Travaux dirigés

Exercice 1 : The Velvet Rope (calculatrice interdite)

Une très longue corde inextensible est disposée horizontalement sur le sol. Un opérateur crée une perturbation en imprimant une brève secousse verticale à l'extrémité S de la corde (figure 1).

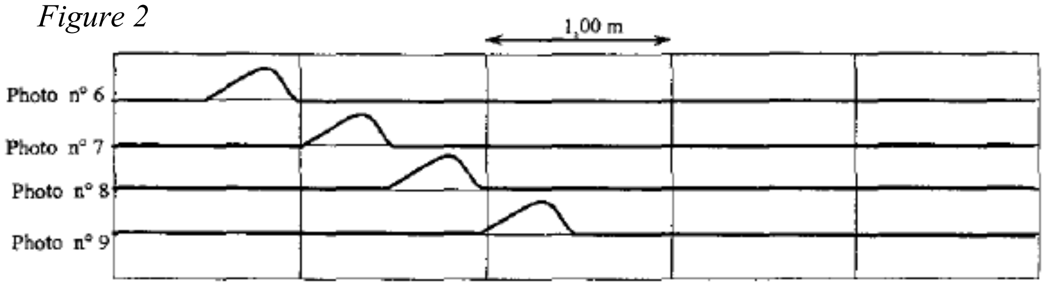
Figure 1 Mouvement de la main

1. Caractériser l'onde obtenue.

La propagation de l'onde le long de la corde est étudiée par chronophotographie (figure 2).
L'intervalle de temps séparant deux photos consécutives est $0{,}25\ s$.

2. Calculer la célérité de l'onde.

Figure 2

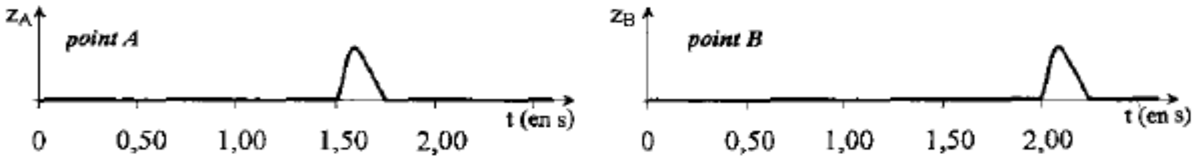


3. Pendant quelle durée Δt un point de la corde subit-il une perturbation ?

L'évolution au cours du temps des altitudes z_A et z_B de deux points $A\ et\ B$ de la corde est l'objet de la $figure$ 3. L'instant $t_0 = 0\ s$ correspond au début du mouvement de S.

4. Lequel de ces deux points est touché le premier par la perturbation ?
5. Lequel de ces deux points est situé le plus près du point source S de la corde ?

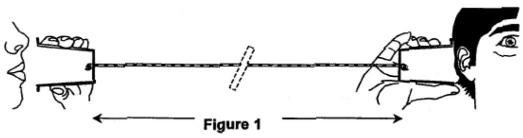
Figure 3



6. Quel retard, noté Δt', le point touché en second présente-t-il dans son mouvement par rapport au point touché en premier ?
7. Quelle est la valeur de la distance, notée $[AB]$, séparant les points $A\ et\ B$?
8. Un troisième point C commence son mouvement à l'instant de date $t_C = 0{,}50\ s$. Préciser sa position par rapport à A, en calculant la valeur de la distance $[AC]\ ou\ [CA]$.
9. Représenter sur un schéma la position des points $A, B\ et\ C$ (échelle 2 $cm\ pour$ 1 m) par rapport au point source S.

Exercice 2 : Allo ? Chrystèle ? (calculatrice interdite)

A l'ère du téléphone portable, il est encore possible de communiquer avec un système bien plus archaïque…



L'onde sonore produite par le premier interlocuteur fait vibrer le fond du pot de yaourt, le mouvement de va et vient de celui-ci, imperceptible à l'œil, crée une perturbation qui se propage le long du fil. Cette perturbation fait vibrer le fond du second pot de yaourt et l'énergie véhiculée par le fil peut être ainsi restituée sous la forme d'une onde sonore perceptible par un second protagoniste.
Ce fil légèrement élastique peut être modélisé par un ressort à spires non jointives. Les schémas suivants illustrent les conséquences de deux modes de déformation d'un ressort : l'écartement d'une extrémité du ressort selon une direction perpendiculaire à l'axe de celui-ci produit une onde de cisaillement (figure 2), alors qu'une déformation selon l'axe du ressort produit une onde de compression (figure 3).

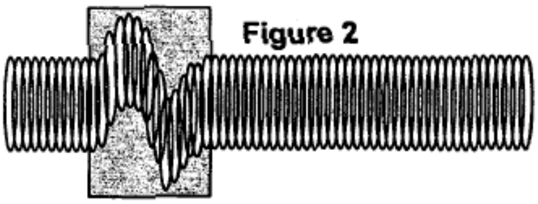


Figure 2

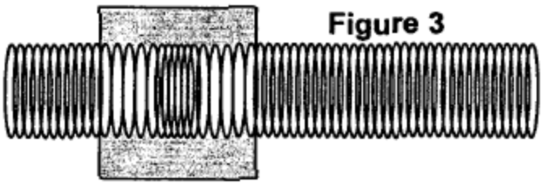


Figure 3

1. Attribuer, à chacune des situations représentées sur les figures 2 et 3, les termes d'onde longitudinale et d'onde transversale. Justifier votre réponse.

Seul le second mode de déformation (figure 3) correspond au phénomène observé sur le fil du dispositif étudié par la suite.
A $25°C$, on réalise le montage suivant (figure 4), afin de mesurer la célérité des ondes sur le fil du dispositif. Deux capteurs, reliés en deux points A et B distants de $D = 20\, m$ sur le fil, du pot de yaourt émetteur E. Les capteurs enregistrent l'amplitude de cette perturbation au cours du temps.

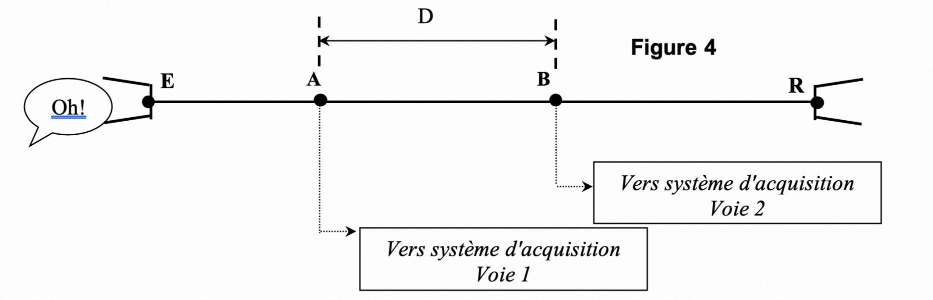


Figure 4

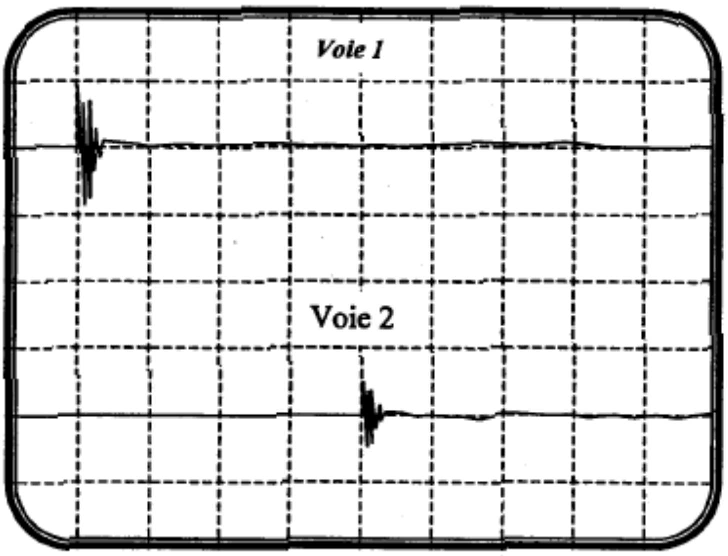


Figure 5

Sensibilité verticale 1 mV / div
Sensibilité horizontale 5 ms/ div

2. Calculer la célérité de l'onde sur ce fil.

Exercice 3 : propagation de la houle

Un étudiant contemple d'un bateau, les vagues qui proviennent de l'avant d'un bateau (immobile dans le référentiel terrestre) et qui se succèdent régulièrement : il mesure à l'avant du bateau la durée de passage entre deux crêtes successives et obtient $2{,}00\ s$. Il remarque qu'une vague met $\Delta t = 15{,}0 s$ pour parcourir la longueur totale de $L = 48{,}0\ m$ du bateau.

1. Caractériser l'onde créée à la surface de l'eau.
2. Déterminer la longueur d'onde de ce phénomène.
3. Déterminer l'expression numérique de $s(x,t)$ sachant que l'amplitude des vagues est $A = 0{,}50 m$ et que l'axe des abscisses est orienté de l'arrière vers l'avant du bateau. On prendra $\varphi_0 = 0$.
4. Même question si l'axe des abscisses est orienté de l'avant vers l'arrière du bateau.

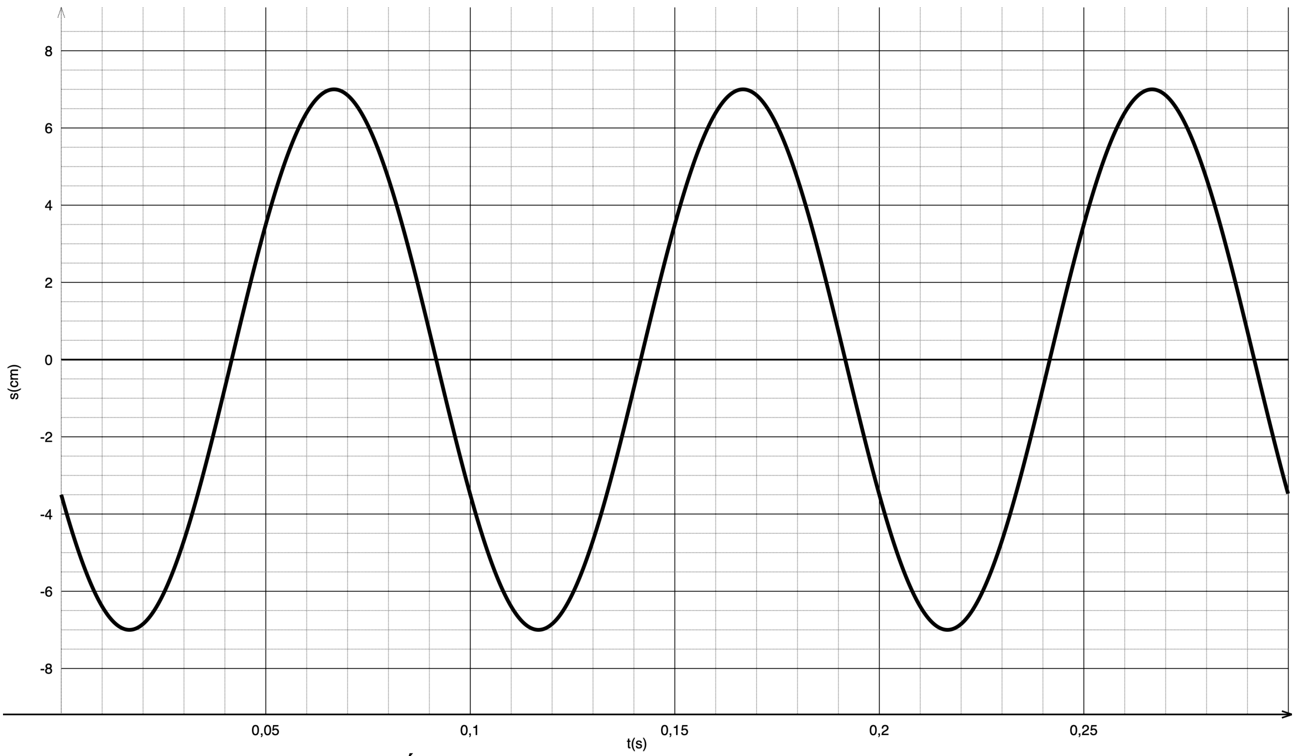
Exercice 4 : écriture d'une OPPH

On étudie une OPPH acoustique, d'amplitude $A_P = 1{,}0 \times 10^{-5}\ Pa$, dont la longueur d'onde est $\lambda = 0{,}85\ cm$ et la célérité dans le milieu est $v = 340\ m/s$. Cette OPPH se propage selon l'axe $0x$.

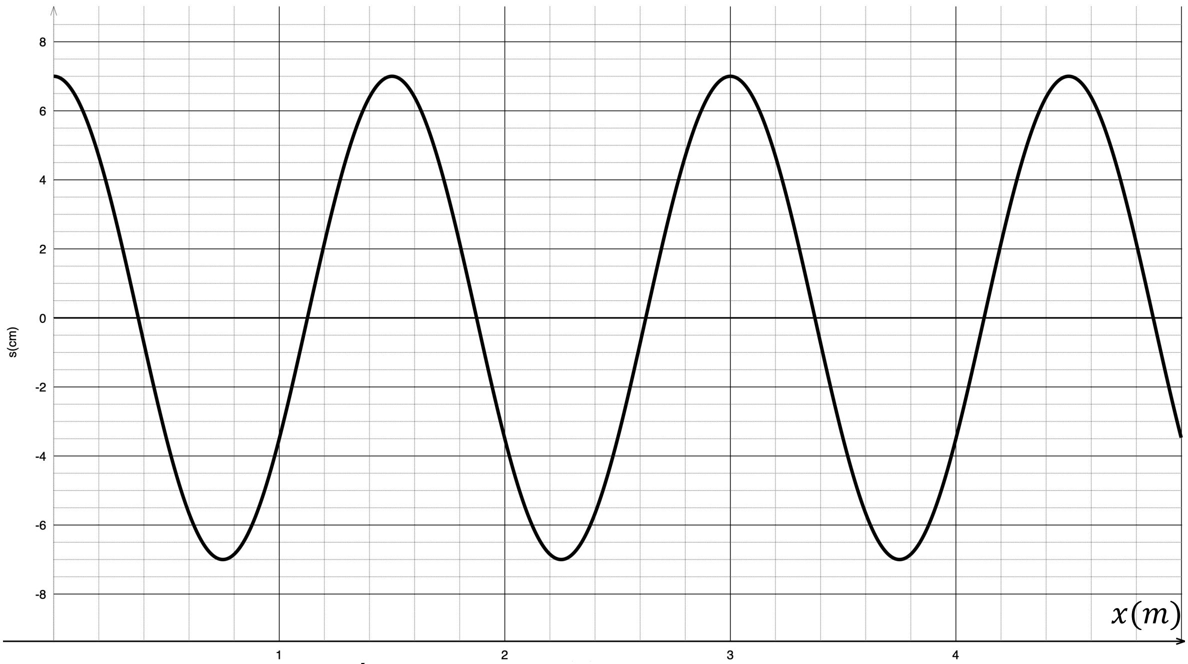
1. Déterminer les valeurs de module d'onde k et de la pulsation ω et, en précisant leur unité respective.
2. En déduire l'expression numérique de l'onde. On prendra $\varphi_0 = 0$.

Exercice 5 : dans une corde

On étudie la propagation d'une perturbation créée à l'extrémité gauche (nommé point S) d'une corde de longueur $L = 5{,}0\ m.$ Cette perturbation se propage dans le sens des « x positifs » vers la droite : l'extrémité droite n'entraine pas de réflexion (le coefficient de réflexion est nul). On donne les représentations suivantes :



Étude de la perturbation en un point M



Étude de la perturbation à un instant t

1. Caractériser l'onde étudiée, à l'aide des adjectifs usuels.
2. Déterminer la valeur de la période T et la valeur de la période spatiale (ou longueur d'onde) λ, en précisant leur unité respective.
3. En déduire la valeur de la célérité de l'onde, v (en m/s).
4. Déterminer la valeur de la pulsation ω et du module d'onde k, en précisant leur unité respective.
5. En déduire l'expression numérique de l'onde $s(x,t)$. On donne la phase à l'origine $\varphi_0 = 0$.

A présent, on fixe l'extrémité droite de la corde. On considère qu'il n'y a pas de réflexion à l'extrémité gauche de la corde.

6. Donner alors la valeur du coefficient de réflexion r, à l'extrémité droite de la corde.
7. En déduire l'expression numérique de l'onde réfléchie, notée $s'(x,t)$
8. Calculer la fréquence du signal d'entrée, notée f.
9. Y-a-t-il apparition d'une onde stationnaire ici ? Justifier votre réponse.

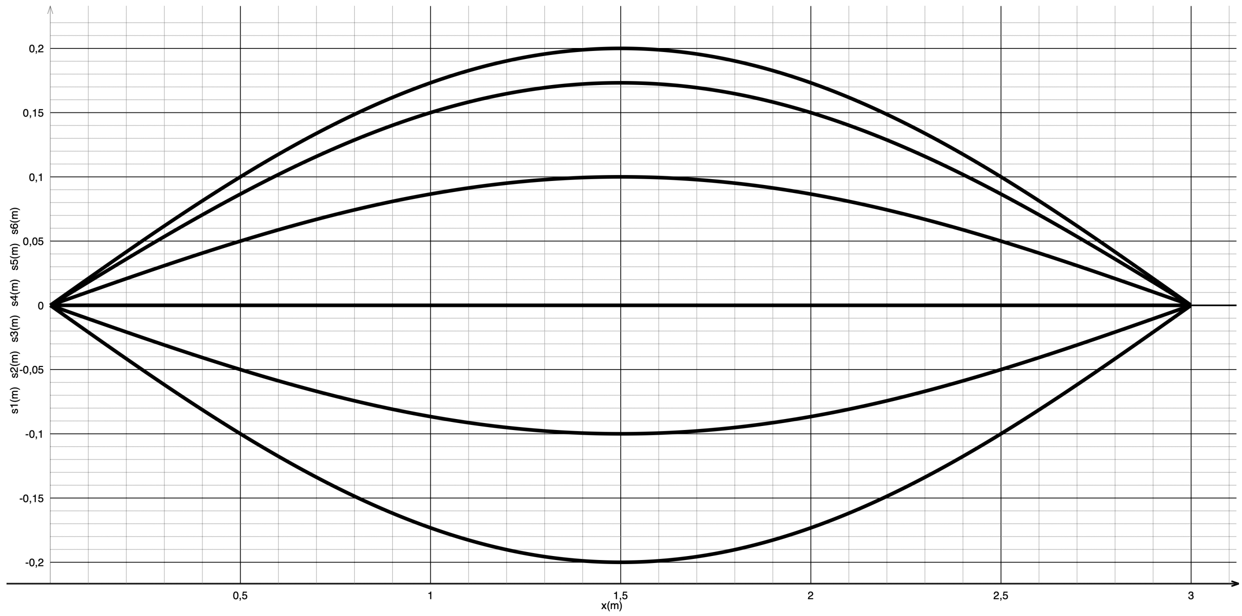
La fréquence du signal d'entrée est à présent égale à $f = 13{,}5\ Hz$ et on suppose que la corde est un milieu non dispersif (la célérité des OPPH ne dépend pas de la fréquence f).

10. Y-a-t-il apparition d'une onde stationnaire ici ? Justifier votre réponse.
11. Donner la valeur de la distance séparant deux nœuds de vibration.
12. Calculer le taux d'onde stationnaire dans ce cas.

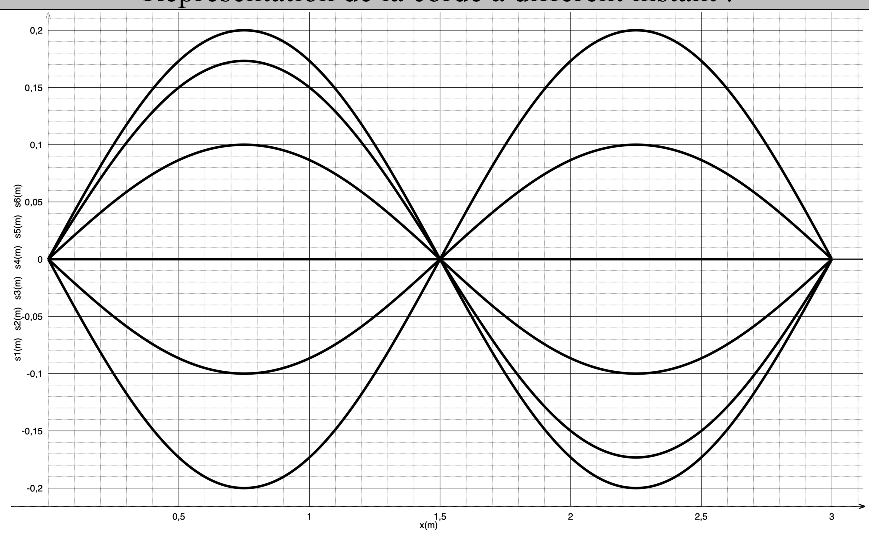
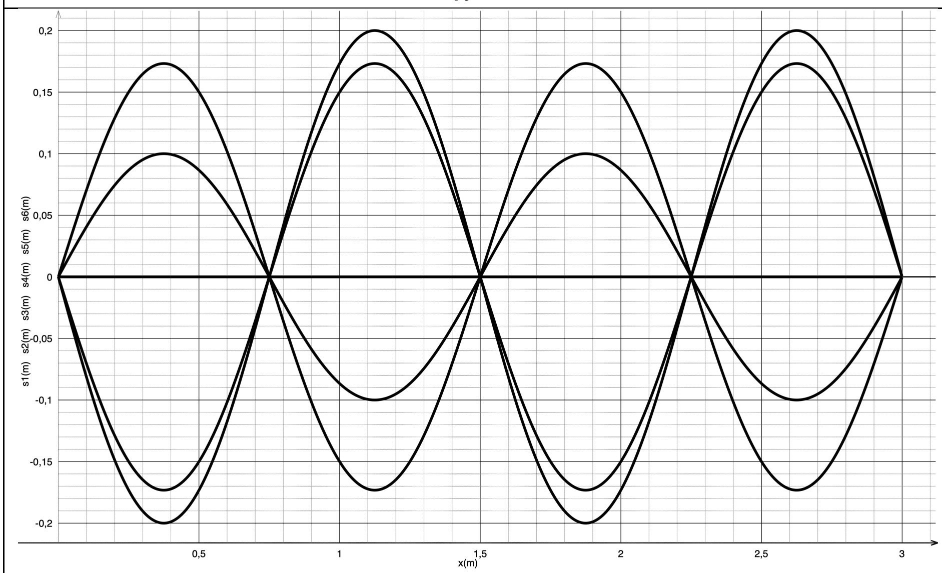
Exercice 6 : modes propres d'une corde

Les deux extrémités d'une corde sont fixes : on excite l'une des deux extrémités à la fréquence f_n correspondant aux fréquences des modes propres de la corde. La célérité des ondes est $v = 5{,}00 m/s$

On représente sur le graphe ci-dessous, la corde à différent instant, pour la plus petite fréquence f_n permettant l'apparition d'une résonance/ d'un mode propre.



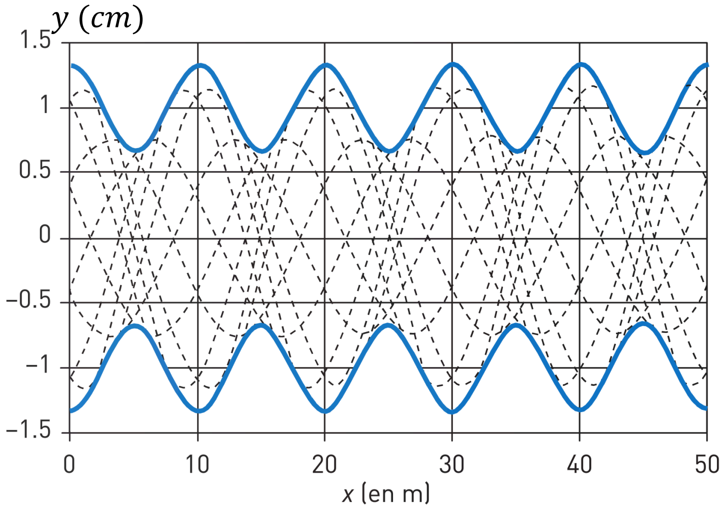
1. A l'aide du graphe ci-dessus, déterminer la valeur de la période spatiale (ou longueur d'onde) λ_1.
2. En déduire la valeur de la fréquence f_1.
3. Compléter le tableau ci-dessous :

Représentation de la corde à différent instant :	Mesure de λ_n	Valeur de f_n
 $n =$		
 $n =$		

4. Déterminer le taux d'onde stationnaire pour les deux cas du tableau.

Exercice 7 :

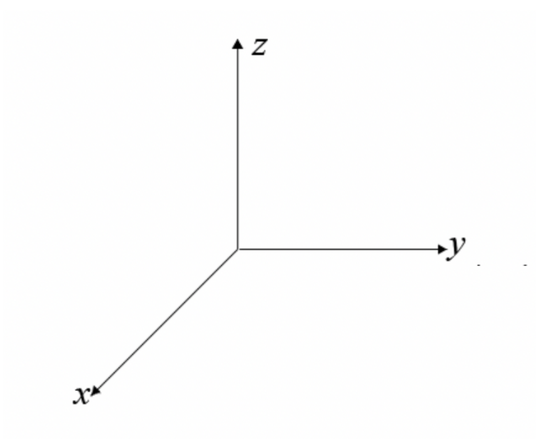
Les traits en pointillés représentent le profil d'une onde à différents instants.



Déterminer la valeur du taux d'onde stationnaire TOS puis en déduire la valeur absolue du coefficient de réflexion $|r|$. Puis en déduire la valeur de r.

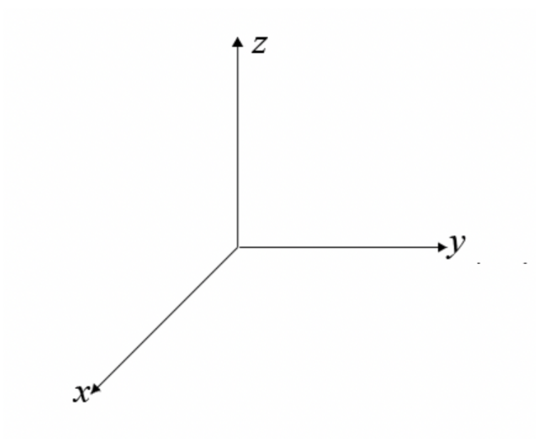
Exercice 08:

On note $(\overrightarrow{u_x}; \overrightarrow{u_y}; \overrightarrow{u_z})$ les vecteurs unitaires de la base cartésienne.



On étudie une onde électromagnétique plane progressive harmonique polarisée rectilignement se propageant dans le vide, dans le sens des « z décroissants ». Sa direction de polarisation est suivant l'axe *(Oy)*. L'amplitude du champ électrique est notée E_0.

1. Sur la base cartésienne ci-contre, schématiser le vecteur « sens de propagation » noté $\overrightarrow{e_{prop}}$ ainsi que le vecteur champ électrique $\vec{E}$.
2. Donner l'expression temporelle littérale de $\vec{E}$
3. A l'aide de la règle de la main droite, tracer le vecteur champ magnétique $\vec{B}$.
4. En déduire l'expression temporelle littérale de $\vec{B}$.



On étudie une onde électromagnétique plane progressive harmonique polarisée rectilignement se propageant dans le vide, dans le sens des « x croissants ». Sa direction de polarisation est suivant l'axe *(Oz)*. L'amplitude du champ électrique est notée E_0.

5. Sur la base cartésienne ci-contre, schématiser le vecteur « sens de propagation » noté $\overrightarrow{e_{prop}}$ ainsi que le vecteur champ électrique $\vec{E}$.
6. Donner l'expression temporelle littérale de $\vec{E}$.
7. A l'aide de la règle de la main droite, tracer le vecteur champ magnétique $\vec{B}$.
8. En déduire l'expression temporelle littérale de $\vec{B}$.

Exercice 09 :
On étudie l'OEMPPHPR, appelée onde incidente, se propageant dans le vide, dont le champ électrique est :
$$\overrightarrow{E_\iota} = E_0 \cos(\omega t - kz)\,\overrightarrow{u_x}$$
1. Qu'est-ce qui distingue fondamentalement une onde électromagnétique d'une onde mécanique ?
2. Quelles sont les formes des surfaces d'onde de l'onde incidente ?
3. Donner les périodes temporelle T et spatiale λ en fonction des pulsations temporelles et spatiales.
4. Préciser la direction et le sens de la propagation de l'onde incidente.
5. Exprimer la célérité c en fonction de λ et T.
6. Préciser la direction de polarisation.
7. Donner la relation de structure d'une OEMPP et en déduire l'expression littérale de $\overrightarrow{B_\iota}$ de l'onde incidente dans la base orthonormée $(\overrightarrow{u_x}, \overrightarrow{u_y}, \overrightarrow{u_z})$.

On superpose à l'onde précédente, une OEMPPMPR, appelée simplement onde réfléchie, de mêmes fréquence, amplitude, polarisation, vitesse et direction de propagation que l'onde incidente mais de sens de propagation opposé.

8. Donner les expressions littérales des champs électrique $\overrightarrow{E_r}$ et magnétique $\overrightarrow{B_r}$.

Exercice 10 :
Les véhicules modernes disposent de l'ouverture centralisée à partir d'une commande intégrée à la clé. Suivant la fonction que veut mettre en œuvre l'opérateur (ouverture des portes, fermeture…), un signal est émis par la clé sous forme d'onde électromagnétique.
On considère une onde électromagnétique pour laquelle l'expression du champ électrique est donnée en coordonnées cartésiennes par la formule : $\vec{E}(x,t) = E_0 \cos(\omega t - kx)\,\overrightarrow{e_z}$ où E_0 est une constante positive, ω est la pulsation de l'onde et t la variable temporelle.

1. À partir de l'expression de $\vec{E}$, préciser la direction et le sens de propagation de l'onde considérée.

La clé émet de façon isotrope, une onde de puissance moyenne $P_e = 50\ mW$.

2. Déterminer à $d = 10\ m$ la valeur de la puissance surfacique moyenne transportée par l'onde.
3. La fréquence de l'onde émise est $f = 400\ MHz$. En déduire la valeur de sa longueur d'onde.

Exercice 11 :
Le canal 25 de la TNT est émis sous forme d'OEMPPHPR en polarisation horizontale sur une fréquence de $f = 514\ MHz$. Changer odg de p_{iso}
On mesure une puissance surfacique de $p_{iso} = 19{,}1\ W.m^{-2}$ à une distance $d = 10km$ de l'émetteur.

1. Légender la figure 1 avec le vocabulaire suivant : direction de propagation, champ électrique, champ magnétique, direction de polarisation et longueur d'onde.

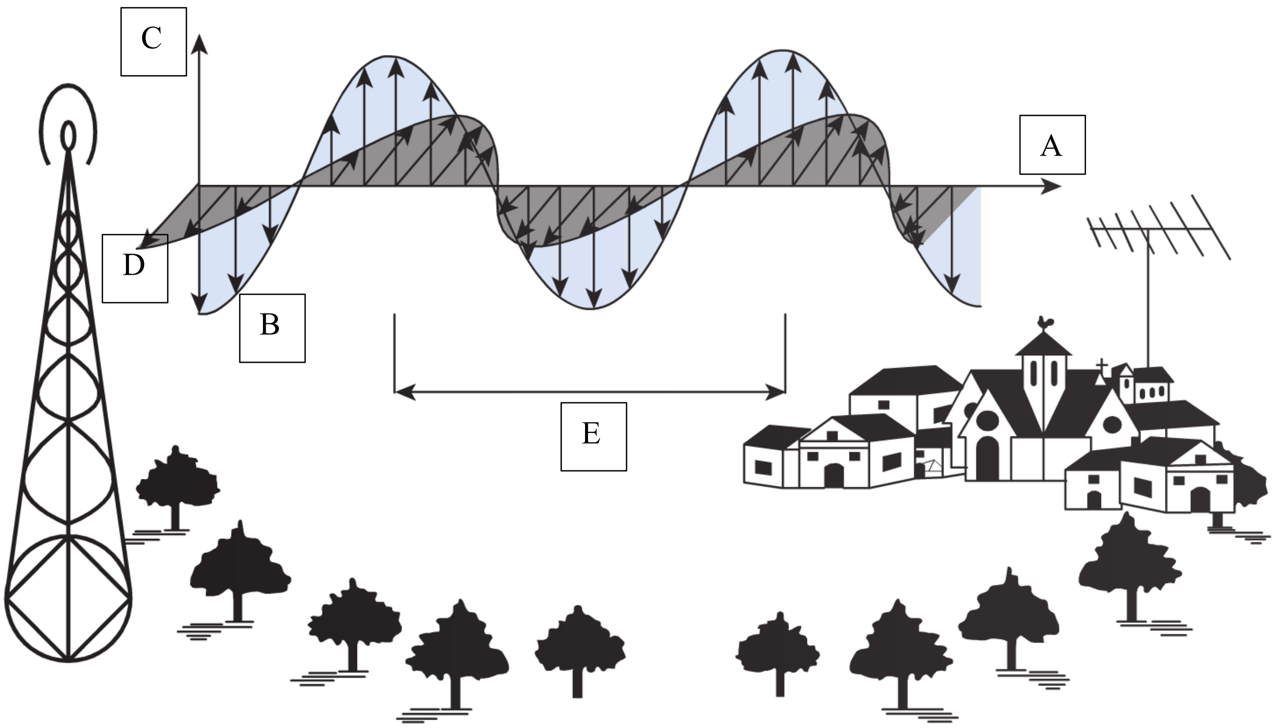


Figure 1 : *liaison hertzienne TNT.*

2. En supposant que l'onde EM émise se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes, en déduire la valeur de la puissance moyenne notée P_e de l'onde émise par l'antenne.
3. Calculer la valeur du la puissance surfacique du rayonnement à $20\ km$ de l'émetteur.

La limite maximale d'exposition au champ électrique pour ce cas précis correspond à une puissance surfacique maximale de $60\ W.m^{-2}$

4. En déduire la valeur de la distance minimale d'approche de l'antenne, notée d_{min}

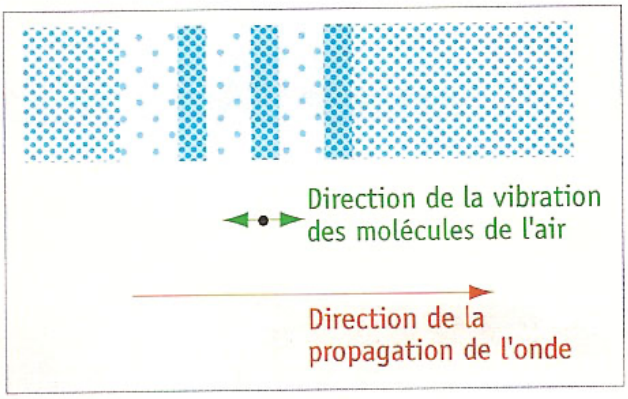
Activité sur les ondes sonores : un peu de réflexion, ça ne fait pas de mal

Rappel :
Une pression s'exprime en Pascal (notée Pa) et la pression atmosphérique P_{atm} vaut :

$$P_{atm} = 1{,}013 \times 10^5 Pa$$

Les ondes sonores et ultrasonores sont des ondes mécaniques : elles ne peuvent pas se propager dans le vide.

Le mouvement de la membrane d'un haut-parleur (ou de vos cordes vocales) crée des contractions et des dilatations des volumes d'air élémentaires, ce qui entraîne une modification de la pression atmosphérique P_{atm}.



Cette modification de pression se transmet de proche en proche aux molécules composant l'air environnant.
La pression résultante P en un point de l'espace environnant est :

$$P = P_{atm} + P_a$$

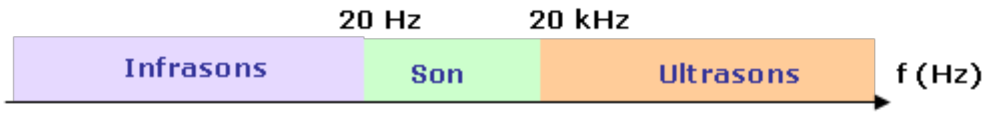
P_a représente la surpression acoustique. Son ordre de grandeur est P_a $10^{-5} Pa$.

Le phénomène qui se propage est une perturbation de la pression (compression puis dilatation)

Les ondes de surpression acoustique sont des ondes longitudinales.

- **Domaine audible pour les êtres humains :**

La perturbation de la pression atmosphérique est ici sinusoïdale de fréquence$f$:



L'être humain peut entendre des ondes de surpression acoustique dont les fréquences s'étalent de $20 Hz$ à $20 kHz$ environ : on nomme ces ondes, « ondes sonores ».
Les ondes de surpression acoustique dont la fréquence est supérieure à $20 kHz$, sont nommées « ultrasons ».
Les ondes de surpression acoustique dont la fréquence est inférieure à $20 Hz$, sont nommées « infrasons ».

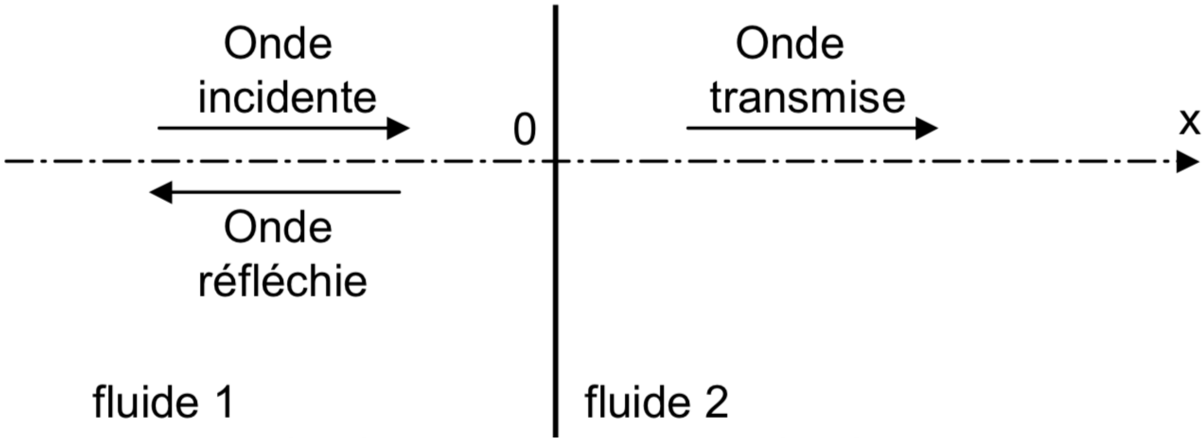
- **Impédance acoustique caractéristique du milieu :**

Pour une OPPH sonore se déplaçant dans le sens des x positif, on définit l'impédance acoustique caractéristique du milieu (fluide) par :

$$Z_{sonore} = \rho \times v$$

ρ:masse volumique du milieu (en $kg.m^{-3}$)
v: célérité de l'onde dans ce milieu (en m/s
Z_{sonore}: impédance acoustique du milieu (en $kg.m^{-2}.s^{-1}$)

On étudie la réflexion d'une onde ultrasonore plane progressive harmonique, nommée onde incidente, lors du changement de milieu de propagation (du fluide 1 au fluide 2).



On note :
Z_1: impédance acoustique du milieu 1 (en $kg.m^{-2}.s^{-1}$)
Z_2: impédance acoustique du milieu 2 (en $kg.m^{-2}.s^{-1}$)

Le coefficient de réflexion en amplitude, noté r (sans unité), lors du passage d'une OPPH sonore, du fluide 1, d'impédance acoustique Z_1 au fluide 2, d'impédance acoustique Z_2 peut se déterminer ainsi :

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

r: coefficient de réflexion en amplitude, sans unité
Z_1: impédance acoustique du milieu contenant l'onde incidente (en $kg.m^{-2}.s^{-1}$)
Z_2: impédance acoustique du milieu contenant l'onde transmise (en $kg.m^{-2}.s^{-1}$)

1. Compléter le tableau suivant, en déterminant la valeur du coefficient de réflexion r de l'onde :

$Z_2 = 0\ kg.m^{-2}.s^{-1}$	$Z_2 \to +\infty$	$Z_2 = Z_1$
$r =$	$r =$	$r =$

2. Quelle valeur de Z_2 correspond à une adaptation d'impédance ?

Pour différents milieux, on donne les caractéristiques suivantes :

Milieu	Eau	Air	Peau
ρ: masse volumique du milieu (en $kg.m^{-3}$)	$1{,}0 \times 10^3$	$1{,}2$	$1{,}5 \times 10^3$
v: célérité de l'onde, en m/s	$1{,}5 \times 10^3$	$3{,}4 \times 10^2$	$1{,}0 \times 10^3$

3. Pour l’interface air/peau, calculer le coefficient de réflexion en amplitude, noté r.

4. En déduire la valeur du taux d’onde stationnaire TOS qui peut se créer dans l’air.

5. Pour l’interface eau/peau, calculer les coefficients de réflexion en amplitude.

6. En déduire la valeur du taux d’onde stationnaire TOS qui peut se créer dans l’eau.

7. Que permet d’effectuer le gel (à base d’eau) que l’on étale sur la peau avant une échographie ?