

# **BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**

Session 2020

## **PHYSIQUE-CHIMIE**

Série S

Enseignement de Spécialité

Durée de l'épreuve : 3h30 – Coefficient : 8

**L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.**

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.**

**Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.**

**La feuille d'annexe (page 13/13)  
EST À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE.**

## EXERCICE I : BOISSONS ÉNERGÉTIQUES OU ÉNERGISANTES (9 points)

Il convient de différencier boisson énergétique et boisson énergisante. L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) fournit une explication à ce propos : « une boisson énergétique est un breuvage de l'effort, formulé pour fournir de l'énergie dans le cadre d'une grande dépense musculaire. "Boisson énergisante" est une expression de marketing n'ayant ni réalité réglementaire ni nutritionnelle, relative aux boissons censées mobiliser l'énergie en stimulant le système nerveux. »

L'objectif de cet exercice est d'étudier quelques constituants des boissons énergétiques et énergisantes.

### 1. Les boissons énergétiques

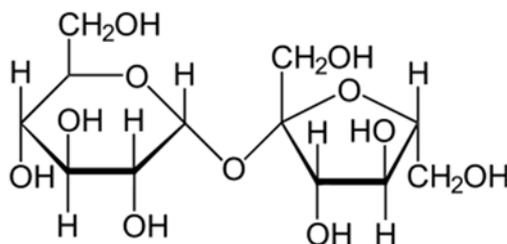
L'analyse des boissons énergétiques met en évidence trois constituants principaux : de l'eau, des glucides (sucres) et des sels minéraux.

Les glucides présents sont généralement des mélanges de sucres à absorption rapide tels que le saccharose (sucre blanc de table), le glucose, le fructose (isomère du glucose) et de sucres à absorption lente tels que les maltodextrines.

Glucose :  $\text{CH}_2(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CHO}$

Fructose :  $\text{CH}_2(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CH}(\text{OH}) - \text{CO} - \text{CH}_2(\text{OH})$

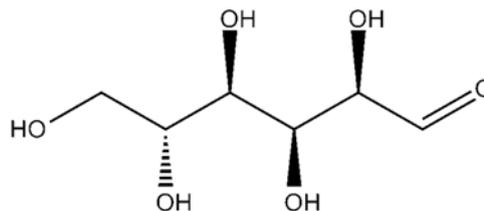
Saccharose :



#### 1.1. Le glucose et le fructose

1.1.1. Donner la représentation topologique des molécules de glucose et de fructose. Entourer les différents groupes caractéristiques présents dans chaque molécule et nommer les familles de fonctions associées.

1.1.2. Dans la nature, le glucose est présent sous forme de D-glucose, représenté ci-dessous.



Le D-glucose est une molécule chirale. Qu'est-ce que cela signifie ? Représenter l'énantiomère du D-glucose.

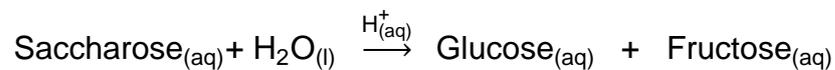
- 1.1.3. Il est possible de transformer du glucose en fructose.  
S'agit-il d'une modification de chaîne ou d'une modification de groupe caractéristique ? Justifier.

## 1.2. Étude cinétique de l'hydrolyse du saccharose

L'hydrolyse du saccharose peut s'effectuer en tube à essai en présence d'un acide ou avoir lieu dans l'organisme.

### Hydrolyse du saccharose en tube à essai

Du glucose et du fructose peuvent être formés en tube à essai par hydrolyse du saccharose s'effectuant en solution aqueuse, en milieu acide, selon la réaction totale d'équation suivante :



Les ions  $\text{H}^+_{(aq)}$  jouent le rôle de catalyseur.

### Hydrolyse du saccharose lors de l'absorption de la boisson énergétique

Le saccharose, présent dans les boissons énergétiques, subit une hydrolyse dans le corps humain, à 37 °C et à un pH de 7,4. Il est transformé en quelques minutes en deux isomères, le glucose et le fructose. Au cours de cette transformation, une enzyme appelée hydrolase intervient et augmente notablement la vitesse de réaction. Ce phénomène de catalyse enzymatique est très intéressant car les vitesses impliquées sont bien supérieures à celles observées en catalyse chimique.

- 1.2.1. Définir le terme catalyseur.

- 1.2.2. Dans l'expérience en tube à essai, de quel type de catalyse s'agit-il ? Justifier.

Afin d'étudier la cinétique de l'hydrolyse du saccharose en milieu acide, on prépare une solution aqueuse de saccharose de concentration  $c_s$  égale à  $4,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , puis on réalise l'hydrolyse.

L'évolution de la concentration du saccharose dans le milieu réactionnel est suivie par dosages successifs qui permettent de déterminer la concentration du glucose dans le mélange à un instant donné. Le graphe donnant l'évolution de la concentration en glucose du milieu réactionnel en fonction du temps est donné en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

- 1.2.3. Déterminer, sur le graphe donné en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, la valeur du temps de demi-réaction de cette hydrolyse.

- 1.2.4. Tracer, sur le graphe donné en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'allure d'une courbe correspondant à l'hydrolyse de la même solution de saccharose en présence d'hydrolase. Justifier.

1.2.5. Les résultats expérimentaux permettent-ils de confirmer que la réaction d'hydrolyse du saccharose en milieu acide est totale ?

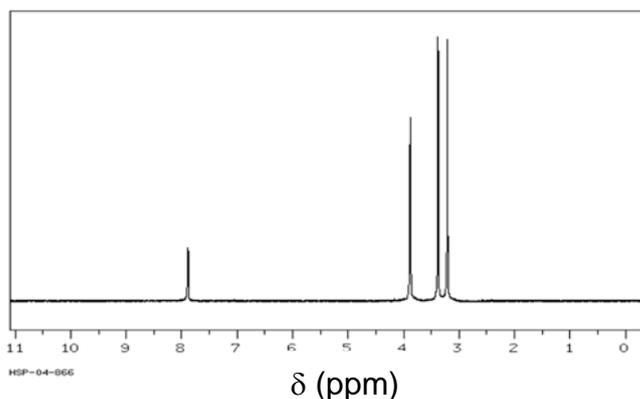
## 2. Les boissons énergisantes

L'analyse de boissons énergisantes met en évidence la présence de sucres en proportions égales ou supérieures aux boissons énergétiques. Elles contiennent aussi d'autres composants comme la taurine, la glucuronolactone et la caféine.

En moyenne, les boissons énergisantes contiennent 80 mg de caféine pour une canette de 250 mL. Les doses maximales de caféine conseillées dépendent de l'âge et de l'état de santé de la personne. Pour un adulte, cette dose maximale varie de 200 à 400 mg par jour.

### 2.1. Identification de la formule chimique de la caféine

On dispose du spectre de RMN du proton de la caféine reproduit ci-dessous.

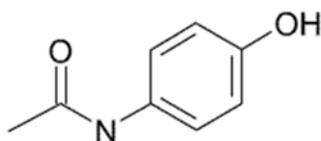


|              |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| $\delta$     | 7,9 | 4,0 | 3,4 | 3,2 |
| Multiplicité | s   | s   | s   | s   |

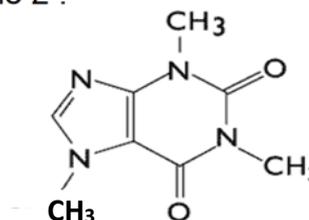
s : singulet

2.1.1. Identifier, parmi les deux molécules représentées ci-dessous, celle qui correspond à la caféine. Justifier.

Molécule 1 :



Molécule 2 :



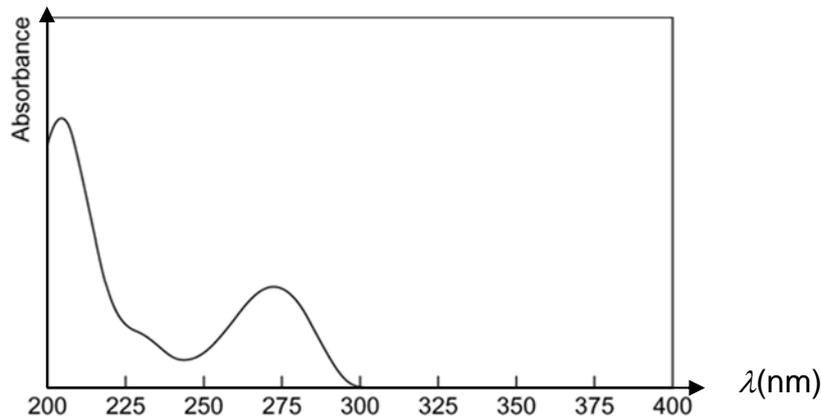
2.1.2. À l'issue d'une extraction de la caféine d'une boisson énergisante, comment pourrait-on vérifier expérimentalement, en l'absence de spectromètre de RMN du proton, que la poudre obtenue est bien de la caféine pure ?

Quelle observation permettrait de conclure à la présence de caféine ?

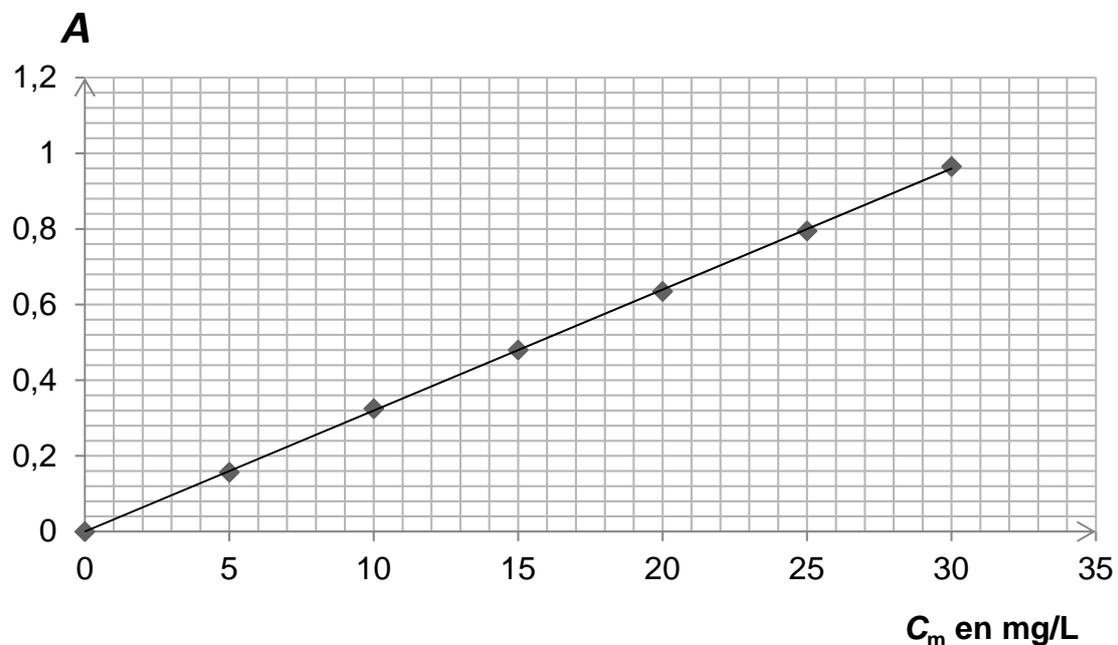
## 2.2. Dosage par étalonnage de la caféine présente dans une tasse de café

On dispose de caféine pure commercialisée. On enregistre le spectre d'absorption de la caféine et on trace une courbe d'étalonnage. Les courbes sont reproduites ci-après. On prépare une tasse de café contenant 75 mL de boisson. On dilue 20 fois cette boisson et on mesure l'absorbance de la solution obtenue ; on trouve  $A = 0,68$ .

### Allure du spectre d'absorption de la caféine en solution aqueuse



### Courbe d'étalonnage : évolution de l'absorbance $A$ de solutions de caféine en fonction de la concentration massique $c_m$ de caféine



2.2.1. Donner les quatre étapes principales de la démarche expérimentale permettant d'obtenir la courbe d'étalonnage à partir de la caféine commerciale en poudre.

- 2.2.2. Le spectrophotomètre n'émet que des radiations de longueurs d'onde comprises entre 230 nm et 650 nm.
- a) Déterminer une valeur possible de longueur d'onde pour la radiation utilisée lors du dosage. Justifier.
  - b) Le caractère coloré du café étudié est-il gênant pour ce dosage ?
- 2.2.3. Évaluer le nombre de tasses de café qui apporteraient la même quantité de caféine que celle présente dans une canette de 250 mL de boisson énergisante.  
Donner un avis critique sur le résultat obtenu.

**EXERCICE II : LES ACCÉLÉRATEURS MONTENT EN PUISSANCE (6 points)**

Pour percer les secrets de la matière à l'échelle subatomique, les physiciens construisent depuis plus de cinquante ans, des collisionneurs de particules de plus en plus puissants. Le dernier né de cette famille est le Grand Collisionneur de Hadrons\* : le LHC pour « Large Hadrons Collider » construit par le laboratoire européen de physique des particules, le CERN, situé près de Genève. C'est le plus puissant accélérateur de particules construit à ce jour. L'énergie acquise par un proton est supérieure à  $10^{12}$  eV.

\* Hadrons : Les hadrons (du grec « adros », qui signifie « épais ») sont des particules composées de quarks. Les protons et les neutrons, qui constituent les noyaux des atomes, appartiennent à cette famille.

**Accélérateurs de particules**

Le gros avantage des accélérateurs est de pouvoir fournir des faisceaux de particules dont la nature est connue et l'énergie variable, dans la limite des performances du dispositif. Avec de tels outils, les chercheurs peuvent entreprendre des campagnes de mesures systématiques grâce à des expériences dont on changera à loisir les conditions de fonctionnement.

Alors qu'est-ce qu'un accélérateur ? C'est un dispositif construit pour augmenter la vitesse mais surtout l'énergie des particules. Pour augmenter l'énergie des particules, il existe une seule solution, il faut les soumettre à un champ électrique le plus intense possible. Seules les particules chargées et stables pourront être accélérées. En pratique, les premiers accélérateurs s'appliquèrent tant aux protons qu'aux électrons.

*D'après « Le vrai roman des particules élémentaires »  
de François Vannucci professeur à l'université Paris 7-Denis Diderot*

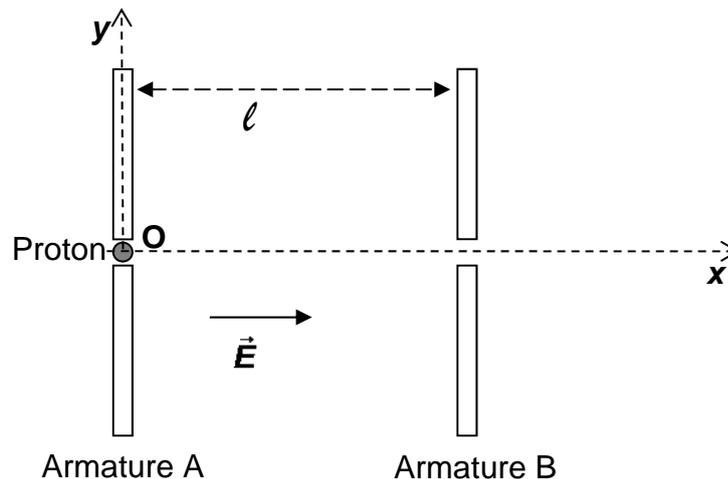
**Données :**

- Masse d'un proton :  $m_p = 1,7 \times 10^{-27}$  kg
- Charge élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C
- $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$  J

## 1. Étude simplifiée d'un accélérateur de protons

Un proton de charge  $e$  et de masse  $m_p$  pénètre dans un accélérateur linéaire de particules. À  $t = 0$  s, le proton est situé en  $O$  et possède une vitesse initiale de valeur  $v_0 = 2,0 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et de direction  $Ox$  (voir schéma ci-après).

Entre les armatures A et B, séparées d'une distance  $\ell = 6,5 \text{ cm}$ , règne un champ électrostatique uniforme de valeur  $E = 10,0 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ .  
On négligera le poids devant la force électrique.



1.1. Représenter, sans souci d'échelle, la force électrique  $\vec{F}$  appliquée au proton ainsi que le vecteur accélération  $\vec{a}$  de celui-ci sur le document de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Justifier.

1.2. Vitesse et énergie du proton

1.2.1. Après avoir établi l'expression du vecteur accélération dans le repère  $(O, x, y)$  :

a) montrer que l'équation horaire  $v_x(t)$  s'écrit de la forme :

$$v_x(t) = \frac{eE}{m_p}t + v_0 ;$$

b) déterminer l'équation horaire  $v_y(t)$  et justifier le nom d' « accélérateur linéaire » attribué à cet accélérateur.

1.2.2. Le proton atteint l'armature B à la date  $t_1 = 3,7 \times 10^{-7}$  s.  
Quelle est alors sa vitesse  $v_1$  ?

1.2.3. Déterminer l'équation du second degré qui permet d'obtenir la valeur de  $t_1$ . Vérifier que cette équation est cohérente avec la valeur de  $t_1$  donnée dans la question précédente.

1.2.4. Calculer l'augmentation d'énergie cinétique de ce proton entre les armatures A et B. Comparer avec l'énergie attendue dans le LHC. Comment peut-on atteindre la valeur attendue ?

1.3. On s'interroge sur le fonctionnement de ce dispositif avec d'autres particules.  
 1.3.1. Ce dispositif peut-il fonctionner avec un neutron ? Justifier votre réponse.

1.3.2. Que faudra-t-il modifier si l'on souhaite accélérer un électron ?

## 2. Collision entre deux protons

Dans le LHC, deux faisceaux de protons ayant la même énergie cinétique se percutent de manière frontale en des points où sont placés de gigantesques détecteurs.

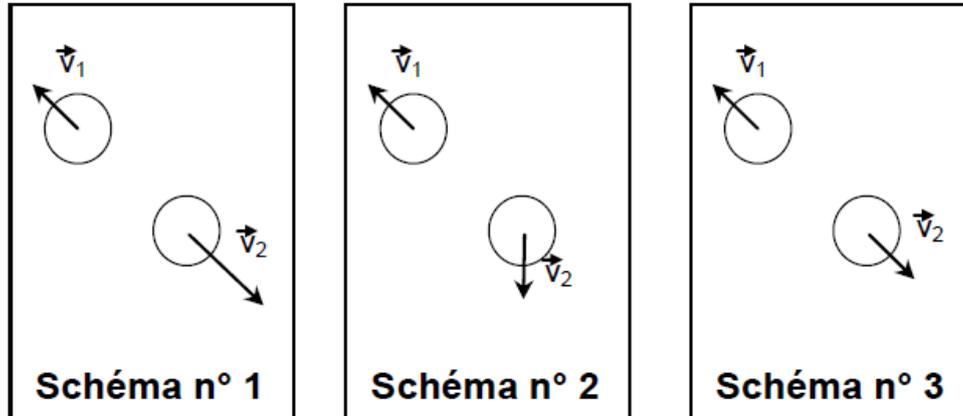
2.1. Faire un schéma illustrant la situation avant la collision entre deux protons en représentant leur vecteur-vitesse.

2.2. Le système étudié, dans le référentiel terrestre, est constitué de l'ensemble des deux protons.

Déterminer le vecteur quantité de mouvement du système étudié avant la collision.

2.3. On considère que le système est isolé.

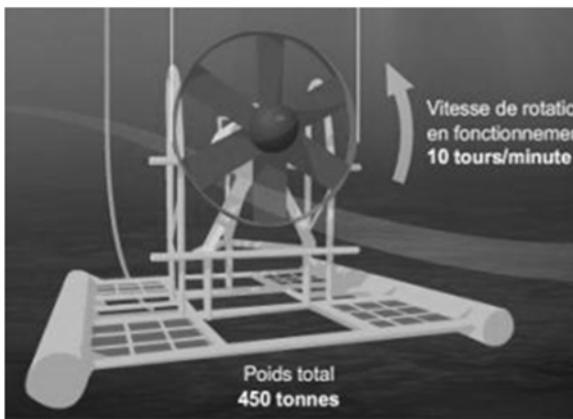
Choisir, parmi les trois schémas donnés ci-dessous, celui qui correspond à la situation après collision des protons. Justifier votre réponse.



Chaque disque symbolise un proton.

### EXERCICE III : UNE HYDROLIENNE À OUESSANT (5 points)

Située à quinze kilomètres des côtes françaises au large de la Bretagne, l'île d'Ouessant, qui compte environ 850 habitants en hiver, est alimentée en électricité par une centrale à fioul car elle n'est pas raccordée au réseau électrique du continent. Afin de diversifier l'alimentation en énergie de l'île et de réduire la consommation en fuel, une hydrolienne a été installée au large de l'île en 2015.



Cette hydrolienne, photographiée ci-dessus et schématisée ci-contre immergée, est constituée d'une **turbine sous-marine** qui permet de transformer l'**énergie cinétique des courants marins** liés au phénomène de la marée en énergie électrique grâce à un alternateur.

Relativement peu encombrante (par comparaison avec une éolienne), l'hydrolienne ne fonctionne en moyenne que 12 h par jour compte-tenu du caractère intermittent des courants liés à la marée.

Cette hydrolienne est conçue pour être immergée à proximité des côtes, entre 30 m et 40 m de profondeur dans des zones de courant dont la vitesse est supérieure à 4 nœuds.

En effet, la puissance cinétique  $P_c$  d'un courant marin, c'est-à-dire l'énergie cinétique de la masse d'eau de mer qui traverse par seconde les pales de la turbine à la vitesse  $v$ , est donnée par la relation :

$$P_c = \frac{1}{2} \rho S v^3$$

où :

- $S$  est la surface balayée par les pales de l'hydrolienne (surface du disque ayant le diamètre de l'hélice), en  $m^2$  ;
- $\rho$  est la masse volumique de l'eau de mer, en  $kg \cdot m^{-3}$  ;
- $v$  est exprimée en  $m \cdot s^{-1}$  ;
- $P_c$  est exprimée en  $W$ .

Cependant, la diminution de vitesse au voisinage des pales et les pertes liées à la conversion d'énergie au sein de l'alternateur conduisent à un rendement global de l'ordre de 40 %.

D'après le site [www.connaissancedesenergies.org](http://www.connaissancedesenergies.org)

## Détermination de la vitesse $v$ d'un courant marin



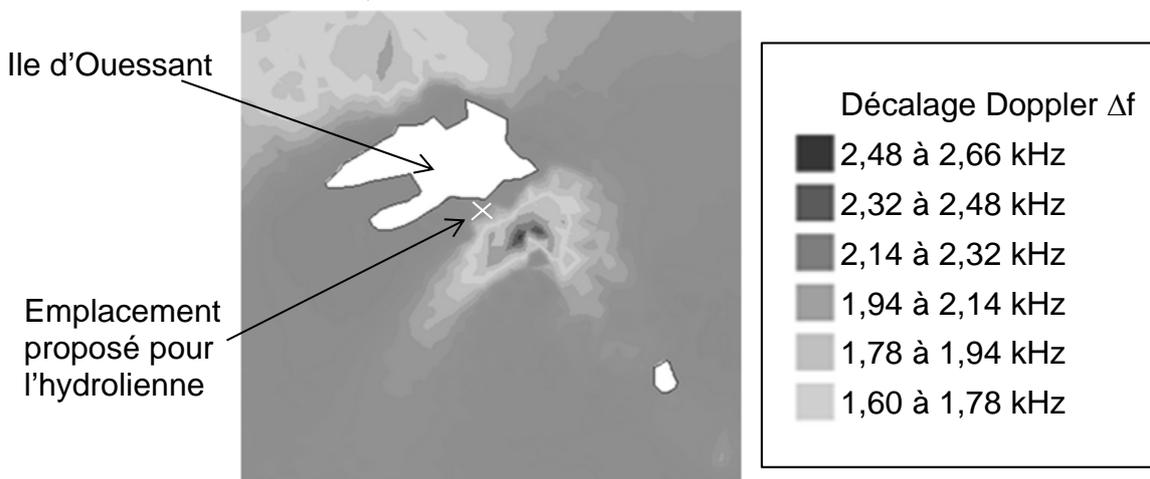
Il est possible d'utiliser un courantomètre acoustique à effet Doppler. Ce dispositif émet des ondes ultrasonores de fréquence  $f_e$  égale à 500 kHz se propageant dans l'eau de mer à la vitesse  $c$  égale à 1500 m.s<sup>-1</sup>. Ces ondes ultrasonores sont réfléchies par les particules en suspension dans l'eau qui se déplacent avec le courant à la vitesse  $v$ .

Du fait de l'effet Doppler, on observe une différence, appelée décalage Doppler et notée  $\Delta f$ , entre la fréquence  $f_e$  des ondes ultrasonores émises et celle  $f_r$  des ondes ultrasonores réfléchies et reçues par l'appareil de mesure. On a :

$$\Delta f = f_r - f_e \quad \text{et} \quad f_r = f_e \left(1 + 2 \frac{v}{c}\right)$$

### Données :

- 1 Wh = 3600 J
- Décalages Doppler mesurés à l'aide d'un courantomètre acoustique autour de l'île d'Ouessant, à mi-marée



D'après le site [www.france-energies-marine.org](http://www.france-energies-marine.org)

- Topographie des fonds marins autour de l'île d'Ouessant



D'après données SHOM/HOMERE

- Masse volumique de l'eau de mer au large de l'île d'Ouessant :  
 $\rho = 1,02 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- Le « nœud » (symbole nd) est une unité de vitesse utilisée dans le monde marin :  $1 \text{ nd} = 0,514 \text{ m.s}^{-1}$ .
- Consommation moyenne annuelle d'énergie électrique par personne : 6 MWh.
- Consommation annuelle de fuel de la centrale thermique d'Ouessant avant l'installation de l'hydrolienne :  $1,8 \times 10^6 \text{ L}$ .
- Surface d'un disque de rayon R :  $S = \pi R^2$ .

**Questions préalables :**

1. Schématiser la chaîne énergétique de l'hydrolienne.
2. Montrer que l'emplacement proposé pour l'installation de l'hydrolienne est adapté.
3. Estimer le diamètre  $d$  du disque balayé par les pales de l'hydrolienne à partir de la photographie.

**Problème :**

Quel est le pourcentage de fuel économisé suite à l'installation de l'hydrolienne ?

*La démarche suivie et les calculs nécessaires nécessitent d'être correctement présentés.*

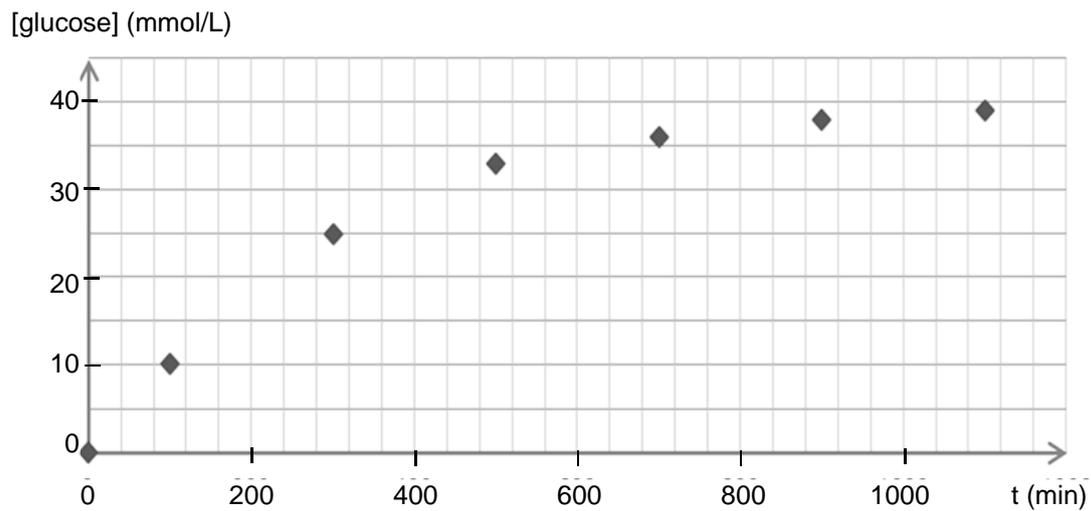
*Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.*

|                                      |
|--------------------------------------|
| <b>ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE</b> |
|--------------------------------------|

**EXERCICE I : BOISSONS ÉNERGÉTIQUES OU ÉNERGISANTES**

Questions 1.2.3 et 1.2.4

Évolution de la concentration en glucose en fonction du temps

**EXERCICE II : LES ACCÉLÉRATEURS MONTENT EN PUISSANCE**

Question 1.1.

