

BAC BLANC 2022

Épreuve de spécialité : Physique-chimie

Durée de l'épreuve : 3 h 30

Coefficient : 16

Précisions particulières propres au sujet/épreuve

Le sujet, dans son intégralité, doit être remis avec la copie.

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 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

Exercice 1 : ETUDE D'UN DETECTEUR DE FUMÉES (10 POINTS)

Afin de prévenir des risques d'incendies, l'installation de détecteurs de fumées est obligatoire dans tous les logements depuis janvier 2016. Il existe différents types de détecteurs comme les détecteurs optiques ou les détecteurs ioniques.

Dans cet exercice, on étudiera ces deux types de détecteurs de fumées, puis on s'intéressera au choix de l'emplacement du détecteur dans le cadre de la protection des personnes.

1. Détecteur optique de fumées

Le principe de fonctionnement de ce détecteur de fumées (figure 1) repose sur le fait qu'une diode électroluminescente (ou DEL) produit en continu un rayonnement. Lorsqu'il rencontre des particules de fumées, le rayonnement est dévié dans toutes les directions. Un récepteur photosensible détecte alors le rayonnement et génère un courant électrique qui déclenche une alarme sonore avertissant les usagers de la présence de fumées. La longueur d'onde du rayonnement émis par la DEL dépend du matériau utilisé pour sa fabrication. Pour produire un rayonnement infrarouge, on peut utiliser de l'arséniure de gallium (GaAs). Dans ce cas, l'énergie des photons émis est de l'ordre de 1,4 eV.

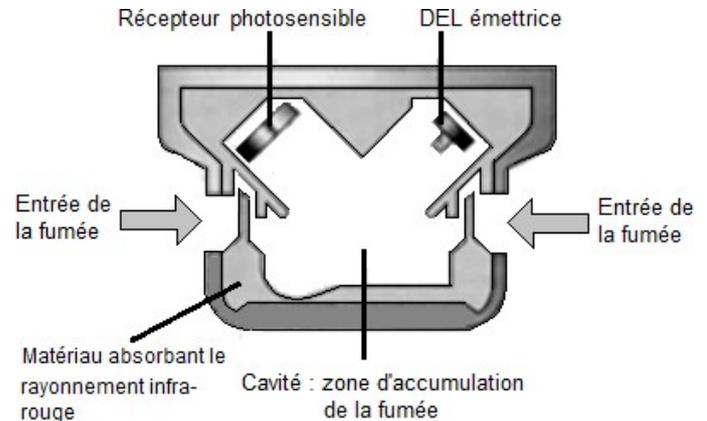


Figure 1. Schéma de principe d'un détecteur optique de fumées

D'après « La physique par les objets quotidiens », C. Ray et J-C Poizat éditions Belin

Données :

- 1 électronvolt (eV) = $1,6 \times 10^{-19}$ J ;
- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- La valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue du candidat.
- On rappelle que la relation permettant de calculer l'énergie E d'un photon (en J) de fréquence ν (en Hz) est :

$$E = h \cdot \nu$$

1.1. Le récepteur photosensible ne détecte que les rayonnements appartenant au domaine de l'infrarouge. Vérifier que le rayonnement lumineux émis par la DEL utilisée dans le détecteur optique de fumées appartient bien à ce domaine.

0,5

On admet que les particules solides présentes dans la fumée :

- ont une taille comprise 0,1 μm et 100 μm
- peuvent diffracter les ondes électromagnétiques comme une ouverture de même taille

1.2. Justifier que la diffraction est à l'origine de la déviation du faisceau lumineux si des fumées sont présentes.

0,5

1.3. En présence de fumées, le rayonnement émis par la DEL est dévié dans toutes les directions. Expliquer brièvement pourquoi l'alarme ne se déclenche qu'en présence de fumées.

0,5

2. Détecteur ionique de fumées

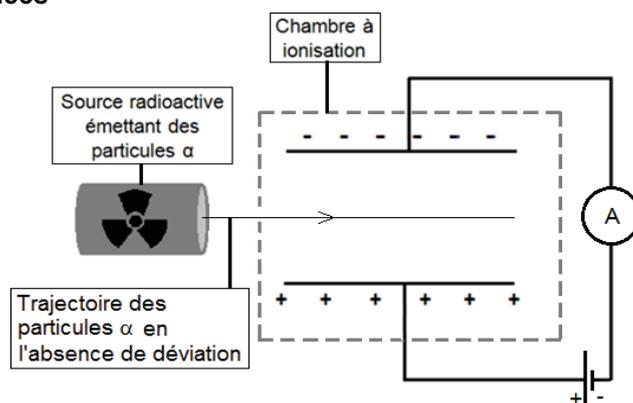


Figure 2. Illustration du principe d'une chambre à ionisation

Le principe de ce détecteur de fumées repose sur l'ionisation de l'air par des particules α . En l'absence de fumées, ces particules arrachent des électrons aux molécules de dioxygène et de diazote présentes dans la chambre à ionisation. Pour le dioxygène, l'ionisation nécessite un apport d'énergie de 12 eV par molécule.

Les ions et les électrons formés par l'ionisation de l'air sont soumis à un champ électrique uniforme entre deux plaques. Un courant électrique de faible intensité apparaît alors dans le circuit électrique (figure 2).

Lorsque la fumée pénètre dans la chambre à ionisation, une partie des électrons et des ions issus de l'ionisation se fixe aux poussières de fumées. La baisse de l'intensité du courant électrique qui en résulte déclenche un avertisseur sonore.

D'après « La physique par les objets quotidiens », C. Ray et J-C Poizat, éditions Belin

Données :

- 1 électronvolt (eV) = $1,6 \times 10^{-19}$ J ;
- charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C ;
- Pour un condensateur plan, le champ électrostatique E est relié à la tension U et à la distance d qui sépare les plaques par la relation : $E = \frac{U}{d}$.
- charge de la particule α : $q_\alpha = + 2 e$;
- masse d'une particule α : $m_\alpha = 6,64 \times 10^{-27}$ kg ;
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81$ m.s⁻².

On s'intéresse au mouvement d'une particule α arrivant dans la chambre à ionisation en l'absence de fumée. Cette particule arrive en un point O avec un vecteur vitesse initiale \vec{v}_0 parallèle aux plaques C et D du condensateur plan (voir figure 3).

Une tension constante $U = 9,0$ V est appliquée entre les deux plaques C et D. La valeur de la vitesse initiale v_0 est égale à $1,6 \times 10^7$ m.s⁻¹.

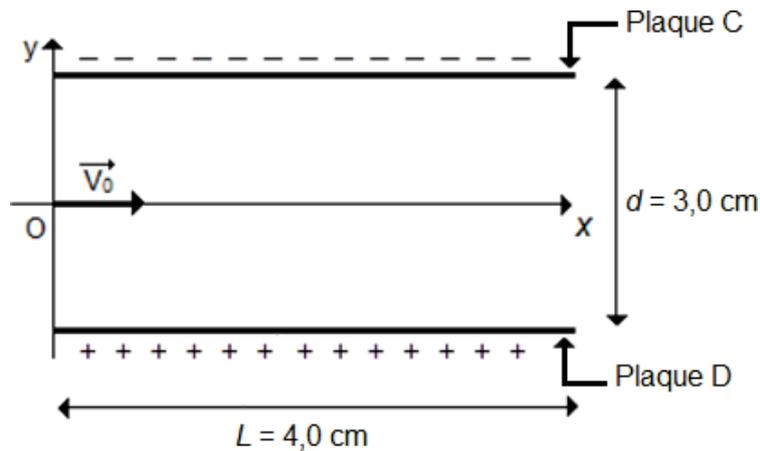


Figure 3. Schéma du condensateur plane de la chambre à ionisation

On étudie le mouvement de la particule α dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À l'instant $t = 0$, la particule α est au point O.

Lors de cette étude, on négligera les éventuelles collisions avec les molécules de l'air ainsi que la valeur du poids de la particule α devant la valeur de la force électrostatique F_e subie par cette particule.

2.1. Vérifier quantitativement que l'hypothèse concernant le poids de la particule α est justifiée.

2.2. Sur la figure 3 représenter le champ électrostatique \vec{E} et la force électrostatique \vec{F}_e que subit la particule α au point O. Justifier.

2.3. Montrer que les coordonnées du vecteur accélération dans le repère sont :

$$a_x(t) = 0 \text{ et } a_y(t) = \frac{2 \cdot e \cdot U}{m_\alpha \cdot d}$$

2.4. Etablir que les équations horaires du mouvement de la particule α sont :

$$x(t) = v_0 \cdot t \text{ et } y(t) = \frac{e \cdot U}{m_\alpha \cdot d} t^2$$

0,75
1
1
2

2.5. En déduire l'équation de la trajectoire $y(x)$.

2.6. a. Déterminer la valeur de la coordonnée y_L de la particule lorsqu'elle a parcouru une distance suivant l'axe Ox égale à $L = 4,0$ cm.

b. Expliquer pourquoi le mouvement de cette particule peut être considéré comme rectiligne dans la chambre d'ionisation.

2.7. Montrer que l'énergie cinétique initiale des particules α est suffisante pour ioniser des molécules de dioxygène.

1
0,5
0,25
0,5

3. Niveau d'intensité sonore du détecteur de fumées

Une personne endormie est réveillée par un bruit dont le niveau d'intensité sonore est supérieur à 75 dB. Un particulier souhaite installer un détecteur de fumées au plafond de son appartement. Le niveau d'intensité sonore du détecteur est de 85 dB à 3 m. Le particulier se demande si l'emplacement prévu est judicieusement choisi.

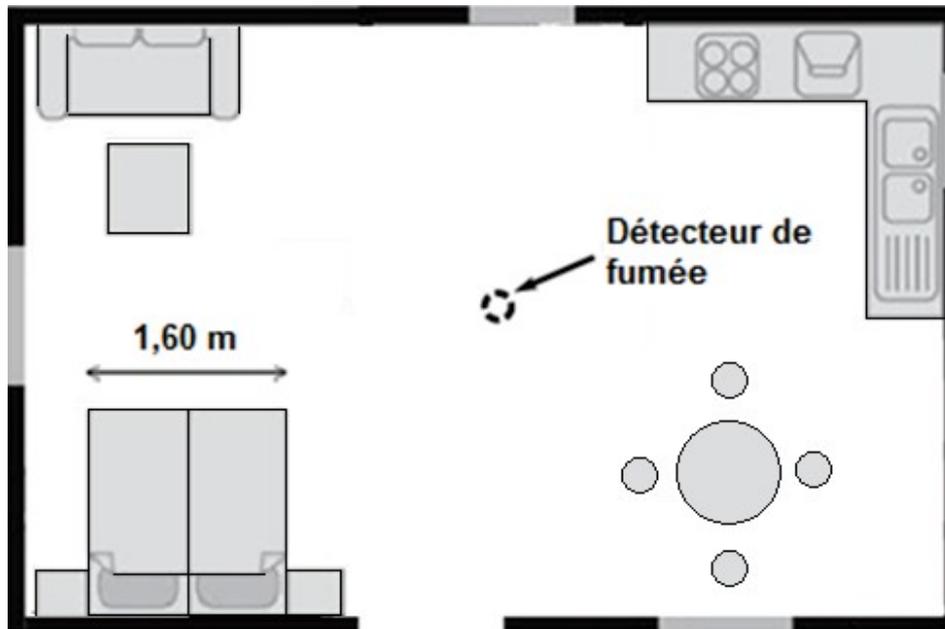
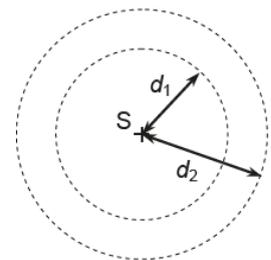


Figure 4. Plan de l'appartement à l'échelle

Donnée :

- au cours de la propagation d'une onde sonore et en l'absence d'atténuation par absorption, le niveau d'intensité sonore L diminue avec la distance d à la source S suivant la formule :

$$L_2 = L_1 + 20 \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$



où L_2 est le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_2 de la source et L_1 le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_1 de la source (voir schéma ci-dessus).

À l'aide du plan ci-dessus, schématisant la pièce, déterminer si l'emplacement du détecteur est satisfaisant pour réveiller une personne.

On précise que la hauteur sous plafond est de 2,5 m dans l'appartement du particulier.

Remarque : pour cette étude, on négligera les phénomènes de réflexion du son sur les parois de la pièce.

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.

1,5

Exercice 2 : « L'AMMONIAQUE », UN PRODUIT MÉNAGER COURANT (5 points)

« L'ammoniaque » est une solution obtenue en dissolvant du gaz ammoniac, $\text{NH}_3(\text{g})$, dans l'eau. Cette solution est présente dans de nombreux produits d'entretien. On dispose d'une bouteille « d'ammoniaque » achetée dans le commerce dont l'étiquette précise : « Ammoniaque concentration 13% ». « 13% » correspond au titre massique de la solution commerciale en ammoniac. On souhaite mettre en œuvre un protocole permettant de déterminer la concentration en ammoniac dans la solution commerciale.



Données à 25°C :

- Masse molaire de l'ammoniac : $M(\text{NH}_3) = 17,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Densité de la solution d'ammoniaque commerciale : $d = 0,97$
- $\text{p}K_a = -\log K_a$
- couple acide-base : $\text{NH}_4^+(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{aq})$, $\text{p}K_a = 9,2$
- $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ est la formule chimique de l'ion ammonium.

Étude préliminaire : étude du couple ion ammonium/ammoniac

L'ammoniac est très soluble dans l'eau.

1. Préciser si l'ammoniac est un acide ou une base en solution aqueuse. Justifier. 0,5
2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation mise en jeu entre l'ammoniac dissous, $\text{NH}_3(\text{aq})$, et l'eau. 0,5
3. Donner la valeur de la constante d'acidité K_a du couple $\text{NH}_4^+(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{aq})$ et rappeler la relation liant, à l'équilibre, aux concentrations des espèces. 0,5
4. Tracer le diagramme de prédominance du couple $\text{NH}_4^+(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{aq})$. 0,25
5. Expliquer comment retrouver le $\text{p}K_a$ du couple $\text{NH}_4^+(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{aq})$ à partir du diagramme de distribution représenté en **figure 1**. 0,25

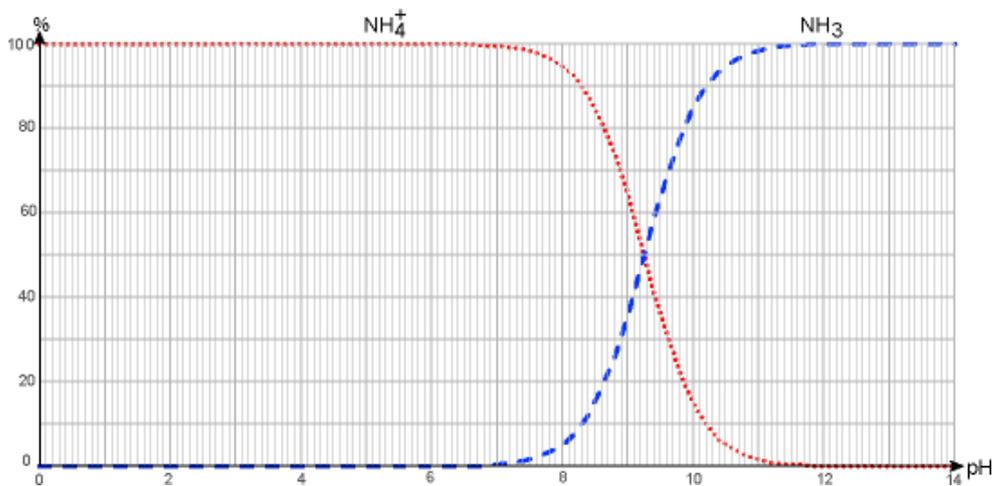


figure 1 : diagramme de distribution du couple $\text{NH}_4^+(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{aq})$ en fonction du pH

Concentration attendue en ammoniac dans la solution commerciale

6. À partir de la donnée figurant sur l'étiquette, montrer que la concentration en quantité de matière de l'ammoniac dans la solution commerciale est de l'ordre de $7,4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. 0,5

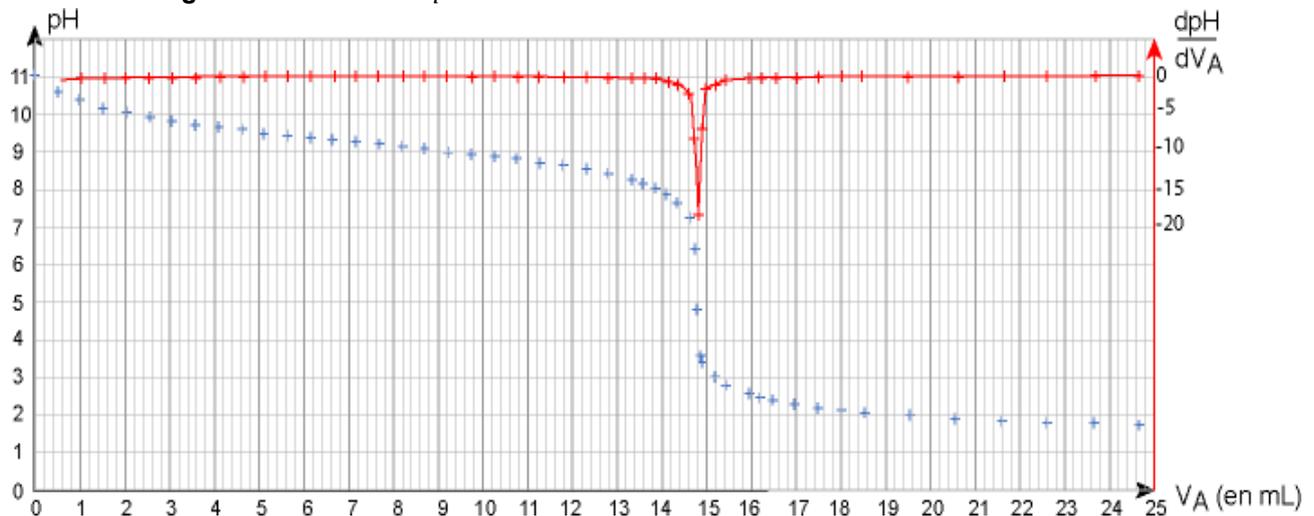
Titration de la solution « d'ammoniaque » commerciale

La solution S_0 de la bouteille « d'ammoniaque » étant trop concentrée pour réaliser le titrage, une solution S_d , 100 fois moins concentrée est préparée et on réalise un titrage suivi par pH-métrie de cette solution diluée.

- On prélève un volume $V_d = 10,0$ mL de solution S_d .
- On titre ce prélèvement par une solution d'acide chlorhydrique ($H_3O^+(aq)$, $Cl^-(aq)$) de concentration $C_A = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ avec une incertitude type $u(C_A) = 0,02 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

Les résultats des mesures effectuées au cours du titrage et leur exploitation sont présentés dans la **figure 2**.

figure 2 : évolution du pH et de sa dérivée en fonction de V_A



- À partir des résultats expérimentaux,
 - déterminer la valeur du pH de la solution S_d ;
 - déterminer l'espèce de couple ammonium/ammoniac prédominante au début du titrage, et celle prédominante à la fin du titrage ;
 - en déduire que l'équation de la réaction acide-base support du titrage est la suivante :

$$NH_3(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + H_2O(\ell)$$
- Définir l'équivalence du titrage et déterminer le volume équivalent V_E de ce titrage.
- Déterminer la valeur de la concentration C_d en ammoniac dans la solution S_d .

0,75

0,5

0,5

Les incertitudes-types sur les volumes prélevés sont estimées à 0,2 mL.

Par ailleurs, l'incertitude-type $u(C_d)$ sur la concentration C_d se déduit des grandeurs mesurées par :

$$\frac{u(C_d)}{C_d} = \sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(C_A)}{C_A}\right)^2 + \left(\frac{u(V_d)}{V_d}\right)^2}$$

Enfin, dans ces conditions expérimentales, le rapport entre la concentration C de la solution S_0 de la bouteille « d'ammoniaque » et son incertitude $u(C)$ est considéré comme étant le même qu'entre la concentration C_d de la solution diluée S_d et son incertitude $u(C_d)$:

$$\frac{u(C)}{C} = \frac{u(C_d)}{C_d}$$

- Déterminer la valeur de l'incertitude-type $u(C)$ sur la concentration en ammoniac de la solution S_0 commerciale. Écrire le résultat de la mesure de cette concentration C avec son incertitude associée.
- Confronter la valeur de la concentration déterminée expérimentalement avec l'indication de l'étiquette de la bouteille « d'ammoniaque » commerciale. Commenter.

0,5

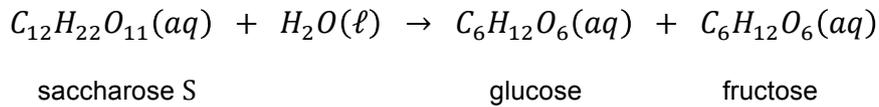
0,25

Exercice 3 : EVOLUTION DU SUCRE DANS UNE BOISSON GAZEUSE (5 points)

Les sodas sont des solutions acides constituées principalement d'eau, de dioxyde de carbone et de saccharose dissous.

Lors de leur fabrication, les industriels indiquent sur l'emballage une date de durabilité minimale (DDM). Après cette date, le produit pourrait ne plus correspondre aux standards de qualité. Pour un soda, la DDM est généralement de 3 mois. Un soda acheté depuis longtemps est moins « riche en bulles » mais ce n'est pas la seule altération constatable.

En effet, le saccharose subit, en milieu acide, une hydrolyse qui est une transformation totale conduisant à la formation de deux autres sucres, le glucose et le fructose, modélisée par la réaction d'équation :



Le mélange de glucose et de fructose a un pouvoir sucrant différent de celui du saccharose d'où une modification de la saveur sucrée de la boisson.

La problématique de cet exercice est de déterminer le pourcentage de saccharose restant dans la boisson lorsque la DDM est atteinte.

On réalise en laboratoire la réaction d'hydrolyse du saccharose à une température constante de 20°C et dans une solution tampon fixant le pH à 2,5.

On effectue un suivi de la réaction par une méthode physique pour déterminer la concentration en saccharose, notée [S]. L'évolution temporelle de la concentration en saccharose est représentée en figure 1.

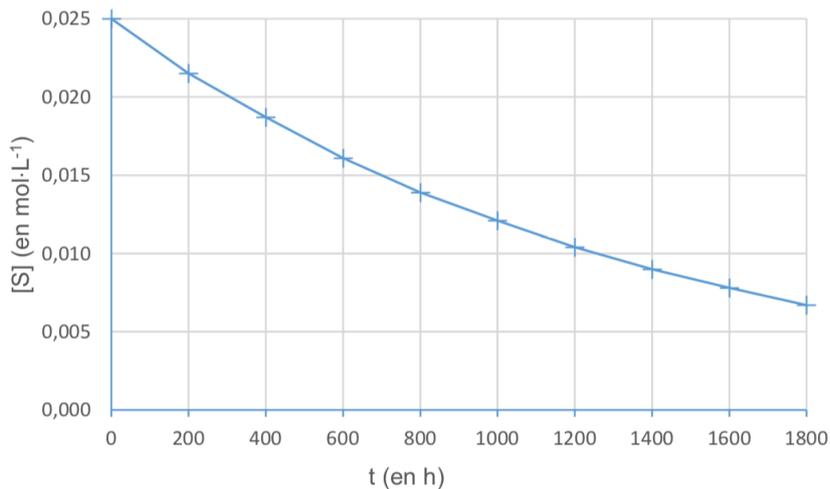


figure 1 : évolution temporelle de la concentration [S] du saccharose

1. Expliquer pourquoi les mesures effectuées ne permettent pas de répondre directement à la problématique.

0,5

Pour pouvoir estimer le pourcentage de saccharose restant lorsque la DDM est atteinte, on souhaite modéliser l'évolution temporelle de sa concentration [S]. On émet l'hypothèse que cette évolution suit une loi de vitesse d'ordre 1 et on souhaite vérifier cette hypothèse.

2. Définir la vitesse volumique v de disparition du saccharose.

0,5

3. Expliquer comment obtenir une estimation de la valeur de la vitesse volumique de disparition du saccharose à un instant t donné à partir des mesures réalisées. L'explication doit être illustrée par la réalisation de cette estimation à $t = 600$ h.

1

4. Dans le cas d'une loi de vitesse d'ordre 1, rappeler la relation existant entre la vitesse volumique de disparition v du saccharose, la concentration en saccharose [S] et une constante de vitesse notée k .

0,5

Sur le graphique de la **figure 2**, l'évolution de la vitesse volumique v de disparition du saccharose est représentée en fonction de la concentration en saccharose $[S]$.

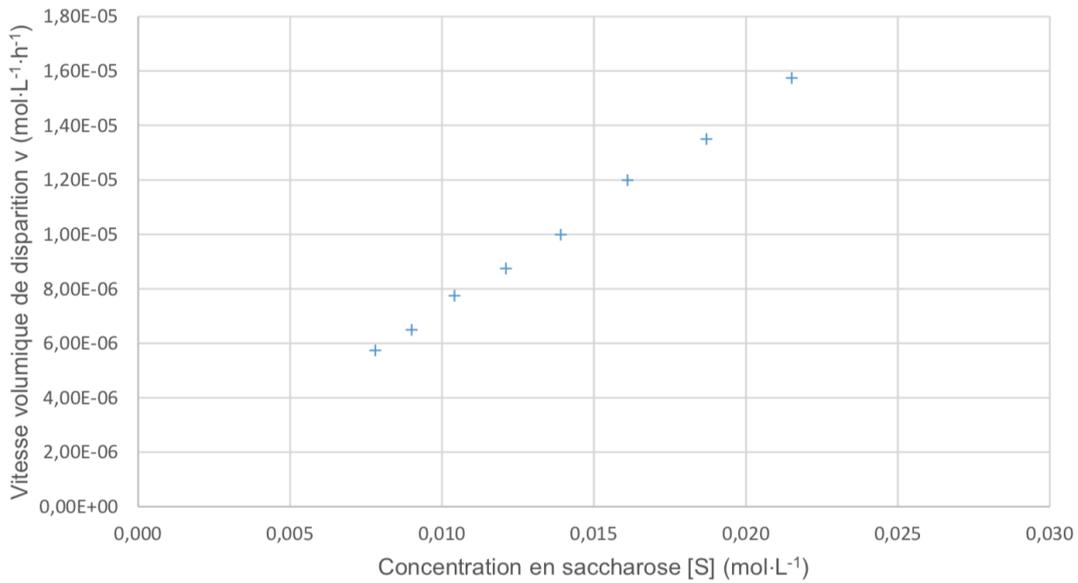


figure 2 : évolution de la vitesse v de disparition du saccharose en fonction de la concentration $[S]$ en saccharose

- Discuter de l'accord des mesures avec une loi de vitesse d'ordre 1.
- Montrer que la constante de vitesse k a une valeur de l'ordre de $7,3 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1}$.

L'évolution de la concentration en saccharose s'écrit : $[S] = [S]_0 \cdot e^{-kt}$
 $[S]_0$ désigne la concentration initiale en saccharose.

- Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$.
- Déterminer la valeur du temps de demi-réaction dans les conditions de l'expérience. Expliquer la démarche suivie.
- Estimer le pourcentage de saccharose restant dans le soda lorsque la DDM de 3 mois est atteinte.

Le candidat est invité à présenter sa démarche même si elle n'est pas complètement aboutie.

0,25
0,5
0,5
0,5
0,75
—