Corrigé complet — Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme)

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

Ex 1	**Synthèse du paracétamol** Groupes caractéristiques · Sites donneurs et accepteurs de doublets · Mécanisme et flèches courbes · Sélectivité d'une réaction · Recristallisation · Réactif limitant	9 pts	1 h 30	10 questions	p. 2
Ex 2	**La nouvelle façon de se poser sur Mars** Travail du poids · Énergie mécanique · Forces non conservatives · Mouvement rectiligne uniforme · Chute libre · Équation de la trajectoire	6 pts	1 h	8 questions	p. 8
Ex 3	**Détermination expérimentale d'une résistance thermique** Transfert thermique par conduction · Énergie de changement d'état · Flux thermique · Résistance thermique · Incertitude de mesure (série de mesures)	5 pts	50 min	7 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Effet piézoélectrique** Champ électrique entre deux armatures · Niveau d'intensité sonore · Pression et force pressante · Capteur et charge électrique · Résolution de problème · Ordre de grandeur	5 pts	50 min	3 questions	p. 15

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.

Synthèse du paracétamol

Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1 Recopier les molécules de para-aminophénol et de paracétamol, entourer leurs groupes caractéristiques et préciser les familles de composés associées.

Para-aminophénol :

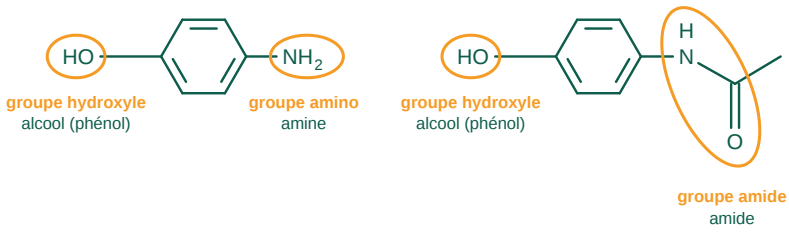
- groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$: famille des alcools (ici un phénol, car le groupe est porté par le cycle benzénique) ;
- groupe amino $-\mathrm{NH_2}$: famille des amines.

Paracétamol :

- groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$: famille des alcools (phénol) ;
- groupe amide $-\mathrm{NH}-\mathrm{CO}^-$: famille des amides.

Para-aminophénol : hydroxyle (alcool) et amino (amine).
Paracétamol : hydroxyle (alcool) et amide (amide).

PIÈGE
Dans le paracétamol, entourer séparément $\mathrm{N}-\mathrm{H}$ et $\mathrm{C}=\mathrm{O}$ et répondre « amine et cétone ». Un azote lié directement au carbone d'un $\mathrm{C}=\mathrm{O}$ forme un seul groupe : le groupe amide.



1 · Groupes caractéristiques (entourés en orange) et familles associées

2 Identifier, en justifiant, les deux sites donneurs de doublets d'électrons de la molécule de para-aminophénol.

Données utiles électronégativités : H 2,20 ; C 2,55 ; N 3,04 ; O 3,44

Un site donneur est un atome riche en électrons : il porte un doublet non liant ou une charge partielle négative.

- L'atome d'azote porte un doublet non liant. Il est plus électronégatif $(3{,}04)$ que ses voisins C $(2{,}55)$ et H $(2{,}20)$: il porte une charge partielle négative δ^-.
- L'atome d'oxygène porte deux doublets non liants. Il est lui aussi plus électronégatif $(3{,}44)$ que ses voisins C et H : il porte une charge δ^-.

Les deux sites donneurs sont l'atome d'azote N et l'atome d'oxygène O.

MÉTHODE
Pour repérer un site donneur : chercher les doublets non liants (N, O, halogènes), les liaisons multiples et les charges négatives. Pour un site accepteur : un atome lié à un ou plusieurs atomes plus électronégatifs que lui, donc porteur d'une charge δ^+.

3.1 Reproduire l'étape n°1 du mécanisme et représenter la ou les flèches courbes qui rendent compte de l'obtention de l'intermédiaire A. Justifier.

Dans l'intermédiaire A, une liaison $C-N$ s'est formée et l'atome d'oxygène du groupe $C=O$ attaqué porte une charge négative.

- Site donneur : l'atome d'azote, par son doublet non liant (question 2).
- Site accepteur : un atome de carbone lié aux atomes d'oxygène de l'anhydride. L'oxygène étant plus électronégatif $(3{,}44)$ que le carbone $(2{,}55)$, ce carbone porte une charge partielle δ^+.

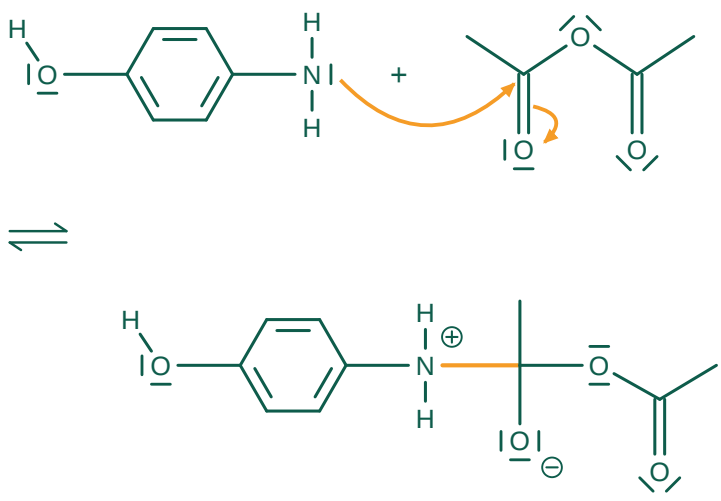
Première flèche : elle part du doublet non liant de N et pointe vers ce carbone (formation de la liaison $C-N$).

Deuxième flèche : le carbone ne peut pas s'entourer de plus de quatre doublets. Un doublet de la liaison double $C=O$ bascule sur l'oxygène, qui devient O^-.

Deux flèches courbes : du doublet non liant de N vers le carbone δ^+, puis de la liaison $C=O$ vers l'atome d'oxygène.

PIÈGE
Dessiner la flèche du carbone vers l'azote. Une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet d'électrons : elle part toujours d'un doublet (site donneur) et arrive sur le site accepteur.

COMPRENDRE
L'azote a engagé son doublet non liant dans une quatrième liaison : il porte la charge $+$ dans l'intermédiaire A. La charge globale reste nulle, comme celle des réactifs.



intermédiaire A

3.1 · Étape 1 : flèches courbes (en orange) et liaison $C-N$ formée

3.2 Indiquer la catégorie de chacune des réactions des trois étapes du mécanisme.

- Étape 1 : deux réactifs s'unissent en un seul produit, et une liaison double $C=O$ devient simple. C'est une **addition**.
- Étape 2 : un seul réactif donne deux produits, et la liaison double $C=O$ se reforme. C'est une **élimination**.
- Étape 3 : l'atome d'azote chargé positivement cède un ion H^+ à l'ion éthanoate. C'est une réaction **acide-base** (transfert de proton).

Étape 1 : addition ; étape 2 : élimination ; étape 3 : réaction acide-base.

COMPRENDRE
Le bilan des étapes 1 et 2 est une substitution : sur le carbone attaqué, le groupe CH_3COO a été remplacé par l'atome d'azote. La question porte cependant sur chaque étape prise séparément.

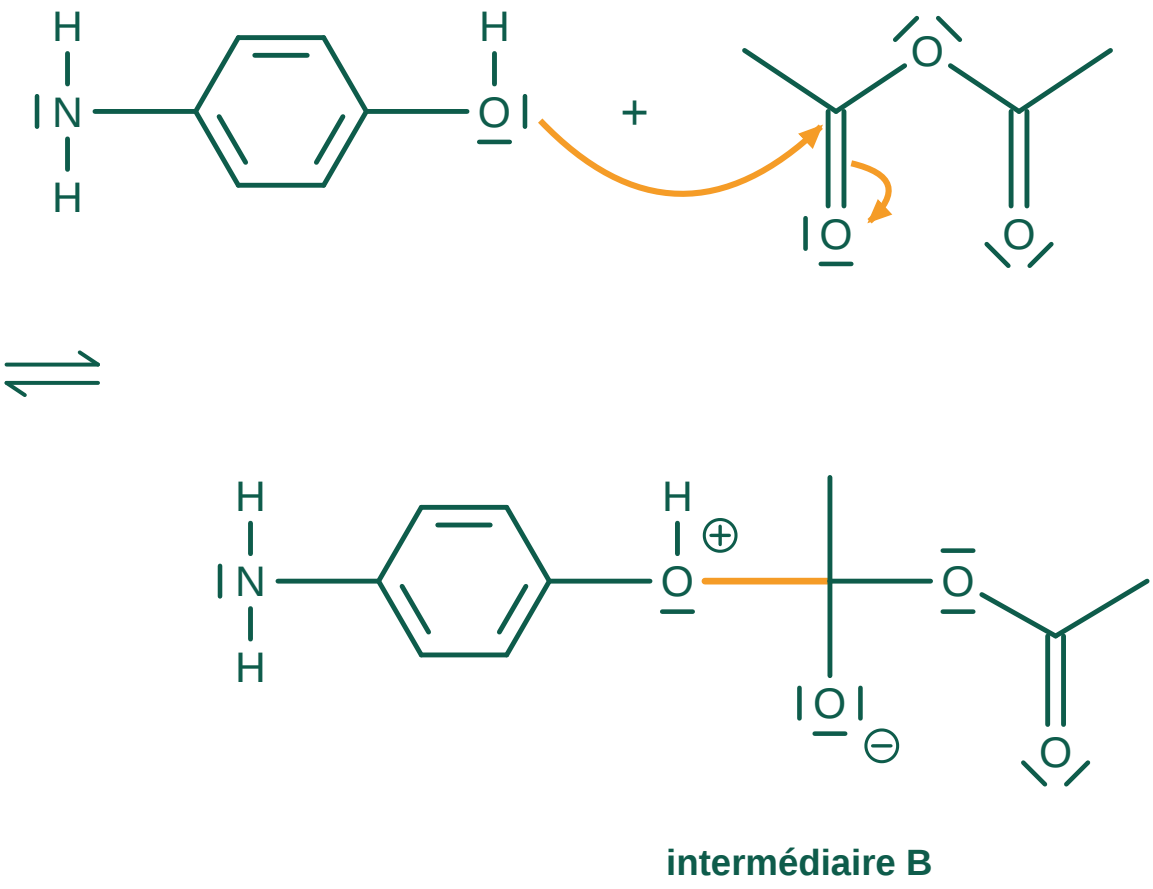
4.1 Représenter l'autre déplacement de doublets d'électrons possible dans l'étape 1, qui conduirait à un intermédiaire B différent de A.

Le para-aminophénol possède un second site donneur : l'atome d'oxygène du groupe hydroxyle (question 2).

Un de ses doublets non liants peut attaquer le même carbone δ^+ de l'anhydride éthanoïque : il se forme une liaison $C-O$, et un doublet de la liaison $C=O$ bascule sur l'oxygène.

Dans l'intermédiaire B, l'oxygène lié au cycle porte la charge $+$ (trois liaisons, un seul doublet non liant) et le groupe $-NH_2$ est intact.

Les flèches courbes sont les mêmes qu'à l'étape 1, mais la première part d'un doublet non liant de l'oxygène du groupe hydroxyle.



intermédiaire B

4.1 · Autre étape 1 possible : l'oxygène du groupe hydroxyle est le site donneur

4.2 En supposant deux étapes analogues aux étapes 2 et 3, donner la formule topologique du produit final E formé à partir de l'intermédiaire B.

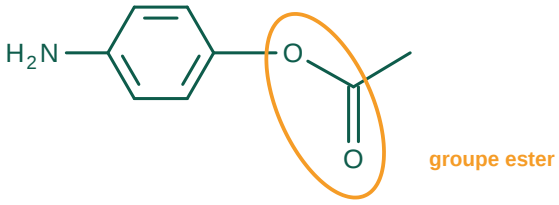
Étape analogue à l'étape 2 : l'intermédiaire B élimine un ion éthanoate CH_3COO^- et la liaison double $C{=}O$ se reforme.

Étape analogue à l'étape 3 : l'oxygène chargé positivement cède son ion H^+ à l'ion éthanoate, ce qui donne de l'acide éthanoïque.

Le groupe $-NH_2$ n'a pas réagi : E est un ester, de formule semi-développée $H_2N{-}C_6H_4{-}O{-}CO{-}CH_3$.

E : le groupe $-OH$ du para-aminophénol est remplacé par le groupe $-O-CO-CH_3$ (ester), le groupe $-NH_2$ est conservé.

COMPRENDRE
E et le paracétamol ont la même formule brute $C_8H_9NO_2$: ce sont des isomères. Seul le groupe qui a réagi diffère, d'où un ester à la place d'un amide.



4.2 · Produit final E (formule topologique)

5 Seul le paracétamol est obtenu lors de la synthèse. Quelle propriété possède donc la réaction entre le para-aminophénol et l'anhydride éthanoïque ?

Le para-aminophénol possède deux groupes caractéristiques capables de réagir avec l'anhydride éthanoïque (amino et hydroxyle). Un seul réagit dans les conditions du protocole : le groupe amino.

La réaction est **sélective** : l'anhydride éthanoïque réagit ici uniquement avec le groupe amino.

COMPRENDRE
On dit aussi que l'anhydride éthanoïque est un réactif chimiosélectif dans ces conditions. Sans cette sélectivité, il faudrait protéger le groupe hydroxyle avant la réaction, puis le déprotéger.

6.1 Donner un nom à chacune des cinq phases du protocole expérimental de synthèse.

- Phase 1 : dissolution du para-aminophénol (mise en solution du réactif, à chaud et en milieu acide).
- Phase 2 : transformation chimique (synthèse du paracétamol, à chaud).
- Phase 3 : isolement du produit brut (cristallisation puis filtration).
- Phase 4 : purification par recristallisation, puis séchage.
- Phase 5 : analyse du produit par chromatographie sur couche mince (CCM).

Dissolution du réactif ; transformation ; isolement (cristallisation, filtration) ; purification (recristallisation) ; analyse (CCM).

COMPRENDRE
Phase 1 : le para-aminophénol est peu soluble dans l'eau froide ($8\ g \cdot L^{-1}$ à 20 °C). Chauffer et ajouter de l'acide éthanoïque augmente sa solubilité, selon le tableau de données.

6.2 Justifier le choix des techniques utilisées dans les phases 3 et 4 du protocole, dans un texte précis et concis.

Données utiles solubilité du paracétamol dans l'eau : $10\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 °C, $250\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 100 °C ; acide éthanoïque très soluble de 0 à 100 °C ; température de fusion du paracétamol : 168 °C

Phase 3. La solubilité du paracétamol dans l'eau diminue fortement quand la température baisse ($250\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 100 °C, $10\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 °C). Le bain d'eau glacée fait donc cristalliser le paracétamol, alors que l'acide éthanoïque, très soluble à toute température, reste en solution. Frotter la paroi avec un agitateur en verre aide les premiers cristaux à apparaître. La filtration sur Büchner sépare le solide du liquide ; l'aspiration la rend rapide et essore bien les cristaux. Le rinçage entraîne les impuretés solubles restées à la surface des cristaux ; l'eau est glacée et en faible quantité pour dissoudre le moins possible de paracétamol.

Phase 4. C'est une recristallisation : elle exploite la différence de solubilité, à chaud et à froid, entre le paracétamol et les impuretés. À chaud, 20 mL d'eau suffisent à dissoudre tout le solide (jusqu'à $250 \times 0{,}020 = 5{,}0$ g à 100 °C). Lors du refroidissement, lent pour obtenir des cristaux purs, le paracétamol recristallise presque entièrement, tandis que les impuretés, présentes en faible quantité, restent dissoutes. Le volume d'eau est limité à 20 mL car une partie du produit reste en solution à froid : plus il y a d'eau, plus la perte est grande. La nouvelle filtration récupère le solide purifié. Le séchage à l'étuve élimine l'eau ; à 80 °C, bien en dessous de 168 °C, le paracétamol ne fond pas.

Phase 3 : cristallisation à froid et filtration isolent le paracétamol, peu soluble dans l'eau froide. Phase 4 : la recristallisation dans un minimum d'eau le débarrasse des impuretés, qui restent en solution.

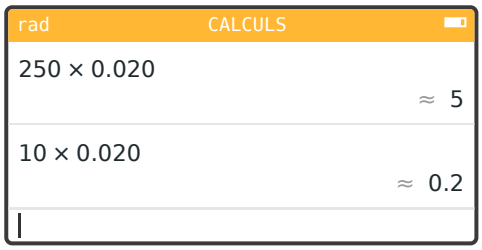
COMPRENDRE

Après refroidissement à 20 °C, 20 mL d'eau retiennent encore $10 \times 0{,}020 = 0{,}20$ g de paracétamol, perdus dans le filtrat. C'est pourquoi on utilise le minimum d'eau et on termine dans un mélange eau-glace.

MÉTHODE

Justifier une technique, c'est relier chaque geste à une donnée du tableau : solubilité à chaud et à froid pour la cristallisation, température de fusion pour le séchage. Citer les valeurs, sans réécrire le protocole.

À LA CALCULATRICE



6.3 Déterminer la masse maximale de paracétamol qui peut être obtenue avec ce protocole, en explicitant la démarche.

Données utiles $m_1 = 2{,}7$ g de para-aminophénol, $M_1 = 109\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_2 = 3{,}5$ mL d'anhydride éthanoïque, densité $1{,}08$, $M_2 = 102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{paracétamol}) = 151\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Quantité initiale de para-aminophénol : $n_1 = \dfrac{m_1}{M_1} = \dfrac{2{,}7}{109} = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

Quantité initiale d'anhydride éthanoïque : sa densité vaut $1{,}08$, donc sa masse volumique est $\rho_2 = 1{,}08\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

$$n_2 = \frac{\rho_2 \times V_2}{M_2} = \frac{1{,}08 \times 3{,}5}{102} = 3{,}7 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

D'après l'équation de la réaction, les deux réactifs réagissent mole à mole. Comme $n_1 < n_2$, le para-aminophénol est le réactif limitant.

Une mole de para-aminophénol donne une mole de paracétamol : $n_{\text{max}} = n_1$, donc

$$m_{\text{max}} = n_1 \times M(\text{paracétamol}) = \frac{2{,}7}{109} \times 151 = 3{,}7\ \text{g}$$

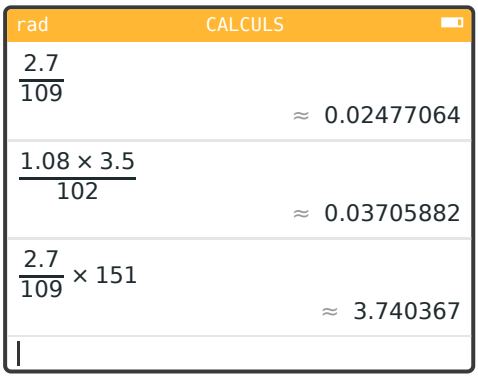
$m_{\text{max}} = 3{,}7$ g de paracétamol au maximum

PIÈGE
Calculer avec la valeur arrondie $n_1 = 2{,}5 \times 10^{-2}$ mol donne $3{,}8$ g. Il faut garder la valeur non arrondie dans la calculatrice : $3{,}74$ s'arrondit à $3{,}7$ g.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les données les moins précises ($2{,}7$ g et $3{,}5$ mL).

MÉTHODE
Masse maximale : 1) quantités initiales des réactifs (pour un liquide, $n = \rho V / M$) ; 2) réactif limitant ; 3) quantité de produit, puis $m = n \times M$.

À LA CALCULATRICE



La nouvelle façon de se poser sur Mars

Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Établir l'expression du travail du poids $W(\vec{P})$ de l'étage de descente entre A et B, en fonction de m, g, AB et de l'angle $\theta = (\vec{P}, \overrightarrow{AB})$.

Le champ de pesanteur est uniforme : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ est une force constante. Son travail entre A et B est le produit scalaire

$$W(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = P \times AB \times \cos\theta$$

$$\boxed{W(\vec{P}) = m\,g\,AB\,\cos\theta}$$

COMPRENDRE
Le travail d'une force constante ne dépend que des points de départ et d'arrivée : la trajectoire courbe de la figure 1 se remplace par le segment $[AB]$.

1.2 En s'appuyant sur un schéma, établir l'expression du travail du poids $W(\vec{P})$ en fonction notamment des altitudes z_A et z_B.

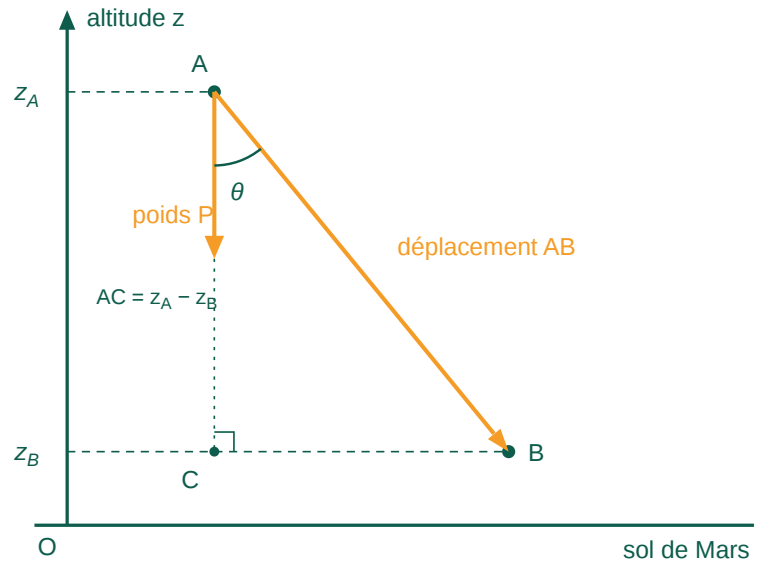
Soit C le point situé à la verticale de A, à l'altitude de B. Le triangle ABC est rectangle en C et l'angle en A vaut θ, car $\vec{P}$ est vertical :

$$\cos\theta = \frac{AC}{AB} \quad \text{donc} \quad AB\,\cos\theta = AC = z_A - z_B$$

En reportant dans l'expression de la question 1.1 :

$$\boxed{W(\vec{P}) = m\,g\,(z_A - z_B)}$$

PIÈGE
Écrire $z_B - z_A$: le signe du travail serait inversé. Vérification rapide : en descente, $z_A > z_B$ et le travail du poids doit être positif.



1.2 · Schéma : le poids, le déplacement AB et l'angle θ

1.3 Déterminer la valeur du travail du poids entre A et B et commenter son signe.

Données utiles $m = 2{,}0 \times 10^3$ kg ; $g = 3{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; document 1 : $z_A = 2\ \text{km} = 2 \times 10^3$ m (allumage des moteurs) ; $z_B = 20$ m (début de la descente du robot)

$$W(\vec{P}) = m\,g\,(z_A - z_B) = 2{,}0 \times 10^3 \times 3{,}7 \times (2 \times 10^3 - 20) = 1{,}5 \times 10^7\ \text{J}$$

Ce travail est positif : le poids est une force motrice, il favorise le mouvement de descente.

$$\boxed{W(\vec{P}) \approx 1{,}5 \times 10^7\ \text{J} > 0 \text{ : travail moteur.}}$$

PIÈGE
Laisser z_A en kilomètres : les altitudes se soustraient en mètres pour obtenir des joules.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : m et g en ont deux, d'où deux chiffres au résultat. L'altitude « 2 kilomètres » n'en affiche qu'un : c'est surtout l'ordre de grandeur, 10^7 J, qui est fiable.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2.0 \times 10^3 \times 3.7 \times (2000 - 20) \approx 1.4652 \times 10^7$

1.4.1 Déterminer la valeur de l'énergie mécanique E_m de l'étage de descente au point A et au point B.

Données utiles document 1 : $v_A = 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_B = 75 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 0{,}75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $z_A = 2 \times 10^3$ m ; $z_B = 20$ m

$E_m = E_c + E_{pp} = \frac{1}{2} m v^2 + m g z$, l'énergie potentielle de pesanteur étant choisie nulle au sol ($z = 0$).

$$E_m(A) = \frac{1}{2} \times 2{,}0 \times 10^3 \times 100^2 + 2{,}0 \times 10^3 \times 3{,}7 \times 2 \times 10^3 = 2{,}5 \times 10^7 \text{ J}$$

$$E_m(B) = \frac{1}{2} \times 2{,}0 \times 10^3 \times 0{,}75^2 + 2{,}0 \times 10^3 \times 3{,}7 \times 20 = 1{,}5 \times 10^5 \text{ J}$$

$E_m(A) \approx 2{,}5 \times 10^7$ J ; $E_m(B) \approx 1{,}5 \times 10^5$ J

PIÈGE
Garder $v_B = 75$: la vitesse est donnée en centimètres par seconde, il faut la convertir en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

COMPRENDRE
En A, l'énergie cinétique ($1{,}0 \times 10^7$ J) et l'énergie potentielle ($1{,}5 \times 10^7$ J) sont comparables. En B, l'énergie cinétique (environ 560 J) est négligeable.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 2.0 \times 10^3 \times 100^2 + 2.0 \times 10^3 \times 3.7 \times 2000 \approx 2.48 \times 10^7$

$0.5 \times 2.0 \times 10^3 \times 0.75^2 + 2.0 \times 10^3 \times 3.7 \times 20 \approx 148562.5$

1.4.2 L'énergie mécanique de l'étage de descente évolue-t-elle au cours du mouvement entre A et B ? Interpréter qualitativement ce résultat.

Données utiles $E_m(A) \approx 2{,}5 \times 10^7$ J ; $E_m(B) \approx 1{,}5 \times 10^5$ J (1.4.1)

$E_m(B) < E_m(A)$: l'énergie mécanique diminue fortement entre A et B, elle ne se conserve pas.

L'étage n'est donc pas soumis à son seul poids. Il subit des forces non conservatives opposées au mouvement : surtout la poussée des huit rétrofusées, dirigée vers le haut alors que l'engin descend, et, dans une moindre mesure, les frottements de l'atmosphère martienne, très ténue. Leur travail est résistant (négatif) : elles prélèvent de l'énergie mécanique à l'étage.

E_m diminue (elle est divisée par plus de 100) à cause du travail résistant de la poussée des moteurs et des frottements.

COMPRENDRE
La variation d'énergie mécanique est égale au travail des forces non conservatives : ici $E_m(B) - E_m(A) \approx -2{,}5 \times 10^7$ J. C'est ce freinage qui permet le « quasi-surplace ».

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$148\,562.5 - 24\,800\,000 \approx -2.465144 \times 10^7$

2 À partir des données du document 1 et en faisant différentes hypothèses, estimer la durée Δt de la descente du robot, entre le moment où la grue commence à le descendre et son atterrissage.

Données utiles document 1 : altitude de l'étage au début $H = 20$ m ; vitesse $v = 75\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1} = 0{,}75\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; filins de longueur $L = 7{,}50$ m ; texte d'introduction : hauteur du rover $h = 2{,}2$ m

Hypothèses.

- Pendant toute cette phase, l'étage de descente (la grue) continue de descendre verticalement à vitesse constante $v = 0{,}75\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: son mouvement est rectiligne uniforme.
- Quand le rover touche le sol, les filins sont entièrement déroulés et tendus, verticaux.
- L'altitude de 20 m est celle du bas de l'étage, sous lequel le rover est accroché.

Distance parcourue par l'étage. Au début, le bas de l'étage est à l'altitude H. Au moment où le rover se pose, il se trouve au-dessus du sol à la hauteur $L + h$ (filins plus rover). L'étage est donc descendu de

$$d = H - (L + h) = 20 - (7{,}50 + 2{,}2) = 10{,}3\ \text{m}$$

Durée. À vitesse constante, $v = \dfrac{d}{\Delta t}$, donc

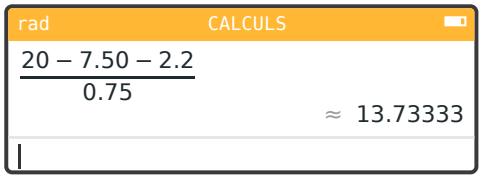
$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{H - L - h}{v} = \frac{10{,}3}{0{,}75} = 14\ \text{s}$$

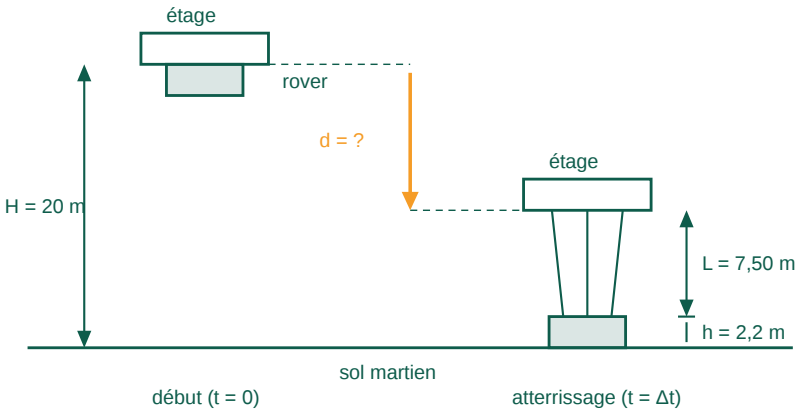
$\Delta t \approx 14$ s : la descente du robot dure une quinzaine de secondes.

COMPRENDRE
Sans tenir compte de la hauteur du rover, on trouverait $12{,}5 \div 0{,}75 \approx 17$ s : même ordre de grandeur. La vitesse de déroulement des filins n'intervient pas avec ces hypothèses.

MÉTHODE
Question ouverte : relever les données utiles, nommer chaque grandeur, faire un schéma des états initial et final, énoncer les hypothèses, puis calculer et conclure par une phrase. Une démarche cohérente est valorisée même avec d'autres hypothèses.

À LA CALCULATRICE





2 · Schéma : début de la descente du robot (à gauche) et atterrissage (à droite)

3.1 À partir du moment où les moteurs se coupent, l'étage de descente a un mouvement de chute libre. Justifier.

Un système est en chute libre s'il n'est soumis qu'à son poids.

Moteurs coupés, la force de poussée n'existe plus. L'atmosphère de Mars étant très ténue (pression inférieure à 1 % de celle de la Terre), les frottements et la poussée d'Archimède sont négligeables devant le poids.

L'étage n'est plus soumis qu'à son poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$: son mouvement est une chute libre.

PIÈGE
Croire qu'une chute libre est forcément verticale ou sans vitesse initiale. Ici l'étage part avec une vitesse inclinée : la trajectoire est une parabole.

3.2 À l'aide de l'équation de la trajectoire, déterminer la valeur de la vitesse initiale V_0 minimale permettant d'écarter l'étage de descente d'au moins 150 m du lieu d'atterrissage du rover.

Données utiles $z(x) = -\dfrac{g\,x^2}{2\,v_0^2\cos^2\alpha} + x\tan\alpha + H$; $H = 50$ m ; $\alpha = 45^\circ$; $g = 3{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; distance $x_S = 150$ m

L'origine O est au sol, à la verticale du point où les moteurs se coupent, donc au lieu d'atterrissage du rover. L'étage touche le sol quand $z = 0$. La vitesse est minimale lorsque l'impact a lieu exactement en $x_S = 150$ m :

$$-\frac{g\,x_S^2}{2\,v_0^2\cos^2\alpha} + x_S\tan\alpha + H = 0$$

$$v_0^2 = \frac{g\,x_S^2}{2\cos^2\alpha\,(x_S\tan\alpha + H)}$$

En ne gardant que la solution positive :

$$v_0 = \sqrt{\frac{3{,}7\times 150^2}{2\times\cos^2 45^\circ\times(150\times\tan 45^\circ + 50)}} = 20{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

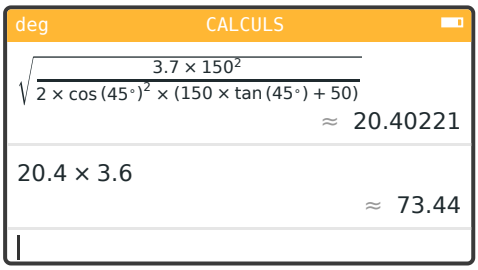
Une vitesse plus grande envoie l'étage plus loin : il faut $v_0 \geqslant 20{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

V_0 minimale $\approx 20\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (20,4 avant arrondi), soit environ $73\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\cos 45$ et $\tan 45$ deviennent faux. Vérifier le mode degré ; ici $\cos^2 45^\circ = 0{,}5$ et $\tan 45^\circ = 1$, le calcul se réduit à $\sqrt{3{,}7\times 150^2 \div 200}$.

COMPRENDRE
Arrondie à deux chiffres, la valeur 20 est juste en dessous du seuil : pour dépasser réellement 150 m, il faut viser $21\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



Détermination expérimentale d'une résistance thermique

Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que l'énergie thermique E_{th} transférée à travers la paroi de verre, due à la mise en route du générateur de vapeur, est de l'ordre de 40 kJ. Préciser le mode de transfert et l'interpréter au niveau microscopique.

Données utiles $L_f = 333{,}5\ \text{J} \cdot \text{g}^{-1}$; $m_1 = 5{,}5$ g (sans vapeur) ; $m_2 = 124{,}4$ g (avec vapeur) ; même durée Δt

Pour faire fondre une masse m de glace, il faut lui fournir l'énergie $E = m\,L_f$.

Première expérience : la glace reçoit $E_1 = m_1\,L_f$, apportée par le laboratoire seul.

Seconde expérience : la glace reçoit $E_2 = m_2\,L_f$, apportée par le laboratoire et par la vapeur à travers le verre.

L'énergie due au seul générateur de vapeur est la différence :

$$E_{th} = E_2 - E_1 = (m_2 - m_1)\,L_f = (124{,}4 - 5{,}5) \times 333{,}5 = 3{,}965 \times 10^4\ \text{J}$$

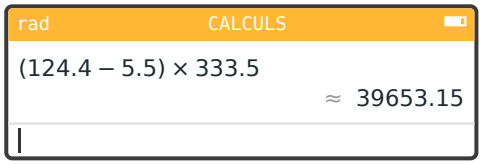
Le transfert à travers le verre se fait par **conduction**. Du côté de la vapeur, les entités du verre sont plus agitées ; cette agitation thermique se transmet de proche en proche vers la face froide, sans déplacement d'ensemble de la matière.

$E_{th} = 3{,}965 \times 10^4\ \text{J} = 39{,}65\ \text{kJ}$, bien de l'ordre de 40 kJ ; transfert par conduction.

PIÈGE
Calculer seulement $m_2\,L_f = 41{,}5$ kJ. Cette valeur contient aussi l'énergie venue de l'air du laboratoire : la première expérience sert de témoin et se retranche.

COMPRENDRE
L_f est en $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$: les masses restent en grammes. Quatre chiffres significatifs, comme L_f et la différence $118{,}9$ g.

À LA CALCULATRICE



2.1 Exprimer l'unité du flux thermique Φ en fonction du mètre, du kilogramme et de la seconde. Quelle unité utilise-t-on plus usuellement ?

$\Phi = \dfrac{E_{th}}{\Delta t}$: le flux est une énergie divisée par une durée, donc en $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$.

Unité d'une énergie : d'après $E_c = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2$, le joule est une masse multipliée par le carré d'une vitesse : $1\ \text{J} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

Donc Φ s'exprime en $\dfrac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{\text{s}} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$.

Φ s'exprime en $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$, c'est-à-dire usuellement en **watt** (W) : le flux thermique est une puissance.

MÉTHODE
Pour décomposer une unité, partir d'une relation connue qui contient la grandeur : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, $E_{pp} = mgh$ ou $W = F\,d$ donnent toutes le même résultat pour le joule.

2.2 Calculer la valeur du flux thermique à travers la plaque de verre étudiée.

Données utiles $E_{th} = 3{,}965 \times 10^4$ J (Q1) ; $\Delta t = 5\ \text{min}\ 30\ \text{s}$

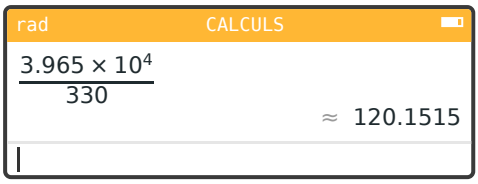
$\Delta t = 5 \times 60 + 30 = 330$ s.

$$\Phi = \frac{E_{th}}{\Delta t} = \frac{3{,}965 \times 10^4}{330} = 120\ \text{W}$$

$\Phi = 120\ \text{W}$

PIÈGE
Laisser la durée en minutes (5,5 min) ou écrire 5 min 30 s = 5,30 min. Le watt exige des joules et des secondes.

À LA CALCULATRICE



3 Déterminer la résistance thermique R_{th} de la portion de verre comprise entre le bloc de glace et l'enceinte, à partir de $\Phi = \dfrac{\Delta\theta}{R_{th}}$.

Données utiles $\Phi = 120$ W (Q2.2)

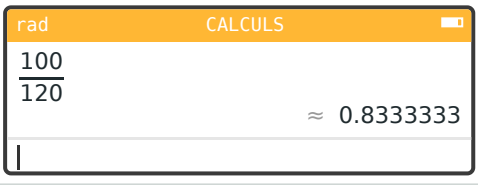
Le sujet ne donne pas $\Delta\theta$: il faut l'estimer. La face supérieure du verre touche la glace fondante, à $0\ ^\circ\text{C}$; la face inférieure est au contact de la vapeur d'eau, à $100\ ^\circ\text{C}$ sous la pression atmosphérique. Donc $\Delta\theta = 100\ ^\circ\text{C}$, soit 100 K.

$$R_{th} = \frac{\Delta\theta}{\Phi} = \frac{100}{120} = 0{,}83\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$$

$R_{th} = 0{,}83\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273. Deux chiffres significatifs suffisent, les températures des faces n'étant qu'estimées ; la valeur s'accorde avec le tableau de la question 4.

À LA CALCULATRICE



4.1 Écrire le résultat de la mesure expérimentale de R_{th} correspondant à un niveau de confiance de 95 %.

Données utiles 12 mesures du tableau ; $t_{95} = 2{,}20$; $U(R_{th}) = t_{95}\dfrac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$

Avec le mode statistique de la calculatrice, pour les 12 valeurs du tableau :

moyenne $\overline{R_{th}} = 0{,}827\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; écart-type expérimental $\sigma_{n-1} = 4{,}87 \times 10^{-2}\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

$$U(R_{th}) = t_{95}\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 2{,}20 \times \frac{4{,}87 \times 10^{-2}}{\sqrt{12}} = 0{,}031\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$$

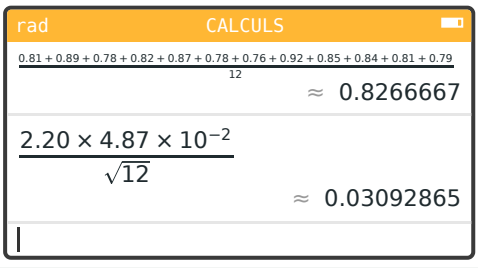
L'incertitude est arrondie à un chiffre significatif, $U(R_{th}) = 0{,}03\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; la moyenne est arrondie au même rang, le centième.

$R_{th} = (0{,}83 \pm 0{,}03)\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ (niveau de confiance 95 %)

PIÈGE
Utiliser σ_n au lieu de σ_{n-1} (noté s_x ou σ_{n-1} selon la calculatrice), ou garder $0{,}827 \pm 0{,}03$: le dernier chiffre de la valeur doit être au rang de l'incertitude.

COMPRENDRE
Dans les notations actuelles, $\dfrac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 0{,}014\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ est l'incertitude-type sur la moyenne ; le coefficient t_{95} l'élargit pour atteindre le niveau de confiance de 95 %.

À LA CALCULATRICE



4.2 Rédiger une phrase de conclusion traduisant la signification du résultat de la mesure de R_{th}.

Données utiles $R_{th} = (0{,}83 \pm 0{,}03)\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (Q4.1)

$0{,}83 - 0{,}03 = 0{,}80$ et $0{,}83 + 0{,}03 = 0{,}86$.

La valeur vraie de la résistance thermique de cette portion de verre a 95 % de chances d'être comprise entre $0{,}80\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $0{,}86\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

COMPRENDRE
Cet intervalle ne traduit que la dispersion des 12 mesures. Une erreur commune à toutes, comme une mauvaise estimation de $\Delta\theta$, décale toutes les valeurs dans le même sens et n'y apparaît pas.

5 Déterminer la résistance thermique surfacique R du verre utilisé. Le constructeur indique une valeur plus élevée : proposer une interprétation.

Données utiles $R_{th} = 0{,}83\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (Q4.1) ; diamètre du bloc de glace : 8 cm au départ, 7,6 cm à la fin de la seconde expérience

Plus la surface traversée est grande, plus le flux est grand et plus R_{th} est petite : $R_{th} = \dfrac{R}{S}$, donc $R = R_{th} \times S$, en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. R est la résistance thermique d'une paroi de $1\ \text{m}^2$.

La surface d'échange est le disque de contact entre la glace et le verre. Son diamètre passe de 8 cm à 7,6 cm pendant la seconde expérience : on prend la valeur moyenne $d = 7{,}8\ \text{cm} = 7{,}8 \times 10^{-2}$ m.

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{7{,}8 \times 10^{-2}}{2}\right)^2 = 4{,}8 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$

$$R = R_{th} \times S = 0{,}83 \times 4{,}8 \times 10^{-3} = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Interprétation de l'écart avec le constructeur : la valeur expérimentale est sous-estimée.

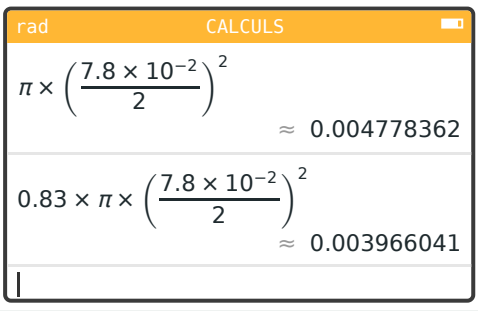
- La surface réellement traversée est mal connue : le disque de contact rétrécit pendant la fusion et la chaleur se propage aussi dans le verre autour du bloc.
- Le flux est surestimé : quand le générateur fonctionne, l'enceinte chaude réchauffe l'air autour du bloc, qui fait fondre plus de glace que dans l'expérience témoin.

$$R = R_{th} \times S \approx 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

PIÈGE
Diviser R_{th} par S à cause de l'expression « par unité de surface » : l'unité $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ montre qu'il faut multiplier. Prendre aussi le disque de glace, pas la plaque carrée de 12 cm.

COMPRENDRE
Selon le diamètre retenu (7,6 cm, 7,7 cm ou 8 cm), on trouve entre $3{,}8 \times 10^{-3}$ et $4{,}2 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$: toute valeur justifiée dans cet intervalle convient.

À LA CALCULATRICE



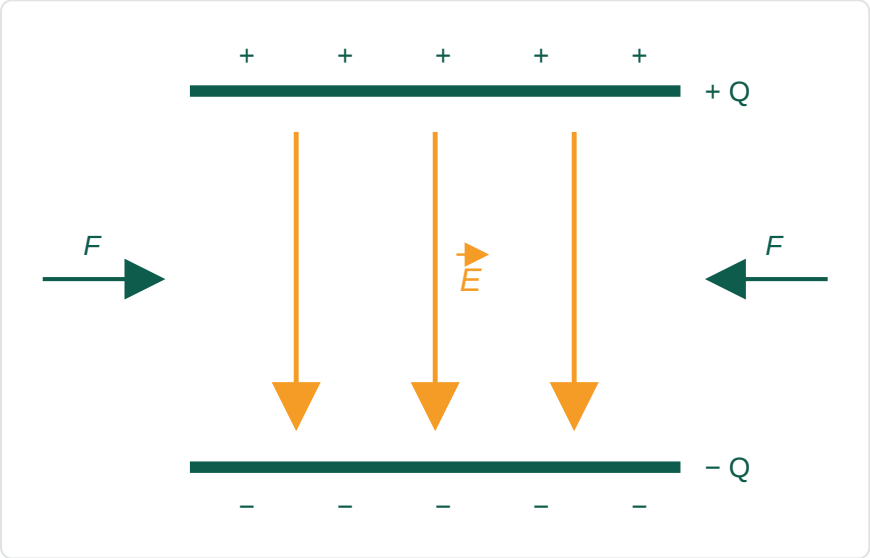
Spécialité : Effet piézoélectrique

Bac S 2014 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Représenter le champ électrique macroscopique créé par les charges apparues sur les faces extérieures du cristal de la figure 2.

La face supérieure porte la charge $+Q$ et la face inférieure la charge $-Q$. Entre ces deux faces planes et parallèles, le champ électrique $\vec{E}$ est uniforme : il est perpendiculaire aux faces et orienté de la face chargée positivement vers la face chargée négativement.

$\vec{E}$ est vertical, dirigé vers le bas, de la face $+Q$ vers la face $-Q$ (flèches orange sur le schéma).



1 · Figure 2 simplifiée : champ électrique entre les deux faces métallisées

PIÈGE
Orienter le champ comme la flèche de la tension U du schéma. Cette flèche pointe vers la face $+Q$ (potentiel le plus élevé), alors que $\vec{E}$ pointe vers la face $-Q$.

MÉTHODE
Pour trouver le sens de $\vec{E}$, imaginer une charge positive placée entre les faces : elle est repoussée par la face $+Q$ et attirée par la face $-Q$. La force qu'elle subit donne le sens du champ.

2 Montrer que le niveau d'intensité sonore L et la pression acoustique p sont reliés par $L = 20 \log \frac{p}{p_0}$.

Données utiles $I = \frac{p^2}{2\rho c}$; p_0 est l'amplitude de la pression acoustique associée à I_0

Définition du niveau d'intensité sonore : $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$.

L'intensité de référence s'écrit de la même façon que I, dans le même milieu : $I_0 = \frac{p_0^2}{2\rho c}$. Le facteur $2\rho c$ se simplifie :

$$\frac{I}{I_0} = \frac{p^2}{2\rho c} \times \frac{2\rho c}{p_0^2} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^2$$

Comme $\log(a^2) = 2 \log a$:

$$L = 10 \log \left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 2 \times 10 \log \frac{p}{p_0}$$

$L = 20 \log \frac{p}{p_0}$, avec L en dB : c'est la relation attendue.

PIÈGE
Oublier d'écrire que I_0 correspond à p_0 par la même relation. Sans cette phrase, la simplification par $2\rho c$ n'est pas justifiée.

COMPRENDRE
Le facteur 20 vient du carré : l'intensité varie comme p^2. Multiplier la pression par 10 multiplie l'intensité par 100 et ajoute 20 dB au niveau sonore.

3 Évaluer l'ordre de grandeur de la tension U affichée par le voltmètre quand le capteur reçoit un son de niveau $L = 50$ dB. Peut-on prévoir d'utiliser ce capteur pour réaliser un sonomètre ?

Données utiles $\beta = 5 \times 10^{-5}$ C · N^{-1} ; $C = 125 \times 10^{-12}$ F ; $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa ; $L = 20 \log \dfrac{p}{p_0}$ (Q2) ; figure 3 : photographie du capteur à côté d'une pointe de crayon

Démarche. Niveau sonore L → pression p → force F sur le capteur → charge Q → tension U.

Pression acoustique. $L = 20 \log \dfrac{p}{p_0}$ donne $p = p_0 \times 10^{L/20}$:

$p = 2 \times 10^{-5} \times 10^{50/20} = 6 \times 10^{-3}$ Pa

Surface du capteur. Sur la figure 3, le disque est à peine plus large que la pointe taillée du crayon : son diamètre est estimé à $d \approx 1$ cm.

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times (0{,}5 \times 10^{-2})^2 = 8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Force pressante. $F = p \times S = 6 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-7}$ N

Charge. β est en C · N^{-1}, donc $Q = \beta F$.

Tension. $Q = C\,U$, d'où :

$$U = \frac{\beta F}{C} = \frac{\beta\, p_0 \times 10^{L/20} \times \pi d^2}{4\,C} = \frac{5 \times 10^{-5} \times 5 \times 10^{-7}}{125 \times 10^{-12}} = 0{,}2 \text{ V}$$

L'ordre de grandeur est 10^{-1} V : un voltmètre courant mesure cette tension sans difficulté.

Sonomètre. U est proportionnelle à p : elle est multipliée par 10 chaque fois que L augmente de 20 dB. Sur l'étendue du tableau :

- $L = 30$ dB : $U \approx 0{,}02$ V ;
- $L = 130$ dB : $U \approx 2 \times 10^{3}$ V.

Les faibles tensions restent mesurables, mais les sons forts donneraient plusieurs centaines à plusieurs milliers de volts, hors des calibres d'un voltmètre usuel et dangereux. De plus, U n'est pas proportionnelle à L : il faudrait encore calculer $L = 20 \log \dfrac{p}{p_0}$ à partir de la mesure.

$U \approx 0{,}2$ V, soit un ordre de grandeur de 10^{-1} V. Branché directement sur un voltmètre, ce capteur ne convient pas pour un sonomètre couvrant de 30 à 130 dB.

PIÈGE
Écrire $F = \beta Q$. L'unité de β tranche : des C · N^{-1} multipliés par des newtons donnent des coulombs, donc $Q = \beta F$. Penser aussi à convertir le diamètre en mètre.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif : β et p_0 n'en ont qu'un et le diamètre est estimé à l'œil. Seul l'ordre de grandeur a un sens. La distance de 50 cm ne sert pas : le niveau sonore au capteur est donné.

MÉTHODE
Résolution de problème : écrire la chaîne des grandeurs avant tout calcul, annoncer chaque estimation (ici le diamètre, lu sur la photographie), garder l'expression littérale jusqu'au bout, puis juger le résultat sur toute l'étendue de mesure.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{50}{20}}$

≈ 0.006324555

$\pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2$

$\approx 7.853982 \times 10^{-5}$

$$\frac{5 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{50}{20}} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{125 \times 10^{-12}}$$

≈ 0.1986918

$$\frac{5 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{30}{20}} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{125 \times 10^{-12}}$$

≈ 0.01986918

$$\frac{5 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{130}{20}} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{125 \times 10^{-12}}$$

≈ 1986.918