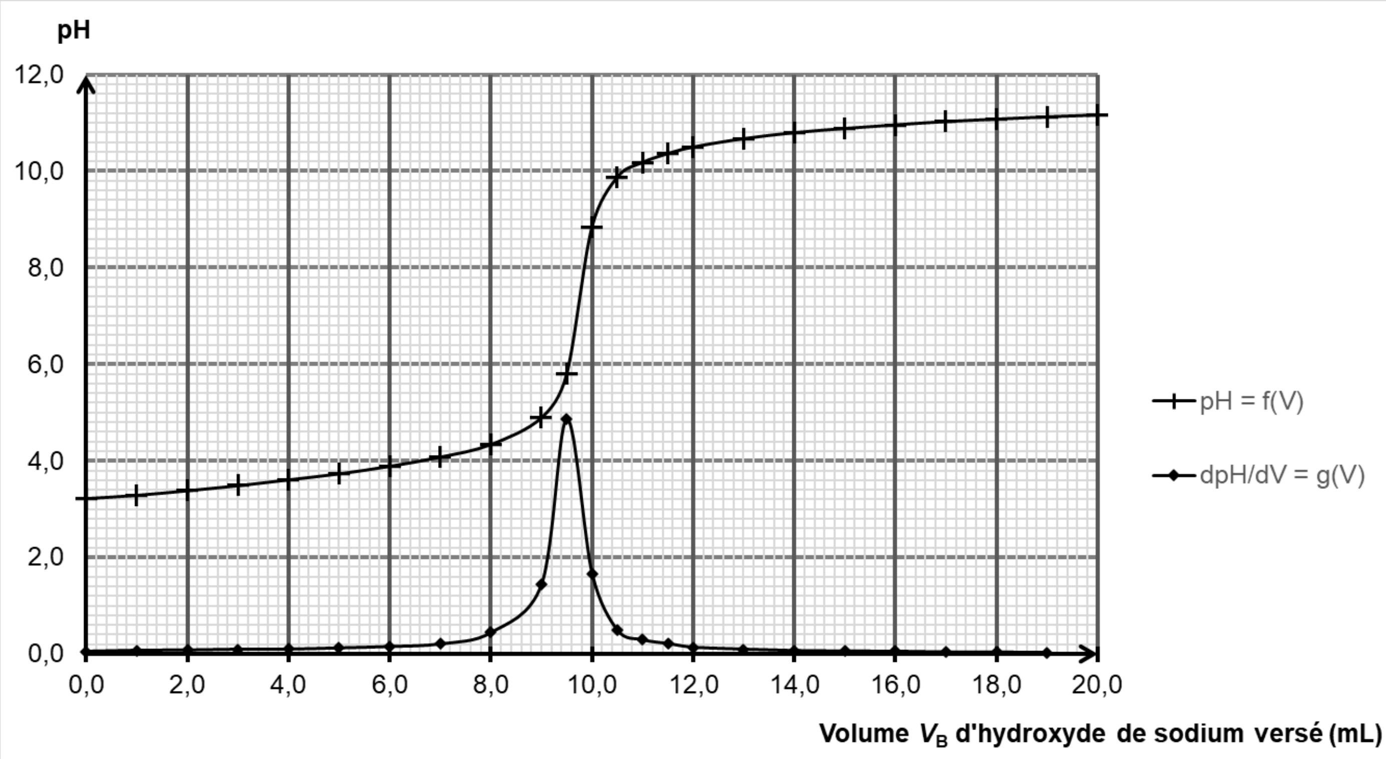

Figure 2 – Évolution du pH et de sa dérivée en fonction du volume V_B d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$) versé au cours du titrage

L'équation de la réaction acide-base support de ce titrage s'écrit :

$$C_9H_8O_4(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_9H_7O_4^-(aq) + H_2O(\ell)$$

5. Exploiter la courbe de titrage de la **figure 2** pour déterminer la masse m_A d'aspirine contenue dans le comprimé testé.

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 nécessite d'être correctement présentée.

6. Indiquer si la quantité d'aspirine contenue dans ce comprimé est adaptée, sous-dosée ou surdosée, pour une prise urgente, dans le cas d'un AIT. Justifier.

Partie C – Étude de la cinétique de l'hydrolyse de l'aspirine

La stabilité d'un médicament dans différents milieux et conditions expérimentales est étudiée en pharmacologie.

On se propose d'étudier la cinétique de la transformation entre l'aspirine et l'eau, à température ambiante. Cette transformation lente forme de l'acide salicylique $C_7H_6O_3$ et de l'acide éthanoïque $C_2H_4O_2$.

La réaction entre l'aspirine et l'eau est appelée hydrolyse de l'aspirine et a pour équation de réaction :

$$C_9H_8O_4(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons C_7H_6O_3(aq) + C_2H_4O_2(aq)$$

L'hydrolyse de l'aspirine est suivie par spectrophotométrie en présence d'un excès de chlorure de fer III, $FeCl_3(aq)$. En effet, ce dernier réagit avec l'acide salicylique pour former une espèce chimique violette.

On considère que :

- l'absorbance du mélange à la longueur d'onde choisie ne dépend que de la concentration en acide salicylique ;
- l'eau étant en excès, la réaction d'hydrolyse de l'aspirine est totale.

On mesure l'absorbance du mélange au cours du temps, à température constante, et on en déduit l'évolution temporelle de la concentration en quantité de matière C de l'aspirine représentée sur la **figure 3** de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**.

7. Définir la vitesse volumique de disparition de l'aspirine.

8. Déterminer la vitesse volumique de disparition de l'aspirine à la date t = 0 h en faisant apparaître la construction employée sur la **figure 3** de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**.

9. Justifier sans calcul, à l'aide de la **figure 3** de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, comment évolue la vitesse volumique de disparition de l'aspirine au cours du temps.

On donne ci-dessous, **figure 4**, un extrait du code Python permettant de tracer la courbe de la **figure 5** représentant les valeurs de vitesse volumique de disparition de l'aspirine, notée v, en fonction de la concentration C de l'aspirine.

Le temps t est exprimé en heures (h), la concentration C de l'aspirine en $mol \cdot L^{-1}$ et les valeurs de vitesse volumique v de disparition de l'aspirine en $mol \cdot L^{-1} \cdot h^{-1}$.

```
1   import matplotlib.pyplot as plt
2
3   # Pour des raisons de clarté, l'ensemble des valeurs des listes suivantes
4   # qui correspondent à la figure 3 ne sont pas intégralement explicitées
5   t = [0.0, 0.167, 0.333, 0.5, 0.667, 0.833, 1.0, …]
6   C = [0.00562, 0.00553, 0.00543, 0.00534, 0.00525, 0.00515, 0.00506, …]
7
8   v = [] # Création d'une liste vide pour les valeurs de vitesse
9
10  # Remplissage de la liste donnant la vitesse v
11  for i in range(len(t) - 1):   # len(t) - 1 car la vitesse ne peut pas être
12                                # calculée pour la dernière valeur de t
13      v.append(……………………)       # Calcul de la vitesse à la date t[i] sachant
14                                # que la fonction append permet d'ajouter une
15                                # valeur en fin de liste
```

Figure 4 – Extrait du code Python utilisé (avec des passages non explicités)

On assimile la vitesse volumique de disparition de l'aspirine v, à une date t, à sa vitesse moyenne de disparition entre deux dates t successives t_i et t_{i+1}.

10. Recopier et compléter la ligne 13 du code Python (**figure 4**) visant à calculer chaque valeur de v et à l'ajouter en fin de liste `v`.

Grâce au code Python, on sélectionne quelques valeurs de la vitesse volumique de disparition v de l'aspirine et on les représente en fonction de la concentration C en aspirine sur la **figure 5** suivante.

11. Justifier, à l'aide de la **figure 5** suivante, que l'hydrolyse de l'aspirine ne suit pas une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport à l'aspirine dans les conditions de l'expérience.

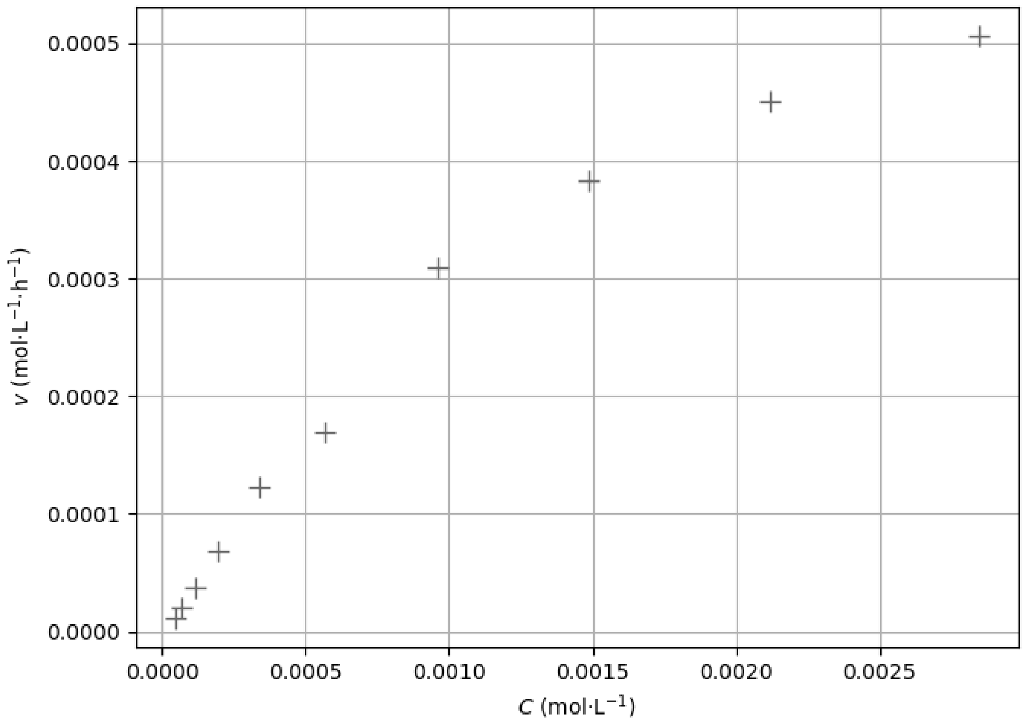

Figure 5 – Des valeurs de *v* en fonction de *C*

Le mécanisme réactionnel de l'hydrolyse de l'aspirine comporte plusieurs étapes. Sur la **figure 6** suivante, reproduite dans l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, on donne la première étape simplifiée de ce mécanisme réactionnel :

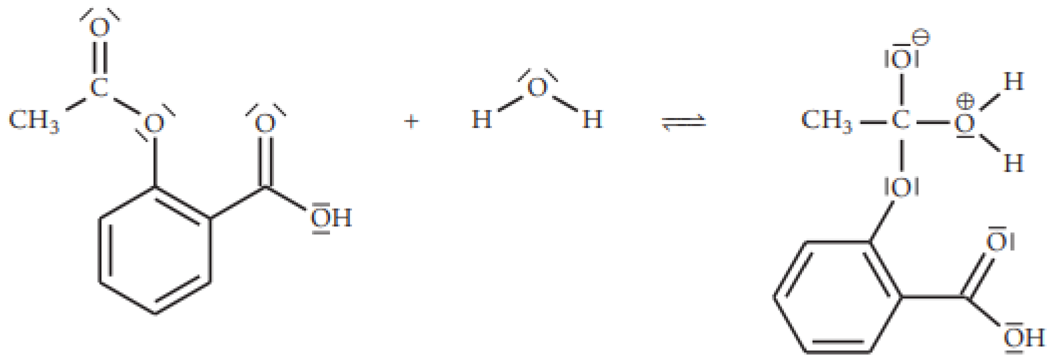

Figure 6 – Première étape simplifiée du mécanisme réactionnel de l'hydrolyse de l'aspirine

12. Entourer et nommer, sur la **figure 6** de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, le site donneur et le site accepteur de doublet d'électrons des réactifs qui interagissent lors de cette première étape.

13. Représenter, sur la **figure 6** de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE page 11/11**, les flèches courbes modélisant les déplacements d'électrons permettant la formation de l'intermédiaire réactionnel.

14. Identifier, parmi les catégories suivantes, celle à laquelle appartient cette transformation : oxydoréduction, acide-base, addition, élimination, substitution.

L'hydrolyse de l'aspirine est une transformation lente.

15. Proposer une modification des conditions expérimentales permettant de diminuer la durée de cette transformation.

EXERCICE 2 – DES ÉCOULEMENTS SANGUINS (5 points)

Le but de cet exercice est d'étudier deux situations d'écoulement du sang dans le système veineux constitué d'artères, de veines et de capillaires.

La sténose aortique est une pathologie cardiaque consistant en un rétrécissement du diamètre de la valve aortique. Celle-ci se trouve entre le ventricule gauche du cœur et le principal vaisseau du corps humain, l'aorte.

Par ailleurs, la communication entre artère et veine se fait par un réseau de plusieurs millions de capillaires.

Partie A – Mise en évidence d'une sténose aortique

Données :

- Relation de Bernoulli : elle est valable pour un fluide parfait (sans viscosité) et incompressible, en écoulement permanent (indépendant du temps). On considère que le fluide n'est soumis qu'aux forces de pression et de pesanteur.

  D'après cette relation, pour deux points A et B situés le long d'une même ligne de courant (voir **figure 1**) :

$$P_A + \rho \times g \times z_A + \frac{1}{2} \times \rho \times v_A^2 = P_B + \rho \times g \times z_B + \frac{1}{2} \times \rho \times v_B^2$$

  P désigne la pression en un point et s'exprime en pascals (Pa), ρ est la masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$, g est l'intensité de la pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$ et z représente l'altitude du point considéré et s'exprime en mètres (m).

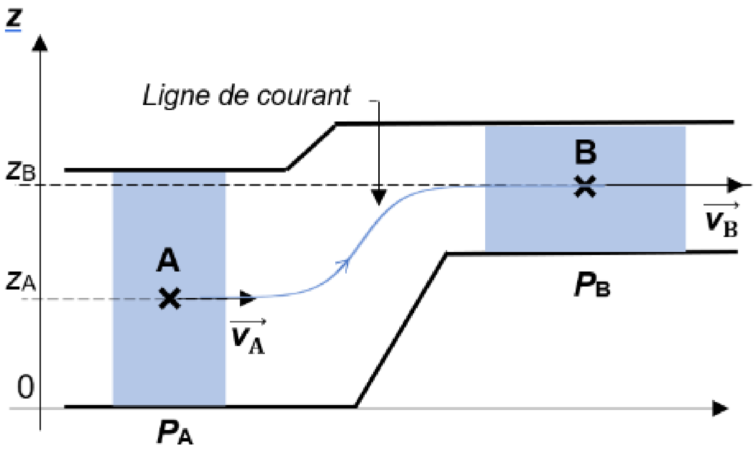

Figure 1 – Exemple de situation avec une ligne de courant représentée

- 1 mmHg correspond à la différence de pression entre deux points situés dans une colonne de mercure immobile et séparés d'une altitude de 1 millimètre.
- En statique des fluides, dans la relation de Bernoulli : $v_A = v_B = 0{,}00\ m \cdot s^{-1}$.
- Masse volumique du sang : $\rho(\text{sang}) = 1{,}05 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.
- Masse volumique du mercure : $\rho(\text{Hg}) = 13{,}6 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

Pour modéliser la situation d'une sténose aortique, on considère que la valve aortique est une succession de cylindres de diamètres d_A et d_B comme représentée **figure 2**.

On supposera ici que le sang est un fluide parfait en écoulement horizontal permanent.

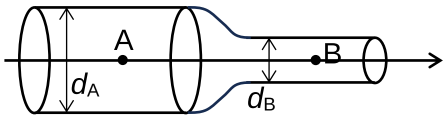

Figure 2 – Modélisation d'une valve aortique

1. À l'aide de la relation de Bernoulli appliquée à la statique des fluides, montrer que 1,00 mmHg correspond à une différence de pression de 133 Pa.

Un rétrécissement aortique serré est défini par :

- une vitesse maximale du sang de valeur supérieure à 4 $m \cdot s^{-1}$ en sortie de valve aortique ;
- une différence de pression supérieure à 50 mmHg à travers la valve aortique (selon les recommandations européennes) ;
- et une surface de la section de la valve aortique au niveau du rétrécissement (point B) inférieure à 1 cm^2.

Lors d'un examen auprès d'un patient susceptible de présenter un rétrécissement aortique, on mesure, par échographie Doppler, les valeurs des vitesses de l'écoulement du sang aux points A et B situés sur une même ligne de courant. On obtient :

$$v_A = 1{,}0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad \text{et} \quad v_B = 4{,}2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

2. Déterminer la différence de pression $P_A - P_B$ en pascals, puis en mmHg.

Afin de déterminer la surface de la section de la valve aortique au niveau du rétrécissement (point B), on mesure par échographie le diamètre d_A à l'entrée de la valve aortique. Pour le patient précédent, on obtient : d_A = 20,2 mm.

3. Justifier, à l'aide des résultats et des données précédentes, que le patient analysé a un rétrécissement aortique serré.

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 nécessite d'être correctement présentée.

Partie B – Écoulement de Poiseuille

Le sang est un fluide réel et, dans divers cas, sa viscosité n'est pas négligeable.

Pour qu'un fluide réel s'écoule entre deux points, une différence de pression doit s'appliquer entre ces points.

Dans le cas d'un écoulement de Poiseuille dans une conduite cylindrique horizontale de longueur L et de diamètre d, la différence de pression ΔP est proportionnelle au débit volumique D_v du fluide dans la conduite :

$$|\Delta P| = R \times D_v \qquad \text{avec} \qquad R = \frac{64 \times L \times \eta}{\pi \times d^4}$$

η est la viscosité du fluide, R la résistance à l'écoulement de la conduite et $|\Delta P|$ est la valeur absolue de la variation de pression ΔP.

On considère la situation simplifiée de la **figure 3** ci-contre.

Du sang parcourt une artère, se divise dans un réseau de plusieurs millions de capillaires, supposés identiques et situés à une altitude voisine, puis rejoint une veine.

On considérera que la résistance à l'écoulement du sang est uniquement due aux capillaires.

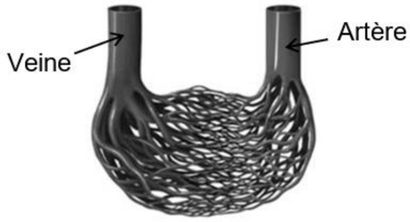

Figure 3 – Répartition du sang dans les capillaires

D'après www.concours-agro-veto.net

Données :

- Pression au sein de l'artère : $P_1 = 16{,}0 \times 10^3$ Pa.
- Pression au sein de la veine : $P_2 = 1{,}3 \times 10^3$ Pa.
- Résistance à l'écoulement d'un capillaire : $R = 1{,}0 \times 10^{16}$ S.I.

4. Expliquer pourquoi la résistance à l'écoulement du sang dans un capillaire est très supérieure à celle dans une artère ou dans une veine.

5. Calculer le débit volumique du sang dans un capillaire.

Dans l'artère, le débit volumique du sang est de $5 \times 10^{-6}\ m^3 \cdot s^{-1}$.

6. Montrer que le nombre N_C de capillaires parcourus par le sang est en accord avec la partie de phrase soulignée dans le texte introductif à gauche de la **figure 3**.

EXERCICE 3 – MÉTIS, UN SATELLITE EN SURSIS ? (6 points)

Plus imposante planète du système solaire, Jupiter est entourée de 95 satellites connus, ainsi que d'anneaux, beaucoup plus fins et sombres que ceux de Saturne. L'anneau principal pourrait être constitué de poussières issues de la désagrégation d'anciens satellites ou de particules de surface arrachées par des forces de marées à des satellites encore existants.

L'un des satellites naturels, Métis, est le plus proche de la planète et évolue en orbite circulaire autour d'elle. On le soupçonne d'alimenter l'anneau principal en particules qui seraient arrachées petit à petit de sa surface.

Cet exercice vise à déterminer si des particules de surface peuvent être arrachées à Métis par les forces de marées de Jupiter pour alimenter l'anneau principal et si l'existence de Métis est menacée.

Données :

- Rayon moyen de Jupiter : $R_J = 69\ 911$ km.
- Masse de Jupiter : $M_J = 1{,}899 \times 10^{27}$ kg.
- Masse volumique de Métis : $\rho_M = 860\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Période de révolution de Métis : T_M = 7 h 4 min 30 s.
- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$.

Partie A – Détermination du rayon *r* de l'orbite de Métis

L'étude du mouvement du satellite Métis, assimilé à un point matériel de masse m, est réalisée dans le référentiel lié au centre de Jupiter, appelé référentiel jovien, supposé galiléen. On note r le rayon de l'orbite circulaire de Métis autour de Jupiter.

On étudie le mouvement de Métis dans le repère de Frenet.

1. Représenter sur un schéma Jupiter, Métis sur son orbite supposée circulaire et les vecteurs unitaires $\vec{u}_t$ et $\vec{u}_n$ de ce repère.

2. Donner l'expression vectorielle de la force de gravitation $\vec{F}$ exercée par Jupiter sur Métis en fonction de G, M_J, m, r et du ou des vecteurs unitaires adaptés du repère de Frenet.

3. Représenter, sans souci d'échelle, cette force $\vec{F}$ sur le schéma de la question 1.

4. En appliquant la deuxième loi de Newton au satellite Métis en mouvement circulaire autour de Jupiter, montrer que ce mouvement circulaire de Métis est uniforme.

5. Montrer que l'expression de la valeur de la vitesse du satellite Métis vaut $v = \sqrt{\frac{G \times M_J}{r}}$.

6. En déduire l'expression de la période de révolution T_M de Métis autour de Jupiter.

7. Retrouver la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.

8. Montrer que le rayon r de l'orbite de Métis autour de Jupiter vaut $1{,}28 \times 10^8$ m.

Partie B – Métis et les limites de Roche

Calculée pour la première fois par le mathématicien et astronome français Édouard Albert Roche en 1848, la limite de Roche est la distance assimilée au rayon de l'orbite en dessous de laquelle un petit corps céleste commencerait à se disloquer sous l'action des forces de marées causées par le corps céleste autour duquel il orbite.

On distingue aujourd'hui deux limites de Roche :

- une limite de Roche « fluide » en-dessous de laquelle, en particulier, des satellites naturels peuvent encore orbiter. Cependant, ils perdent petit à petit de l'altitude en ralentissant, commencent à se déformer et à perdre de la matière en surface : leur fin de vie est programmée ;
- une limite de Roche « rigide » en-dessous de laquelle aucun corps massif ne peut conserver sa structure sans être détruit, même un satellite.

Dans le cas d'un satellite orbitant autour d'une planète, les formules permettant de calculer ces deux limites dans le cas de Jupiter et Métis sont les suivantes :

Limite de Roche « fluide »	**Limite de Roche « rigide »**
$D_{\text{fluide}} = 2{,}42 \times R_{\text{J}} \times \sqrt[3]{\dfrac{\rho_{\text{J}}}{\rho_{\text{M}}}}$	$D_{\text{rigide}} = 1{,}26 \times R_{\text{J}} \times \sqrt[3]{\dfrac{\rho_{\text{J}}}{\rho_{\text{M}}}}$

R_{J} est le rayon moyen de Jupiter, ρ_{J} la masse volumique de Jupiter et ρ_{M} la masse volumique de Métis.

On rappelle que $\sqrt[3]{x} = (x)^{\frac{1}{3}}$.

9. Vérifier que la masse volumique de Jupiter est $\rho_{\text{J}} = 1\,327\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

10. Calculer la limite de Roche « fluide » et la limite de Roche « rigide » pour Métis.

11. En vous référant aux calculs de la partie A, prévoir, en justifiant, le destin de Métis.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

EXERCICE 1 – DE L'ASPIRINE POUR FAVORISER L'ÉCOULEMENT SANGUIN

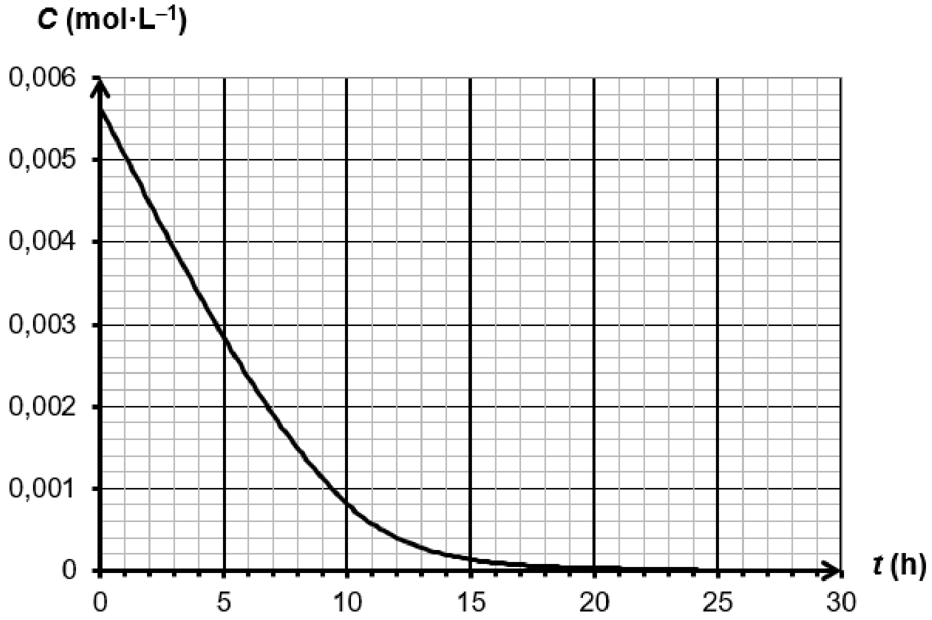

Figure 3 – Évolution de la concentration en quantité de matière de l'aspirine en fonction du temps

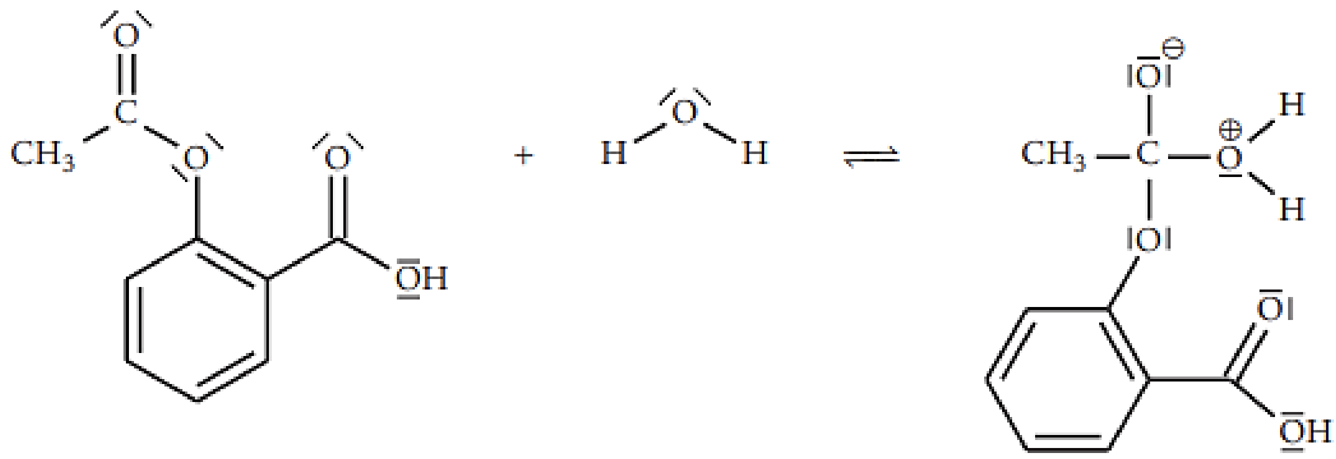

Figure 6 – Première étape du mécanisme réactionnel simplifié de l'hydrolyse de l'aspirine