

Les ondes mécaniques progressives

Activité 1 : un même modèle pour différentes situations

En physique, on décrit grâce à un même modèle diverses situations comme par exemple :

- [Un long ressort qu'on comprime en une de ses extrémités](#) ;
- Une corde qu'on soulève en une de ses extrémités ; utiliser le simulateur "onde corde" de la page de cours
- [Des gouttes d'eau qui tombent sur une flaque](#) ;
- [Une échelle de perroquet qu'on écarte en une de ses extrémités](#).

1. Après avoir regardé chacune des situations, indiquer par écrit les propriétés qui semblent communes à ces différentes situations.
2. Proposer d'autres situations ou d'autres phénomènes qui semblent mettre en jeu des ondes. Justifier si possible.
3. Pour chacune des quatre situations initiales et pour les expériences proposées, indiquer le milieu de propagation de l'onde mécanique.

Lire le § II. du modèle.

4. Indiquer pour chacune des quatre situations initiales si l'onde est transversale ou longitudinale.
5. Les ondes diffèrent également par leur vitesse de propagation, appelée *célérité*.

Lire le § III.1 du modèle.

6. Proposer une méthode pour mesurer la célérité de l'onde dans le cas de l'échelle de perroquet ou le ressort qu'on comprime.

Activité 2 : quelques propriétés des ondes

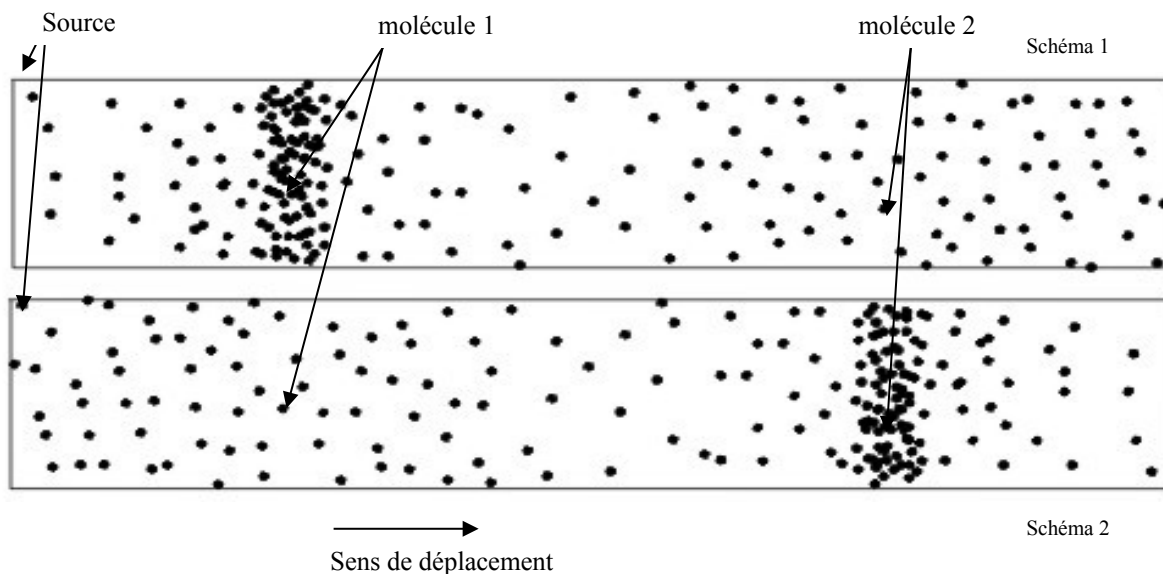
Lire les quatre propriétés des ondes mécaniques progressives données dans le modèle de l'onde (§ IV).

7. Dans les expériences de la corde et de la goutte d'eau, la propriété P_1 est-elle vérifiée ?
8. Justifier le fait que l'on puisse parler d'onde mécanique progressive à une dimension dans le cas de la corde.
9. Donner un exemple de situation dans laquelle on peut parler d'onde mécanique progressive à deux dimensions, et une autre pour trois dimensions.

Contrairement aux ondes se propageant le long d'une corde, les ondes sonores sont difficiles à visualiser directement. Pour simplifier On propose donc d'utiliser une représentation microscopique de la propagation du son dans un tube d'air, selon une direction Ox . Les molécules de l'air sont représentées par des points tous identiques.

Lancer l'application « onde sonore plane.swf » sur la page du cours et lancer une impulsion simple en appuyant sur GO

Les deux schémas ci-dessous symbolisent, à l'échelle $\frac{1}{2}$, l'état de l'air dans le tube à deux dates différentes :



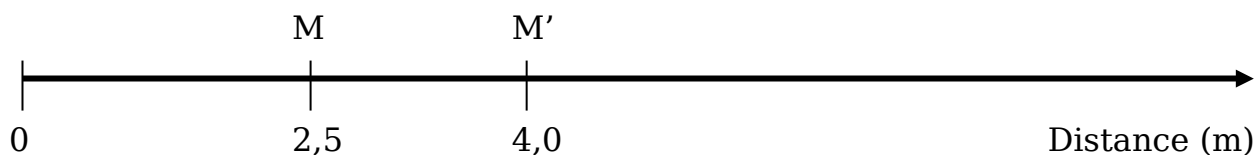
Sur les deux représentations, on a repéré la position de deux molécules (molécule 1 et molécule 2) à deux dates différentes (date t_1 pour le schéma 1, date t_2 pour le schéma 2).

10. La propriété P_2 est-elle vérifiée ?
11. L'onde sonore ainsi représentée est-elle longitudinale ou transversale ? Justifier.
12. Sachant qu'il s'est écoulé 0,31 ms entre les deux représentations, calculer la célérité v de cette onde sonore.
13. Proposer un dispositif qui permettrait de vérifier la propriété P_2 dans le cas de l'expérience de la goutte d'eau.

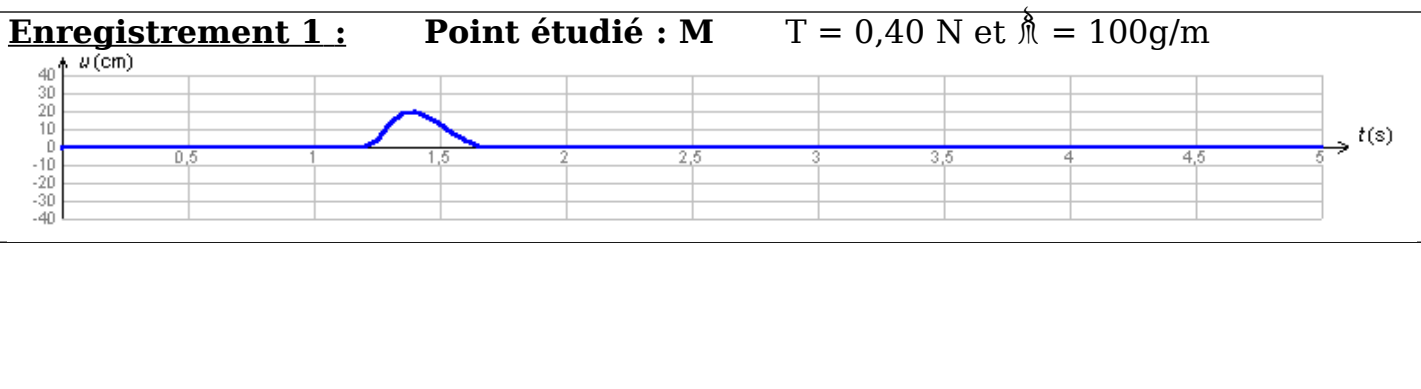
On s'intéresse maintenant à une corde, de longueur $L = 10$ m, le long de laquelle se propage une perturbation (une extrémité de la corde est amortissante : on considère qu'il n'y a pas de signal réfléchi).

Le chronomètre est déclenché quand la perturbation est générée en O.

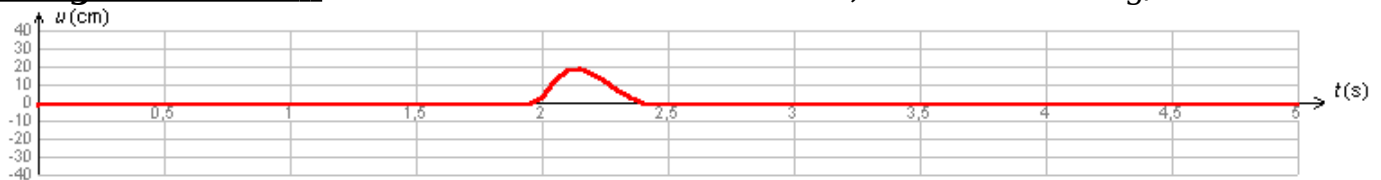
On repère deux points M et M' de la corde par rapport à l'origine O et on enregistre l'élongation, notée u , des points M et M' en fonction du temps.



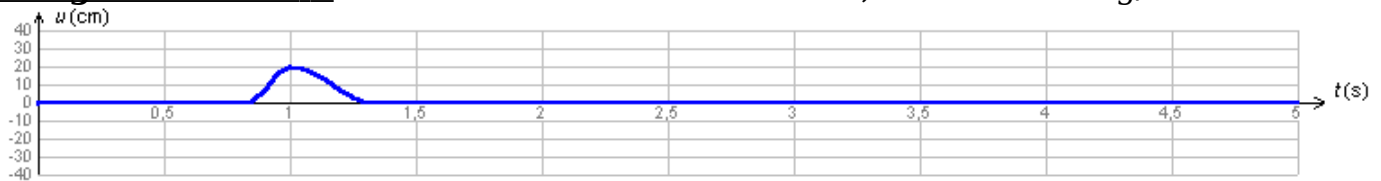
On obtient les enregistrements suivants qui représentent la variation de l'élongation u (en cm) du point (M ou M') de la corde en fonction du temps :



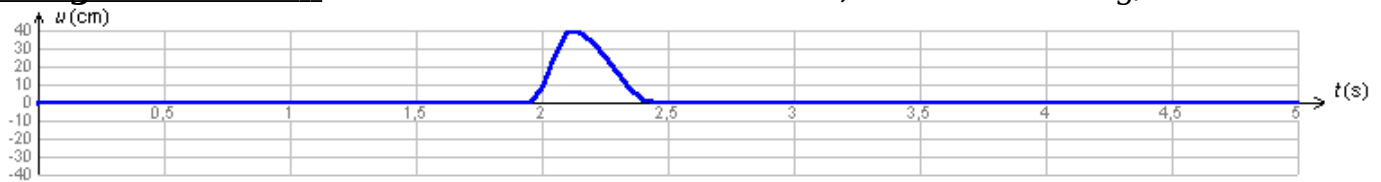
Enregistrement 2 : Point étudié : M' T = 0,40 N et $\mu = 100\text{g/m}$



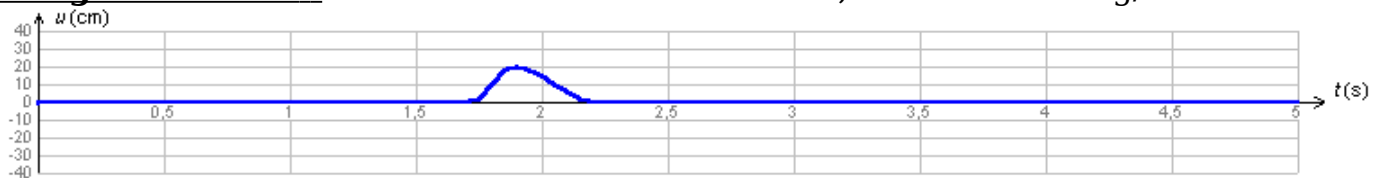
Enregistrement 3 : Point étudié : M T = 0,40 N et $\mu = 50\text{g/m}$



Enregistrement 4 : Point étudié : M' T = 0,40 N et $\mu = 100\text{g/m}$



Enregistrement 5 : Point étudié : M T = 0,20 N et $\mu = 100\text{g/m}$



La position du sommet de la perturbation correspond au point considéré (M ou M'). Sur chaque enregistrement sont indiqués la tension T de la corde, sa masse linéique μ et le point étudié.

On appelle t, l'instant pour lequel la perturbation est en M et t', l'instant pour lequel la perturbation est en M'.

14. Établir la relation entre t, t', MM' et v la célérité de l'onde.

15. On dit que la perturbation arrive en M' avec un retard $\tau = t' - t$ par rapport à son passage en M. Donner l'expression de τ en fonction de MM' et v. **Compléter le modèle (§ III.2).**

16. Calculer la célérité v de l'onde étudiée, à partir des enregistrements 1 et 2.

Pour étudier les facteurs d'influences sur la célérité de l'onde, on fait varier tour à tour les paramètres élongation (u), tension de la corde (T) et masse linéique (μ) de la corde. Répondre aux questions a, b et c, à l'aide des enregistrements 1 à 5, en précisant le numéro du ou des enregistrement(s) utilisé(s) :

17. Déterminer, en justifiant, l'influence de la tension de la corde sur la célérité.

18. Déterminer, en justifiant, l'influence de la masse linéique de la corde sur la célérité.

19. Déterminer, en justifiant, l'influence de l'élongation de la corde sur la célérité.

20. Parmi les expressions suivantes de la célérité de l'onde, préciser, en justifiant, celle qui est correcte :

$$A : v = \sqrt{\frac{T \cdot u}{\mu}} \quad B : v = \sqrt{\frac{\mu}{T}} \quad C : v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

D'après les résultats précédents, la propriété P₃ est-elle vérifiée ?

21. En choisissant l'exemple qui paraît le plus approprié (parmi les quatre initiaux), proposer une expérience qui permette d'illustrer la propriété P₄.

Activité 3 : mesure de la célérité d'une onde, cas des ultrasons

Les ondes ultrasonores sont des ondes sonores inaudibles. Elles ont les mêmes propriétés que les ondes sonores.

On dispose d'un émetteur de salve ultrasonores qui est une sorte de haut-parleur qui envoie une série d'impulsions, et de deux récepteurs R1 et R2 qui sont une sorte de microphones à ultrasons.

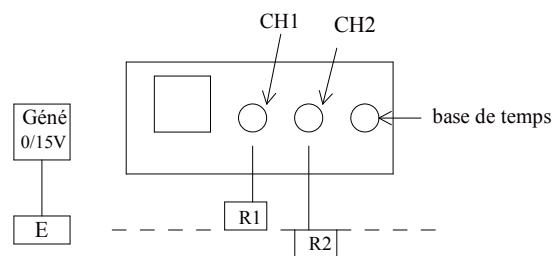
L'oscilloscope est utilisé de manière « classique », c'est à dire que le fonctionnement « mémoire » est déconnecté .

On se propose de fixer la durée de parcours de la perturbation et de mesurer une distance. Pour cela on utilise l'émetteur en mode « salve courte ».

24. Comment peut-on mesurer à l'oscilloscope la durée de parcours de la perturbation entre R1 et R2 ?

Déplacer R2 le long du support en bois jusqu'à ce que la durée, mesurée sur l'écran de l'oscilloscope, entre le début de la réception de la salve par R1 et le début de la réception de la salve par R2 soit de 10 μ s.

25. Mesurer d. Calculer la célérité de l'onde ultrasonore et comparer avec le résultat théorique de 340 m/s.



Activité 4 : Principe du sonar

Radars et sonars fonctionnent sur le même principe : un émetteur d'impulsions envoie des salves* d'ondes qui, après réflexion sur un obstacle, reviennent et sont détectées par un récepteur. On en déduit la position de l'obstacle.

Protocole

Connecter l'émetteur-récepteur d'ultrasons à la carte Arduino selon les indications du professeur.

Fixer l'émetteur-récepteur d'ultrasons face à un écran mobile et positionner un mètre-ruban permettant de mesurer la distance entre la sortie de l'émetteur-récepteur et l'écran.

Pour dix positions de l'écran, noter dans un tableau la distance entre la sortie de l'émetteur-récepteur d'ultrasons et l'écran :

- mesurée à l'aide du mètre-ruban (notée dm);
- obtenue à l'aide du sonar (notée ds).

Tracer d, en fonction de dm et tracer la droite modèle.

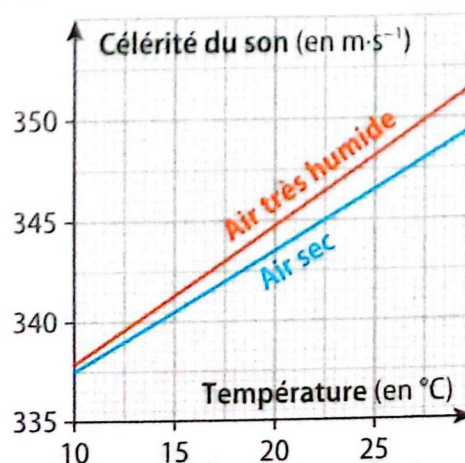
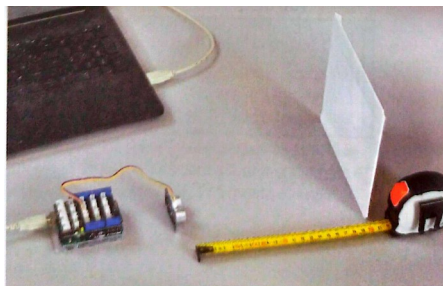
Matériel

Carte Arduino Uno reliée à un ordinateur muni du logiciel, adapté, Émetteur-récepteur d'ultrasons, Mètre ruban, Écran dur et plan.

Vocabulaire

Salve : paquet d'ondes de courte durée, émis à intervalles égaux de temps.

Célérité du son dans l'air sec et dans l'air très humide :



1. Le programme fourni commande l'envoi de salves d'ultrasons et la mesure de la durée τ que met le son pour parcourir un aller et retour de l'émetteur-récepteur jusqu'à l'écran.

a. Déterminer la célérité v du son adaptée aux conditions de l'expérience (graphe) puis l'indiquer dans le programme.

b. Exprimer la distance d d'un aller et retour du son entre l'émetteur-récepteur d'ultrasons et l'écran en fonction de v et t . Compléter la ligne du programme calculant la distance entre la sortie de l'émetteur-récepteur et l'écran.

2. Mettre en place le sonar (protocole), puis téléverser le programme sur la carte et réaliser les mesures de réglage du sonar. Déterminer graphiquement le coefficient directeur et l'ordonnée à l'origine de la droite modèle.

3.

a. Expliquer comment modifier le programme de manière à tenir compte des corrections déterminées par la droite-modèle.

b. Le modifier après accord du professeur, le téléverser et vérifier l'adéquation entre d_s et d_m . Estimer les incertitudes associées aux mesures de d_s et d_m .

c. Déterminer la plage de valeurs de bon fonctionnement du sonar.

Les ondes mécaniques progressives - modèle

I. Définition

On appelle **onde mécanique progressive**, le phénomène de **propagation d'une perturbation** dans un milieu matériel **sans transport de matière** (on dit que la perturbation se transmet "de proche en proche").

II. Types d'ondes

En physique, on distingue deux types d'ondes :

- les **ondes longitudinales** : la perturbation se fait dans la même direction que la propagation de l'onde
- les **ondes transversales** : la perturbation se fait dans une direction perpendiculaire à la direction de la propagation de l'onde.

III. Célérité et retard

1. Définition de la célérité

La célérité de l'onde est la valeur, en m.s^{-1} , de la vitesse à laquelle se déplace la perturbation.

La célérité v d'une onde progressive dans un milieu de dimension 1 est égale au quotient de la distance séparant deux points du milieu par la durée qui sépare les dates de passage de l'onde en ces points :

$$v =$$

2. Définition du retard

Un point M subit une perturbation à la date t . A la date t' , un point M' reproduit la perturbation du point M avec un retard :

$$\tau =$$

Relation entre le retard τ et la célérité v :

IV. Propriétés générales des ondes mécaniques progressives :

- Une onde peut se propager, à partir de sa source, dans toutes les directions possibles.
- La perturbation se transmet de proche en proche ; il y a transfert d'énergie mais sans transport de matière.
- La célérité d'une onde est une propriété propre au milieu.
- Deux ondes peuvent se croiser sans se perturber. En chaque point du milieu de propagation, la perturbation obtenue est la somme des perturbations qui ont atteint ce point.