

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE  
ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2022**

**SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
DE LABORATOIRE**

**Physique-chimie et mathématiques**

**Mercredi 11 mai 2022**

Durée de l'épreuve : **3 heures**

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.

Dans le sujet original ce sujet comporte 17 pages numérotées de 1/17 à 17/17 **et 32 pages numérotées de 1/32 à 32/32 dans la version en caractères agrandis.**

Les documents réponses pages 28, 29, 30, 31 et 32 sont à rendre avec la copie.

PHYSIQUE-CHIMIE ..... 14/20 points

MATHÉMATIQUES ..... 6/20 points

**Le candidat sera attentif aux consignes contenues dans le sujet pour traiter les quatre exercices.**

## **EXERCICE 1 commun à tous les candidats (4 points)**

(physique-chimie et mathématiques)

Lorsqu'un objet est lâché dans un fluide (air, eau, etc.), il subit, outre son poids et la poussée d'Archimède, des forces de frottement fluide. La modélisation de ces forces de frottement fluide conduit à considérer que :

- lorsque la vitesse de l'objet  $v$  est « faible », l'intensité des forces de frottement fluide est proportionnelle à  $v$  ;
- lorsque la vitesse de l'objet  $v$  est « élevée », l'intensité des forces de frottement fluide est proportionnelle à  $v^2$ .

Dans cet exercice, on se propose d'étudier expérimentalement le modèle des forces de frottement fluide dans le cas des faibles vitesses.

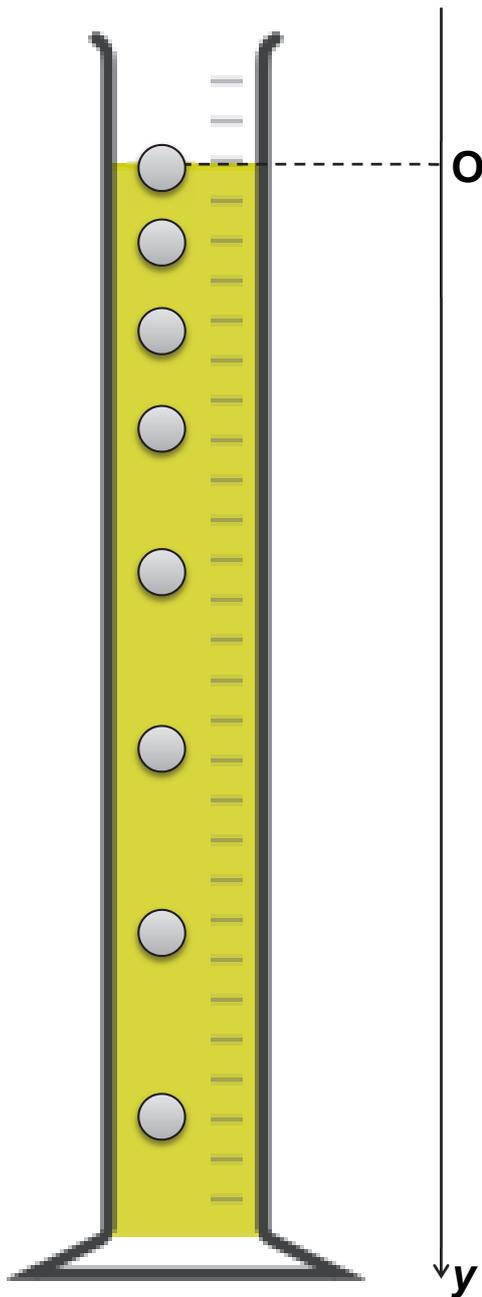
### **Étude expérimentale**

On filme, à l'aide d'une webcam réglée à 50 images par seconde, la chute d'une bille d'acier dans l'huile d'olive contenue dans une éprouvette graduée. La bille est lâchée sans vitesse initiale par un électroaimant dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

La vidéo est ensuite analysée image par image à l'aide d'un logiciel approprié qui permet de repérer la position instantanée du centre G de la bille suivant un axe (Oy) vertical orienté vers le bas.

La vitesse instantanée à un instant  $t_i$  est alors approchée par la vitesse moyenne entre les instants  $t_i$  et  $t_{i+1}$ . L'évolution, au cours du temps, de la valeur expérimentale de la vitesse  $v$  de la bille est représentée sur le **document réponse DR1 page agrandie 28, à rendre avec la copie.**

### Chronophotographie de la chute de la bille



Données :

- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Masse de la bille :  $m = 4,1 \text{ g}$
- Rayon de la bille :  $R = 5,0 \text{ mm}$
- Masse volumique de l'huile à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  :  $\rho_{\text{huile}} = 920 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Viscosité de l'huile à  $20^\circ\text{C}$  :  $\eta = 0,39 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Volume d'une sphère :  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

1. Déterminer graphiquement, en ajoutant les traits de construction utiles sur le **document réponse DR1 page agrandie 28, à rendre avec la copie** :

- la valeur de la vitesse limite  $v_{lim}$  atteinte par la bille ;
- le temps caractéristique  $\tau$  d'évolution de la vitesse.

### Étude théorique du mouvement de la bille

On étudie le mouvement du système « bille », plongée dans l'huile, dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Lors de sa chute, la bille est soumise à plusieurs actions mécaniques :

- son poids  $\vec{P}$  ;
- la poussée d'Archimède, notée  $\vec{\Pi}$ , de sens contraire à celui du poids et d'expression  $\vec{\Pi} = -\rho_{\text{huile}} \cdot V_{im} \cdot \vec{g}$  où  $\rho_{\text{huile}}$  est la masse volumique de l'huile en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $V_{im}$  le volume immergé de l'objet en  $\text{m}^3$  et  $g$  l'intensité de la pesanteur en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  ;

- la force de frottement  $\vec{f}$  de l'huile sur la bille, que l'on suppose ici proportionnelle à la vitesse de chute de la bille avec  $\vec{f} = -6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot \vec{v}$  où  $\eta$  est la viscosité de l'huile en Pa·s,  $R$  le rayon de la bille en m et  $v$  la vitesse de la bille en m·s<sup>-1</sup>.

**2.** Écrire l'expression vectorielle de la seconde loi de Newton appliquée au système « bille ».

**3.** Par projection de l'expression vectorielle de la seconde loi de Newton sur l'axe (Oy), établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse  $v$  de la bille. Écrire cette équation différentielle sous la forme  $\frac{dv}{dt} = A \times v + B$  et exprimer les coefficients  $A$  et  $B$  en fonction de  $m$ ,  $g$ ,  $\rho_{\text{huile}}$ ,  $\eta$  et  $R$ .

**4.** À l'aide des données, poser explicitement les calculs qui permettraient de déterminer la valeur numérique du coefficient  $A$  en s<sup>-1</sup> et celle du coefficient  $B$  en m·s<sup>-2</sup>. Les applications numériques ne sont pas à réaliser.

Pour établir l'expression de la vitesse de la bille, les données physiques de l'expérience conduisent à résoudre l'équation différentielle (E) :  $y' = -9y + 8,6$

**5.** Déterminer la fonction solution de l'équation différentielle (E) s'annulant en 0.

**6.** Montrer que la limite de  $0,96 (1 - e^{-9t})$  lorsque  $t$  tend vers  $+\infty$  est égale à  $0,96$ .

Dans le contexte de l'expérience, on prendra, pour exprimer la vitesse de la bille en fonction du temps  $t$ , la fonction  $v$  définie sur  $[0 ; 0,8]$  par  $v(t) = 0,96 (1 - e^{-9t})$ . La vitesse de la bille est exprimée en  $\text{m.s}^{-1}$  et le temps  $t$  est exprimé en secondes.

**7.** Expliquer en quoi la comparaison de la valeur obtenue à la question 6 aux résultats de l'étude expérimentale fournit un argument en faveur du choix du modèle des forces de frottement fluide effectué en début d'exercice.

## **EXERCICE 2 commun à tous les candidats (6 points)**

(physique-chimie)

Energy Observer est le premier navire à hydrogène autonome en énergie, sans émission de gaz à effet de serre ou de particules fines. Ce navire du futur à propulsion fonctionne avec trois sources d'énergie renouvelables (solaire, éolien et hydrolien) et deux formes de stockage d'énergie (batteries pour le court terme et dihydrogène pour le long terme). Durant la journée, la propulsion du bateau est assurée grâce à l'énergie solaire. Dès que la nuit tombe et que les batteries atteignent environ 20 % de leur capacité, la pile à combustible démarre automatiquement afin de remonter leur niveau de charge. Cette opération peut être réalisée en moins de deux heures. Ainsi, la vitesse peut être maintenue et les pics de consommation nocturnes respectés (repas, vie à bord, envois de données, eau chaude produite avec la chaleur de la pile).

Huit réservoirs de 332 L permettent de stocker un total de 63 kg de dihydrogène, soit l'équivalent en énergie de 230 L d'essence. Ce volume total représente une énergie nette stockée de 1,0 MWh.

**1. +27 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques**

Surface totale : 168 m<sup>2</sup>

Puissance maximale : 28 kW<sub>c</sub>

**3. Intégration de 2 ailes Oceanwings®**

**100% automatisées, affalables et arisables**

Envergure : 12 m

Surface : 31,5 m<sup>2</sup>

**2. Optimisation du stockage thermique**

Valorisation de la chaleur de l'électrolyseur, de la pile à combustible pour passer de 5 kW en instantané à 20 kW en stockable

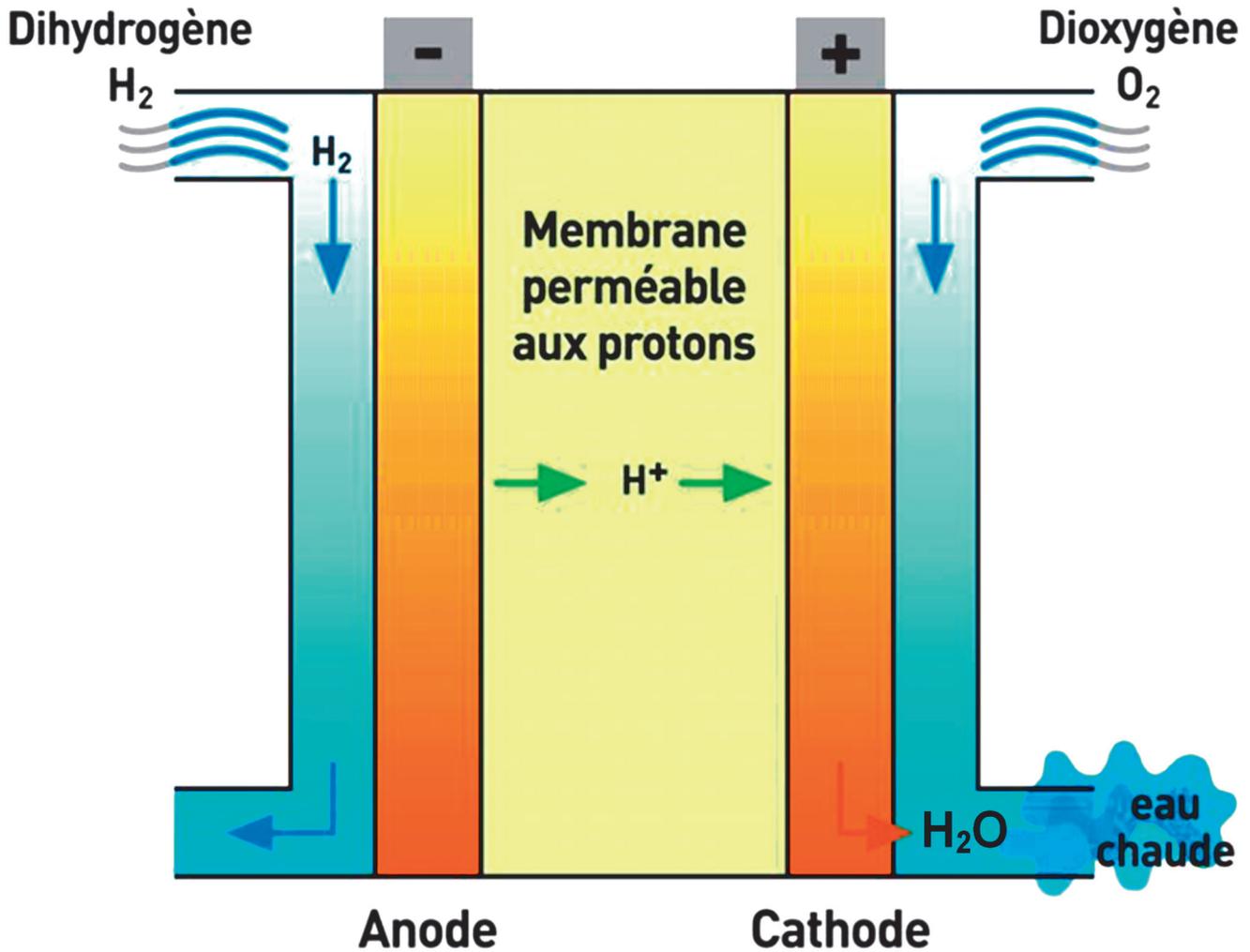
Source : d'après <https://www.energy-observer.org/fr/innovations/double-batteries-hydrogene>

Energy observer est équipé d'une pile à hydrogène. Une pile de ce type a été réalisée pour la première fois en laboratoire en 1839 par le britannique William Grove. Plus récemment, elle a été exploitée dans le cadre de la conquête spatiale (missions Apollo, etc.).

Il s'agit d'un générateur électrochimique permettant de transformer directement l'énergie chimique d'un combustible (le dihydrogène, H<sub>2</sub>) en énergie électrique.

La pile est constituée de deux électrodes (anode et cathode) séparées par une membrane qui bloque le passage des électrons mais laisse circuler les protons.

## Circuit électrique vers le moteur



Source : d'après <https://www.reussir.fr/machinisme/la-pile-combustible-pour-sassurer-contre-les-microcoupures-deelectricite>

Données :

- Couples oxydant-réducteur :  $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$  et  $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$ .
- Énergie chimique libérée par une mole de dihydrogène lors du fonctionnement de la pile à hydrogène :  $E = 2,4 \times 10^5 \text{ J}$ .
- Masse molaire atomique de l'hydrogène :  $1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$ .

1. Compléter le schéma du **document réponse DR2 page agrandie 29**, à rendre avec la copie, en faisant figurer les formes d'énergie qui interviennent.
2. Écrire les équations des réactions électrochimiques ayant lieu à chacune des électrodes. Préciser pour chacune d'elles s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.
3. En déduire l'équation de la réaction d'oxydo-réduction modélisant le fonctionnement de la pile à hydrogène.
4. Expliquer en quoi cette pile est considérée comme non polluante.
5. Calculer la quantité de matière de dihydrogène disponible sur Energy Observer lorsque les réservoirs sont pleins.
6. En déduire l'énergie chimique disponible en J puis en Wh.
7. Le rendement de la pile étant égal à 46 %, calculer la quantité d'énergie électrique disponible pour recharger les batteries. Montrer que ce résultat est cohérent avec les indications du **texte de présentation, pages agrandies 8 et 9**.

Lors de la traversée Nassau (Bahamas) - Fort de France (Martinique) du 15 au 28 juillet 2020, la pile à hydrogène a fourni une puissance moyenne électrique de 30 kW. La durée totale d'utilisation de la pile au cours de la traversée a été de 24 h. L'énergie électrique totale pouvant être délivrée par cette pile était de 1,0 MWh.

On considèrera dans cette question la pile comme un générateur idéal de tension.

**8.** Définir ce qu'est un générateur idéal de tension.

**9.** Calculer l'énergie électrique délivrée par la pile au cours de la traversée.

**10.** Montrer que l'autonomie de la pile était suffisante pour cette traversée.

### **EXERCICE 3 commun à tous les candidats (4 points)**

(mathématiques)

**Le candidat doit traiter quatre questions parmi les six que comporte l'exercice.**

**Les questions sont indépendantes.**

**Le candidat choisit les quatre questions auxquelles il répond et indique clairement leur numéro sur sa copie en début d'exercice.**

**Seules ces questions sont évaluées. Chacune d'elles est notée sur un point.**

**Traiter une question supplémentaire ne rapporte aucun point.**

#### **Question 1**

Soit la fonction  $f$  définie et dérivable sur  $\mathbb{R}$  par

$$f(x) = (8x - 2)e^{-x}$$

On note  $f'$  sa fonction dérivée.

Déterminer  $f'(x)$  pour tout  $x \in \mathbb{R}$ .

#### **Question 2**

Soit la fonction  $f$  définie sur  $\mathbb{R}$  par

$$f(x) = (8x - 2)e^{-x}$$

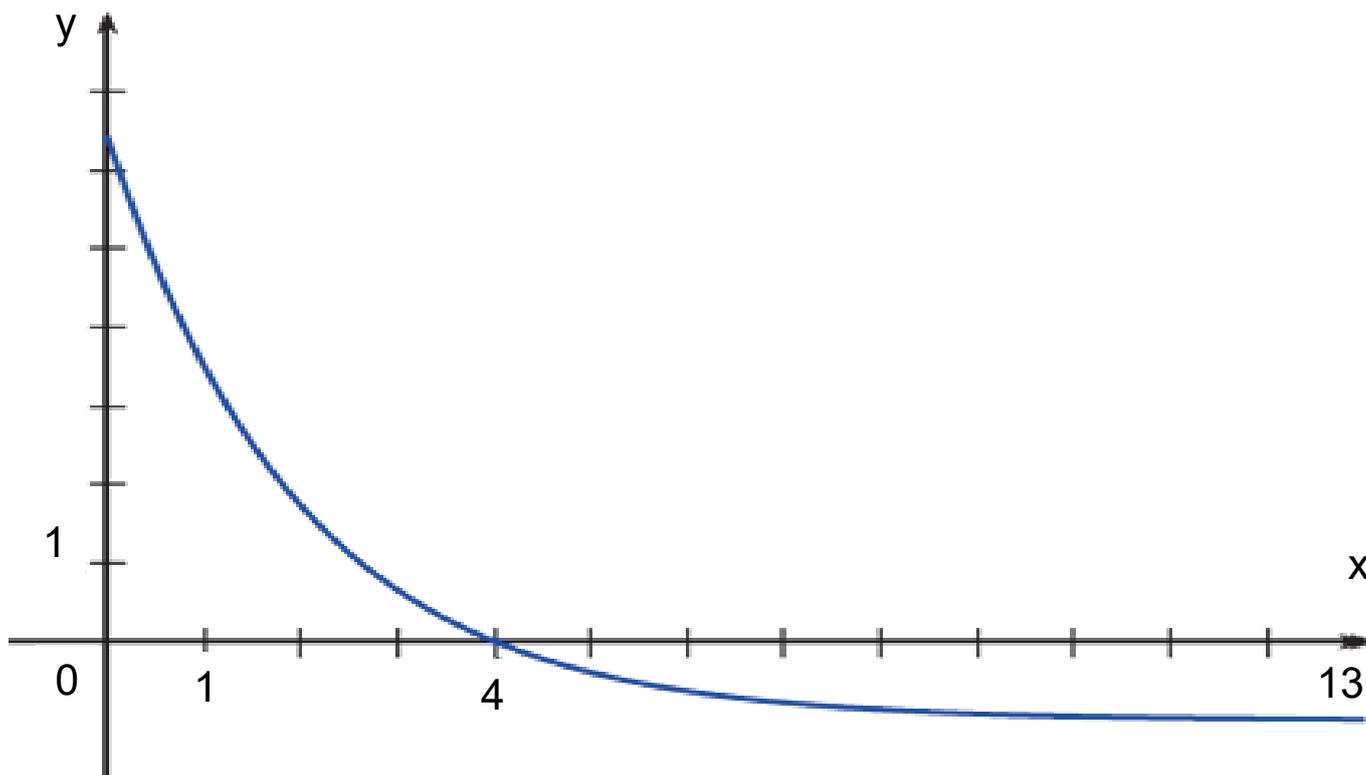
Résoudre  $f(x) = 0$ .

### Question 3

On considère une fonction  $g$  définie et dérivable sur l'intervalle  $[0 ; 13]$ .

On note  $g'$  sa fonction dérivée.

On donne ci-dessous la courbe représentative de la **fonction dérivée**  $g'$  sur l'intervalle  $[0 ; 13]$ .



Julien affirme que la fonction  $g$  est décroissante sur l'intervalle  $[0 ; 13]$ .

Julien a-t-il raison ? Justifier.

### Question 4

Montrer que  $\frac{\ln(\sqrt{8})}{\ln(\sqrt{2})} = 3$ .

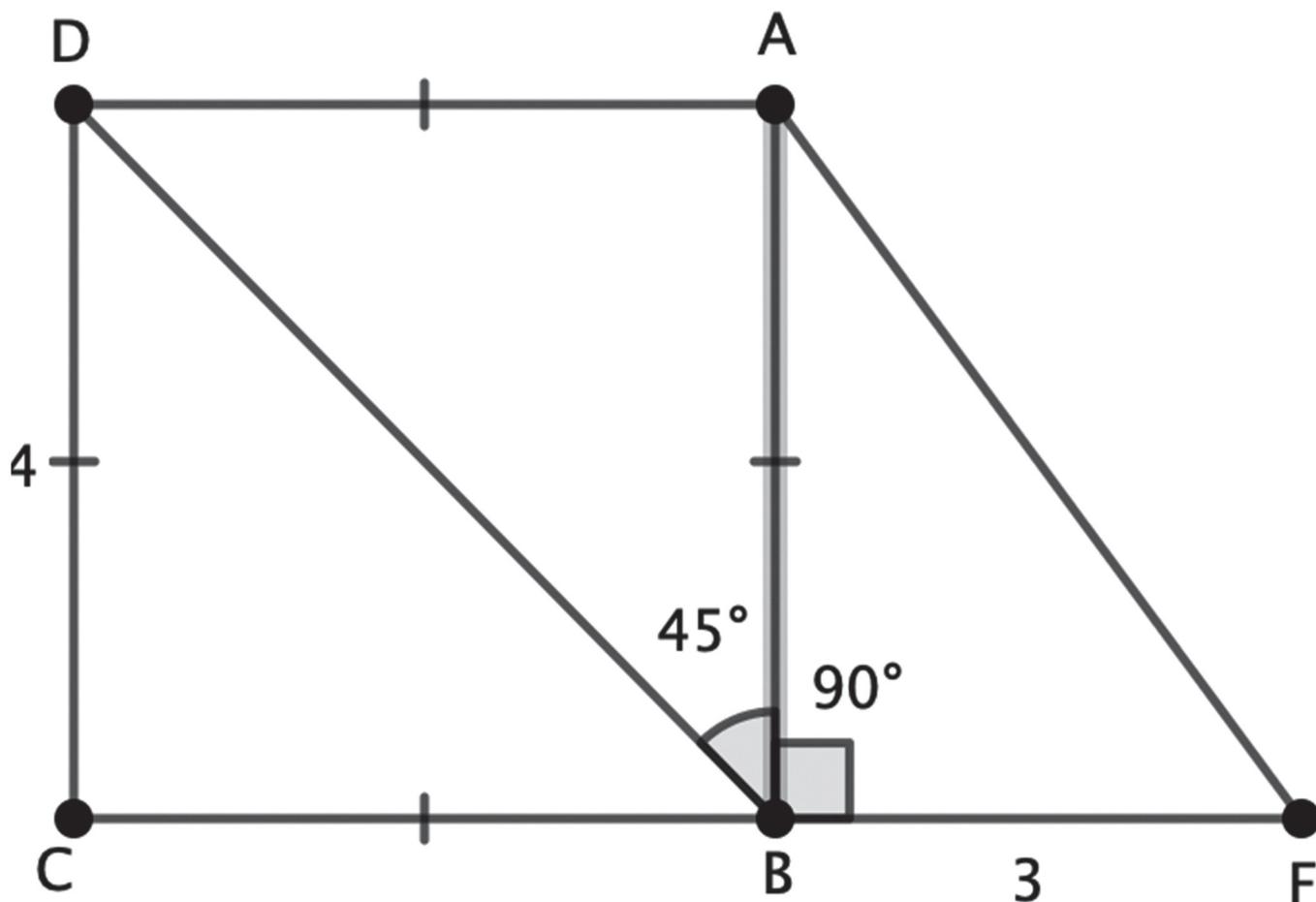
### Question 5

Soit  $f$  la fonction définie et dérivable sur  $\mathbb{R}$  par  $f(x) = e^{6x} - 1$ .

Déterminer la limite de la fonction  $f$  lorsque  $x$  tend vers  $-\infty$ .

### Question 6

ABCD est un carré de côté 4 et ABF est un triangle rectangle en B avec  $BF = 3$  comme indiqué sur la figure ci-dessous.



Donner la valeur du produit scalaire  $\overrightarrow{BF} \cdot \overrightarrow{BD}$

## **EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)**

(physique-chimie)

**Vous indiquerez sur votre copie l'exercice choisi :**

**EXERCICE 4-A ou EXERCICE 4-B.**

### **EXERCICE 4-A**

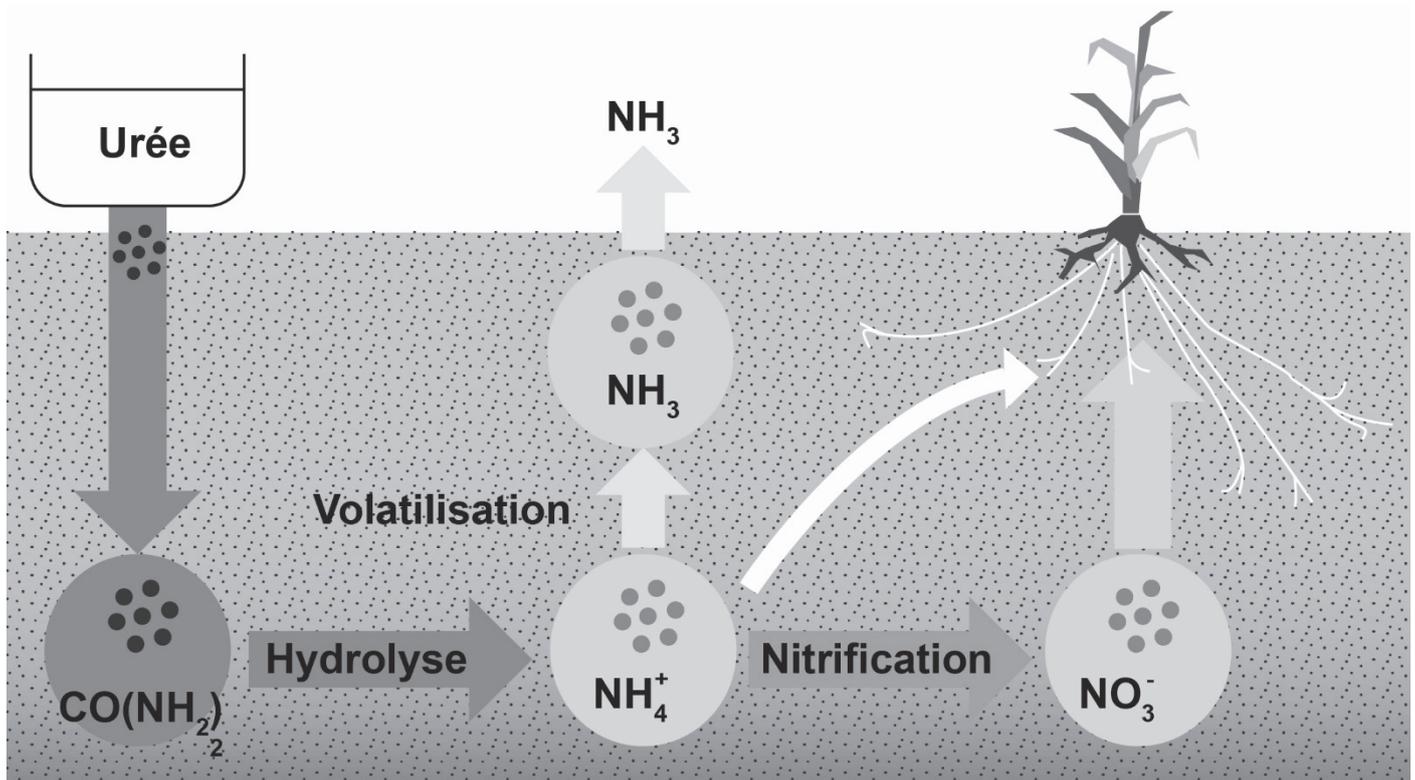
**Mots-clés : cinétique chimique, réactions acido-basiques**

Apportée au sol, l'urée, de formule  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  doit être transformée en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) puis en ions nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) avant que les plantes ne puissent l'absorber.

Les enzymes uréases du sol sont des vecteurs de ce processus qui comporte une étape d'hydrolyse.

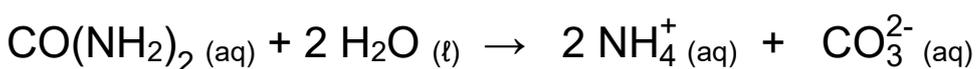
Source : d'après <https://www.yara.fr/fertilisation/pur-nutriment/urease-inhibitors>

Schéma représentant le processus de transformation de l'urée dans le sol



Source : d'après <https://www.ufarevue.ch/fre/production-vegetale/la-bonne-forme-au-bon-moment>

La réaction d'hydrolyse de l'urée libère des ions ammonium  $\text{NH}_4^+$  et carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$  selon l'équation suivante :



L'objectif de cet exercice est d'étudier la cinétique de cette réaction d'hydrolyse de l'urée. On réalise pour cela trois expériences de suivi cinétique de celle-ci, où l'eau est toujours en large excès.

Expérience	Concentration initiale en urée	Température
1	0,10 mol·L <sup>-1</sup>	75°C
2	0,20 mol·L <sup>-1</sup>	75°C
3	0,20 mol·L <sup>-1</sup>	95°C

Les courbes tracées grâce à ces expériences sont présentées dans le **document réponse DR3 pages agrandies 30 et 31, à rendre avec la copie.**

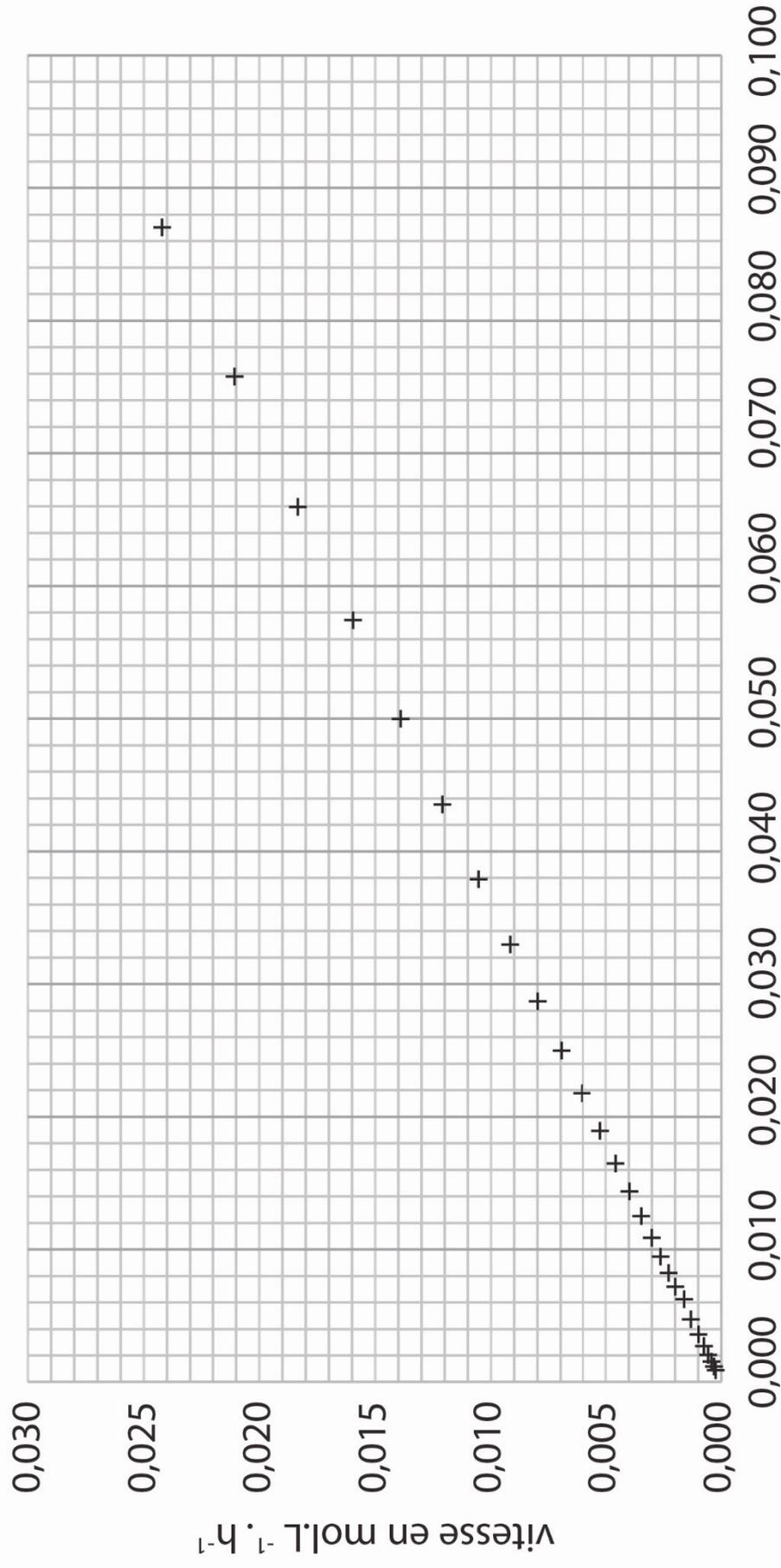
1. Définir le temps de demi-réaction.
2. À l'aide des courbes du **document réponse DR3 pages agrandies 30 et 31, à rendre avec la copie**, déterminer graphiquement la valeur du temps de demi-réaction pour chacune des trois expériences.  
Les traits de construction apparaîtront sur chaque courbe.
3. En déduire l'influence de la concentration initiale en urée sur la durée de la transformation chimique. Justifier.
4. À l'aide des résultats de la **question 2**, déterminer l'influence de la température sur la durée de la transformation chimique. Justifier.

**5.** Expliquer pourquoi la température peut être qualifiée de « facteur cinétique ».

On s'intéresse désormais **uniquement à l'expérience 1.**

**6.** Écrire la relation de définition de la vitesse de disparition de l'urée au cours du temps.

La courbe **page suivante** présente l'évolution de la vitesse de disparition de l'urée en fonction de la concentration en urée.



Concentration en quantité de matière en urée en mol.L-1

7. À l'aide de la courbe page précédente, montrer que la réaction d'hydrolyse de l'urée suit une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport à l'urée.
8. À partir de la relation écrite à la **question 6**, établir la loi d'évolution de la concentration en urée au cours du temps en fonction de la constante de vitesse  $k$  et de la concentration initiale en urée notée  $[\text{urée}]_0$ .
9. Déterminer graphiquement la constante de vitesse  $k$  en  $\text{h}^{-1}$ .
10. On reproduit l'expérience 1 en présence d'une enzyme naturellement présente dans les sols : l'uréase. On détermine alors un temps de demi-réaction égal à  $2 \mu\text{s}$ . Indiquer le rôle joué par l'uréase. Expliquer la réponse.

La dissolution de granulés d'urée dans le sol entraîne localement une augmentation temporaire du  $pH$  du sol liée à la formation d'ions hydroxyde  $\text{HO}^-$ . L'ion ammonium, lié aux particules du sol, se transforme alors en ammoniac gazeux ( $\text{NH}_3$ ) qui s'échappe dans l'atmosphère, augmentant les pertes en élément azote par volatilisation (voir le **schéma représentant le processus de transformation de l'urée dans le sol page agrandie 18**).

11. La transformation des ions ammonium  $\text{NH}_4^+$  en ammoniac gazeux  $\text{NH}_3$  fait intervenir les couples acide-base  $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$  et  $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-$ . Écrire les équations de réactions acido-basiques associées à chacun de ces deux couples acide-base.

**12.** En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre les ions ammonium  $\text{NH}_4^+$  et les ions hydroxyde  $\text{HO}^-$ .

**13.** Justifier que cette réaction est bien une réaction acido-basique.

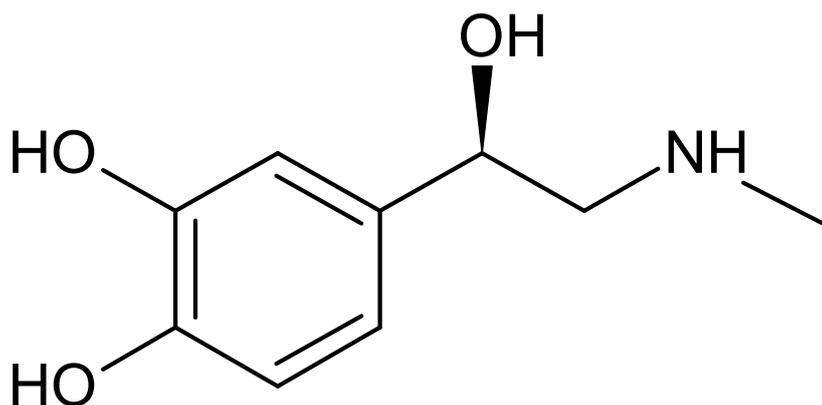
## **EXERCICE 4-B**

### **Mots-clés : structure spatiale des espèces chimiques, diagramme de prédominance**

L'adrénaline est une hormone aussi appelée « épinéphrine » et principalement sécrétée par les glandes surrénales, situées au-dessus des reins. Elle est libérée dans le sang essentiellement en cas d'émotions intenses : la peur, la colère, le stress... C'est la raison pour laquelle elle est parfois surnommée « l'hormone des sensations fortes ». La présence de cette hormone dans le sang déclenche alors toute une série de réactions en chaîne. Les effets sont nombreux et très rapides : augmentation du rythme cardiaque et du pouls, élévation de la pression artérielle, dilatation des bronches et des pupilles, etc. Toutes ces manifestations n'ont qu'un seul but : nous rendre plus alerte et vigilant afin d'affronter le danger à venir.

Source : d'après *Le journal des femmes*

Formule topologique de la forme naturelle de l'adrénaline :



Données :

- Numéros atomiques : H (Z = 1), C (Z = 6), N (Z = 7), O (Z = 8).

### Étude de la structure de l'adrénaline

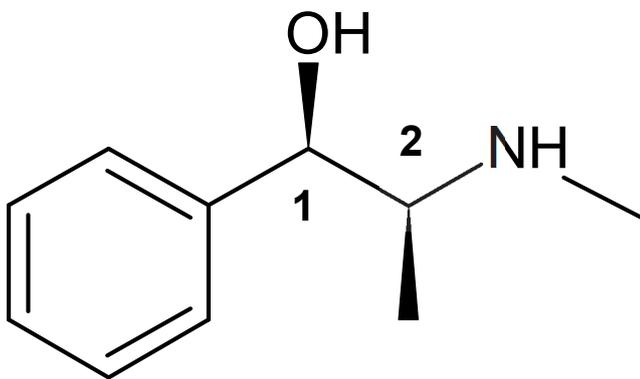
1. Sur le **document réponse DR4 page agrandie 32**, à rendre avec la **copie**, entourer le groupe caractéristique correspondant à la fonction amine.
2. Sur le **document réponse DR4 page agrandie 32**, à rendre avec la **copie**, repérer par un astérisque le (ou les) carbone(s) asymétrique(s). Indiquer si cette molécule est chirale. Justifier.
3. Classer les groupes liés au(x) carbone(s) asymétrique(s) à l'aide des règles de Cahn, Ingold et Prelog en expliquant la démarche suivie.
4. En déduire la configuration absolue (R ou S) de la forme naturelle de la molécule d'adrénaline en expliquant la démarche suivie.

5. Représenter en perspective de Cram un stéréoisomère de la molécule d'adrénaline différent de celui de sa forme naturelle fournie sur la figure précédente. Préciser la relation d'isomérisie qui existe entre ces deux molécules.

### Étude de la structure et de propriétés acido-basiques de l'éphédrine

La molécule d'éphédrine a une structure voisine de l'adrénaline dont elle renforce l'action.

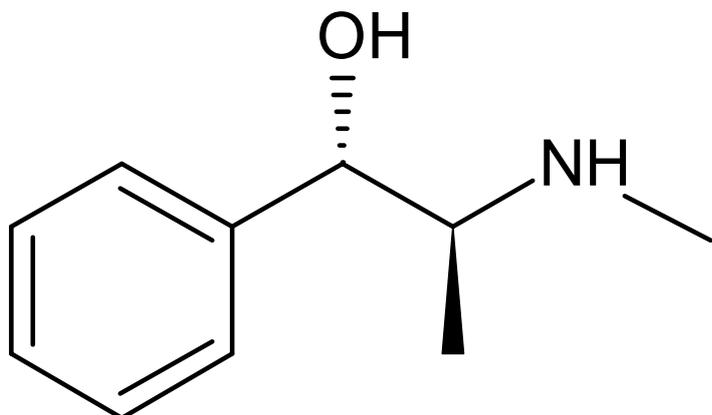
Formule topologique d'une forme naturelle de l'éphédrine (molécule E1) :



La configuration absolue de la molécule E1 est (1R, 2S).

Un stéréoisomère de la molécule E1 est représenté ci-dessous. Il sera noté molécule E2.

molécule E2 :



6. Indiquer la configuration absolue de la molécule E2.
7. Nommer la relation de stéréoisomérisie existant entre la molécule E1 et la molécule E2. Justifier.

On note à présent B la molécule d'éphédrine et  $BH^+$  son acide conjugué.

Données :

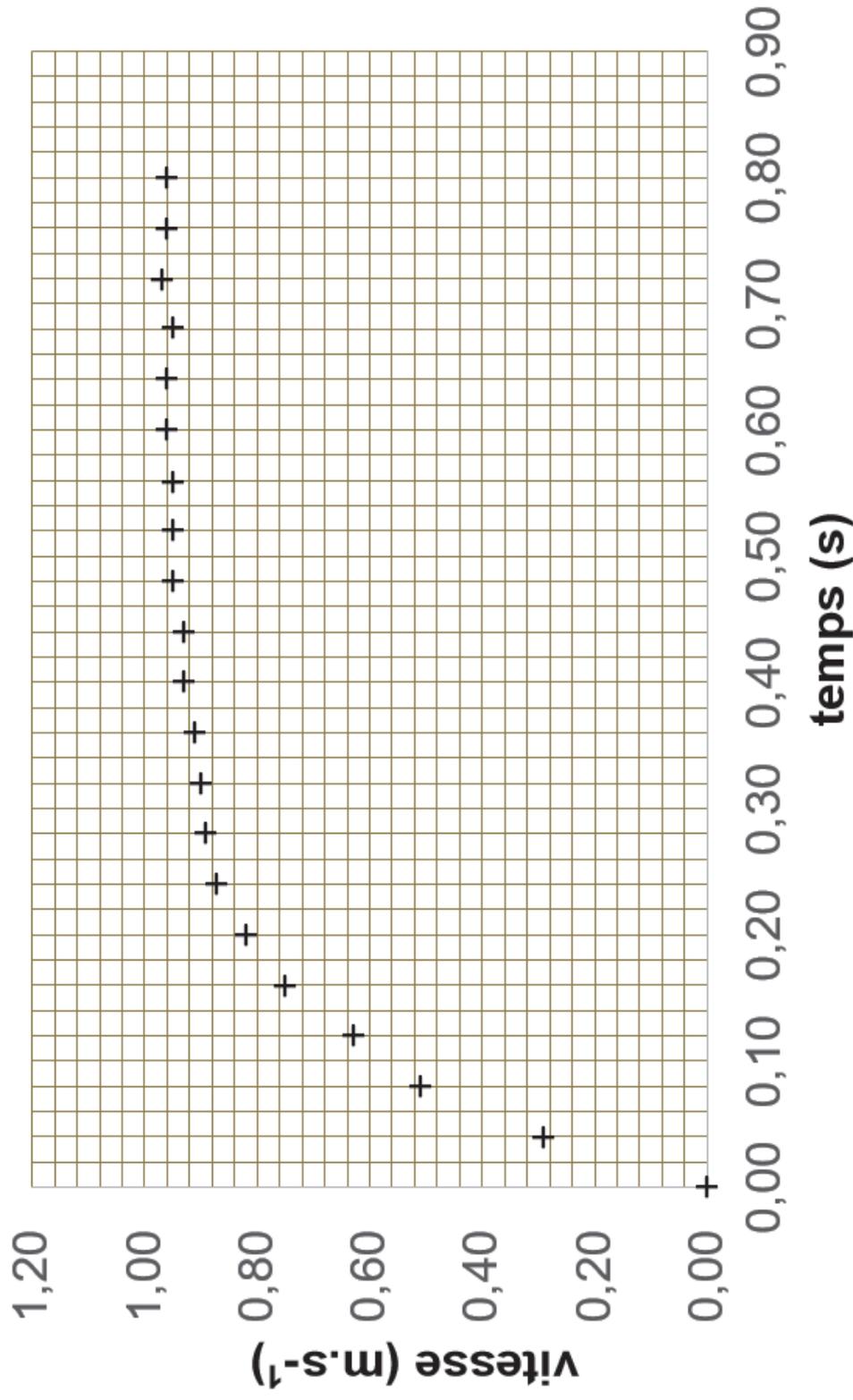
- Le  $pK_a$  du couple  $BH^+ / B$  mettant en jeu l'éphédrine est égal à 9,65.
- La valeur du  $pH$  du sang est comprise entre 7,32 et 7,42.
- Couples acide-base de l'eau :  $H_3O^+ / H_2O$  et  $H_2O / HO^-$ .

8. Définir une base au sens de Brönsted.
9. Écrire l'équation de réaction de l'éphédrine avec l'eau.
10. Représenter le diagramme de prédominance du couple  $BH^+ / B$ .
11. Indiquer l'espèce prédominante du couple  $BH^+ / B$  dans le sang. Justifier la réponse.

## ANNEXES

Document réponse DR1 à rendre avec la copie

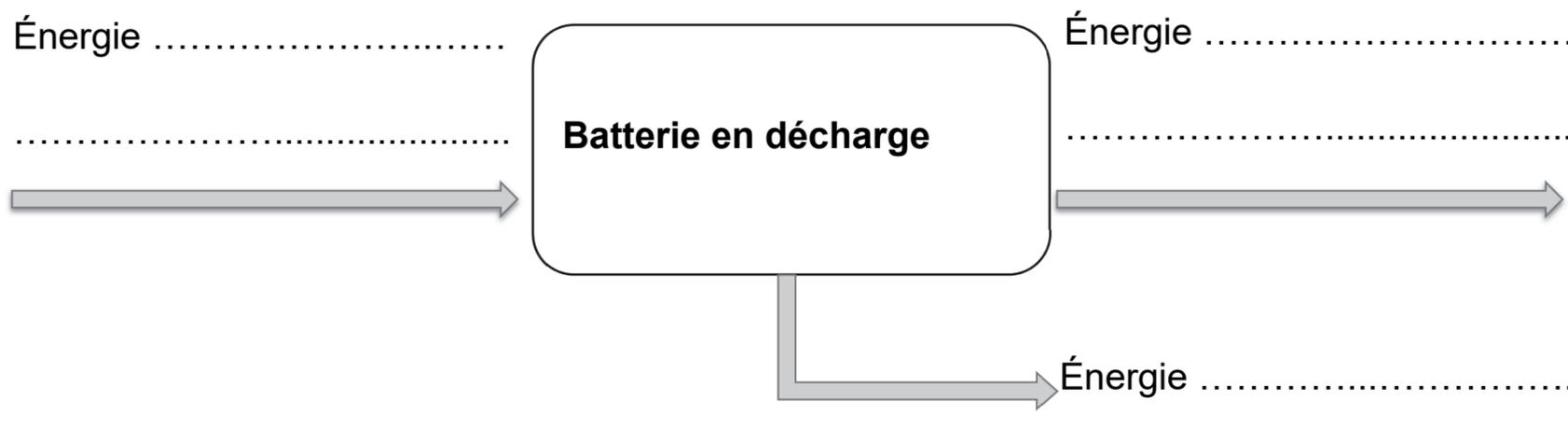
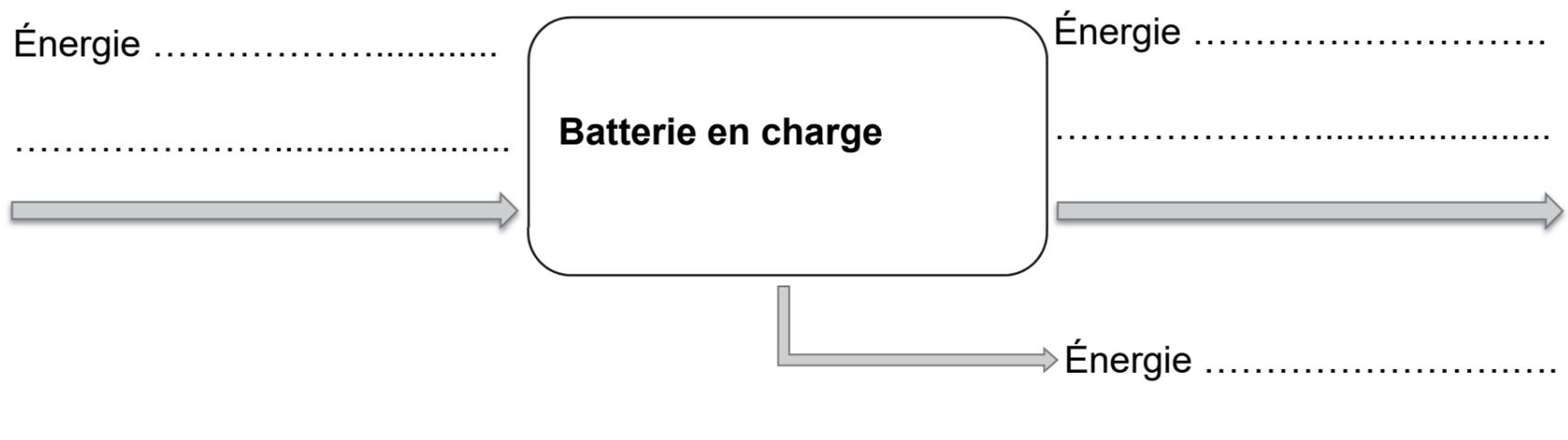
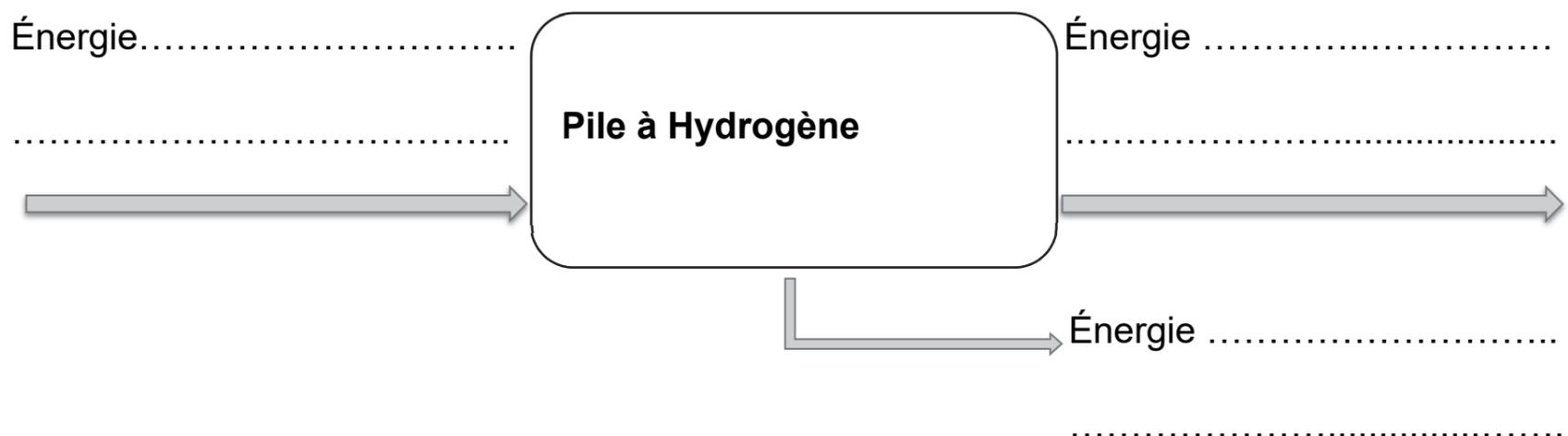
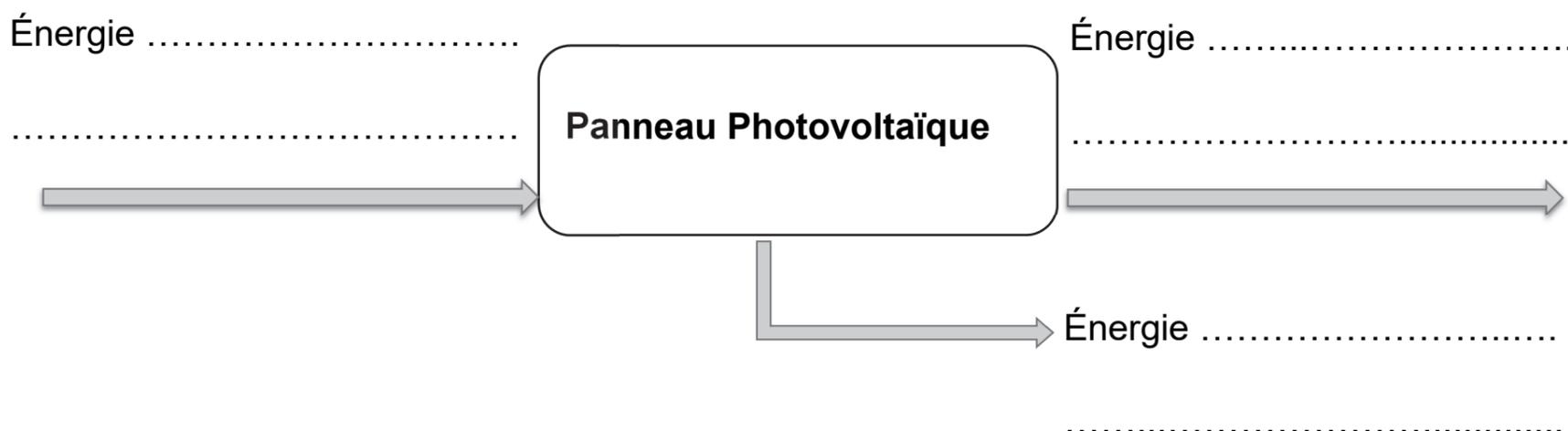
### Évolution de la vitesse de la bille au cours du temps





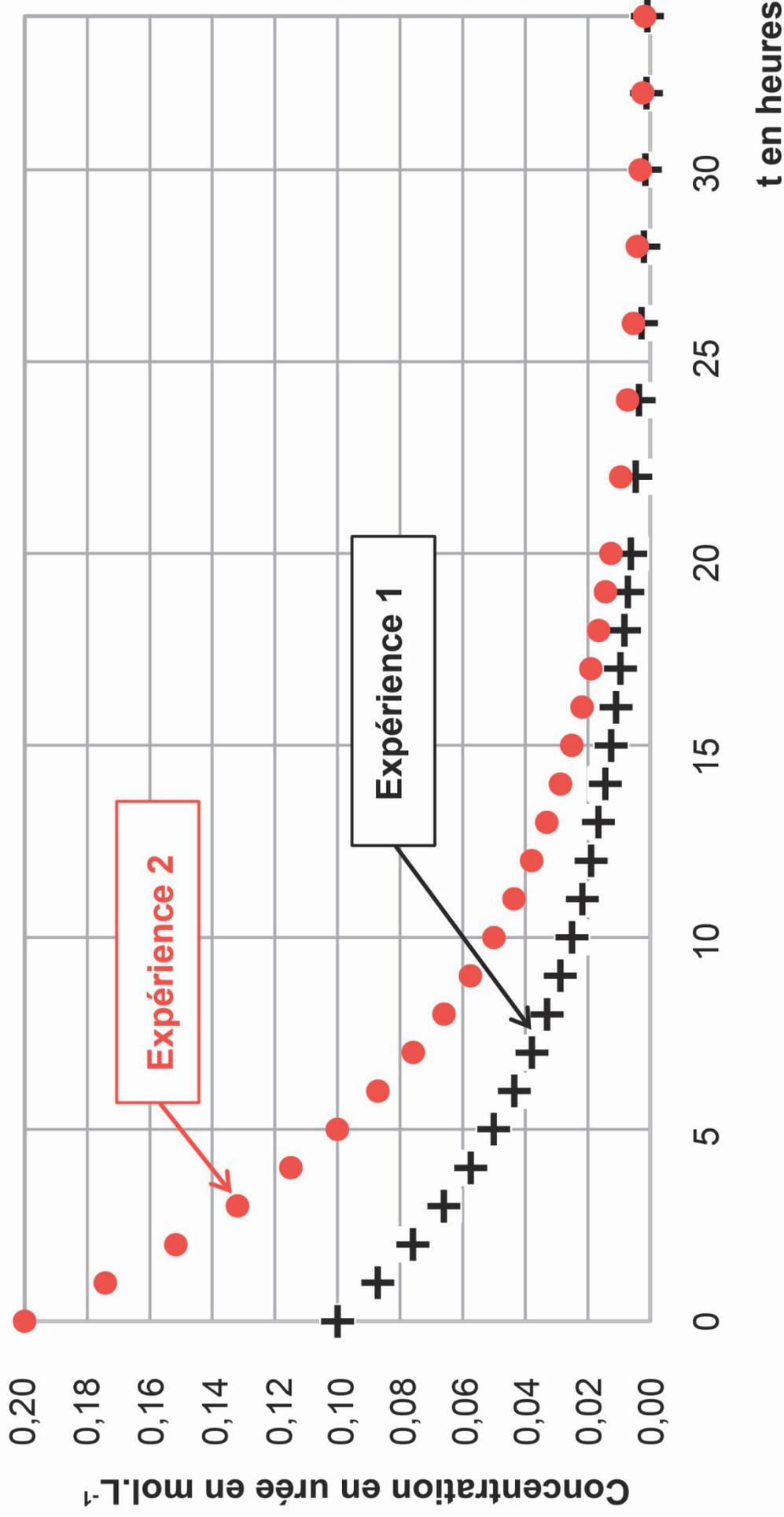
**Document réponse DR2 à rendre avec la copie**

Compléter le schéma, en faisant figurer les formes d'énergie qui interviennent (énergie chimique, énergie électrique, énergie lumineuse, énergie thermique).





### Expériences 1 et 2





### Expérience 3

