

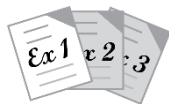
# Spécialité Physique-Chimie – Sujet A

Baccalauréat « blanc » du lundi 30 janvier 2023

Durée : 3h30 – calculatrice autorisée

Chacun des trois exercices est à rédiger sur une copie à part indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

## Exercice 1 : Saturne, ses anneaux et ses satellites – 10 points



**Rappel : on rend 3 copies !**

Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

Saturne, deuxième planète la plus massive du Système Solaire après Jupiter, fascine les astronomes depuis sa première observation par Galilée en 1610 en raison des anneaux imposants qui l'entourent. Ce problème propose de répondre à plusieurs questions concernant ces célèbres anneaux : comment peut-on les observer ? Pourquoi Galilée ne les a-t-il pas distingués lors de ses premières observations ? Sont-ils en mouvement et, si oui, quel mouvement ? Les deux parties sont indépendantes.



### 1<sup>ère</sup> partie : comment observer les anneaux de Saturne avec une lunette astronomique

On attribue généralement à Galilée la découverte des anneaux de Saturne, suite aux observations qu'il a réalisées avec sa lunette astronomique. Cependant Galilée n'a jamais véritablement compris ce qu'il voyait : cette partie a pour but de comprendre pourquoi.

#### Données et relation utiles pour la 1<sup>ère</sup> partie

##### ■ Approximation des petits angles

Tous les angles intervenant dans cette partie seront supposés suffisamment petits pour que l'approximation suivante soit valide :  $\theta \approx \tan \theta \approx \sin \theta$ .

##### ■ Diamètre angulaire d'un objet lointain :

Le diamètre angulaire (exprimée en radian) d'un objet de taille  $d$  situé à une distance  $D$  de l'observateur peut être calculé à l'aide de la relation approchée (valable si  $D \gg d$ ) :

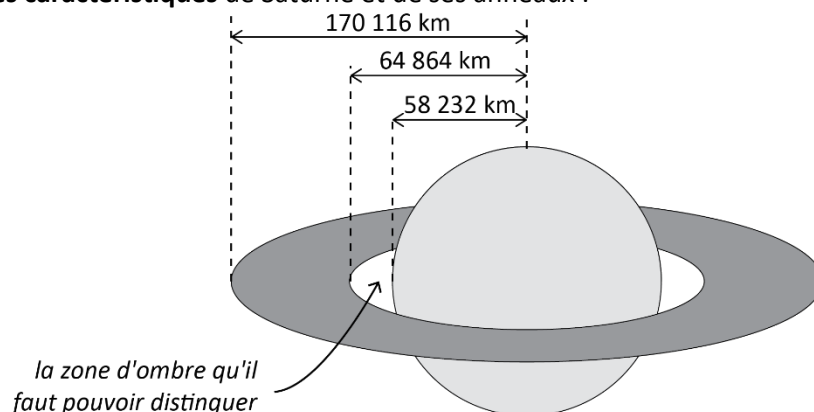
$$\theta \approx \frac{d}{D}$$

##### ■ Pouvoir séparateur de l'œil

Notre œil peut distinguer les détails d'un objet (ou d'une image) si son diamètre angulaire est supérieur à une valeur limite appelée pouvoir séparateur et de valeur moyenne :  $\alpha_{\text{œil}} = 3 \times 10^{-4}$  rad.

##### ■ Distance moyenne entre Saturne et la terre : $1,3 \times 10^9$ km

##### ■ Quelques distances caractéristiques de Saturne et de ses anneaux :



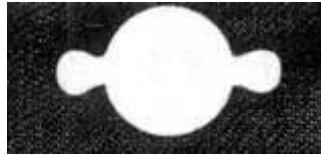
## Étude générale d'une lunette astronomique

On étudie dans cette partie une lunette astronomique constituée :

- d'un objectif équivalent à une lentille convergente de centre optique  $O_1$  et de distance focale  $f'_1$  ;
  - d'un oculaire équivalent à une lentille convergente de centre optique  $O_2$  et de distance focale  $f'_2$ .
1. La figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie schématise le principe de la lunette astronomique visant un objet  $A_0B_0$  à l'infini. La compléter en représentant :
    - le foyer-objet  $F_2$  et le foyer-image  $F'_2$  de la lentille  $L_2$  tels que la lunette soit afocale ;
    - la suite du trajet du rayon de lumière issu de  $B_0$  et l'image intermédiaire  $A_1B_1$  ;
    - deux rayons de lumière issus de  $B_1$  permettant d'interpréter la formation de l'image définitive  $B_2$ .
  2. Où se forme l'image  $A_2B_2$  de l'objet à l'infini observé avec une lunette afocale ? Quel est l'intérêt, pour l'œil, d'une telle image ?
  3. Sur la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie, figurer les diamètres angulaires  $\theta_0$  et  $\theta_2$  de l'objet visé et de son image.
  4. Définir le grossissement  $G$  de la lunette et établir son expression en fonction des distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$  de l'objectif et de l'oculaire.

## Pourquoi Galilée n'a d'abord pas compris qu'il voyait des anneaux

Lors de ses toutes premières observations de Saturne avec sa lunette astronomique, Galilée a d'abord cru que cette planète n'était pas sphérique. Il décrit « une étrange planète semblant posséder des oreilles » et réalise ce dessin :



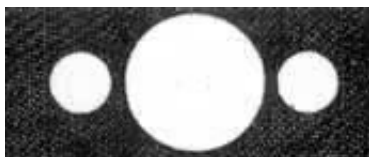
*un des premiers dessins de Saturne réalisé par Galilée dans Le messager des étoiles (1610)*

Galilée utilisait une lunette dont l'objectif avait une distance focale de valeur 980 mm. Pour comprendre que Saturne était entourée d'anneaux, il lui aurait fallu distinguer la zone située entre le globe de Saturne et le début des anneaux (voir figure dans l'encadré de la page précédente).

5. Galilée a-t-il utilisé un oculaire de distance focale trop faible ou trop élevée pour bien voir les anneaux ? Justifier à l'aide des réponses précédentes, sans faire de calcul.
6. Que vaut, au maximum, la distance focale de l'oculaire qui aurait permis à l'œil de Galilée de distinguer l'image de la zone d'ombre située entre Saturne et ses anneaux ? Un raisonnement détaillé est attendu dans cette question.

## 2<sup>ème</sup> partie : étude mécanique des anneaux et des satellites de Saturne

### Quelques hypothèses historiques concernant les anneaux



*deux dessins de Saturne réalisés par Galilée dans Le messager des étoiles (1610)*

7. Quelques soirs après sa première observation, Galilée change d'opinion et pense que la planète Saturne est entourée de deux satellites immobiles par rapport à elle ; il réalise le dessin reproduit à gauche ci-dessus. Montrer que cette nouvelle hypothèse de Galilée est incompatible avec l'une des lois de Kepler, que l'on citera.

Après des semaines d'observation, Galilée réalise le dessin reproduit à droite ci-dessus, qu'il ne commente pas, reconnaissant ne pas très bien comprendre ce qu'il vu. C'est Christiaan Huygens, quelques décennies plus tard, qui proposera l'hypothèse d'un anneau solide orbitant autour de Saturne, mais cette hypothèse sera elle aussi démentie par Maxwell, au XIX<sup>ème</sup> siècle : selon lui un anneau solide se briserait forcément. La suite de ce problème a pour but de comprendre pourquoi.

## Étude newtonienne d'un bloc de glace appartenant aux anneaux de Saturne

On sait désormais que les anneaux sont composés d'une multitude de blocs de glace, en orbite autour de Saturne et se comportant individuellement comme autant de satellites indépendants les uns des autres.

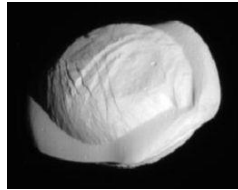
On étudie dans cette partie le mouvement du centre d'inertie  $B$  d'un bloc de glace, en mouvement circulaire à une distance  $r$  du centre de Saturne. L'étude a lieu dans le référentiel « saturnocentrique », supposé galiléen.

La masse de Saturne sera notée  $M_S$  et celle du bloc de glace sera notée  $m$ .

8. La figure 2 donnée sur **l'annexe à rendre avec la copie** représente le centre  $S$  de Saturne, le centre  $B$  du bloc de glace étudié et sa trajectoire circulaire. Compléter cette figure en représentant les vecteurs unitaires  $\vec{u}_T$  et  $\vec{u}_N$  du repère de Frenet, ainsi que la force  $\vec{F}_{S/B}$  exercée par Saturne sur le bloc de glace.
9. On admet que  $\vec{F}_{S/B}$  est la seule force non négligeable qui s'exerce sur le bloc de glace. Citer et exploiter la 2<sup>ème</sup> loi de Newton pour établir l'expression du vecteur-accelération  $\vec{a}$  du bloc de glace dans le repère de Frenet, en fonction de  $G$ ,  $M_S$  et  $r$ .
10. Par une méthode de votre choix, montrer que le mouvement du bloc de glace est uniforme.
11. Exploiter l'expression de  $\vec{a}$  obtenue à la question 9 pour établir l'expression suivante de la vitesse  $v$  du bloc de glace :

$$v = \sqrt{\frac{M_S G}{r}}$$

12. En 2017, la mission Cassini a mis en évidence l'existence d'un satellite de forme étrange : Pan.



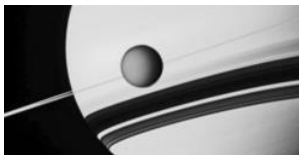
*Ceci n'est pas un ravioli... c'est Pan, photographié par la sonde Cassini en 2017*

Pan est en orbite autour de Saturne, au beau milieu des anneaux : pourquoi n'est-il pas heurté par les blocs de glace ? Exploiter la relation établie à la question 11 pour répondre.

## Titan au service de la compréhension des anneaux

C'est la découverte de Titan, le plus massif des satellites de Saturne (qui en compte 82), qui a permis de comprendre la mécanique de ses anneaux.

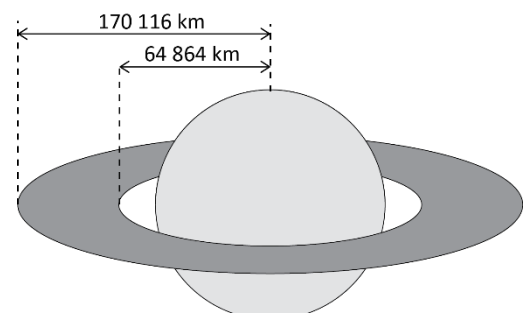
### DONNÉES utiles



- Constante de Gravitation Universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  (unité SI)
- Titan est en orbite circulaire autour de Saturne.
- Rayon de la trajectoire de Titan :  $r_T = 1\,221\,870$  km
- Masse de Titan :  $m_T = 1,345 \times 10^{23}$  kg
- Période de révolution de Titan :  $T_T = 15,95$  jours terrestres

13. La vitesse de Titan satisfait la relation établie à la question 11. On note  $T_T$  sa période de révolution et  $r_T$  le rayon de son orbite. Exprimer le quotient  $T_T^2 / r_T^3$  et montrer que l'on retrouve une des trois lois de Kepler.
14. Ce sont les caractéristiques orbitales de Titan qui ont permis d'estimer la masse de Saturne  $M_S$ . Exprimer en fonction des données ci-dessus et calculer numériquement  $M_S$ .
15. Exploiter les résultats précédents pour calculer la période de révolution  $T_1$  d'un bloc de glace appartenant à la bordure intérieure des anneaux, plus celle, notée  $T_2$ , d'un bloc de glace appartenant à la bordure extérieure des anneaux. Montrer que les résultats obtenus expliquent l'affirmation de Maxwell : un anneau solide se serait forcément brisé.

**Données :** la figure ci-contre rappelle quelques distances utiles



## Exercice 2 : titrage d'un vinaigre blanc commercial – 5 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger sur une copie séparée des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

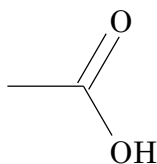
Le vinaigre fort est connu en Mésopotamie il y a plus de 3 000 ans av. J.-C.. Les bactéries acétiques produisant l'acide acétique à partir du vin et d'oxygène ont été décrites par le chimiste Louis Pasteur. Elles sont présentes partout dans le monde civilisé, et toute culture pratiquant le brassage de la bière ou du vin a inévitablement découvert le vinaigre, résultat naturel de l'évolution de ces boissons alcoolisées laissées à l'air libre.

*D'après wikipédia*

Aujourd'hui il est très souvent utilisé pour remplacer les produits ménagers modernes, dans cet exercice nous allons en étudier la propriété acide.

### DOCUMENT 1 : données sur l'acide éthanoïque

- Formule topologique :



- Masse molaire :  $M = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

### DOCUMENT 2 : données sur la solution commerciale

- Masse volumique :  $\rho = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$
- Titre en acide : 8° (cela signifie qu'il y a 8g d'acide éthanoïque pour 100g de vinaigre).

### DOCUMENT 3 : extrait d'une table de spectroscopie infrarouge

| Liaison                  | Nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ ) | Caractéristiques de la bande d'absorption |
|--------------------------|------------------------------------|---|
| O – H alcool             | 3200 – 3700                        | forte, large                              |
| O – H acide carboxylique | 2600 – 3200                        | forte à moyenne, large                    |
| C – H                    | 2800 – 3100                        | forte ou moyenne                          |
| C = O                    | 1650 – 1740                        | forte, fine                               |

### DOCUMENT 4 : comparaison d'une valeur mesurée à une valeur de référence

On compare une valeur mesurée  $x_{\text{mes}}$  à une valeur de référence  $x_{\text{réf}}$  en calculant le quotient suivant :

$$z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{u(x_{\text{mes}})}$$

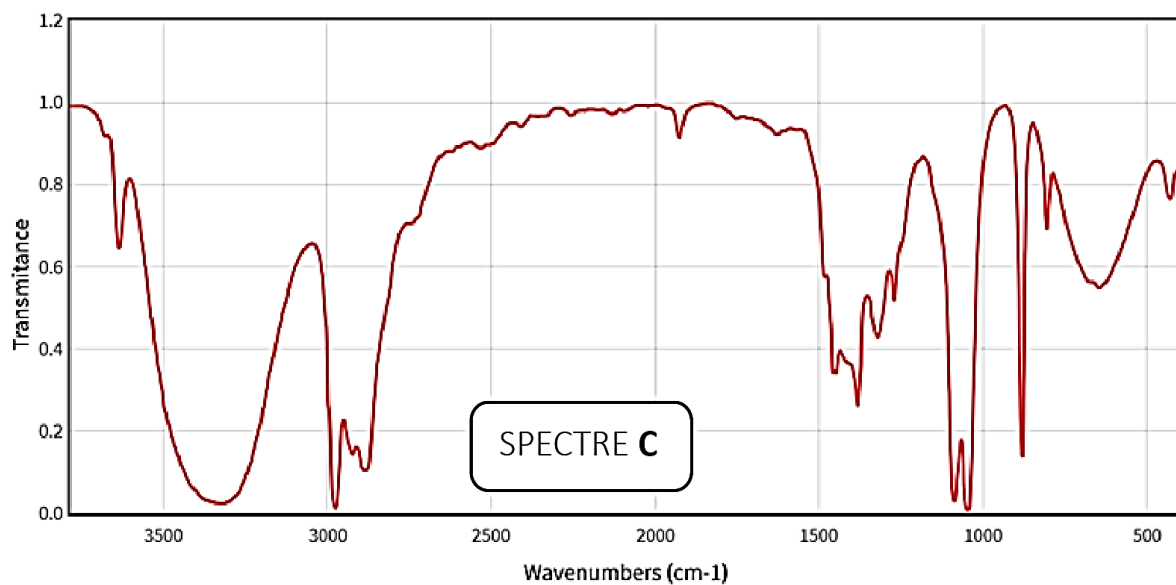
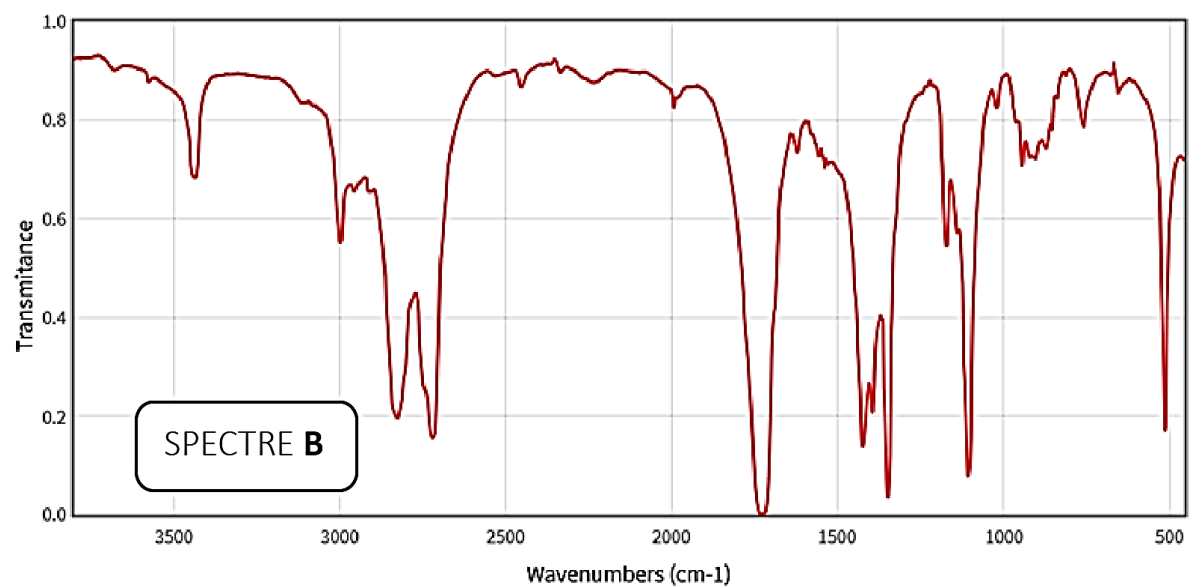
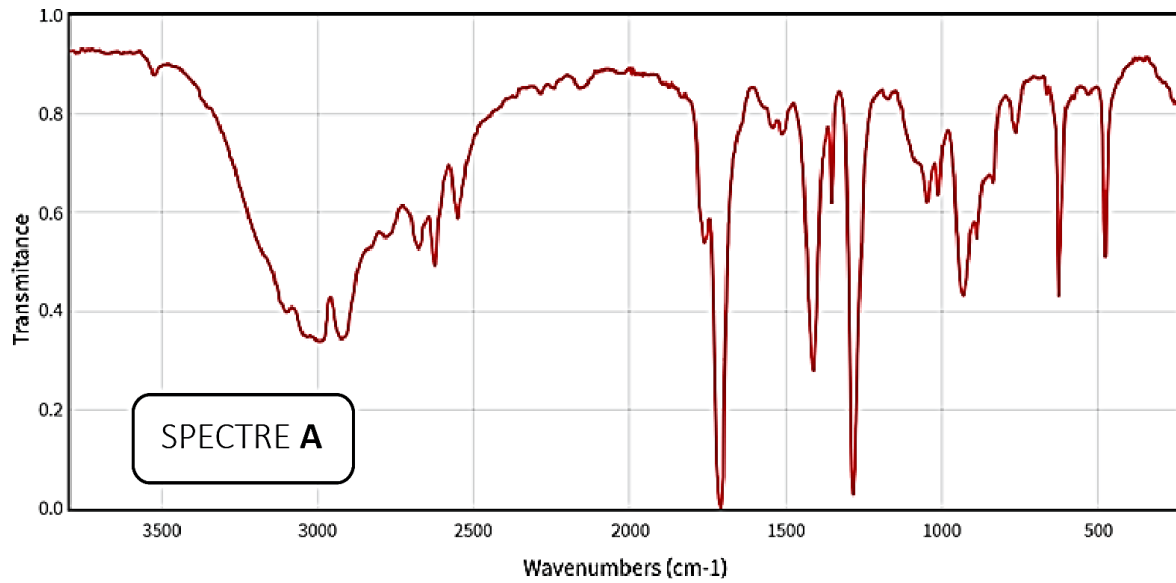
Ce quotient, parfois appelé « z-score », est un écart rapporté à l'incertitude de mesure.

On conviendra du critère suivant : si  $z < 2$ , la valeur mesurée est jugée compatible avec la valeur de référence.

## 1<sup>ère</sup> partie : propriété de l'acide éthanoïque

1. Donner la définition d'un acide selon la théorie de Brönsted et citer les noms de deux acides usuels.
2. Donner la formule de Lewis de l'ion éthanoate, base conjuguée de l'acide éthanoïque.

3. Parmi les trois spectres infrarouge **A**, **B** et **C** ci-après, identifier celui pouvant être attribué à l'acide éthanoïque. Justifier la réponse en précisant pourquoi vous écartez chacun des deux autres spectres.



## 2<sup>ème</sup> partie : titrage de l'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre blanc

Un titrage de l'acide éthanoïque contenu dans une solution commerciale de vinaigre blanc par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium est réalisé en mettant en œuvre le protocole ci-après.

### Protocole du titrage :

- Diluer 10 fois la solution commerciale.
  - Prélever un volume  $V_a = 20,0 \text{ mL}$  de la solution diluée  $S_a$  de concentration  $C_0$ .
  - Titrer le prélèvement par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) dont la concentration vaut  $C_b = 2,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le suivi du titrage est effectué par pH-métrie.
  - Utiliser un tableur-grapheur dans lequel sont entrées les différentes valeurs du pH mesurées en fonction du volume  $V_b$  de solution d'hydroxyde de sodium ajoutée.
- 
4. Proposer un protocole, en précisant le nom de la verrerie utiliser, pour réaliser 50mL de solution diluée.
  5. Légender le dispositif expérimental présenté sur **l'annexe 1 à rendre avec la copie**, utilisé pour réaliser le titrage.
  6. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
  7. Sur **l'annexe 2 à rendre avec la copie**, à l'aide de la méthode des tangentes, déterminer le volume équivalent  $V_E$ . Laisser les traits de construction.
  8. Calculer la concentration  $C_0$  de la solution diluée et déduire la concentration  $C$  de la solution commerciale.

## 3<sup>ème</sup> partie : la valeur mesurée est-elle compatible avec l'indication de la bouteille ?

Dans les conditions de l'expérience, les incertitudes-type sur la concentration  $C_b$  et sur les volumes  $V_a$ ,  $V_E$  (volume à l'équivalence) sont les suivantes :

$$u(C_b) = 0,02 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$u(V_a) = 0,2 \text{ mL}$$

$$u(V_E) = 0,5 \text{ mL}$$

L'incertitude-type sur la concentration  $C_0$  d'acide éthanoïque dans la solution diluée est déterminée à partir des valeurs et incertitudes-type sur  $C_a$ ,  $V_a$  et  $V_E$  à partir de l'expression suivante :

$$u(C_0) = C_0 \times \sqrt{\left(\frac{u(C_b)}{C_b}\right)^2 + \left(\frac{u(V_a)}{V_a}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2}$$

9. Écrire le résultat de la mesure de la concentration expérimentale  $C$  de la solution commerciale assortie de son incertitude, sachant que dans les conditions expérimentales :

$$\frac{u(C)}{C} = \frac{u(C_0)}{C_0}$$

10. Confronter la concentration  $C$  obtenue expérimentalement à la concentration indiquée par le fabricant  $C_{\text{fab}}$  en calculant le « z-score » défini dans le document 4. Conclure.

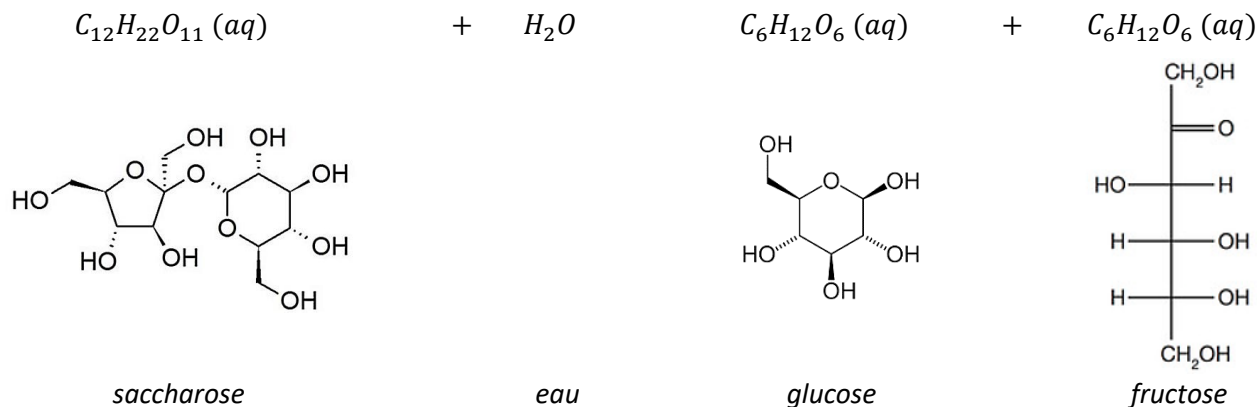
## Exercice 3 : étude cinétique de l'hydrolyse du saccharose – 5 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger sur une copie séparée des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

Les sodas sont des solutions acides constituées principalement d'eau, de dioxyde de carbone, d'arômes et de saccharose dissous. Cependant, le saccharose subit, en milieu acide, une hydrolyse qui est une transformation lente et totale conduisant à la formation de deux autres sucres, le glucose et le fructose. Cette transformation, qui a lieu sans modification de la densité de la solution, est modélisée par la réaction d'équation :



Cette réaction d'hydrolyse entraîne une altération de la qualité du soda. Lorsque la teneur en saccharose diminue, le soda devient moins « riche en bulles » et sa saveur sucrée est modifiée, le mélange de glucose et de fructose ayant un pouvoir sucrant différent de celui du saccharose.

Les industriels considèrent que la qualité du soda est satisfaisante tant que le pourcentage massique résiduel en saccharose est supérieur ou égal à 2 %. Ainsi, lors de la fabrication du soda, ils indiquent sur l'emballage une date de durabilité minimale (DDM) garantissant un pourcentage massique minimal de 2 % en saccharose.

**On étudie dans cet exercice les caractéristiques cinétiques de l'hydrolyse du saccharose dans un soda à base de cola. L'objectif de cette étude est de vérifier que la DDM de 3 mois indiquée sur l'emballage du soda est bien conforme à un pourcentage massique résiduel de 2 % en saccharose.**

### DONNÉES et relations utiles

- Masses molaires atomiques (en  $g \cdot mol^{-1}$ ) :  $M_H = 1,0$      $M_C = 12,0$      $M_O = 16,0$
- Densité du soda étudié :  $d_{soda} = 1,042$
- Masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1,00 g \cdot mL^{-1}$
- Le pourcentage massique noté  $P_m(\text{soluté})$  d'un soluté dans une solution est égal au quotient de la masse  $m_{(\text{soluté})}$  de soluté par la masse  $m_{sol}$  de solution :

$$P_m(\text{soluté}) = \frac{m_{(\text{soluté})}}{m_{sol}}$$

- Le pourcentage massique peut s'écrire :

$$P_m(\text{soluté}) = \frac{C_{(\text{soluté})} \times M_{(\text{soluté})}}{d_{sol} \times \rho_{eau}}$$

avec :  $C_{(\text{soluté})}$  concentration en quantité de matière du soluté (en  $mol \cdot L^{-1}$ ),

$M_{(\text{soluté})}$  masse molaire du soluté (en  $g \cdot mol^{-1}$ ) et  $d_{sol}$  densité de la solution (sans unité)

1. Écrire la formule semi-développée du fructose.
2. Sur la formule précédente, entourer les groupes caractéristiques présents et les nommer. Donner le nom de la (ou les) famille(s) fonctionnelle(s) correspondante(s).

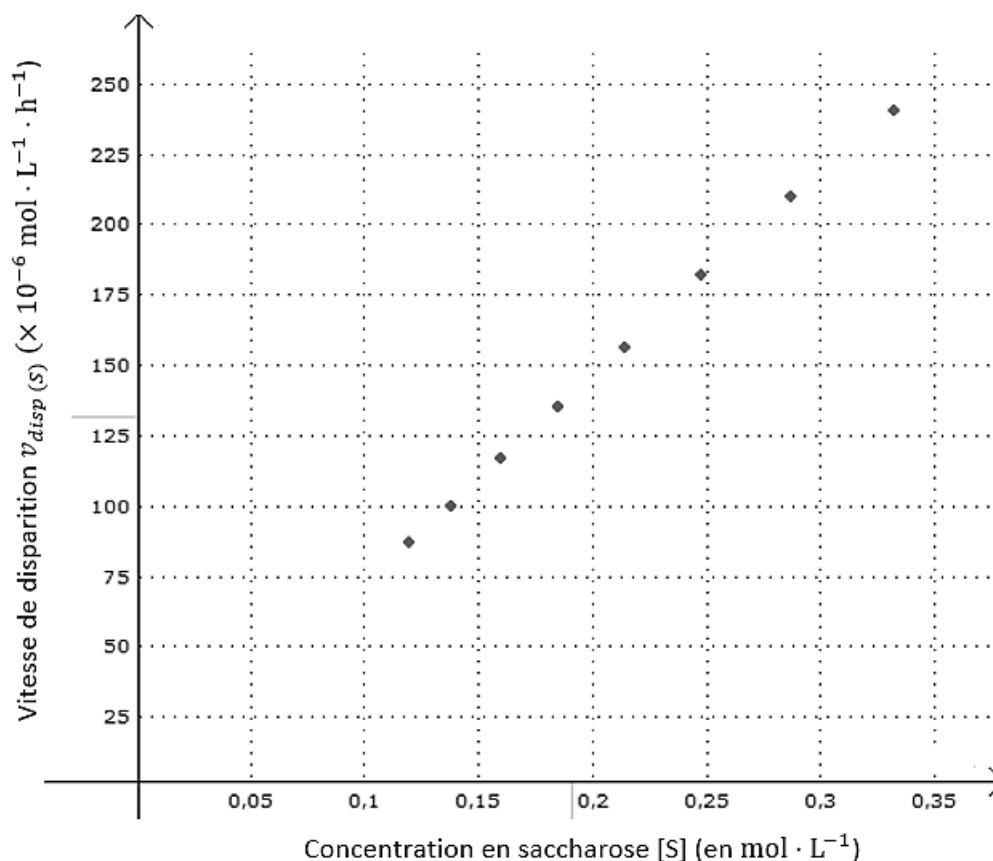
On effectue au laboratoire un suivi de la réaction d'hydrolyse du saccharose dans le soda. L'expérience est réalisée à 20°C par une méthode physique permettant de déterminer à différentes dates la concentration en saccharose notée  $[S]$ . L'évolution temporelle de la concentration  $[S]$  est représentée sur la **Figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie**.

3. D'après la courbe donnée en Figure 1, quel est le pourcentage massique initial en saccharose dans le soda ?
4. Montrer que la courbe obtenue ne permet pas de répondre à la problématique.

Pour répondre à la problématique, on souhaite modéliser l'évolution temporelle de la concentration en saccharose. On émet l'hypothèse que cette évolution suit une loi de vitesse d'ordre 1 et on souhaite vérifier cette hypothèse.

5. Donner l'expression de la vitesse volumique  $v_{disp(S)}$  de disparition du saccharose en fonction de la concentration en saccharose  $[S]_{(t)}$  à la date  $t$ .
6. 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 sera illustrée par la réalisation de cette estimation pour une date au choix du candidat.
7. Dans le cas d'une loi de vitesse d'ordre 1, rappeler la relation existant entre la vitesse volumique de disparition  $v_{disp(S)}$  du saccharose, la concentration en saccharose  $[S]$  et une constante de vitesse notée  $k$ .

On représente l'évolution de la vitesse volumique  $v_{disp(S)}$  de disparition du saccharose en fonction de la concentration en saccharose  $[S]$  sur la **Figure 2**.



**Figure 2** : évolution de la vitesse de disparition  $v_{disp(S)}$  du saccharose en fonction de la concentration  $[S]$  en saccharose

8. Les résultats expérimentaux sont-ils en accord avec une loi de vitesse d'ordre 1 ? Justifier.
9. Déterminer la valeur de la constante de vitesse  $k$ .
10. Rappeler la définition du temps de demi-réaction noté  $t_{1/2}$ .
11. Utiliser la **Figure 1** pour déterminer graphiquement la valeur de  $t_{1/2}$ . On tracera les traits de construction nécessaires à cette détermination.



Lorsque l'évolution temporelle de la concentration suit une loi cinétique d'ordre 1, le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  et la constante de vitesse  $k$  sont reliés par la relation :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad \text{avec } \ln(2) \approx 0,693$$

**12.** Vérifier que les réponses aux questions 9 et 11 sont en accord avec cette formule.

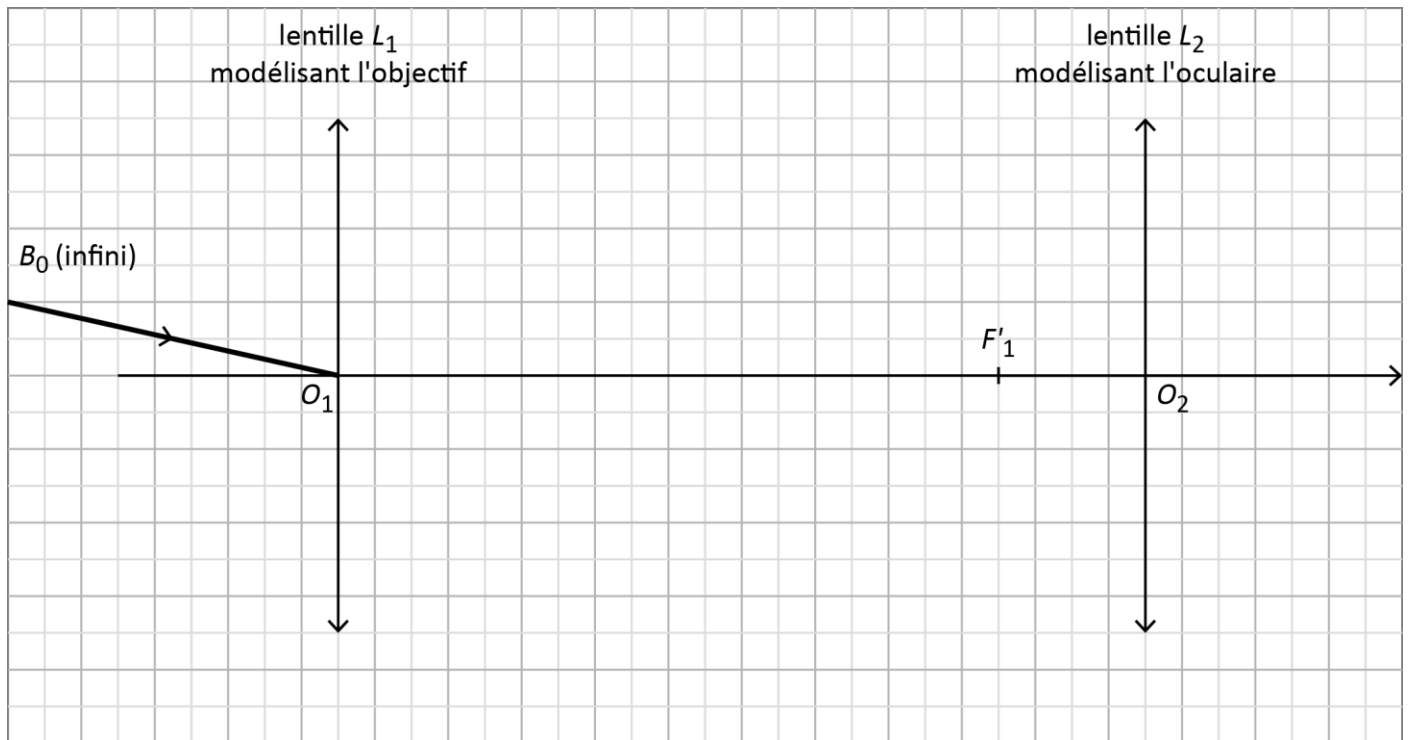
Lorsque l'évolution temporelle de la concentration suit une loi cinétique d'ordre 1, on montre également que l'évolution temporelle de la concentration en saccharose s'écrit :  $[S] = [S]_0 \times e^{-kt}$  où  $k$  est la constante de vitesse et  $[S]_0$  la concentration initiale en saccharose.

**13.** La DDM de 3 mois indiquée sur l'emballage du soda est-elle conforme au critère de qualité ? Justifier la réponse.

# ANNEXES à rendre avec la copie

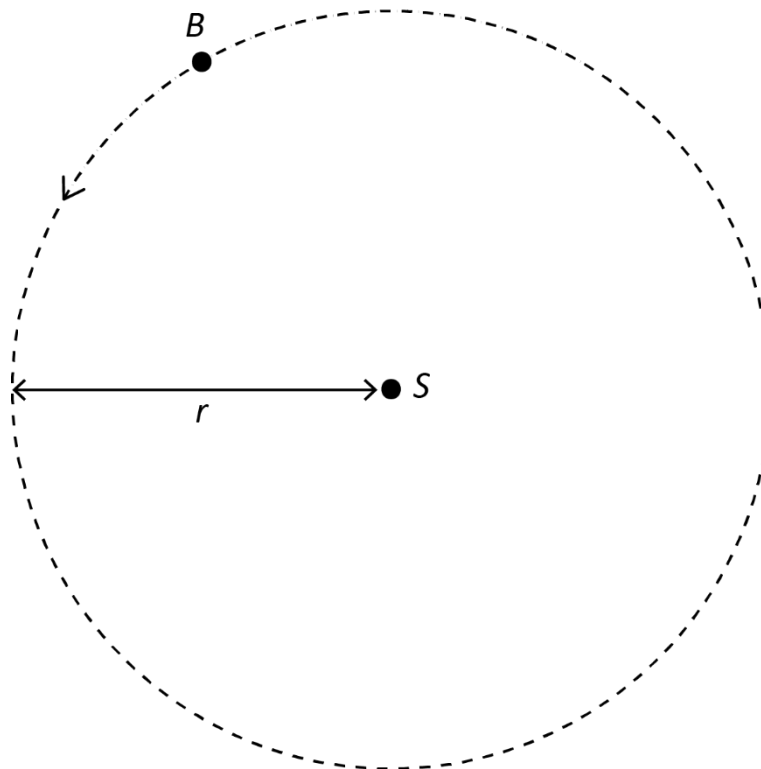
## ANNEXES à l'exercice 1 à rendre avec la copie

### Annexe 1 : modèle optique de la lunette astronomique



*Cette figure illustre le principe de la lunette astronomique mais ne respecte aucune échelle*

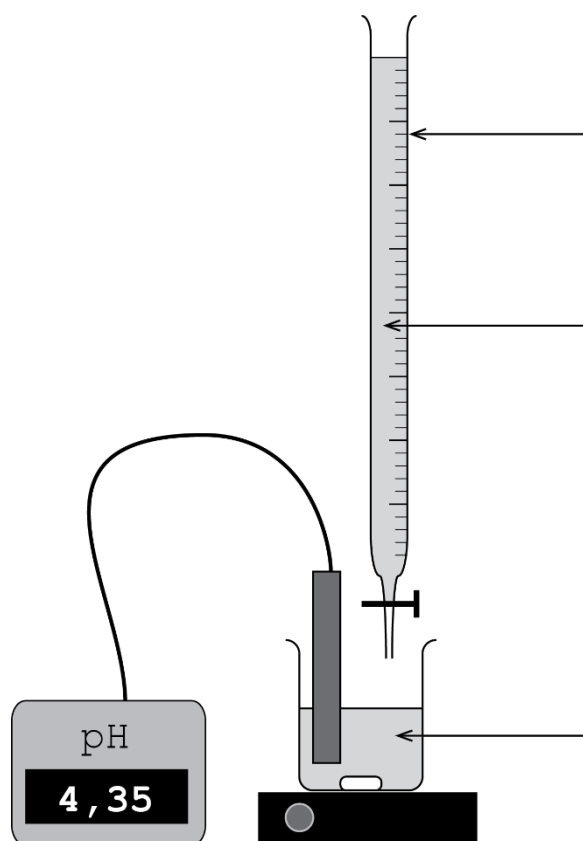
### Annexe 2 : trajectoire d'un bloc de glace au sein des anneaux



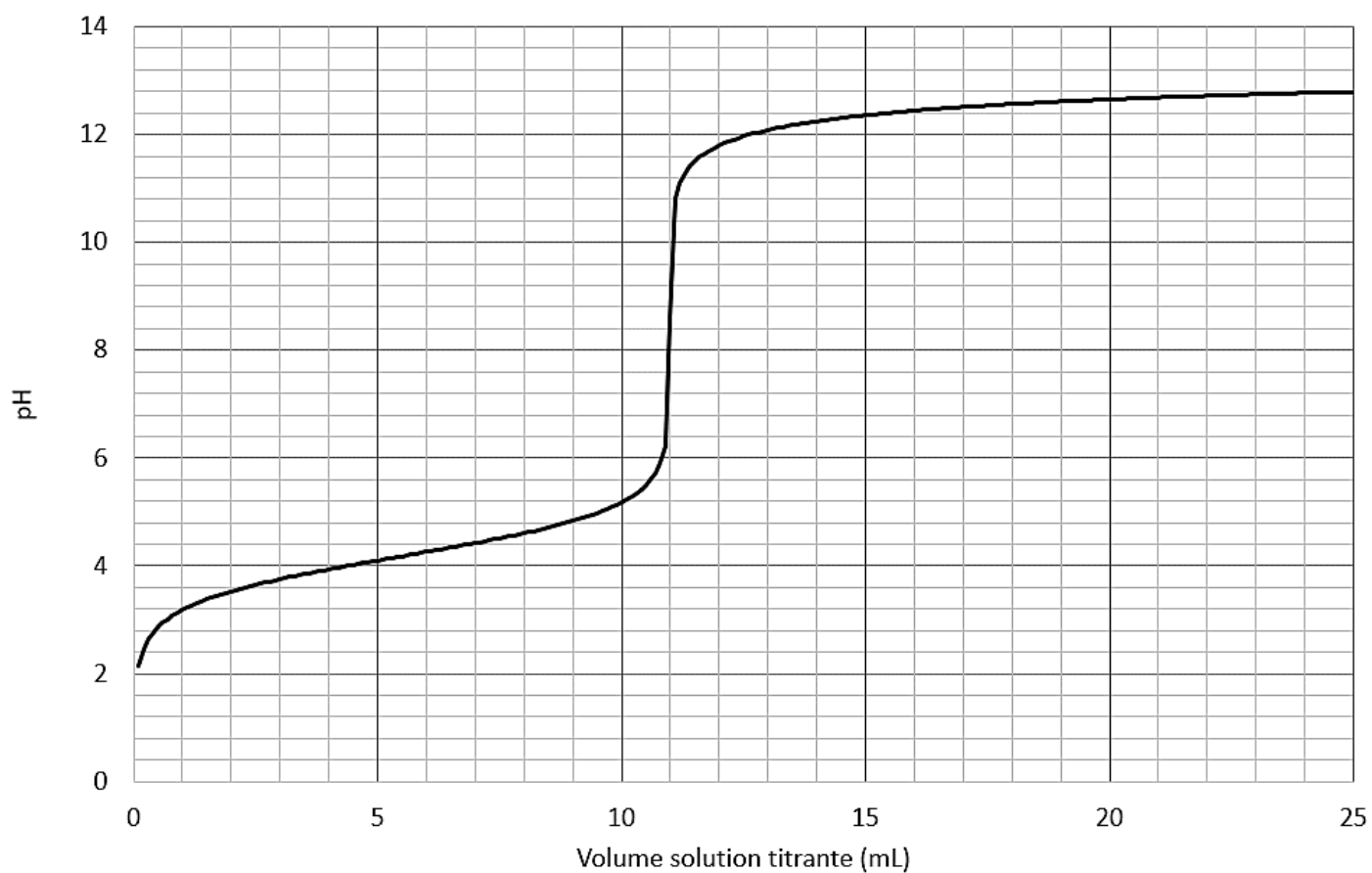
*Orbite circulaire du centre de masse  $B$  d'un bloc rocheux autour du centre  $S$  de saturne*

## ANNEXES à l'exercice 2 à rendre avec la copie

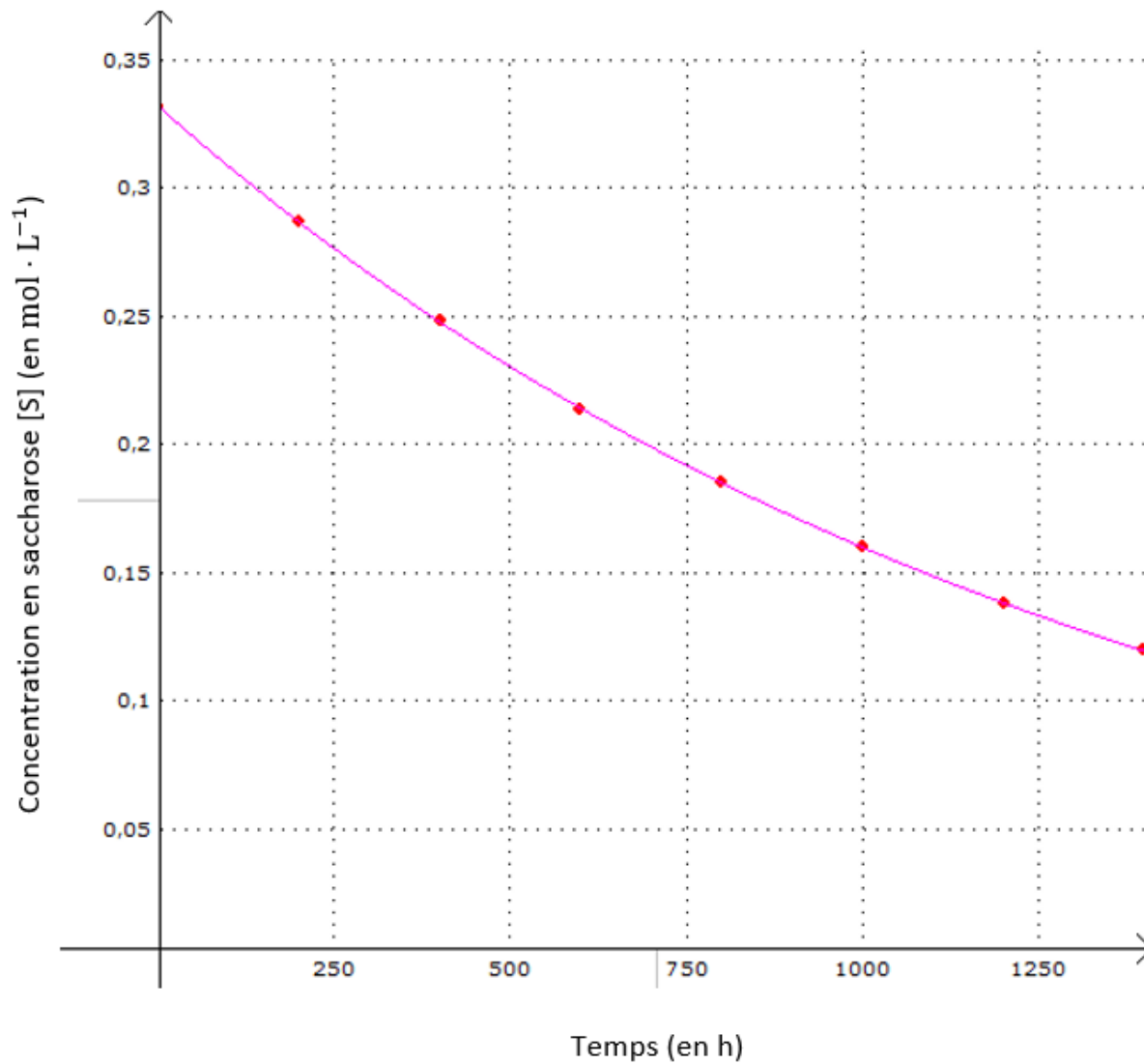
### Annexe 1 : schéma du titrage à légender



### Annexe 2 : résultat du suivi pH-métrique



## ANNEXE à l'exercice 3 à rendre avec la copie



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