DS 2 : Ondes et optique

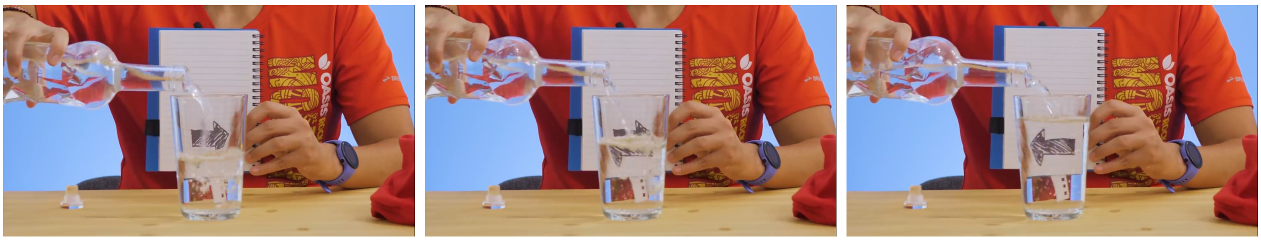
Les parties de cet examen sont *très largement* indépendantes. On pourra utiliser les résultats intermédiaires donnés dans le texte pour aborder les parties suivantes. Il sera accordé la plus grande importance au soin apporté à la copie ainsi qu'à la clarté des raisonnements. Toute application numérique ou commentaire physique est le bienvenu. Les résultats doivent être *encadrés* et tout résultat numérique doit être accompagné de son *unité*. La calculatrice est autorisée, tout objet connecté est interdit.

Exercice 1 : Petits problèmes entre amis

Deux questions sont posées dans cet exercice, deux problèmes indépendants, ouverts. On prendra soin de bien justifier les éléments de réponse apportés, la notation se faisant davantage sur le raisonnement que sur le résultat.

1. En 1587, un contrôleur des impôts convoie les fonds prélevés dans la campagne drômoise. Des caisses remplies d'or alourdissent son fourgon dont la masse est alors de l'ordre de 800 kg, contrôleur inclus. Les irrégularités de la chaussée ardéchoise occasionnent des oscillations du fourgon à la fréquence de 0,5 Hz environ. Attaqué de vive force par des brigands lyonnais, le contrôleur se trouve délesté de tout son or. Il poursuit son chemin, oscillant maintenant à une fréquence de l'ordre de 0,7 Hz. Estimer la masse d'or volée.

2. En septembre 2020, Viviane Lalande (Scilabus) publia une vidéo sur la plateforme YouTube intitulée, « L'effet t-shirt mouillé : plus sombre ou plus transparent ? ». Elle y présente certaines propriétés de l'interaction d'un liquide avec un tissu. L'expérience qui nous intéresse ici est celle visible sur les photographies ci-dessous, où un verre d'eau est rempli devant la caméra, celui-ci étant placé entre un cahier et la caméra. Sur le cahier est dessiné une flèche, qui s'inverse lors du remplissage du verre. Expliquer le phénomène observé.

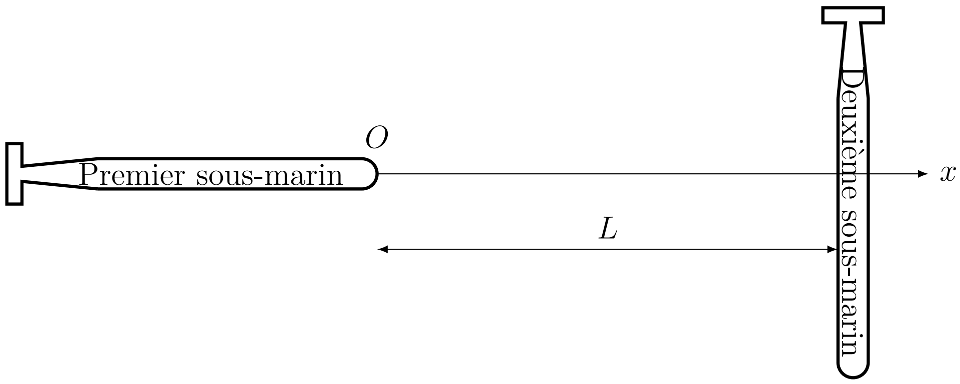


Exercice 2 : Sonar

Un sonar (SOund NAvigation and Ranging) est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur) ou aux sous-mariniers de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins, etc.) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.

On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 10 °C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{mer} = 1{,}50\,\mathrm{km \cdot s^{-1}}$.

L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise. On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin se trouve à distance L du premier, dans la configuration représentée ci-dessous.

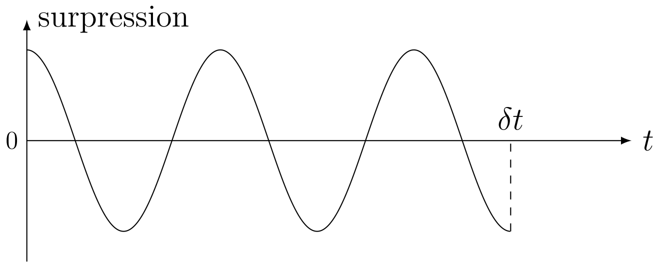


Les sous-marins, vus du dessus.

1. Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar.

2. L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t = 400\,\mathrm{ms}$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin.

À partir de l'instant $t = 0$, le sonar émet l'impulsion sonore pseudo-sinusoïdale représentée ci-dessous pendant une durée $\delta t = 500\,\mu\mathrm{s}$.



3. Déterminer, en justifiant, la fréquence f de l'onde sonore émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore. On la représente alors dans un système d'axe dont l'abscisse est la position x mesurée à partir de l'avant du sous-marin qui émet l'onde ultrasonore.

4. Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale δx de l'impulsion.

5. Représenter sur la copie l'impulsion sonore à l'instant $t = 12{,}0\,\text{ms}$ en fonction de x. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin.

6. Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox). Représenter sur la copie l'évolution du signal reçu par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion.

Exercice 3 : Clarinette

Une clarinette (dont tous les trous sont bouchés) est assimilée à un cylindre. Les ondes sonores $s(x,t)$ qui peuvent se propager dans la clarinette sont telle que l'amplitude de $s(0,t)$ est nulle (nœud de vibration) et l'amplitude de $s(L,t)$ maximale (ventre de vibration).

1. Donner l'expression d'une onde progressive sinusoïdale $s_+(x,t)$ se propageant vers les x croissants, de pulsation ω d'amplitude s_0 et de phase à l'origine nulle.

2. Donner l'expression d'une onde progressive sinusoïdale $s_-(x,t)$ se propageant vers les x décroissants de même amplitude, de même pulsation ω et de phase à l'origine φ. Cette onde provient de la réflexion de l'onde précédente au niveau d'une extrémité de la clarinette.

3. Établir l'expression de l'onde résultante $s(x,t)$ sous la forme d'un produit de deux cosinus.

4. Quelle est la nature de l'onde résultante ? Comment peut-on la qualifier ? Qu'est-ce qui la distingue d'une onde progressive ?

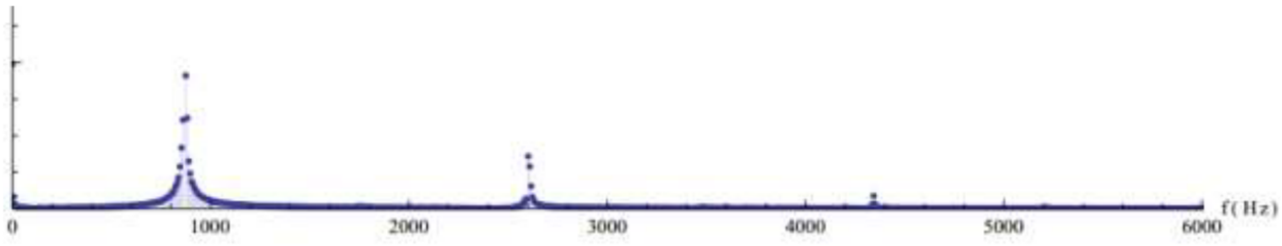
5. Donner les conditions aux limites en $x = 0$ et en $x = L$, c'est-à-dire $s(0,t)$ et $s(L,t)$.

6. À l'aide des conditions aux limites, établir littéralement les fréquences des ondes pouvant exister dans la clarinette. On introduira un entier n.

7. Donner l'écriture mathématique $s_n(x,t)$ du mode propre n en fonction de x, t, c, L et n.

8. Représenter les trois premiers modes propres.

9. Commenter le spectre du son produit par la clarinette et en déduire la longueur de la clarinette (plus exactement la longueur utile pour jouer cette note). On attend une étude un minimum quantitative.



Cet exercice est bien évidemment un modèle très grossier de la clarinette ! L'étude complète étant bien plus complexe.

Exercice 4 : Lunette astronomique

La lunette astronomique que l'on étudie est constituée de deux lentilles convergentes : un objectif $\mathcal{L}_1$ de focale $f'_1 = 1{,}20\,\mathrm{m}$ dont la monture a un rayon $R_1 = 6{,}0\,\mathrm{cm}$ et un oculaire $\mathcal{L}_2$ de focale $f'_2 = 3{,}0\,\mathrm{cm}$ avec une monture de rayon R_2. Les lentilles sont montées de façon à avoir un système afocal (l'image d'un objet à l'infini est à l'infini).

On notera $\overline{AB}$ l'objet observé, $\overline{A_1B_1}$ l'image intermédiaire (image de $\overline{AB}$ par $\mathcal{L}_1$) et $\overline{A_2B_2}$ l'image finale.

1. En raisonnant sur les différentes positions des objets et images successives, déterminer l'expression puis la valeur numérique de la distance d entre les deux lentilles.

2. Faire un schéma de la lunette et représenter la marche des rayons d'un faisceau parallèle à l'axe optique couvrant totalement l'objectif.

On considère un objet à l'infini de diamètre angulaire apparent est α. Le point A de l'objet est sur l'axe optique, le point B est le point le plus haut de l'objet, et le point C le point le plus bas.

3. Tracer sur un nouveau schéma le trajet d'au moins deux rayons qui proviennent de B (ils forment un angle $\alpha/2$) avec l'axe optique. On placera l'image intermédiaire (image de l'objet par l'objectif uniquement, qui constitue l'objet de l'oculaire). Placer alors sur le schéma l'angle $\alpha'/2$ correspondant à la moitié du diamètre angulaire de l'image à travers la lunette.

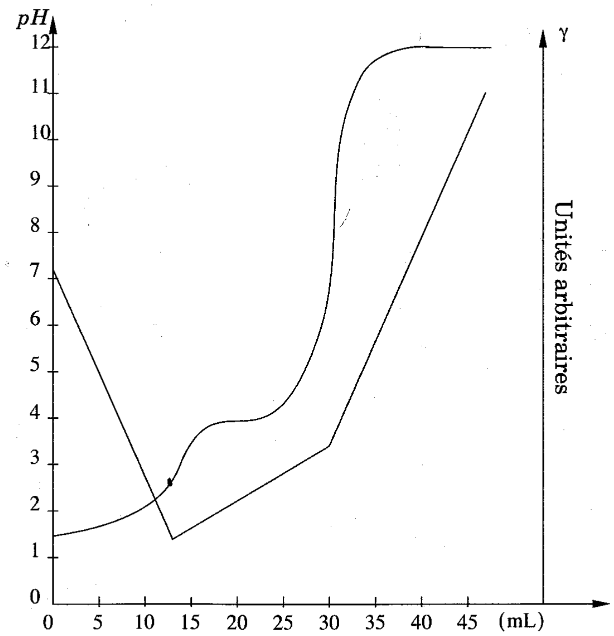
4. Toujours dans la configuration de la question précédente, exprimer puis calculer numériquement le grossissement $G = \alpha'/\alpha$ de la lunette. En déduire numériquement le diamètre angulaire apparent α' de l'image de la Lune par cette lunette ($\alpha = 31{,}5'$). On exprimera le résultat en degré, en se rappelant que $1' = 1/60°$.

5. Déterminer la position et le diamètre D du cercle oculaire, défini comme l'image de la monture de l'objectif par l'oculaire. On pourra s'aider d'un schéma.

6. On peut montrer que le cercle oculaire est l'endroit où le faisceau sortant de la lunette est le plus fin. Quel est l'intérêt de placer l'œil au niveau du cercle oculaire ? Quel doit être son diamètre maximal pour qu'il conserve tout son intérêt ?

Exercice 5 : Titrage d'un mélange d'acides par de la soude

L'effet de la dilution pourra être négligé dans les calculs.



1. À quelle(s) condition(s) sur les propriétés ioniques des produits et des réactifs peut-on suivre une réaction chimique par conductimétrie ?

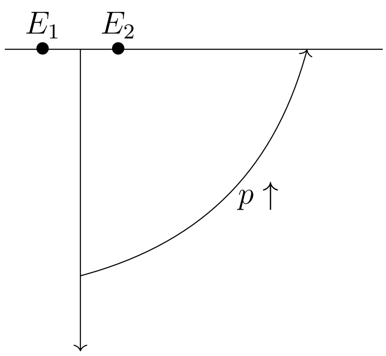
2. Un bécher contient 100 mL d'un mélange d'acide chlorhydrique et d'un acide faible HA. La burette contient une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $0{,}200\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$. Le titrage a été suivi à la fois par conductimétrie et par pH-métrie. Les courbes ci-dessus ont été obtenues. On note γ la conductivité.

2.a. Identifier, à partir de la courbe conductimétrique, trois zones distinctes lors du titrage de la solution. Justifier le signe des pentes des segments de droite. À quoi correspondent les ruptures de pente ? En déduire les réactions qui ont lieu au cours du titrage et leur ordre d'apparition.

2.b. Quelle est la méthode qui vous semble la plus précise pour déterminer les points d'équivalence ? Lorsque $V = 0\,\mathrm{mL}$, pH = 1,60. Quelle est la concentration de l'acide fort introduit dans le bécher ?

2.c. Quelle est la concentration de l'acide faible introduit dans le bécher ? Quelle est la valeur du pK_a de cet acide ?

Exercice 6 : Interférences et ondes mécaniques



On considère une expérience effectuée sur la cuve à ondes avec des points d'émission E_1 et E_2, séparés de a. On appelle ordre d'interférence le rapport $p = \delta/\lambda$.

1. Quelles sont les valeurs de δ et p sur la bissectrice du segment $[E_1; E_2]$? Si les vibrations sont émises en phase, quel type d'interférences observe-t-on en ces lieux ?

2. On se place sur la droite $(E_1; E_2)$ joignant les points source, à l'extérieur du segment $[E_1; E_2]$ et au-delà de E_2. On admet que l'onde émise par le point source E_1 n'est pas perturbée par son passage au voisinage de E_2. Que valent δ et p ? À quelle condition observe-t-on des interférences constructives en ces points ?

3. Lorsque le point M passe de la bissectrice du segment $[E_1; E_2]$ à l'axe (E_1E_2) en se déplaçant suivant l'arc de cercle représenté sur la figure ci-contre, l'ordre d'interférence p croit de manière régulière. En déduire l'expression du nombre de franges, correspondant à des interférences constructives, que l'on peut observer sur la cuve. On effectura l'application numérique pour $\lambda = 8\,\mathrm{mm}$ et $a = 4\,\mathrm{cm}$.

4. On considère maintenant qu'on place un « écran » sensible à la houle, parallèle à l'axe E_1E_2, « loin » des sources E_1 et E_2. Retrouver l'expression de l'interfrange. Pour l'application numérique, on considérera que la distance (E_1E_2)-écran est de $40\,\mathrm{cm}$.