

# Ondes et optique ondulatoire : révisions

## I- Définition générale d'une onde progressive (O.P.)

- Ondes progressives : **Modification des propriétés physiques d'un milieu matériel ou immatériel, engendrée par une action locale qui se répercute / se propage d'un point à un autre du milieu, avec une vitesse finie déterminée par les caractéristiques du milieu : au passage de l'onde, chaque point du milieu reproduit, avec un décalage temporel et une éventuelle atténuation, la perturbation originelle engendrée par la source.**

Cette définition est fatalement un peu "vague" car la notion de propagation d'une onde recouvre une multitude de situations ! Elle cite néanmoins les points essentiels (vitesse caractéristique, perturbation reproduite à l'identique en tout point mais avec des retards).

- On distingue les ondes **MECANIQUES** et **ELECTROMAGNETIQUES** :
  - ↪ *Onde mécanique* : La modification associée à l'onde est un déplacement de matière ; le milieu de propagation est nécessairement matériel et élastique (déformable).
  - ↪ *Onde électromagnétique* : La modification associée à l'onde est l'apparition d'un champ électromagnétique (et éventuellement d'un courant électrique). La propagation peut se faire dans un milieu matériel mais aussi dans le vide.
- Mathématiquement, on associe à l'onde une fonction spatio-temporelle (un « champ ») scalaire  $\psi(\vec{r}, t)$  ou vectorielle  $\vec{\psi}(\vec{r}, t)$  caractérisant la modification générée par l'onde dans le milieu en tout point  $M(\vec{r})$  à tout instant  $t$ .
  - ↪  $\vec{r} = \vec{0}$  peut correspondre à la position de la source, si elle est ponctuelle, mais pas nécessairement.
  - ↪  $t = 0$  peut correspondre à l'instant « origine » où l'onde naît au niveau de la source mais pas nécessairement ; c'est plus souvent un instant quelconque arbitrairement choisi pour décrire le phénomène.

- Exemples (1<sup>ère</sup> approche sommaire) :

↪ *Ebranlement d'une corde* :  $\psi(\vec{r}, t) = h(x, t)$

↪ *Onde à la surface de l'eau* :  $\psi(\vec{r}, t) = h(x, y, t)$

↪ *Onde de compression / onde sonore* :

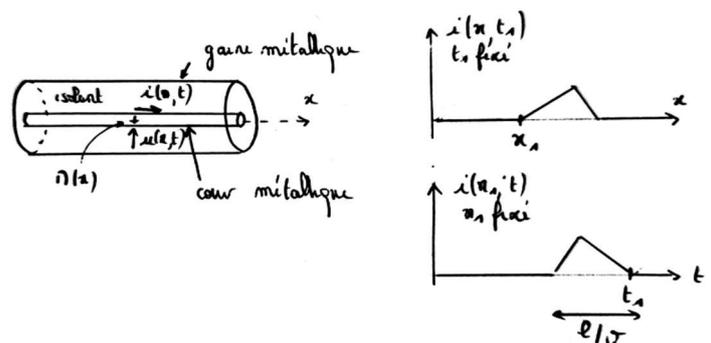
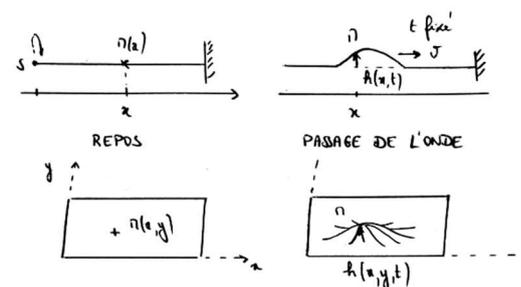
$$\psi(\vec{r}, t) = p(\vec{r}, t) = p(x, y, z, t)$$

où  $p$  est la surpression acoustique

$$P - P_{atm}$$

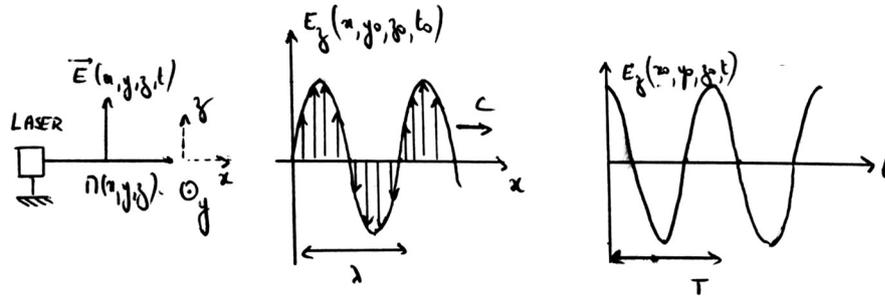
↪ *Onde électrique dans un câble coaxial* :

$$\psi(\vec{r}, t) = i(x, t) \text{ ou } u(x, t)$$



→ Onde lumineuse :

$$\vec{\psi}(\vec{r}, t) = \vec{E}(x, y, z, t) \text{ ou } \vec{B}(x, y, z, t)$$



- Dans presque chaque cas, mécanique ou électromagnétique, on distingue les ondes **TRANSVERSES et LONGITUDINALES** :
  - *Onde transverse* : Le déplacement de matière ou le champ vectoriel associé à l'onde est orthogonal à la direction de propagation. Ex : ébranlement sur une corde, onde à la surface de l'eau, onde électromagnétique plane dans le vide.
  - *Onde longitudinale* : Le déplacement de matière ou le champ vectoriel associé à l'onde est parallèle à la direction de propagation. Ex : onde sonore car il s'agit d'une vibration des couches d'air dans la direction de propagation ; autre ex : onde de compression le long d'un ressort.

*Rq* : l'onde électrique dans le câble n'est pas concernée par cette distinction puisque, tant qu'on ne s'intéresse pas au champ électromagnétique associée à cette onde, aucune grandeur vectorielle ne lui est associée ( $i$  et  $u$  sont des scalaires).
- La propagation peut être :
  - *Unidimensionnelle* (« 1D »), si le milieu de propagation est unidimensionnel (mais pas nécessairement rectiligne), comme une corde ou un câble coaxial. Le champ caractéristique de l'onde est alors fonction d'une seule variable d'espace ; ex :  $h(x, t)$  ou  $y(x, t)$  pour le déplacement transverse de la corde.
  - *Bidimensionnelle* (« 2D »), si le milieu de propagation est bidimensionnel, comme la surface d'un plan d'eau ou la surface du globe. Le champ caractéristique de l'onde est alors a priori fonction de deux variable d'espace ; ex :  $h(x, y, t)$  ou  $z(x, y, t)$  pour le déplacement vertical de la surface de l'eau au passage d'une vague.
  - *Tridimensionnelle* (« 3D »), si le milieu de propagation est tridimensionnel, comme une onde sonore ou une onde lumineuse. Le champ caractéristique de l'onde est alors a priori fonction de trois variable d'espace ; ex :  $p(x, y, z, t)$  pour la surpression acoustique ;  $\vec{E}(x, y, z, t)$  dans un cas électromagnétique.

- Dans les cas de propagation 3D, on appelle **SURFACE D'ONDE** toute surface composée de points atteints au même instant par l'onde <sup>1</sup>.

Parmi ces surfaces d'onde, la plus éloignée de la source est appelée **FRONT D'ONDE** et correspond à la perturbation créée dans le milieu au moment où la source a commencé à « émettre ».

Ces surfaces sont en général quelconques mais il existe deux cas particuliers simples :

↪ **Onde PLANE** : Une onde est dite plane si les 2 conditions suivantes sont remplies :

- En tout point où l'onde est définie, **les surfaces d'onde sont des plans** (plans infinis si le milieu de propagation est infini, plans finis si le milieu est limité, comme dans un guide d'onde)
- $\psi(\vec{r}, t)$  est **constante sur chacun de ces plans**, i.e. ne dépend que de la coordonnée cartésienne le long de la normale à ces plans (et de  $t$ ).

La normale aux plans d'onde est alors appelée « direction de propagation » de l'onde.

Selon que cette direction est repérée par un vecteur unitaire de la base cartésienne, par exemple  $\vec{u}_z$ , ou par un vecteur unitaire  $\vec{u}$  quelconque, on a :

$$\boxed{\psi(\vec{r}, t) = \psi(z, t)} \quad \text{ou} \quad \boxed{\psi(\vec{r}, t) = \psi(\vec{u} \cdot \vec{r}, t)}$$

Il s'agit en général d'une onde modèle, en particulier lorsque le milieu de propagation est infini car elle est alors non limitée spatialement (plans d'onde infinis), ce qui est irréaliste !

**Illustration** : onde sonore émise par un baffle plan, en négligeant les effets de bord.

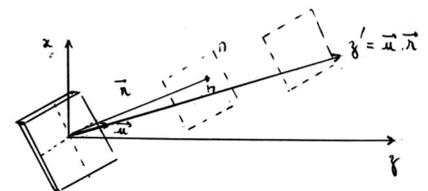
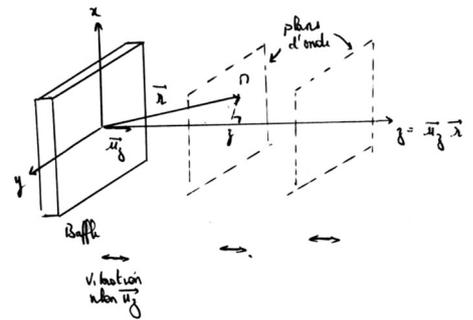
- Baffle de normale  $\vec{u}_z$  :

$$p(\vec{r}, t) = p(x, y, z, t) = p(z, t) = p(\vec{u}_z \cdot \vec{r}, t)$$

- Baffle de normale  $\vec{u}$  quelconque :

↳ coordonnée cartésienne « adaptée »

La situation d'onde plane s'apparente à une propagation unidimensionnelle rectiligne !



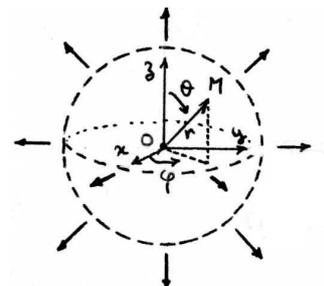
↪ **Onde SPHERIQUE** : Une onde est dite sphérique si les 2 conditions suivantes sont remplies :

- \* Les surfaces d'onde sont des sphères concentriques (centre  $O$ )
- \*  $\psi(\vec{r}, t)$  est constante sur chacune de ces sphères, i.e. ne dépend que de la coordonnée sphérique radiale  $r = OM$  (et de  $t$ ) :

**Illustration** : onde sonore émise par un baffle sphérique.

$$p(\vec{r}, t) = p(r, \theta, \phi, t) = p(r, t).$$

Surface d'onde sphérique



<sup>1</sup> Pour une propagation 2D, les surfaces d'onde sont réduites à des courbes ; ex : rides circulaires à la surface d'un étang où l'on a lancé un caillou.