

# Ondes mécaniques progressives

## Rappels de cours

### I. Introduction

Une onde mécanique progressive est une perturbation qui se propage de proche en proche dans un milieu matériel sans transport de matière.

Une onde est :

- transversale lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue perpendiculairement à la direction de propagation
- longitudinale lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue dans la même direction que celle de la propagation.

### II. Propriétés générales

**Milieu de propagation :** Dans les milieux matériels, des particules s'attirent ou se repoussent comme liées par de petits ressorts. Ces interactions signifient que tout déplacement d'une particule entraîne le déplacement de ses voisines. On parlera donc d'élasticité pour les solides et de compressibilité pour les fluides.

**Direction de propagation :** A partir d'une source, une onde se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes. On parlera donc d'ondes à une, deux ou trois dimensions.

**Front d'onde :** ensemble des points atteints par l'onde à la date considérée.

**Transfert d'énergie sans transport de matière.**

**Célérité de l'onde :** c'est la vitesse de propagation de l'onde. Elle constitue une propriété du milieu de propagation, constante dans un milieu donné dans des conditions données.

### III. Onde progressive à une dimension

Une onde se propage à la célérité finie  $v$  le long d'une corde. Elle atteint le point  $M$  à la date  $t$  et le point  $M'$  à la date ultérieure  $t'$ . Sans amortissement, le point  $M'$  subit la même perturbation que le point  $M$  avec un certain retard  $\tau$ .

Ainsi :

$$v = \frac{MM'}{\tau} \quad \text{soit } \tau = \frac{MM'}{v}$$

Avec  $v$  en mètre par seconde ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $d$  en mètre (m),  $\Delta t$  en seconde (s).

## Exercices de base et d'oral

### Exercice 1 : perturbation sur une corde

Au cours d'une manipulation de cours, un élève crée une perturbation qui se propage le long d'une corde élastique. La scène est filmée et un chronomètre est déclenché lorsque la perturbation quitte la main de l'élève repéré par le point S sur la corde. A l'aide du logiciel qui permet d'analyser la vidéo obtenue on isole une image reproduite ci-dessous à l'instant  $t_1 = 3$  s. *Cet exercice peut-être résolu sans calculatrice.*



1. L'onde est-elle transversale ou longitudinale ? L'onde transporte-t-elle de la matière ?
2. Représentez par un point A sur la corde, le front d'onde.
3. Déterminer la célérité de l'onde le long de la corde.
4. Quel va être le mouvement du point D ? quel est la durée de ce mouvement ?
5. Où se trouve les point A, B et C à la date  $t' = 4$  s ? *Vous vous aiderez d'un schéma pour répondre à la question.*
6. Considérons l'extrémité de la corde située au point noté F à 6,0 m de l'élève. Avec quel retard par rapport au point A, le point F commence-t-il à bouger ?

### Exercice 2 : Séisme d'après sujet bac Afrique 2003

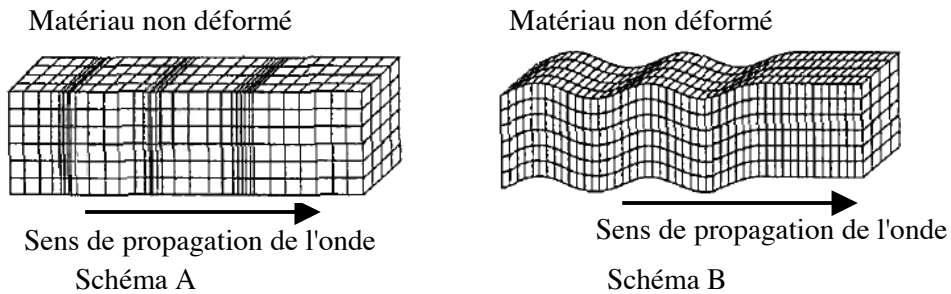
Lors d'un séisme, la Terre est mise en mouvement par des ondes de différentes natures, qui occasionnent des secousses plus ou moins violentes et destructrices en surface. On distingue :

- les ondes P, les plus rapides, se propageant dans les solides et les liquides.
- les ondes S, moins rapides, ne se propageant que dans les solides.

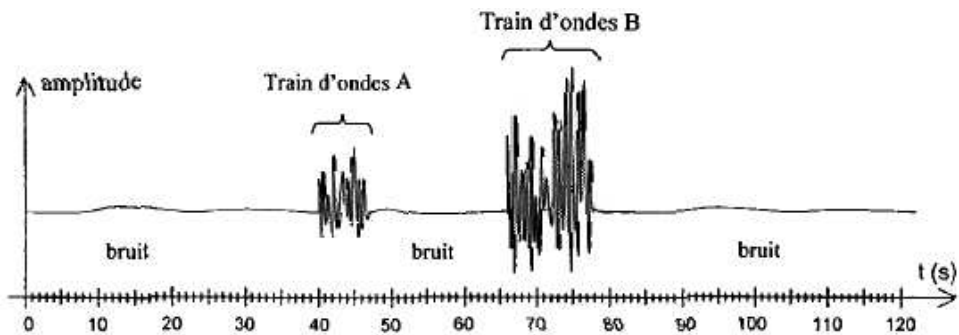
L'enregistrement de ces ondes par des sismographes à la surface de la Terre permet de déterminer l'épicentre du séisme (lieu de naissance de la perturbation). Les schémas A et B modélisent la progression des ondes sismiques dans une couche terrestre.

1. Les ondes P, appelées aussi ondes de compression, sont des ondes longitudinales. Les ondes S, appelées aussi ondes de cisaillement, sont des ondes transversales.
  - a. Définir une onde transversale.
  - b. Indiquer le schéma correspondant à chaque type d'onde.

Ondes mécaniques progressives



2. Un séisme s'est produit à San Francisco (Californie) en 1989. Le document ci-dessous présente le sismogramme obtenu, lors de ce séisme à la station EUREKA.



Le sismogramme a été enregistré à Eureka, station sismique située au nord de la Californie. L'origine du repère ( $t = 0$  s) a été choisie à la date du début du séisme à San Francisco. Le sismogramme présente deux trains d'ondes repérées par A et B.

- A quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train ? Justifier votre réponse à l'aide du texte d'introduction.
- Sachant que le début du séisme a été détecté à Eureka à 8 h 15 min 20 s TU (Temps Universel), déterminer l'heure TU (h ; min ; s) à laquelle le séisme s'est déclenché à l'épicentre.
- Sachant que les ondes P se propagent à une célérité moyenne de  $10 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ , calculer la distance séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.
- Calculer la célérité moyenne des ondes S.

## Exercices annales bac

### Exercice : Amérique du nord 2007 (5,5 points)

fréquence : ● ; difficulté : □□

calculatrice autorisée

Les trois parties de l'exercice sont indépendantes.

#### I. Etude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer

1. Définir une onde mécanique progressive.
2. L'onde ultrasonore est-elle une onde longitudinale ou transversale ?  
Justifier la réponse.
3. La lumière est une onde progressive périodique mais elle n'est pas mécanique.
  - a) Citer un fait expérimental qui permet de décrire la lumière comme une onde.
  - b) Quelle observation permet de montrer que la lumière n'est pas une onde mécanique ?

#### II. Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau

La célérité des ultrasons dans l'air  $v_{\text{air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  est plus faible que la célérité des ultrasons dans l'eau de mer  $v_{\text{eau}}$ .

Un émetteur produit simultanément des salves d'ondes ultrasonores dans un tube rempli d'eau de mer et dans l'air (voir figure 1). A une distance  $d$  de l'émetteur d'ondes ultrasonores, sont placés deux récepteurs, l'un dans l'air et l'autre dans l'eau de mer.

Le récepteur A est relié à l'entrée A du système d'acquisition d'un ordinateur et le récepteur B à l'entrée B. L'acquisition commence lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B du système.

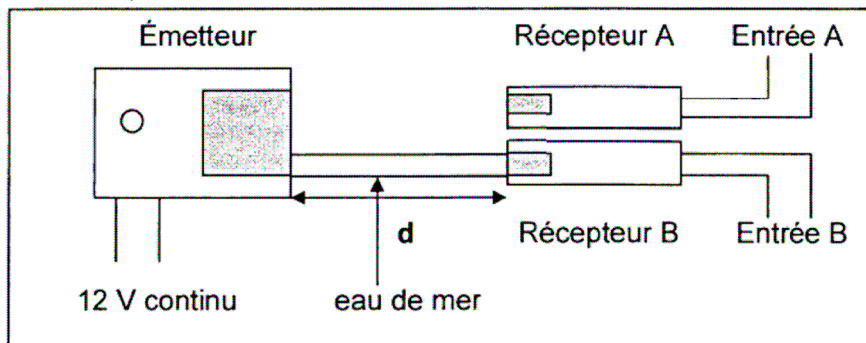
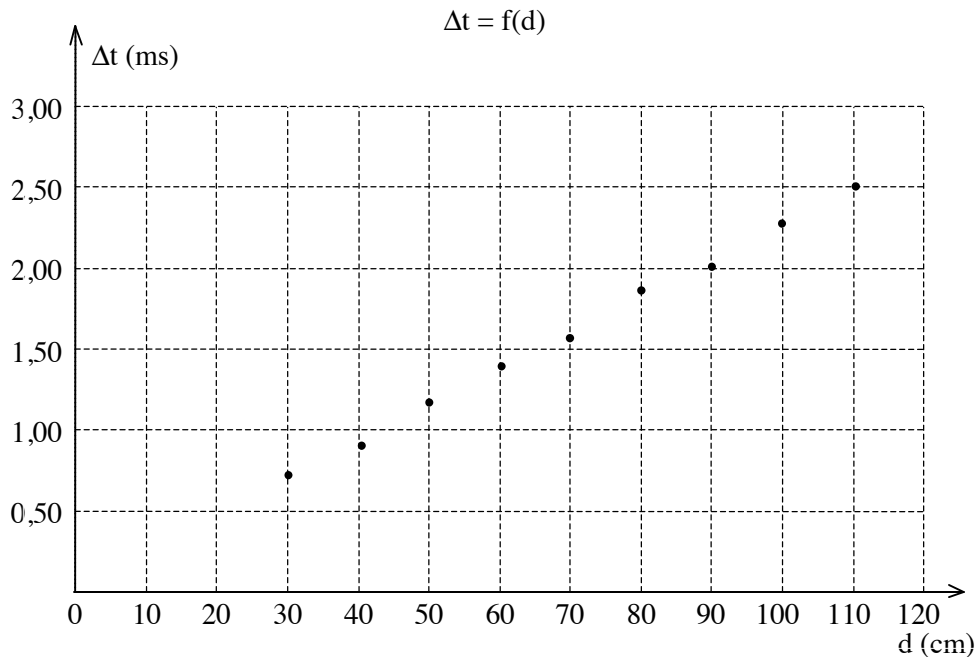


Figure 1

1. Pourquoi est-il nécessaire de déclencher l'acquisition lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B ?
2. Donner l'expression du retard  $\Delta t$  entre la réception des ultrasons par les deux récepteurs en fonction de  $t_A$  et  $t_B$ , durées que mettent les ultrasons pour parcourir respectivement la distance  $d$  dans l'air et dans l'eau de mer.

3. On détermine  $\Delta t$  pour différentes distances  $d$  entre l'émetteur et les récepteurs. On traite les données avec un tableur et on obtient le graphe  $\Delta t = f(d)$  ci-dessus.
- Donner l'expression de  $\Delta t$  en fonction de  $d$ ,  $v_{\text{air}}$ ,  $v_{\text{eau}}$ .
  - Justifier l'allure de la courbe obtenue.
  - Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite  $\Delta t = f(d)$ . En déduire la valeur de la célérité  $v_{\text{eau}}$  des ultrasons dans l'eau de mer en prenant  $v_{\text{air}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$ .



### III. Détermination du relief des fonds marins

Dans cette partie on prendra  $v_{\text{eau}} = 1,50 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ .

Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence  $f = 200 \text{ kHz}$  et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins. La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers ; cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante  $v_{\text{eau}}$ . Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchiée et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur  $p$ .

Un bateau se déplace en ligne droite suivant un axe  $x'x$  en explorant le fond depuis le point A  $x_A = 0 \text{ m}$  jusqu'au point B  $x_B = 50 \text{ m}$  (figure 2).

Le sondeur émet des salves d'ultrasons à intervalles de temps égaux, on mesure à l'aide d'un oscilloscope la durée  $\Delta t$  séparant l'émission de la salve de la réception de son écho.

Ondes mécaniques progressives

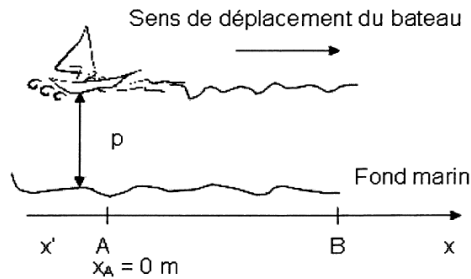
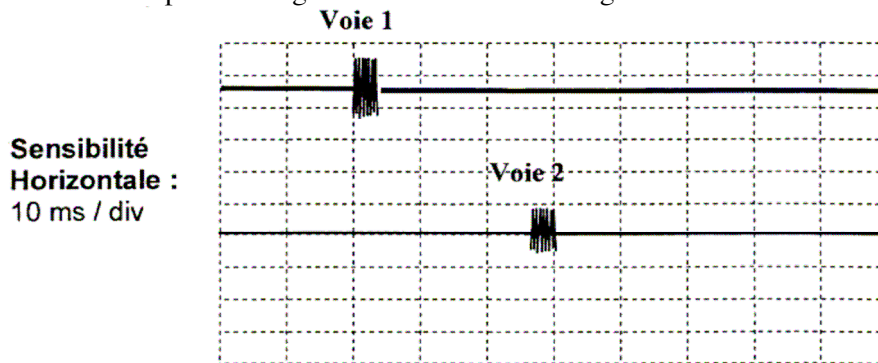


Figure 2

1. L'oscillogramme ci-dessous montre l'écran d'un oscilloscope lorsque le bateau se trouve en A ( $x_A = 0$  m). L'une des voies représente le signal émis, l'autre le signal reçu par le récepteur. Sur l'oscillogramme, on a décalé la voie 2 vers le bas pour distinguer nettement les deux signaux.



Oscillogramme

La figure 3 se trouvant sur l'annexe représente  $\Delta t = f(x)$  lorsque le bateau se déplace de A vers B.

- a) Identifier les signaux observés sur chaque voie, en justifiant.
  - b) A partir de l'oscillogramme, déterminer la durée  $\Delta t$  entre l'émission de la salve et la réception de son écho.
  - c) En déduire la graduation de l'axe des ordonnées de la figure 3 se trouvant sur l'annexe représentant la durée  $\Delta t$  en fonction de la position  $x$  du bateau.
2. Déterminer la relation permettant de calculer la profondeur  $p$  en fonction de  $\Delta t$  et  $v_{\text{eau}}$ .
  3. Tracer sur la figure 4 se trouvant sur l'annexe à rendre avec la copie, l'allure du fond marin exploré en précisant la profondeur  $p$  en mètres en fonction de la position  $x$  du bateau.
  4. Le sondeur envoie des salves d'ultrasons à intervalles de temps réguliers  $T$ . Pour une bonne réception, le signal émis et son écho ne doivent pas se chevaucher. Le sondeur est utilisable jusqu'à une profondeur de 360 m. Déterminer la période minimale  $T_m$  des salves d'ultrasons permettant ce fonctionnement.

Annexe

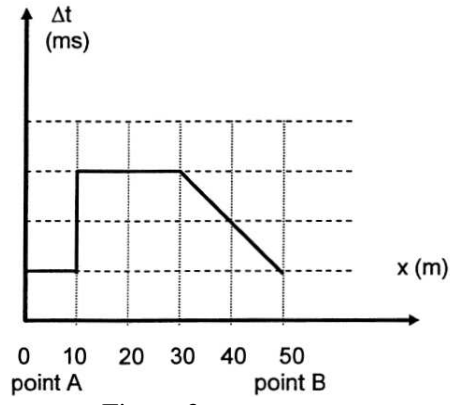


Figure 3

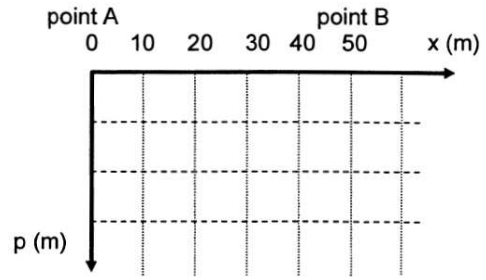


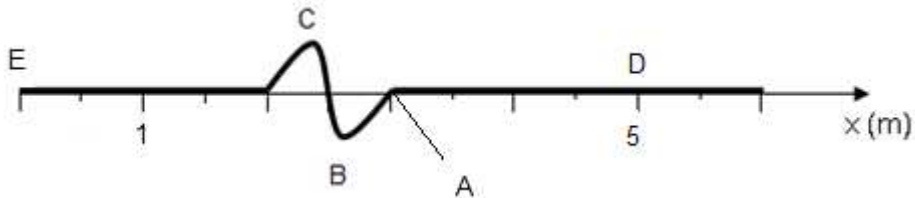
Figure 4

**Corrigé des  
exercices de base  
et d'oral**

**Corrigé 1 :**

1. L'onde est transversale car les points de la corde se déplacent perpendiculairement par rapport la direction de propagation de la perturbation. De plus, l'onde étudiée est une onde mécanique progressive. Elle transporte de l'énergie et ne déplace pas la matière.

2.



3. La célérité de l'onde le long de la corde suit la définition :  $v = \frac{d_0}{\Delta t_0}$  où d

désigne la distance parcourue en mètre pendant la durée ( $\Delta t$ ) en secondes. Dans le cas présent, le front d'onde se situe à trois mètres de la source au bout de trois secondes donc  $v = 1 \text{ m.s}^{-1}$ .

4. Le point D commence par descendre puis remonte et redescend enfin sur sa position de repos : il se déplace sur droite fictive perpendiculaire à l'axe dessiné. Le motif de l'onde porte sur une distance qui vaut un mètre donc en utilisant de nouveau la formule liant distance et célérité, nous obtenons la durée du mouvement d'un point de la corde au passage de la perturbation soit :  $\Delta t_1 = \frac{d_1}{v}$ .

Ainsi :  $\Delta t' = 1 \text{ s}$ .

5. A la date  $t_2 = 4 \text{ s}$ , le front d'onde se trouve à une distance  $d_2 = v \cdot \Delta t_2$  soit  $d_2 = 4 \text{ m}$ .

