Définissons les angles d'incidence et de réfraction :

a) **L'angle d'incidence (1)** est l'angle formé par la direction de propagation de l'onde incidente et la normale (la perpendiculaire) à l'obstacle.

b**) L'angle de réflexion (2)** est l'angle formé par la direction des ondes réfractées et la normale.

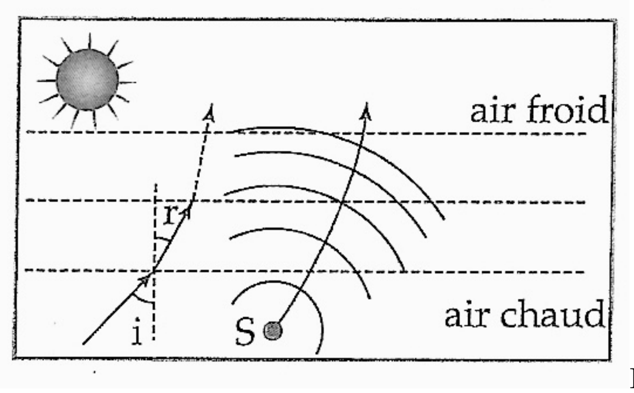
Nous voyons ci-contre que :

si v1 v2 alors 1 2 (l'onde se rapproche de la normale).

Quelle est la relation entre les vitesses et les angles d'incidence et de réfraction ?

Applications de la réfraction

On sait que le son se propage plus loin la nuit que le jour, lorsqu'un son est produit au niveau du sol. Pourquoi cette différence ?



Durant la journée, la température de l'air diminue quand on s'élève en altitude. En effet, le sol chauffe plus rapidement que l'atmosphère.

Or, **la vitesse du son diminue lorsque la température diminue.**

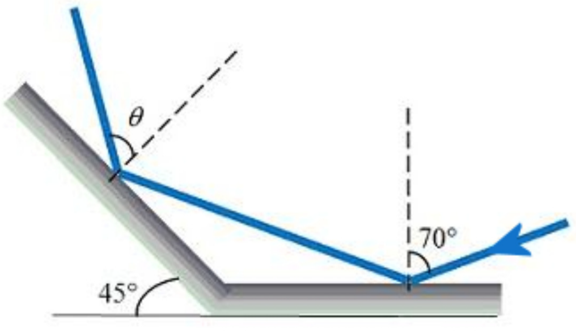
Nous avons vu que lorsque la vitesse d'une onde diminue, l'onde se réfracte de telle sorte que l'angle de réfraction r soit inférieur à l'angle d'incidence i.

En traversant différentes couches d'air de plus en plus froides en s'élevant, le son est dévié vers le haut. Un observateur au sol n'entendra plus le son.

Durant la nuit, le phénomène inverse se passe. La température de l'air augmente quand on s'élève. En effet, le sol se refroidit plus vite que l'atmosphère.

La vitesse du son augmente lorsque la température augmente et donc la vitesse de l'onde réfractée est plus grande que la vitesse de l'onde émise. L'angle de réfraction sera plus grand que l'angle d'incidence et l'onde, étant réfractée vers le sol, se rapproche du sol et le son porte plus loin.

EXERCICE 1

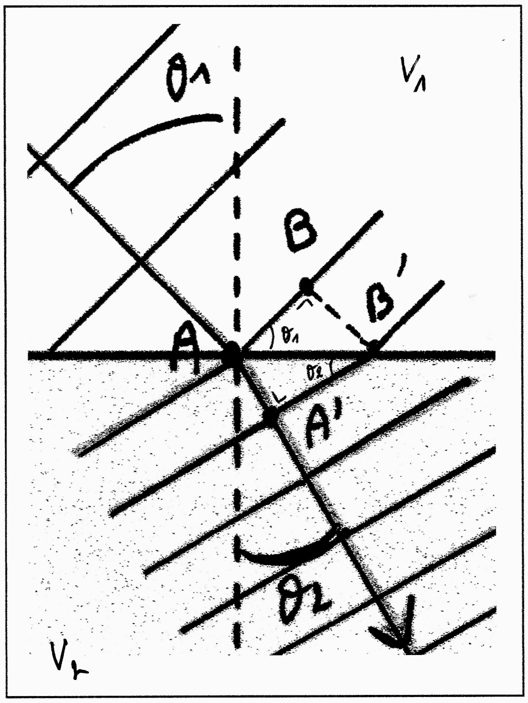


Dans le cadre d'un phénomène de réflexion : quel est l'angle sur cette figure ?

(Réponse : 65°)

EXERCICE 2 (N° 6 du livre p 78)

Si $V_1 > V_2$



Le temps mis par l'onde dans le milieu 1 pour se déplacer de B à B' est le même que le temps mis par l'onde dans le milieu 2 pour aller de A à A' ($V_1 > V_2$)

Or le temps est le rapport de la distance sur la vitesse

$$t_{BB'} = t_{AA'}$$

$$\Rightarrow \frac{BB'}{V_1} = \frac{AA'}{V_2} \quad (*)$$

et nous avons :

$$\sin\theta_1 = \frac{BB'}{AB'} \Rightarrow BB' = AB' \sin\theta_1$$

$$\sin\theta_2 = \frac{AA'}{AB'} \Rightarrow AA' = AB' \sin\theta_2$$

$$(*) \Rightarrow \frac{\cancel{AB'}\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\cancel{AB'}\sin\theta_2}{V_2}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\sin\theta_2}{V_2} \Rightarrow \boxed{\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{V_1}{V_2}}$$ Loi de Snell

$\Rightarrow$ Lorsqu'une onde change de milieu, elle change de direction de telle sorte que :

- Si $V_1 > V_2 \Rightarrow \theta_1 > \theta_2 \Rightarrow$ l'onde se rapproche de la normale
- Si $V_1 < V_2 \Rightarrow \theta_1 < \theta_2 \Rightarrow$ l'onde s'éloigne de la normale

Fig. 19 :

$$\frac{Sin\,\vartheta_1}{Sin\,\vartheta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Fig. 20 :

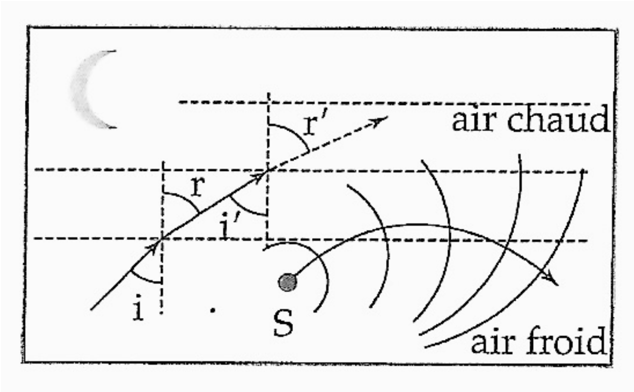
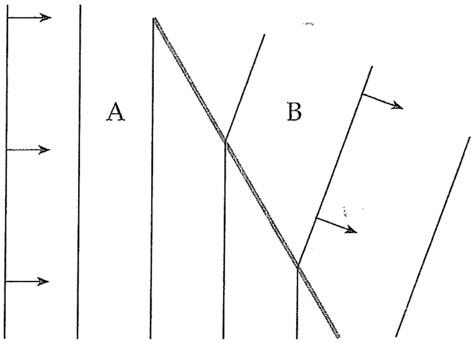


Fig. 21 :



La figure ci-contre représente le passage d'une onde d'un milieu A vers un milieu B.

a) Dans lequel de ces deux milieux la vitesse de propagation est-elle la plus élevée ?

b) Si la fréquence des ondes est de 50 Hz et que la figure est à l'échelle 1 :1, calculer la vitesse de l'onde dans chaque milieu.

EXERCICE 3

Construire le schéma de réfraction d'une onde ayant une vitesse incidente v1 et une vitesse v2 dans le second milieu, avec **v1 = 1,5 v2** ; pour les angles d'incidence suivants :

a) i = 10°

b) i = 30 °

c) i = 41,5 °

d) i = 89°

EXERCICE 4

Construire le schéma de réfraction d'une onde ayant une vitesse incidente v1 et une vitesse v2 dans le second milieu, avec **v2 = 1,5 v1** ; pour les angles d'incidence suivants :

a) i = 10°

b) i = 30 °

c) i = 41,5 °

d) Calculer l'angle limite de réfraction

e) Construire la propagation de l'onde pour un angle d'incidence i = 50 °

EXERCICE 5 (N°8 du livre p 78)

Quel est l'angle d'incidence maximal pour qu'une onde sonore émise dans l'air puisse être réfractée dans l'eau sans subir de réflexion totale à la surface de l'eau ?

EXERCICE 6 (N° 7 DU LIVRE P 78)

Dans un canal de navigation de 25 mètres de large, une onde ; dont la longueur d'onde est de 1,5 m, ; se propage à la vitesse de 2 m/s. Que devient cette longueur d'onde lorsque l'onde arrive dans une partie moins profonde du canal où la vitesse de propagation est réduite à 1,6 m/s ?

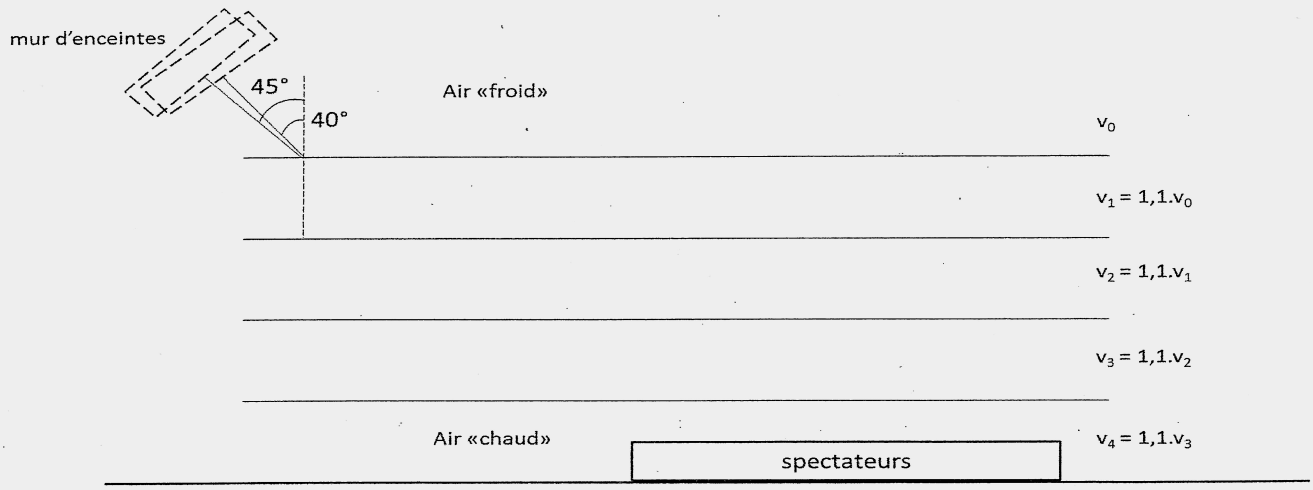
EXERCICE 7

Réfraction des ondes sonores

Ondes sonores réfractées lors d'un concert en plein air

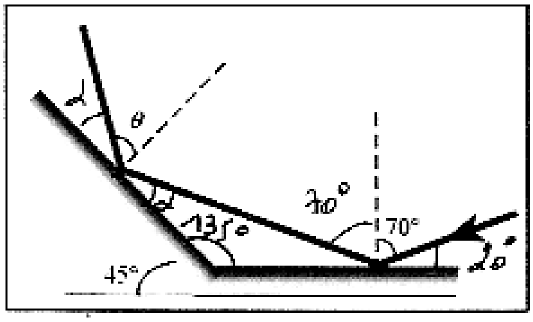
Lors d'un concert en plein air, un mur d'enceintes disposé en hauteur émet des ondes sonores, que l'on supposera localement planes. Par ailleurs, la présence de la foule des spectateurs engendre une augmentation de la température de l'air juste au-dessus d'eux, ce qui provoque un gradient de température entre la source du son et les spectateurs. On modélise cette variation continue de la température en fonction de l'altitude par une succession de couches horizontales où la température est constante (voir schéma ci-dessous).

Sachant que la vitesse de propagation du son dans l'air augmente avec la température, représenter la direction de propagation dans les différentes couches sur le schéma, pour $i = 40°$ puis pour $i = 45°$. En déduire l'importance du choix de l'angle d'incidence (orientation du mur d'enceintes) pour le bon déroulement du concert.



EXERCICE 1

Dans le cadre d'un phénomène de réflexion : quel est l'angle θ sur cette figure?
(Réponse : 65°)



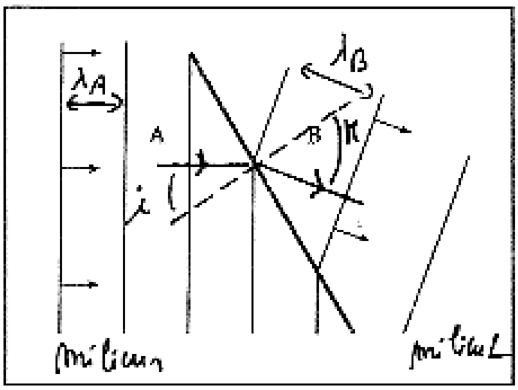
1) La somme des angles dans un triangle = 180°

$\Rightarrow 135° + 20° + \alpha = 180° \Rightarrow \alpha = 180° - 155° = 25°$

2) $\theta + \alpha = 90° \Rightarrow \theta = 90° - 25° = \boxed{65° = \theta}$

EXERCICE 2 (N° 6 du livre p 78)

La figure ci-contre représente le passage d'une onde d'un milieu A vers un milieu B.
a) Dans lequel de ces deux milieux la vitesse de propagation est-elle la plus élevée ?



Il s'agit d'un phénomène de réfraction, l'onde change de direction et de λ.
On voit sur la figure que $\lambda_A < \lambda_B$
Nous savons que $f_A = f_B$ (notons-la f) car il s'agit de la même source pour l'onde.
OR $v = \lambda f$

$\Rightarrow \begin{cases} V_A = \lambda_A f \\ V_B = \lambda_B f \end{cases}$ comme $\lambda_A < \lambda_B \Rightarrow \boxed{V_A < V_B}$
$\Rightarrow$ la vitesse de l'onde augmente.
La plus grande vitesse est dans le milieu B

b) Si la fréquence des ondes est de 50 Hz et que la figure est à l'échelle 1:1, calculer la vitesse de l'onde dans chaque milieu.

$f = 50\,Hz$

$\lambda_A = 1\,cm$
$\lambda_B = 1,5\,cm$ } Mesurés à la latte sur le schéma puisque l'échelle est à 1:1

$V_A = \lambda_A \cdot f = 1 . 50 = \boxed{50\,\frac{cm}{s} = V_A}$

$V_B = \lambda_B \cdot f = 1,5 . 50 = \boxed{75\,\frac{cm}{s} = V_B}$

Sur le schéma, j'ai représenté i (angle d'incidence) et r (angle de réfraction)
On voit que $i < r \Rightarrow$ l'onde s'éloigne de la normale.

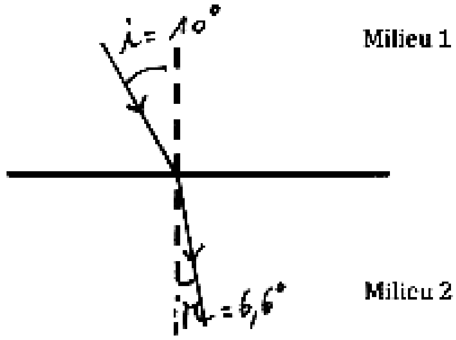
M

EXERCICE 3

Construire le schéma de réfraction d'une onde ayant une vitesse incidente v1 et une vitesse v2 dans le second milieu, avec v1 = 1,5 v2 ; pour les angles d'incidence suivants :

a) i = 10°

Réfraction $\Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$



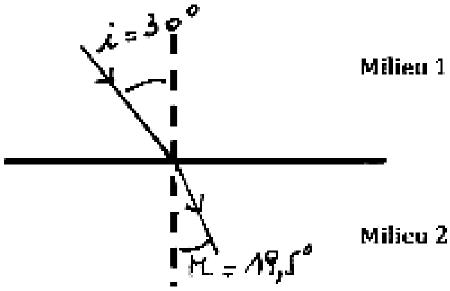
Cherchons r ?

$\sin r = \frac{V_2}{V_1} \cdot \sin i \Rightarrow \boxed{r = \text{Arcsin}\left(\frac{V_2}{V_1} \cdot \sin i\right)}$

$r = \text{Arcsin}\left(\frac{\cancel{V_2}}{1{,}5 \cdot \cancel{V_2}} \cdot \sin 10°\right) = \text{Arcsin}\left(\frac{\sin 10°}{1{,}5}\right)$

$\Rightarrow r = 6{,}6°$

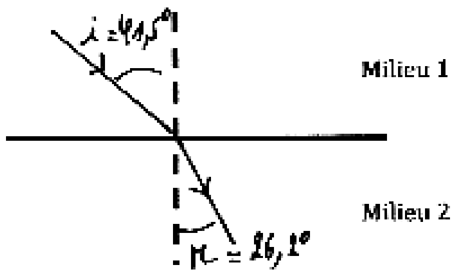
b) i = 30 °



$r = \text{Arcsin}\left(\frac{\cancel{V_2}}{1{,}5 \cdot \cancel{V_2}} \sin 30°\right) = \text{Arcsin}\left(\frac{\sin 30°}{1{,}5}\right)$

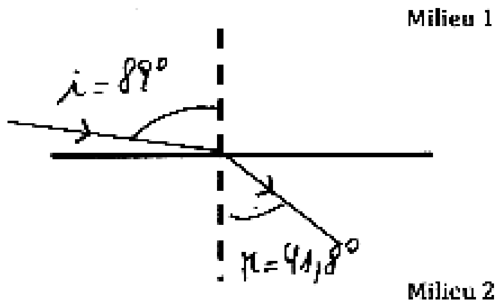
$r = 19{,}5°$

c) i = 41,5 °



$r = \text{Arcsin}\left(\frac{\sin 41{,}5°}{1{,}5}\right) = 26{,}2°$

d) i = 89°



$r = \text{Arcsin}\left(\frac{\sin 89°}{1{,}5}\right) = 41{,}8°$

Nous voyons bien que lorsque $V_1 > V_2$ $(V_1 = 1{,}5\, V_2)$, l'onde réfractée se rapproche de la normale.

12.

EXERCICE 4

Construire le schéma de réfraction d'une onde ayant une vitesse incidente v1 et une vitesse v2 dans le second milieu, avec v2 = 1,5 v1 ; pour les angles d'incidence suivants :

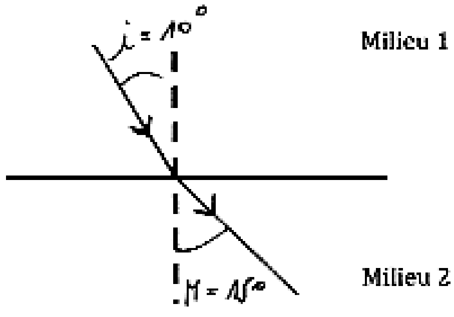
a) i = 10°

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow r\ ?$$

$$\sin r = \frac{V_2}{V_1}\sin i \Rightarrow \boxed{r = \mathrm{Arcsin}\left(\frac{V_2}{V_1}\sin i\right)}$$

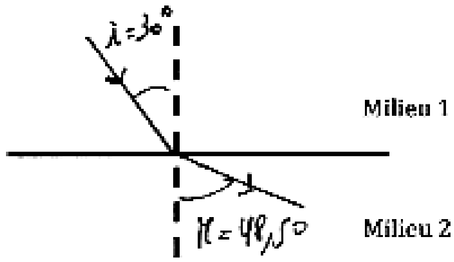
$$r = \mathrm{Arcsin}\left(\frac{1{,}5\cancel{V_1}}{\cancel{V_1}}\sin 10°\right) = \mathrm{Arcsin}(1{,}5 . \sin 10°)$$

$$\Rightarrow r = 15°$$



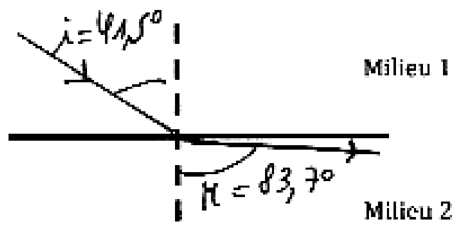
b) i = 30 °

$$r = \mathrm{Arcsin}(1{,}5 . \sin 30°) = 48{,}5°$$



c) i = 41,5 °

$$r = \mathrm{Arcsin}(1{,}5 . \sin 41{,}5°) = 83{,}7°$$



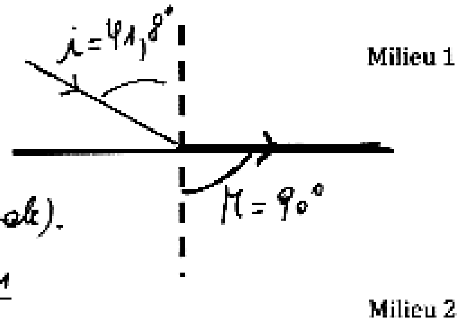
d) Calculer l'angle limite de réfraction

Nous voyons qu'il y aura un certain angle i (i limite) pour lequel r = 90°.
⇒ Il n'y aura plus de réfraction (plus de passage de l'onde dans le milieu 2 mais réflexion totale).

$$\text{Si } r = 90° \Rightarrow \text{Comme } \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \frac{\sin i}{1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\Rightarrow \boxed{i_{\text{limite}} = \mathrm{Arcsin}\frac{V_1}{V_2}}$$

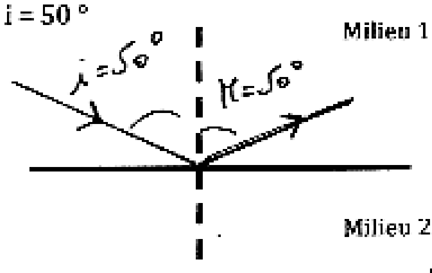
Dans notre cas : $i_{\text{limite}} = \mathrm{Arcsin}\dfrac{V_1}{1{,}5V_1} = \mathrm{Arcsin}\left(\dfrac{1}{1{,}5}\right) = 41{,}8°$



e) Construire la propagation de l'onde pour un angle d'incidence i = 50 °

⇒ $i > i_{\text{limite}}$ ⇒ il n'y aura plus de réfraction mais réflexion
⇒ $r_{\text{réflexion}} = i = 50°$

(C'est un principe utilisé par les fibres optiques)



13

EXERCICE 5 (N°8 du livre p 78)

Quel est l'angle d'incidence maximal pour qu'une onde sonore émise dans l'air puisse être réfractée. dans l'eau sans subir de réflexion totale à la surface de l'eau ?

⇒ Il s'agit d'un phénomène de réfraction.
Pour éviter la réflexion totale : $i < i_{limite}$.

$i_{limite} = \operatorname{Arcsin} \frac{V_1}{V_2}$ avec $\begin{cases} V_1 = V_{onde\ ds\ air} = 340\ \frac{m}{s} \\ V_2 = V_{onde\ ds\ eau} = 1500\ \frac{m}{s} \end{cases}$

$i_{limite} = \operatorname{Arcsin} \frac{340}{1500} = \boxed{13,1° = i_{limite}}$

EXERCICE 6 (N° 7 DU LIVRE P 78)

Dans un canal de navigation de 25 mètres de large, une onde; dont la longueur d'onde est de 1,5 m,; se propage à la vitesse de 2 m/s. Que devient cette longueur d'onde lorsque l'onde arrive dans une partie moins profonde du canal où la vitesse de propagation est réduite à 1,6 m/s ?

$\lambda_1 = 1,5\ m$
$V_1 = 2\ \frac{m}{s}$
λ_2 ?
$V_2 = 1,6\ \frac{m}{s}$

Réfraction car il y a changement de milieu.
OR $f_1 = f_2$ (= f de la source : ici, le vent)

$\Rightarrow \begin{cases} V_1 = \lambda_1 f \\ V_2 = \lambda_2 f \end{cases} \Rightarrow f = \frac{V_1}{\lambda_1} = \frac{V_2}{\lambda_2}$

$\Rightarrow \lambda_2 = \frac{V_2 \lambda_1}{V_1} = \frac{1,6 \cdot 1,5}{2} = \boxed{1,2\ m = \lambda_2}$

14

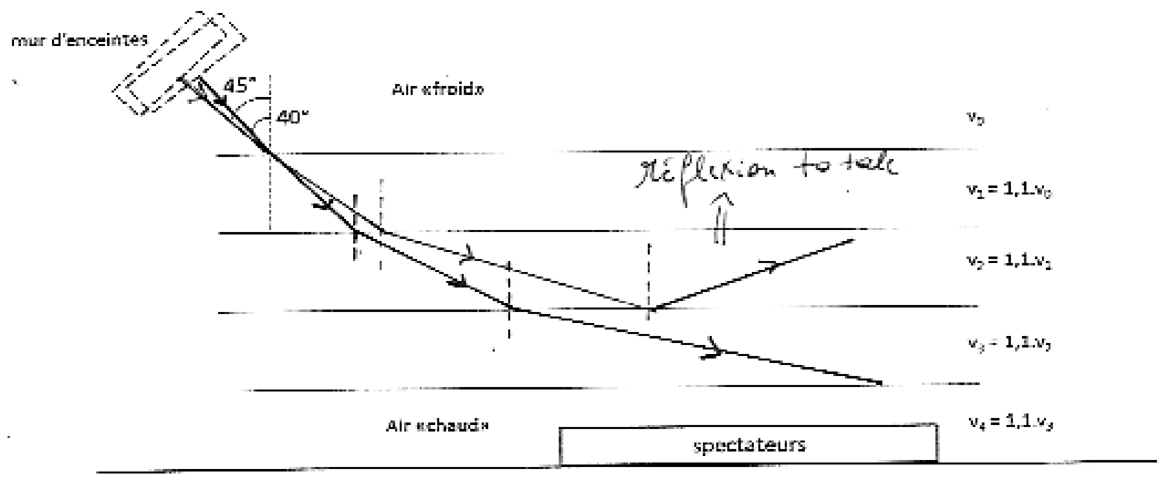
EXERCICE 7

Réfraction des ondes sonores

Ondes sonores réfractées lors d'un concert en plein air

Lors d'un concert en plein air, un mur d'enceintes disposé en hauteur émet des ondes sonores, que l'on supposera localement planes. Par ailleurs, la présence de la foule des spectateurs engendre une augmentation de la température de l'air juste au-dessus d'eux, ce qui provoque un gradient de température entre la source du son et les spectateurs. On modélise cette variation continue de la température en fonction de l'altitude par une succession de couches horizontales où la température est constante (voir schéma ci-dessous).

Sachant que la vitesse de propagation du son dans l'air augmente avec la température, représenter la direction de propagation dans les différentes couches sur le schéma, pour i = 40° puis pour $i = 45°$. En déduire l'importance du choix de l'angle d'incidence (orientation du mur d'enceintes) pour le bon déroulement du concert.



Pour $i = 40°$

1) $V_1 = 1{,}1 \cdot V_0$ et $i = 40°$

$r = \text{Arcsin}\left(\frac{V_1}{V_0}\sin i\right) = \text{Arcsin}\left(\frac{1{,}1 V_0}{V_0}\sin i\right)$

$r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin i)$

$r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 40°) = 45°$

2) $V_2 = 1{,}1 \cdot V_1$ et $i = 45°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 45°) = 51°$

3) $V_3 = 1{,}1 \cdot V_2$ et $i = 51°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 51°) = 59°$

4) $V_4 = 1{,}1 \cdot V_3$ et $i = 59°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 59°) = 70{,}5°$

Pour $i = 45°$

1) $V_1 = 1{,}1 \cdot V_0$ et $i = 45°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 45°) = 51°$

2) $V_2 = 1{,}1 \cdot V_1$ et $i = 51°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 51°) = 59°$

3) $V_3 = 1{,}1 \cdot V_2$ et $i = 59°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 59°) = 70{,}5°$

4) $V_4 = 1{,}1 \cdot V_3$ et $i = 70{,}5°$

$\Rightarrow r = \text{Arcsin}(1{,}1 \cdot \sin 70{,}5°) =$ n'$\nexists$

↳ Il y a réflexion totale car $i > i_{limite}$

$i_{limite} = \text{Arcsin}\frac{V_3}{V_4} = \text{Arcsin}\frac{1}{1{,}1} = 65{,}4°$

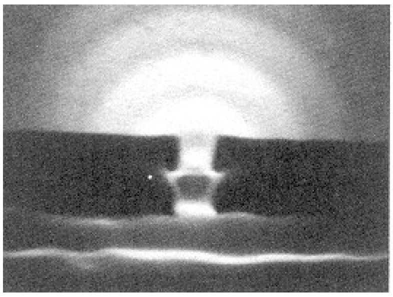


Fig. 22 :

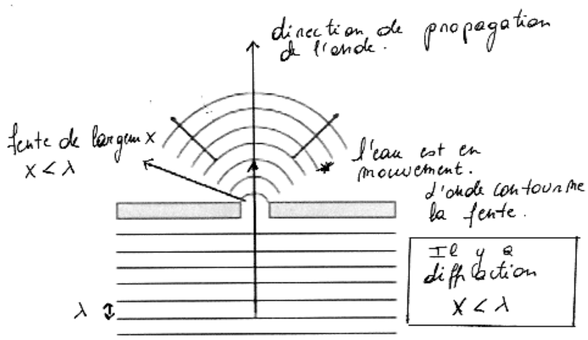


Fig. 23 :

3. La diffraction des ondes

Tant qu'une onde ne change pas de milieu ou ne rencontre pas d'obstacles, elle se propage en ligne droite. Que se passe-t-il lorsqu'elle passe près d'obstacles ?

Nous entendons facilement au milieu de la classe, des bruits venant du couloir lorsque la porte est ouverte. De même, nous percevons très bien des bruits provenant de l'extérieur et ce par une fenêtre ouverte. ***Une onde ne devrait-elle pas être arrêtée par un obstacle ?***

3.1 Observations avec la cuve à onde.

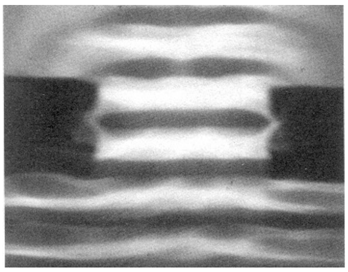
3.1.1 - Passage à travers une fente

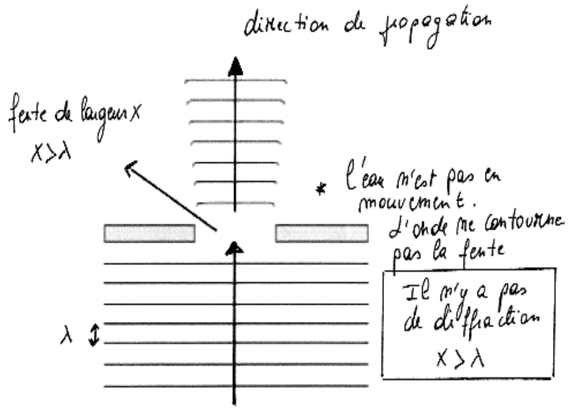
Considérons des ondes planes, produites dans une cuve à onde, come nous l'avons vu au cours.

Les images ci-dessous sont vues de haut, les ondes se propagent du bas vers le haut.

Nous les voyons passer à travers une fente ***de largeur que nous noterons x***.

OBSERVATION AVEC LA CUVE A ONDESCHEMAS





Comment expliquer que nous entendions facilement au milieu de la classe, des bruits venant du couloir lorsque la porte est ouverte alors que nous savons que la propagation des ondes est rectiligne ?

3.1.2. Le principe de Huygens.

Pour expliquer ces observations, Huygens a élaboré une théorie ondulatoire (1818) qui permet d'expliquer ce phénomène de diffraction.

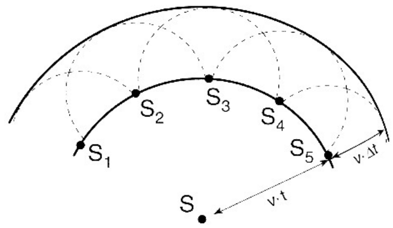


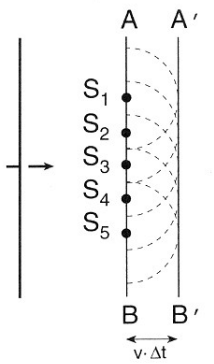
FIG. 24 :

Principe de Huygens : tout point atteint par une onde se comporte comme une nouvelle source d'ondes circulaires de même fréquence, c'est-à-dire que ce point génère des ondes circulaires de même fréquence.

a) Pourquoi une onde circulaire continue-t-elle à se propager de façon circulaire ?

Imaginons une goutte d'eau qui tombe à la surface de l'eau en un point S. Une onde circulaire va se propager et atteindre les points S1, S2, S3, S4, ... Chacun de ces points atteints par l'onde va générer des ondes circulaires de même fréquence (et donc de même longueur d'onde si le milieu est inchangé).

C'est ainsi qu'une onde circulaire continue à se propager de façon circulaire.



b) Pourquoi une onde plane continue-t-elle à se propager de façon plane ?

Soit une tige plane produisant des ondes planes. Le front d'ondes arrive sur la ligne AB. En vertu du principe de Huygens, chaque point du segment AB (S1, S2, S3, S4, S5) produit des ondes circulaires et nous voyons que toutes ces ondes vont former finalement sur le segment A'B' une onde plane.

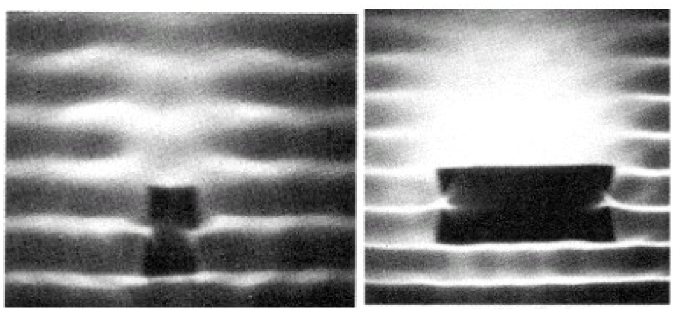
Une onde plane se propage donc en restant une onde plane.

3.1.3. Passage (ou non) derrière un obstacle.

Au lieu de faire passer une onde à travers une fente, nous pouvons aussi lui faire rencontrer un obstacle.

Nous l'avons observé avec la cuve à onde et vu que :

- Si les dimensions de l'obstacle sont grandes devant la longueur d'onde, l'onde ne contourne pas l'obstacle.
- Si les dimensions de l'obstacle sont petites devant la longueur d'onde, l'onde contourne l'obstacle.



3.2 – CONCLUSIONS

La diffraction est le comportement des ondes lorsqu'elles rencontrent un obstacle ou une ouverture.

Plus la longueur d'une onde est grande par rapport aux dimensions de l'obstacle (ou la largeur de l'ouverture), plus cette onde aura de facilité à contourner (à envelopper) l'obstacle.

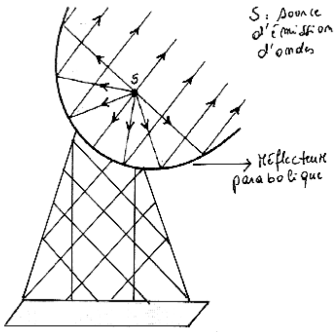
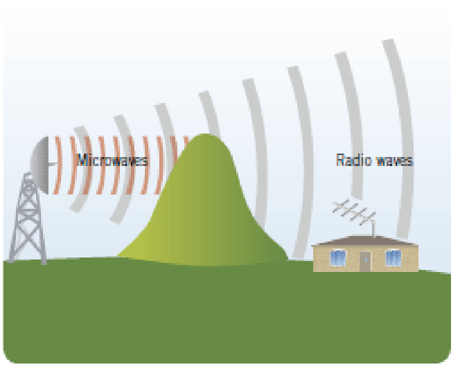


FIG. 25 :

3.3. Applications



a) Réception des ondes radio en fonction de la longueur d'onde

Ainsi les grandes ondes radio (longueurs d'onde hectométriques et kilométriques) peuvent pénétrer dans le moindre recoin de la surface terrestre tandis que les retransmissions de télévision par satellite (courtes longueurs d 'ondes) ne sont possibles que si l'antenne de réception « voit » le satellite.

b) Les antennes paraboliques

Pourquoi les réflecteurs des antennes paraboliques sont-ils de si grandes dimensions ?

En plaçant la source S au foyer du réflecteur parabolique, on produit, par réflexion, un faisceau parallèle de telle sorte que presque toute l'énergie partira dans une seule direction (vers un satellite, vers un relais, ...).

Il faut cependant que la longeur d'onde de l'onde émise soit plus petite que le diamètre du réflecteur pour ***éviter la diffraction*** (et donc que l'onde ne contourne pas le réflecteur) ***(x).***

Le remarque est identique pour des antennes paraboliques réceptrices d'ondes.

c) Echolocation

Certains animaux, dauphins, chauve-souris) émettent des ondes acoustiques et ensuite captent les ondes réfléchies par les objets environnants, détectant ainsi les obstacles et proies éventuelles. Il faut pour cela que la longueur d'onde soit inférieure aux dimensions de l'obstacle à détecter. (Il faut donc ici peu de diffraction et le maximum de réflexion).

En effet, si la longueur d'onde était plus grande que les objets, il y aurait trop de diffraction derrière

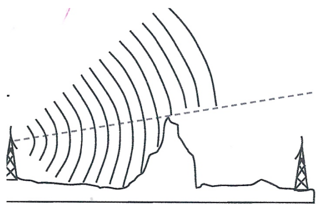
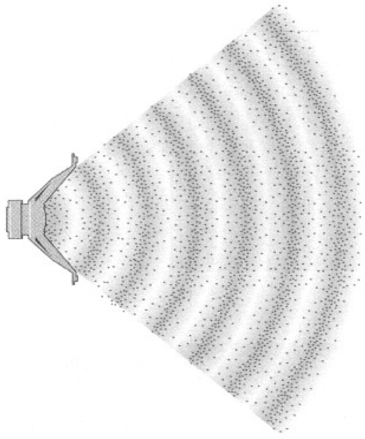


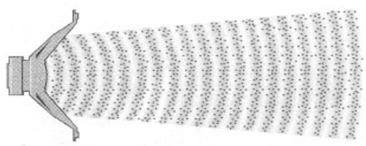
FIG. 26 :

celui-ci et il y aurait peu d'onde réfléchie.

C'est pour cela que les dauphins et chauve-souris émettent des ondes acoustiques de fréquence élevée et donc de longueur d'onde très faible pour ***éviter la diffraction (x)**.*. Ces ondes seront donc des ultrasons.

C'est aussi le principe du sonar et du radar.





d) Les dimensions d'un haut-parleur

Un haut-parleur se comporte comme une fente traversée par une onde.

Un haut-parleur doit envoyer une onde de grande longueur d'onde devant le diamètre du haut-parleur ***(x) pour favoriser la diffraction*** de façon à diffuser les sons dans un cône assez ouvert.

EXERCICES SUR LE PHENOMENE DE DIFFRACTION

14 *EXERCICE 1*

15 Peut-on recevoir derrière une colline de 100 mètres de largeur des ondes radio de 30 000 Hz si l'émetteur se trouve au bas de la colline ?

EXERCICE 2

Les chauves-souris émettent des sons de haute fréquence pour situer les objets qui les entourent. La fréquence la plus élevée émise par une espèce de chauve-souris est égale à 50 kHz. Quelles sont les dimensions minimales des insectes qu'elle pourra détecter fiablement ?

EXERCICE 3

Une station radio émet sur une fréquence de 101 MHz.

Les habitants d'un village situé au fond d'une vallée, dont les dimensions sont de l'ordre du kilomètre vont-il bien capter cette station ?

EXERCICE 4

Pour se situer par rapport à d'éventuels obstacles, un dauphin produit des ultrasons de fréquence f=40 kHz.

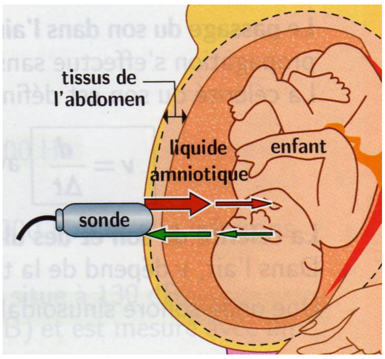
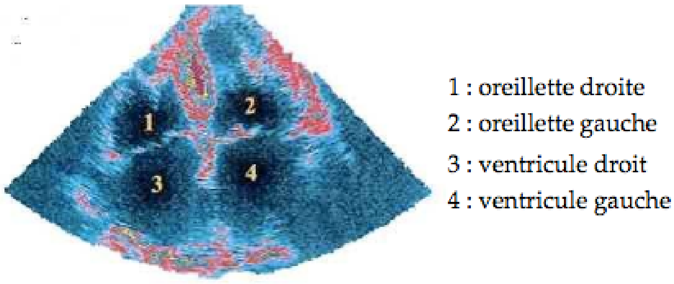


FIG. 27 :

Quelle est la dimension de la plus petite proie que le dauphin peut attraper, les yeux fermés ?



EXERCICE 5

Des ondes ultrasonores de fréquence 2,00 MHz sont utilisées pour réaliser l'échographie du cœur. Dans les tissus cardiaques, leur vitesse de propagation est de l'ordre de 1,5 km/s.

Ces ondes peuvent-elle être diffractées par le cœur ?

EXERCICE 6

L'échographie est une technique d'imagerie médicale fréquemment utilisée notamment pour suivre le développement des fœtus et la détection d 'anomalies éventuelles.

Un examen échographique est réalisé avec une sonde qui émet des impulsions ultrasonores de fréquence 4 MHz. La vitesse des ondes dans le milieu concerné est de 1540 m/s.

Cet examen fonctionne comme un sonar en numérisant à la fin le signal réfléchi en image.

a) Explique pourquoi on utilise des ultrasons plutôt que des ondes de plus petite fréquence

a) L'appareil décrit permet-il de détecter un embryon qui ne mesure que 5mm ? Justifie ta réponse

EXERCICES SUR LE PHENOMENE DE DIFFRACTION

16 *EXERCICE 1*

17

18 Peut-on recevoir derrière une colline de 100 mètres de largeur des ondes radio de 30 000 Hz si l'émetteur se trouve au bas de la colline ?

EXERCICE 2

Les chauves-souris émettent des sons de haute fréquence pour situer les objets qui les entourent. La fréquence la plus élevée émise par une espèce de chauve-souris est égale à 50 kHz. Quelles sont les dimensions minimales des insectes qu'elle pourra détecter fiablement ?

EXERCICE 3

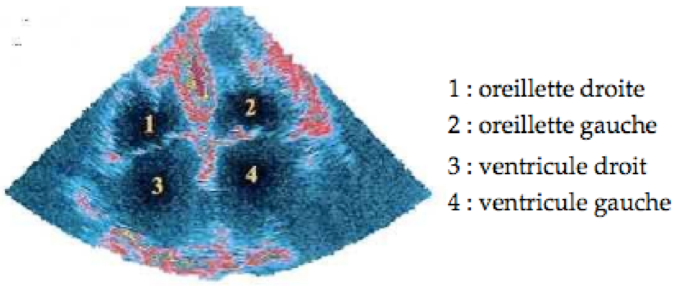
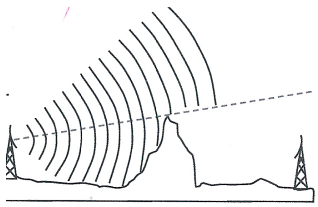


FIG. 28 :



Une station radio émet sur une fréquence de 101 MHz.

Les habitants d'un village situé au fond d'une vallée, dont les dimensions sont de l'ordre du kilomètre vont-il bien capter cette station ?

EXERCICE 4

Pour se situer par rapport à d'éventuels obstacles, un dauphin produit des ultrasons de fréquence f=40 kHz.

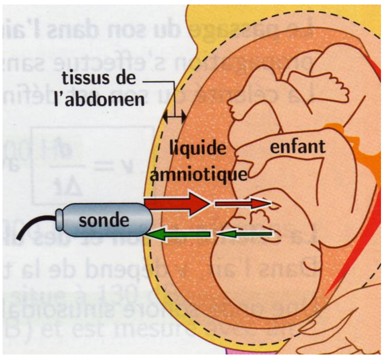
Quelle est la dimension de la plus petite proie que le dauphin peut attraper, les yeux fermés ?

EXERCICE 5

Des ondes ultrasonores de fréquence 2,00 MHz sont utilisées pour réaliser l'échographie du cœur. Dans les tissus cardiaques, leur vitesse de propagation est de l'ordre de 1,5 km/s.

Ces ondes peuvent-elle être diffractées par le cœur ?

EXERCICE 6



L'échographie est une technique d'imagerie médicale fréquemment utilisée notamment pour suivre le développement des fœtus et la détection d 'anomalies éventuelles.

Un examen échographique est réalisé avec une sonde qui émet des impulsions ultrasonores de fréquence 4 MHz. La vitesse des ondes dans le milieu concerné est de 1540 m/s.

Cet examen fonctionne comme un sonar en numérisant à la fin le signal réfléchi en image.

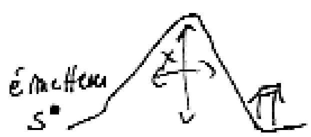
a) Explique pourquoi on utilise des ultrasons plutôt que des ondes de plus petite fréquence

a) L'appareil décrit permet-il de détecter un embryon qui ne mesure que 5mm ? Justifie ta réponse

EXERCICES SUR LE PHENOMENE DE DIFFRACTION

EXERCICE 1

Peut-on recevoir derrière une colline de 100 mètres de largeur des ondes radio de 30 000 Hz si l'émetteur se trouve au bas de la colline ?



$X = 100\ m$

$f = 30000\ Hz$
$= 3.10^4\ Hz$

$\boxed{V_{ondes\ radio} = 3.10^8\ \frac{m}{s}}$

$\Rightarrow \lambda = \frac{V}{f} = \frac{3.10^8}{3.10^4} = 10^4\ m$

Pour que l'onde contourne l'obstacle, il faut que x (dimensions de la colline) soit $< \lambda$

$\Rightarrow X < \lambda \Rightarrow 100 < 10^4$? $\Rightarrow$ oui, x est $< \lambda$

$\Rightarrow$ il y aura diffraction et l'onde sera perçue derrière la colline

$\boxed{\text{OUI}}$

EXERCICE 2

Les chauves-souris émettent des sons de haute fréquence pour situer les objets qui les entourent. La fréquence la plus élevée émise par une espèce de chauve-souris est égale à 50 kHz. Quelles sont les dimensions minimales des insectes qu'elle pourra détecter fiablement ?

$f = 50.10^3\ Hz$

$V = 340\ \frac{m}{s}$

$\Rightarrow \lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{50.10^3}$

X ?

$\Rightarrow \lambda = 6{,}8.10^{-3}\ m$

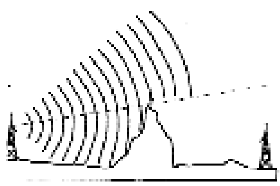
$\boxed{6{,}8\ mm}$

Pour que la chauve-souris détecte l'insecte, elle doit éviter la diffraction pour favoriser la réflexion $\Rightarrow$ elle doit réaliser la condition $X > \lambda$

$\Rightarrow X > 6{,}8.10^{-3}\ m \Rightarrow$ les dimensions minimales de l'insecte sont de $6{,}8.10^{-3}\ m = 6{,}8\ mm$. (Si l'insecte a des dimensions inférieures à 6,8 mm ; il ne sera pas détecté car il y aura diffraction.

EXERCICE 3

Une station radio émet sur une fréquence de 101 MHz.
Les habitants d'un village situé au fond d'une vallée, dont les dimensions sont de l'ordre du kilomètre vont-il bien capter cette station ?



$f = 101.10^6\ Hz$
$V = 3.10^8\ m/s$

$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{3.10^8}{101.10^6} = 2{,}97\ m$

Dans ce cas, il faut que l'onde contourne l'obstacle,
$\Rightarrow$ il faut de la diffraction
$\Rightarrow$ il faut $X < \lambda$ OR $1000 > 2{,}97 \Rightarrow$ NON, les habitants ne capteront pas l'onde.

$X = 1000\ m$ et $1000\ m > 2{,}97\ m$

9

EXERCICE 4

Pour se situer par rapport à d'éventuels obstacles, un dauphin produit des ultrasons de fréquence f=40 kHz.
Quelle est la dimension de la plus petite proie que le dauphin peut attraper, les yeux fermés ?

$f = 40 \cdot 10^3$ Hz
$V = 1500$ m/s (V son dans l'eau)
$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{1500}{40000} = 0{,}0375$ m

⇒ Pour qu'il y ait détection, les ondes ne doivent pas être diffractées (pour être réfléchies)

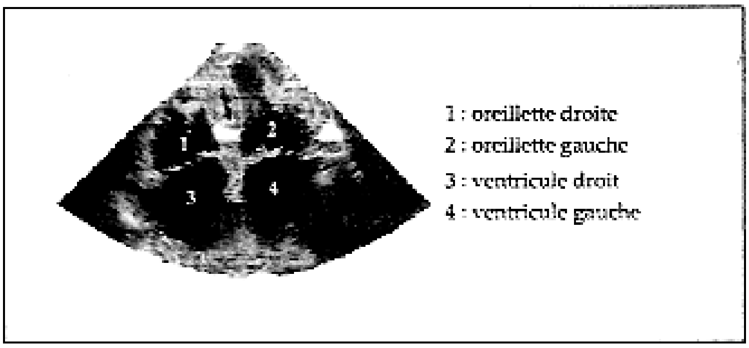
⇒ $X > \lambda$ ⇒ $X > 0{,}0375$ m $= 3{,}75$ cm

⇒ $X_{minimale} = 3{,}75$ cm

$\boxed{X = 3{,}75 \text{ cm}}$

EXERCICE 5

Des ondes ultrasonores de fréquence 2,00 MHz sont utilisées pour réaliser l'échographie du cœur. Dans les tissus cardiaques, leur vitesse de propagation est de l'ordre de 1,5 km/s.



$f = 2 \cdot 10^6$ Hz
$V = 1500$ m/s

⇒ $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{1500}{2 \cdot 10^6} = 7{,}5 \cdot 10^{-4}$ m

Ces ondes peuvent-elle être diffractées par le cœur ?

Pour qu'il y ait diffraction, il faut $X < \lambda$

or X = dimensions du cœur
et $\lambda = 7{,}5 \cdot 10^{-4}$ m

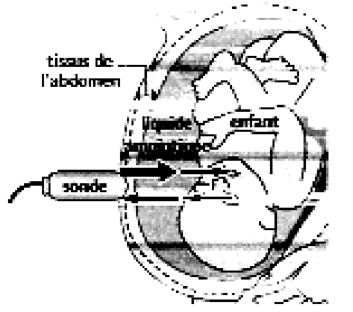
⇒ le cœur a des dimensions supérieures à $7{,}5 \cdot 10^{-4}$ m

⇒ Non, il n'y aura pas de diffraction.

$\boxed{\text{NON}}$

EXERCICE 6

L'échographie est une technique d'imagerie médicale fréquemment utilisée notamment pour suivre le développement des fœtus et la détection d'anomalies éventuelles.



Un examen échographique est réalisé avec une sonde qui émet des impulsions ultrasonores de fréquence 4 MHz. La vitesse des ondes dans le milieu concerné est de 1540 m/s.

Cet examen fonctionne comme un radar en numérisant le signal réfléchi en image.

a) Explique pourquoi on utilise des ultrasons plutôt que des ondes de plus petite fréquence

$f = 4.10^6$ Hz
$V = 1540 \frac{m}{s}$
$\Rightarrow \lambda = \frac{V}{f} = \frac{1540}{4.10^6} = 0,00038$ m $\simeq 0,4$ mm

$\Rightarrow$ On utilise des ultrasons pour pouvoir détecter des organes de dimensions $x > 0,4$ mm

Si on utilisait des ondes de plus petite fréquence ($\Rightarrow$ de plus grande λ), on ne détecterait pas des organes de petites dimensions (de l'ordre de 0,4 mm)

b) L'appareil décrit permet-il de détecter un embryon qui ne mesure que 5mm ? Justifie ta réponse

$x = 5$ mm
$\lambda = 0,4$ mm

Éviter la diffraction
$\Rightarrow x > \lambda$?

oui 5 mm > 0,4 mm

oui

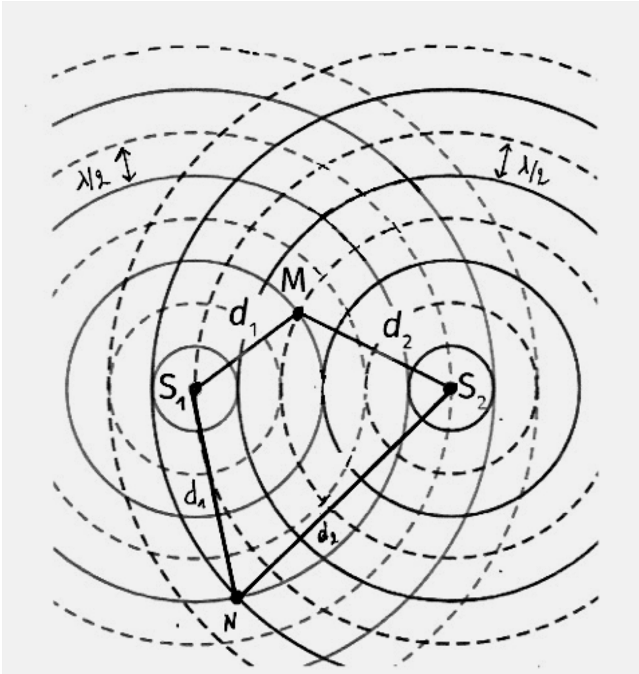
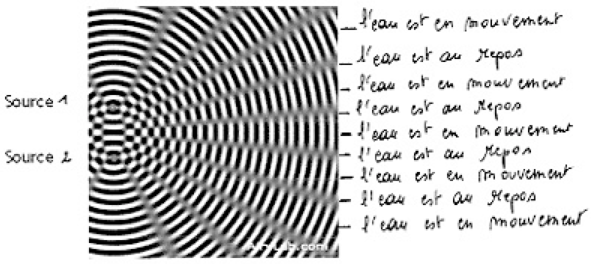


FIG. 29 :

Interférences

Le phénomène d'interférence est du à la superposition de deux ondes.

Il en résulte des zones où les ondes s'additionnent (zone de tempête) et des zones où la superposition des ondes donne une amplitude résultante nulle (zone de repos).



a) Expérience avec la cuve à onde

Nous avons visualisé ce phénomène à l'aide de la cuve à onde.

Pour ce faire, nous avons pris des pointes qui vibrent dans l'eau, chacune produisant des ondes circulaires.

Nous avons obervé des endroits où l'eau est en mouvement et des endroits où l'eau est au repos. Comment expliquer cette observation ?

b) Analyse théorique

Prenons deux sources S_1 et S_2 émettant en concordance de phase des ondes de même fréquence (on dira que les sources sont alors ***cohérentes***).

Les cercles concentriques représentent les vagues vues de haut *(les cercles en traits pleins des crêtes et les cercles en traits pointillés des creux).*

Nous voyons bien que les 2 sources (S_1 et S_2) émettent des ondes de même longueur d'onde et donc de même fréquence.

Considérons le point M.

L'onde produite par S_1 a parcouru une distance d_1 pour arriver en M et l'onde produite par S_2 a parcouru une distance d_2 pour arriver en M. Les deux ondes arrivent donc au point M avec un déphasage puisqu'elle n'ont pas parcouru la même distance.

Dans notre exemple ci-contre :

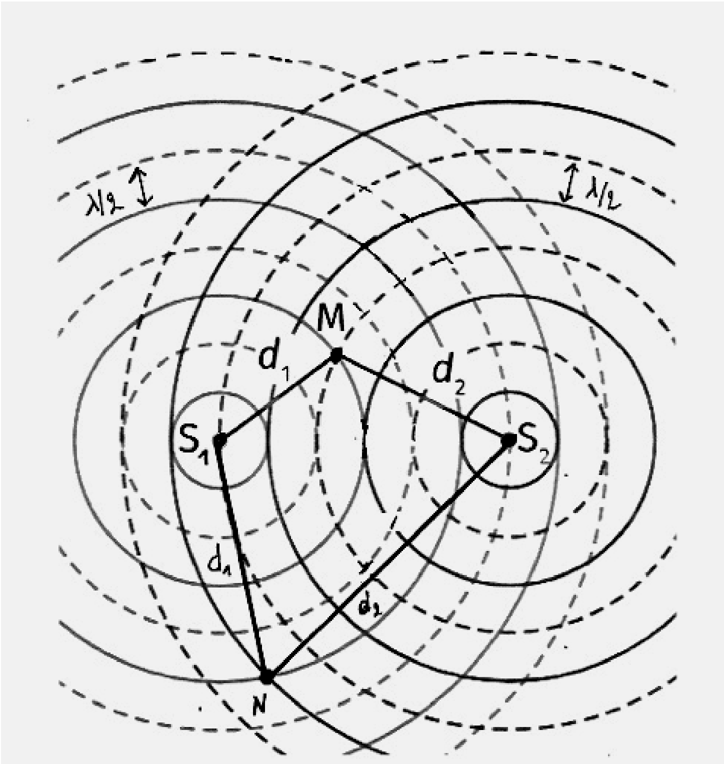
1) La distance d_1 parcourue par l'onde provenant de S_1 jusque M est égale à 3 /2 (trois demi-longueur d'onde). Regardez sur le schéma.

2) La distance d_2 parcourue par l'onde provenant de S_2 jusque M est égale à 4 /2 (quatre demi-longueur d'onde).

3) Les deux ondes arrivent donc en M décalées de (4 /2 - 3 /2) = /2

Elles sont donc au point M en opposition de phase l'une par rapport à l'autre. En effet, au point M, l'onde provenant de S_1 est une crête tandis que l'onde provenant de S_2 est un creux. Donc, au point M, l'eau sera au repos. On parlera ***d'interférence destructive.***

Nous appelerons **d_2 - d_1** ***la différence de marche.***



Considérons le point N.

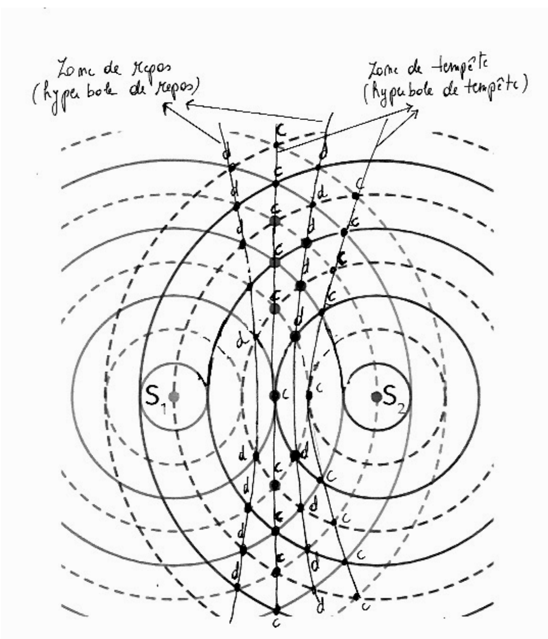
L'onde produite par S_1 a parcouru une distance d_1 pour arriver en N et l'onde produite par S_2 a parcouru une distance d_2 pour arriver en N. Les deux ondes arrivent donc au point M avec un déphasage.

1) La distance d_1 parcourue par l'onde provenant de S_1 jusque M est égale à 5 /2 (cinq demi-longueur d'onde). Regardez sur le schéma.

2) La distance d_2 parcourue par l'onde provenant de S_2 jusque N est égale à 7 /2 (sept demi-longueur d'onde).

3) Les deux ondes arrivent donc en M décalées de (7 /2 - 5 /2) = 2 /2

Elles sont donc au point N en concordance de phase l'une par rapport à l'autre. En effet, au point N, l'onde provenant de S_1 est une crête et de même, l'onde provenant de S_2 est une crête. Donc, au point N, deux crêtes vont se superposer, ce qui donnera de l'eau en mouvement avec une amplitude double par rapport aux amplitudes des sources. On parlera ***d'interférence constructive.***



Hyperboles de repos et hyperboles de tempête

Si $\frac{|d_2 - d_1|}{\frac{\lambda}{2}}$ est pair $\Rightarrow$ il s'agit d'une interférence constructive

est impair $\Rightarrow$ il s'agit d'une interférence destructive

FIG. 30 :

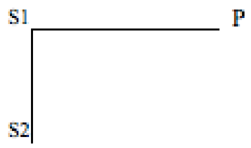


FIG. 31 :

Pour expliquer les zones de tempête et de repos, observez attentivement le schéma ci-contre :

1) En chaque point d :

Chaque point d est atteint par un creux (cercle en pointillé) ***et*** une crête (cercle en trait plein), la résultante du mouvement nous donne donc une **zone de repos.** Vous pouvez ainsi observer ces courbes (ce sont des hyperboles) où l'eau au repos.

2) En chaque point c :

Chaque point c est atteint par soit deux creux (cercles en pointillé) , soit deux crêtes (cercles en trait plein), la résultante du mouvement nous donne donc une **zone de tempête.** Vous pouvez ainsi observer ces courbes (ce sont des hyperboles) où l'eau est en mouvement.

EXERCICE 1

Soient deux sources sonores ponctuelles S1 et S2. Elles envoient des ondes en concordance de phase, dont la fréquence est égale à 5 Hz et qui se propagent à la vitesse de 10 cm/s. L'amplitude de chacune des ondes est de 3cm

Calculez l'amplitude d'un point P situé à 6 cm de S1 et à 8 cm de S2 ?

EXERCICE 2

Deux haut-parleurs séparés de 2 m émettent un signal à 680 Hz en phase. Un microphone est placé à 6,75 m de l'un et à 7 m de l'autre. Quelle est l'amplitude du signal mesuré ?

EXERCICE 3

Deux haut-parleurs S1 et S2 distants de 6 m émettent des ondes sonores en concordance de phase. Le point P de la figure est à 8 m de S1. Quelle est la fréquence minimale à laquelle l'intensité en P est :

a) nulle ?

a) maximale ?

EXERCICE 4

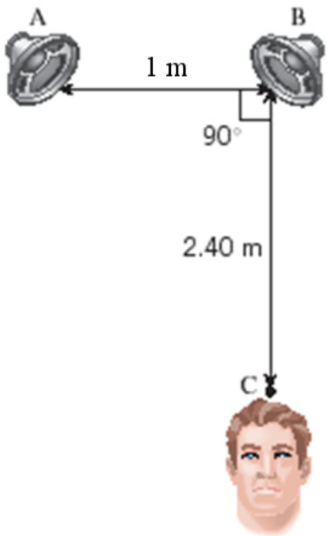
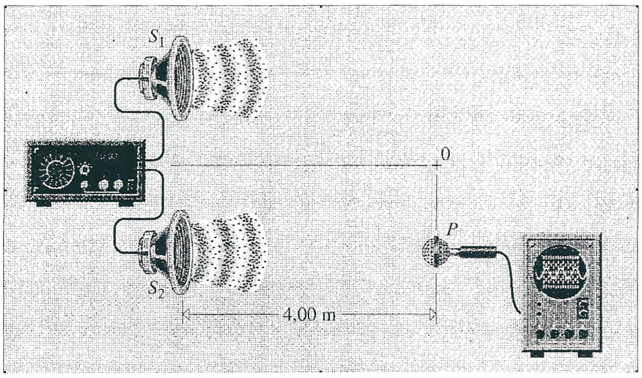


FIG. 32 :

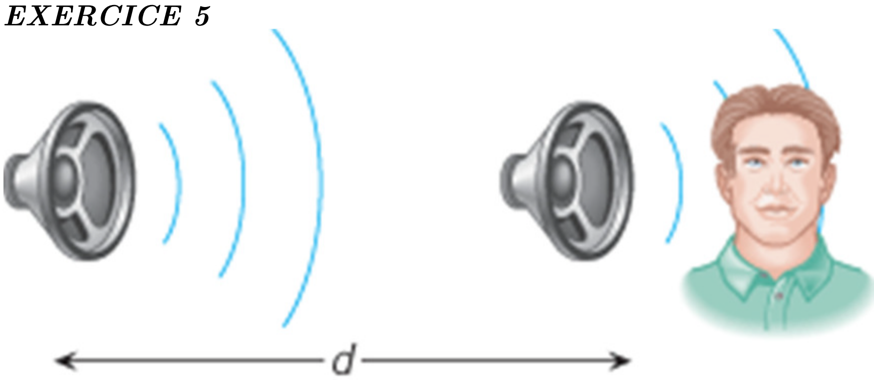


Deux petits haut-parleurs distants de 3 mètres émettent des sons de fréquence constante de 344 Hz dans une pièce surchauffée. On déplace un microphone P le long d'une droite parallèle à la ligne S1S2 joignant les deux haut-parleurs et située à 4 mètres de cette ligne. On trouve deux maxima d'intensité : le premier au point O, équidistants des deux haut-parleurs et le second juste en face de l'un d'eux.

Utilisant ces données, calculer la vitesse du son dans cette pièce surchauffée

(rappel : la vitesse du son dans l'air est de 340 m/s à une température de 20°C)

EXERCICE 5



Les deux haut-parleurs montrés sur la figure émettent, en phase, un son ayant une longueur d'onde de 25 cm. Quelle est la distance minimale d entre les haut-parleurs qu'il doit y avoir pour qu'il y ait de l'interférence destructive pour l'observateur ?

EXERCICE 6

Les haut-parleurs de la figure émettent des ondes sonores en concordance de phase. Quelle est la fréquence minimale qui permet d'obtenir de l'interférence destructive à l'endroit où est situé l'observateur ?

INTERFERENCES - EXERCICES

EXERCICE 1

Soient deux sources sonores ponctuelles S1 et S2. Elles envoient des ondes en concordance de phase, dont

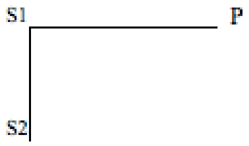


FIG. 33 :

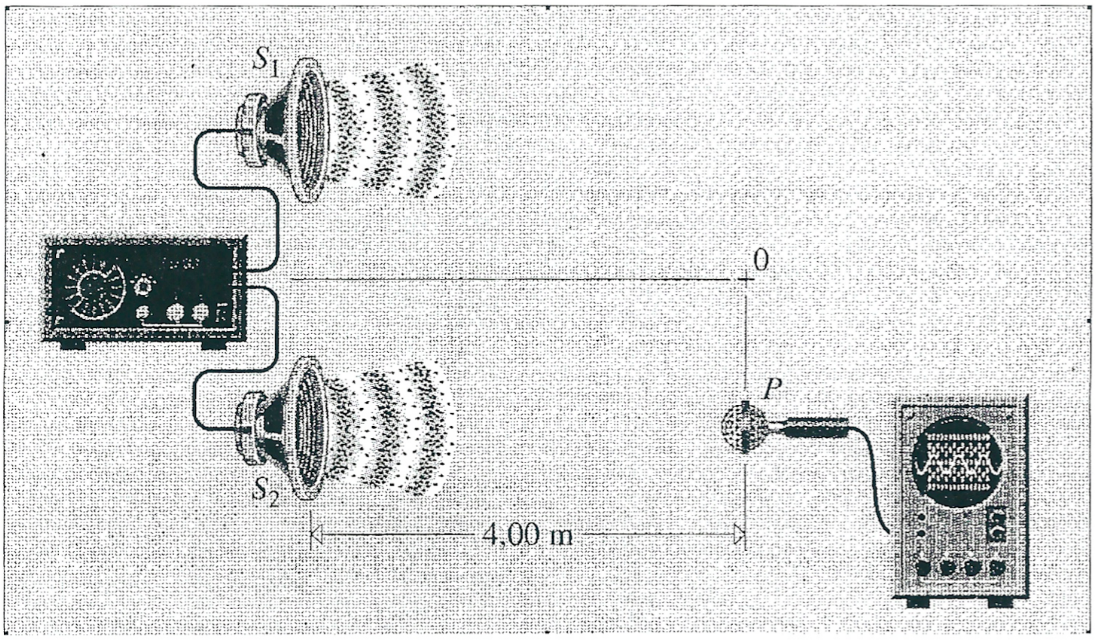


FIG. 34 :

la fréquence est égale à 5 Hz et qui se propagent à la vitesse de 10 cm/s. L'amplitude de chacune des ondes est de 3cm

Calculez l'amplitude d'un point P situé à 6 cm de S1 et à 8 cm de S2 ?

EXERCICE 2

Deux haut-parleurs séparés de 2 m émettent un signal à 680 Hz en phase. Un microphone est placé à 6,75 m de l'un et à 7 m de l'autre. Quelle est l'amplitude du signal mesuré ?

EXERCICE 3

Deux haut-parleurs S1 et S2 distants de 6 m émettent des ondes sonores en concordance de phase. Le point P de la figure est à 8 m de S1. Quelle est la fréquence minimale à laquelle l'intensité en P est :

a) nulle ?

a) maximale ?

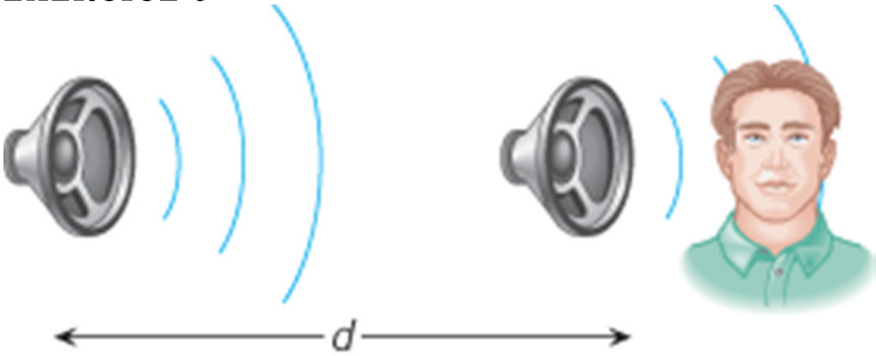
EXERCICE 4

Deux petits haut-parleurs distants de 3 mètres émettent des sons de fréquence constante de 344 Hz dans une pièce surchauffée. On déplace un microphone P le long d'une droite parallèle à la ligne S1S2 joignant les deux haut-parleurs et située à 4 mètres de cette ligne. On trouve deux maxima d'intensité : le premier au point O, équidistants des deux haut-parleurs et le second juste en face de l'un d'eux.

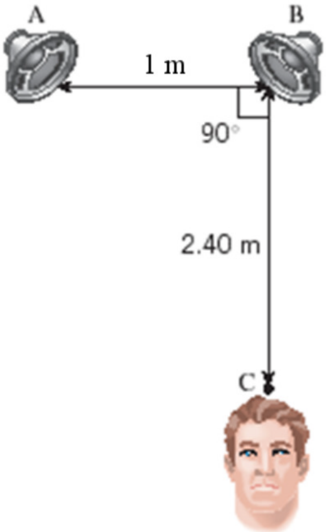
Utilisant ces données, calculer la vitesse du son dans cette pièce surchauffée

(rappel : la vitesse du son dans l'air est de 340 m/s à une température de 20°C)

EXERCICE 5



Les deux haut-parleurs montrés sur la figure émettent, en phase, un son ayant une longueur d'onde de 25 cm. Quelle est la distance minimale d entre les haut-parleurs qu'il doit y avoir pour qu'il y ait de l'interférence destructive pour l'observateur ?



EXERCICE 6

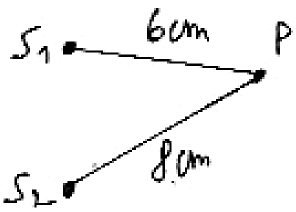
Les haut-parleurs de la figure émettent des ondes sonores en phase. Quelle est la fréquence minimale qui permet d'obtenir de l'interférence destructive à l'endroit où est situé l'observateur ?

INTERFERENCES - EXERCICES

EXERCICE 1

Soient deux sources sonores ponctuelles S1 et S2. Elles envoient des ondes en concordance de phase, dont la fréquence est égale à 5 Hz et qui se propagent à la vitesse de 10 cm/s. L'amplitude de chacune des ondes est de 3cm

Calculez l'amplitude d'un point P situé à 6 cm de S1 et à 8 cm de S2 ?



$f = 5\,Hz$
$V = 10\,\frac{cm}{s}$ $\Big|$ $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{10}{5} = 2\,cm$

$\Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 1\,cm$

$A = 3\,cm$
$d_1 = 6\,cm$
$d_2 = 8\,cm$

Déterminons si le point P est le siège d'une interférence constructive ou d'une interférence destructive.

$\Rightarrow$ si $\frac{|d_2 - d_1|}{\frac{\lambda}{2}}$ est pair (IC) ou impair (ID).

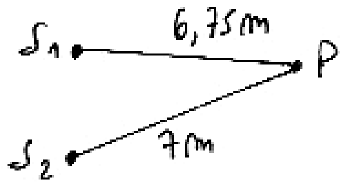
$\frac{|d_2 - d_1|}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{|8-6|}{1} = 2 \Rightarrow$ pair $\Rightarrow$ IC

$\Rightarrow$ l'amplitude en P sera le double de l'amplitude des sources. $\Rightarrow A_R = 6\,cm$

$$\boxed{A_R = 6\,cm}$$

EXERCICE 2

Deux haut-parleurs séparés de 2 m émettent un signal à 680 Hz en phase. Un microphone est placé à 6,75 m de l'un et à 7 m de l'autre. Quelle est l'amplitude du signal mesuré ?



$f = 680\,Hz$
$V_{son} = 340\,\frac{m}{s}$ $\Big\}$ $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{680} = 0,5\,m$

$\Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 0,25\,m$

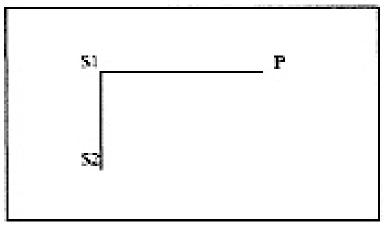
$d_1 = 6,75\,m$
$d_2 = 7\,m$

$\frac{|d_2 - d_1|}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{|7 - 6,75|}{0,25} = \frac{0,25}{0,25} = 1$ (impair) $\Rightarrow$ les ondes vont arriver en P décalées d'une $\frac{\lambda}{2}$ $\Rightarrow$ en opposition de phase $\Rightarrow$ ID

$\Rightarrow$ l'interférence étant destructive, l'amplitude du point P sera nulle.

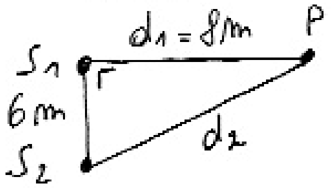
$$\boxed{A_R = 0}$$

EXERCICE 3



Deux haut-parleurs S1 et S2 distants de 6 m émettent des ondes sonores en concordance de phase. Le point P de la figure est à 8 m de S1. Quelle est la fréquence minimale à laquelle l'intensité en P est :

a) nulle ?



$V_{son} = 340 \frac{m}{s}$

1) f ? $\lambda = \frac{V}{f}$

2) Pour que l'intensité en P soit nulle, le point P doit être le siège d'une interférence destructive.

$\Rightarrow \frac{|d_2 - d_1|}{\frac{\lambda}{2}} = 1$ (1 est le plus petit chiffre impair et on cherche la fréquence minimale)

$\Rightarrow |d_2 - d_1| = \frac{\lambda}{2} = \frac{V}{2f} \Rightarrow f = \frac{V}{2|d_2 - d_1|}$ $\sqrt{}$ f ? d_2

$\underline{d_2}$? $d_2^2 = 8^2 + 6^2 \Rightarrow d_2 = \sqrt{64 + 36} = 10m$

$\Rightarrow f = \frac{340}{2|10 - 8|} = \frac{340}{4} = 85 Hz$

$$\boxed{f = 85 Hz}$$

b) maximale ? $\Rightarrow$ Interférence constructive

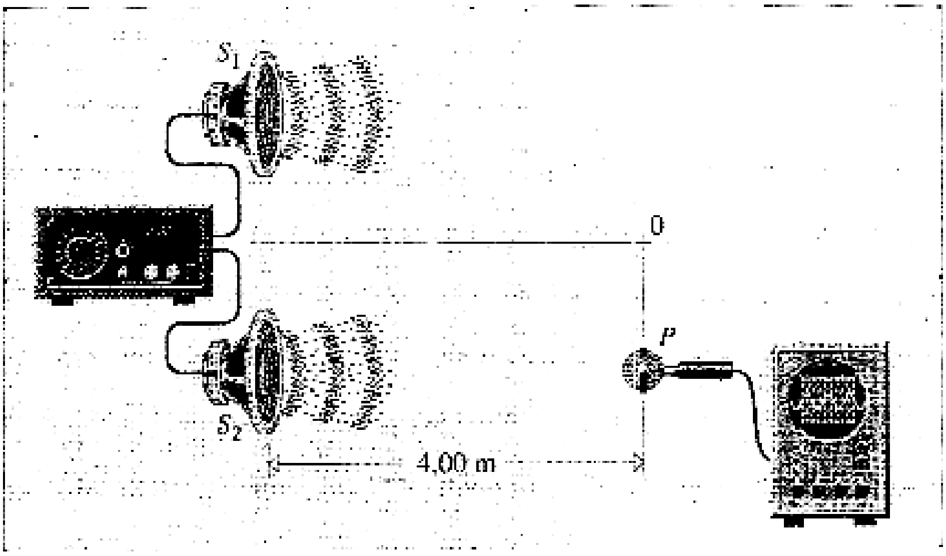
$\Rightarrow |d_2 - d_1| = \lambda = \frac{V}{f}$

$\Rightarrow f = \frac{V}{|d_2 - d_1|} = \frac{340}{2} = 170 Hz$

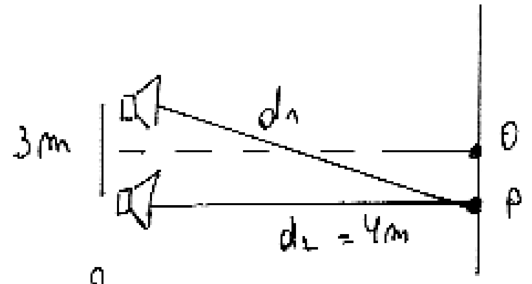
$$\boxed{f = 170 Hz}$$

EXERCICE 4

Deux petits haut-parleurs distants de 3 mètres émettent des sons de fréquence constante de 344 Hz dans une pièce surchauffée. On déplace un microphone P le long d'une droite parallèle à la ligne S1S2 joignant les deux haut-parleurs et située à 4 mètres de cette ligne. On trouve deux maxima d'intensité : le premier au point O, équidistants des deux haut-parleurs et le second juste en face de l'un d'eux.
Utilisant ces données, calculer la vitesse du son dans cette pièce surchauffée
(rappel : la vitesse du son dans l'air est de 340 m/s à une température de 20°C)



$f = 344 Hz$



En O, il s'agit d'une IC car $d_2 = d_1$

P $\Rightarrow$ IC $\Rightarrow \dfrac{|d_2 - d_1|}{\frac{\lambda}{2}} = 2$ $\left(\text{ou } |d_2 - d_1| = \lambda \right)$

V ?

$\Rightarrow |d_2 - d_1| = \lambda = \dfrac{V}{f} \Rightarrow V = f\,|d_2 - d_1| < \begin{matrix} V\,? \\ d_1\,? \end{matrix}$

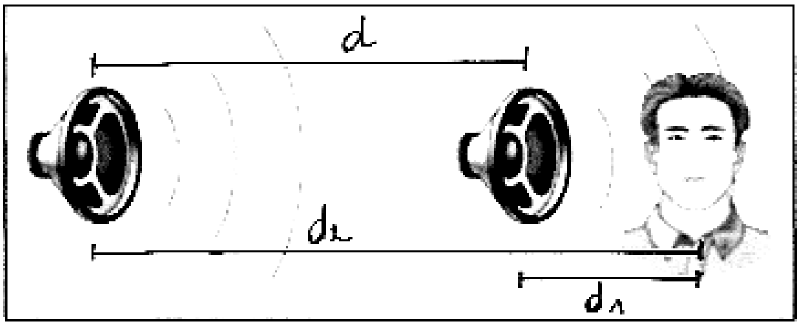
$d_1 = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5\,m$

$\Rightarrow V = 344 . |4 - 5| = 344\,\frac{m}{s}$

$\boxed{V = 344\,m/s}$

EXERCICE 5

Les deux haut-parleurs montrés sur la figure émettent, en phase, un son ayant une longueur d'onde de 25 cm. Quelle est la distance minimale d entre les haut-parleurs qu'il doit y avoir pour qu'il y ait de l'interférence destructive pour l'observateur?



$\lambda = 25.10^{-2}\,m$

d ? ID $\Rightarrow |d_2 - d_1| = \frac{\lambda}{2}$

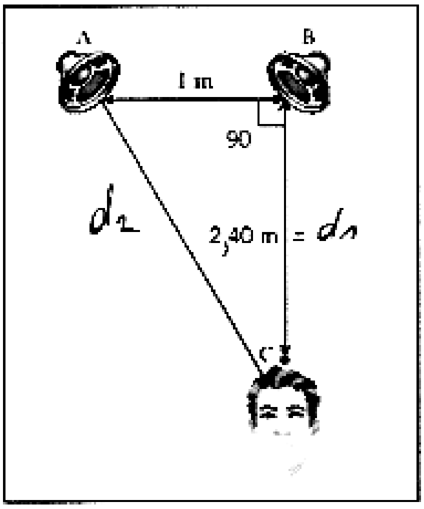
or $|d_2 - d_1| = d$

$\Rightarrow d = \frac{\lambda}{2} = 12,5.10^{-2}\,m = 12,5\,cm$

$\boxed{d = 12,5\,cm}$

EXERCICE 6

Les haut-parleurs de la figure émettent des ondes sonores en phase. Quelle est la fréquence minimale qui permet d'obtenir de l'interférence destructive à l'endroit où est situé l'observateur?



$f_{minimale}$?

ID $\Rightarrow |d_2 - d_1| = \frac{\lambda}{2} = \frac{V}{2f}$

$\Rightarrow f = \frac{V}{2|d_2 - d_1|}$. f ? d_2 ?

$d_2 = \sqrt{1^2 + 2,4^2} = 2,6\,m$

$\Rightarrow f = \frac{340}{2.|2,6 - 2,4|} = \frac{340}{2.0,2} = 850\,Hz$

$\boxed{f_{min} = 850\,Hz}$

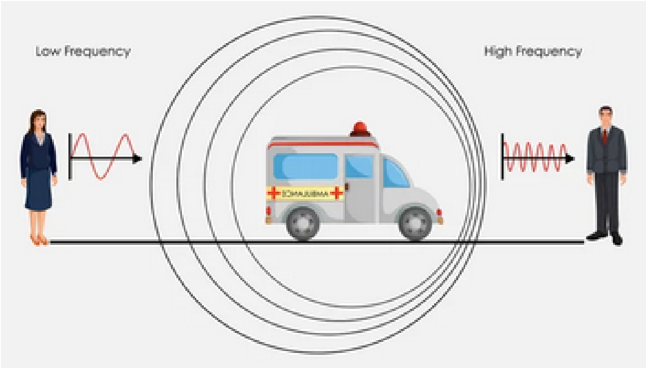


FIG. 35 :

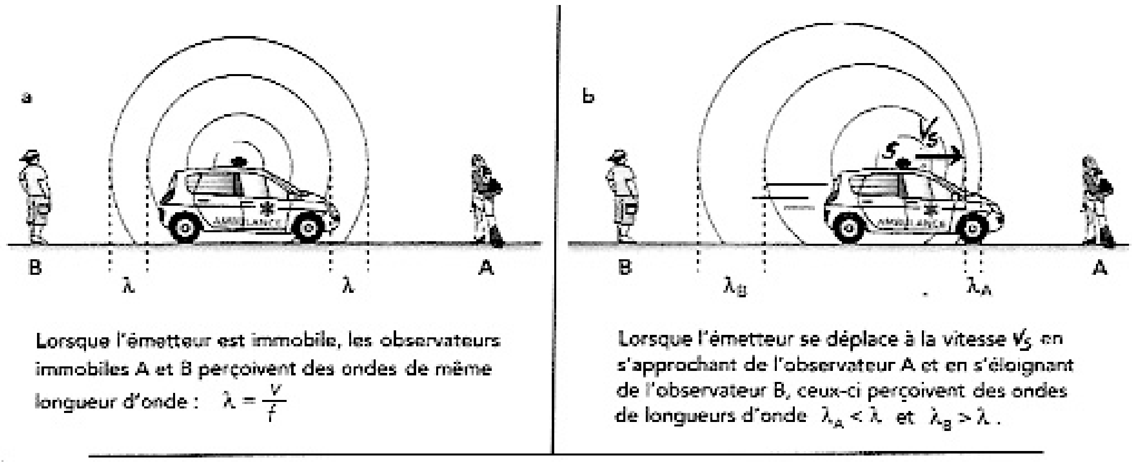


FIG. 36 :

19 *L'effet Doppler*

1. Mise en situation

Lorsqu'une source d'ondes sonores se déplace, on observe que la fréquence du son entendu est différente du son qu'on entendrait si la source est immobile.

Par exemple, lorsque la sirène d'une ambulance ou d'une voiture de police s'approche d'un auditeur, le son perçu par l'auditeur est plus aigu (fréquence plus élevée).

Lorsque la sirène d'une ambulance ou d'une voiture de police s'éloigne d'un auditeur, le son perçu par l'auditeur est plus grave (fréquence plus basse).

Il y a également un changement de fréquence si l'observateur est en mouvement et la source est immobile. Le son est plus aigu quand on se dirige vers la source et plus grave quand on s'éloigne de la source.

Ce changement de fréquence du au mouvement de l'observateur ou de la source porte le nom d'effet Doppler puisque la théorie décrivant cet effet fut développée par le physicien allemand Christian Doppler en 1842.

2. Etude quantitative

Deux situations peuvent être traitées :

a) L'observateur s'éloigne ou se rapproche de la source fixe.

b) La source s'éloigne ou se rapproche d'un observateur fixe.

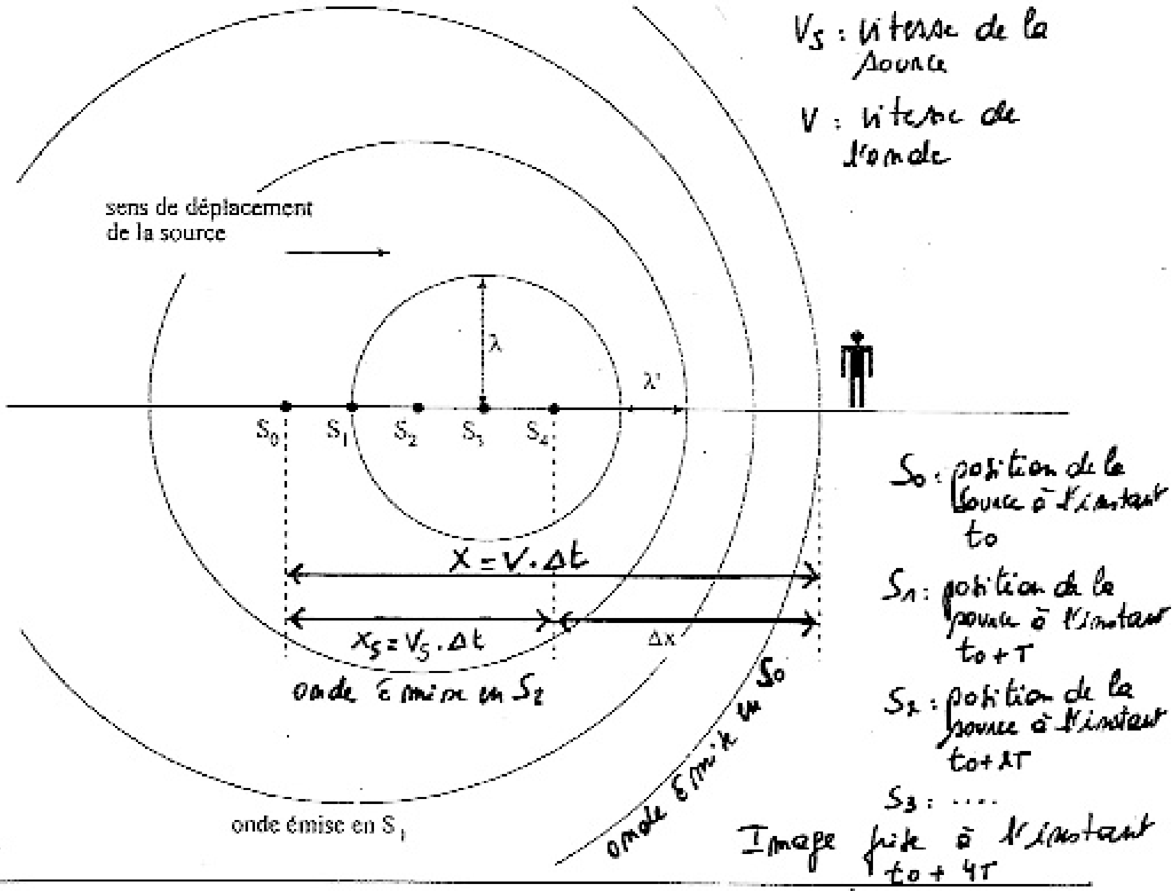
Nous supposerons pour chacune des situations que l'observateur ou la source se déplace suivant une trajectoire rectiligne et à vitesse constante.

La différence de fréquence entre celle émise et celle perçue est due à une variation de la longueur d'onde perçue par l'observateur.

2.1- Une source en mouvement s'approche de l'observateur fixe à une vitesse v_s

Nous noterons :

v_s : la vitesse de la source
v : la vitesse de l'onde.
f : la fréquence émise par la source



Relation entre f (f émise par la source) et f' (f perçue par l'observateur) ?

- Durant un temps Δt (temps mis par l'onde en S_0 pour atteindre l'observateur)
  - ↳ l'onde partie de S_0 parcourt une distance $X = V\cdot\Delta t$
  - ↳ la source s'est déplacée d'une distance $X_S = V_S\cdot\Delta t$

$\Rightarrow$ l'écart entre les deux est : $\Delta X = V\cdot\Delta t - V_S\cdot\Delta t = \text{nbre}\cdot\lambda'$

- Or, pendant cet intervalle de temps Δt, le nombre d'ondes émises par la source $= f\cdot\Delta t$ $\Rightarrow$ nbre $= f\cdot\Delta t$

$$\left.\begin{array}{l}\Rightarrow \Delta X = f\cdot\Delta t\cdot\lambda' \\ \text{et } \Delta X = V\cdot\Delta t - V_S\cdot\Delta t\end{array}\right\} \Rightarrow V\cdot\Delta t - V_S\cdot\Delta t = f\cdot\Delta t\cdot\lambda'$$

$$\Rightarrow V - V_S = f\cdot\lambda' \Rightarrow \lambda' = \frac{V - V_S}{f}$$

$$\text{Or } \lambda' = \frac{V}{f'} \Rightarrow \frac{V}{f'} = \frac{V - V_S}{f} \Rightarrow \frac{f'}{V} = \frac{f}{V - V_S} \qquad \boxed{f' = f\,\frac{V}{V - V_S}}$$

où $V = V_{onde}$ (qui est cste)

f ' : la fréquence perçue par l'observateur.

Nous pourrions dans le même état d'esprit, démontrer les relations entre f et f ' pour les autres situations :