

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

---

**PHYSIQUE-CHIMIE**

**MARDI 21 JUIN 2016**

Série S

---

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8

---

**L'usage d'une calculatrice EST autorisé.**

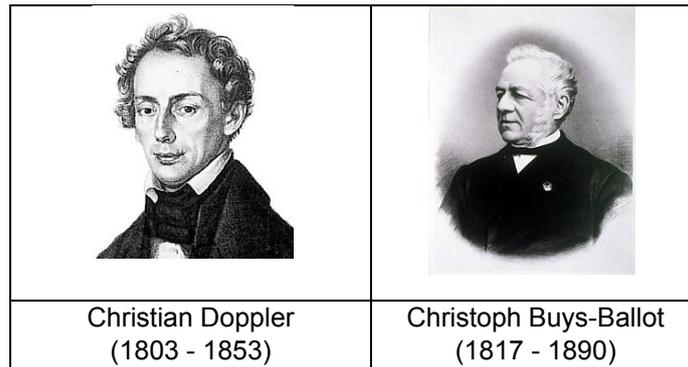
**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.**

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10 y compris celle-ci.

**La page d'annexe (page 10) EST À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elle n'a pas été complétée.**

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

## EXERCICE I - DE L'EFFET DOPPLER À SES APPLICATIONS (6 points)



Christian Doppler, savant autrichien, propose en 1842 une explication de la modification de la fréquence du son perçu par un observateur immobile lorsque la source sonore est en mouvement. Buys-Ballot, scientifique hollandais, vérifie expérimentalement la théorie de Doppler en 1845, en enregistrant le décalage en fréquence d'un son provenant d'un train en mouvement et perçu par un observateur immobile.

On se propose de présenter l'effet Doppler puis de l'illustrer au travers de deux applications.

### 1. Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur

Nous nous intéressons dans un premier temps au changement de fréquence associé au mouvement relatif d'une source sonore S et d'un détecteur placé au point M (figure 1). Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur est immobile. Une source S émet des « bips » sonores à intervalles de temps réguliers dont la période d'émission est notée  $T_0$ . Le signal sonore se propage à la célérité  $v_{\text{son}}$  par rapport au référentiel terrestre.

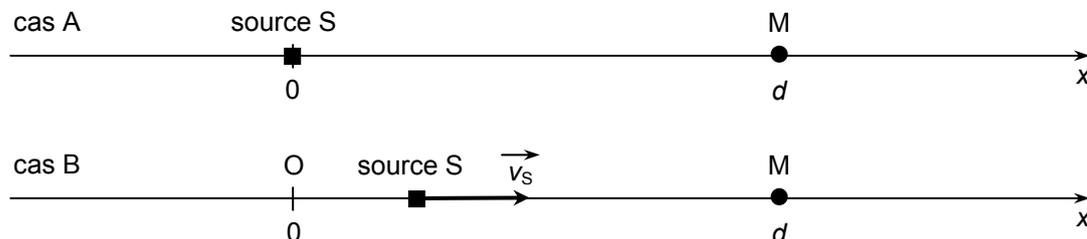


Figure 1. Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

**1.1. Cas A :** la source S est immobile en  $x = 0$  et le détecteur M, situé à la distance  $d$ , perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

**1.1.1.** Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores », la fréquence  $f_0$  de ce signal périodique.

**1.1.2.** Comparer la période temporelle  $T$  des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission  $T_0$ .

**1.2. Cas B :** la source S, initialement en  $x = 0$ , se déplace à une vitesse constante  $v_s$  suivant l'axe Ox en direction du détecteur immobile. La vitesse  $v_s$  est inférieure à la célérité  $v_{\text{son}}$ . On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur perçoit alors les différents bips séparés d'une durée  $T' = T_0 \left( 1 - \frac{v_s}{v_{\text{son}}} \right)$ .

Indiquer si la fréquence  $f'$  des bips perçus par le détecteur est inférieure ou supérieure à la fréquence  $f_0$  avec laquelle les bips sont émis par la source S. Justifier.

## 2. La vélocimétrie Doppler en médecine

La médecine fait appel à l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins (figure 2).

Un émetteur produit des ondes ultrasonores qui traversent la paroi d'un vaisseau sanguin. Pour simplifier, on suppose que lorsque le faisceau ultrasonore traverse des tissus biologiques, il rencontre :

- des cibles fixes sur lesquelles il se réfléchit sans modification de la fréquence ;
- des cibles mobiles, comme les globules rouges du sang, sur lesquelles il se réfléchit avec une modification de la fréquence ultrasonore par effet Doppler (figure 3).

différents  
vaisseaux du  
lit vasculaire

vitesse de  
l'écoulement  
sanguin  
(cm/s)

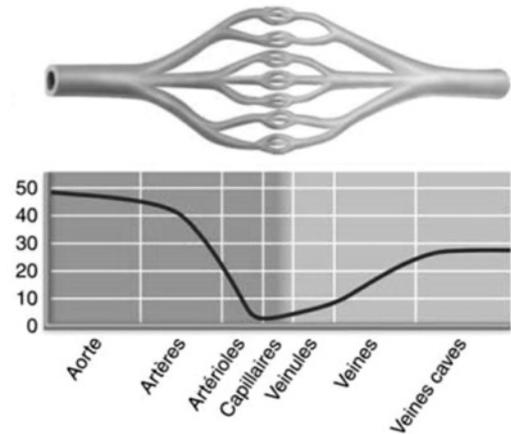


Figure 2. Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins.

© 2011 Pearson

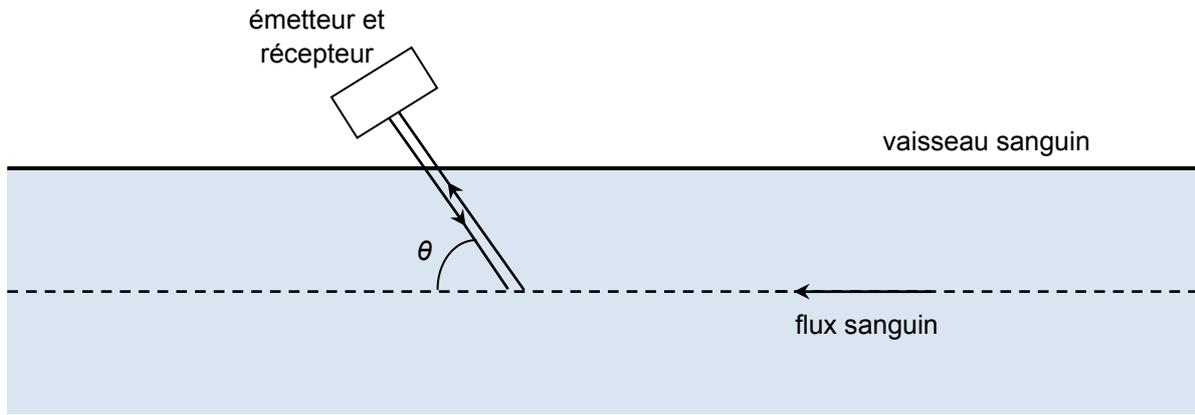


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler (échelle non respectée).

L'onde ultrasonore émise, de fréquence  $f_E = 10$  MHz, se réfléchit sur les globules rouges qui sont animés d'une vitesse  $v$ . L'onde réfléchie est ensuite détectée par le récepteur.

La vitesse  $v$  des globules rouges dans le vaisseau sanguin est donnée par la relation  $v = \frac{v_{\text{ultrason}}}{2 \cos \theta} \cdot \frac{\Delta f}{f_E}$  où

$\Delta f$  est le décalage en fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie,  $v_{\text{ultrason}}$  la célérité des ultrasons dans le sang et  $\theta$  l'angle défini sur la figure 3.

On donne  $v_{\text{ultrason}} = 1,57 \times 10^3$  m.s<sup>-1</sup> et  $\theta = 45^\circ$ .

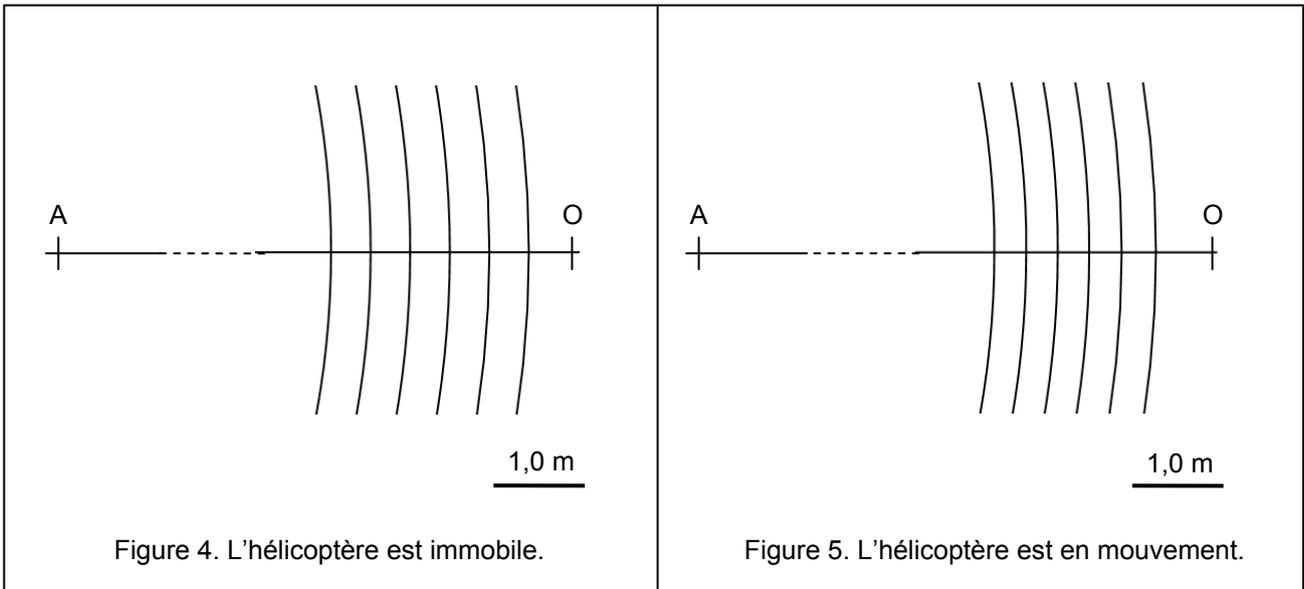
**2.1.** Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est de 1,5 kHz. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

**2.2.** Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure, on augmente la fréquence des ultrasons émis  $f_E$ . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence  $\Delta f$ . Justifier.

### 3. Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est  $f_0 = 8,1 \times 10^2$  Hz. On se place dans le référentiel terrestre pour toute la suite de cette partie.

Les portions de cercles des figures 4 et 5 ci-dessous donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. Dans le cas de la figure 4, l'hélicoptère est immobile. Dans le cas de la figure 5, il se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son dans l'air est indépendante de sa fréquence.



**3.1.** Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde  $\lambda_0$  de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde  $\lambda'$  lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.

**3.2.** En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore. Commenter la valeur obtenue.

**3.3.** Déterminer la fréquence du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement. Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2. ? Comment la perception du son est-elle modifiée ?

**3.4.** En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur vous paraît-elle réaliste ?

## EXERCICE II - DE LA BETTERAVE SUCRIÈRE AUX CARBURANTS (9 POINTS)

Le sucre produit dans les feuilles de betteraves sucrières grâce à la photosynthèse s'accumule dans la racine sous forme de saccharose.

Le bioéthanol - éthanol issu de l'agriculture - peut notamment être obtenu par fermentation du sucre extrait des racines de betterave sucrière. Le bioéthanol peut être incorporé à l'essence utilisée par un grand nombre de moteurs de voiture.



*Betterave sucrière récoltée dans la région de la Beauce*

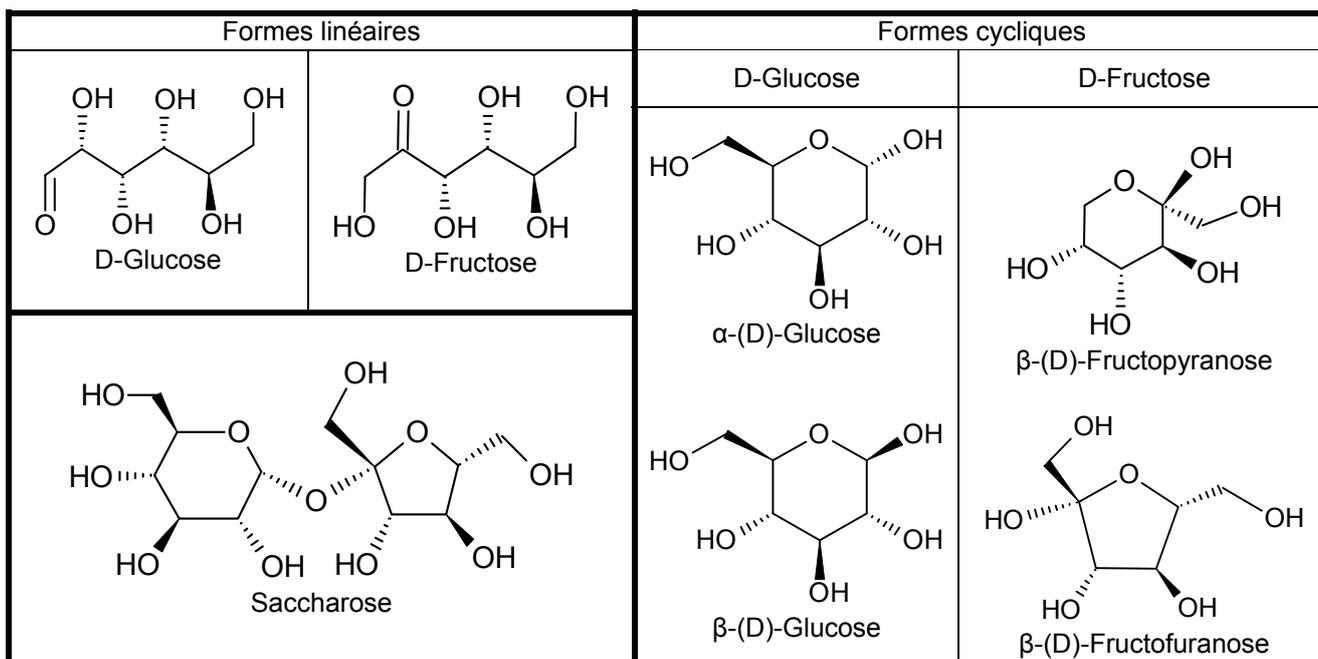
Dans cet exercice, on s'intéresse au saccharose présent dans la betterave sucrière, à la production d'éthanol par fermentation du saccharose et à l'utilisation du bioéthanol dans les carburants.

### Données :

- économie betteravière en France pour la récolte 2009 :
  - rendement de la culture de betterave sucrière : 74,8 tonnes par hectare ;
  - pourcentage massique moyen de saccharose dans la betterave : 19,5 % ;
- surface agricole française cultivée : environ 10 millions d'hectares ;
- masse volumique de l'éthanol :  $\rho = 789 \times 10^3 \text{ g.m}^{-3}$  ;
- masses molaires moléculaires :  $M(\text{éthanol}) = 46,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(\text{saccharose}) = 342,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- électronégativités comparées  $\chi$  de quelques éléments :  $\chi(\text{O}) > \chi(\text{C})$ ,  $\chi(\text{C})$  environ égale à  $\chi(\text{H})$  ;
- données de spectroscopie infrarouge :

Liaison	O – H libre	O – H lié	N – H	C – H	C = O	C = C
Nombre d'onde $\sigma$ (en $\text{cm}^{-1}$ )	3600 Bande fine	3200 – 3400 Bande large	3100 – 3500	2700 – 3100	1650 – 1750	1625 – 1685

- formules topologiques de quelques sucres :



## 1. Étude de la structure du saccharose

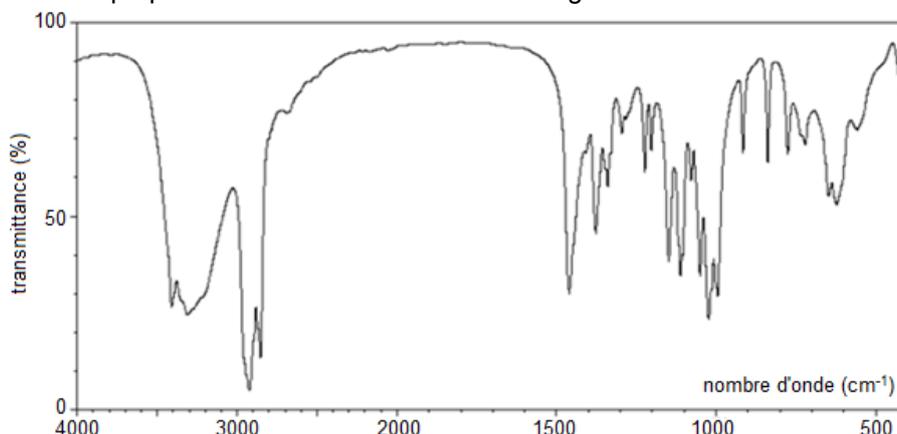
Le saccharose est formé à partir du D-Glucose et du D-Fructose.

1.1. Écrire la formule développée de la forme linéaire du D-Glucose, puis identifier par un astérisque les atomes de carbone asymétriques.

Par réaction entre deux de ses groupes caractéristiques, la forme linéaire du D-Glucose peut se transformer en l'une ou l'autre de ses formes cycliques lors d'une réaction de cyclisation. En solution aqueuse à 25°C, il s'établit un équilibre entre les différentes formes du glucose avec les proportions suivantes : 65 % de  $\beta$ -(D)-Glucose, 35 % de  $\alpha$ -(D)-Glucose et environ 0,01 % de forme linéaire de D-Glucose. Le mécanisme de la cyclisation est proposé en ANNEXE, il peut conduire à l'un ou l'autre des stéréoisomères cycliques.

1.2. Dans un mécanisme réactionnel apparaissent usuellement des flèches courbes ; que représentent-elles ? Compléter les trois étapes du mécanisme de cyclisation du D-Glucose figurant en ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE avec les flèches courbes nécessaires.

1.3. Le spectre infrarouge obtenu par analyse d'un échantillon de glucose est fourni ci-dessous. Ce spectre confirme-t-il la très faible proportion de la forme linéaire dans le glucose ? Justifier.



Source : National Institute of Advanced Industrial Science and Technology – <http://sdfs.db.aist.go.jp>

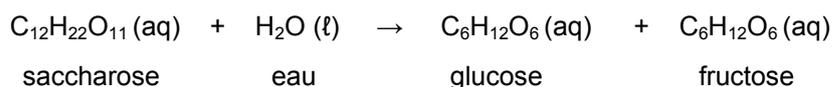
1.4. Les formes linéaires du D-Glucose et du D-Fructose sont-elles stéréoisomères ? Justifier.

1.5. À partir de quelles formes cycliques du D-Glucose et du D-Fructose le saccharose est-il formé ?

Le saccharose contenu dans 30 g de betterave sucrière est extrait avec de l'eau grâce à un montage à reflux. À la fin de l'extraction, on recueille une solution aqueuse S qui contient 5,8 g de saccharose.

1.6. L'eau est un solvant adapté à cette extraction. Proposer une explication à la grande solubilité du saccharose dans ce solvant.

On hydrolyse ensuite, en milieu acide, le saccharose contenu dans la solution S. L'hydrolyse peut être modélisée par une réaction d'équation :



On suppose que la transformation est totale, que l'eau est en excès et qu'initialement la betterave ne contenait ni glucose ni fructose.

1.7. Émettre une hypothèse sur le rôle de l'acide utilisé lors de cette hydrolyse et proposer une expérience simple permettant de la tester.

On a réalisé la chromatographie du saccharose, du D-Glucose et du D-fructose. Le chromatogramme obtenu est donné et schématisé en ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE. Tous les chromatogrammes de

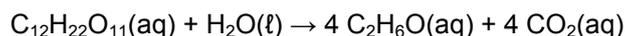
l'ANNEXE sont supposés réalisés dans les mêmes conditions expérimentales que celui qui est photographié.

1.8. Représenter, sur l'ANNEXE à rendre avec la copie, l'allure du chromatogramme obtenu après élution et révélation, sachant que :

- le dépôt A est un échantillon du milieu réactionnel avant hydrolyse du saccharose ;
- le dépôt B est un échantillon du milieu réactionnel au cours de l'hydrolyse du saccharose ;
- le dépôt C est un échantillon du milieu réactionnel après hydrolyse complète du saccharose.

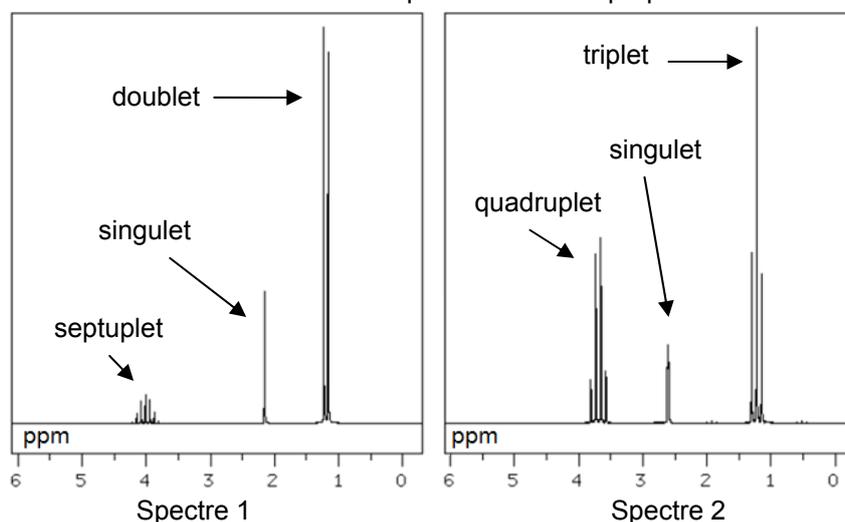
## 2. Du saccharose au bioéthanol

La fermentation alcoolique des jus sucrés sous l'action de micro-organismes est une source de production d'alcools. Dans le cas de la betterave sucrière, la solution de saccharose (jus sucré) extrait de la betterave fermente pour produire de l'éthanol (bioéthanol) et du dioxyde de carbone selon la réaction supposée totale d'équation :



2.1. Écrire la formule semi-développée de l'éthanol.

2.2. Attribuer à la molécule d'éthanol l'un des deux spectres de RMN proposés ci-dessous. Justifier.



Source : National Institute of Advanced Industrial Science and Technology – <http://sdfs.db.aist.go.jp>

2.3. Déterminer la masse d'éthanol obtenu par la fermentation du saccharose contenu dans une betterave sucrière de masse 1,25 kg.

## 3. Et si on roulait tous au biocarburant ?

L'objectif de cette partie est de déterminer la surface agricole à mettre en culture avec de la betterave sucrière pour que la France devienne autosuffisante en bioéthanol.

On fait l'hypothèse que la totalité du parc automobile utilise du carburant contenant du bioéthanol obtenu à partir du saccharose extrait de la betterave. Dans cette hypothèse, on estime que le volume de bioéthanol nécessaire au fonctionnement du parc automobile pendant un an est de l'ordre de  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



Montrer que la masse de betteraves sucrières qu'il faut pour produire ce volume de bioéthanol est de l'ordre de  $2 \times 10^7$  tonnes. En déduire l'ordre de grandeur de la surface agricole nécessaire à cette production de betteraves sucrières. Comparer avec la surface agricole française cultivée de 2009.

*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.*

### EXERCICE III - POMPAGE SOLAIRE DANS LE DÉSERT DU SAHEL (5 points)

Le pompage solaire consiste à élever l'eau d'un puits vers un réservoir, à l'aide d'une pompe à moteur électrique alimentée par des panneaux de cellules photovoltaïques. L'eau ainsi puisée peut par exemple couvrir les besoins domestiques d'une population ou bien permettre l'irrigation de cultures. Ces systèmes trouvent toute leur pertinence dans la mesure où la difficulté d'accéder à l'eau concerne souvent des régions où l'ensoleillement est fort.

On s'intéresse à une station de pompage située dans le Sahel malien. Pour un bon fonctionnement, il est nécessaire d'adapter le débit de la pompe aux besoins en eau, et la hauteur totale  $H$  d'élévation de l'eau à la configuration des lieux.

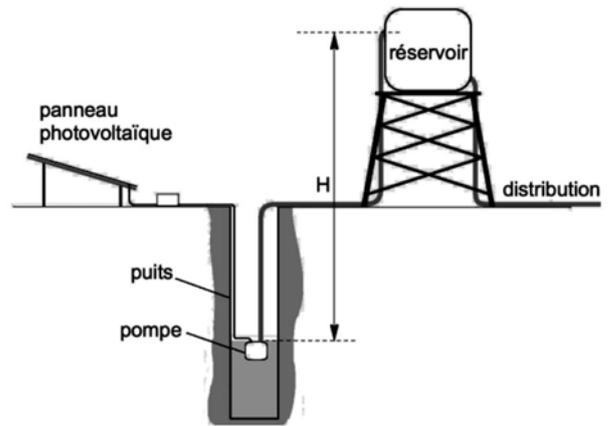


Schéma simplifié de l'installation

Le volume quotidien d'eau nécessaire est  $V = 35 \text{ m}^3$  lorsque les besoins en eau sont importants. Le moteur de la pompe fonctionne pendant les six heures les plus ensoleillées de la journée ; c'est sur cette durée que le volume d'eau quotidien attendu doit être élevé de la hauteur  $H = 50 \text{ m}$ .

#### Données :

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;
- constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ;
- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue ;
- masse volumique de l'eau :  $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  ;
- intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$  ;
- rendement d'une conversion d'énergie exprimée en pourcentage (%) :  $r = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie reçue}} \times 100$  ;
- la puissance du rayonnement solaire reçu par l'ensemble des panneaux est le produit de la puissance surfacique du rayonnement solaire par la surface  $S$  des panneaux :  $P_{\text{reçu}} = P_{\text{surf}} \times S$ .

#### Principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont constituées de matériaux semi-conducteurs. Quand elles sont éclairées, ces cellules se comportent comme un générateur. Dans les matériaux semi-conducteurs, les diagrammes énergétiques des électrons sont constitués de bandes : on distingue en particulier la bande de valence et la bande de conduction. Ces deux bandes sont séparées d'une énergie  $E_g$  appelée gap, caractéristique du matériau. Des électrons peuvent transiter de la bande de valence vers la bande de conduction en absorbant un photon d'énergie supérieure à  $E_g$ . C'est ce mécanisme qui donne naissance au courant électrique dans une cellule photovoltaïque.

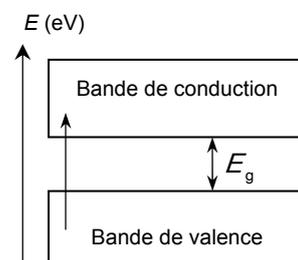


Diagramme d'énergie des électrons d'un matériau semi-conducteur.

La flèche  $\uparrow$  reliant les bandes de valence et de conduction désigne une transition énergétique par absorption d'un photon.

La puissance du rayonnement solaire reçue par la cellule n'est pas intégralement convertible en puissance électrique. On considère que les photons d'énergie inférieure à  $E_g$  ne permettent pas la transition vers la bande de conduction. Il existe alors une longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  au-delà de laquelle il n'y a aucune conversion.

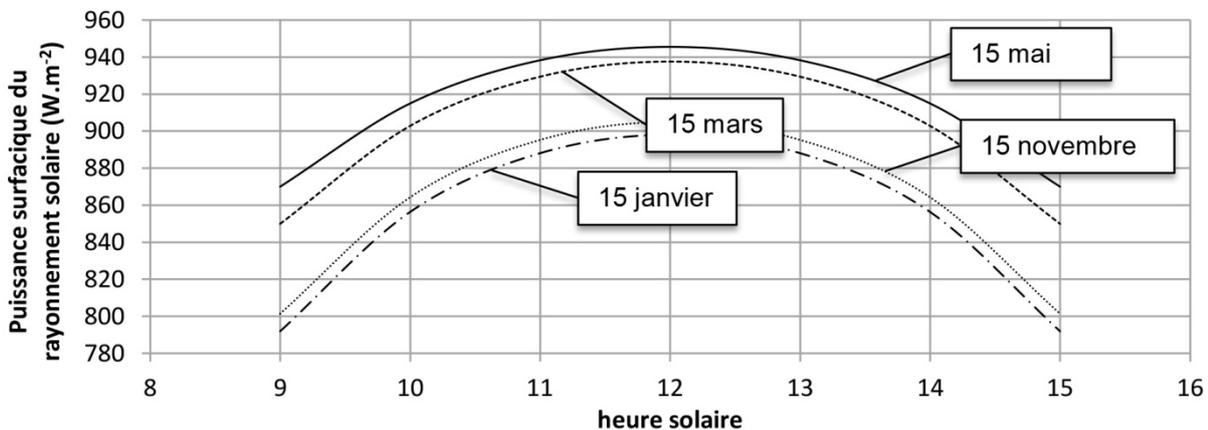
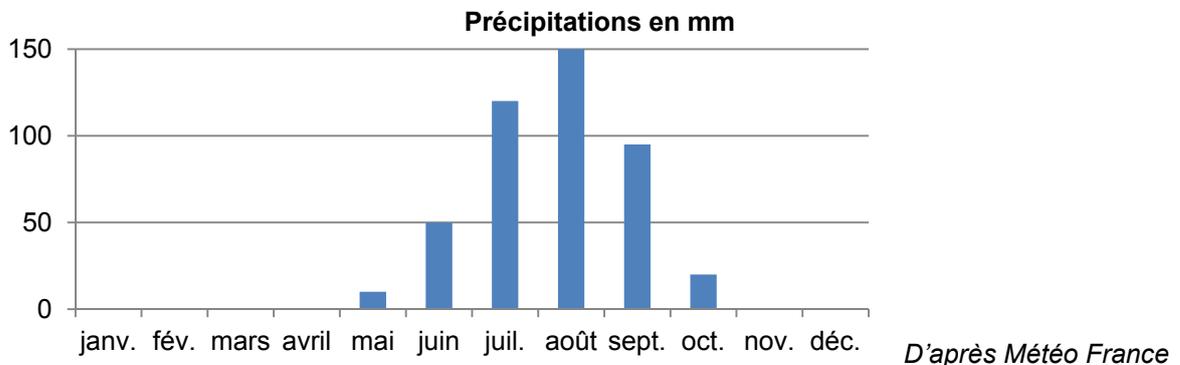
Les cellules les plus courantes sont constituées de silicium cristallin ou de silicium amorphe.

## Caractéristiques des cellules photovoltaïques utilisables pour la station de pompage

Types de cellules photovoltaïques	Energie de gap $E_g$ en eV	Rendement global de l'installation *	Avantages	Inconvénients
Cellule en silicium monocristallin	1,12	6,4 %	Très bon rendement Durée de vie importante	Coût très élevé
Cellule en silicium polycristallin	1,12	5,2 %	Bon rendement Durée de vie importante Bon rapport qualité / prix	Rendement faible sous un faible éclairement
Cellule en silicium amorphe	1,77	2,8 %	Faible coût Bon fonctionnement avec un éclairement faible	Rendement faible en plein soleil Courte durée de vie

\* Le rendement global de l'installation tient compte du rendement des panneaux solaires et du rendement du dispositif de pompage.

## Données météorologiques concernant la région du Sahel malien où se situe le projet



### Questions préliminaires

1. Pour l'installation, on souhaite utiliser un matériau dont la longueur d'onde de coupure est  $\lambda_c = 1110$  nm. Proposer un type de cellule qui pourrait être utilisé en précisant le(s) critère(s) de choix retenu(s).
2. Calculer l'énergie nécessaire pour élever  $1,0 \text{ m}^3$  d'eau d'une hauteur de 50 m.

### Problème

Estimer la surface totale des panneaux solaires permettant de satisfaire aux besoins en eau au cours d'un mois de l'année où ces besoins sont importants au Sahel malien.

*Toutes les initiatives du candidat seront valorisées. La démarche suivie nécessite d'être correctement présentée.*

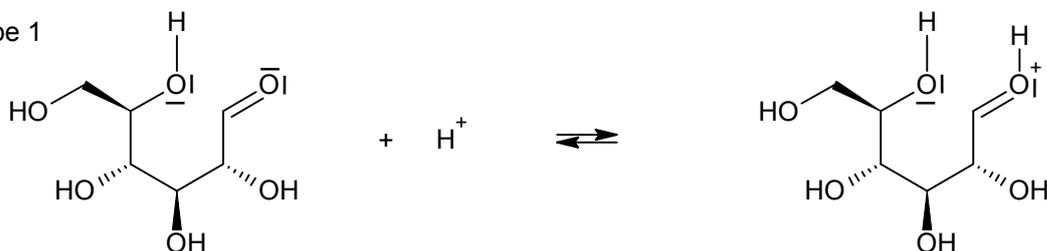
**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**

**ANNEXE DE L'EXERCICE II**

**Question 1.2.**

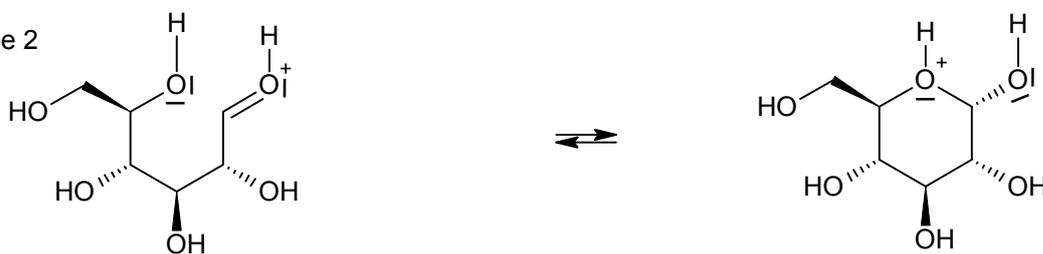
Mécanisme réactionnel de cyclisation du D-Glucose :

Étape 1

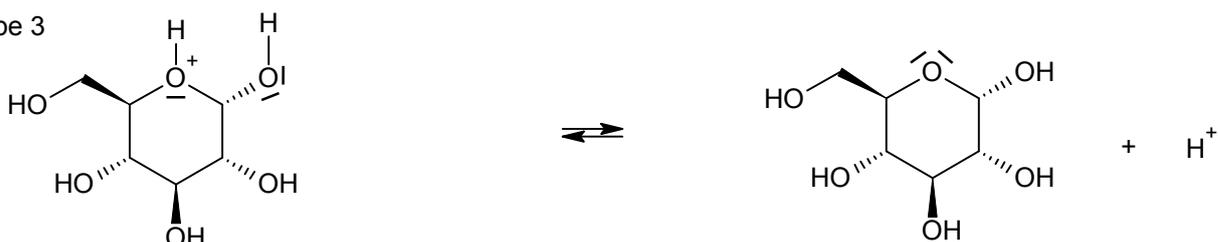


(D)-Glucose (forme linéaire)

Étape 2



Étape 3

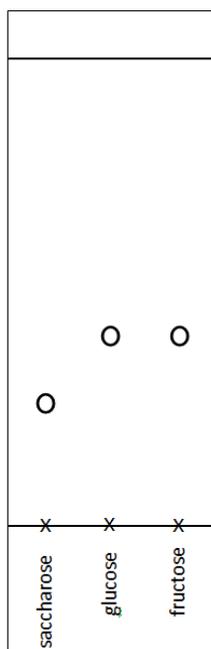


$\alpha$ -(D)-Glucose (forme cyclique)

**Question 1.8.**



Photographie du chromatogramme



Schématisme du chromatogramme

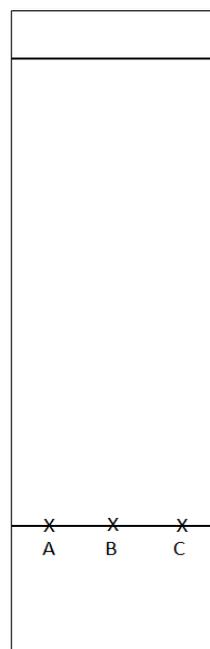


Schéma À COMPLÉTER