

O4 Chapitre 1 - Exemples de propagation de signaux, et intérêt du signal sinusoïdal

PLAN DU CHAPITRE

- I. Exemples de signaux associés aux phénomènes ondulatoires
 - 1. Qu'est-ce qu'une onde ?
 - 2. Différents types de signaux
- II. Qu'est-ce que le spectre d'un signal ?
 - 1. Comment analyser un signal ?
 - 2. Exemple des signaux sonores, analyse spectrale
 - 3. Synthèse d'un signal périodique
 - 4. Décomposition en série de Fourier
- III. Propriétés des signaux sinusoïdaux
 - 1. Quelles sont les caractéristiques du signal sinusoïdal ?
 - 2. Comment mesurer le déphasage entre deux signaux ?

I. Exemple de signaux associés aux phénomènes ondulatoires

1. Qu'est-ce qu'une onde ?

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.



Définition. Une onde est la propagation d'une modification des propriétés physiques d'un milieu matériel ou immatériel engendrée par une action locale.

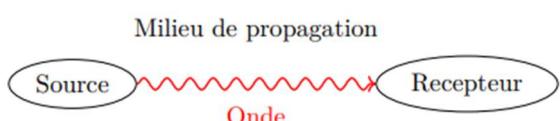
Propriétés.

- La propagation s'effectue à vitesse finie (vitesse déterminée par les caractéristiques du milieu)
- La propagation s'effectue sans qu'il y ait de déplacement de matière en moyenne¹.
- L'onde véhicule de l'énergie².

¹ : exemple d'un bouchon qui flotterait à la surface de l'eau dans l'exemple cité.

² : penser aux dégâts commis par les ondes sismiques par exemple.

Définition. Toute grandeur physique, nulle dans l'état de repos et apparaissant avec la perturbation, est nommée signal véhiculé par l'onde.



Le signal est donc ce qui est lu par le récepteur placé en un point donné de l'espace.

Dans le cadre de notre exemple, le signal véhiculé est la hauteur d'eau.

2. Différents types de signaux

| | <u>Ondes mécaniques</u> | <u>Ondes électromagnétiques</u> |
|-----------------------|--|--|
| Milieu de propagation | Nécessité d'un milieu matériel élastique (=milieu susceptible de reprendre spontanément sa forme initiale) | Pas besoin de milieu matériel pour se propager. <i>En effet, la lumière des étoiles traverse essentiellement des zones vides avant de nous parvenir !</i> |

| | |
|---|--|
| <p>Signal véhiculé</p> <p>Déformation locale de la matière</p> | <p><u>Champ électrique</u> \vec{E} <u>couplé à un champ magnétique</u> \vec{B}</p> |
| <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ondes sismiques : il y a, parmi celles-ci, les ondes P longitudinales (qui, lors d'un séisme, arrivent en premier) et ondes S transversales (qui arrivent en second). <ul style="list-style-type: none"> - Ondes acoustiques ou ondes sonores : ces ondes longitudinales se propagent dans les fluides ou les solides. Les signaux transportés par l'onde acoustique dans les fluides sont les variation de pression (appelées <u>surpression acoustique</u>) et la vitesse de vibration. <p>L'oreille humaine moyenne ne perçoit les sons que dans une plage de fréquences située, selon l'âge et la culture, <u>entre 20 Hz et 20 kHz</u></p> | <p>spectre électromagnétique</p> |

Rappel : l'onde est qualifiée de :

- **transversale** lorsque le mouvement local de la matière est **perpendiculaire** à la direction dans laquelle l'onde se propage.
- **longitudinale** lorsque le mouvement local de la matière est **parallèle** à la direction de propagation de l'onde.

II. Qu'est-ce que le spectre d'un signal ?

1. Comment analyser un signal ?

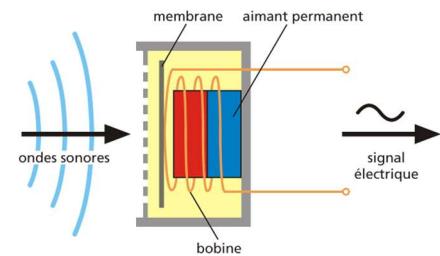
Un signal électrique correspond à une modification locale du courant I et de la tension U. Il se propage dans les conducteurs électriques (métaux notamment).

Le signal électrique est facile à analyser et à synthétiser, c'est pourquoi on cherche presque toujours à transformer le signal à étudier en ce type de signal et réciproquement.

Transducteur : système qui transforme un signal de nature donnée en un signal électrique (ou inversement).

Exemples : microphone (acoustique → électrique), haut-parleur (électrique → acoustique), sismographe (déplacement du sol → électrique), diode (électrique → lumineux)

Les transducteurs mécaniques électriques fonctionnent souvent sur le principe de l'induction électromagnétique (abordée en fin d'année, ici exemple du microphone électrodynamique).

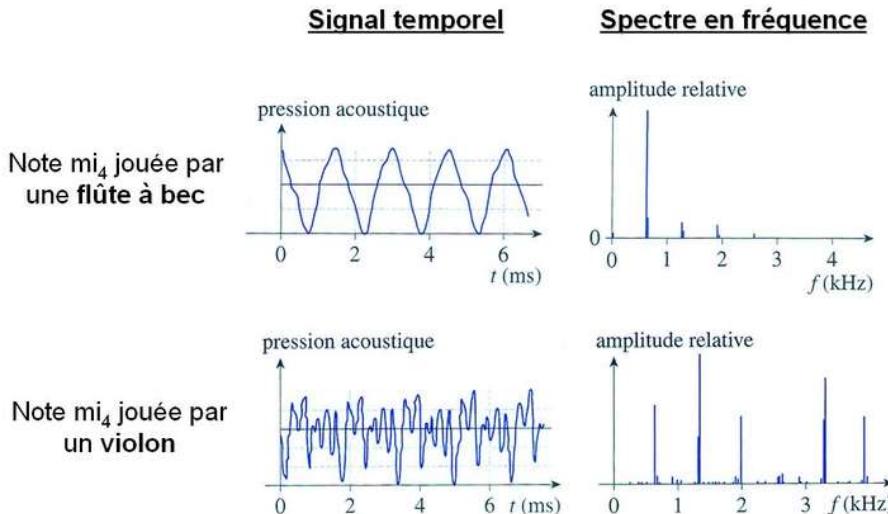


En pratique, comment analyser un signal : Un signal converti en signal électrique peut ensuite être envoyé en entrée d'un oscilloscope ou d'une carte d'acquisition couplée à un logiciel de traitement (Latis Pro), qui possèdent une fonction d'analyse, souvent dénommée « FFT » pour Fast Fourier Transform.

2. Exemple de signaux sonores, analyse spectrale

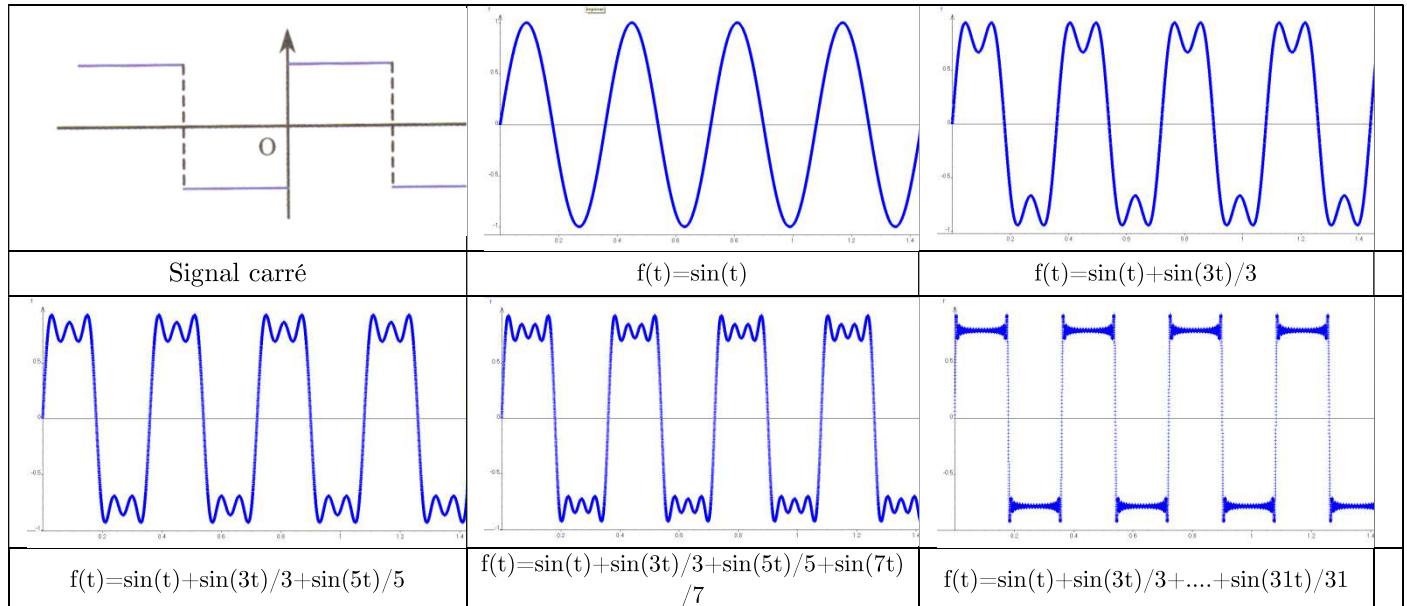
Les sons musicaux émis par les instruments de musique sont généralement complexes : il s'agit d'ondes périodiques, de fréquence f mais non sinusoïdales. On observe grâce à un logiciel que ce signal se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux.

Voici les résultats de l'analyse spectrale de deux notes de musique identiques jouées par deux instruments différents :



3. Synthèse d'un signal périodique

Peut-on reproduire un signal carré en sommant des signaux sinusoïdaux ? [Exemple du signal carré](#)



La somme suivante constituée d'une infinité de termes, appelée série de Fourier, est équivalente à un signal carré d'amplitude unité : $f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin[(2n+1)t]}{2n+1}$

4. Décomposition en série de Fourier

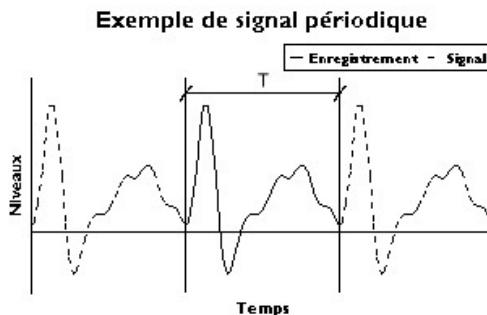
Un théorème mathématique dû à Fourier (XIX^{ème} siècle) possède une conséquence fondamentale en physique.

Tout signal périodique de période T et de fréquence $f=1/T$ est la somme de signaux sinusoïdaux de fréquence 0, f , $2f$, $3f$, etc ; on peut donc l'écrire sous la forme suivante :

$$s(t) = A_0 + A_1 \cos(2\pi ft + \varphi_1) + A_2 \cos(4\pi ft + \varphi_2) + A_3 \cos(6\pi ft + \varphi_3) + \dots$$

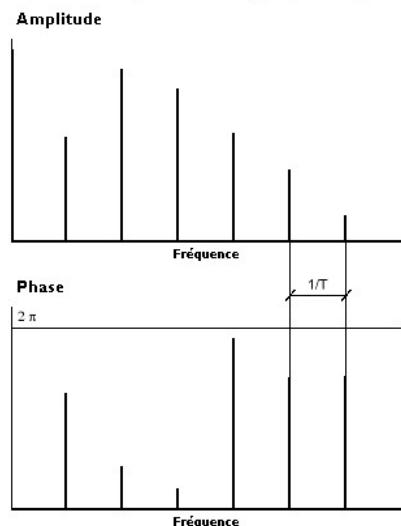
- avec A_0 la composante continue du signal, c'est la moyenne temporelle du signal
- avec $A_1 \cos(2\pi ft + \varphi_1)$ le fondamental.
- avec $A_n \cos(2\pi nft + \varphi_n)$ l'harmonique de rang n .

Les amplitudes A_k et les phases φ_k peuvent être calculées grâce à des formules intégrales hors du cadre du programme.



Le **spectre en amplitude** d'un signal est le diagramme indiquant les fréquences n.f en abscisse et les amplitudes A_n en ordonnée.

Spectre d'amplitude d'un signal périodique



Le **spectre en phase** d'un signal est le diagramme indiquant les fréquences n.f en abscisse et les phases $\varphi(f)$ en ordonnée.

Il est alors possible de reconstruire le signal $s(t)$ à partir des deux spectres fréquentiels en phase et en amplitude.

III. Propriétés des signaux sinusoïdaux

Grâce à la décomposition spectrale des signaux quelconques, les signaux sinusoïdaux jouent un rôle de premier plan en physique. En effet, si l'on connaît le comportement du système pour chaque fréquence de signal sinusoïdal, on peut prévoir l'effet d'un signal quelconque dont on a effectué au préalable l'analyse spectrale. D'autre part, les signaux sinusoïdaux (harmoniques) présentent des propriétés mathématiques qui simplifient souvent les calculs.

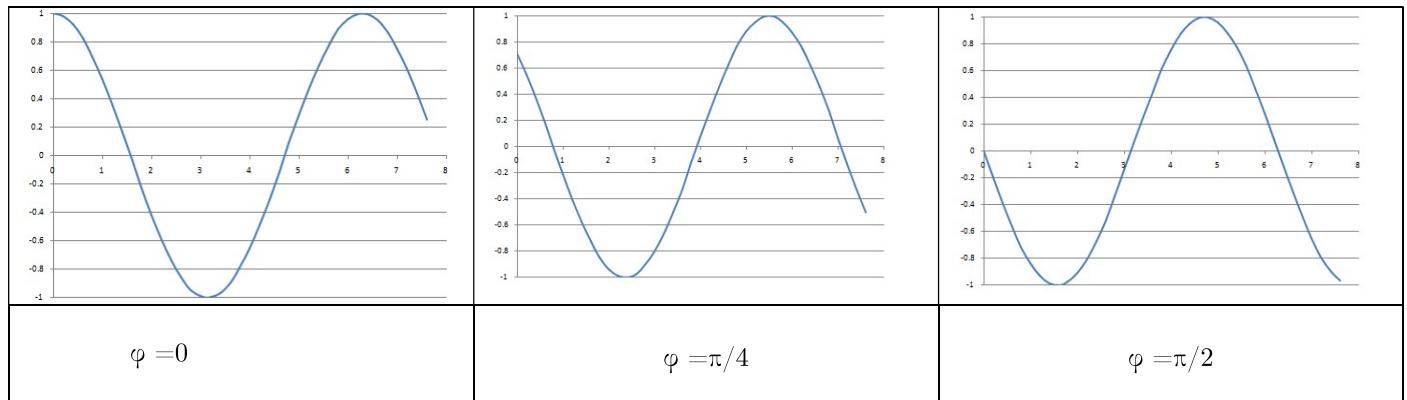
1. Quelles sont les caractéristiques du signal sinusoïdal ?

Un signal sinusoïdal est un signal qui peut se mettre sous la forme : $s(t)=A\cos(\omega t+\varphi)$

- ω est la pulsation du signal (avec $\omega=2\pi f$)
- A est son amplitude (constante toujours positive !)
- φ est la phase initiale ou phase à l'origine
- $\phi(t)=\omega t+\varphi$ est la phase instantanée

Rappel : comment retrouver A et φ si on utilise la forme équivalente $s(t)=B\cos(\omega t)+C\sin(\omega t)$?

Rappel : influence de la phase à l'origine (Ici A=1).



2. Comment mesurer le déphasage ?

a) Qu'est-ce que le déphasage ?

Soit deux signaux sinusoïdaux synchrones (=de même pulsation) :

$$s_1(t) = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ et } s_2(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

On appelle **déphasage** $\Delta\phi_{2/1}$ du signal s_2 par rapport à s_1 , la différence entre leurs phases :

$$\Delta\phi_{2/1} = \phi_2 - \phi_1 = (\omega t + \varphi_2) - (\omega t + \varphi_1) = \varphi_2 - \varphi_1$$

b) Signal en avance ou en retard ?

- Si $\Delta\phi_{2/1} > 0$, on dit que s_2 est en avance par rapport à s_1
- Si $\Delta\phi_{2/1} < 0$, on dit que s_2 est en retard par rapport à s_1



c) Comment visualiser et mesurer le déphasage sur une représentation temporelle ?

Le déphasage est lié au décalage temporel entre les extrema des deux signaux. Voir FM