Corrigé complet — Bac S 2016 Centres étrangers (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Ondes et électrons** Diffraction · Dualité onde-particule · Relation de de Broglie · Force électrique et champ uniforme · Deuxième loi de Newton · Équations horaires	6 pts	1 h	9 questions	p. 2
Ex 2	**Sucre et électrons** Groupes caractéristiques et stéréoisomérie · Mécanisme réactionnel et flèches courbes · Catalyse enzymatique · Temps de demi-réaction · Oxydoréduction et pile · Dosage par étalonnage spectrophotométrique	9 pts	1 h 30	13 questions	p. 7
Ex 3	**Des aurores polaires et des électrons.** Relativité restreinte · Dilatation des durées · Énergie cinétique · Lecture graphique · Énergie d'un photon	5 pts	50 min	7 questions	p. 14
Ex 4	**Spécialité : Rénovation d'un amphithéâtre** Acoustique des salles · Temps de réverbération · Formule de Sabine · Aire équivalente d'absorption · Lecture d'un graphique à échelle logarithmique · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 18

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Ondes et électrons

Bac S 2016 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Quelle condition sur la longueur d'onde permet d'observer le phénomène de diffraction ?

La diffraction s'observe nettement lorsque la longueur d'onde λ de l'onde est du même ordre de grandeur que la dimension a de l'obstacle ou de l'ouverture qu'elle rencontre (ou supérieure à cette dimension).

Ici, l'obstacle est le réseau cristallin, de pas $a \approx 0{,}1$ nm.

Condition : λ de l'ordre de grandeur de a, soit $\lambda \approx 0{,}1$ nm pour un cristal.

COMPRENDRE
Plus le rapport λ/a est grand, plus l'onde s'étale après l'obstacle. Avec la lumière, on voit encore la diffraction pour une fente cent fois plus large que λ.

1.2 Expliquer en quoi la figure 1 illustre l'hypothèse d'un comportement ondulatoire des électrons.

La diffraction est un phénomène caractéristique des ondes.

Sur la figure 1, le faisceau d'électrons qui a traversé la feuille d'aluminium donne des anneaux concentriques, comme le faisceau de rayons X, qui est une onde électromagnétique. Les électrons sont donc diffractés par les cristaux.

Les électrons, qui sont des particules, subissent la diffraction : ils ont aussi un comportement ondulatoire.

MÉTHODE
Raisonnement en trois temps : ce que l'on observe (des anneaux identiques), la propriété connue (seules les ondes diffractent), la conclusion (l'électron se comporte comme une onde).

1.3 Donner la relation de de Broglie qui prend en compte ce comportement ondulatoire des électrons. Quelle est sa signification ?

Relation de de Broglie :

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad \text{avec } p = m\,v$$

λ : longueur d'onde de l'onde de matière associée à la particule (m) ; h : constante de Planck (J·s) ; p : quantité de mouvement de la particule (kg·m·s^{-1}).

Signification : à toute particule en mouvement est associée une onde. La relation relie une grandeur ondulatoire (λ) à une grandeur particulaire (p) : elle traduit la dualité onde-particule.

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\,v}$: une particule de quantité de mouvement p se comporte comme une onde de longueur d'onde λ.

PIÈGE
Donner la formule sans nommer les grandeurs ni leurs unités, ou oublier la seconde partie de la question : la signification vaut une partie des points.

COMPRENDRE
La relation de de Broglie et les ondes de matière figuraient au programme de Terminale S ; elles ne sont plus au programme actuel de spécialité.

2.1 Montrer que le poids de l'électron peut être négligé devant la force électrique qu'il subit.

Données utiles $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $U \approx 100$ V ; $d < 1$ m ; $E = \dfrac{U}{d}$; $g = 9{,}81$ N · kg^{-1}

Poids de l'électron : $P = m\,g = 9{,}11 \times 10^{-31} \times 9{,}81 = 8{,}94 \times 10^{-30}$ N, soit un ordre de grandeur de 10^{-29} N.

Force électrique : $F = e\,E = \dfrac{e\,U}{d}$. Comme $d < 1$ m, la valeur la plus faible possible est

$$F > \frac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 100}{1} = 1{,}60 \times 10^{-17} \text{ N}$$

soit un ordre de grandeur d'au moins 10^{-17} N.

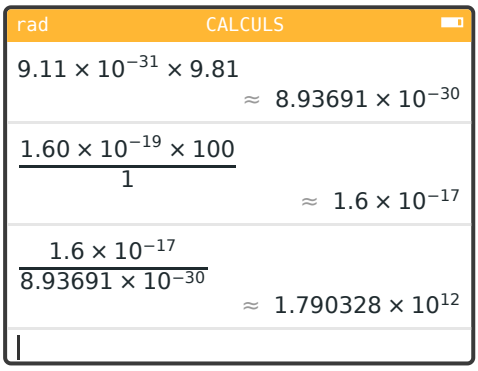
$$\frac{F}{P} > \frac{1{,}60 \times 10^{-17}}{8{,}94 \times 10^{-30}} \approx 2 \times 10^{12}$$

F est au moins 10^{12} fois plus grande que P : le poids est négligeable devant la force électrique.

COMPRENDRE
U n'est donnée qu'en ordre de grandeur : seuls les ordres de grandeur des forces ont un sens ici. Ailleurs, le résultat garde autant de chiffres significatifs que la donnée la moins précise.

MÉTHODE
Pour montrer qu'une force est négligeable, calculer le rapport des deux valeurs. Ici d est inconnue : prendre le cas le plus défavorable ($d = 1$ m). Si la conclusion tient alors, elle tient pour toute distance plus petite.

À LA CALCULATRICE



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.

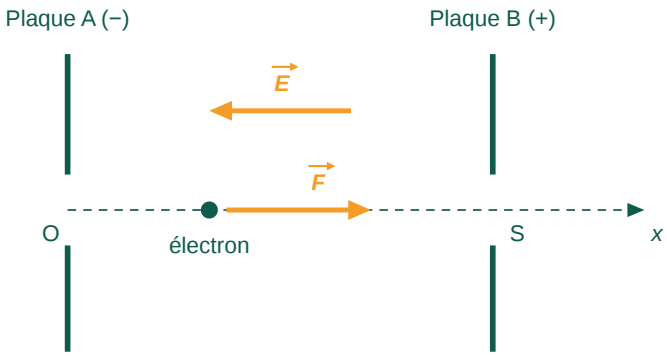
L'électron part de la plaque A sans vitesse initiale et il est accéléré jusqu'à la sortie S, sur la plaque B : la force électrique $\vec{F}$ est donc horizontale, dirigée de A vers B.

Or $\vec{F} = q\,\vec{E} = -e\,\vec{E}$. La charge de l'électron est négative : $\vec{E}$ a la même direction que $\vec{F}$, mais le sens opposé.

$\vec{F}$ est horizontale, de A vers B ; $\vec{E}$ est horizontal, de B vers A (voir le schéma).

PIÈGE
Dessiner $\vec{E}$ dans le sens de $\vec{F}$. Pour une charge négative, force et champ sont de sens opposés.

COMPRENDRE
Le champ va de la plaque positive vers la plaque négative : B est donc chargée positivement et attire l'électron, A est chargée négativement et le repousse.



2.2 · Force électrique et champ électrostatique entre les plaques A et B

2.3 Montrer qu'en sortie S du dispositif, la vitesse d'un électron s'écrit $v_S = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m}}$.

Données utiles vitesse nulle à l'entrée ; poids négligeable (2.1) ; $\vec{F} = -e\,\vec{E}$ (2.2) ; $E = \dfrac{U}{d}$

Système {électron}, de masse m constante ; référentiel du laboratoire supposé galiléen ; seule force : $\vec{F} = -e\,\vec{E}$ (poids négligé).

Axe (Ox) horizontal, orienté de A vers B, d'origine O sur la plaque A (position de l'électron à $t = 0$).

Deuxième loi de Newton : $m\,\vec{a} = -e\,\vec{E}$. Sur (Ox), $E_x = -E$ car $\vec{E}$ est dirigé de B vers A, donc

$$a_x = \frac{e\,E}{m}$$

$a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$: par intégration, $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m}\,t + C_1$; or $v_x(0) = 0$, donc $C_1 = 0$ et $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m}\,t$.

$v_x = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$: par intégration, $x(t) = \dfrac{e\,E}{2\,m}\,t^2 + C_2$; or $x(0) = 0$, donc $C_2 = 0$ et $x(t) = \dfrac{e\,E}{2\,m}\,t^2$.

En S, à la date t_S : $x(t_S) = d$, donc $t_S = \sqrt{\dfrac{2\,m\,d}{e\,E}}$.

$$v_S = v_x(t_S) = \frac{e\,E}{m}\sqrt{\frac{2\,m\,d}{e\,E}} = \sqrt{\frac{2\,e\,E\,d}{m}}$$

Comme $E = \dfrac{U}{d}$, on a $E\,d = U$.

$v_S = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m}}$, qui est bien l'expression attendue.

PIÈGE
Écrire $a_x = -\dfrac{e\,E}{m}$ en oubliant que $E_x = -E$: l'électron serait freiné. Vérifier que a_x est positive, puisque l'électron accélère vers B.

COMPRENDRE
La distance d disparaît du résultat : seule la tension compte. On retrouve $\dfrac{1}{2}\,m\,v_S^2 = e\,U$, c'est-à-dire le théorème de l'énergie cinétique, qui donne le résultat en deux lignes.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système, référentiel, forces, deuxième loi de Newton, projection, puis deux intégrations avec les conditions initiales. La date d'arrivée se tire de la position, la vitesse s'en déduit.

2.4.1 Montrer que la tension s'écrit $U = \dfrac{h^2}{2\,m\,e\,\lambda^2}$ lorsque la longueur d'onde de l'onde de matière vaut λ.

Données utiles $\lambda = \dfrac{h}{m\,v}$ (1.3) ; $v_S = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m}}$ (2.3)

Relation de de Broglie pour l'électron qui sort en S : $\lambda = \dfrac{h}{m\,v_S}$, soit $m\,v_S = \dfrac{h}{\lambda}$.

Avec l'expression de v_S :

$$m\sqrt{\frac{2\,e\,U}{m}} = \sqrt{2\,m\,e\,U} = \frac{h}{\lambda}$$

En élevant au carré : $2\,m\,e\,U = \dfrac{h^2}{\lambda^2}$.

$U = \dfrac{h^2}{2\,m\,e\,\lambda^2}$, qui est bien l'expression attendue.

PIÈGE
Faire entrer m sous la racine sans l'élever au carré : $m\sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m}} = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U\,m^2}{m}} = \sqrt{2\,m\,e\,U}$.

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

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $\lambda \approx 0{,}1$ nm $= 0{,}1 \times 10^{-9}$ m

Avec $\lambda = 0{,}1 \times 10^{-9}$ m dans $U = \dfrac{h^2}{2\,m\,e\,\lambda^2}$:

$$U = \frac{(6{,}63 \times 10^{-34})^2}{2 \times 9{,}11 \times 10^{-31} \times 1{,}60 \times 10^{-19} \times (0{,}1 \times 10^{-9})^2}$$

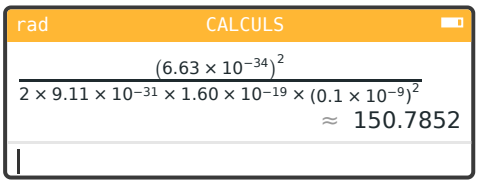
$$U = 1{,}5 \times 10^{2}\ \text{V}$$

$U \approx 1{,}5 \times 10^2$ V : l'ordre de grandeur est 10^2 V, en accord avec la tension « de l'ordre de 100 V » annoncée.

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres, ou oublier le carré sur λ : le résultat est alors faux de plusieurs puissances de dix.

COMPRENDRE
λ n'est connue qu'en ordre de grandeur : la valeur 150 V n'a pas de précision réelle, seule la puissance de dix est à retenir.

À LA CALCULATRICE



3 Expliquer en quelques lignes une raison qui a pu motiver les chercheurs à se lancer dans l'élaboration d'un microscope électronique.

Données utiles résolution proportionnelle à la longueur d'onde ; $U \approx 100$ kV ; $U = \dfrac{h^2}{2\,m\,e\,\lambda^2}$ (2.4.1)

Un microscope optique utilise la lumière visible, de longueur d'onde comprise entre 400 nm et 800 nm : il ne peut pas séparer deux détails plus proches que quelques centaines de nanomètres.

Pour des électrons, $\lambda = \dfrac{h}{\sqrt{2\,m\,e\,U}}$: une tension de 100 V donne déjà $\lambda \approx 0{,}1$ nm, et λ diminue encore quand U augmente. Avec $U \approx 100$ kV, mille fois plus grande, λ est divisée par $\sqrt{1000} \approx 30$: elle vaut quelques picomètres.

La résolution étant proportionnelle à la longueur d'onde, elle est bien meilleure avec des électrons.

La longueur d'onde des électrons est au moins 10^4 fois plus petite que celle de la lumière visible : le microscope électronique distingue des détails beaucoup plus fins, jusqu'à l'échelle de l'atome.

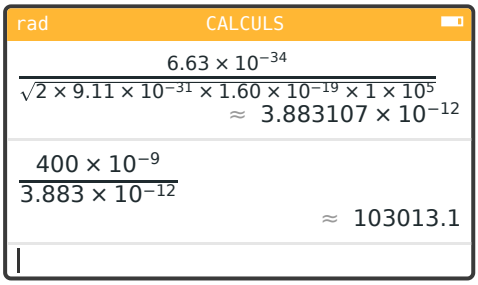
COMPRENDRE

À 100 kV, l'électron atteint plus de la moitié de la célérité de la lumière : la formule non relativiste n'est qu'une estimation, mais l'ordre de grandeur reste correct.

MÉTHODE

Question de synthèse : citer l'information du texte (résolution proportionnelle à λ), comparer deux ordres de grandeur chiffrés (visible et électrons), puis conclure sur l'intérêt de l'appareil.

À LA CALCULATRICE



Sucre et électrons

Bac S 2016 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

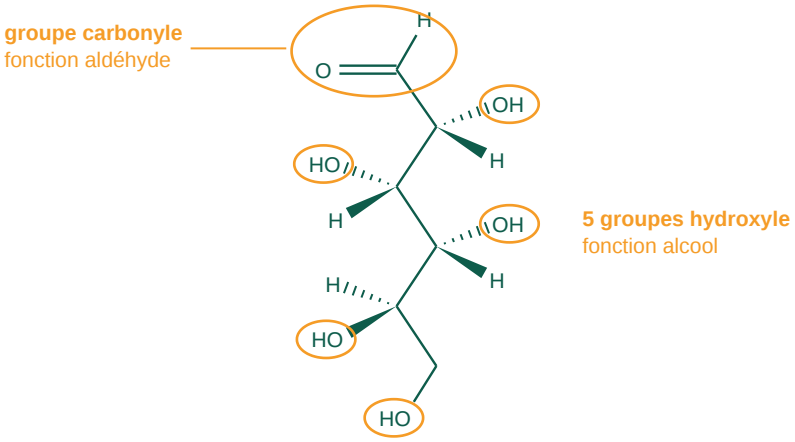
1.1.1 Identifier sur l'annexe les groupes caractéristiques du D-glucose et nommer la fonction associée à chacun d'eux.

La molécule porte deux types de groupes caractéristiques, entourés sur l'annexe :

- un groupe **carbonyle** $C{=}O$ en bout de chaîne (carbone lié à un H) : fonction **aldéhyde** ;
- cinq groupes **hydroxyle** $-OH$: fonction **alcool**.

Un groupe carbonyle (aldéhyde) et cinq groupes hydroxyle (alcool).

PIÈGE
Entourer seulement $C{=}O$ ne suffit pas à justifier « aldéhyde » : c'est l'atome H porté par le carbone du carbonyle qui distingue l'aldéhyde de la cétone. On l'inclut dans le contour.



1.1.1 · Annexe complétée : groupes caractéristiques du D-glucose

1.1.2 Sur la même représentation du D-glucose, identifier les atomes de carbone asymétriques.

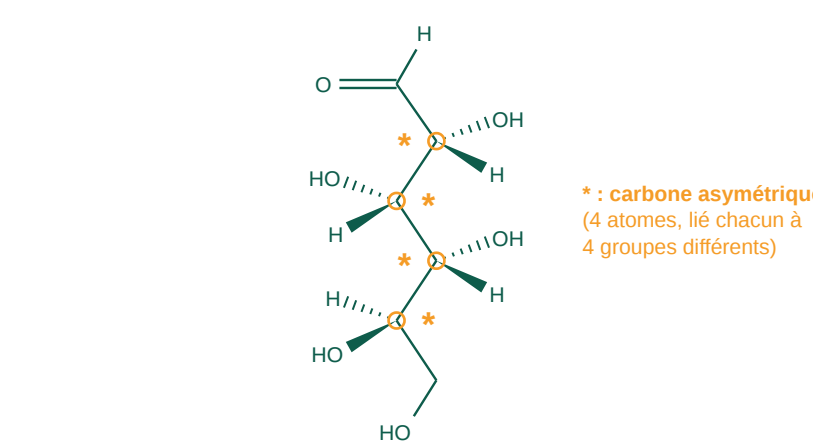
Un atome de carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

Les carbones 2, 3, 4 et 5 de la chaîne (numérotée à partir du carbone de l'aldéhyde) portent chacun un H, un OH et deux morceaux de chaîne différents : ils sont repérés par un astérisque sur l'annexe.

Le D-glucose possède 4 atomes de carbone asymétriques.

PIÈGE
Le carbone 1 (double liaison, trois voisins seulement) et le carbone 6 (deux atomes H identiques) ne sont pas asymétriques.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique, représentation de Cram, énantiomères et diastéréoisomères relevaient du programme de Terminale S. Ces notions ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.



1.1.2 · Annexe complétée : atomes de carbone asymétriques du D-glucose

1.1.3 Le D-mannose et le D-galactose, stéréoisomères du glucose, sont-ils des énantiomères du D-glucose ? Justifier.

Deux énantiomères sont images l'un de l'autre dans un miroir plan et non superposables : la disposition spatiale est alors inversée sur **tous** les carbones asymétriques.

Or, en comparant les représentations de Cram :

- le D-mannose ne diffère du D-glucose que sur le carbone 2 (H et OH échangés) ;
- le D-galactose ne diffère du D-glucose que sur le carbone 4 (H et OH échangés).

Les trois autres carbones asymétriques gardent la même configuration : aucune de ces deux molécules n'est l'image du D-glucose dans un miroir.

Non : le D-mannose et le D-galactose sont des diastéréoisomères du D-glucose, pas des énantiomères.

MÉTHODE
Comparer deux stéréoisomères carbone asymétrique par carbone asymétrique. Tous inversés : énantiomères. Une partie seulement inversée : diastéréoisomères.

1.2.1 Sur l'annexe, identifier le site donneur et le site accepteur de doublet d'électrons mis en jeu dans l'étape n°2, et représenter les flèches courbes rendant compte de cette étape.

Données utiles $\chi(\mathrm{C}) = 2{,}6$; $\chi(\mathrm{O}) = 3{,}4$

Au cours de l'étape n°2, une liaison $\mathrm{C-O}$ se forme (fermeture du cycle) et la double liaison $\mathrm{C=O}$ devient simple.

Site donneur : l'atome d'oxygène du groupe hydroxyle porté par le carbone 5, qui possède deux doublets non liants.

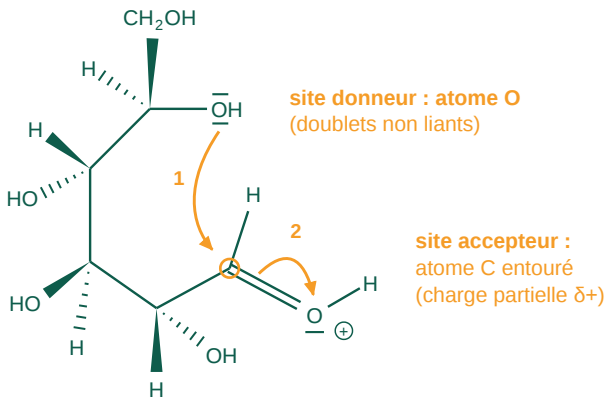
Site accepteur : l'atome de carbone du groupe $\mathrm{C=O}$. Comme $\chi(\mathrm{O}) > \chi(\mathrm{C})$, la liaison est polarisée et ce carbone porte une charge partielle positive.

Flèche 1 : d'un doublet non liant de l'oxygène donneur vers le carbone accepteur (formation de la liaison $\mathrm{C-O}$).

Flèche 2 : de la double liaison $\mathrm{C=O}$ vers l'oxygène chargé positivement (un doublet liant devient non liant, la charge se retrouve sur l'oxygène du cycle).

Donneur : O du groupe hydroxyle ; accepteur : C du groupe carbonyle protoné ; deux flèches courbes (voir annexe).

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet (non liant ou liant) et pointe vers l'atome qui le reçoit. La tracer du carbone vers l'oxygène, ou depuis un atome H, fait perdre les points.



1.2.1 · Annexe complétée : flèches courbes de l'étape n°2 (réactif)

1.2.2 La cyclisation est d'autant plus rapide que la concentration en ion H^+ est grande. L'ion H^+ est-il un catalyseur de cette réaction ? Justifier.

Un catalyseur accélère une réaction sans figurer dans son équation : il est consommé puis régénéré.

Ici :

- l'ion H^+ augmente la vitesse de la cyclisation (énoncé) ;
- il est consommé lors de l'étape n°1 et régénéré lors de l'étape n°3 ;
- il n'apparaît donc pas dans le bilan : D-glucose $\rightleftharpoons$ β-D-glucopyranose.

Oui, l'ion H^+ est un catalyseur de la cyclisation.

MÉTHODE
Pour reconnaître un catalyseur dans un mécanisme : chercher l'espèce consommée dans une étape et reformée dans une étape ultérieure. Un intermédiaire réactionnel fait l'inverse : formé puis consommé.

2.1 Écrire l'équation de la réaction d'oxydation du glucose par le dioxygène.

Données utiles couples $C_6H_{10}O_6/C_6H_{12}O_6$ et O_2/H_2O

Oxydation du glucose : $C_6H_{12}O_6 = C_6H_{10}O_6 + 2\,H^+ + 2\,e^- \quad (\times 2)$

Réduction du dioxygène : $O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- = 2\,H_2O \quad (\times 1)$

On multiplie la première demi-équation par 2 pour échanger 4 électrons, puis on additionne ; les ions H^+ se simplifient.

$$2\,C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow 2\,C_6H_{10}O_6 + 2\,H_2O$$

PIÈGE
Additionner les deux demi-équations sans égaliser le nombre d'électrons échangés : il reste alors des électrons ou des ions H^+ dans l'équation finale.

2.2 Quel est le rôle de la glucose oxydase dans la réaction d'oxydation du glucose par le dioxygène ? Justifier.

La glucose oxydase n'apparaît pas dans l'équation de la réaction (2.1) : ce n'est ni un réactif ni un produit.

Les quatre courbes partent de la même concentration, mais $[O_2]$ décroît d'autant plus vite que la concentration en enzyme est grande : à $t = 100$ s, il reste environ 195 mmol·L^{-1} pour $c/8$ contre environ 60 mmol·L^{-1} pour c.

L'enzyme accélère donc la réaction sans intervenir dans son bilan.

La glucose oxydase est un catalyseur (catalyse enzymatique) de l'oxydation du glucose.

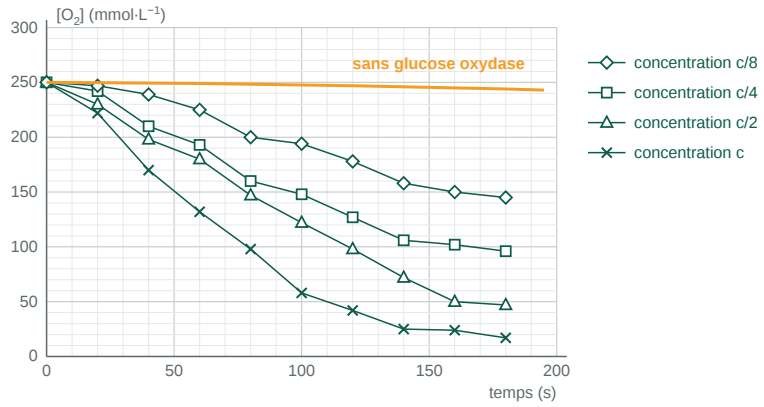
COMPRENDRE
Une justification graphique s'appuie sur des valeurs lues : comparer les concentrations restantes à une même date suffit à montrer que la transformation est plus rapide.

2.3 Représenter qualitativement, sur l'annexe, l'allure de la courbe donnant l'évolution de la concentration en dioxygène en l'absence de glucose oxydase.

Sans catalyseur, la réaction est beaucoup plus lente : la concentration en dioxygène part de la même valeur initiale (250 mmol·L^{-1}, mélanges identiques) et diminue très lentement.

La courbe part de 250 mmol·L^{-1} et reste au-dessus de la courbe $c/8$, presque horizontale sur la durée de l'expérience.

PIÈGE
Tracer une droite strictement horizontale revient à dire que la réaction n'a pas lieu. Le catalyseur modifie la durée de la transformation, pas son état final : la courbe décroît, très lentement.



2.3 · Annexe complétée : allure de la courbe 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 l'annexe.

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale.

Le dioxygène est le réactif limitant d'une transformation totale : sa concentration finale est nulle. À $t_{1/2}$, la moitié du dioxygène a été consommée :

$$[\mathrm{O_2}]_{t_{1/2}} = \frac{[\mathrm{O_2}]_0}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ mmol} \cdot \mathrm{L}^{-1}$$

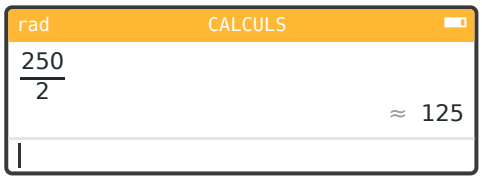
Sur chaque courbe, on repère le point situé à 125 mmol·L^{-1} et on lit sa date :

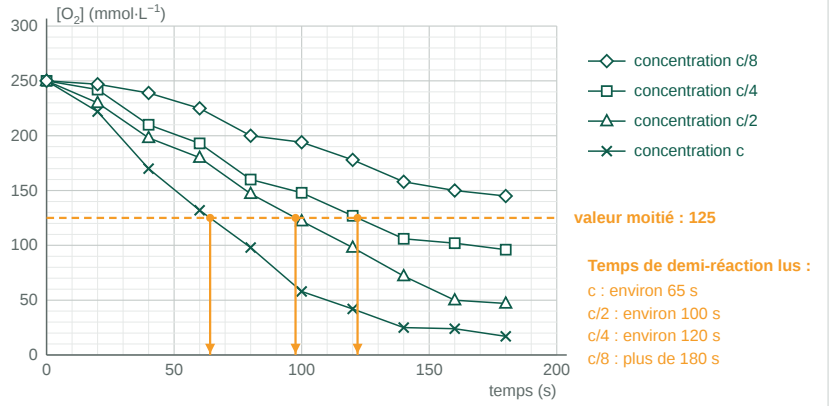
- concentration c : $t_{1/2} \approx 65$ s ;
- concentration $c/2$: $t_{1/2} \approx 100$ s ;
- concentration $c/4$: $t_{1/2} \approx 120$ s ;
- concentration $c/8$: $t_{1/2} > 180$ s (valeur non atteinte sur le graphique).

Plus la concentration en enzyme est grande, plus le temps de demi-réaction est court.

PIÈGE
Prendre la moitié de la durée de l'expérience, ou la moitié de la dernière valeur mesurée. La référence est l'état final : ici $[\mathrm{O_2}]_f = 0$, donc on lit à $[\mathrm{O_2}]_0/2$.

À LA CALCULATRICE





2.4 · Annexe complétée : lecture graphique des temps de demi-réaction

2.5 L'intensité du courant est d'autant plus grande que le débit d'électrons dans le circuit est important. Que peut-on dire de l'évolution de l'intensité en fonction de la concentration en glucose oxydase ?

Plus la concentration en glucose oxydase est élevée, plus l'oxydation du glucose est rapide (2.4). Chaque molécule de glucose oxydée à l'anode libère 2 électrons : le nombre d'électrons libérés par seconde augmente, donc le débit d'électrons dans le circuit aussi.

L'intensité du courant augmente avec la concentration en glucose oxydase.

2.6 L'enzyme n'agit que sur le β-D-glucopyranose, pas sur la forme linéaire ni sur le α-D-glucopyranose. Quelle caractéristique de sa réactivité cela illustre-t-il ?

L'enzyme distingue des espèces très proches, dont deux stéréoisomères cycliques, et ne catalyse la transformation que d'une seule.

Cela illustre la sélectivité (ou spécificité) du catalyseur enzymatique.

COMPRENDRE
Le site actif d'une enzyme a une forme adaptée à une seule molécule, comme une serrure à sa clé : un stéréoisomère de géométrie différente ne s'y loge pas.

3.1 Déterminer la durée de fonctionnement du lecteur mp3 alimenté par la biopile au glucose commercialisée.

Données utiles $m = 100$ g de glucose $C_6H_{12}O_6$; $P = 150$ mW ; énergie libérée $E_m = 150$ kJ par mole de glucose ; $M(\text{H}) = 1{,}0$, $M(\text{C}) = 12{,}0$, $M(\text{O}) = 16{,}0$ g·mol^{-1} ; $E = P \cdot t$

Masse molaire du glucose : $M = 6 \times 12{,}0 + 12 \times 1{,}0 + 6 \times 16{,}0 = 180{,}0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Quantité de glucose disponible : $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{100}{180{,}0} = 0{,}556 \text{ mol}$.

En supposant que toute l'énergie libérée est reçue par le lecteur : $E = n \times E_m$ et $E = P \cdot t$, d'où

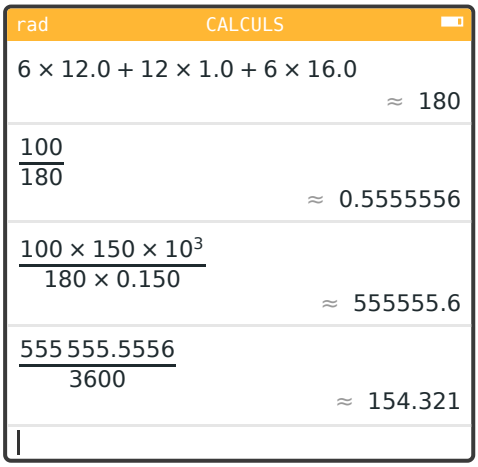
$$t = \frac{m \times E_m}{M \times P} = \frac{100 \times 150 \times 10^3}{180{,}0 \times 0{,}150} = 5{,}56 \times 10^5 \text{ s}$$

$t = 5{,}56 \times 10^5$ s ≈ 154 h, soit un peu plus de 6 jours.

PIÈGE
Conversions : 150 kJ $= 150 \times 10^3$ J et 150 mW $= 0{,}150$ W. Laisser l'énergie en kJ et la puissance en mW donne une durée fausse d'un facteur un million.

COMPRENDRE
Les données (100 g, 150 mW, 150 kJ) ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. C'est une durée maximale, puisqu'on néglige toute perte d'énergie.

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $V_j = 2{,}0$ mL de jus ; $V_1 = 20{,}0$ mL de diiode à $C_1 = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} ; fiole de $V = 50$ mL ; $A = 1{,}6$; courbe d'étalonnage ; $E_m = 150$ kJ·mol^{-1} ; $P = 150$ mW

Diiode restant. Les points d'étalonnage sont alignés avec l'origine (loi de Beer-Lambert) : $A = k\,[\mathrm{I_2}]$ avec $k = \dfrac{2{,}0}{4{,}0} = 0{,}50\ \mathrm{L \cdot mmol^{-1}}$. Pour $A = 1{,}6$:

$[\mathrm{I_2}]_r = \dfrac{1{,}6}{0{,}50} = 3{,}2\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1}}$, soit $n_r = [\mathrm{I_2}]_r \times V = 3{,}2 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-3} = 1{,}6 \times 10^{-4}$ mol.

Diiode introduit. $n_i = C_1 \times V_1 = 2{,}0 \times 10^{-2} \times 20{,}0 \times 10^{-3} = 4{,}0 \times 10^{-4}$ mol.

Glucose dans la prise d'essai. D'après l'équation, 1 mole de glucose réagit avec 1 mole de diiode, et le glucose (réactif limitant) est entièrement consommé :

$n(\text{glucose}) = n_i - n_r = 4{,}0 \times 10^{-4} - 1{,}6 \times 10^{-4} = 2{,}4 \times 10^{-4}$ mol dans 2,0 mL de jus.

Glucose dans 1 L de jus. $n_{1\,\mathrm{L}} = 2{,}4 \times 10^{-4} \times \dfrac{1000}{2{,}0} = 0{,}12$ mol.

Durée. Avec la même hypothèse qu'en 3.1 :

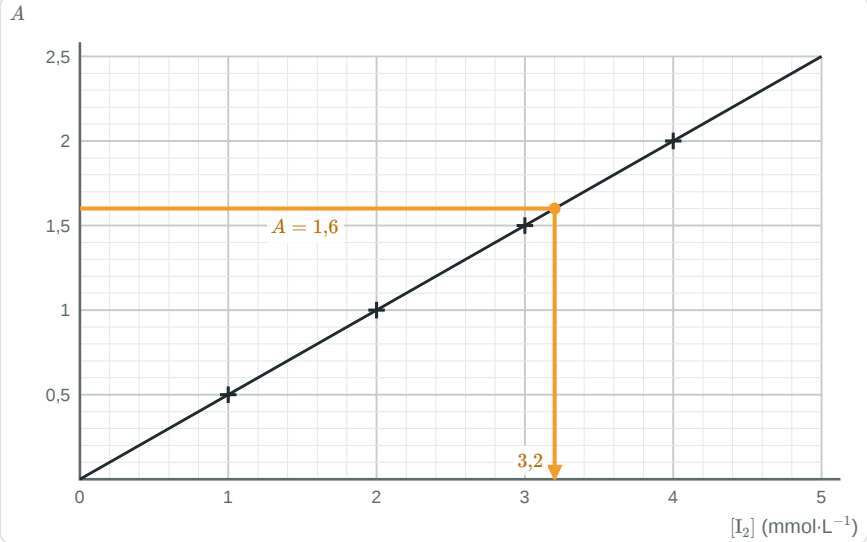
$$t = \frac{n_{1\,\mathrm{L}} \times E_m}{P} = \frac{0{,}12 \times 150 \times 10^3}{0{,}150} = 1{,}2 \times 10^5\ \mathrm{s}$$

$t = 1{,}2 \times 10^5$ s ≈ 33 h pour un litre de jus de raisin.

PIÈGE
La concentration lue est celle de la solution de la fiole : le volume à utiliser pour n_r est 50 mL, pas 20,0 mL ni 2,0 mL. Et c'est le diiode **restant** qui est dosé, pas le diiode consommé.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme A, C_1 et V_j. Le jus contient 0,12 mol·L^{-1} de glucose, soit environ 22 g par litre : près de cinq fois moins que la réserve de 100 g de la question 3.1.

MÉTHODE
Dosage indirect (par excès) : 1) quantité introduite ; 2) quantité restante, mesurée ; 3) différence = quantité consommée ; 4) stœchiométrie pour remonter à l'espèce cherchée ; 5) passage de la prise d'essai au volume demandé.



3.2 · Courbe d'étalonnage : lecture de la concentration en diiode restant pour $A = 1{,}6$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.6}{0.50} \approx 3.2$

$3.2 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^{-3} \approx 1.6 \times 10^{-4}$

$2.0 \times 10^{-2} \times 20.0 \times 10^{-3} \approx 4 \times 10^{-4}$

$4.0 \times 10^{-4} - 1.6 \times 10^{-4} \approx 2.4 \times 10^{-4}$

$\frac{2.4 \times 10^{-4} \times 1000}{2.0} \approx 0.12$

$\frac{0.12 \times 150 \times 10^{3}}{0.150} \approx 120000$

$\frac{120\,000}{3600} \approx 33.33333$

Des aurores polaires et des électrons.

Bac S 2016 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1.1 Lorsque les effets de la relativité restreinte se font sentir, on parle de « dilatation des durées ». Montrer en quoi cette expression est appropriée.

Données utiles $\Delta t = \gamma\,\Delta t_0$ avec $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$

Pour une particule en mouvement, $0 < v < c$, donc $0 < 1 - \dfrac{v^2}{c^2} < 1$: la racine carrée est inférieure à 1 et son inverse γ est supérieur à 1.

Comme $\Delta t = \gamma\,\Delta t_0$, la durée mesurée est plus grande que la durée propre, et l'écart augmente quand v se rapproche de c.

$\gamma > 1$ donc $\Delta t > \Delta t_0$: la durée mesurée est « dilatée » par rapport à la durée propre.

COMPRENDRE
La durée propre Δt_0 est mesurée dans le référentiel où les deux évènements ont lieu au même endroit (ici celui de la particule). C'est toujours la plus courte.

COMPRENDRE
La relativité restreinte figurait au programme de Terminale S. Elle n'est plus au programme actuel de la spécialité physique-chimie.

1.1.2 Une particule a une vitesse égale à 10 % de celle de la lumière dans un référentiel terrestre. On mesure $\Delta t = 1{,}0$ ns. Estimer Δt_0. Commenter.

Données utiles $v = 0{,}10\,c$; $\Delta t = 1{,}0$ ns

$\Delta t = \gamma\,\Delta t_0$ donc $\Delta t_0 = \dfrac{\Delta t}{\gamma} = \Delta t\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}$, avec $\dfrac{v}{c} = 0{,}10$.

$$\Delta t_0 = 1{,}0 \times \sqrt{1 - 0{,}10^2} = 0{,}99 \text{ ns}$$

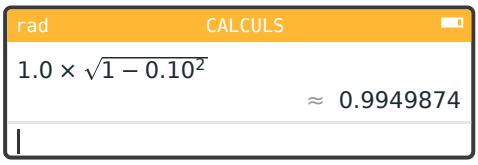
Les deux durées diffèrent de 0,5 % seulement : à 10 % de la vitesse de la lumière, la dilatation des durées reste à peine décelable.

$\Delta t_0 = 0{,}99$ ns $\approx \Delta t$: l'effet relativiste est très faible à cette vitesse.

PIÈGE
Multiplier par γ au lieu de diviser. La durée propre est la plus petite des deux : le résultat doit être inférieur à 1,0 ns.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme Δt et le rapport v/c. La valeur de c n'intervient pas : seul le rapport v/c compte.

À LA CALCULATRICE



1.1.3 « Les constantes fondamentales de la physique y sont modifiées de sorte que les phénomènes physiques habituellement cachés dans la vie courante deviennent manifestes ». Que veut dire l'auteur ? Illustrer en envisageant que la constante c ait une valeur plus petite.

Dans la vie courante, les vitesses sont infimes devant c : $\frac{v^2}{c^2} \approx 0$, donc $\gamma \approx 1$ et $\Delta t \approx \Delta t_0$. La dilatation des durées existe, mais elle est imperceptible.

Si c était beaucoup plus petite, par exemple $c = 20\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, un cycliste roulant à $v = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ aurait $\frac{v}{c} = 0{,}50$:

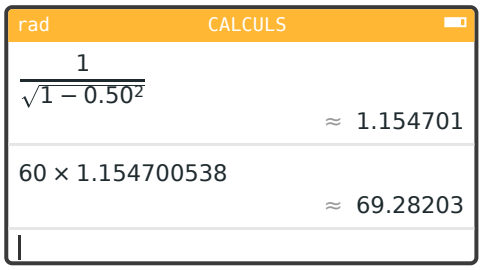
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}50^2}} = 1{,}15$$

Une durée d'une heure pour le cycliste durerait 1 h 09 min pour un passant immobile.

Avec une valeur de c proche des vitesses usuelles, γ s'écarte nettement de 1 et la dilatation des durées devient visible au quotidien.

MÉTHODE
« Illustrer » appelle un exemple chiffré. Choisir une valeur de c comparable à une vitesse familière, puis calculer γ : le correcteur attend un écart à 1 clairement visible.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Des deux représentations (1) et (2), identifier celle qui correspond à la théorie classique. Justifier en donnant deux arguments.

- En théorie classique, $E_c = \frac{1}{2} m v^2$, donc $\frac{v^2}{c^2} = \frac{2}{m c^2} E_c$: le rapport $\frac{v^2}{c^2}$ est proportionnel à E_c. Seule la représentation (2) est une droite passant par l'origine.
- Sur la représentation (2), $\frac{v^2}{c^2}$ dépasse 1 (graphe (a), au-delà de 0,26 MeV environ), soit $v > c$: c'est interdit par la relativité. La courbe (1), elle, reste sous 1.

La représentation (2) correspond à la théorie classique, la représentation (1) à la théorie relativiste.

COMPRENDRE
Aux faibles énergies, les deux représentations se confondent (graphe (b), jusqu'à 0,02 MeV environ) : la mécanique classique est la limite de la relativité aux petites vitesses.

1.2.2 Montrer qu'à partir d'une vitesse $v = 1{,}2 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, les électrons peuvent être considérés comme relativistes (écart relatif entre les énergies cinétiques classique et relativiste d'au moins 10 %).

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (valeur à connaître, absente de l'énoncé) ; graphe (b)

$$\frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{1{,}2 \times 10^8}{3{,}00 \times 10^8}\right)^2 = 0{,}16$$

Sur le graphe (b), pour cette ordonnée :

- droite (2), modèle classique : $E_{c2} \approx 0{,}041$ MeV ;
- courbe (1), modèle relativiste : $E_{c1} \approx 0{,}047$ MeV.

$$\frac{E_{c1} - E_{c2}}{E_{c1}} = \frac{0{,}047 - 0{,}041}{0{,}047} = 0{,}13$$

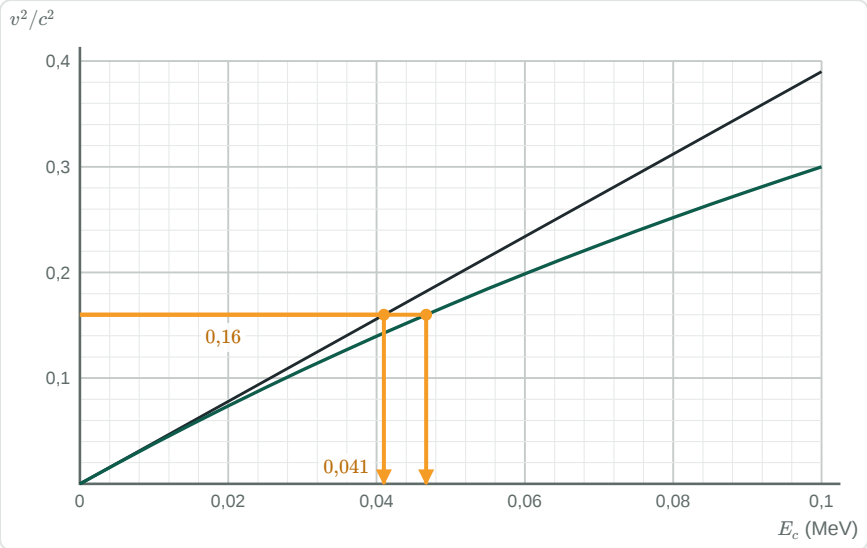
Les deux représentations s'écartent de plus en plus quand v augmente : l'écart ne peut que croître au-delà de cette vitesse.

Écart relatif d'environ 13 %, supérieur à 10 % : à partir de $v = 1{,}2 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, l'électron doit être traité comme relativiste.

PIÈGE
Entrer dans le graphe avec $v/c = 0{,}40$: l'ordonnée est v^2/c^2. Il faut élever au carré avant de lire.

COMPRENDRE
La lecture se fait à une demi-graduation près (0,001 MeV) : selon le tracé, on trouve entre 11 % et 15 %. La conclusion ne change pas.

MÉTHODE
Contrôle de la lecture sur (2) : $\frac{1}{2} m v^2 = 6{,}56 \times 10^{-15}$ J, soit 0,041 MeV après division par $1{,}60 \times 10^{-13}$ J par MeV.



1.2.2 · Graphe (b) du sujet : droite (2) au-dessus, courbe (1) en dessous ; lectures pour $v^2/c^2 = 0{,}16$: $0{,}041$ MeV sur (2) et $0{,}047$ MeV sur (1)

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\left(\frac{1.2 \times 10^8}{3.00 \times 10^8}\right)^2 \approx 0.16$

$\frac{0.047 - 0.041}{0.047} \approx 0.1276596$

2.1 Donner un ordre de grandeur de la valeur de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique dans le domaine du visible.

Dans le vide, le domaine visible s'étend de 400 nm (violet) à 800 nm (rouge) environ, soit une valeur moyenne $\lambda \approx 600\ \text{nm} = 6 \times 10^{-7}$ m.

$\lambda \approx 6 \times 10^{-7}$ m, soit un ordre de grandeur de 10^{-6} m.

COMPRENDRE

L'ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche : 6×10^{-7} s'arrondit à 10^{-6}. Répondre « quelques centaines de nanomètres » convient aussi.

2.2 Montrer par un calcul qu'il n'est pas nécessaire que les électrons pénétrant dans l'atmosphère soient relativistes (au sens de la question 1.2.2) pour participer à la création des aurores polaires.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\lambda \approx 6{,}0 \times 10^{-7}$ m (2.1) ; seuil relativiste $1{,}2 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.2.2)

Démarche. L'électron cède de l'énergie à un atome, qui la restitue en émettant un photon visible. Il suffit donc que l'énergie cinétique de l'électron soit au moins égale à l'énergie de ce photon. On calcule la vitesse correspondante et on la compare au seuil de la question 1.2.2.

Énergie d'un photon visible :

$$E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{6{,}0 \times 10^{-7}} = 3{,}3 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

soit environ 2,1 eV.

Vitesse minimale de l'électron, en mécanique classique : $\frac{1}{2}\,m\,v^2 = E$ donc

$$v = \sqrt{\frac{2\,E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}3 \times 10^{-19}}{9{,}11 \times 10^{-31}}} = 8{,}5 \times 10^{5}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Cette vitesse est environ 140 fois plus petite que $1{,}2 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

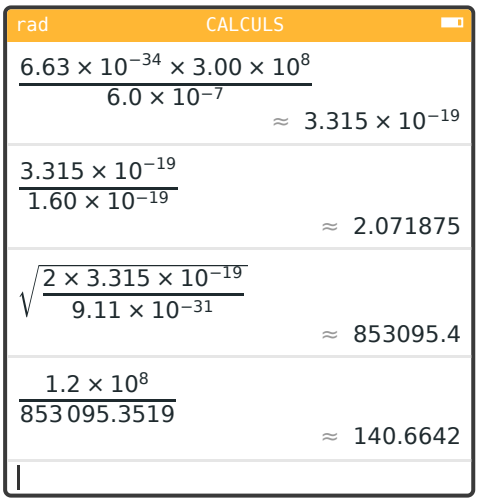
$v \approx 8{,}5 \times 10^{5}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \ll 1{,}2 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: un électron non relativiste suffit à provoquer l'émission de lumière visible.

PIÈGE
Dans une question ouverte, un calcul sans phrase rapporte peu. Annoncer l'hypothèse (énergie de l'électron au moins égale à celle du photon), calculer, puis comparer explicitement au seuil.

COMPRENDRE
L'usage de $\frac{1}{2}\,m\,v^2$ est justifié après coup : la vitesse trouvée est très inférieure au seuil, l'électron est bien classique.

MÉTHODE
Autre voie, par les énergies : au seuil relativiste, $E_c \approx 0{,}041$ MeV (1.2.2), soit $4{,}1 \times 10^{4}$ eV, vingt mille fois l'énergie d'un photon visible.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Rénovation d'un amphithéâtre

Bac S 2016 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que l'aire équivalente A de l'amphithéâtre avant travaux est égale à $88\ \text{m}^2$.

Données utiles $L = 15{,}0$ m ; $l = 11{,}0$ m ; $S_{\text{totale}} = 634\ \text{m}^2$; $\alpha_{\text{sol-murs}} = 0{,}17$; $\alpha_{\text{béton}} = 0{,}050$

Par définition, $A = \sum \alpha_i\, S_i$. Deux types de surfaces sont à distinguer : le plafond en béton, et l'ensemble sol + murs.

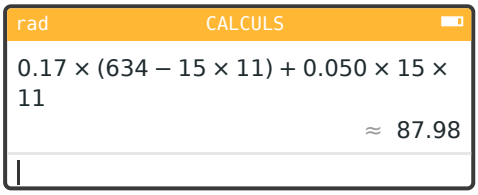
Le plafond est un rectangle horizontal : $S_{\text{plafond}} = L \times l = 15{,}0 \times 11{,}0 = 165\ \text{m}^2$.

Le reste vaut : $S_{\text{sol-murs}} = S_{\text{totale}} - S_{\text{plafond}} = 634 - 165 = 469\ \text{m}^2$.

$$A = \alpha_{\text{sol-murs}}\, S_{\text{sol-murs}} + \alpha_{\text{béton}}\, S_{\text{plafond}} = 0{,}17 \times 469 + 0{,}050 \times 165$$

$A = 87{,}98\ \text{m}^2 \approx 88\ \text{m}^2$, valeur attendue.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Multiplier $0{,}17$ par la surface totale $634\ \text{m}^2$: le plafond serait compté deux fois. Il faut le retrancher avant.

COMPRENDRE

Les coefficients α ont deux chiffres significatifs : le résultat aussi. Le béton absorbe très peu : le plafond, un quart de la surface, ne fournit que $8\ \text{m}^2$ sur 88.

COMPRENDRE

Le temps de réverbération et la formule de Sabine relevaient de l'ancien enseignement de spécialité (thème « Son et musique ») ; ils ne figurent plus au programme actuel.

2 Est-il possible de rénover le plafond avec l'un des matériaux proposés pour que des conférences se tiennent dans de bonnes conditions acoustiques ? Justifier précisément.

Données utiles $h = 8{,}5$ m ; pente du sol : 21° ; $T_R = 1{,}7$ s avant travaux ; $\alpha_{\text{mousse}} = 0{,}60$; $\alpha_{\text{moquette}} = 0{,}26$; $S_{\text{plafond}} = 165\ \text{m}^2$ et $S_{\text{sol-murs}} = 469\ \text{m}^2$ (Q1)

Volume de la salle. Vue de côté, la salle est un rectangle $L \times h$ privé d'un triangle rectangle de base L et de hauteur $L\tan(21^\circ)$, situé sous le sol incliné. Sur la largeur l :

$$V = l\left(L\,h - \frac{L^2\tan(21^\circ)}{2}\right)$$

$$V = 11{,}0 \times \left(15{,}0 \times 8{,}5 - \frac{15{,}0^2 \times \tan(21^\circ)}{2}\right) = 9{,}3 \times 10^2\ \text{m}^3$$

Objectif. Sur le graphique, pour une salle de conférences de volume un peu inférieur à $1\,000\ \text{m}^3$, le temps de réverbération optimal est $T_{R,\text{opt}} \approx 0{,}8$ s. La salle actuelle ($1{,}7$ s) résonne deux fois trop longtemps.

Choix du matériau. D'après $T_R = 0{,}16\,\dfrac{V}{A}$, à volume fixé, il faut augmenter A, donc remplacer le béton du plafond par un matériau de coefficient α plus grand. Le plus absorbant de la liste est la mousse :

$$A' = 0{,}17 \times 469 + 0{,}60 \times 165 = 179\ \text{m}^2$$

$$T'_R = 0{,}16 \times \frac{V}{A'} = 0{,}16 \times \frac{927}{179} = 0{,}83\ \text{s}$$

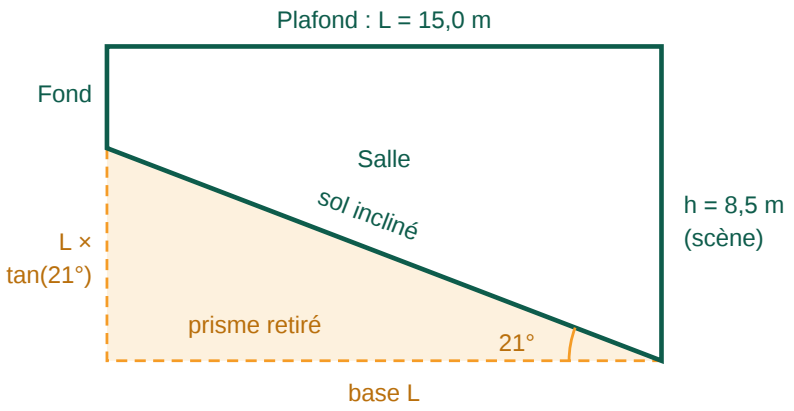
Avec la moquette, deuxième matériau de la liste, on obtiendrait $A'' = 123\ \text{m}^2$ et $T''_R = 1{,}2$ s : insuffisant. Le plâtre et le bois absorbent encore moins.

Oui : un plafond recouvert de mousse donne $T'_R \approx 0{,}83$ s, très proche de l'optimum de $0{,}8$ s ; c'est le seul matériau de la liste qui convient.

PIÈGE
L'axe des volumes est logarithmique : $930\ \text{m}^3$ se place juste avant la graduation $1\,000$, pas au milieu de l'intervalle 100–$1\,000$. Et h est la hauteur maximale : $V \neq L \times l \times h$.

COMPRENDRE
Avec ce volume, la formule de Sabine redonne $A = 0{,}16 \times 927 \div 1{,}7 \approx 87\ \text{m}^2$, en accord avec la question 1. Le public et les sièges absorbent aussi : le temps réel sera un peu plus court.

MÉTHODE
Résolution de problème : 1) fixer l'objectif chiffré (lecture graphique) ; 2) identifier la grandeur sur laquelle agir (A) ; 3) tester le cas le plus favorable ; 4) conclure en comparant à l'objectif.



2 · Vue de côté de l'amphithéâtre : le volume est celui du pavé moins le prisme situé sous le sol

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$11.0 \times \left(15.0 \times 8.5 - \frac{15.0^2 \times \tan(21°)}{2}\right) \approx 927.4683$$

$$0.17 \times 469 + 0.60 \times 165 \approx 178.73$$

$$\frac{0.16 \times 927.47}{178.73} \approx 0.8302758$$

$$0.17 \times 469 + 0.26 \times 165 \approx 122.63$$

$$\frac{0.16 \times 927.47}{122.63} \approx 1.210105$$