série 1 : Ondes mécaniques progressives

Exercice n°1 :

Sur une canalisation en acier dans laquelle circule de l'eau, on provoque un choc à l'instant t_0.

Un capteur situé à une distance d détecte deux signaux sonores brefs séparés par une durée τ = 1,8 s , un à l'instant t_1 et l'autre à l'instant t_2.

1- A quoi correspond le premier signal reçu.

2- Exprimer la distance d en fonction de t_0 , t_1 et la célérité du son dans l'acier c_{acier}.

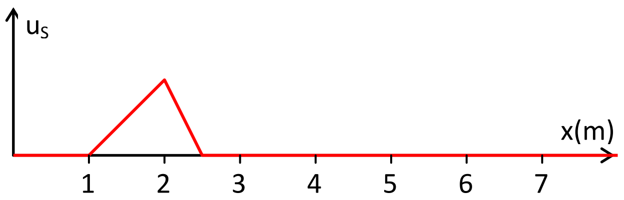
3- Exprimer la distance d en fonction de t_0 , t_2 et la célérité du son dans l'eau c_{eau}.

4- Déterminer la distance d.

Données : célérité du son dans l'acier : c_{acier} = 5,0 km.s^{-1} ; dans l'eau : c_{eau} = 1,5 km.s^{-1}

Exercice n°2 :

On a modélisé, à l'instant t_1 = 0,20 s, l'aspect d'une corde parcourue par une onde transversale de célérité c = 20 m.s^{-1}.



1- Quelles sont les abscisses des points correspondant au début et à la fin du signal ?

2- Quelle est l'étendue spatiale l de l'onde, c'est-à-dire la longueur de la corde affectée par l'onde ?

3- À quelle date l'onde va-t-elle arriver en un point M d'abscisse 5,0 m ? En déduire à quelle date la fin de l'onde va-t-elle arriver en M ?

4- Déterminer les abscisses du début et de la fin de l'onde 0,20 seconde plus tard.

5- Représenter l'aspect de la corde 0,20 seconde plus tard.

6- A l'instant choisi comme origine, le front d'onde se situe-t-il au point choisi comme origine ?

Exercice n°3 :

Les ondes émises par un séisme sont de trois types :

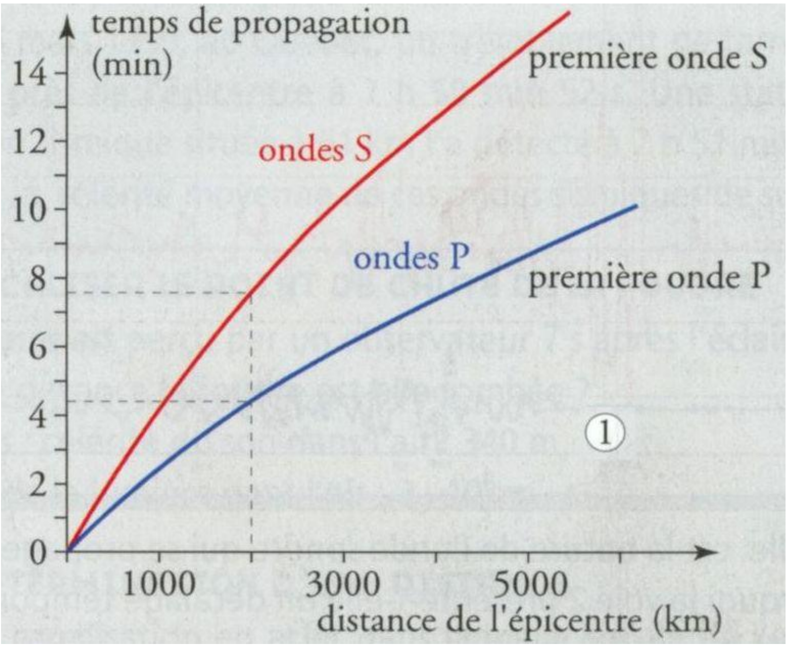
- les ondes P sont des vibrations longitudinales de compression ; ce sont les plus rapides, leur vitesse de propagation atteignant 3,5 à 14 km.s^{-1}, suivant la nature des roches et la profondeur de propagation ;

- les ondes S sont des ondes transversales de cisaillement, perpendiculaires à la direction de propagation ; elles sont moins rapides que les ondes P (la valeur de la vitesse des ondes P est environ 1,7 fois celle des ondes S) ;

- les ondes L sont des ondes superficielles ; elles sont plus lentes encore que les ondes S.

Les ondes sismiques sont enregistrées en plusieurs points du globe par des sismographes. En un lieu donné, il y a, sur l'enregistrement sismographique, un décalage entre le début d'enregistrement des deux types d'ondes P et S.

Les vitesses de propagation de ces deux types d'ondes dans la croûte terrestre sont connues et on possède des courbes étalonnées, comme ci-dessous (doc. 1).

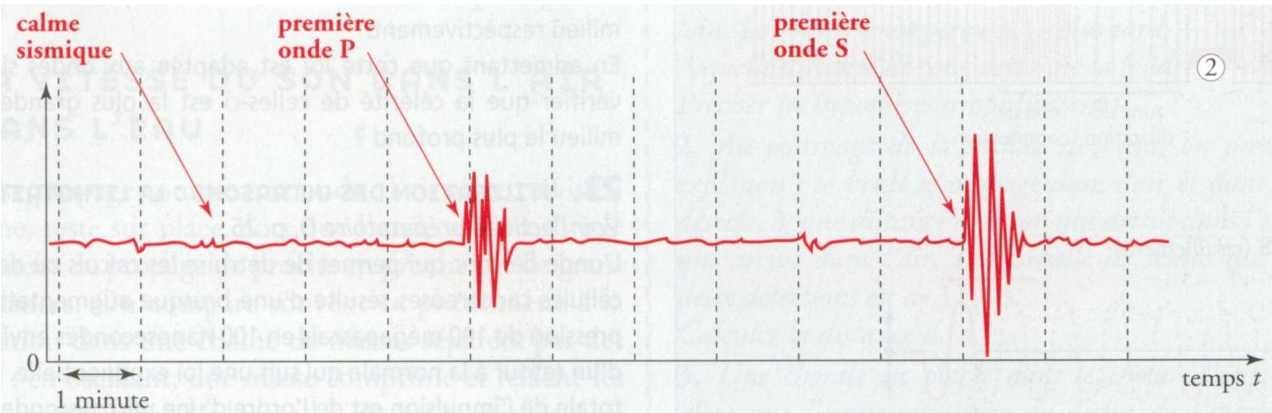


1. En examinant le document précédent, dire si les vitesses des ondes S ou P sont constantes.

Si elles ne sont pas constantes, dire pourquoi ?

2. Calculer la vitesse moyenne des ondes S et P lors d'un parcours de 2000 km.

3. Lors d'un séisme, on a détecté le signal ci-dessous (doc. 2).



a. Quelle est l'onde détectée en premier ?

b. Quel est l'intervalle de temps séparant les débuts des détections des deux ondes ?

c. A l'aide du document 1, déterminer la distance à l'épicentre.

EXERCICE 1 :

1- Le premier signal reçu correspondant au son qui s'est propagé dans l'acier car la célérité du son y est supérieure à celle dans l'eau.

2- Le signal qui se propage dans l'acier à la vitesse c_{acier} parcourt la distance d dans une durée t_1-t_0. :

$d = c_{acier} . (t_1-t_0)$

3- Le signal qui se propage dans l'eau à la vitesse c_{eau} parcourt la même distance d dans une durée t_2-t_0 : $d = c_{eau} . (t_2-t_0)$

4- la donnée τ est évidemment liée aux instants t_1 et t_2 par la relation : $\tau = t_2-t_1$

les relations écrites deviennent des équations qu'il faut résoudre : $\begin{cases} d = c_{acier}.(t_1 - t_0) \\ d = c_{eau}.(t_2 - t_0) \\ \tau = t_2 - t_1 \end{cases}$

Des deux premières relations on peut faire apparaître explicitement la donnée τ :

$$\frac{d}{c_{eau}} - \frac{d}{c_{acier}} = (t_2 - t_0) - (t_1 - t_0) = (t_2 - t_1) = \tau$$

On en déduit : $\boxed{d = \dfrac{\tau}{\dfrac{1}{c_{eau}} - \dfrac{1}{c_{acier}}}}$

l'application numérique (A.N.) : $d = \dfrac{1{,}8}{\dfrac{1}{1{,}5} - \dfrac{1}{5}}$ on a arrondi le résultat avec deux chiffres significatifs seulement car les données sont fournies : d = 3,9 Km

EXERCICE 2 :

1- Le graphique proposé est une photographie donnant l'aspect de la corde partout à l'instant t_1.

Une lecture directe du graphique montre qu'à cet instant, le début de la déformation (le front d'onde) a déjà atteint l'abscisse 2,5 m alors que la fin de cette déformation n'a atteint que l'abscisse 1 m.

2- La déformation qui se propage le long de la corde s'étend sur une distance de 1,5 m.

3- Plus tard, à un instant noté t_2, le front d'onde atteindra l'abscisse 5 m. Entre les instants t_1 et t_2, la déformation a progressé de 2,5 m à la vitesse de 20 $m.s^{-1}$. Cette phase a donc duré 2,5 m / 20 $m.s^{-1}$ soit 0,125 s.

Autrement dit, le front d'onde atteindra l'abscisse 5,0 m à l'instant t_2 = 0,20 s + 0,125 s soit 0,325 s.

4- La fin de la perturbation arrive en ce point d'abscisse 5 m encore plus tard puisqu'elle doit encore se déplacer de 1,5 m à la vitesse de 20 $m.s^{-1}$; ce qui prend 0,075 s supplémentaire. Autrement dit, la fin de l'onde arrive en ce point à l'instant t_3 = 0,325 s + 0,075 s soit 0,40 s. A cet instant, le front d'onde a atteint l'abscisse 6,5 m.

5- Après 0,20 s plus tard (donc à l'instant t_4 = 0,60 s), l'onde a progressé globalement de 20 $m.s^{-1}$ x 0,20 s soit 4,0 m.

Autrement dit, à cet instant, le front d'onde se trouve à l'abscisse 6,5 m + 4,0 m soit 10,5 m tandis que la fin de l'onde se trouve 1,5 m derrière soit à l'abscisse 9,0 m.

Cela peut se traduire graphiquement :

6 - A la vitesse de 20 $m.s^{-1}$, le front d'onde a mis 0,125 s pour parvenir à l'abscisse 2,5 m (instant de la photo). Ainsi, le front d'onde se trouvait à l'abscisse 0 à l'instant 0,20 s - 0,125 s soit 0,075 s : le front d'onde ne se trouvait donc pas au point choisi comme origine à l'instant choisi comme origine.

Cela peut s'interpréter par le déclenchement du chronomètre à l'instant précis où la source a commencé à bouger mais on choisissant l'origine des abscisses en un point situé plus loin que la source sur la corde.

EXERCICE 3 :

1- En examinant le graphique fourni, on constate que les courbes représentatives de la distance parcourue en fonction de la durée de propagation ne sont pas des droites. Autrement dit, il n'y a pas proportionnalité entre la distance parcourue par une onde S et la durée de propagation. On constate la même chose pour une onde P.

Autrement dit, les vitesses de propagation (célérités) ne sont pas des constantes .

L'interprétation est délicate : les célérités dépendent en fait des densités des matériaux rencontrés (plus le milieu est dense, plus l'onde se propage rapidement) et des propriétés élastiques des matériaux. La Terre dans son ensemble n'est pas un milieu homogène .

2- Pour une distance de propagation de 2000 km, la célérité des ondes P vaut alors environ

2000 km / 4,3 min soit 2000 km / (4,3/60) h c'est à dire $2,8.10^{4}$ $km.h^{-1}$ environ.

On obtient de même pour les ondes S une célérité de 2000 km / 7,7 min c'est à dire

$1,6.10^{4}$ $km.h^{-1}$ environ.

3- a- Les ondes P progressent plus rapidement donc elles sont détectées en premier.

b- le document n°2 nous informe qu'il s'écoule environ 6 minutes entre les débuts de détection des ondes P et S par le récepteur.

c- Sur le document n°1, cette situation correspond à un écart vertical de 6 minutes entre les deux courbes : on y lit une distance commune de propagation d'environ 5000 km.