Ondes mécaniques progressives
Exercices corrigés

Exercice 1 :

La relation v= $\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ donne la vitesse de propagation d'un signal transversal le long d'une corde tendue, dont F est la tension de la corde et μ sa masse linéaire.

1- Calculer la vitesse de propagation d'un signal le long d'une corde de longueur $L = 8\ m$ et de masse $m = 100\ g$ si sa tension est $F = 5N$.

2- Quelle est la durée que met le signal pour parcourir la corde toute entière.

Exercice 2 :

Pendant un coup de foudre, l'éclair et le bruit de tonnerre se produise en même temps. Mais comme la lumière va plus vite que le son, on voit l'éclair avant d'entendre le tonnerre.

1- Trouver l'expression de la durée Δt qui s'écoule entre l'éclair et le tonnerre en fonction de d, de v_{son} , la célérité du son dans l'air et c la célérité du la lumière de la lumière dans l'air.

2- En considérant que $v_{son} \ll c$, (v_{son} est négligeable devant c) montrer que l'expression de la durée Δt s'écrit : $\Delta t = \frac{d}{v_{son}}$.Déterminer la distance d si la durée qui s'écoule entre l'éclair et le bruit de tonnerre est 5s.

On donne : $v_{son} = 340\ m.s^{-1}$

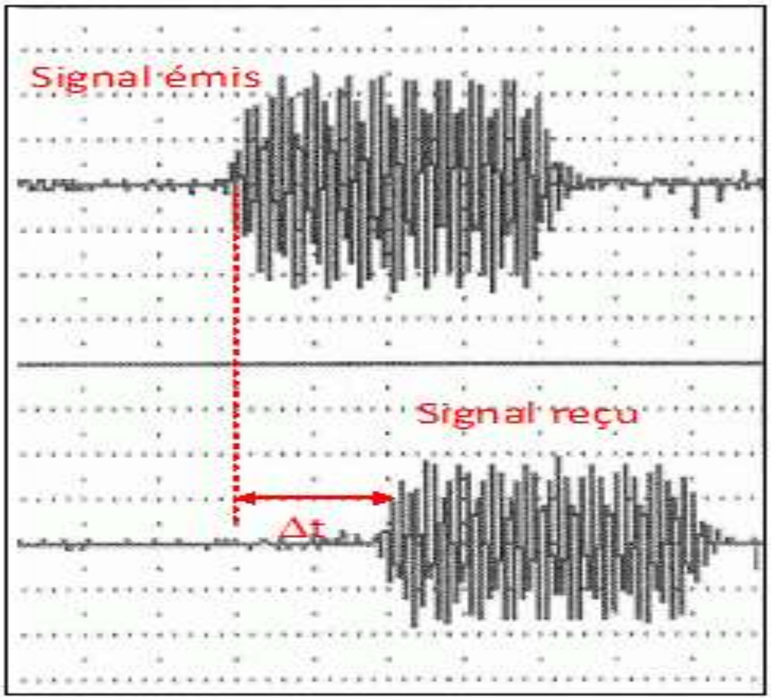
Exercice 3 :

Beaucoup d'animaux utilisent les ondes sonores ou ultrasonores pour communiquer entre eux, chasser leur proie ou se localiser. Pour illustrer quelques propriétés de telles ondes, on utilise des émetteurs et des récepteurs ultrasonores. Un émetteur et un récepteur d'ultrasons sont placés côte à côte face à une paroi réfléchissante. L'émetteur émet des ondes d'ultrasons. Les tensions de sortie de l'émetteur et du récepteur sont observées sur l'écran d'un oscilloscope et sont données ci-dessous. Balayage horizontal $V_H = 1{,}0\ ms/div$.

1- Pour quoi les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques ?

2- Déterminer le retard τ entre l'émission et la réception.

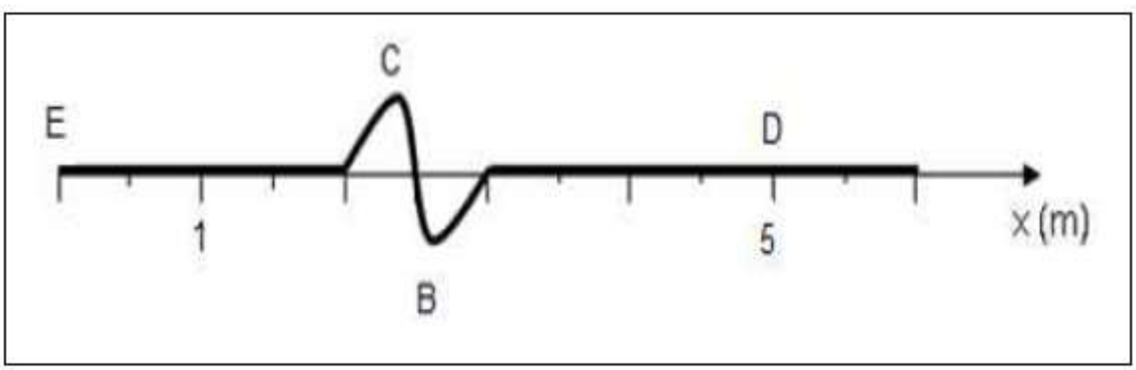
3- Déterminer la distance d qui sépare l'émetteur et le récepteur de la paroi réfléchissante.



Exercice 4 :

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 $t_1 = 3s$.



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- Décrire le mouvement du point D ? Quelle est la durée de son mouvement ?

5- Où se trouvent les points A, B et C à la date $t' = 4s$? Vous vous aidez d'un schéma pour répondre à la question.

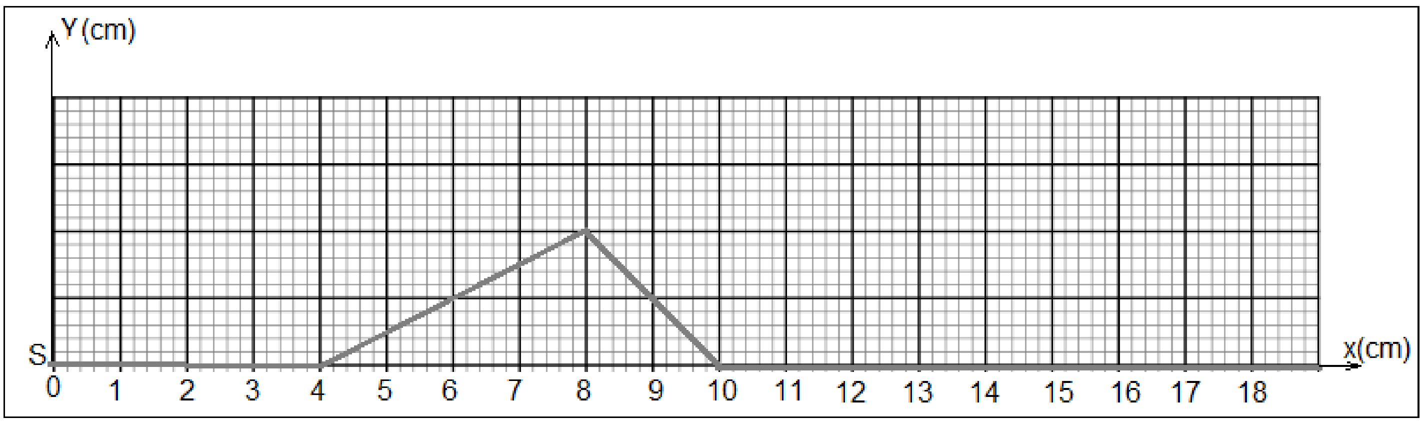
6- Considérons l'extrémité de la corde située au point noté F à 6,0 m de l'élève.

Avec quel retard τ' par rapport au point E, le point F commence-t-il à bouger ? Quelle date F est au repos de nouveau ?

Exercice 5 :

Un signal transversal se propage le long d'une corde élastique avec une vitesse de propagation v= $2m.s^{-1}$.

L'aspect de la corde à l'instant t_1 est représenté sur la courbe ci-contre.



1- Il qu'il s'agit d'un signal transversal ou longitudinal ? Justifier votre réponse.

2- Déterminer, graphiquement, la longueur L du signal. Déduire sa durée τ .

3- Déterminer l'instant t_1.

4- Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t_2 = 7.10^{-2}$ s.

5- Déterminer l'instant au bout duquel le signal quitte le point Q situé à 16cm de la source S.

6- Représenter la variation de l'élongation Y_S de la source S en utilisant l'échelle :

1cm représente $10^{-2}\ s$

1cm représente $0{,}5\ cm$

En déduire la représentation de l'élongation Y_M du point M se trouvant à la distance $d = 8cm$ de la source S.

Exercice 6 :

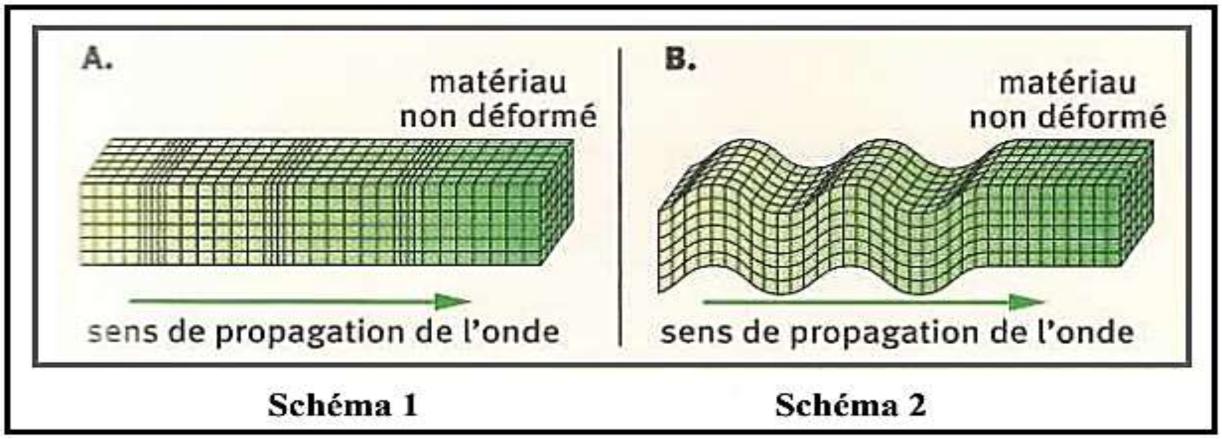
Lors d'un séisme, la terre est mise en mouvement par des ondes de différentes natures, qui occasionnent des secousses plus ou moins violentes et destructrices en surface.

On distingue :

- Les ondes P, les plus rapides, se propageant dans les solides et les liquides.
- Les ondes S, moins rapides, es propagent 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 propagation des ondes sismiques dans une couche terrestre.



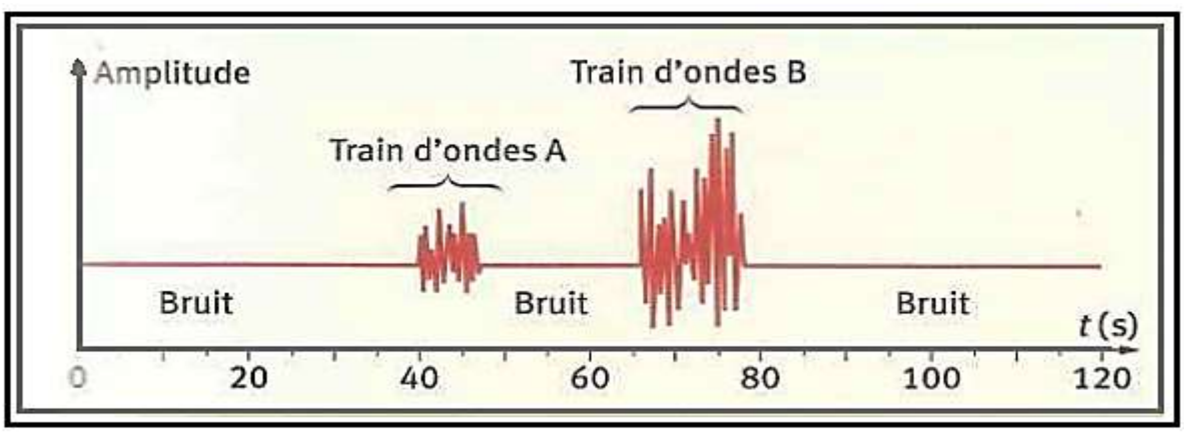
1- Les ondes P, appelés aussi ondes de compression, sont des ondes

Les ondes S, appelés aussi ondes de cisaillement, sont des ondes transversales.

1.1- Définir une onde transversale.

1.2- Indiquer le schéma correspondant à chaque type d'onde.

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 $\{Eurika\}$, station sismique située au nord de la Californie. L'origine des temps (t=0) a été choisie à la date du début du séisme à San Francisco.



Le séisme présent deux tains d'ondes repérées par A et B.

2-1- A quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train ?

2-2- Justifier la réponse à l'aide du texte de l'introduction.

2-3- Sachant que le début du séisme a été détecté à Eureka à 8h 15min 20s au Temps universel, Déterminer l'heure TU (h ; min ; s) à laquelle le séisme s'est déclenché à l'épicentre.

2-4- Sachant que les ondes P se propagent à une vitesse moyenne de 10 km.s^{-1}, calculer la distance séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.

2-5- En déduire la vitesse moyenne des ondes S.

Correction des exercices

Exercice 1 :

1- Calcul de la vitesse de propagation :

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

La masse linéaire de la corde est égale : $\mu = \frac{m}{L}$ d'où $V = \sqrt{\frac{F.L}{m}}$

A.N : $V = \sqrt{\frac{5\times 8}{0,1}} \Longrightarrow V = 20\ m/s$

2- Calcul de la durée de parcours :

La propagation se fait avec vitesse constante : $V = \frac{L}{\Delta t} \Longrightarrow \Delta t = \frac{L}{V}$

A.N : $\Delta t = \frac{8}{20} \Longrightarrow V = 0,4\ s$

Exercice 2 :

Solution :

1- Expression de la durée Δt :

L'éclair parcourt la distance d en une durée : t_1 à la vitesse V_{son} tel que :

$$V_{son} = \frac{d}{t_{son}} \Longrightarrow t_{son} = \frac{d}{V_{son}}$$

Le tonnerre parcourt la distance d en une durée : t_2 à la vitesse c tel que :

$$c = \frac{d}{t_{éclair}} \Longrightarrow t_{écalir} = \frac{d}{c}$$

La durée qui s'épare la réception de l'éclair et la réception de tonnerre est :

$$\Delta t = t_{son} - t_{écalir} \Longrightarrow \Delta t = d\left(\frac{1}{V_{son}} - \frac{1}{c}\right)$$

2- Montrons l'expression :

On a : $V_{son} \ll c \Longrightarrow \frac{1}{V_{son}} \gg \frac{1}{c}$

Expression $\Delta t = d\left(\frac{1}{V_{son}} - \frac{1}{c}\right)$ devient :

$$\Delta t = \frac{d}{V_{son}} \Longrightarrow d = \Delta t.\ V_{son}$$

$$d = 5 \times 340 = 1700\ m$$

Exercice 3 :

1- Pour quoi les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques ?

Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques car elles nécessitent un milieu matériel pour se propager : déplacement de zones de compression et de zone de dilatations de l'air.

2- Le retard τ entre l'émission et la réception :

D'après l'écran de l'oscilloscope le retard est :

$$\tau = V_H . x = 1,0\ ms/div \times 2iv = 2,0\ ms$$

3- la distance d qui sépare l'émetteur et le récepteur de la paroi réfléchissante :

Le son parcourt 2 fois la distance d pour aller de l'émetteur au récepteur pendant une durée de $\tau = 2ms$.

$$V = \frac{2d}{\tau} \Longrightarrow d = \frac{V.\tau}{2}$$

$$d = \frac{340 \times 1,0 \times 10^{-3}}{2} = 0,34\ m = 34\ cm$$

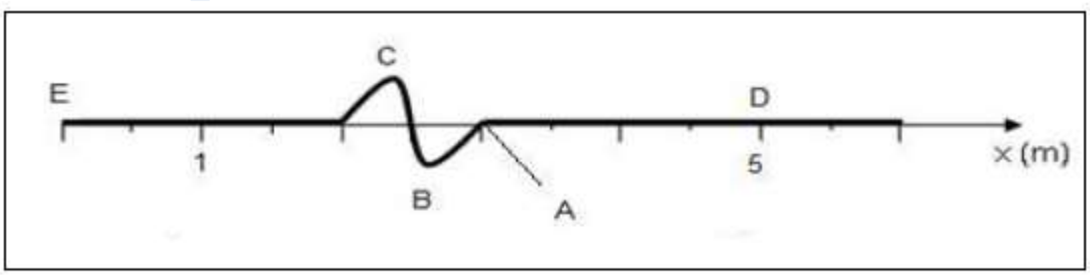
Exercice 4 :

1- L'onde est transversale:

car les points de la corde se déplacent perpendiculairement par rapport à la direction de propagation de la perturbation.

De plus l'onde étudiée est une onde progressive. Elle transporte de l'énergie et ne déplace pas la matière.

2- Représentation du point A sur la corde :



3- La célérité de l'onde le long de la corde a pour expression :

$$V = \frac{d}{\Delta t}$$

Où d désigne la distance parcourue en mètre pendant la durée Δt en secondes.

Dans ce cas le front d'onde se situe à 3 m de la source au bout de 3s, donc $V = \frac{3}{3} = 1\, m/s$

4- Description du mouvement du point D :

Une fois l'onde arrive au point D, il commence à descendre puis remonter et redescend et enfin sur sa position de repos : il se déplace sur une droite perpendiculaire à l'axe des x dessiné.

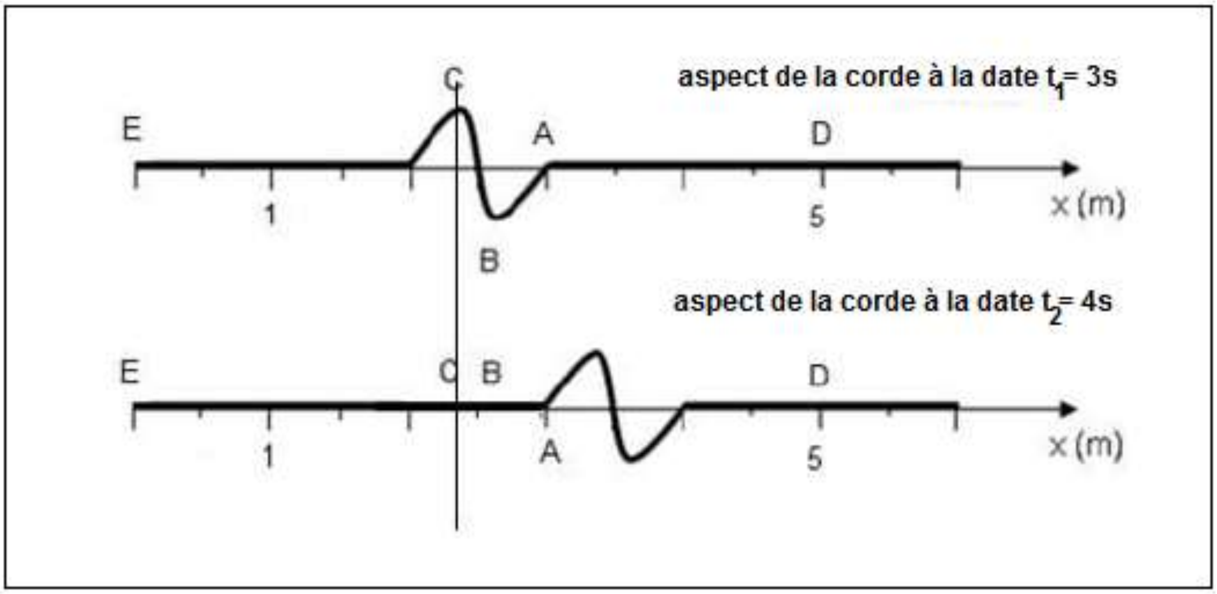
La longueur d'onde sur le schéma est de 1m donc on utilise la formule :

$$\text{V}=\frac{L}{\Delta t'} \Longrightarrow \Delta t' = \frac{L}{\text{V}} \Longrightarrow \Delta t' = \frac{1}{1} = 1s$$

5- Localisation des points A, B et C à la date $t' = 4s$ sur la corde :

A la date $t_2 = 4s$, le front d'onde se trouve à une distance d_2 lel que :

$$\text{V}=\frac{d_2}{t_2} \Longrightarrow d_2 = \text{V}.t_2 \Longrightarrow d_2 = 1 \times 4 = 4m$$



6- Le retard τ' du point F par rapport à E :

Considérons l'extrémité de la corde située au point noté F à 6,0 m de l'élève.

Calculons le retard du point F par rapport au point A :

$$\text{V}=\frac{AF}{\tau'} \Longrightarrow \tau' = \frac{AF}{\text{V}} \Longrightarrow \tau' = \frac{6}{1} = 6s$$

Le point F commence son mouvement à la date $t_F = \tau' = 6s$, son mouvement va durer $t = 1s$, F s'arrête à la date $t'_F = t_F + t = 7s$, à partir de $t'_F = 7s$ le point F est au repos du nouveau.

Exercice 5 :

1- Le signal est transversal : car la direction de propagation est perpendiculaire à la direction de déformation.

2- Graphiquement la longueur du signal est L :

$$L = 10 - 4 = 6cm$$

La durée τ du signal :

$$V = \frac{L}{\tau} \Longrightarrow \tau = \frac{L}{V} \Longrightarrow \tau = \frac{6.10^{-2}}{2} = 3.10^{-2}\ s$$

3- Détermination de l'instant t_1 :

Le signal quitte le point S à l'instant t=0, à l'instant t_1 il arrive à un point M de la corde dont l'aspect est représenté dans la figure 1.

$$V = \frac{SM}{\Delta t} = \frac{d}{t_M - t_0} = \frac{d}{t_M}$$

$$t_M = \frac{d}{V} \Longrightarrow t_M = \frac{10 \times 10^{-2}}{2} = 5.10^{-2}\ s$$

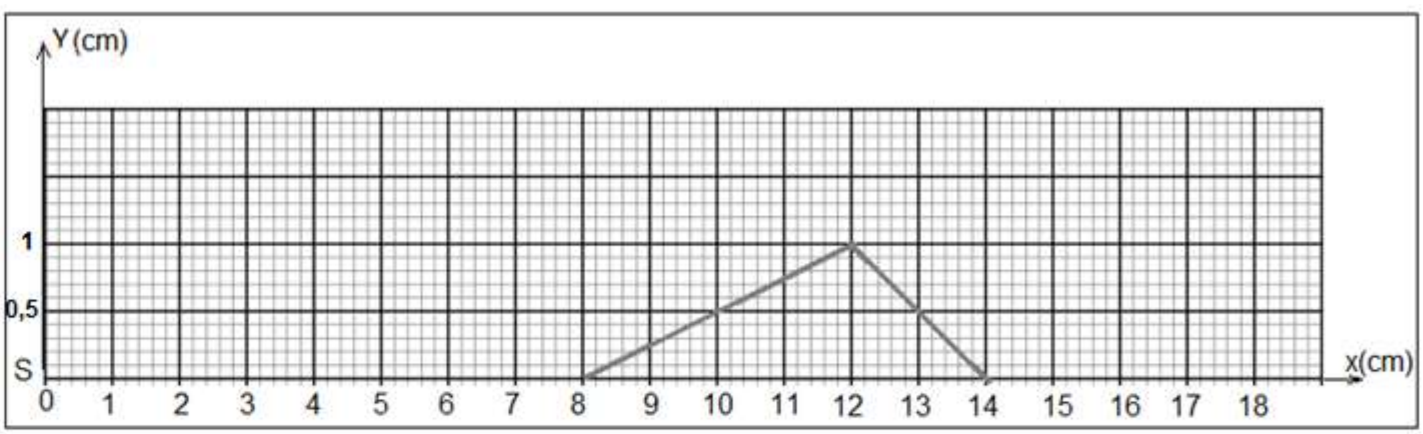
4- Représentation de l'aspect de la corde à l'instant $t_2 = 7.10^{-2}$ s :

Le signal parcourt la distance d' pendant la durée $t_2 = 7.10^{-2} s$ tel que :

$$V = \frac{d}{t_2} \Longrightarrow d = V.t_2 = 2 \times 7 \times 10^{-2} = 14.10^{-2}\ m = 14\ cm$$

Le front du signal est à la distance $d' = 14\ cm$ de la source S ; l'arriére du signal est à la distance :

$$d'' = d' - L = 14 - 6 = 8cm$$



5- Déterminer l'instant t'_Q au bout duquel le signal quitte le point Q situé à 16cm de la source S.

Le point Q commence sa vibration à l'instant $t_Q = \frac{SQ}{V} = \frac{0,16}{2} = 8.10^{-2} s$

Son mouvement dure pendant une durée $\tau = 3.10^{-2}\ s$

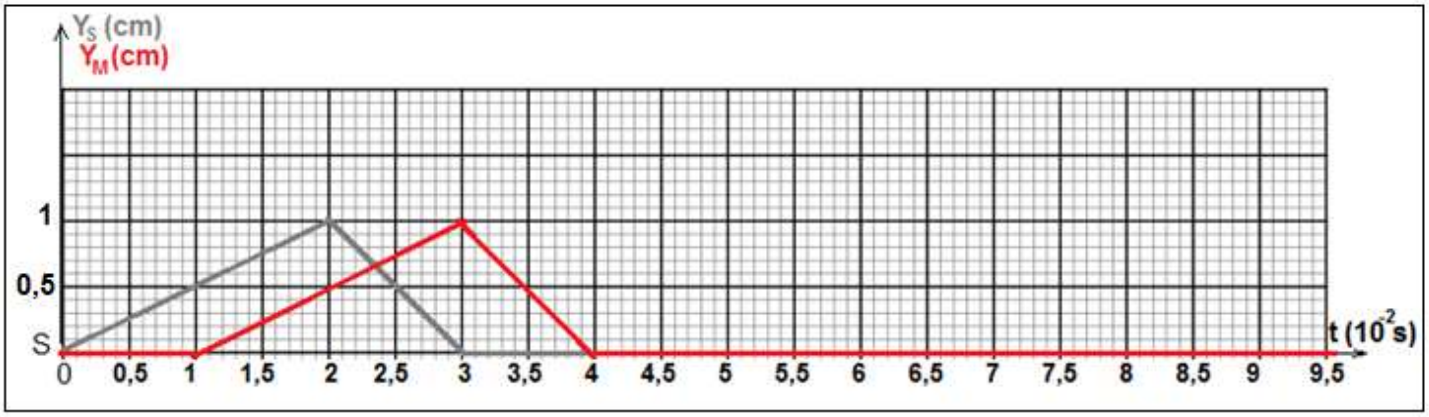
Le point Q termine son mouvement à la date $t'_Q = t_Q + \tau = 11.10^{-2}\ s$

6- Représentation de la variation de l'élongation Y_S de la source S en fonction du temps :

Pour déterminer l'élongation de la source S il faut déterminer l'amplitude Y_S du point S à quelques instants remarquable :

Distance SM_i (cm)	$SM_0 = 0$	$SM_1 = 1$	$SM_2 = 2$	$SM_3 = 3$	$SM_4 = 4$	$SM_5 = 5$	$SM_6 = 6$	$SM_7 = 7$	
Instant t_i ($10^{-2}s$)	$t_0 = 0$	$t_1 = 0,5$	$t_2 = 1$	$t_3 = 1,5$	$t_4 = 2$	$t_5 = 2,5$	$t_6 = 3$	$t_7 = 3,5$	
Amplitude Y_S (cm)	$Y_S = 0$	$Y_S = 0,25$	$Y_S = 0,5$	$Y_S = 0,75$	$Y_S = 1$	$Y_S = 0,5$	$Y_S = 0$	$Y_S = 0$	

On obtient l'élongation Y_M du point M en faisant une translation de l'élongation Y_S du point S selon l'axe de temps avec le retard τ (voir figure ci-dessus).



Exercice 6 :

1-

1-1- Définition de l'onde transversale :

Une onde est transversale si la direction déformation d'un point est perpendiculaire à celle de la propagation de l'onde.

1-2- Types d'ondes :

-Le schéma 1 correspond à la propagation d'une onde longitudinale.

-Le schéma 2 correspond à la propagation d'une onde transversale.

2-

2-1- D'après Le texte, les ondes P sont plus rapides que les ondes S.

L'origine des temps (t=0) a été choisie comme instant du début du séisme à San Francisco.

Le train d'ondes A est détecté en premier (t=40s) puis le train d'ondes B arrive ensuite à la station d'Eureka.

2-2- Justification de la réponse :

La détection du séisme à la station d'Eureka est obtenue à la date **t_2 = 8h 15min 20s.**

Pour que les ondes P parcourent la distance d épicentre- station Eureka, il a fallu environ

$$\boldsymbol{\Delta t = t_2 - t_1 = 40\ s}.$$

Le séisme s'est donc produit à l'épicentre à la date $\boldsymbol{t_1 = t_2 - \Delta t}$

$$\boldsymbol{t_1 = 8h15\min 20s - 40s = 8h14\min 20s}$$

2-3- Distance entre l'épicentre du séisme de la station Eureka :

$$d = \text{V}.\Delta t$$

$$d = 10 \times 40 = 400\ km$$

2-4-- vitesse moyenne des ondes S :

Le parcourt de la distance d par les ondes S nécessite une durée de $\Delta t' = 66\ s$

$$\text{V}_S = \frac{400}{66} = 6{,}1\ \ km/h$$