

## Phénomènes ondulatoires : définitions.

Nous reprenons ici l'inventaire et la définition de divers phénomènes ondulatoires auxquels nous seront confrontés. Ces phénomènes concernent a priori tous types d'ondes : ondes mécaniques, ondes acoustiques, ondes lumineuses, ondes radioélectriques...

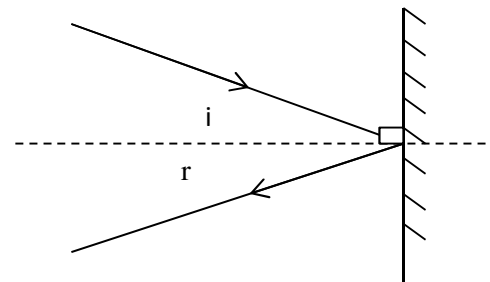
L'objectif est ici de **poser le vocabulaire** sur ces phénomènes, et de faire lien entre l'aspect ondulatoire et la traduction géométrique qui en sera faite, en particulier en optique géométrique.

### 1. Réflexion.

Une onde qui se propage dans un milieu donné peut rencontrer une brusque modification de ce milieu de propagation, qui va imposer certaines conditions aux limites. Il se produit alors un phénomène de réflexion : une partie de l'énergie incidente va voir son sens de propagation renversé (onde réfléchie), tandis qu'une autre partie va poursuivre sa propagation dans le sens incident (onde transmise).

La direction de propagation de l'onde incidente et la normale à la surface réfléchissante déterminent un plan d'incidence (correspondant au plan de la figure ci-contre).

La normale est la direction orthogonale au plan tangent à la surface réfléchissante au point considéré.



Les règles de la réflexion ont été énoncées par Snell et Descartes au 17<sup>e</sup> siècle :

- La direction de l'onde réfléchie est comprise dans le plan d'incidence.
- L'angle d'incidence  $i$ , entre la normale et la direction incidente, est égal à l'angle de réflexion  $r$  entre la direction de propagation de l'onde réfléchie et la normale.

### 2. Réfraction.

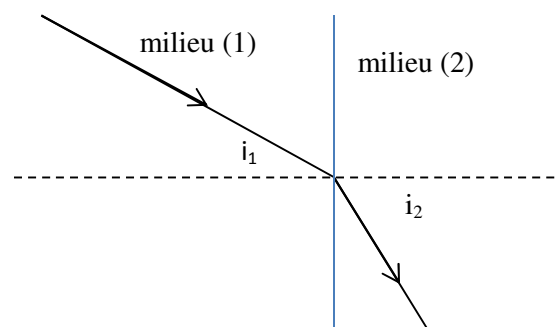
La réfraction a lieu lorsque le milieu dans lequel l'onde se propage subit une brusque variation de ses caractéristiques, amenant une modification de sa célérité. Il se produit alors une modification de la longueur d'onde, liée à celle de la célérité par  $\lambda = c/f$ . La fréquence reste bien sûr inchangée.

Le phénomène de réfraction consiste en un brusque changement de la direction de propagation de l'onde transmise dans le second milieu.

La réfraction s'observe en présence d'une hétérogénéité du milieu de propagation.

Les règles de la réfraction ont été énoncées par Snell et Descartes au 17<sup>e</sup> siècle. Nous les rappellerons dans le cours d'optique géométrique.

En particulier, en notant  $i_1$  l'angle entre le rayon incident et la normale, et  $i_2$  l'angle entre le rayon réfracté et la normale :



$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$  où  $n_1$  et  $n_2$  sont les indices optiques des deux milieux. L'indice  $n$  est le rapport entre la célérité dans le vide  $c$  et la vitesse de propagation  $v$  dans ce milieu et :  $n = c/v$ .

### 3. Diffraction.

Le phénomène de diffraction s'observera notablement lorsqu'une onde va devoir passer dans une ouverture de largeur relativement faible.

Après passage dans l'ouverture, l'onde est modifiée. Elle se propage de façon privilégiée dans certaines directions, formant une **figure de diffraction**.

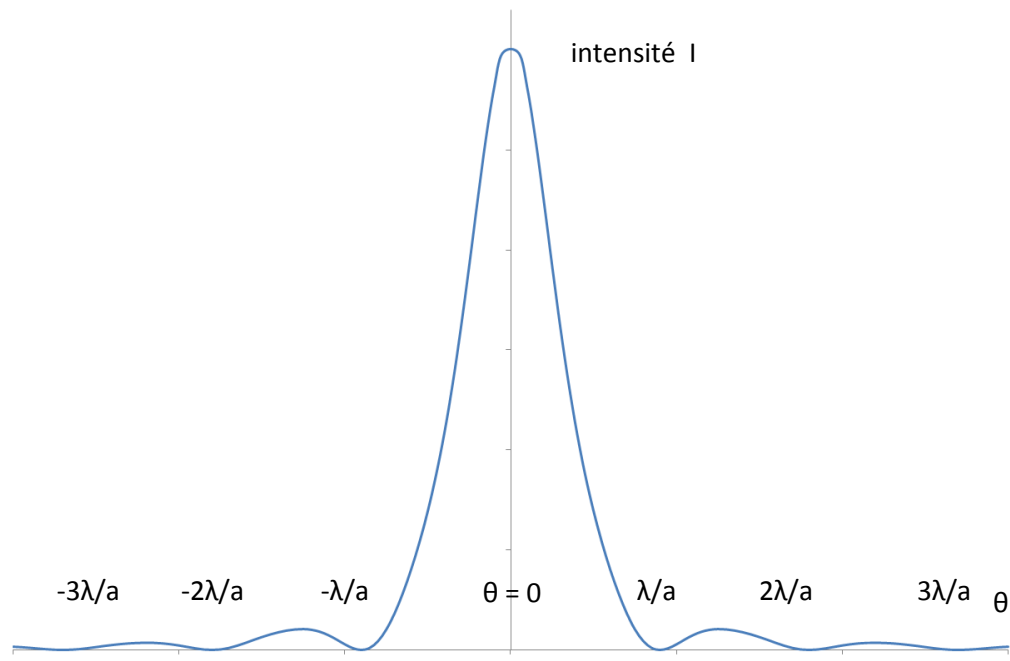
Le phénomène est notable quand la largeur de la fente diffractante est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, même s'il existe pour toutes valeurs.

On peut établir théoriquement que l'onde se propagera avec une intensité notable dans des directions de propagation située autour de la direction incidente, avec un angle de diffraction  $\theta$  tel que :

$$\sin \theta \approx \lambda/a$$

où  $a$  est la dimension caractéristique de la fente diffractante.

Dans des conditions de ce type, l'intensité de l'onde diffractée va dépendre de la direction, repérée par l'angle  $\theta$ . La courbe présentant l'intensité  $I$  en fonction de l'angle  $\theta$  a l'allure suivante :



Cette courbe présente un maximum d'intensité au centre d'un pic principal, dont la base est située entre les valeurs  $\theta = -\lambda/a$  et  $\theta = +\lambda/a$  (pour de petits angles, cas usuel, on peut confondre  $\sin \theta \approx \theta$ ). Elle présente des maxima secondaires.

L'intensité est maximale pour  $\theta = 0$  et s'annule pour des valeurs  $\theta = p.\lambda/a$  avec  $p$  entier relatif non nul.

#### ***Diffraction par une pupille circulaire :***

Nous aurons à considérer dans la suite du cours le cas de la diffraction d'une onde lumineuse par une ouverture circulaire, problématique très fréquente dans les instruments optiques (lunettes, télescopes...).

Le principe est le même. La relation définissant l'angle de diffraction sera adaptée à cette géométrie circulaire selon :  $\sin \theta \approx \theta \approx 1,22 \lambda/D$  où  $D$  est le diamètre de l'ouverture.

Retenons pour finir ces propriétés essentielles de la diffraction :

- La diffraction est notable quand l'onde passe à travers des ouvertures dont les dimensions sont de l'ordre de sa longueur d'onde.
- L'angle de diffraction  $\theta$  définit la **largeur angulaire du pic principal** de diffraction ; il répond à la relation :  $\sin \theta \approx \lambda/a$  où  $a$  est une grandeur caractéristique de la taille de l'ouverture.

#### 4. Absorption :

Lors de leur propagation, les ondes sont en général soumises à des phénomènes dissipatifs. Leur énergie est progressivement absorbée dans le milieu qu'elles traversent. Ce phénomène concerne tous les types d'ondes (vibration sur une corde, onde de compression dans un ressort, ondes sismiques, ondes de surface d'un liquide, ondes acoustiques, ondes électromagnétiques...). Il est négligeable sur une longueur de propagation suffisamment courte.

#### 5. Interférences :

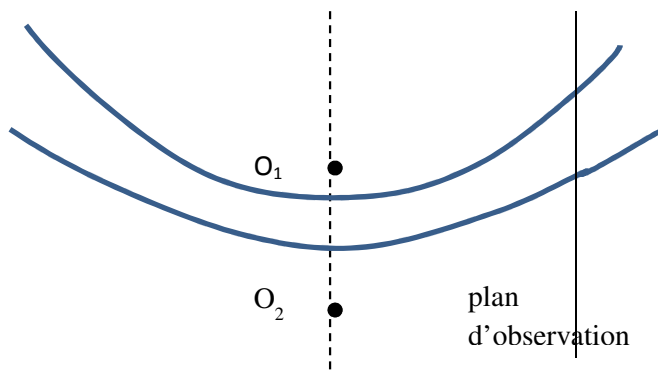
Ce phénomène, déjà présenté sur d'autres expériences (interférences entre ondes acoustiques, expérience des fentes de Young pour les ondes lumineuses...) peut aussi s'observer au moyen d'une cuve à ondes.

Il résulte de la superposition d'ondes issues de sources différentes, de mêmes fréquences. Le déphasage entre ces deux ondes dépend de la position du point considéré.

Pour certaines régions, ce déphasage sera voisin de  $\pi$  [ $2\pi$ ], on a des interférences destructives. A l'inverse, lorsque le déphasage sera voisin de 0 [ $2\pi$ ], on observera des interférences constructives.

*Complément :*

Le lieu géométrique d'un état d'interférence donné (d'un ordre d'interférence donné  $p = \delta/\lambda$ ) correspond à une valeur donnée de la différence de marche  $\delta$ . En un point M recevant les ondes issues de sources ponctuelles de positions  $O_1$  et  $O_2$  :  $\delta = |O_2M - O_1M|$



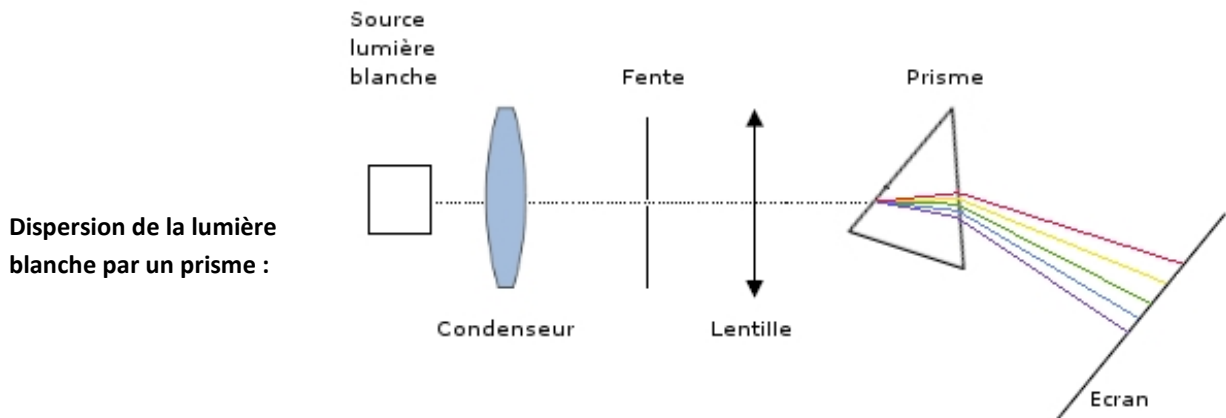
Ceci correspond à une surface hyperboloïde (engendrée par la révolution d'une hyperbole autour de l'axe de symétrie  $(O_1O_2)$ ).

En pratique, l'observation de franges d'interférences se fera dans une petite portion d'un plan d'observation orthogonal à la figure ci-contre, et l'on observera des franges rectilignes.

## 6. Dispersion.

Un dernier phénomène peut être mentionné quant à la propagation d'onde. La dispersion consiste en une **dépendance de la célérité** de l'onde dans le milieu **vis-à-vis de sa fréquence**.

Il s'observe assez aisément dans le cas de la propagation des ondes lumineuses : la dispersion de la lumière blanche par un prisme conduit les différentes couleurs (fréquences) à avoir des directions d'émergence différentes.



Ce phénomène est à l'origine de la formation des arcs en ciel. Le trajet de la lumière solaire dans les gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère diffère selon la longueur d'onde, amenant une séparation des couleurs contenues dans la lumière blanche.