

Devoir de Physique n°1

Durée : 3 heures
Calculatrice autorisée
9 pages

Exercice 1 : L'huile dans l'eau, ça fait des vagues

L'huile et l'eau sont deux liquides non miscibles. Lorsqu'on les verse l'un sur l'autre, et de n'importe quelle manière, on constate inexorablement que l'huile surnage sur l'eau. La masse volumique de l'huile est $\rho_H = 800 \text{ kg.m}^{-3}$ et la masse volumique de l'eau est $\rho_E = 1,00.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

Un élève réalise l'expérience suivante : à la date $t = 0 \text{ s}$, il lâche une goutte d'huile de volume $V = 0,50 \text{ mL}$, d'une hauteur $H = 1,0 \text{ m}$ au-dessus d'une cuve à ondes contenant de l'eau. On place une règle de 30 cm sur la surface de l'eau.

Lorsque la goutte est dans l'air, il considère que les frottements sont négligeables.

Masse volumique de l'air $\rho = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$.

1. Chute dans l'air

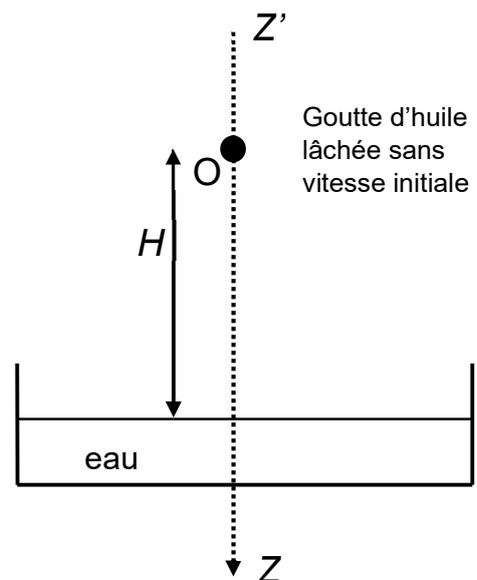
Q1. Faire le bilan des forces agissant sur la goutte d'huile en mouvement dans l'air dans les conditions fixées en introduction et calculer leurs valeurs.

On prendra $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Q2. Montrer que l'on peut négliger une force par rapport à l'autre et indiquer laquelle.

Q3. Sur l'axe $Z'Z$, on fait coïncider l'origine O avec la position de la goutte juste au moment du lâcher. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer la valeur de l'accélération de la goutte et établir l'équation horaire de son mouvement.

Q4. Utiliser cette équation horaire pour calculer la vitesse de la goutte d'huile lorsqu'elle frappe la surface de l'eau.

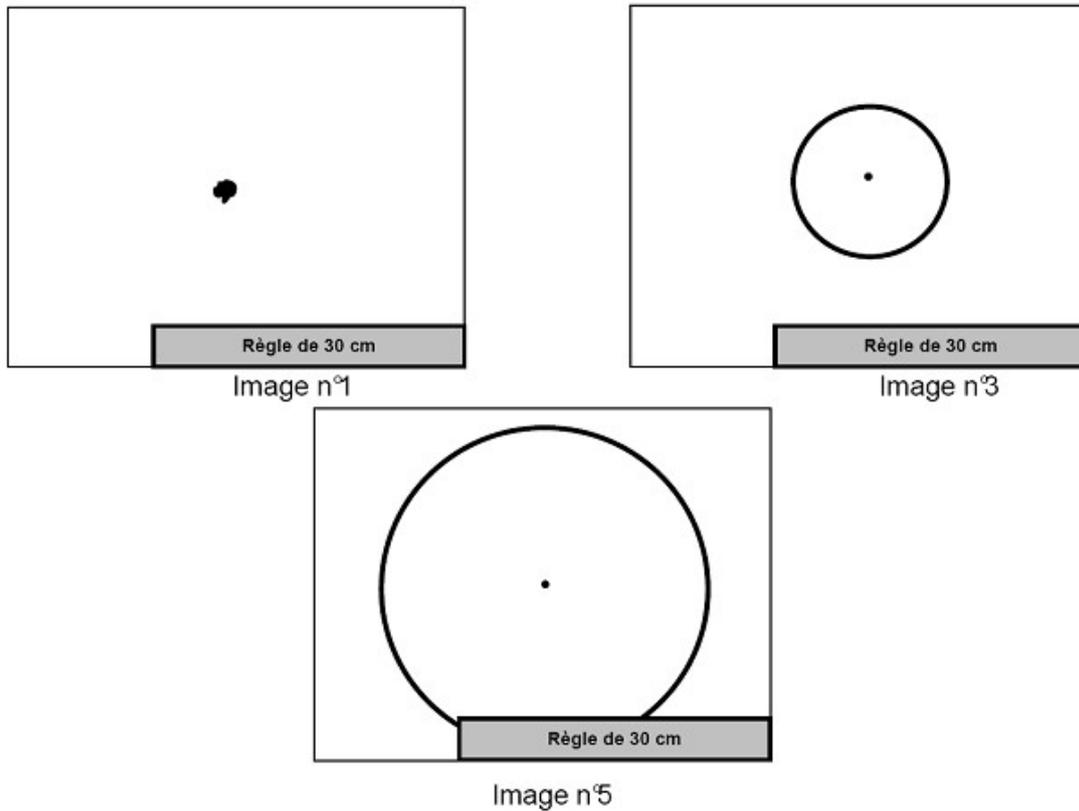


2. Des ondes à la surface de l'eau

Lorsque la goutte d'huile arrive dans l'eau, elle crée une déformation de la surface avant de s'étaler. Avec une caméra (webcam), on filme les ondes à la surface de l'eau. La caméra a enregistré le film à 10 images par seconde. On reproduit ci-dessous l'image n°1 réalisée à l'instant $t_0 = 0 \text{ s}$ correspondant au contact de la goutte d'huile avec l'eau.

Les troisième et cinquième images du film (image n°3 et image n°5) sont également, représentées ci-dessous.

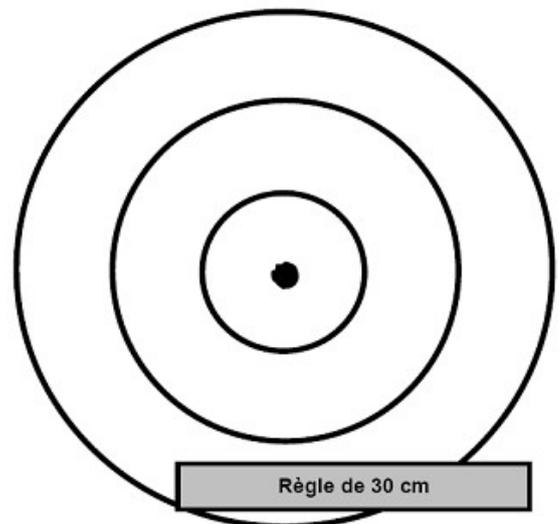
Document en vue de dessus. Le cercle noir représente le front d'onde.



Q5. À l'aide des données expérimentales, calculer la vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

3. Des ondes en continu

On fait maintenant tomber, à intervalles de temps réguliers à l'aide d'un dispositif approprié, les gouttes d'huile sur la cuve à onde. À un instant donné, la surface de la cuve présente l'aspect suivant :



Q6. Déterminer la distance entre les différents cercles noirs. Que représente-t-elle ?

Q7. En considérant que la vitesse de propagation des ondes est $v = 0,38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à la surface de l'eau, calculer la fréquence à laquelle les gouttes d'huile tombent à la surface de l'eau.

Exercice 2 : Enregistrement sonore en stéréophonie

La stéréophonie se réfère à un mode de reproduction sonore visant à reconstituer la répartition dans l'espace des sources d'origine.

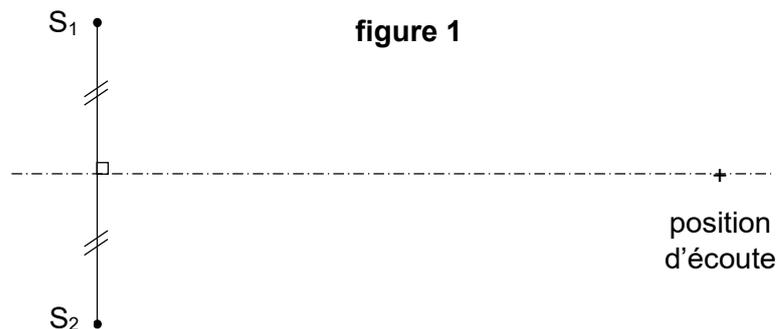
On crée la stéréo en utilisant plusieurs canaux audios indépendants reliés à au moins deux enceintes, de manière à reconstituer l'espace sonore voulu par l'artiste. Par exemple, un signal distribué en quantité égale sur deux enceintes en phase et de même sensibilité semblera provenir d'un point virtuel situé entre les enceintes.

Le but de cet exercice est d'étudier l'altération de l'enregistrement en stéréophonie dans certaines conditions d'écoute.

Données :

- célérité du son dans l'air dans les conditions de l'exercice : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

On considère deux enceintes acoustiques identiques dans un espace libre, c'est-à-dire sans parois pouvant créer une réverbération par réflexion. Chaque enceinte acoustique est modélisée par une source sonore ponctuelle (S_1 et S_2) pouvant émettre dans toutes les directions tout le spectre audible entre 20 Hz et 20 000 Hz avec une intensité sonore constante.

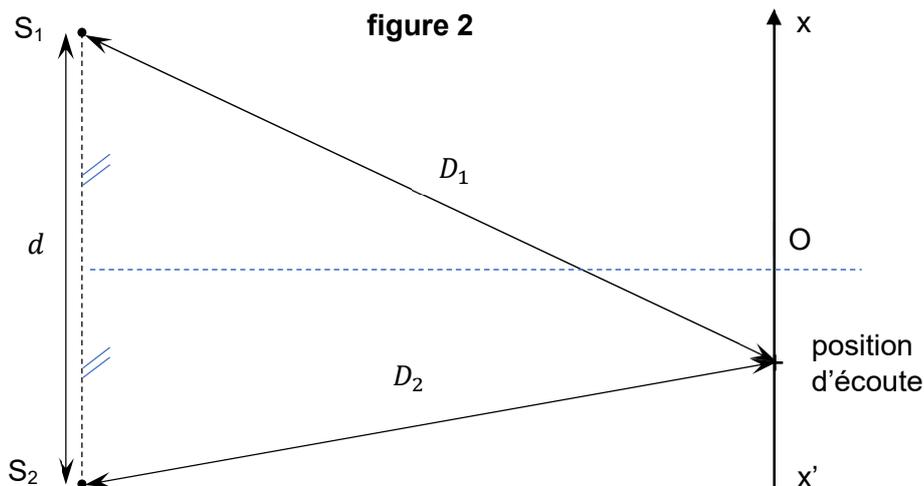


La position d'écoute est située sur la médiatrice du segment formé par les deux sources S_1 et S_2 (voir la **figure 1** ci-dessus).

Q8. On s'intéresse au phénomène d'interférences entre les ondes issues des deux sources supposées identiques et émettant des signaux de même fréquence et en phase. Préciser s'il y a interférences constructives ou destructives dans cette position d'écoute. Justifier.

Q9. Donner la condition nécessaire pour que la position d'écoute soit un lieu d'interférences destructives.

La position d'écoute est maintenant telle que $D_1 = 3,34$ m, $D_2 = 3,00$ m et $d = 2,00$ m comme indiquée sur la **figure 2** ci-dessous.



Q10. Exprimer et calculer la longueur d'onde λ_1 la plus grande pour laquelle les interférences sont destructives.

Q11. Déterminer les quatre premières fréquences pour lesquelles le niveau d'intensité sonore perçu est diminué par le phénomène d'interférence. On introduira au besoin un entier k .

Q12. Un auditeur se déplace sur l'axe $(x'x)$ représenté sur la figure 2 de la position d'écoute précédente vers le point O . Décrire qualitativement comment évoluent les fréquences perturbées par le phénomène d'interférence. Justifier.

Q13. Expliquer avec des considérations physiques issues des questions précédentes en quoi l'écoute d'une séquence audio en stéréophonie peut être altérée.

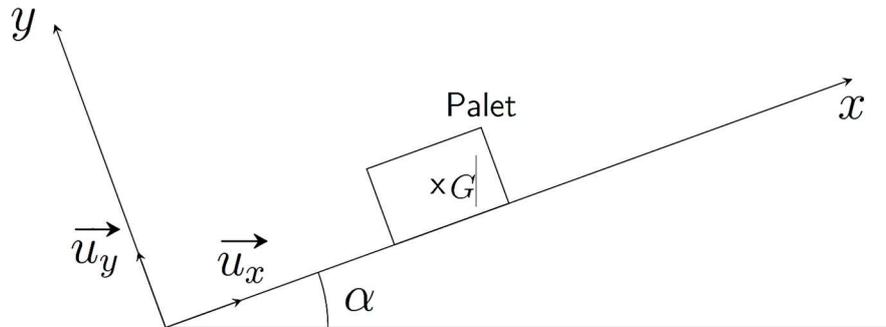
Exercice 3 : Mouvement du palet sur la glace

On s'intéresse dans cet exercice à la pratique du hockey sur glace. L'objectif de chaque équipe est de marquer des buts en envoyant un disque de caoutchouc, appelé palet, à l'intérieur du but adverse situé à une extrémité de la patinoire.

Le palet est fabriqué en caoutchouc avec une masse moyenne de 160 grammes. Sur la glace, le palet peut atteindre des vitesses exceptionnelles du fait de la puissance des joueurs. En Russie, lors des épreuves d'habileté de la Ligue continentale de hockey, le défenseur Aleksandr Riazantsev a établi un nouveau record du monde en janvier 2017 avec une frappe à $183,67 \text{ km.h}^{-1}$ soit environ 50 m.s^{-1} .

Au cours d'une séance d'entraînement à ces épreuves d'habileté, un joueur de hockey propulse le palet, à l'aide de sa crosse, sur un plan recouvert de glace et incliné d'un angle $\alpha = 20^\circ$ par rapport à l'horizontale.

La position du centre d'inertie du palet est repérée sur un axe (Ox) de même direction que la ligne de plus grande pente et orienté vers le haut. On note (Oy) l'axe perpendiculaire au plan incliné et orienté vers le haut. Les vecteurs \vec{u}_x et \vec{u}_y sont des vecteurs unitaires dirigés respectivement selon les axes (Ox) et (Oy) . Le centre d'inertie du palet est noté G (figure ci-dessous). À l'instant initial, le palet se trouve à l'origine du repère. L'intensité du champ de pesanteur terrestre g est estimée à 10 m.s^{-2} .



Dans une première phase (propulsion du palet par la crosse sur le plan incliné), on considère les frottements comme négligeables. La palette de la crosse est en contact avec le palet.

- Q14.** Choisir un référentiel afin d'étudier le mouvement du palet durant la propulsion et le préciser. Peut-il être considéré comme galiléen dans le cadre de cet entraînement ?
- Q15.** Établir un bilan des forces qui s'exercent sur le palet durant la propulsion et les représenter sur un schéma cohérent sans souci d'échelle.
- Q16.** Exprimer l'intensité de la force de propulsion F exercée par le joueur sur le palet en fonction de l'accélération a du palet, de l'angle d'inclinaison α du plan, de la masse m du palet et de l'intensité du champ de pesanteur g .
- Q17.** Sachant que la propulsion due au joueur de hockey dure 0,5 seconde et que le mouvement est uniformément accéléré, quelle doit être l'intensité de la force de propulsion pour que le joueur égale le record du monde de vitesse sur plan incliné ?

Dans une deuxième phase, le palet n'est plus en contact avec la crosse et est en mouvement de translation rectiligne vers le haut du plan incliné. On considère les frottements comme négligeables.

- Q18.** Sur un schéma, représenter les forces qui s'exercent sur le palet.
- Q19.** Déterminer l'expression de $x(t)$, déplacement du palet selon l'axe (Ox) .
- Q20.** Montrer que la distance d parcourue par le palet avant de s'arrêter est donnée par la relation :

$$d = \frac{v_0^2}{2g \cdot \sin(\alpha)}$$

- Q21.** Par une analyse dimensionnelle, montrer que la relation précédente est homogène.

On cherche à établir la distance qui a été nécessaire pour que le palet s'arrête lors de l'établissement du record du monde sur une patinoire de surface horizontale. Il faut tenir compte des frottements.

Lois de Coulomb

On appelle action de contact l'action mécanique qu'exercent l'un sur l'autre deux solides dont les surfaces sont en contact.

Lorsque les deux solides en contact glissent l'un sur l'autre on a :

$$\|\vec{T}\| = f_d \|\vec{N}\|$$

où f_d est le coefficient de frottement dynamique qui dépend de la nature et de l'état des surface en contact.

Valeurs usuelles : $f_d(\text{bois sur bois}) = 0,40$, $f_d(\text{caoutchouc sur glace}) = 0,050$,
 $f_d(\text{acier sur glace}) = 0,020$

Q22. Déterminer la distance qui a été nécessaire pour que le palet s'arrête lors de l'établissement du record du monde sur une patinoire de surface horizontale. Détailler la démarche.

Exercice 4 : Les ondes sonores

Membre d'un groupe de rock et très intéressé par la nature et la propagation du son, Julien réalise les observations suivantes :

- *Observation 1* : Aucun signal sonore ne nous parvient du Soleil alors qu'il s'y déroule en permanence de gigantesques explosions.
- *Observation 2* : Une bougie est placée devant un haut-parleur qui émet un son très grave. On constate que la flamme se rapproche et s'éloigne alternativement de la membrane du haut-parleur mais qu'elle n'oscille pas dans la direction perpendiculaire.

1. Préliminaires

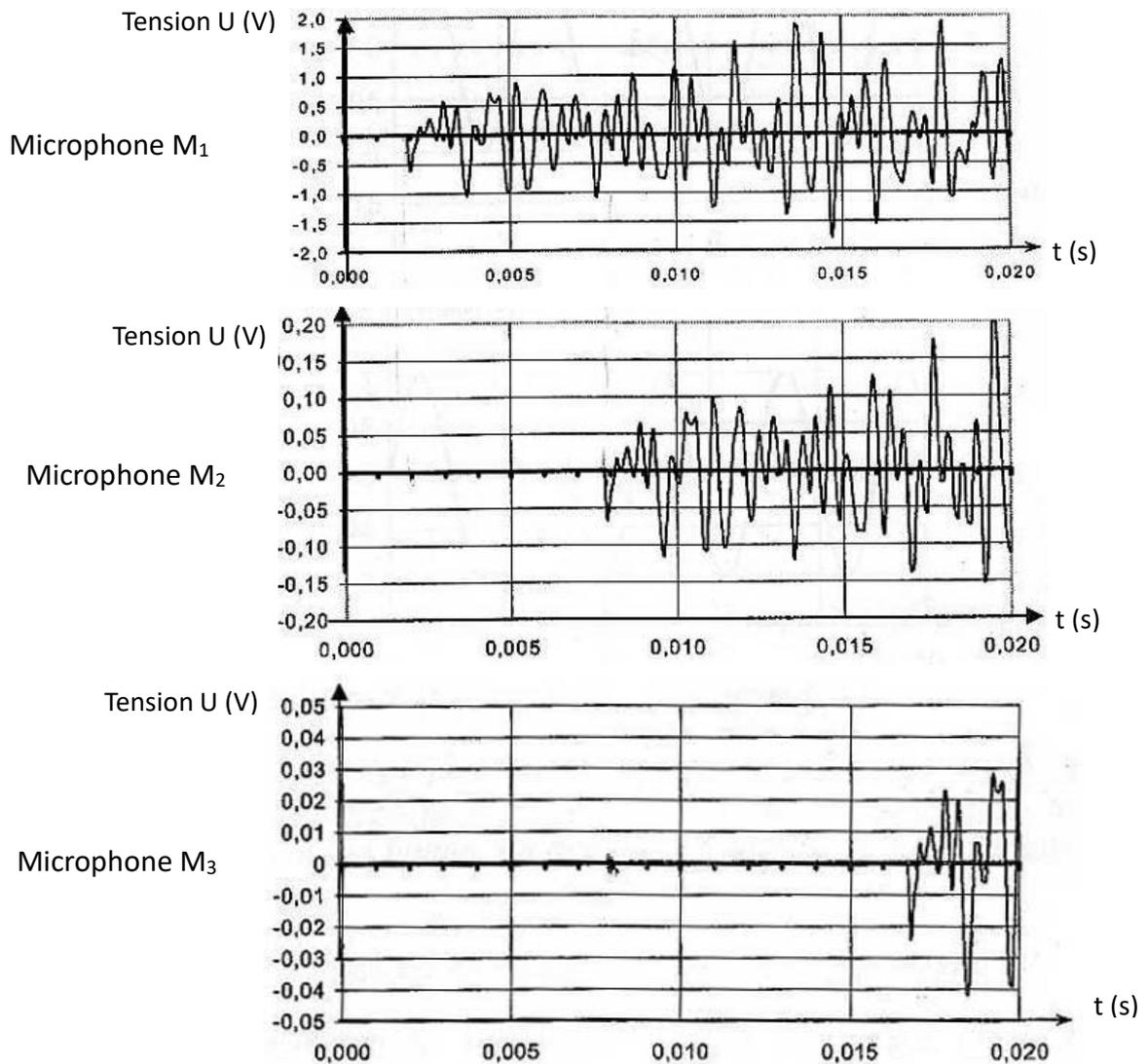
Q23. Définir de la manière la plus complète possible une onde mécanique progressive.

Q24. Compléter les cases blanches du tableau de l'**annexe à rendre avec la copie** avec les expressions suivantes : Onde sonore, onde le long d'une corde, onde lors de la compression-dilatation d'un ressort, onde à la surface de l'eau.

2. Célérité de l'onde sonore : première méthode.

Trois microphones M_1 , M_2 et M_3 sont alignés de telle manière que les distances M_1M_2 et M_2M_3 valent respectivement 2,00 m et 3,00 m. Les signaux électriques correspondant aux sons reçus par les microphones sont enregistrés grâce à un ordinateur. Julien donne un coup de cymbale devant le premier micro M_1 puis lance immédiatement l'enregistrement. La température de la pièce est de 18°C.

Les courbes obtenues sont représentées ci-après.



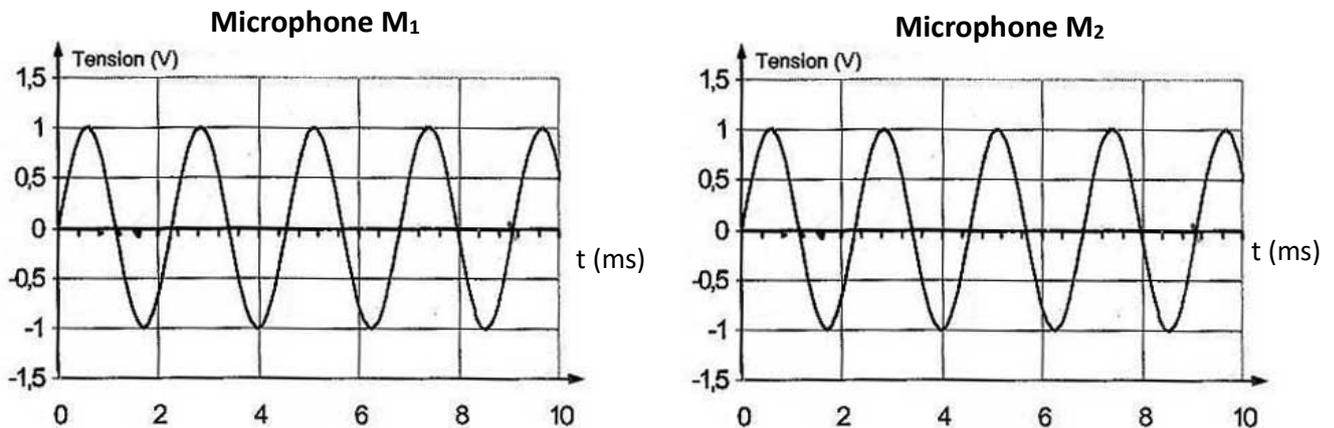
Q25. Comment peut-on déterminer la célérité de l'onde sonore à l'aide des courbes obtenues ?

Q26. Effectuer le calcul de la célérité de l'onde sonore pour la distance M_1M_2 puis pour la distance M_2M_3 .

Q27. Les résultats obtenus sont-ils cohérents ?

3. Célérité de l'onde : deuxième méthode

Julien dispose maintenant les deux microphones M_1 et M_2 à la même distance d d'un diapason. Il obtient les courbes représentées ci-dessous. On remarque que les signaux sont en phase.



Q28. Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Julien éloigne le microphone M_2 peu à peu jusqu'à ce que les courbes soient de nouveau en phase. Il réitère l'opération jusqu'à compter cinq positions pour lesquelles les courbes sont à nouveau en phase. La distance D entre les deux microphones est alors égale à 3,86 m.

Q29. Pourquoi compte-t-on plusieurs retours de phase plutôt qu'un seul ?

Q30. Définir la longueur d'onde. Dédire sa valeur numérique de l'expérience précédente.

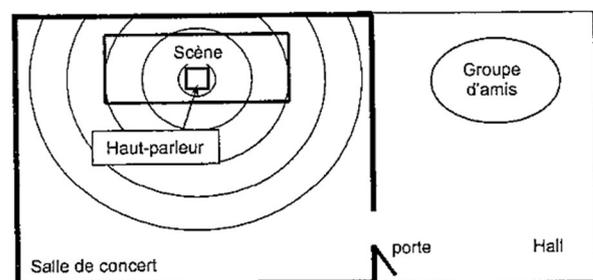
Q31. Calculer alors la célérité de l'onde.

Q32. D'après les résultats expérimentaux obtenus aux questions **Q31** et **Q26**, le milieu de propagation des ondes sonores est-il dispersif ?

4. Autre propriété des ondes sonores

Lors d'un concert donné par Julien dans une salle, des amis arrivés un peu retard s'étonnent d'entendre de la musique alors qu'ils sont encore dans le hall et donc séparés de la scène par un mur très bien isolé phoniquement.

Ils remarquent cependant que la porte, d'une largeur de 1,00 m, est ouverte. La situation est représentée sur le schéma ci-dessous.



Q33. Quel phénomène physique permet d'expliquer l'observation faite par les amis de Julien ?

Q34. Les amis de Julien ont-ils entendu préférentiellement dans le hall des sons graves ($f = 100$ Hz) ou des sons très aigus ($f = 10000$ Hz) ? Justifier la réponse.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Nom :

Prénom :

Questions Q24 :

	Ondes à une dimension	Ondes à deux dimensions	Ondes à trois dimensions
Ondes longitudinales			
Ondes transversales			

Tableau de suivi des compétences (donné ici à titre indicatif)

Compétences		Non maîtrisé	A améliorer	En bonne voie	Satisfaisant
Méthodes et compétences générales	Extraire de l'information pertinente de l'énoncé.				
	Connaissance du cours.				
	Mise en forme : rédaction, présentation, orthographe.				
	Notations correctes, complètes et fidèles à l'énoncé.				
	Rigueur du vocabulaire utilisé.				
	Enchaînement logique, justification.				
	Sens physique des grandeurs utilisées.				
	Lecture/compréhension des consignes.				
Calcul et présentation d'un résultat	Calcul littéral.				
	Calcul numérique.				
	Chiffres significatifs				
	Unités.				
Méthode spécifiques	Méthode pour résoudre un exercice de mécanique				
	Méthode pour déterminer de la nature des interférences				