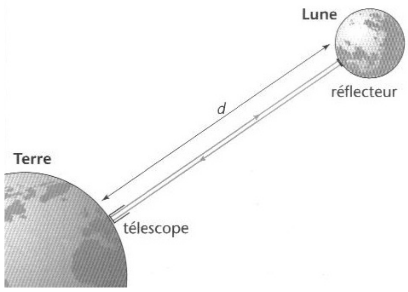
# Travaux dirigés Signaux n°1

*Propagation d'un signal*

## Exercice 1 : Quelques ordres de grandeur.

1. Le Soleil est situé à une distance $d = 149{,}6.10^6$ km de la Terre.
   Déterminer le temps nécessaire pour que la lumière émise par le Soleil parvienne jusqu'à la Terre (Rappel : célérité de la lumière dans le vide : $\boldsymbol{c = 299\ 792\ 458\ \mathrm{m.s^{-1}}}$)
2. Lors d'un orage, la foudre frappe le sol à une distance $d = 1{,}0$ km de l'observateur.
   Déterminer le temps nécessaire pour que l'observateur entende le tonnerre
   (Rappel : célérité du son dans l'air : $c = 340\ \mathrm{m.s^{-1}}$). Commenter.

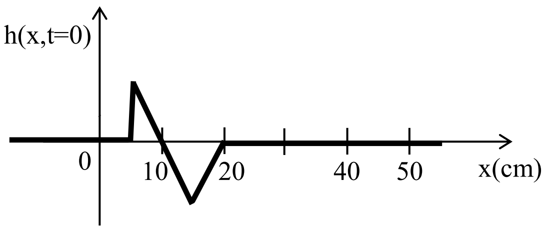
## Exercice 2 : Distance Terre – Lune




*En posant le pied sur la Lune le 21 juillet 1969, Neil Armstrong et Buzz Aldrin ont déployé un panneau composé de 100 miroirs sur la mer de Tranquillité. Des observatoires comme celui de McDonald (Texas) envoient une impulsion laser dans leur direction, puis mesurent la durée* Δt *prise par l'impulsion pour effectuer un* ***l'aller-retour****.*

1. Donner en expliquant rapidement, la relation liant la distance Terre-Lune D, la célérité de la lumière dans le vide c et Δt.
2. Les chercheurs mesurent une durée : $\Delta t = 2{,}564\ s$ pour un **aller-retour** du faisceau laser. En déduire la valeur de la distance Terre-Lune.

## Exercice 3 : Onde à la surface de l'eau




Un enfant a jeté un caillou dans l'eau.

A l'instant $t = 0$ s on observe l'allure de la perturbation représentée ci-contre en fonction de la position $x$.
La perturbation se propage dans le sens des $x$ croissants à la célérité $c = 10\ \mathrm{cm.s^{-1}}$.

1. Représenter l'allure de la perturbation à l'instant $t = 2$ s.

Un poisson se situe à l'abscisse $x_0 = 50$ cm.

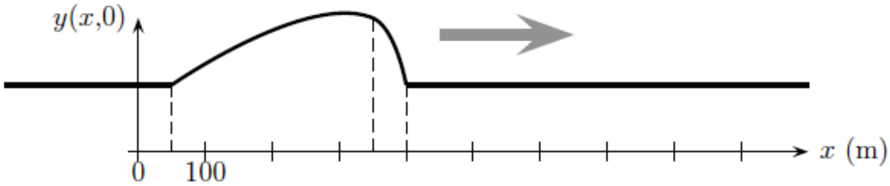
2. A quel instant le poisson perçoit-il le début de la perturbation ?
3. A quel instant le poisson perçoit-il la fin de la perturbation ?
4. Représenter, en fonction du temps $t$, l'évolution de la surface de l'eau au niveau du poisson (en $x_0 = 50$ cm).

## Exercice 4 : Propagation d'un mascaret *

Un mascaret est une vague solitaire remontant un fleuve au voisinage de son estuaire, et provoqué par une interaction entre son écoulement et la marée montante.

On considère ici un mascaret qui se déplace à la vitesse $c = 18\ \mathrm{km.h^{-1}}$ le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe $(Ox)$ dans la direction et le sens de sa propagation.

A l'instant $t = 0$, le profil de niveau de l'eau du fleuve a l'allure suivante :




1. Un mascaret représente-t-il une onde transversale ou longitudinale ?
2. Faire un schéma du profil du niveau du fleuve à $t = 1$ min en supposant que l'onde se propage sans déformation.
3. Brice (venu spécialement de Nice) attend avec sa planche de surf à l'abscisse $x_B = 2{,}2$ km. A quel instant va-t-il recevoir la vague ?
4. Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1{,}6$ km. Dessiner l'allure des variations $y(x_d, t)$ en fonction du temps à cette abscisse.
5. En réalité, l'onde se déforme petit à petit car la vitesse de propagation augmente avec la « profondeur » $y(x)$. Comment évolue alors le profil de la vague ?

*A propos des longueurs d'ondes*

## Exercice 5 : Longueur d'onde des infrasons et ultrasons.

Dans l'air, à température ambiante, la célérité des ondes sonores est de l'ordre de $340\ \mathrm{m.s^{-1}}$.

1. Quelle est la longueur d'onde d'une onde infrasonore de fréquence égale à $10$ Hz ?
2. A partir de quelle fréquence se place-t-on dans le domaine des ultrasons ? En déduire l'inéquation vérifiée par les longueurs d'onde des ultrasons.
3. Déterminer la longueur d'onde associée à un ultrason de fréquence $f = 40$ kHz.

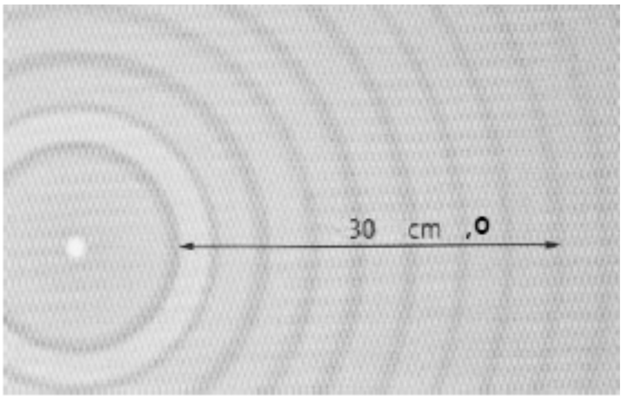
## Exercice 6 : Ondes électromagnétiques

Les antennes qui émettent des ondes électromagnétiques dans l'espace, ou qui les reçoivent, doivent avoir une longueur de l'ordre de la longueur d'onde λ des ondes émises. On choisit généralement un sous-multiple comme λ/4, λ/8, …

*On rappelle la célérité de la lumière dans le vide $c = 3{,}00.10^8\ \mathrm{m.s^{-1}}$ et on considèrera qu'elle est identique dans l'air*

1. Pour transmettre la radio, on pourrait envisager d'émettre des signaux électromagnétiques ayant les mêmes fréquences que les sons audibles (audiofréquences), entre $20$ Hz et $20$ kHz.
   Calculer les longueurs d'onde dans l'air de telles ondes électromagnétiques. Conclure.
2. On transforme alors ces signaux par un procédé appelé "modulation de fréquence" (FM), qui leur donne des fréquences beaucoup plus élevées, entre $87$ MHz et $108$ MHz. Calculer les longueurs d'onde dans l'air des ondes de radio FM, et en déduire l'ordre de grandeur de la taille des antennes nécessaires.
3. Les ondes du système GSM (téléphone mobile) ont une fréquence de $900$ MHz ou de $1800$ MHz. Calculer la valeur des longueurs d'onde associées. En déduire la taille de l'antenne. Quel avantage voyez-vous ?

## Exercice 7 : Fuite d’eau




Un robinet fuit au-dessus d’une baignoire remplie d’eau et goutte toutes les deux secondes.

On donne ci-contre la photographie de la surface de l’eau. Les zones blanches correspondent à des sommets de vagues tandis que les zones sombres correspondent à des creux.

Déterminer, en justifiant soigneusement, la célérité $c$ de l’onde qui se propage à la surface de l’eau.

## Exercice 8 : Propagation d’une onde sinusoïdale*

On considère une onde mécanique transversale produite à la position $x = 0$.
L’émetteur émet en $x = 0$ un signal :

$$s(t) = 5.cos\left(\frac{\pi}{5}t\right)$$

où $s$ s’exprime en cm et $t$ est le temps en seconde.

1. Donner la valeur numérique de l’amplitude $S_m$, de la pulsation $\omega$, de la période $T$ et de la fréquence $f$ de l’onde.
2. Représenter l’allure du signal émis en fonction du temps (deux périodes)
3. Après mise en route de l’émetteur, un observateur situé à la position $x = 20$ m de l’émetteur doit attendre $20$ s pour recevoir le signal. Quelle est la célérité de cette onde ? En déduire la valeur de la longueur d’onde.

*Propriétés particulières des ondes*

## Exercice 9 : Diffraction des ondes *

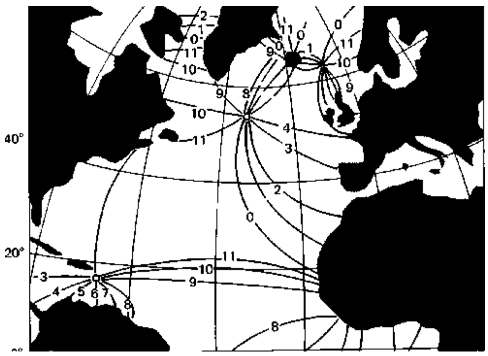
*On rappelle que lorsqu’une onde traverse un obstacle circulaire de diamètre d, le demi-angle au sommet du cône de diffraction est donné par la relation :*

$$\sin(\theta) = 1{,}22\frac{\lambda}{d}$$

1. On utilise un émetteur circulaire à ultrason (fréquence $f = 40$ kHz) de diamètre $d = 12$ mm.
   a. Calculer la longueur d’onde (on rappelle que la vitesse du son dans l’air est $c = 340\ \mathrm{m.s^{-1}}$ )
   b. Calculer l’angle du cône de diffraction de l’émetteur utilisé.

2. On utilise un laser rouge de laboratoire $\lambda = 630$ nm. Son faisceau est envoyé sur un cache percé d’un trou de forme circulaire de diamètre $d = 100\ \mu m$. Un écran est situé à une distance $D = 5$ m. Calculer le le diamètre de la tache de diffraction observée au centre de l’écran ?

## Exercice 10 : Ondes de marée




Le phénomène de marée est dû à l’attraction de la Lune et du Soleil sur les masses d’eau océaniques. L’élévation du niveau de l’eau se propage de proche en proche, à la manière d’une onde, qui se réfléchit sur les côtes continentales.

Comment peut-on expliquer qu’il existe des lieux, appelées points amphidromiques, où l’amplitude de marée est toujours nulle ?

*Pour aller plus loin*

## Exercice 11 : Effet Doppler **

Un véhicule de pompier roule à la vitesse constante $v$, en émettant une sirène (onde sonore) que l'on modélisera par une série de bips émis à la période $T$. On appelle $c_s$ la célérité des ondes sonores.

1. Quel est l'intervalle de temps qui sépare deux bips pour un pompier situé à l'intérieur du véhicule ?
2. A la date $t = 0$ s, le camion s'éloigne de l'observateur.
   En vous aidant de plusieurs schémas, montrer que l'observateur reçoit les bips avec une période $T' > T$. Exprimer $T'$ en fonction de $T$, $v$ et $c_s$.(Indice en bas de page [1])
3. Sans calculs, déterminer la période $T''$ des bips reçus lorsque le véhicule s'approche de l'observateur.

**<u>Application :</u>** Les radars routiers utilisent l'effet Doppler pour mesurer la vitesse V d'un véhicule. Ils émettent une onde électromagnétique de fréquence $\nu$ se propageant à la vitesse de la lumière.
Après réflexion sur le véhicule, l'onde revient en présentant un retard avec une nouvelle fréquence :

$$\nu' = \nu\left(1 \pm 2\frac{V}{c}\right)$$

4. Justifier rapidement l'expression donnée ci-dessous.
5. La fréquence d'émission est de l'ordre de $\nu = 2.10^{10}$ Hz, en déduire l'ordre de grandeur de la différence de fréquence $\Delta\nu = |\nu' - \nu|$ pour un véhicule respectant les limitations de vitesse sur autoroute ($130\ \mathrm{km.h^{-1}}$).

**<u>Capacités exigibles :</u>**

- Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.
- Prévoir dans le cas d'une onde progressive l'évolution temporelle à position fixée, et l'évolution spatiale à un instant donné.
- Écrire les signaux sous la forme f(x-ct) ou g(x+ct)
- Écrire les signaux sous la forme f(t-x/c) ou g(t+x/c)
- Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustiques et électromagnétiques.
- Connaître et établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.
- Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
- Utiliser la relation θ = λ/a entre l'échelle angulaire du phénomène de diffraction et la taille caractéristique de l'ouverture.

**<u>QCM d'entraînement :</u>**

[1] Indice : Représenter la position du véhicule au moment du premier bip et au moment du bip suivant. Quelle distance a-t-il parcouru ?