

Chapitre 2 : Propagation d'un signal. Ondes progressives

1.	Notion d'onde et de signal :	2
1.1.	Signal	2
1.2.	Les ondes	4
1.3.	Les ondes mécaniques progressives :	5
1.3.1.	Onde transversale :	5
1.3.2.	Onde longitudinale :	5
1.3.3.	Cas particulier des ondes sismiques :	7
2.	Onde progressive unidimensionnelle :	8
2.1.	Caractéristiques du milieu de propagation	8
2.2.	Description et notions de célérité et retard	8
2.2.1.	Célérité :	9
	Capacité 1 :	9
2.2.1.	Retard :	10
2.3.	Représentation spatiale et temporelle	10
2.3.1.	Représentation spatiale :	10
2.3.2.	Représentation temporelle :	10
	Capacité 2 : A propos de l'orage	11
2.4.	Cas particulier du séisme :	11
	Capacité 3 : Localisation de l'épicentre d'un séisme	11
3.	Onde progressive sinusoïdale :	13
3.1.	Signal périodique – signal alternatif – signal sinusoïdal	13
3.1.1.	Signal périodique :	13
3.1.2.	Signal alternatif :	13
3.1.3.	Signal sinusoïdal alternatif:	14
	Capacité 4 : Déterminer les caractéristiques d'un signal sinusoïdal alternatif	14
	Capacité 5 : représentation d'un signal sinusoïdal	16
3.2.	Ondes sinusoïdales : double périodicité (temporelle et spatiale)	17
3.3.	Ondes électromagnétiques (OEM) :	18
3.4.	Ondes sonores :	18
4.	Travaux dirigés n°2	20

Les signaux sont à la base de la transmission de l'information. Un signal « transporte » une information physique de la source à un destinataire. Il peut être modélisé par une fonction mathématique d'une ou plusieurs variables.

La première image qui apparaît quand on parle d'onde, est celle de la déformation de la surface de l'eau après qu'on y a jeté un caillou. Étymologiquement, onde désigne les vagues (de même en anglais avec le terme wave). Ce sont bien sûr les premières "ondes" connues. Puis progressivement, la collection s'est enrichie, avec les ondes acoustiques, les ondes électromagnétiques... jusqu'aux "ondes de matière" puisque en mécanique quantique on a montré expérimentalement que des électrons (et d'autres "particules") pouvaient avoir un comportement ondulatoire.

1. Notion d'onde et de signal :

1.1. Signal

Grâce aux nouvelles technologies, les moyens de transmettre une information sont multiples et très rapides. Pour permettre une transmission optimale de l'information, il convient d'analyser et de caractériser le signal, support de cette information.

Définitions :

Un **signal** est la représentation physique d'une information transmise depuis son émetteur jusqu'à son récepteur.

Il est transmis via une **chaîne de transmission** au cours de laquelle il peut subir plusieurs conversions (effectuées par un **transducteur**), mais il doit conserver dans la mesure du possible la quasi-intégralité de l'information émise. La **chaîne de transmission** est l'ensemble des dispositifs permettant le transport de l'information sur des distances plus ou moins importantes.

L'**émetteur** est chargé d'élaborer un signal (en y incorporant l'information à transmettre) qui sera adapté à la nature du canal de transmission.

Le **récepteur** est chargé d'interpréter le signal afin d'y extraire l'information.

Le **canal de transmission** permet le transport du signal, comme les fils électriques dans le cas d'un signal électrique, l'air dans le cas des ondes sonores et des ondes électromagnétique (EM) ou les fibres optiques pour ces dernières.

Exemple : chaîne de transmission d'un signal sonore via la téléphonie mobile

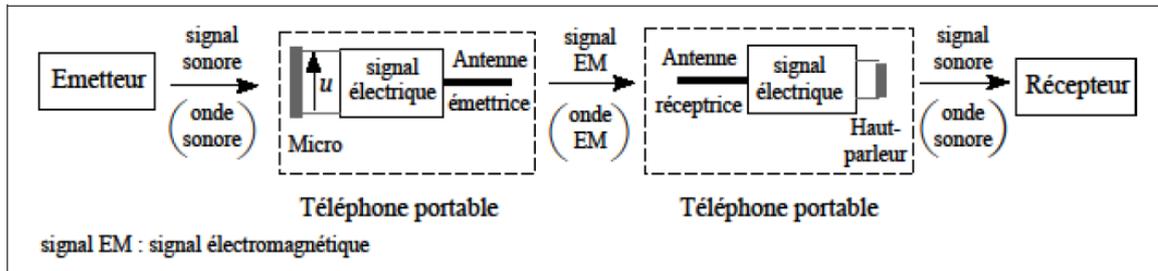
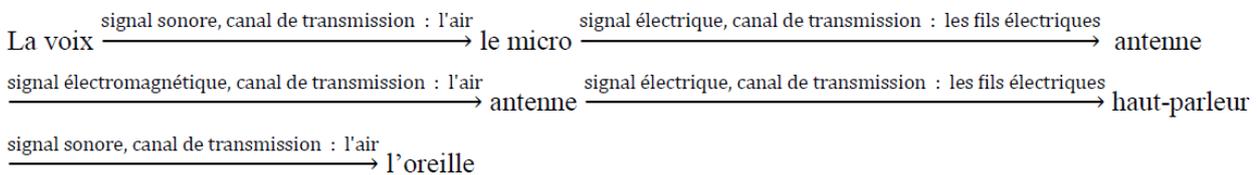


Figure 2 : autre chaîne de transmission d'une information sonore

Cette chaîne de transmission fait apparaître plusieurs couples émetteur-récepteur, plusieurs types de signaux et canaux de transmission :



Le signal peut dépendre d'un paramètre temporel, d'un paramètre spatial ou des deux.

- Les **signaux électriques** sur des distances inférieures à quelques milliers de km et pour des fréquences usuelles délivrées par EDF ne dépendent que du temps.

Les grandeurs physiques associées aux signaux électriques sont la tension et l'intensité. Ces signaux pourront dépendre du temps (régime variable) ou non (régime stationnaire ou continu).

La tension électrique aux bornes du microphone (micro) du téléphone portable, dans l'exemple précédent, est un signal électrique qui évolue au cours de la conversation : il ne dépend que du temps et peut être visualisé sur l'écran d'un oscilloscope.

- Les signaux dépendant du temps et des variables spatiales sont appelés **des ondes**.

1.2. Les ondes

Sur la figure ci-contre, on observe une feuille qui touche la surface de l'eau. Au point d'impact, la hauteur de l'eau est perturbée.

On constate que cette perturbation se transmet depuis ce point source sous la forme d'un phénomène que l'on nomme une onde

Cette propagation s'effectue à vitesse finie déterminée par les caractéristiques du milieu



A retenir :

Une onde est la propagation d'une perturbation dans l'espace ; la perturbation est liée à une grandeur physique. Cette propagation s'effectue sans transport de matière mais avec un transport d'énergie.

Une onde est donc un signal qui se propage et dépend donc d'une ou plusieurs variables spatiales et du temps. On parle d'onde progressive. Elle peut se propager dans un milieu matériel ou le vide.

Les ondes mécaniques se propagent dans un milieu matériel.

Les ondes électromagnétiques (la lumière) n'ont pas besoin de milieu matériel pour se propager et peuvent se déplacer dans le vide. (cf. chapitre 7)

Exemples d'ondes et de grandeurs physiques associées :

Type d'onde	Milieu de propagation	Grandeur physique associée à la perturbation
Onde mécanique	Fluide ou solide	Déplacement transversal ou longitudinal (corde, ronds dans l'eau, ressort)
Onde acoustique	Fluide ou solide	Surpression acoustique (pression dans le milieu de propagation)
Onde électromagnétique	Vide ou milieu	Champ électrique et magnétique (signal radio, wifi, Bluetooth)...

1.3. Les ondes mécaniques progressives :

Nous nous intéresserons aux ondes unidimensionnelles, c'est-à-dire aux ondes pour lesquelles la grandeur décrivant la perturbation n'est fonction que d'une seule variable d'espace et nous étudierons plusieurs exemples en identifiant le type d'onde et la grandeur physique associée.

On peut ranger les ondes mécaniques en deux catégories :

1.3.1. Onde transversale :

- **Onde transversale** : type d'onde pour lequel la déformation du milieu est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Exemples :

- ✓ Onde le long d'une corde

– la signal est l'élongation de la corde. La perturbation varie dans le temps (à deux instants successifs, la forme de la corde a changé) et dans l'espace (à un même instant, deux points différents de la corde n'ont pas la même hauteur).

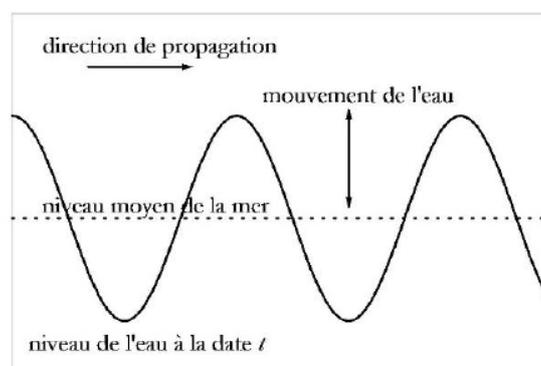
– c'est une onde **1D ou unidimensionnelle** : une seule direction de propagation

- ✓ les ondes à surface de l'eau

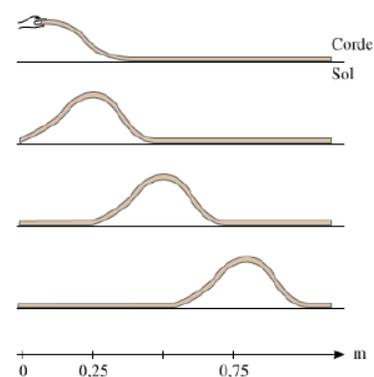
– la nature du signal est l'écart de hauteur par rapport à la position de repos

– c'est une onde **2D ou bidimensionnelle** : la propagation s'effectue sur une surface

Cas de la houle



cas onde long d'une corde



1.3.2. Onde longitudinale :

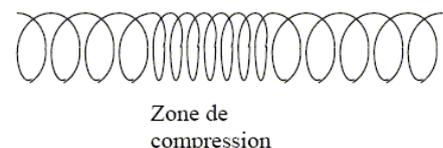
- **Onde longitudinale** : type d'onde pour lequel la déformation du milieu se fait dans la même direction que la propagation.

Exemples :

- ✓ Onde le long d'un ressort

– la perturbation est la compression / dilation d'un ressort

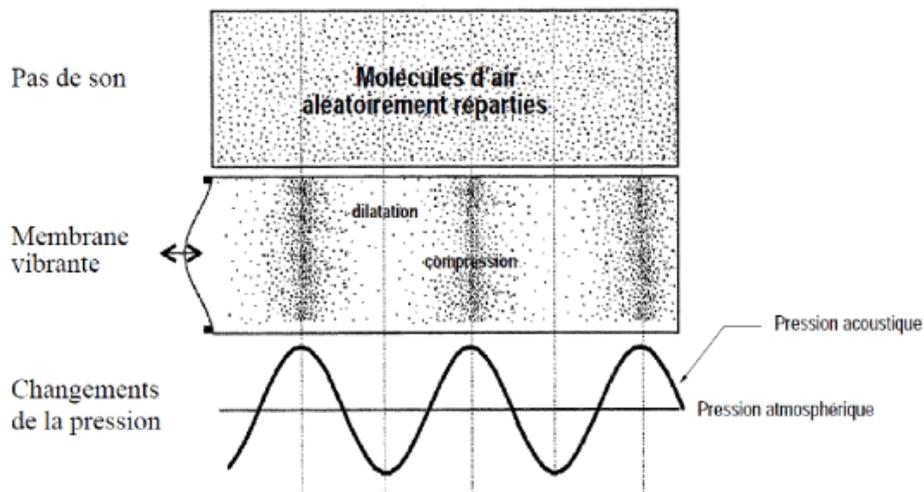
– c'est une onde **1D ou unidimensionnelle** : une seule direction de propagation



- ✓ onde sonore ou acoustique qui se propage dans les fluides (gaz, liquide) et dans les solides (métal, béton).

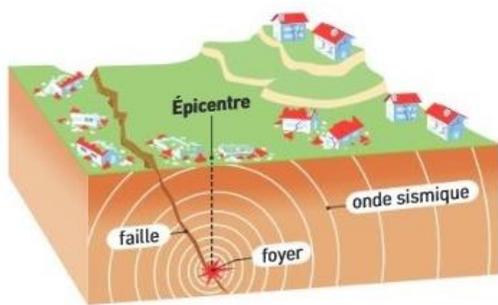
– c'est une onde **3D ou tridimensionnelle** : la propagation peut s'effectuer dans un volume

– Dans un fluide, tel que l'air, l'onde acoustique se propage par l'intermédiaire de chocs *mettant en jeu la vibration de couches d'air*. La vibration d'une couche d'air « pousse » la couche d'air voisine, qui fait de même pour la suivante, etc. Le mouvement vibratoire est alors transmis de proche en proche, ce qui entraîne des « mouvement de compression – dilatation des tranches d'air »

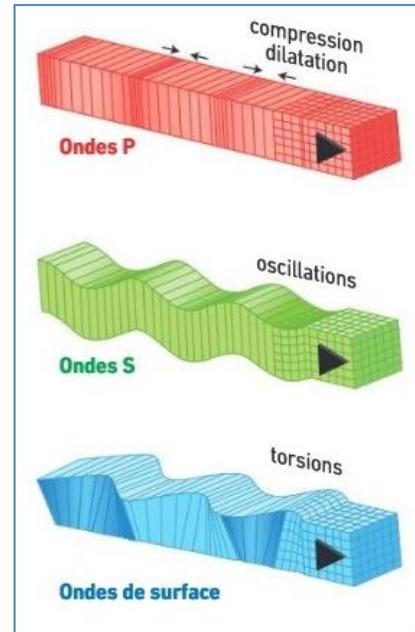


– Dans un solide, l'onde acoustique se traduit par des oscillations des atomes. On modélise l'interaction entre deux atomes par une force élastique représentée par un ressort qui se comprime ou se détend

1.3.3. Cas particulier des ondes sismiques :



L'énergie libérée au niveau du foyer sismique est dissipée sous forme d'ondes sismiques se propageant à travers les roches. L'épicentre est le point de surface à la verticale du foyer, le plus rapidement atteint par les ondes.



Les 3 types d'ondes sismiques

Grandeur physique caractérisant l'onde en un point de l'espace :

Distance entre la position du point lors du passage de la perturbation et sa position au repos.

Type d'onde :

Les **ondes de volume** propagent à l'intérieur du globe dans toutes les directions, ce sont des ondes 3D. Elles sont de deux types :

- Les **ondes P** (primaires) sont des ondes longitudinales. Ce sont les plus rapides, elles se propagent aussi bien dans les solides que dans les liquides par compression-dilatation des matériaux traversés.
- Les **ondes S** (secondaires) sont des ondes transversales. Ce sont des ondes de cisaillement qui se propagent uniquement dans les milieux solides par oscillation

Les ondes **de surface** se propagent uniquement dans les couches superficielles du globe, ce sont des ondes 2D. Elles sont moins rapides mais de grande amplitude (causes de gros dégâts). Ce sont des ondes transversales, de torsion.

2. Onde progressive unidimensionnelle :

2.1. Caractéristiques du milieu de propagation

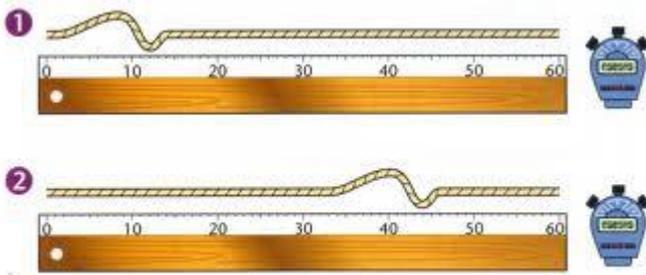
Les milieux étudiés dans ce chapitre posséderont les caractéristiques suivantes :

- Milieu homogène : propriétés physiques scalaires identiques en tout point
- Transparent : le milieu n'absorbe pas l'énergie
- Non dispersif : la vitesse de propagation de l'onde (appelée célérité) est indépendante de la fréquence du signal

2.2. Description et notions de célérité et retard

Un onde est dite **unidimensionnelle** lorsque la **propagation** se fait dans une **seule direction de l'espace**. Elle ne dépend que de deux paramètres : le temps et un unique paramètre d'espace le long de l'axe de propagation, souvent (Ox). On pourra ainsi modéliser l'onde par une fonction $s(x, t)$.

Exemple :



Prenons l'exemple d'une perturbation qui se déplace le long d'une corde. Nous allons représenter mathématiquement ce phénomène :

Supposons que la perturbation (point haut) se trouve en $x = 0$ à l'instant initial : $s(0, 0) = h$

Au temps t_1 , la perturbation se trouve à l'abscisse x_1 .

Au temps t_2 , la perturbation se trouve à l'abscisse x_2 .

La célérité de l'onde ou vitesse de propagation de la perturbation peut s'écrire :

Quel est le signal au point $(0, 0)$; au point (x_1, t_1) ; au point (x_2, t_2) ?

Trouver une relation entre deux points :

2.2.1. Célérité :

Définition

La célérité c d'une onde progressive correspond à la vitesse de déplacement d'une perturbation dans le milieu de propagation. Elle est égale à la distance d parcourue par la perturbation divisée par la durée Δt du parcours : $c = \frac{d}{\Delta t}$ unité : $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La célérité d'une onde dans un milieu dépend de l'état du milieu (plus le milieu est rigide plus la célérité est importante) et de la fréquence de l'onde dans le cas des milieux dispersifs. Elle ne dépend pas de son amplitude.

Quelques ordres de grandeurs de célérités à connaître :

Signal	Célérité
▷ ondes électromagnétiques dans le vide	3×10^8 m/s (vitesse de la lumière)
▷ son dans l'air à 20 °C sous 1 bar	≈ 340 m/s
▷ son dans les métaux	quelques km/s
▷ son dans l'eau	≈ 1500 m/s

Capacité 1 :

célérité d'une onde acoustique dans un fluide

Considérons par exemple la célérité des ondes acoustiques dans un fluide, qui ne dépend que de sa masse volumique ρ et de sa compressibilité χ (inverse d'une pression).

- Retrouver l'expression de la célérité c par analyse dimensionnelle.

- Commenter l'influence des grandeurs physiques sur la célérité

2.2.1. Retard :

Définition

Une onde progressive unidimensionnelle arrive en M à l'instant t et en M' à l'instant t'. La perturbation en M' (identique à celle provenant de M) arrive avec un retard $\tau = t' - t$ tel que: $\tau = \frac{MM'}{c}$
Unité : s

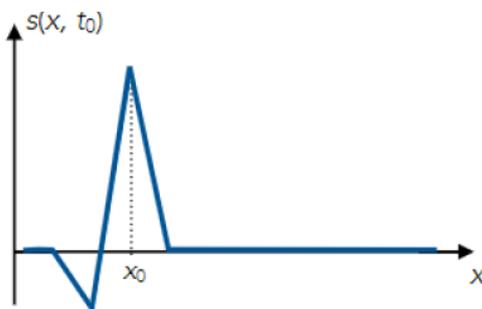
2.3. Représentation spatiale et temporelle

2.3.1. Représentation spatiale :

Dans une **représentation spatiale**, on regarde à un temps fixé la perturbation dans tout l'espace.

Exemple : Ébranlement d'une corde se déplaçant dans le sens des « x croissants »

On réalise deux photos de la corde aux instants t_0 et $t_1 > t_0$. On obtient



Evolution spatiale de la perturbation à l'instant t_0

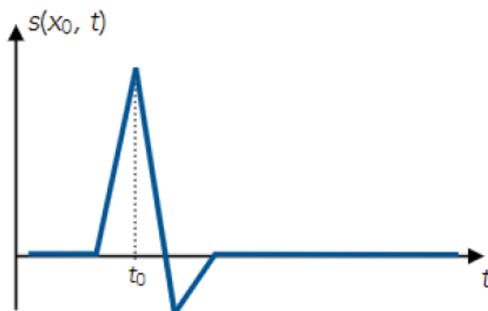
Evolution spatiale de la perturbation à l'instant t_1

2.3.2. Représentation temporelle :

Dans une **représentation temporelle**, on regarde à un endroit fixé la perturbation sur toute sa durée

Exemple : Ébranlement d'une corde

On enregistre l'évolution temporelle de la perturbation en deux points de la corde d'abscisse x_0 et x_1 .



Evolution temporelle de la perturbation au point de la corde d'abscisse x_0 (on filme la perturbation en plaçant une petite caméra sur la corde à l'abscisse x_0)

Evolution temporelle de la perturbation au point de la corde d'abscisse x_1 .

Capacité 2 : A propos de l'orage...

Définir les termes suivants : foudre ; éclair ; tonnerre.

Sachant que la vitesse de la lumière dans l'air est de $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ et que celle du son dans l'air est de $340\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Proposez une méthode pour évaluer à quelle distance se trouve l'orage ?

AN : On entend le tonnerre 7,0 s après avoir vu l'éclair. Risquait-on d'être touché par la foudre ?

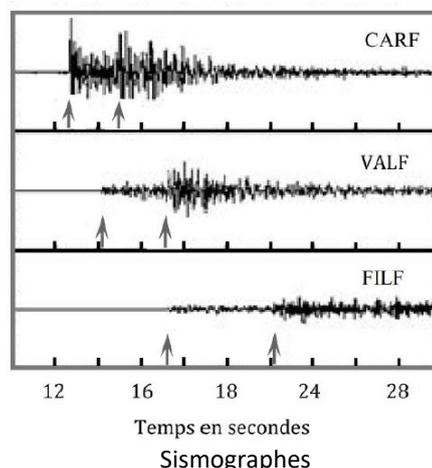
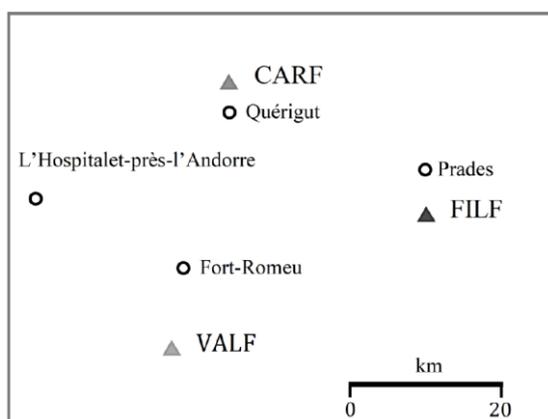
2.4. Cas particulier du séisme :

La mesure de la différence de temps d'arrivée jusqu'à une station sismique entre les ondes P et les ondes S, permet de déterminer la distance entre la station et l'épicentre ainsi que la date du début du séisme.

Si cette distance est connue pour trois stations sismiques différentes alors il est possible de localiser l'épicentre du séisme par triangulation.

Capacité 3 : Localisation de l'épicentre d'un séisme

Pour estimer la distance séparant l'épicentre d'une station d'enregistrement sismologique, on suppose que les ondes sismiques se propagent en ligne droite depuis l'épicentre jusqu'à la station d'enregistrement. Un séisme a été enregistré dans trois observatoires sismologiques d'Ariège et des Pyrénées Orientales : Carnacières (CARF), Valcebollère (VALF), Fillols (FILF).



Les sismogrammes enregistrés dans les trois observatoires sont ci-dessus. Les temps d'arrivées des ondes P, dites de compression, et des ondes S, dites de cisaillement, y sont indiqués.

Pour déterminer quelle onde arrive la première à une station, on précise pour chacune, l'expression de la célérité. Ces célérités, c_p et c_s , dépendent de la nature du milieu de propagation.

$$\text{Onde P : } c_p = \sqrt{\frac{\chi + 4/3\mu}{\rho}}$$

$$\text{Onde S : } c_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Avec les trois grandeurs positives suivantes:

- χ : module d'incompressibilité qui traduit l'opposition à la compression,
- μ : module de cisaillement qui traduit l'opposition à la déformation,
- ρ : masse volumique.

1. Justifier à l'aide des expressions de la célérité que les ondes P se propagent plus rapidement que les ondes S.

Dans le cas précis étudié, $c_p = 6,0$ km/s et le rapport de la célérité des ondes P par la célérité des ondes S, est de 1,75.

2. Localiser l'épicentre du séisme.

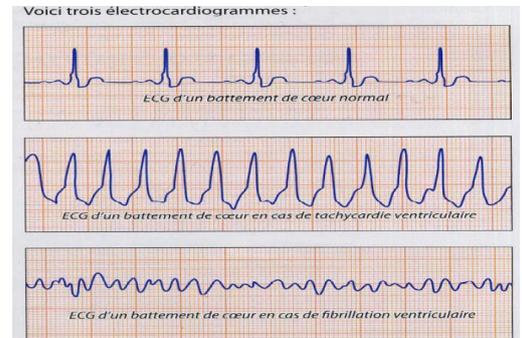
3. Onde progressive sinusoïdale :

3.1. Signal périodique – signal alternatif – signal sinusoïdal

3.1.1. Signal périodique :

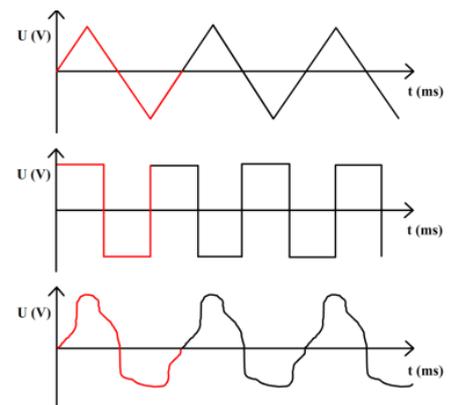
Un signal périodique se répète identiquement à lui-même à intervalle de temps successifs.

La période T (en seconde) est la plus courte durée au bout de laquelle le phénomène identique se reproduit.



3.1.2. Signal alternatif :

Un signal alternatif est un signal périodique dont la valeur moyenne temporelle est nulle.

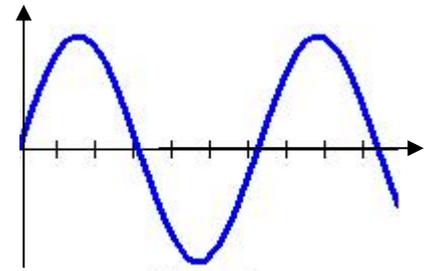


3.1.3. Signal sinusoïdal alternatif:

Un signal sinusoïdal est un signal périodique particulier de la forme :



Où :



On définit aussi la valeur « crête à crête » : $S_{cc} = S_{max} - S_{min}$

Capacité 4 : Déterminer les caractéristiques d'un signal sinusoïdal alternatif

On considère le signal sinusoïdal $u(t) = u_0 \cos(\omega t + \varphi)$ représenté fig.1

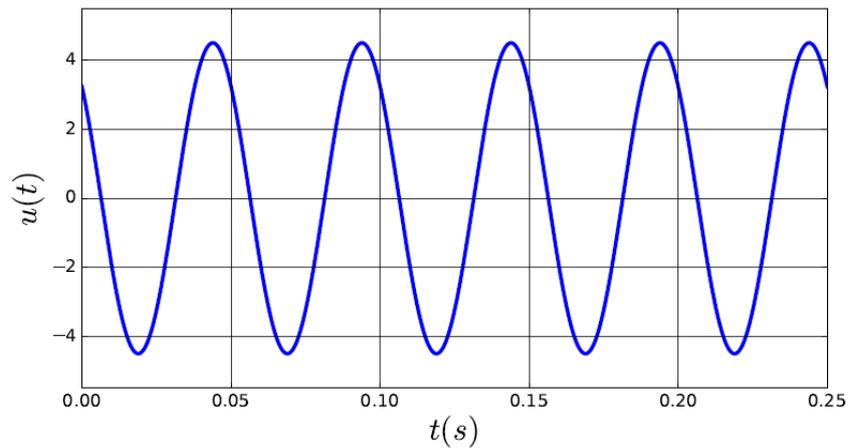


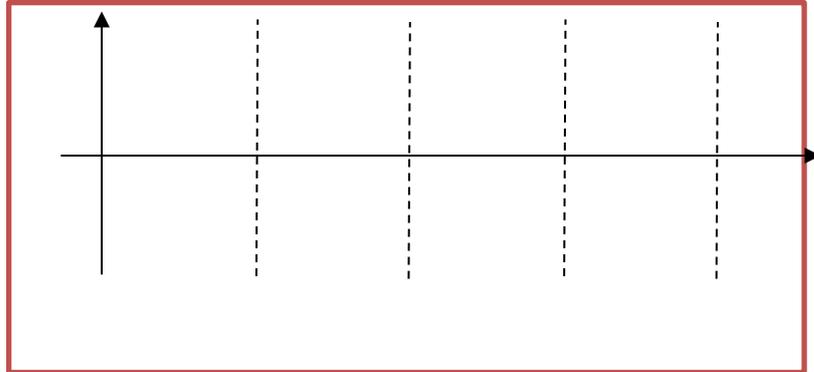
FIGURE 1 – Signal sinusoïdal

Déterminer l'amplitude, la pulsation, la fréquence, la période et la phase à l'origine φ de ce signal (par convention $\varphi \in]-\pi, \pi]$).

Capacité 5 : représentation d'un signal sinusoïdal

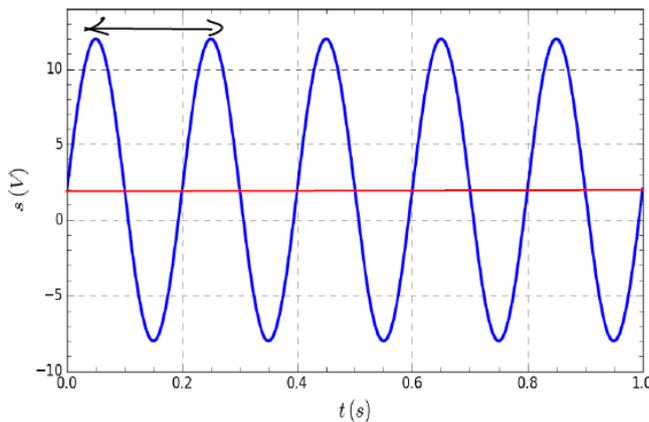
Soit le signal sinusoïdal de période T suivant. $s(t) = A \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

Représenter ce signal en fonction du temps à partir de $t = 0$



Remarque : il existe des signaux sinusoïdaux non alternatifs.

Soit un signal $s(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$, représenté ci-dessous :



Il s'agit d'un signal non alternatif car $\langle s(t) \rangle \neq 0$

Il présente :

- une composante continue : A_0
- Une composante alternative : $A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ de période T.

Rq : Expérimentalement, on peut mesurer de manière isolée chacune des composantes (Voir TP) :

- Le mode DC renvoie la composante continue : A_0
- Le mode AC renvoie la composante alternative : $A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$
- Le mode AC + DC renvoie le signal entier : $s(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$

Au GBF, le bouton offset permet de rajouter une composante continue A_0 à un signal sinusoïdal.

3.2. Ondes sinusoïdales : double périodicité (temporelle et spatiale)

Une onde unidimensionnelle progressive sinusoïdale est une onde de fréquence déterminée. Une telle onde se déplaçant à la célérité c dans le sens des x croissants est décrite par un signal du type :

$$s(x, t) = A. \cos\left(\omega. \left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$$

Ce signal présente une double périodicité :

- **Périodicité temporelle :**

La période T est la plus courte durée au cours de laquelle un point fixe du milieu de propagation se retrouve dans le même état qu'à l'instant t .

- **Périodicité spatiale :**

La longueur d'onde λ est la plus petite distance séparant deux points dans le même état de perturbation au même instant t .

$$\lambda = c.T$$

Démonstration :

Illustration de la double périodicité : la houle

Expérience 1 :

Expérience 2 :

3.3. Ondes électromagnétiques (OEM) :

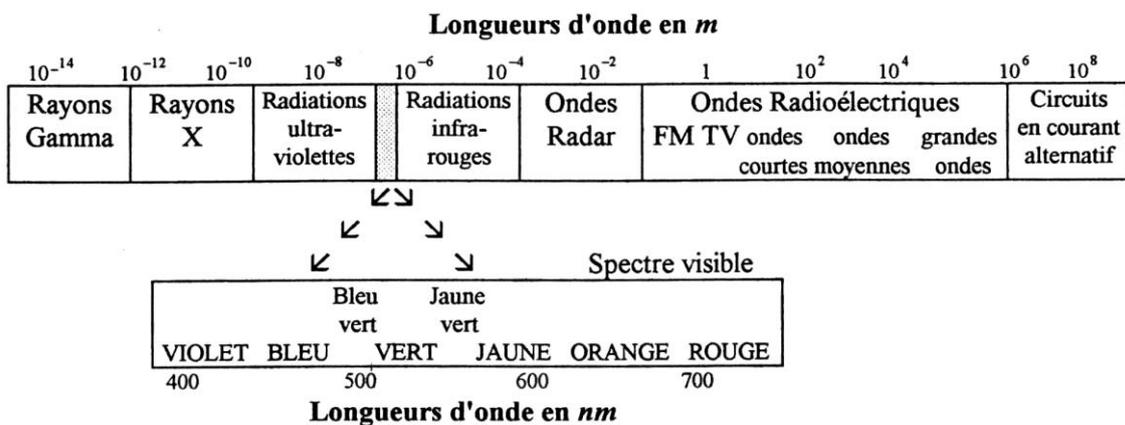
Les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide ou dans l'air à la vitesse de la lumière :

$$c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}.$$

Dans un milieu matériel, cette vitesse est moins élevée : $v = \frac{c}{n}$

Avec $n \geq 1$ indice optique du milieu.

Le nom des ondes électromagnétiques varie selon le mode d'émission et donc de leur fréquence et longueur d'onde, il s'agit cependant du même phénomène physique due à une réponse de la matière suite à une excitation.



Voir chapitre 7.

3.4. Ondes sonores :

Un son est produit par la mise en vibration d'un corps, solide ou fluide.

- Un son « pur » est un signal sinusoïdal périodique de fréquence f

Par contre un son peut aussi être composé d'une combinaison d'ondes sonores de différentes fréquences et dans ce cas on parle de sons "complexes".

Un diapason a comme caractéristique de produire un son pur, c'est pour cela que l'on peut s'en servir pour s'accorder.

La plupart des autres instruments de musique produisent des sons complexes.

Théorème de Fourier : Tout signal $s(t)$ associée à un phénomène physique périodique de fréquence f_1 peut être décomposé en une somme infinie de signaux sinusoïdaux de fréquence $f_n = n f_1$

$$s(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2 \omega t + \varphi_2) + \dots + A_n \sin(n \omega t + \varphi_n) \dots$$

Le signal sinusoïdal de plus grande période, ou de plus petite fréquence, impose sa période au signal total.

La fréquence fondamentale f_1 impose sa fréquence au signal périodique.

Les autres termes sont appelés harmoniques, leur fréquence est égale à $n.f_1$, c'est-à-dire que leur fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale.

Exemple : comparaison du signal d'un diapason et d'un violon :

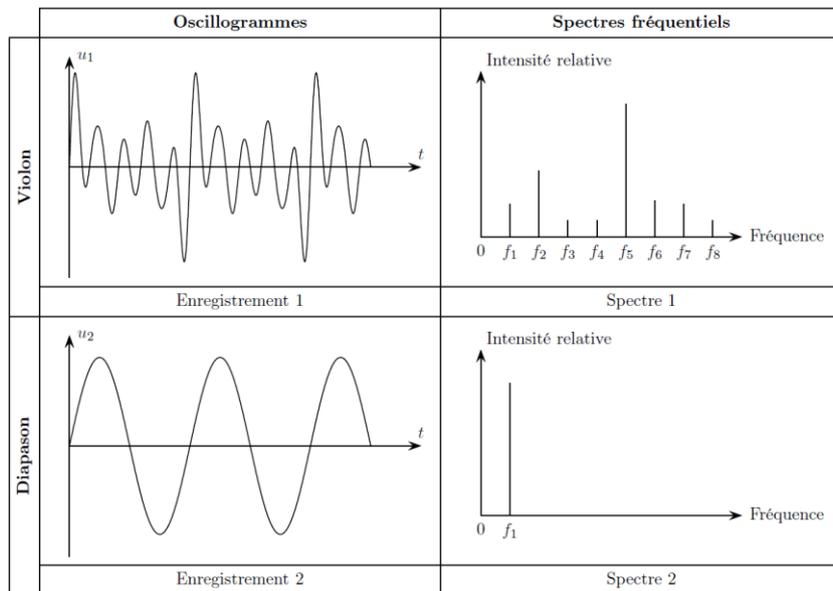


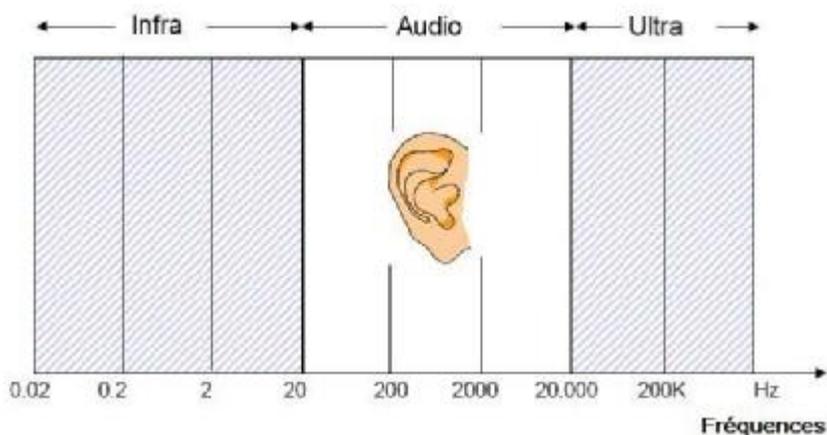
Figure 1 – Enregistrements et spectres fréquentiels des deux émetteurs sonores.

- **Fréquences des ondes acoustiques**

Les **sons** (audibles par l'oreille humaine) sont des ondes acoustiques les fréquences sont situées entre 20 Hz (grave) et 20 kHz (aigu) mais ces valeurs varient selon les individus

Les **ultrasons** correspondent à $f > 20\text{kHz}$, les **infrasons** à $f < 20\text{Hz}$.

- **La hauteur du son est liée à la fréquence du signal**



4. Travaux dirigés n°2

Exercice 1 : Le mascaret

Le mascaret est une vague qui remonte l'estuaire de certains fleuves lorsque la marée monte. Sa hauteur dépend du fleuve, du coefficient de marée et dans certain cas, cette vague peut être particulièrement destructrice. Nous admettrons que sa célérité c est égale à 25,0 km/h. On a représenté ci-dessous l'aspect de la surface de l'eau vue en coupe le long du fleuve, pris à un instant origine $t_0 = 0$, avec h , la hauteur d'eau par rapport au fond du fleuve. L'axe des abscisses est orienté vers la source du fleuve.

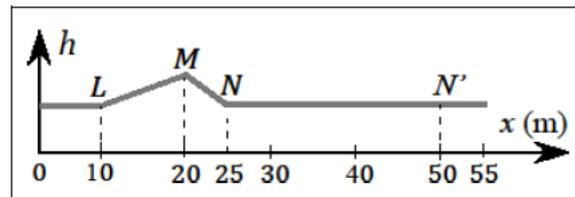


Figure 1 : Profil de la perturbation

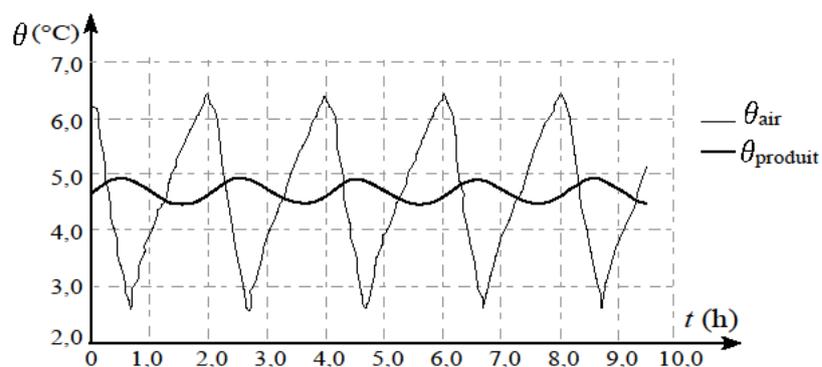
1. Le mascaret est-il une onde longitudinale ou transversale ?
2. À quel instant t_1 , l'onde du mascaret atteint-elle le point N' ? Représenter l'aspect de la surface de l'eau pour ce temps t_1 .

Exercice 2 : Echo

Donnée : $c_{\text{son}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

1. Sachant qu'une oreille humaine attentive ne peut pas distinguer deux sons séparés par une durée inférieure à 0,1s. Calculer la distance minimale à laquelle doit se situer un mur réflecteur pour que la personne puisse percevoir l'écho de sa voix.
2. Dans un canyon de largeur D , un homme est situé à une distance d de la paroi la plus proche. Il émet un signal sonore bref et puissant et mesure la durée entre les deux échos qu'il reçoit. Exprimer Δt en fonction de D , d et de la célérité du son.

Exercice 3 : Signaux périodiques



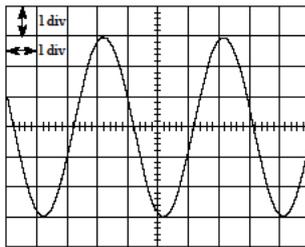
Ci-dessus, sont représentées l'évolution de la température de l'air ainsi que celle à cœur d'un produit, à l'intérieur d'un réfrigérateur.

1. Mesurer la période de ces signaux périodiques graphiquement. Conclure.

2. Calculer la fréquence de chaque signal.
3. Calculer le déphasage entre les deux signaux.
4. Ces signaux sont-ils alternatifs ?

Exercice 4 : Analyse des ultrasons émis par une chauve-souris

Le grand rhinolophe est une espèce de chauve-souris ; un microphone relié à un oscilloscope a permis l'analyse des ultrasons émis par cet animal supposé fixe par rapport au microphone. L'oscillogramme est représenté ci-dessous avec une sensibilité verticale de 50 mV/div et une sensibilité horizontale de 3,0 μs/div.

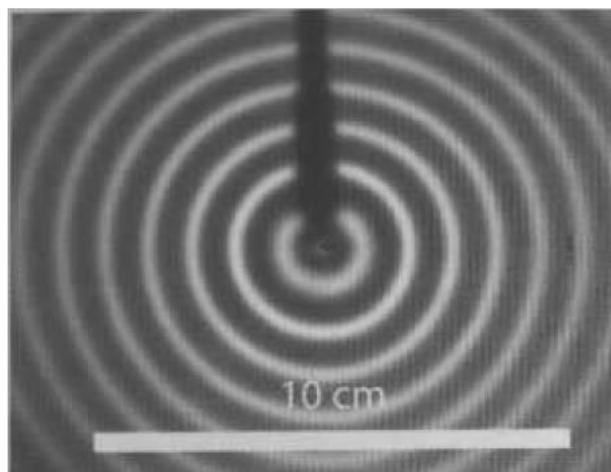


1. Quelle est la nature du signal électrique ?
2. Déterminer la période T , la fréquence f , la pulsation ω , sous forme d'un multiple de π et A l'amplitude de ce signal.
3. Justifier que ce son n'est pas audible par l'oreille humaine.
4. On recule le microphone, selon une des directions de propagation de l'onde sonore étudiée, d'une distance égale à $D = 5,0$ mm. Le signal observé à l'oscilloscope se déplace vers la droite de 5,0 divisions. Déterminer la célérité du son dans l'air.
5. De quelle distance minimale faut-il reculer le microphone, pour que le signal observé à l'écran de l'oscilloscope soit en opposition de phase par rapport au signal observé initialement ?

Exercice n°5 : Cuve à ondes

À la surface d'une cuve à ondes, un petit vibreur, oscillant à la fréquence $f = 25$ Hz, crée une onde circulaire. À un instant choisi comme origine ($t = 0$) on a pris la photographie suivante.

- 1) Déterminer la longueur d'onde, et en déduire la célérité de l'onde de surface.
- 2) Quelle serait l'allure de la photo aux instants $t_1 = 80$ ms et $t_2 = 100$ ms ?



FORMULAIRE

- Signal sinusoïdal alternatif :

$$s(t) = S_m \cos(\omega t + \phi)$$

Avec S_m amplitude ; $\omega t + \phi$ phase à l'instant t ; ϕ phase à l'origine ; ω pulsation.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\langle s(t) \rangle = 0$$

- Décomposition en série de Fourier :

Tout signal $s(t)$ associée à un phénomène physique périodique de fréquence f peut être décomposé en une somme infinie de signaux sinusoïdaux de fréquence $f_n = n f_1$

$$s(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(2 \omega t + \phi_2) + \dots + A_n \sin(n \omega t + \phi_n) \dots$$

$$\langle s(t) \rangle = A_0$$

La fréquence fondamentale f_1 impose sa fréquence au signal périodique.

La fréquence f_n des harmoniques est un multiple entier de f_1

- Onde unidimensionnelle progressive sinusoïdale :

$$s(x, t) = A. \cos\left(\omega. \left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$$

Périodicité temporelle et spatiale : $\lambda = c. T$

- Onde sonore :

L'oreille humaine perçoit des sons de 20 Hz à 20 kHz