Corrigé complet — Bac 2023 Polynésie Jour 1

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

Ex 1	**Un chimiste qui mérite d'être connu : Karl Friedrich Mohr** Oxydoréduction · Concentration en quantité de matière · Chauffage à reflux et estérification · Rendement d'une synthèse · Titrage et équivalence · Conductimétrie	9 pts	1 h 35	15 questions	p. 2
Ex 2	**Dorothy Crowfoot, femme de sciences** Force électrique et champ uniforme · Deuxième loi de Newton · Équations horaires · Énergie cinétique et électronvolt · Interférences constructives et destructives · Différence de chemin optique	6 pts	1 h 03	8 questions	p. 8
Ex 3	**Pompe à chaleur et habitation** Modes de transfert thermique · Flux et résistance thermique · Premier principe de la thermodynamique · Puissance et énergie · Niveau d'intensité sonore	5 pts	53 min	8 questions	p. 12

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.

Un chimiste qui mérite d'être connu : Karl Friedrich Mohr

Bac 2023 Polynésie Jour 1 · Exercice 1 — 9 points — Durée conseillée 1 h 35

Q1 Écrire les demi-équations électroniques des couples Fe^{3+}/Fe^{2+} et O_2/H_2O, puis justifier l'équation de l'oxydation des ions fer (II) par le dioxygène en milieu acide.

Couple $Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)$: $\quad Fe^{2+}(aq) = Fe^{3+}(aq) + e^-$

Couple $O_2(aq)/H_2O(l)$: $\quad O_2(aq) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- = 2\,H_2O(l)$

L'ion Fe^{2+} est oxydé (il cède un électron), le dioxygène est réduit (il capte quatre électrons). Il faut autant d'électrons cédés que captés : on multiplie la première demi-équation par 4, puis on additionne membre à membre.

$4\,Fe^{2+}(aq) + O_2(aq) + 4\,H^+(aq) \longrightarrow 4\,Fe^{3+}(aq) + 2\,H_2O(l)$: on retrouve l'équation proposée.

PIÈGE
Additionner les deux demi-équations sans multiplier celle du fer par 4 : il resterait des électrons dans le bilan, et les charges ne seraient pas équilibrées.

MÉTHODE
Équilibrer une demi-équation en milieu acide : l'élément principal, puis l'oxygène avec H_2O, l'hydrogène avec H^+, enfin les charges avec des électrons.

Q2 Vérifier que la masse molaire M_{sel} du sel de Mohr vaut $392{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

Données utiles $M(H) = 1{,}0$; $M(N) = 14{,}0$; $M(O) = 16{,}0$; $M(S) = 32{,}1$; $M(Fe) = 55{,}8\ g \cdot mol^{-1}$

La formule $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2,\,6\,H_2O$ contient 2 N, 1 Fe, 2 S, $8 + 12 = 20$ H et $8 + 6 = 14$ O :

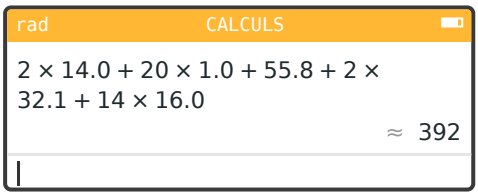
$$M_{sel} = 2\,M(N) + 20\,M(H) + M(Fe) + 2\,M(S) + 14\,M(O)$$

$$M_{sel} = 2 \times 14{,}0 + 20 \times 1{,}0 + 55{,}8 + 2 \times 32{,}1 + 14 \times 16{,}0$$

$M_{sel} = 392{,}0\ g \cdot mol^{-1}$: c'est la valeur annoncée.

PIÈGE
Oublier les six molécules d'eau : elles font partie du solide pesé. Sans elles, on trouve $284{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Q3 Calculer la concentration c en soluté apporté, puis expliquer comment on connaît simplement la concentration $[Fe^{2+}]$ dans la solution.

Données utiles $m = 2{,}00$ g ; $V = 100{,}0$ mL ; $M_{sel} = 392{,}0\ g \cdot mol^{-1}$ (Q2)

$$c = \frac{n_{sel}}{V} = \frac{m}{M_{sel} \times V}$$

$$c = \frac{2{,}00}{392{,}0 \times 100{,}0 \times 10^{-3}} = 5{,}10 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$$

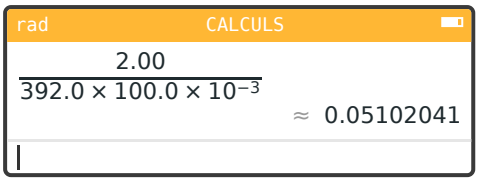
D'après l'équation de dissolution, une mole de sel de Mohr libère une mole d'ions Fe^{2+}. Une simple pesée du solide donne donc la concentration en ions fer (II), sans dosage.

$[Fe^{2+}] = c = 5{,}10 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$

PIÈGE
Laisser le volume en mL : la concentration demandée est en $mol \cdot L^{-1}$, donc $V = 0{,}1000$ L.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($m = 2{,}00$ g). Avec le même raisonnement, $[NH_4^+] = [SO_4^{2-}] = 2c$.

À LA CALCULATRICE



Q4 Nommer les éléments du montage de la figure 1 numérotés de 1 à 4.

1 : réfrigérant à boules (réfrigérant à eau).

2 : ballon contenant le mélange réactionnel.

3 : agitateur magnétique chauffant.

4 : support élévateur.

1 réfrigérant à boules ; 2 ballon ; 3 agitateur magnétique chauffant ; 4 support élévateur.

COMPRENDRE
Le support élévateur permet de retirer rapidement la source de chaleur en cas de problème, sans démonter la verrerie.

Q5 Nommer les groupes caractéristiques présents dans les trois molécules du tableau de données.

Acide méthanoïque : groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ (famille des acides carboxyliques).

Éthanol : groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$ (famille des alcools).

Méthanoate d'éthyle : groupe ester $-\mathrm{COO}-\mathrm{C}$ (famille des esters).

carboxyle (acide méthanoïque) ; hydroxyle (éthanol) ; ester (méthanoate d'éthyle).

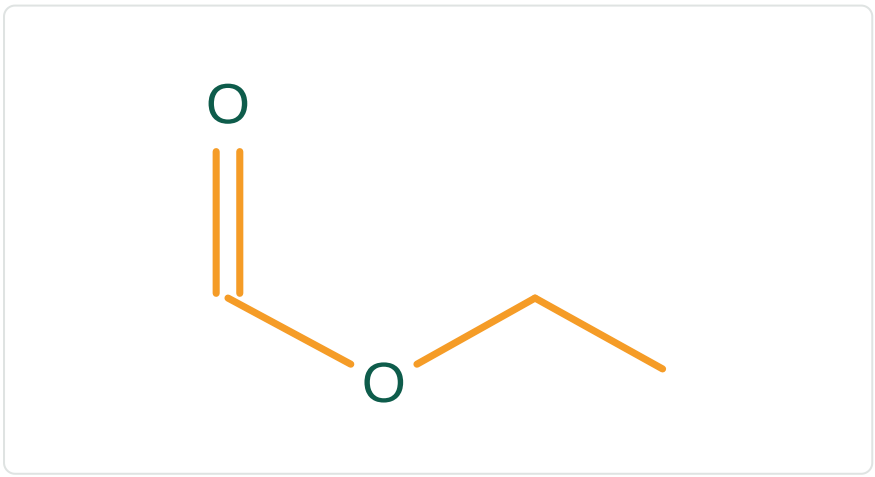
PIÈGE
Confondre le nom du groupe et celui de la famille : « alcool » et « acide carboxylique » sont des familles, les groupes s'appellent hydroxyle et carboxyle.

Q6 Représenter la formule topologique du méthanoate d'éthyle.

La molécule $\mathrm{HCOO}-\mathrm{CH_2}-\mathrm{CH_3}$ comporte trois atomes de carbone : celui du groupe ester, puis les deux du groupe éthyle. Les atomes de carbone et les atomes d'hydrogène qu'ils portent ne sont pas écrits ; seuls les atomes d'oxygène apparaissent.

Formule topologique tracée sur la figure ci-dessous.

PIÈGE
Écrire le H du groupe HCOO ou ajouter un quatrième sommet carboné. L'extrémité gauche du tracé est le carbone du groupe ester, qui porte cet hydrogène sans qu'on l'écrive.



Q6 · Formule topologique du méthanoate d'éthyle

Q7 Citer deux avantages d'un chauffage à reflux et indiquer une précaution à respecter pour réaliser cette synthèse.

Avantages :

- chauffer accélère la transformation, car la température est un facteur cinétique ;
- les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le ballon : il n'y a pas de perte de matière.

Précaution : l'éthanol et l'ester sont inflammables, l'acide méthanoïque est corrosif. On chauffe donc sans flamme, loin de toute source d'étincelle, et on porte blouse, gants et lunettes.

Transformation plus rapide, sans perte de matière ; chauffage sans flamme avec gants et lunettes.

COMPRENDRE
Le haut du réfrigérant reste ouvert : bouché, le montage monterait en pression. L'eau de refroidissement entre par le bas pour remplir entièrement le réfrigérant.

Q8 Indiquer le rôle de l'acide sulfurique, qui n'apparaît pas dans l'équation de la réaction de synthèse.

L'acide sulfurique n'est ni un réactif ni un produit : il accélère la transformation et se retrouve intact à la fin.

L'acide sulfurique est un **catalyseur**.

COMPRENDRE
Un catalyseur diminue la durée de la transformation mais ne modifie pas l'état final : le rendement reste le même.

Q9 Calculer les quantités de matière initiales n_{Ac} d'acide méthanoïque et n_{Al} d'éthanol. Justifier que l'éthanol est le réactif limitant.

Données utiles $V_{Ac} = 7{,}0$ mL ; $\rho_{Ac} = 1{,}22\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $V_{Al} = 10{,}0$ mL ; $\rho_{Al} = 0{,}79\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M_{Ac} = M_{Al} = 46{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Pour un liquide : $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{\rho \times V}{M}$

$$n_{Ac} = \frac{1{,}22 \times 7{,}0}{46{,}0} = 0{,}19\ \text{mol} \qquad n_{Al} = \frac{0{,}79 \times 10{,}0}{46{,}0} = 0{,}17\ \text{mol}$$

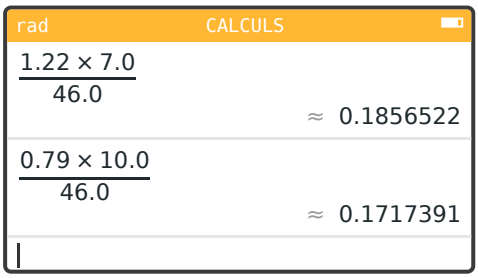
Les nombres stœchiométriques des deux réactifs valent 1 : on compare directement les quantités. Comme $n_{Al} < n_{Ac}$, l'éthanol serait épuisé le premier.

$n_{Ac} = 0{,}19$ mol ; $n_{Al} = 0{,}17$ mol : l'éthanol est le réactif limitant.

PIÈGE
Comparer les volumes : il y a plus d'éthanol en volume (10,0 mL contre 7,0 mL), et pourtant moins en quantité de matière.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, imposés par $V_{Ac} = 7{,}0$ mL et $\rho_{Al} = 0{,}79\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Q10 Le rendement de la synthèse vaut $R = 0{,}70$. Calculer la masse m d'ester produite.

Données utiles $n_{Al} = 0{,}172$ mol (Q9, valeur non arrondie) ; $M_{Es} = 74{,}0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Si la transformation était totale, il se formerait autant d'ester qu'il y a de réactif limitant : $n_{\max} = n_{Al}$.

Par définition du rendement, $R = \dfrac{n_{\text{ester}}}{n_{\max}}$, donc $n_{\text{ester}} = R \times n_{Al}$ et

$m = R \times n_{Al} \times M_{Es}$

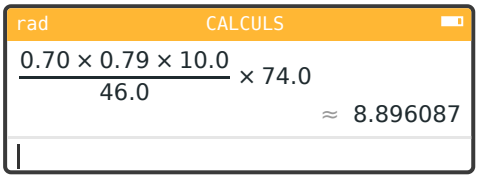
$m = 0{,}70 \times 0{,}172 \times 74{,}0 = 8{,}9 \text{ g}$

$m = 8{,}9 \text{ g}$

PIÈGE
Calculer la masse maximale à partir de l'acide méthanoïque : c'est le réactif limitant, l'éthanol, qui fixe la quantité maximale d'ester.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de n_{Al} dans le calcul : avec 0,17 mol on obtient 8,8 g, résultat faussé par l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE



Q11 À l'aide des températures d'ébullition, expliquer en quoi la distillation fractionnée permet d'optimiser le rendement de la synthèse du méthanoate d'éthyle.

Données utiles températures d'ébullition : ester 54,3 °C ; éthanol 78,5 °C ; acide méthanoïque 100,7 °C

L'ester est l'espèce la plus volatile du mélange : sa température d'ébullition (54,3 °C) est la plus basse. Il se vaporise donc le premier, monte dans la colonne et est recueilli dans le distillat au fur et à mesure qu'il se forme, alors que les réactifs restent dans le ballon.

L'estérification est limitée par la réaction inverse entre l'ester et l'eau. L'ester ayant quitté le ballon, cette réaction inverse ne peut plus se faire : la transformation se poursuit dans le sens direct.

Retirer l'ester au fur et à mesure empêche la réaction inverse : le rendement augmente.

COMPRENDRE
En retirant un produit, le quotient de réaction reste inférieur à la constante d'équilibre : le système évolue toujours dans le sens direct. Un excès d'un réactif est l'autre moyen d'améliorer le rendement.

Q12 Parmi les solutions S_1 et S_2, identifier la solution titrée et la solution titrante, puis indiquer laquelle est placée dans la burette.

La solution titrée contient l'espèce dont on cherche la concentration : c'est S_1 (ions chlorure, c_1 inconnue).

La solution titrante a une concentration connue : c'est S_2 (nitrate d'argent, $c_2 = 0{,}080 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

S_1 est titrée, S_2 est titrante ; la solution titrante S_2 est placée dans la burette.

Q13 Définir l'équivalence d'un dosage par titrage, puis calculer la concentration c_1 en ions chlorure.

Données utiles $c_2 = 0{,}080\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_{2E} = 7{,}5\ \text{mL}$; $V_1 = 200{,}0\ \text{mL}$

À l'équivalence, les réactifs titré et titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support du titrage : ils sont tous deux entièrement consommés.

D'après l'équation $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$, un ion argent réagit avec un ion chlorure, donc à l'équivalence :

$n(\text{Cl}^-)_{\text{initial}} = n(\text{Ag}^+)_{\text{versé}}$, soit $c_1 \times V_1 = c_2 \times V_{2E}$

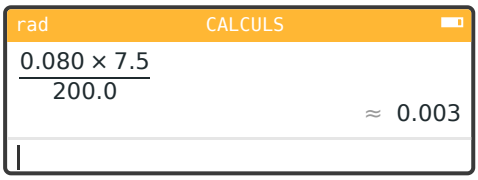
$$c_1 = \frac{c_2 \times V_{2E}}{V_1} = \frac{0{,}080 \times 7{,}5}{200{,}0}$$

$$\boxed{c_1 = 3{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Inverser les volumes : V_1 est le volume de solution titrée, au dénominateur. Un résultat supérieur à c_2 doit alerter, car V_{2E} est bien plus petit que V_1.

COMPRENDRE
Les deux volumes sont dans la même unité (mL) : leur rapport est sans unité, la conversion en litres est inutile.

À LA CALCULATRICE



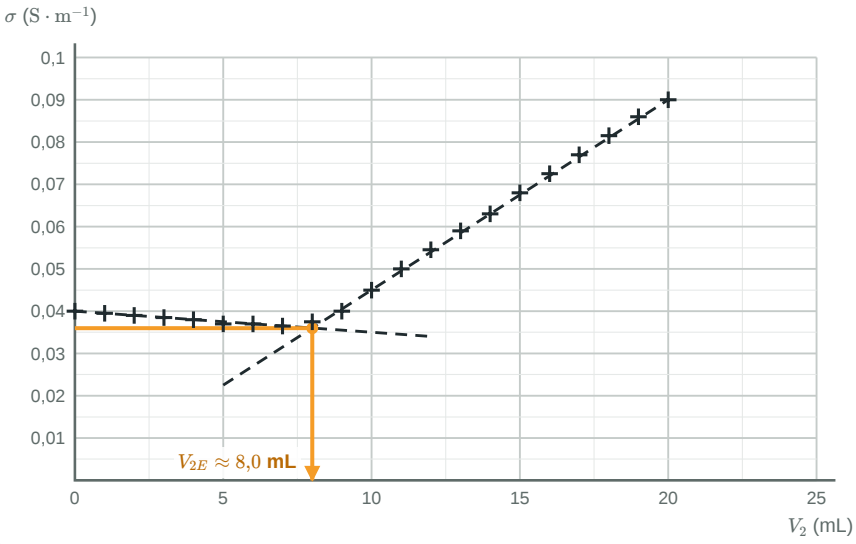
Q14 Expliquer comment la courbe de la figure 4 permet d'obtenir le volume V_{2E} de solution titrante versée à l'équivalence.

La courbe est formée de deux portions de droite de pentes différentes. On trace la droite qui passe au mieux par les premiers points, puis celle qui passe par les derniers points. L'équivalence correspond à la rupture de pente : V_{2E} est l'abscisse du point d'intersection des deux droites.

V_{2E} est l'abscisse du point d'intersection des deux droites ; on lit $V_{2E} \approx 8{,}0$ mL.

PIÈGE
Prendre le point le plus bas de la courbe. Près de l'équivalence les points s'écartent des droites : on ne s'en sert pas pour les tracer.

COMPRENDRE
Cette lecture est proche des 7,5 mL de la méthode de Mohr : les deux repérages de l'équivalence sont cohérents, à l'incertitude de lecture près.



Q14 · Figure 4 du sujet, avec les deux droites et la lecture de V_{2E}

Q15 À l'aide des conductivités molaires ioniques, justifier sans calcul l'allure de la courbe de la figure 4.

Données utiles λ en $\text{mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$: K^+ 7,3 ; Cl^- 7,6 ; Ag^+ 6,2 ; NO_3^- 7,1

Les ions K^+ sont spectateurs : leur quantité ne change pas. Le volume versé est faible devant V_1 : on néglige la dilution.

Avant l'équivalence : chaque ion Ag^+ versé est consommé et fait disparaître un ion Cl^-, tandis qu'un ion NO_3^- s'ajoute. Tout se passe comme si un ion Cl^- était remplacé par un ion NO_3^-, un peu moins conducteur ($7{,}1 < 7{,}6$) : σ diminue légèrement.

Après l'équivalence : il n'y a plus d'ions Cl^-. Les ions Ag^+ et NO_3^- versés s'accumulent dans le bécher sans réagir : σ augmente nettement.

Pente faiblement négative avant l'équivalence (remplacement de Cl^- par NO_3^-), pente fortement positive après (ajout de Ag^+ et NO_3^-).

PIÈGE
Oublier l'ion NO_3^- apporté par la burette. Avant l'équivalence, c'est lui qui remplace Cl^- ; sans lui on prévoirait une forte baisse de σ.

MÉTHODE
Pour chaque phase du titrage, lister les ions présents et dire si leur concentration augmente, diminue ou reste constante, puis comparer les λ des ions qui s'échangent.

Dorothy Crowfoot, femme de sciences

Bac 2023 Polynésie Jour 1 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q1 Donner l'expression de la force électrique $\vec{F}$ subie par l'électron en fonction de e et du champ $\vec{E}$, puis la représenter entre les plaques A et B, en un point de l'axe (Ox) situé entre O et S.

L'énoncé intervertit les deux lettres : la force est $\vec{F}$ et le champ électrique est $\vec{E}$.

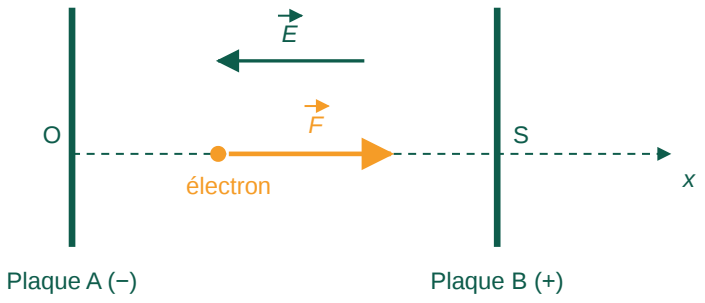
L'électron porte la charge $q = -e$, donc $\vec{F} = q\,\vec{E} = -e\,\vec{E}$.

La force a la même direction que $\vec{E}$ et le sens opposé : elle est dirigée de la plaque A vers la plaque B (voir schéma).

$\vec{F} = -e\,\vec{E}$, vecteur porté par l'axe (Ox), orienté de O vers S.

PIÈGE
Écrire $\vec{F} = e\,\vec{E}$: la force serait dessinée vers la plaque A et l'électron n'atteindrait jamais S. La charge de l'électron est négative.

COMPRENDRE
Le champ $\vec{E}$ pointe de la plaque positive B vers la plaque négative A. L'électron, chargé négativement, est attiré par la plaque positive : le schéma doit être cohérent avec cette attraction.



Q1 · Force électrique subie par l'électron entre les plaques

Q2 En négligeant le poids de l'électron et à l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de l'électron dans le repère (O, x).

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

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $-e\,\vec{E} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = -\dfrac{e}{m}\vec{E}$.

En notant $\vec{i}$ le vecteur unitaire de l'axe (Ox), le champ est de sens opposé à l'axe : $\vec{E} = -E\,\vec{i}$.

$\vec{a} = \dfrac{e\,E}{m}\vec{i}$, soit $a_x = \dfrac{e\,E}{m}$

PIÈGE
Garder un signe « $-$ » dans a_x : E désigne la norme du champ, positive, et $\vec{E}$ est orienté vers les x décroissants. L'accélération est bien dirigée vers S.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis projection sur l'axe. Les points de rédaction sont attribués à ces étapes.

Q3 Montrer que la vitesse s'écrit $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m}\,t$ et établir l'équation horaire $x(t)$.

Par définition $a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = \dfrac{e\,E}{m}$, constante. Par intégration : $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m}\,t + C_1$.

L'électron part sans vitesse initiale : $v_x(0) = 0$, donc $C_1 = 0$ et $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m}\,t$.

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

L'électron part du point O : $x(0) = 0$, donc $C_2 = 0$.

$$v_x(t) = \frac{e\,E}{m}\,t \text{ et } x(t) = \frac{e\,E}{2m}\,t^2$$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration ou ne pas les justifier. Chaque constante se détermine avec une condition initiale tirée de l'énoncé : « sans vitesse initiale », « issu du point O ».

Q4 Montrer que la vitesse v_S de l'électron au point S vaut $8{,}38 \times 10^7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Données utiles $U = 20{,}0\ \mathrm{kV} = 2{,}00 \times 10^4\ \mathrm{V}$; $d = 1{,}00\ \mathrm{cm}$; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$; $m = 9{,}11 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg}$; $E = \dfrac{U}{d}$

L'électron atteint S à la date t_S telle que $x(t_S) = d$: $\dfrac{e\,E}{2m}\,t_S^2 = d$, donc $t_S = \sqrt{\dfrac{2\,m\,d}{e\,E}}$.

On reporte dans la vitesse : $v_S = v_x(t_S) = \dfrac{e\,E}{m}\sqrt{\dfrac{2\,m\,d}{e\,E}} = \sqrt{\dfrac{2\,e\,E\,d}{m}}$.

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

$$v_S = \sqrt{\frac{2\,e\,U}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}60 \times 10^{-19} \times 2{,}00 \times 10^4}{9{,}11 \times 10^{-31}}}$$

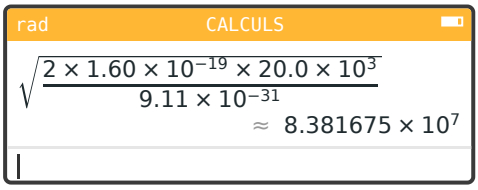
$v_S = 8{,}38 \times 10^7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, valeur attendue.

PIÈGE
Laisser U en kV. Avec $20{,}0$ au lieu de $2{,}00 \times 10^4$ V, la vitesse trouvée est environ 32 fois trop petite.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme toutes les données utilisées. La distance d disparaît du résultat : la vitesse d'arrivée ne dépend que de la tension U.

MÉTHODE
Autre voie acceptée : théorème de l'énergie cinétique entre O et S. Le travail de la force électrique vaut $e\,E\,d = e\,U$, d'où $\dfrac{1}{2}\,m\,v_S^2 = e\,U$.

À LA CALCULATRICE



Q5 Calculer l'énergie cinétique E_{cS} de l'électron au point S, puis vérifier qu'elle est insuffisante pour produire des rayons X.

Données utiles $v_S = 8{,}38 \times 10^7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (Q4) ; $m = 9{,}11 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg}$; $1\ \mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$; $E_{c\,\min} = 6{,}90 \times 10^4\ \mathrm{eV}$

$$E_{cS} = \frac{1}{2}\,m\,v_S^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}11 \times 10^{-31} \times \left(8{,}38 \times 10^7\right)^2 = 3{,}20 \times 10^{-15}\ \mathrm{J}$$

Conversion : $E_{cS} = \dfrac{3{,}20 \times 10^{-15}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}00 \times 10^4\ \mathrm{eV}$

$E_{cS} = 2{,}00 \times 10^4\ \mathrm{eV} < E_{c\,\min} = 6{,}90 \times 10^4\ \mathrm{eV}$: l'énergie est insuffisante pour produire des rayons X.

PIÈGE
Comparer des joules à des électronvolts. Les deux énergies doivent être exprimées dans la même unité avant de conclure.

COMPRENDRE
Le résultat se contrôle sans calcul : $E_{cS} = e\,U$, donc un électron accéléré sous 20,0 kV gagne 20,0 keV, soit $2{,}00 \times 10^4$ eV.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 9.11 \times 10^{-31} \times (8.38 \times 10^{7})^{2}$
$\approx 3.198721 \times 10^{-15}$

$\frac{3.20 \times 10^{-15}}{1.60 \times 10^{-19}}$
≈ 20000

Q6 Choisir, en argumentant, parmi $U_1 = 5$ kV et $U_2 = 70$ kV, la tension qui permettrait d'augmenter l'énergie cinétique de l'électron.

D'après Q4, $v_S^2 = \frac{2\,e\,U}{m}$, donc $E_{cS} = \frac{1}{2}\,m\,v_S^2 = e\,U$: l'énergie cinétique en S est proportionnelle à la tension U.

Pour l'augmenter, il faut une tension supérieure à $20{,}0$ kV : $U_1 = 5$ kV la diminuerait, $U_2 = 70$ kV l'augmente.

Il faut choisir $U_2 = 70$ kV.

COMPRENDRE
Sous 70 kV, l'électron arrive avec $7{,}0 \times 10^4$ eV, ce qui dépasse le seuil de $6{,}90 \times 10^4$ eV : l'émission de rayons X devient possible.

Q7 À l'aide de la figure 3, choisir deux ondes parmi α, β et ε qui donnent des interférences constructives, puis deux ondes qui donnent des interférences destructives.

Les interférences sont constructives quand les deux ondes arrivent en phase : leurs maximums sont atteints aux mêmes dates. C'est le cas de α et β, toutes deux minimales à $t = 0$ puis maximales une demi-période plus tard.

Les interférences sont destructives quand les deux ondes arrivent en opposition de phase : l'une est maximale quand l'autre est minimale. C'est le cas de α et ε : à $t = 0$, ε est maximale et α minimale.

Constructives : α et β. Destructives : α et ε (le couple β et ε convient aussi).

PIÈGE
Raisonner sur l'amplitude. α et ε ont la même amplitude mais sont décalées d'une demi-période : c'est le décalage temporel qui décide, pas la hauteur des courbes.

COMPRENDRE
α et ε ont la même amplitude : leur somme est nulle à chaque instant. Avec β et ε, d'amplitudes différentes, l'onde résultante est seulement affaiblie.

Q8 Déterminer la valeur de la longueur L dans le cristal, lorsque les interférences sont constructives pour une différence de chemin optique minimale.

Données utiles $\delta = 2\,L\,\sin\theta$; interférences constructives si $\delta = k\,\lambda$, k entier non nul ; $\theta = 10^\circ$; $\lambda = 0{,}150\ \text{nm} = 0{,}150 \times 10^{-9}$ m

La plus petite différence de chemin optique donnant des interférences constructives correspond à $k = 1$: $\delta = \lambda$.

Donc $2\,L\,\sin\theta = \lambda$, soit $L = \dfrac{\lambda}{2\,\sin\theta}$.

$$L = \frac{0{,}150 \times 10^{-9}}{2 \times \sin(10^\circ)} = 4{,}3 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

Cette distance, $0{,}43$ nm, est du même ordre de grandeur que $\lambda = 0{,}150$ nm (10^{-10} m) : les rayons X peuvent bien interagir avec le cristal.

$L = 4{,}3 \times 10^{-10}$ m, soit $0{,}43$ nm

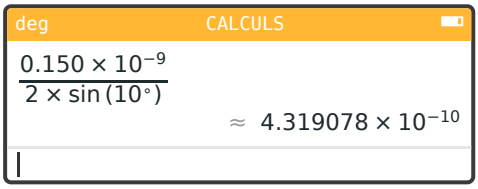
PIÈGE

Calculatrice réglée en radians : $\sin(10)$ est alors négatif et L aussi. Vérifier le mode degrés avant le calcul.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs seulement : l'angle $\theta = 10^\circ$ est la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



Pompe à chaleur et habitation

Bac 2023 Polynésie Jour 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Identifier, en le justifiant, le mode de transfert thermique s'effectuant au travers d'un mur.

Le mur est un solide : l'énergie s'y transmet de proche en proche, par agitation thermique, de la face chaude ($19\ °\text{C}$) vers la face froide ($2\ °\text{C}$), sans déplacement de matière.

Le transfert thermique à travers le mur se fait par **conduction**.

COMPRENDRE
Trois modes existent : conduction (dans la matière, sans transport de matière), convection (fluide en mouvement), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide). Dans un solide opaque, seule la conduction intervient.

Q2 Indiquer, à l'aide des deux relations données, comment évolue le flux thermique ϕ lorsque l'épaisseur e du mur augmente.

Données utiles $\phi = \dfrac{T_{int} - T_{ext}}{R_{th}}$; $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda\, S}$

En remplaçant R_{th} par son expression :

$$\phi = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{th}} = \frac{\lambda\, S\,(T_{int} - T_{ext})}{e}$$

Pour λ, S et un écart de température fixés, ϕ est inversement proportionnel à e.

Lorsque l'épaisseur e augmente, R_{th} augmente et le flux thermique ϕ **diminue**.

PIÈGE
Répondre « le flux diminue » sans s'appuyer sur les relations. La question demande de les utiliser : il faut montrer que e se trouve au dénominateur de ϕ.

Q3 Indiquer et justifier le sens du transfert thermique $Q_{rad/air}$ entre les radiateurs et l'air intérieur de la maison.

Données utiles $T_{rad} = 55\ °\text{C}$; $T_{int} = 19\ °\text{C}$

Un transfert thermique s'effectue spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Or $T_{rad} > T_{int}$.

Le transfert thermique a lieu **des radiateurs vers l'air intérieur** : l'air reçoit de l'énergie, $Q_{rad/air} > 0$.

Q4 En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système « air intérieur », montrer que $Q_{rad/air} = -Q_{mur} - Q_{autres}$.

Système : {air intérieur}. Premier principe : $\Delta U = W + Q$.

Le système n'échange pas de travail : $W = 0$.

Sa température est maintenue constante à $19\ °\text{C}$: son énergie interne ne varie pas, $\Delta U = 0$.

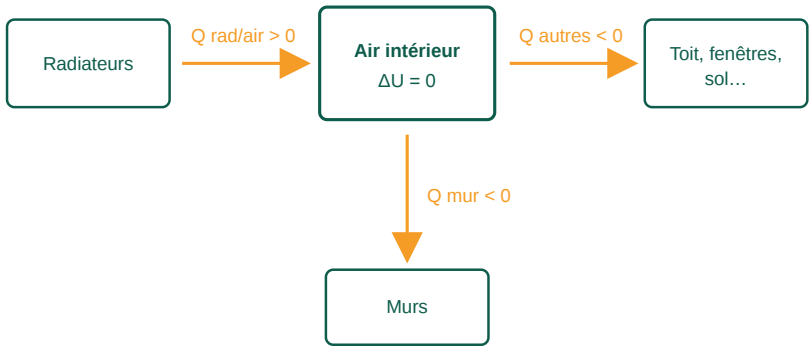
Le transfert thermique total est $Q = Q_{rad/air} + Q_{mur} + Q_{autres}$, donc :

$$0 = Q_{rad/air} + Q_{mur} + Q_{autres}$$

$$Q_{rad/air} = -Q_{mur} - Q_{autres}$$

PIÈGE
Écrire $\Delta U = 0$ sans raison. L'argument attendu est la température constante de l'air intérieur.

MÉTHODE
Bilan d'énergie : 1) nommer le système ; 2) écrire $\Delta U = W + Q$; 3) justifier W et ΔU ; 4) additionner tous les transferts thermiques, chacun avec son signe algébrique.



Q4 · Transferts thermiques du système « air intérieur » pendant une heure

Q5 Calculer la valeur de $Q_{rad/air}$.

Données utiles $Q_{mur} = -4{,}3$ MJ ; $Q_{autres} = -7{,}1$ MJ

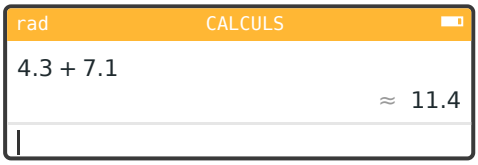
$$Q_{rad/air} = -Q_{mur} - Q_{autres} = -(-4{,}3) - (-7{,}1)$$

$$\boxed{Q_{rad/air} = 11{,}4 \text{ MJ} = 1{,}14 \times 10^7 \text{ J}}$$

PIÈGE
Oublier les signes négatifs des données et trouver $-11{,}4$ MJ, ou une différence de $2{,}8$ MJ.

COMPRENDRE
Pour une somme, on garde la précision de la donnée la moins précise : ici le dixième de mégajoule. Le résultat positif confirme la question 3 : l'air reçoit cette énergie.

À LA CALCULATRICE



Q6 En déduire si la puissance de la PAC est suffisante pour chauffer l'eau des radiateurs.

Données utiles $Q_{rad/air} = 11{,}4$ MJ (Q5) ; $\Delta t = 1$ h $= 3600$ s ; $P_{max} = 7{,}0$ kW

Pour maintenir la température de l'eau, la PAC doit lui fournir l'énergie que les radiateurs cèdent à l'air, soit $Q_{rad/air}$ en une heure. Puissance nécessaire :

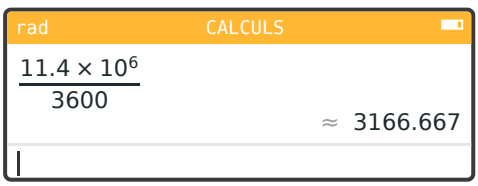
$$P = \frac{Q_{rad/air}}{\Delta t} = \frac{11{,}4 \times 10^6}{3600} = 3{,}17 \times 10^3 \text{ W}$$

$P = 3{,}17 \text{ kW} < P_{max} = 7{,}0 \text{ kW}$: la puissance de la PAC est **suffisante**.

PIÈGE
Diviser des mégajoules par des heures et annoncer des watts. Il faut des joules et des secondes pour obtenir des watts.

COMPRENDRE
La PAC ne fonctionne qu'à environ 45 % de sa puissance maximale : elle garde une marge pour des journées plus froides, où les pertes augmentent.

À LA CALCULATRICE



Q7 Vérifier que la valeur du niveau d'intensité sonore L (PAC et bruit habituel ensemble) est égale à 48 dB.

Données utiles $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2} ; $L_1 = 46$ dB ; $L_2 = 44$ dB

Les intensités sonores s'ajoutent, pas les niveaux. On isole I :
$\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$, d'où $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

$I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{4{,}6} = 4{,}0 \times 10^{-8}$ W · m^{-2}

$I_2 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{4{,}4} = 2{,}5 \times 10^{-8}$ W · m^{-2}

$I = I_1 + I_2 = 6{,}5 \times 10^{-8}$ W · m^{-2}

$$L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{6{,}5 \times 10^{-8}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 48{,}1 \text{ dB}$$

$L \approx 48$ dB : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Additionner les niveaux : $46 + 44 = 90$ dB est faux. Seules les intensités I s'additionnent ; on revient ensuite au niveau avec le logarithme.

MÉTHODE
Superposition de sons : 1) convertir chaque niveau en intensité, $I = I_0 \times 10^{L/10}$; 2) additionner les intensités ; 3) reconvertir avec $L = 10\log(I/I_0)$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.0 \times 10^{-12} \times 10^{4.6} \approx 3.981072 \times 10^{-8}$

$1.0 \times 10^{-12} \times 10^{4.4} \approx 2.511886 \times 10^{-8}$

$10 \times \log\left(\frac{6.5 \times 10^{-8}}{1.0 \times 10^{-12}}\right) \approx 48.12913$

Q8 En déduire si le propriétaire expose son voisinage à des nuisances sonores nocturnes supérieures au seuil réglementaire.

Données utiles $L = 48$ dB (Q7) ; $L_2 = 44$ dB ; émergence nocturne limitée à 3 dB

Le voisin est à 5 m du module, distance à laquelle L_1 a été mesuré : les valeurs précédentes s'appliquent chez lui.

Émergence sonore : $L - L_2 = 48 - 44 = 4$ dB

L'émergence vaut 4 dB > 3 dB : le seuil réglementaire nocturne est **dépassé**, le voisinage est exposé à une nuisance sonore.

PIÈGE
Comparer directement 48 dB ou 46 dB au seuil de 3 dB. L'émergence est une différence entre le niveau avec la PAC et le niveau sans la PAC.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$48 - 44 = 4$