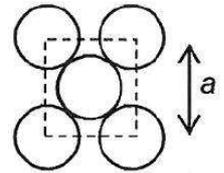


En 1912, Max Von Laue soumet un cristal à des ondes électromagnétiques de courte longueur d'onde, les rayons X. Il découvre ainsi sa structure.

Les solides cristallins présentent au niveau atomique un arrangement parfaitement ordonné et régulier dans trois directions de l'espace. Cet arrangement est caractérisé par la distance a entre deux entités (atomes, ions, molécules). Cette distance est de l'ordre de 0,1 nm. Les solides cristallins ont la propriété de diffracter une onde de longueur d'onde dont la valeur est voisine de la distance a .

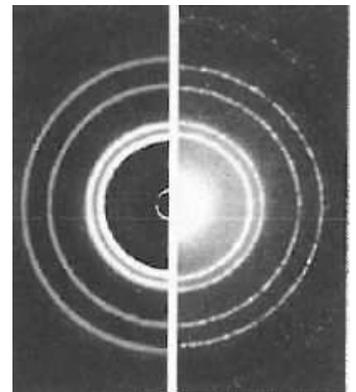


1. Diffraction d'un faisceau d'électrons

Les deux représentations ci-dessous montrent la figure de diffraction d'un faisceau de rayons X (à gauche) et d'un faisceau d'électrons (à droite) après passage au travers d'une fine feuille faite de petits cristaux d'aluminium.

Figure 1

Source : A.P. French and Edwin F. Taylor, *Introduction to Quantum Physics*, New York : W.W.Norton. 1978

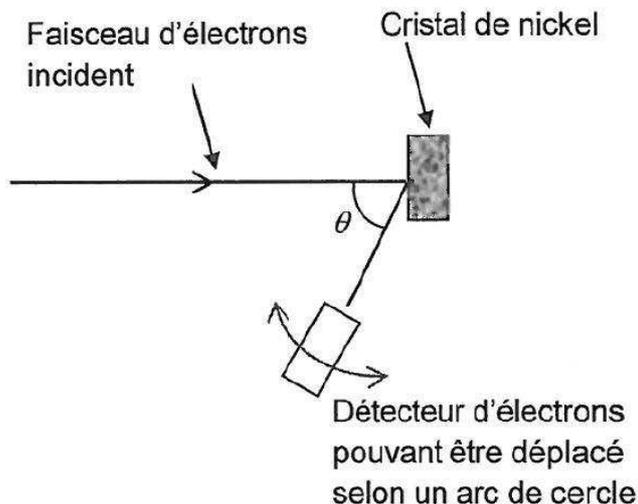


- 1.1. Quelle condition sur la longueur d'onde permet d'observer le phénomène de diffraction ?
- 1.2. Expliquer en quoi la figure 1 illustre l'hypothèse d'un comportement ondulatoire des électrons.
- 1.3. Donner la relation de De Broglie qui prend en compte ce comportement ondulatoire des électrons. Quelle est sa signification ?

En 1927, les américains C.J. Davisson et L. Germer apportent la première preuve expérimentale du comportement ondulatoire de particules de masse non nulle.

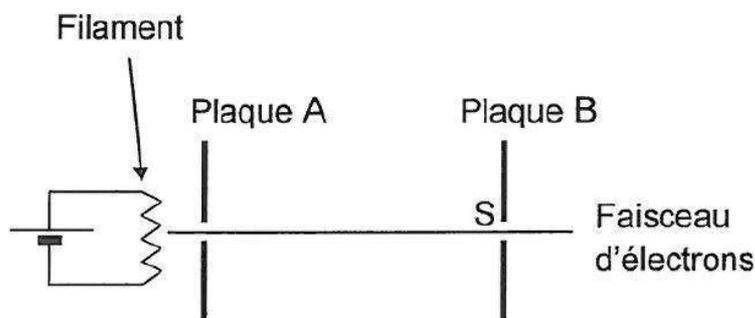
Ils observent ainsi la diffraction d'un faisceau d'électrons de vitesses identiques, par un cristal de nickel.

Le schéma de principe du montage expérimental de Davisson et Germer est représenté ci-contre.



2. Obtention du faisceau d'électrons

Dans l'expérience de Davisson-Germer, des électrons émis sans vitesse initiale par un filament sont accélérés par le champ électrostatique horizontal supposé uniforme qui règne entre deux plaques planes verticales A et B aux bornes desquelles on applique une tension électrique de l'ordre de 100 V.



Données :

- masse d'un électron : $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg ;
- charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C ;
- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- la valeur de l'intensité de la pesanteur est supposée connue du candidat ;
- la distance d entre les plaques est inférieure à 1 m ;
- deux plaques séparées d'une distance d et aux bornes desquelles on applique une tension

U créent entre elles un champ électrostatique d'intensité $E = \frac{U}{d}$

- 2.1. Montrer que le poids de l'électron peut être négligé devant la force électrique qu'il subit.
- 2.2. Représenter sur un schéma la force électrique \vec{F} subie par l'électron entre les plaques et le champ électrostatique \vec{E} . Justifier cette représentation.
- 2.3. Montrer qu'en sortie S du dispositif, l'expression de la vitesse v_s d'un électron est :

$$v_s = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

Pour ce faire, on pourra déterminer les équations horaires du mouvement d'un électron entre les deux plaques A et B en considérant que sa vitesse est nulle à l'entrée du dispositif.

Les éléments de la démarche, même partielle, seront valorisés.

- 2.4. Pour observer la diffraction du faisceau d'électrons par le nickel, la longueur d'onde de l'onde de matière associée doit être de l'ordre de grandeur de la distance a caractérisant ce solide cristallin, soit environ 0,1 nm.
- 2.4.1. Montrer que dans ce cas l'expression de la tension U est donnée par :

$$U = \frac{h^2}{2m.e.\lambda^2}$$

- 2.4.2. Retrouver l'ordre de grandeur de la valeur de la tension U que Davisson et Germer ont dû choisir pour leur expérience.

3. Une application technologique du phénomène : le microscope électronique

S'appuyant sur les résultats de Davisson-Germer, deux chercheurs allemands (E.Ruska et M.Knoll) ont conçu en 1931 un prototype de microscope électronique utilisant un faisceau d'électrons accélérés par une tension U de l'ordre de 100 kV.



Sachant que la résolution (plus petite distance séparant deux objets que l'on peut distinguer) d'un microscope optique ou électronique est proportionnelle à la longueur d'onde du rayonnement utilisé, expliquer en quelques lignes une raison qui a pu motiver les chercheurs à se lancer dans l'élaboration d'un microscope électronique.

EXERCICE II - SUCRE ET ÉLECTRONS (9 points)

Et si l'électricité prenait désormais sa source dans la nature grâce aux biopiles... Depuis dix ans, glucose, bactéries ou plantes inspirent les chercheurs en quête d'une source d'énergie alternative et propre.

Les avancées dans ce domaine se multiplient notamment pour des applications biomédicales nécessitant de faibles puissances électriques (alimentation d'un pacemaker par exemple).

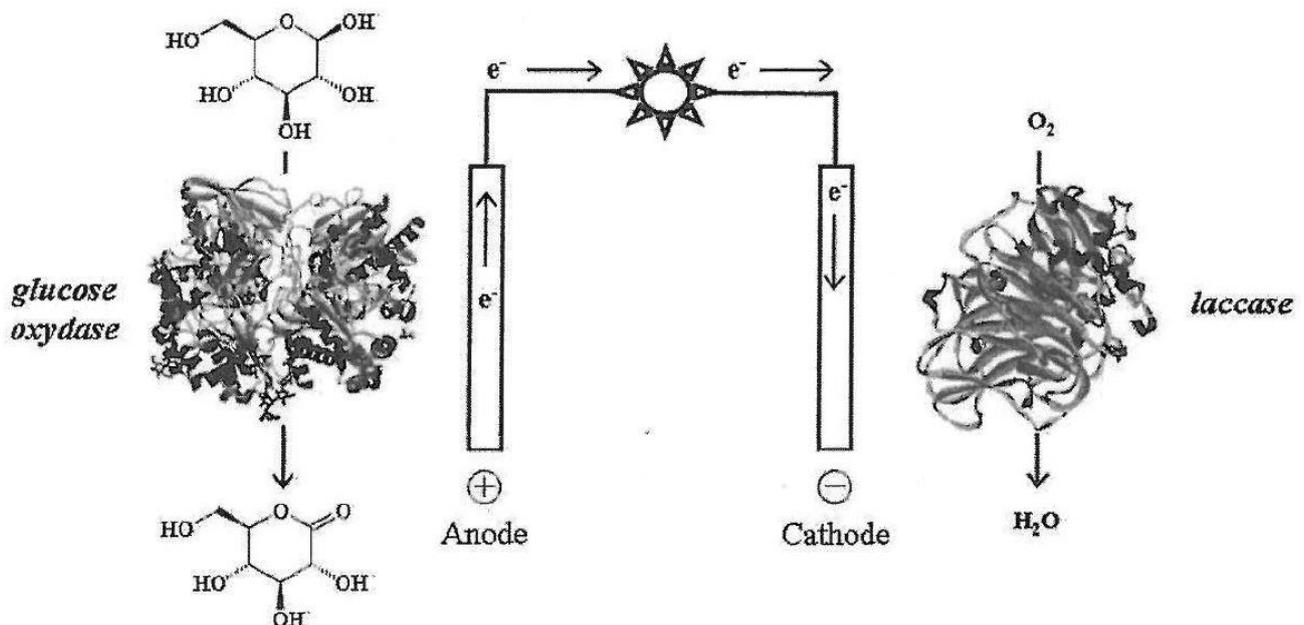


Biopile à glucose implantable dans le corps humain

En 2010, des chercheurs ont ainsi réussi à mettre au point une pile uniquement alimentée par le glucose de l'organisme. Ce dispositif de quelques millimètres permet au dioxygène et au sucre présents dans différents liquides physiologiques du corps de réagir. Cette réaction, qui génère des électrons, conduit à la production de courant par la pile. Le procédé, totalement naturel, est basé sur l'oxydation du glucose par le dioxygène, avec l'utilisation d'enzymes qui recouvrent les électrodes.

D'après le site www.lejournal.cnrs.fr

Schéma du principe de fonctionnement de la biopile au glucose :



D'après Frédéric Barrière, Université de Rennes 1

Réaction d'oxydation à l'anode :



Réaction de réduction à la cathode :



Données :

- masses molaires atomiques :

$$M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}; \quad M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}; \quad M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1};$$

- électronégativité selon l'échelle de Pauling : $\chi(\text{H}) = 2,2$; $\chi(\text{C}) = 2,6$; $\chi(\text{O}) = 3,4$.

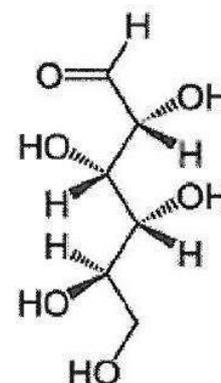
1. Le glucose

Le glucose existe dans la nature sous deux formes : une forme linéaire, le D-glucose, et deux formes cycliques :

le α -D-glucopyranose et le β -D-glucopyranose.

1.1. Forme linéaire du glucose

La représentation de Cram du D-glucose est donnée ci-contre.

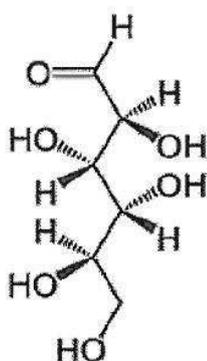


1.1.1. Identifier sur L'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** les groupes caractéristiques de cette molécule et nommer la fonction associée à chacun d'eux.

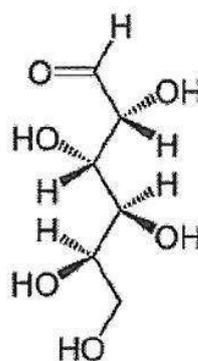
1.1.2. Sur la même représentation de la molécule de D-glucose (**ANNEXE**), identifier les atomes de carbone asymétrique.

1.1.3. Deux stéréoisomères du glucose, le D-mannose et le D-galactose, existent dans la nature.

Sont-ils des énantiomères du D-glucose ? Justifier.



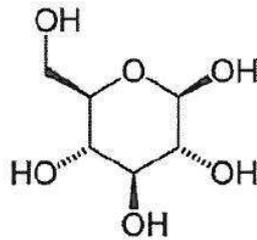
D-mannose



D-galactose

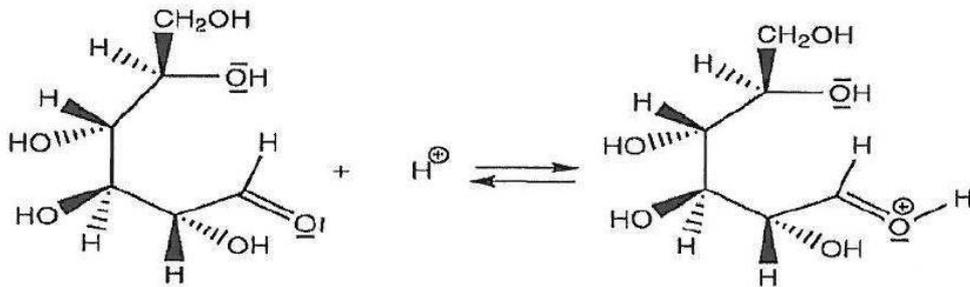
1.2. Forme cyclique du glucose

La représentation de Cram du β -D-glucopyranose est donnée ci-dessous.

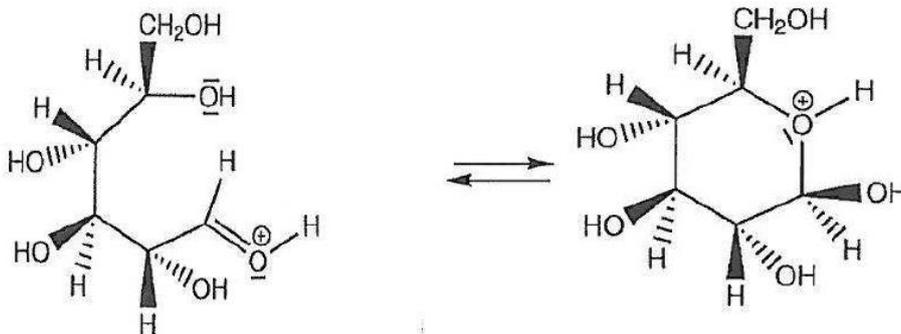


Les étapes du mécanisme de cyclisation permettant de passer de la forme linéaire du D-glucose à la forme cyclique, le β -D-glucopyranose, sont données ci-après.

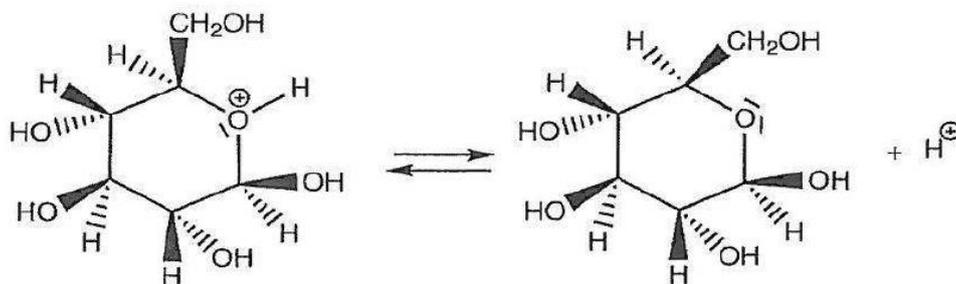
Étape n°1 :



Étape n°2 :



Étape n°3 :



1.2.1. Sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, identifier le site donneur et le site accepteur mis en jeu dans l'étape n°2, et représenter les flèches courbes rendant compte de cette étape.

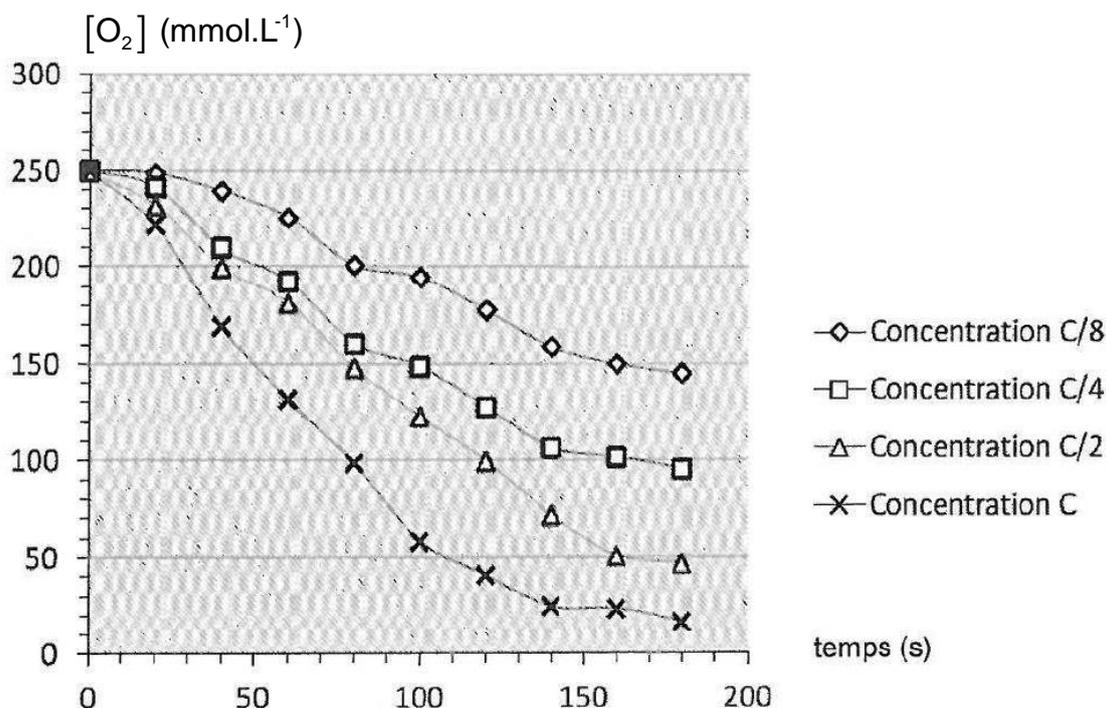
1.2.2. La cyclisation est d'autant plus rapide que la concentration en ion H^+ est importante. Peut-on considérer que l'ion H^+ est catalyseur de cette réaction ? Justifier.

2. Rôle de l'enzyme glucose oxydase dans l'oxydation du glucose

Pour illustrer les effets de l'enzyme glucose oxydase, des élèves réalisent quatre suivis cinétiques de l'oxydation du glucose par le dioxygène. Ils réalisent quatre mélanges identiques de solution de glucose et de dioxygène, le dioxygène étant le réactif limitant.

Dans chaque mélange, l'enzyme est introduite avec des concentrations différentes : $c_1 = c$, $c_2 = \frac{c}{2}$, $c_3 = \frac{c}{4}$, $c_4 = \frac{c}{8}$, où c est une concentration de référence en enzyme.

Les courbes donnant la concentration en dioxygène dans le milieu en fonction du temps pour chaque expérience sont représentées ci-après.



Cinétique enzymatique et concentration en enzyme (glucose oxydase)

(d'après le site académique d'Orléans-Tours)

2.1. Écrire l'équation de la réaction d'oxydation du glucose par le dioxygène, sachant que les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont $C_6H_{10}O_6/C_6H_{12}O_6$ et O_2/H_2O .

- 2.2. Quel est le rôle de la glucose oxydase dans la réaction d'oxydation du glucose par le dioxygène ? Justifier.
- 2.3. Représenter qualitativement, sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'allure de la courbe donnant l'évolution de la concentration en dioxygène dans la solution en l'absence de glucose oxydase.
- 2.4. Comment évolue le temps de demi-réaction en fonction de la concentration en enzyme ? Justifier graphiquement sur **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.
- 2.5. Dans la biopile au glucose, l'oxydation du glucose a lieu à l'anode et la réduction du dioxygène, à la cathode.
L'intensité du courant étant d'autant plus grande que le débit d'électrons dans le circuit est important, que peut-on dire de l'évolution de l'intensité du courant en fonction de la concentration en glucose oxydase ?
- 2.6. En réalité, l'enzyme est opérante uniquement sous la forme cyclique principale du glucose, le β -D-glucopyranose, et inopérante sous la forme linéaire du glucose ou sur l'autre forme cyclique du glucose, le α -D-glucopyranose.
Quelle caractéristique de sa réactivité cela illustre-t-il ?

3. Durée de fonctionnement de biopiles

L'obstacle majeur d'un développement à large échelle des biopiles reste leurs dimensions. Pour alimenter de gros appareils, il faut en effet en associer un grand nombre. À titre d'exemple, l'entreprise Sony a commercialisé un lecteur mp3 nécessitant une puissance d'alimentation égale à 150 mW alimenté par une pile composée de sucre et d'eau. La pile avait une longueur d'environ 20 cm (voir photo ci-contre) et une réserve de 100 g de glucose.



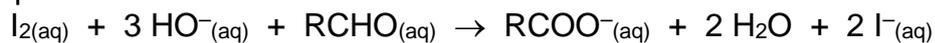
www.sony.net

Données :

- énergie libérée par la réaction du glucose et du dioxygène dans la biopile :
150 kJ par mole de glucose oxydé ;
- énergie E (en joule) reçue par le lecteur mp3 pendant la durée Δt (en seconde) :
 $E = P \cdot \Delta t$ où P (en watt) est la puissance d'alimentation.

- 3.1. Déterminer la durée de fonctionnement du lecteur mp3 alimenté par la biopile au glucose commercialisée.
- 3.2. On trouve du glucose dans les fruits, ce qui fait des jus de fruits un moyen de recharger les biopiles. L'étude qui suit a pour objectif d'évaluer l'énergie disponible dans une biopile au glucose rechargée avec un litre de jus de raisin.

On introduit dans une fiole jaugée de 50 mL, 2,0 mL de jus de raisin et 20,0 mL d'une solution de diiode (coloration jaune en milieux aqueux) de concentration $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. La fiole est complétée par une solution d'hydroxyde de sodium. La réaction qui se produit lors du mélange a pour équation chimique :

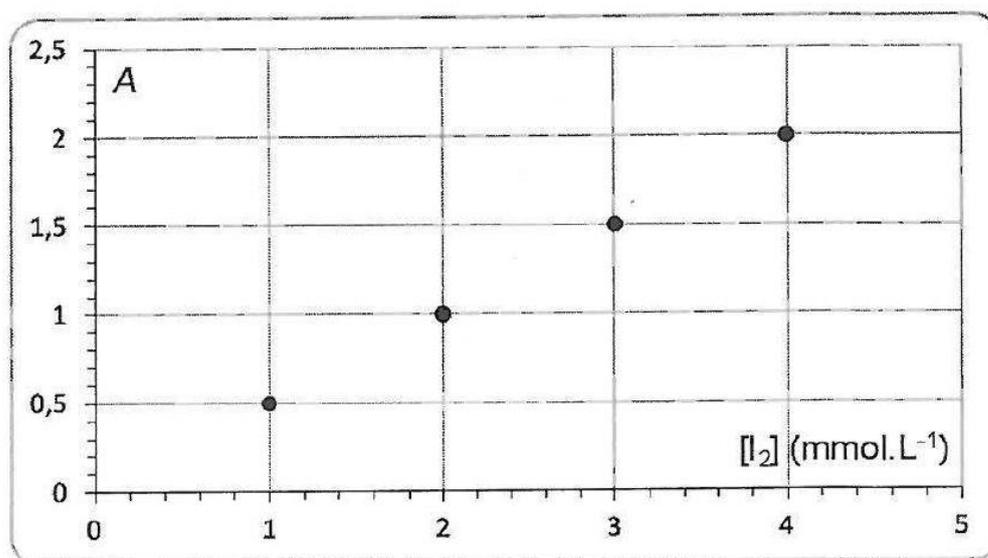


Les ions hydroxyde et le diiode sont introduits en excès.

Le glucose est noté RCHO.

Une fois la réaction terminée le diiode en excès est dosé par spectrophotométrie, l'appareil est réglé à la longueur d'onde de 440 nm : la mesure de l'absorbance d'un échantillon de la solution donne $A = 1,6$.

Une courbe d'étalonnage a été tracée à cette longueur d'onde à partir de quatre solutions de concentration connue en diiode.

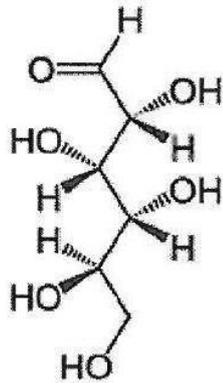


Déterminer la durée de fonctionnement du mp3, alimenté par une pile au glucose composée d'un litre de ce jus de raisin.

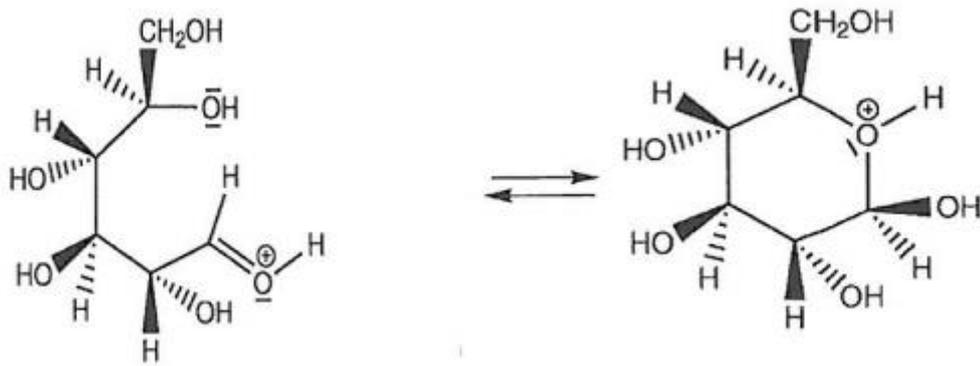
Le candidat est invité à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. Toute prise d'initiative sera valorisée.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

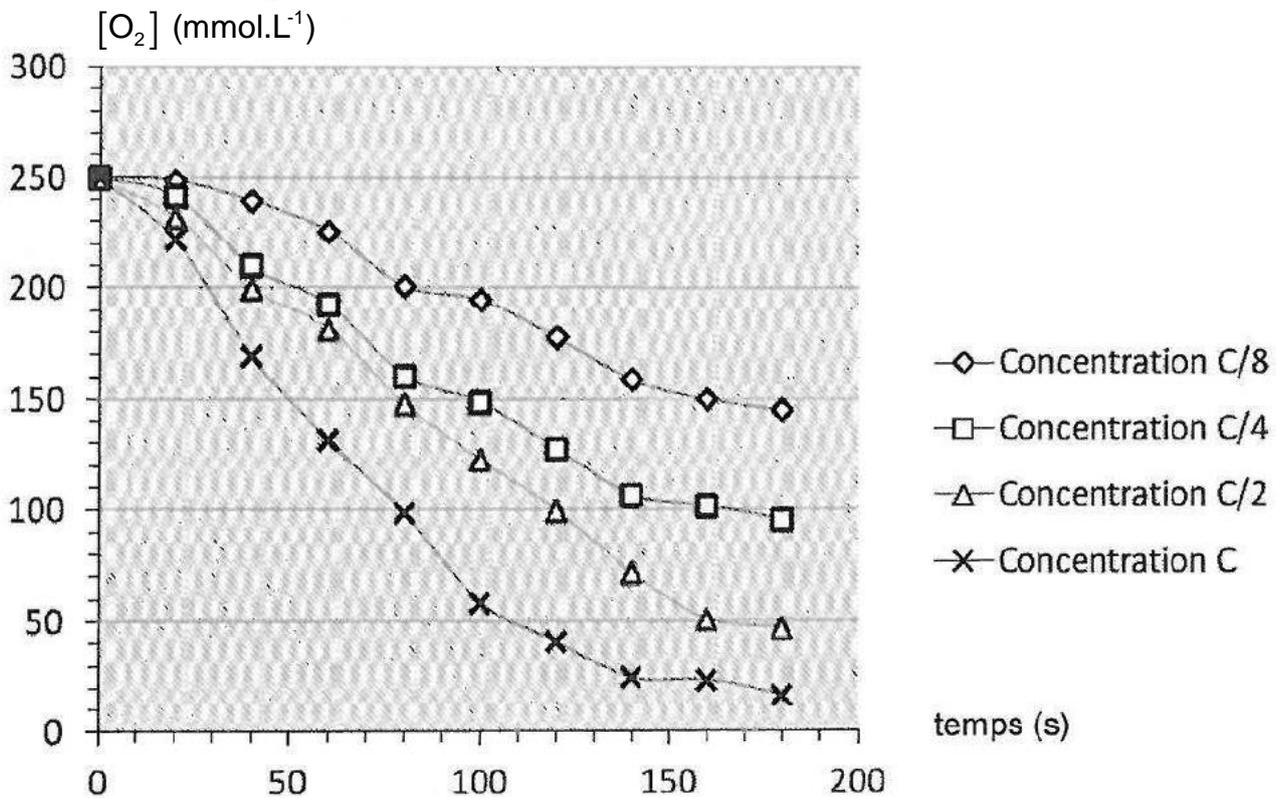
Question 1.1.1 :



Question 1.2.1 :



Questions 2.3 et 2.4 :



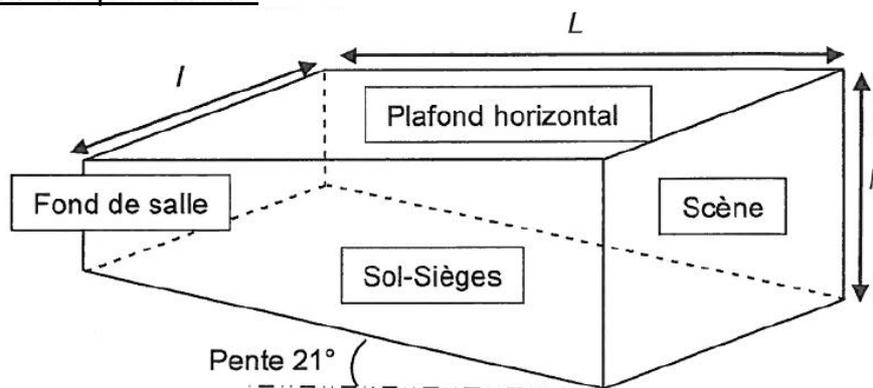
EXERCICE III : RÉNOVATION D'UN AMPHITHÉÂTRE (5 points)

Un amphithéâtre doit être rénové pour améliorer ses qualités acoustiques dans l'objectif de la tenue de conférences.

Pour cela, il est proposé d'effectuer des aménagements au niveau du plafond.



Caractéristiques de l'amphithéâtre :



- dimensions :

longueur $L = 15,0$ m ; largeur $l = 11,0$ m ; hauteur maximale : $h = 8,5$ m ;

- surface totale (murs , plafonds et sol) : 634 m² ;

- inclinaison du plancher : 21° ;

- temps de réverbération global (sans distinction de fréquences) : $1,7$ s ;

- le plafond est en béton ;

- la valeur du coefficient d'absorption moyen des matériaux constituant le sol et les murs est égale à $0,17$.

Les documents utiles à la résolution sont donnés à la page suivante.

1. Montrer que la valeur de l'aire équivalente A de l'amphithéâtre avant travaux est égale à 88 m². L'aire équivalente est définie ci-après, avec le temps de réverbération.

2. Est-il possible de rénover le plafond de cet amphithéâtre afin de permettre la tenue de conférences dans de bonnes conditions acoustiques en utilisant l'un des matériaux proposés dans la liste ci-après ? Justifier de façon précise la réponse.

Remarque :

Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution, ainsi que sur la qualité de sa rédaction.

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

Coefficient d'absorption acoustique :

Chaque matériau peut être caractérisé par son coefficient d'absorption acoustique α , dépendant de la fréquence. Les valeurs de coefficient d'absorption acoustique moyen pour quelques matériaux courants sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

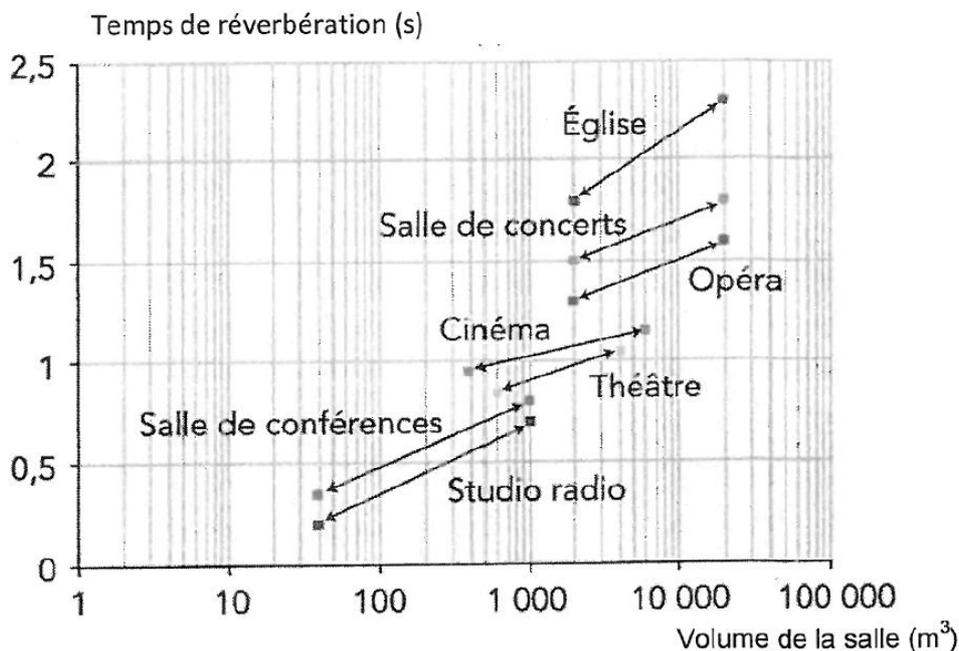
matériau	moquette	béton	plâtre	mousse	bois
α	0,26	0,050	0,040	0,60	0,10

Temps de réverbération :

Le temps de réverbération global T_R d'une salle est le temps au bout duquel le niveau d'intensité sonore diminue de 60 dB. Selon la théorie de Sabine, son expression est donnée par : $T_R = 0,16 \cdot \frac{V}{A}$ où T_R est exprimé en s, V est le volume de

la salle en m^3 et A l'aire équivalente en m^2 , définie par : $A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$ avec α_i , coefficient d'absorption moyen du matériau recouvrant la surface S_i .

Temps de réverbération optimal pour des fréquences comprises entre 500 Hz et 1000 Hz :



D'après le site www.insa-lyon.fr