Cours Physique 01 **BCPST 1C**

- *Propagation d'un signal physique : les ondes* -

Notions et contenus	*Capacités exigibles*
Signaux physiques *- Exemples de signaux physiques.*	*- Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux mécaniques, acoustiques, électriques et sismiques.*
Propagation d'un signal dans un milieu homogène, illimité, non dispersif et transparent *- Célérité.*	*- Obtenir l'expression de la célérité par analyse dimensionnelle à partir des grandeurs physiques fournies. Interpréter l'influence de ces grandeurs physiques sur la célérité.* *- Citer les valeurs de la célérité du son dans l'air et dans l'eau dans les conditions usuelles.*
- Retard temporel	*- Exploiter la relation entre la distance parcourue par le signal, le retard temporel et la célérité.* *- Exploiter des données pour localiser l'épicentre d'un séisme.*
- Approche descriptive de la propagation d'un signal unidimensionnel. *- Cas particulier du signal sinusoïdal : amplitude, double périodicité spatiale et temporelle.*	*- Exploiter une représentation graphique donnant l'amplitude du signal en fonction du temps en un point donné, ou en fonction de la position à un instant donné.* *- Exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.* *- Citer les limites en termes de fréquences du spectre audible par l'être humain.* ***(TP) Mesurer la célérité d'un phénomène ondulatoire.***

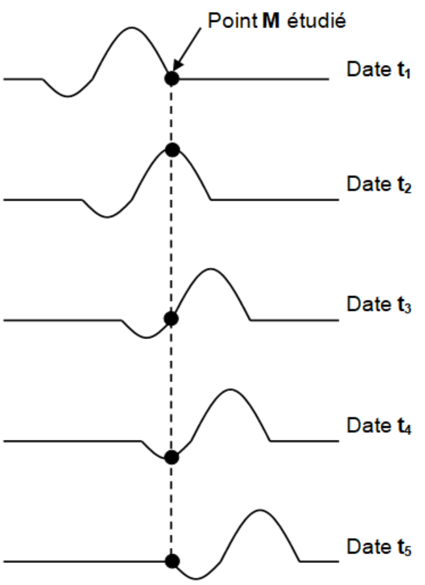
Le mot « onde » vient du latin *unda* qui signifie « eau agitée » … Lorsqu'un caillou tombe dans l'eau, il provoque une déformation de la surface du liquide ; cette déformation se traduit visuellement sous la forme de cercles qui s'agrandissent et se propagent en s'éloignant du point d'impact. Cette observation est un exemple d'onde, mais une onde est un phénomène plus général qui s'étend à d'autres milieux que l'eau …

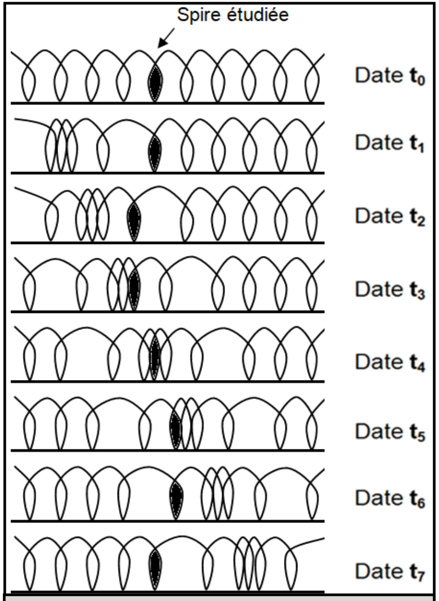
Au travers de ce chapitre, nous présenterons différents exemples d'ondes et nous verrons quelles grandeurs physiques permettent de les étudier simplement.

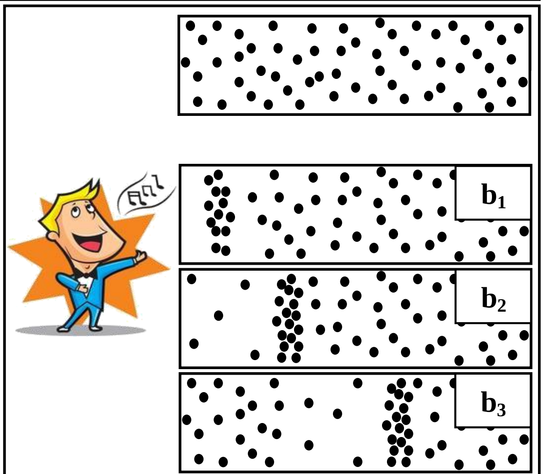
I- Description qualitative des ondes

1) *Définitions*

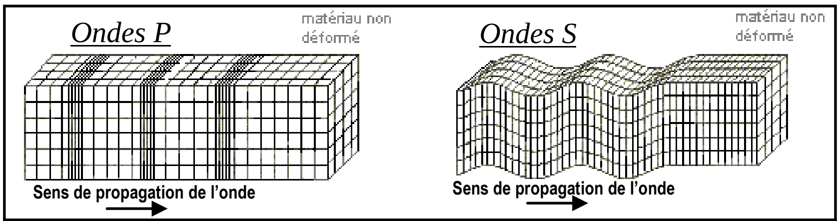
☛ **Définition d'une ONDE** :







Doc 3 : Disposition moyenne des molécules d'air :
(a) en absence de son ;
(b) quand un son bref est émis en b_1 puis se propage en b_2 et b_3.



Doc 4 : Ondes sismiques de type P et de type S

__Doc 1__ : Le passage de la perturbation (vague) fait monter et descendre chaque point du milieu. Mais une fois la perturbation passée, chaque point du milieu retrouve sa place initiale ;
__Doc 2__ : Le passage de la perturbation (spires comprimées) crée un mouvement de va-et-vient horizontal des spires situées à proximité. Mais une fois la perturbation passée, chaque spire retrouve sa position initiale.
__Doc 3__ : Le passage de la perturbation (couches d'air comprimées) crée un mouvement de va-et-vient horizontal des molécules d'air situées à proximité. Mais une fois la perturbation passée, chaque molécule d'air retrouve sa position initiale.

☛ **<u>Définition d'une onde MECANIQUE</u>** :

✍- *Les ondes des documents 1 à 4 sont-elles mécaniques ?*

- <u>Doc 1</u> :
- <u>Doc 2</u> :
- <u>Doc 3</u> :
- <u>Doc 4</u> :

✍- *Donner un exemple d'onde non mécanique.*

*Le milieu matériel dans lequel les ondes mécaniques se propagent doit être **ELASTIQUE**, c'est-à-dire qu'il doit être capable de se déformer temporairement pour ensuite reprendre sa forme initiale. Cela permet à la perturbation de se propager de proche en proche : le mouvement d'une entité du milieu entraîne alors celui de ses voisines car il y a des interactions entre elles (<u>Doc 1</u> : liaisons H dans l'eau) ou car elles s'entrechoquent (<u>Doc 2, 3, 4</u>)*

☛ **<u>Définition d'une onde LONGITUDINALE</u>** :

☛ **<u>Définition d'une onde TRANSVERSALE</u>** :

✍- *Les ondes des documents 1 à 4 sont-elles longitudinales ou transversales ?*

- <u>Doc 1</u> :
- <u>Doc 2</u> :
- <u>Doc 3</u> :
- <u>Doc 4</u> :

☛ **<u>Définition du SIGNAL</u>** :

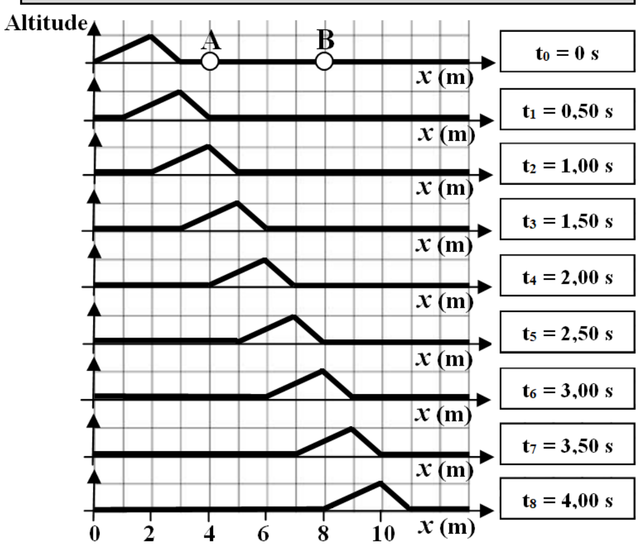
Voici quelques exemples d'ondes et de signaux physiques associés ***à connaître*** :

Type d'onde	**Mécanique** (<u>*ex*</u> : vague, ressort)	**Sismique** (<u>*ex*</u> : trembl^{nt} de terre)	**Electrique** (<u>*ex*</u> : influx nerveux)	**Acoustique** (<u>*ex*</u> : son)	**Electromagnétique** (<u>*ex*</u> : lumière)
Signal = Grandeur Physique modifiée					

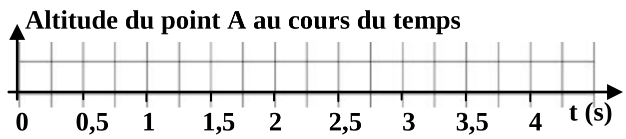
2) <u>Les deux représentations d'une onde</u>

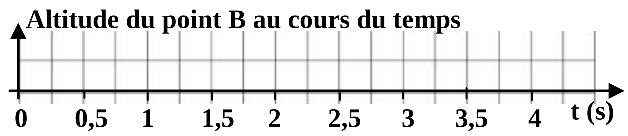
Pour indiquer comment sont perturbés les points du milieu au passage de l'onde, on peut représenter :

<u>Doc 5</u> : Les variations du signal <u>en fonction de la position</u> **A UN INSTANT DONNE**



<u>Doc 6</u> : Les variations du signal <u>en fonction du temps</u> **EN UN POINT DONNE**





II- Grandeurs associées aux ondes

Pour la suite de notre étude, on se placera dans le cas d'une onde se propageant dans un milieu ***homogène*** (même composition et mêmes propriétés physiques en tout point), ***illimité*** (l'onde s'éloigne indéfiniment de la source et ne peut revenir en arrière), ***non dispersif*** (définition à la fin du cours) et ***transparent*** (milieu qui n'absorbe pas d'énergie).

1) Retard et Célérité

Si l'onde ne s'amortit pas, tous les points du milieu subissent la même perturbation à des instants différents.

☛ **Définition du RETARD** :

☛ **Définition de la CELERITE d'une onde** :

On ne parle pas de « vitesse » pour une onde : ce terme est en effet réservé aux situations où un déplacement de matière est observé.

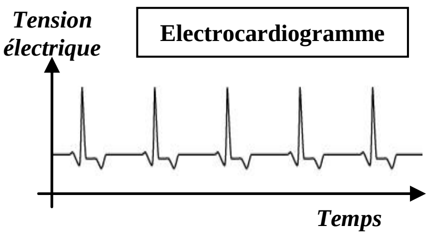
✍- *Calculer le retard du point B par rapport au point A dans le cas des documents 5 et 6.*

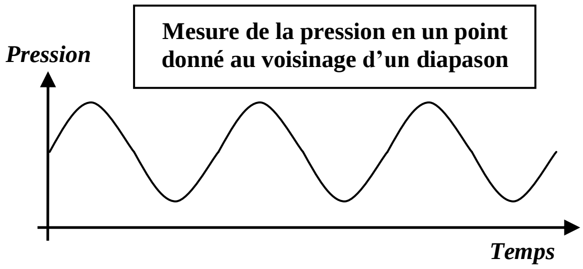
✍- *Calculer la célérité de l'onde dans le cas des documents 5 et 6.*

La célérité d'une onde peut dépendre de nombreux paramètres comme la nature du milieu dans lequel la propagation a lieu, la température, la densité …

☛ **Ordres de grandeurs à connaître** :

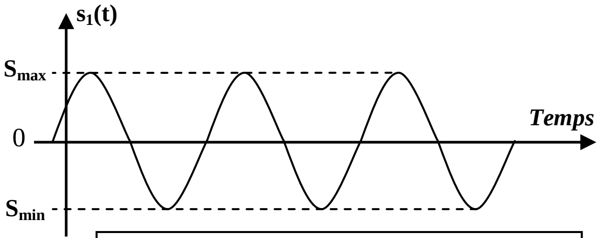
2) Cas des ondes périodiques



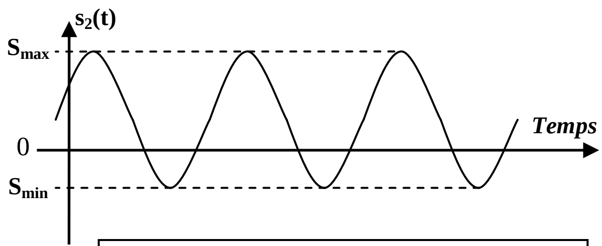


☛ **Définition d'une ONDE PERIODIQUE** :

Dans la suite, on s'intéressera aux ***ondes SINUSOÏDALES*** qui sont un cas particulier d'ondes périodiques : comme leur nom l'indique, ces ondes sont caractérisées par un **signal s(t) de forme sinusoïdale dont la valeur maximale S_{max} et la valeur minimale S_{min} sont exactement opposées**.



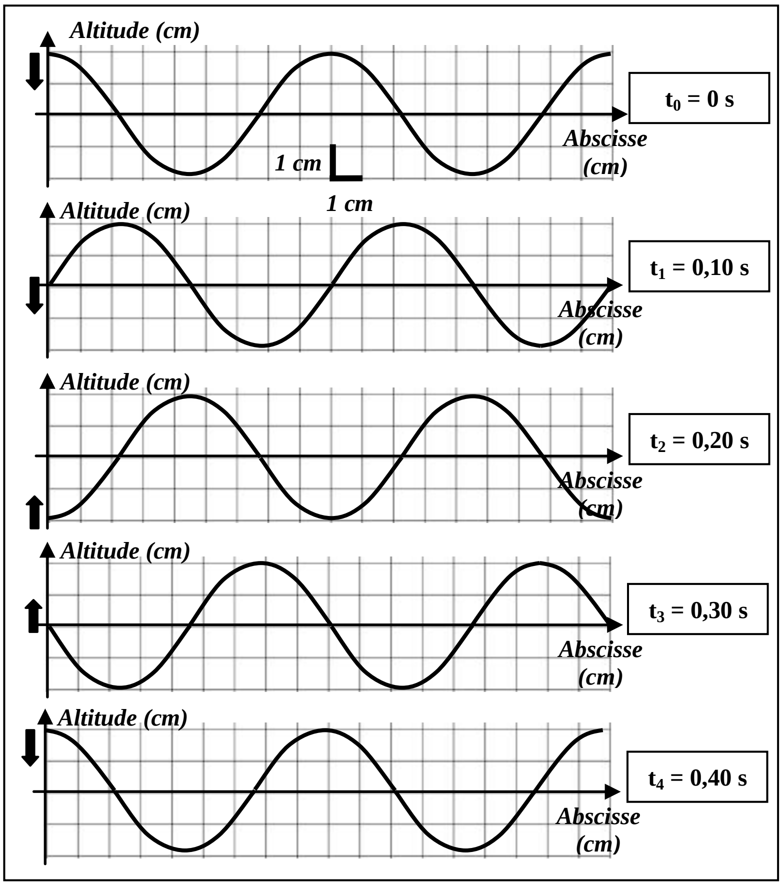
Signal SINUSOÏDAL ($S_{min} = - S_{max}$)



Signal NON SINUSOÏDAL ($S_{min} \neq - S_{max}$)

Voyons ci-dessous quelles sont les **CARACTERISTIQUES d'un signal sinusoïdal**. Pour cela, on se basera sur les différents graphiques ci-dessous, indiquant pour différentes dates la représentation spatiale d'une corde soumise à une onde sinusoïdale.

NB : sur ces graphiques, la flèche noire représentée à gauche de l'axe des ordonnées (indique le mouvement de la corde au point d'abscisse x = 0 à l'instant considéré.



a/ Amplitude :

☛ **Définition** :

✍- *Que vaut l'amplitude de l'onde étudiée ?*

A ne pas confondre avec la ***valeur « crête à crête »*** *du signal qui représente la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale du signal sinusoïdal.*

b/ Période spatiale :

☛ **Définition** :

✍- *Que vaut la période spatiale de l'onde ci-contre ?*

✍- *Quelle distance séparent deux points A et B du milieu dans le même état de perturbation ?*

✍- *Quelle distance sépare deux points A et B du milieu dans des états de perturbation complètement opposés ?*

c/ Période temporelle :

☛ **Définition** :

✍- *Que vaut la période temporelle de l'onde étudiée ?*

La valeur de la période temporelle **T** *d'une onde est imposée par la source.* ***Pour une source donnée, la valeur de la période temporelle* T *d'une onde est donc toujours la même*** *; elle ne dépendra donc par exemple pas du milieu de propagation.*

☛ **Relation entre la longueur d'onde λ, la période temporelle T et la célérité v de l'onde** :

✍- *Calculer la célérité de l'onde étudiée.*

d/ Fréquence :

☛ **Définition** :

✍- *Calculer la fréquence de l'onde étudiée puis en donner une interprétation.*

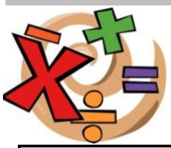
☛ **Ordres de grandeurs à connaître concernant les SONS** :

→ fréquence

- Fréquence et période temporelle étant inverses l'une de l'autre, la fréquence **f** *d'une onde est elle aussi imposée par la source.* ***Pour une source donnée, la valeur de la fréquence* f *d'une onde est donc toujours la même*** *; elle ne dépendra donc par exemple pas du milieu de propagation.*

- Un milieu ***dispersif*** *est un milieu dans lequel la célérité de l'onde dépend de sa fréquence.*

Point MATHEMATIQUE : Expression analytique d'une fonction sinusoïdale



❶ Pour décrire l'évolution d'un signal sinusoïdal en un point donné au cours du temps, on peut utiliser une **expression analytique de la fonction sinusoïdale** qui regroupe certaines des caractéristiques vues précédemment. Tout signal sinusoïdal peut ainsi s'écrire :

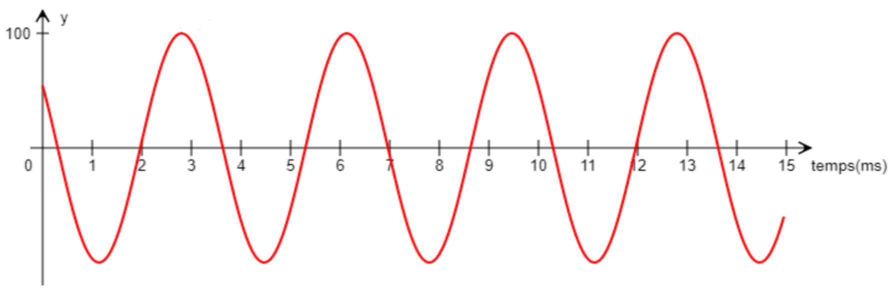
Avec :
-
-
-
-
-

☛ **Pour les curieux : Démonstration de la relation** $\omega = \frac{2\pi}{T}$:

Une fonction sinusoïdale étant « 2π » périodique, la période temporelle T correspond à l'intervalle de temps pour lequel la phase a varié de 2π. Cela signifie que rajouter « 2π » à « $\omega t + \varphi$ » revient à remplacer « t » par « t+T », ce qu'on peut mathématiquement écrire :

$$\omega \times t + \varphi + 2\pi = \omega \times (t + T) + \varphi \quad \text{d'où} \quad 2\pi = \omega \times T \quad \text{c'est à dire} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \times f$$

✍- *Déterminer la valeur de l'amplitude* Y_m*, de la période* T*, de la fréquence* f*, de la pulsation* ω *et de* $\cos(\varphi)$ *pour le signal sinusoïdal ci-contre.*



- Y_m =
-
- f =

• ω =

•

☛ ***Pour les curieux : comment trancher entre deux valeurs possibles de φ ?***

On constate qu'à t = 0, le coefficient directeur de la tangente à la courbe y = f(t) a un coefficient directeur négatif. Cela signifie que la dérivée y'(t = 0) < 0.

Or, si $y(t) = Y_m.\cos(\omega.t + \varphi)$, alors $y'(t) = -\omega.Y_m.\sin(\omega.t + \varphi)$.

*Donc à t = 0, on a $y'(t = 0) = -\omega.Y_m.\sin(\varphi)$; comme $\omega > 0$ et $Y_m > 0$, y'(t = 0) ne peut être négatif que si $\sin(\varphi) > 0$. Or, si $\varphi = -\pi / 3$, $\sin(\varphi) < 0$ et si $\varphi = \pi / 3$, $\sin(\varphi) > 0$. C'est donc la **valeur $\varphi = \pi / 3$ qui est correcte ici**.*

❷ On peut définir d'autres grandeurs caractéristiques d'une fonction sinusoïdale comme :

• ***la valeur CRÊTE à CRÊTE*** : différence entre la valeur maximale et la valeur minimale du signal = $S_{max} - S_{min}$;

• ***la valeur MOYENNE*** : $< s(t) > = \frac{1}{T}\int_0^T s(t)dt$ **; cette valeur est nécessairement nulle pour une fonction sinusoïdale**.

*(**Pour les curieux**, voir la démonstration ci-dessous).*

$$< s > = \frac{1}{T}\int_0^T (S_m \cos(\omega t + \varphi))dt \quad = \frac{S_m}{T}\int_0^T (\cos(\omega t + \varphi))dt \quad = \frac{S_m}{T}\left[\frac{1}{\omega}\times \sin(\omega t + \varphi)\right]_0^T$$

$$D'où \quad < s > = \frac{S_m}{\omega T}[\sin(\omega T + \varphi) - \sin(\varphi)] = 0$$

• ***la valeur EFFICACE*** : $S_{eff} = \sqrt{< (s(t))^2 >}$; pour une fonction sinusoïdale, on montre que $\boxed{S_{eff} = \frac{S_m}{\sqrt{2}}}$

*(**Pour les curieux**, voir la démonstration ci-dessous).*

$$S_{eff} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T (s(t))^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T (S_m \cos(\omega t + \varphi))^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{S_m^2}{T}\int_0^T (\cos^2(\omega t + \varphi))dt\right]^{\frac{1}{2}}$$

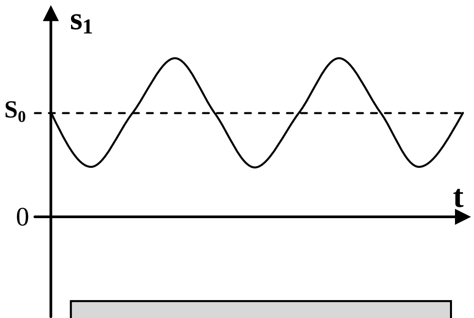
$$D'où \quad S_{eff} = \left[\frac{S_m^2}{T}\int_0^T \left(\frac{1 + \cos(2(\omega t + \varphi))}{2}\right)dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{S_m^2}{T}\left(\int_0^T \frac{1}{2}dt + \int_0^T \frac{\cos(2(\omega t + \varphi))}{2}dt\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Et\ finalement, S_{eff} = \left[\frac{S_m^2}{T}\times\frac{T}{2}\right]^{1/2} = \frac{S_m}{\sqrt{2}}$$

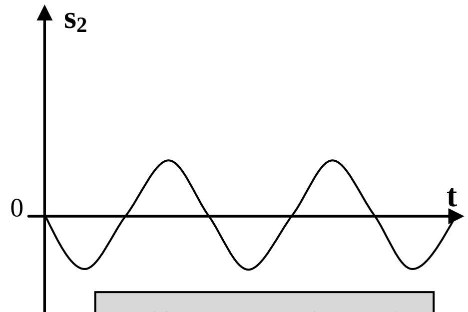
*La **valeur efficace** d'un courant ou d'une tension, variable au cours du temps, correspond à la valeur du courant continu ou de la tension continue produisant un échauffement identique dans une résistance. Elle est mesurée par les multimètres en mode* AC.

❸ Pour finir, on rencontre parfois des ***fonctions dont la forme est sinusoïdale mais dont la valeur moyenne n'est pas nulle*** (voir le signal s_1 ci-dessous) : <u>tout se passe comme si cette fonction s_1 était la somme d'une fonction sinusoïdale s_2 et d'une fonction s_3</u> constante égale à la valeur moyenne de s_1. Si on note S_0 la valeur moyenne de s_1, on a alors l'expression :

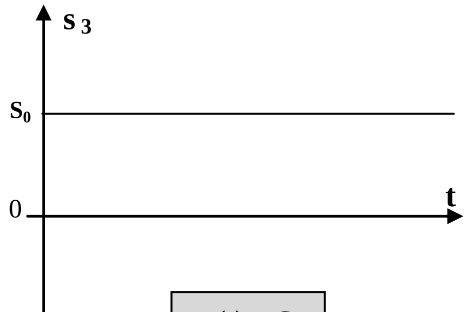
$$\boxed{s_1(t) = S_m \times \cos(\omega \times t + \varphi) + S_0}$$



$s_1(t) = S_m \times \cos(\omega t + \varphi) + S_0$



$s_2(t) = S_m \times \cos(\omega t + \varphi)$



$s_3(t) = S_0$

*La **valeur moyenne** S_0 d'un courant ou d'une tension, variable au cours du temps, est mesurée par les multimètres en mode* DC.