

PHYSIQUE-CHIMIE. DEVOIR SURVEILLÉ 3

Samedi 18/10/2025. Durée : 2h

CONSIGNES

- ▷ **La calculatrice n'est pas autorisée.** Les autres outils électroniques (téléphone, tablette...) et documents papier sont strictement interdits. Un brouillon est autorisé.
- ▷ Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- ▷ Ne pas utiliser de correcteur.
- ▷ Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.
- ▷ Numéroté les pages de votre composition.

Le sujet comporte **quatre parties indépendantes**.

Partie I - Structure cristallographique du chlorure de sodium

Le sel, ou chlorure de sodium NaCl, est un cristal ionique dans lequel les ions Na^+ forment un réseau de type cubique face centrée (CFC) de paramètre de maille a , représenté figure 1.

Les ions Cl^- , quant à eux, se logent dans les sites octaédriques. On note r le rayon d'un cation Na^+ et R le rayon d'un anion Cl^- .

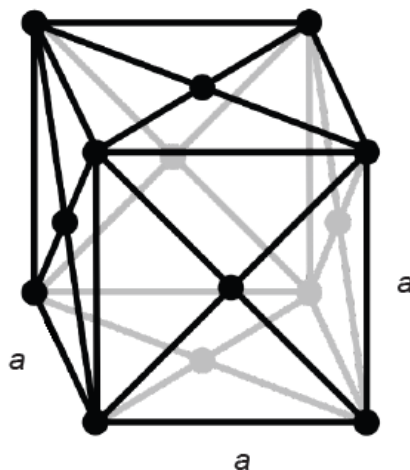


FIGURE 1 – Structure de type cubique face centrée

Q1. Combien y a-t-il d'ions sodium par maille ?

Q2. Préciser sur un schéma la position des centres des sites octaédriques. Combien y en a-t-il par maille ? Sont-ils tous occupés par les atomes de chlore ?

On donne $r = 97$ pm, $R = 181$ pm et $a = 556$ pm. On admet que $a\sqrt{2} = 786$ pm et $a\sqrt{3} = 963$ pm.

Q3. Préciser si les ions Na^+ sont tangents entre eux et si oui, préciser suivant quel alignement. Préciser si les ions Na^+ et Cl^- sont tangents entre eux et si oui, préciser suivant quel alignement.

Q4. Exprimer la masse volumique ρ_{NaCl} du chlorure de sodium en fonction de r et de R ainsi que des masses molaires $M(\text{Na})$ et $M(\text{Cl})$.

Q5. Indiquer, en justifiant, la valeur numérique correcte parmi les valeurs suivantes : $\rho_{\text{NaCl}} = 2,16 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $\rho_{\text{NaCl}} = 216 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$; $\rho_{\text{NaCl}} = 21,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Données :

- ▷ Masses molaires : $M(\text{Na}) = 23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- ▷ Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- ▷ Les centres des sites octaédriques sont décalés d'une demi-arête par rapport aux sommets et aux centres des faces.

Partie II - Trombone de Kœnig

La figure 2 représente un trombone de Kœnig. C'est un système interférentiel acoustique constitué d'une entrée (E) et d'une sortie (S) reliées par deux tubes en U, dont l'un est muni d'une coulisse télescopique.

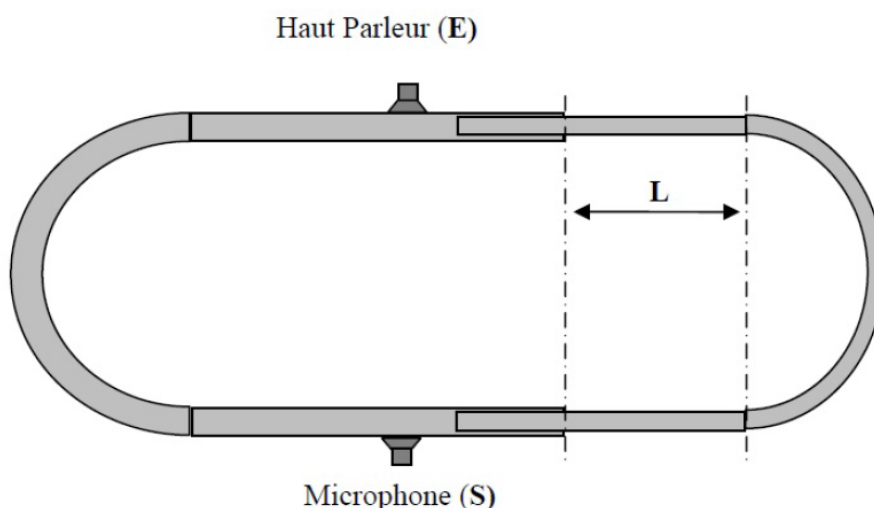


FIGURE 2 – Trombone de Kœnig

Un haut-parleur, placé à l'entrée, émet une onde sonore progressive sinusoïdale à la fréquence f . Un microphone, placé à la sortie, enregistre le son résultant de la superposition des ondes qui se sont propagées dans les deux tubes à la célérité c . On suppose que les ondes ont la même amplitude dans les deux tubes et que leur propagation guidée a lieu sans amortissement.

Q6. Rappelez les conditions nécessaires à l'observation d'interférences et justifier qu'elles sont réunies dans ce montage.

On note d_1 la distance parcourue par l'onde dans le tube fixe (à gauche) et d_2 la distance parcourue par l'onde dans le tube à coulisse. Lorsque la coulisse est rentrée

au maximum dans le tube fixe, les distances d_1 et d_2 sont égales. On note L le déplacement de la coulisse par rapport à cette situation.

Q7. Dans le cas où $L = 0$, le microphone enregistre-t-il un son ? Pourquoi ?

On considère à présent le cas où $L > 0$.

Q8. Quelle est la relation entre la différence de marche $\delta = d_2 - d_1$ et L ? Quelle est la condition sur la différence de marche et la longueur d'onde λ pour observer des interférences constructives ? Et des interférences destructives ? En déduire les conditions d'interférences constructives et destructives vérifiées par L , c et f .

On souhaite utiliser le trombone de Koenig pour étudier la célérité du son dans l'air. On réalise l'expérience avec une onde sonore progressive sinusoïdale dont la fréquence est $f = 500$ Hz. En déplaçant la coulisse, on constate que le microphone n'enregistre aucun son aux positions successives de la coulisse notées L_1 et L_2 .

Q9. Montrer que la célérité du son est $c = 2f(L_2 - L_1)$.

On réalise l'expérience pour plusieurs températures. Le tableau suivant donne les résultats des mesures.

θ en $^{\circ}\text{C}$	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
L_1 en cm	16,6	16,7	16,9	17,0	17,2	17,3	17,5
L_2 en cm	49,7	50,2	50,6	51,1	51,5	51,9	52,4

Q10. Calculer la valeur expérimentale de la célérité du son à la température de 20°C .

La théorie des ondes sonores permet d'établir que la célérité c du son dans un gaz supposé parfait s'exprime par

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

où le coefficient de Laplace γ vaut $7/5$ pour l'air, $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ est la constante des gaz parfaits, T la température (en kelvin) du gaz et M sa masse molaire (pour l'air $M = 29,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Q11. Calculer la valeur théorique de la célérité du son dans l'air à la température de 20°C . Commenter.

Aide au calcul :

$$\sqrt{\frac{1,33 \times 8,31 \times 293}{0,029}} = 334,1651 ;$$

$$\sqrt{\frac{1,33 \times 8,31 \times 20}{29}} = 2,7608 ;$$

$$\sqrt{\frac{1,40 \times 8,31 \times 293}{0,029}} = 342,8462 ;$$

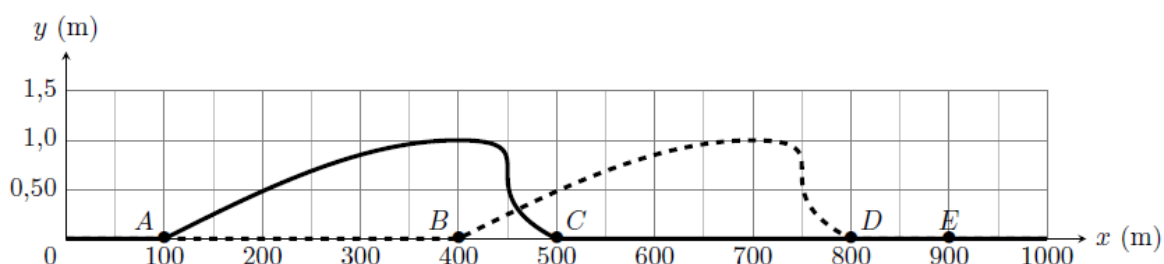
$$\sqrt{\frac{1,40 \times 8,31 \times 20}{0,029}} = 89,5737.$$

Partie III - La houle

La houle est un train de vagues régulières qui se propagent sur de longues distances depuis leur lieu de formation. Elles sont générées par un vent soufflant sur une grande étendue d'eau sans obstacle. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle, au grand bonheur des surfeurs.

1. Houle non sinusoïdale

La surface de l'eau est simplement schématisée ci-dessous aux instants $t_1 = 0$ (trait plein) et $t_2 = 60$ s (pointillés) pour une vague qui se propage en direction de la côte. L'origine, d'abscisse $x = 0$, est prise à 1000 m de la côte.



Q12. Justifier que la houle est une onde mécanique progressive, et expliquer ce que représente concrètement la grandeur physique $y(x, t)$ qui lui est associée.

Q13. Calculer la largeur spatiale Δx de la vague.

Q14. Calculer sa célérité c , en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ puis en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

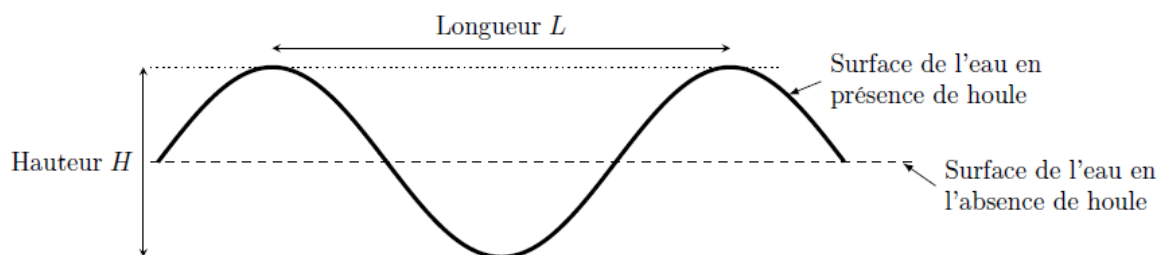
Q15. En déduire la valeur de la largeur temporelle Δt de cette vague.

Q16. Représenter graphiquement le signal $y(x_E, t)$ qu'enregistrerait un capteur de déplacement vertical positionné sur une bouée flottant à la surface de l'eau au point E d'abscisse $x_E = 900$ m.

2. Houle sinusoïdale

Pour faciliter l'étude théorique des vagues, on utilise souvent le modèle des vagues sinusoïdales. Pour de telles vagues, il existe une crête (point culminant) suivie d'un creux (point le plus bas) et ainsi de suite, selon la forme d'un sinus.

La hauteur H de la vague correspond à la distance verticale entre le sommet de la crête et le fond du creux de la vague. La longueur L de la vague correspond à la distance entre deux crêtes ou deux creux successifs.

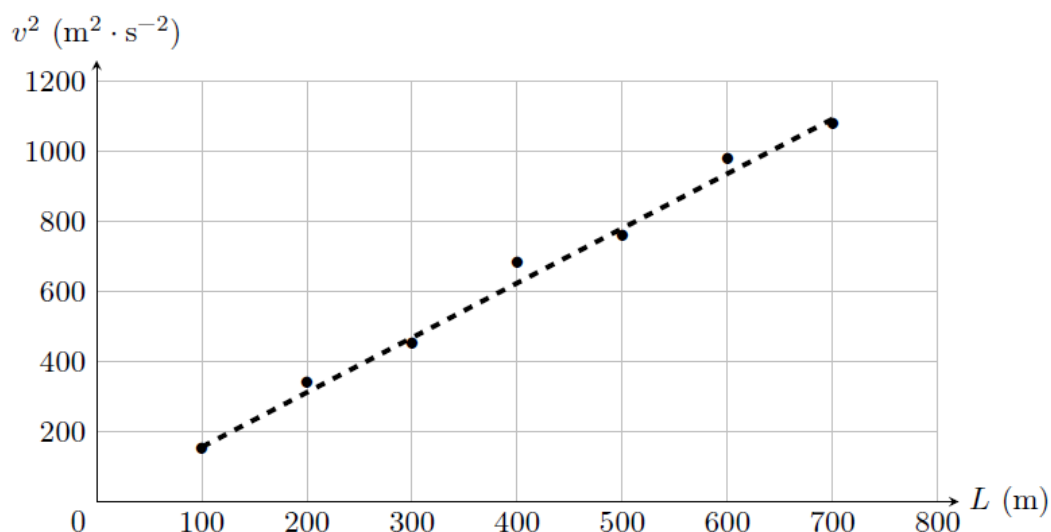


Dans cette sous-partie, la houle est modélisée par une onde sinusoïdale, qui possède une double périodicité spatiale et temporelle. La vitesse de propagation de la houle est dorénavant notée v .

Q17. Quel nom est habituellement donné à la longueur L de la vague ?

a. Propagation en eau profonde

Loin des côtes, quand la hauteur H des vagues augmente, l'expérience montre que la distance L entre deux vagues successives augmente aussi, ainsi que la vitesse de propagation v . Des mesures en eau profonde permettent de construire le graphique donnant l'évolution de v^2 en fonction de L .



Q18. Justifier qu'on peut modéliser les données par une relation de la forme $v^2 = aL$, et évaluer le coefficient directeur a avec deux chiffres significatifs. À l'aide des données en fin de partie, donner l'expression théorique de a . Calculer sa valeur et commenter.

Dans l'océan Atlantique, loin de la Pointe bretonne, là où l'océan avoisine en moyenne les 3000 m de profondeur, une houle est formée de façon telle que la longueur de chaque vague vaut $L_1 = 60$ m.

Q19. Calculer sa vitesse de propagation v_1 . Quelle est sa période T_1 ?

b. Propagation en eau peu profonde

« Quand les vagues approchent de la côte et rencontrent des eaux peu profondes, leur vitesse diminue car le frottement avec le sol les freine. Dès que la profondeur devient plus faible que la moitié de la longueur d'onde, les particules d'eau sont encore plus ralenties. Ainsi, la longueur d'onde de la houle diminue et son amplitude augmente, mais sa période est la seule propriété qui ne change pas à l'approche de la côte. Ainsi en arrivant près du rivage, la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle des particules dans le creux de l'onde, et lorsque ce déséquilibre devient trop grand, la vague déferle. »

D'après <http://ifremer.fr>

La houle étudiée atteint l'entrée d'un port.

Q20. À l'aide des données, calculer la nouvelle vitesse de propagation v_2 de la houle si la profondeur vaut 4 m. D'après les informations fournies par le site web de l'Ifremer, quelle est sa période T_2 ? En déduire sa nouvelle longueur L_2 . Commenter.

Q21. L'entrée du port est limitée par deux digues séparées par un passage de largeur d . Comment choisir l'ouverture d pour que la houle soit fortement arrêtée par les digues et qu'aucun phénomène de diffraction ne soit observé ?

Données :

- L'intensité du champ de pesanteur terrestre est $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Pour des ondes « courtes » (en eau profonde), c'est-à-dire telles que la longueur d'onde λ est au moins dix fois plus faible que la profondeur h de l'océan, la vitesse de propagation est donnée par la relation $v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$.
- Pour des ondes « longues » (en eau peu profonde), c'est-à-dire telles que la longueur d'onde λ est au moins dix fois plus grande que la profondeur h de l'océan, la vitesse de propagation est donnée par la relation $v = \sqrt{gh}$.

Partie IV - Un brin en matière synthétique

Les violonistes frottent habituellement leurs cordes à l'aide de brins en matière naturelle issus de la crinière de chevaux. De nouveaux brins en matière synthétique sont de plus en plus utilisés par les musiciens.

On souhaite déterminer le diamètre du nouveau brin en matière synthétique à l'aide du phénomène de diffraction et le comparer au diamètre d'un brin prélevé sur la crinière de chevaux.

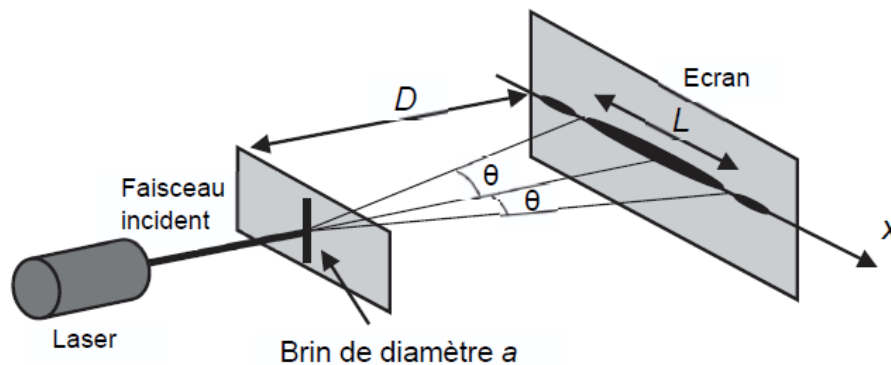


FIGURE 3 – Schéma du montage de diffraction du faisceau laser par un brin

Données :

- Longueur d'onde du laser : $\lambda = 650 \text{ nm}$, avec une incertitude-type $u(\lambda) = 10 \text{ nm}$;
- Distance entre le brin et l'écran $D = 1,7 \text{ m}$;
- La largeur de la tache centrale de la figure de diffraction est notée L , l'incertitude-type associée est $u(L) = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$.

Q22. Indiquer la couleur du laser utilisé dans cette expérience.

Q23. Rappeler la relation entre le demi-angle caractéristique de la diffraction θ en radian, la longueur d'onde du laser λ et la largeur a du brin.

L'angle θ étant petit, on peut se placer dans l'approximation des petits angles : $\tan(\theta) \simeq \sin(\theta) \simeq \theta$.

Q24. Par un raisonnement géométrique s'appuyant sur la figure 3, déterminer l'expression de θ en fonction de la distance D entre le brin et l'écran et de la largeur L de la tache centrale. En déduire que le diamètre a du brin en matière synthétique a pour expression $a = \frac{2D\lambda}{L}$.

Une simulation permet d'obtenir la distribution de l'intensité lumineuse sur l'écran où se forme la tache de diffraction :

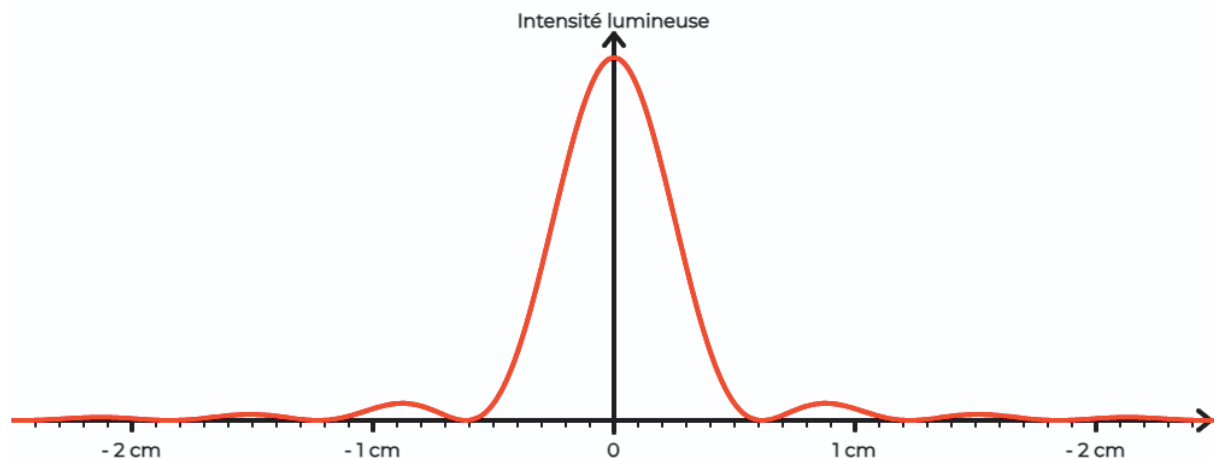


FIGURE 4 – Distribution de l'intensité lumineuse pour le brin en matière synthétique

Q25. À l'aide de la figure 4, déterminer la valeur du diamètre a du brin en matière synthétique.

Une bonne estimation de l'incertitude-type associée à a est donnée par la relation : $u(a) = a \frac{u(L)}{L}$.

Q26. Calculer l'incertitude-type $u(a)$ associée au diamètre du brin en matière synthétique.

Q27. En tenant compte de l'incertitude-type, vérifier si le résultat du diamètre du brin en matière synthétique obtenu expérimentalement est en accord avec celui du brin issu de la crinière du cheval, qui vaut $a_c = 1,7 \times 10^{-4}$ m.

Aide au calcul :

$$\frac{3,4 \times 6,5}{1,2} = 18,42.$$

FIN

