

Ce très bref chapitre permettra une transition entre le chapitre propagation d'un signal et le chapitre d'optique géométrique.

Il sera essentiellement basé sur l'observation expérimentale de phénomènes de propagation, en particulier avec une cuve à onde.

Il permettra de poser le vocabulaire sur ces phénomènes, et de faire lien entre l'aspect ondulatoire et la traduction géométrique qui en sera faite en optique géométrique.

1. Propagation, longueur d'onde, fréquence et célérité.

La cuve à onde est constituée d'un film d'eau de faible épaisseur, muni d'un dispositif de projection optique. La différence d'épaisseur du film d'eau, lors de la formation d'ondes, se traduit visuellement par des zones plus ou moins éclairées.

Les ondes seront produites par une règle vibrante, dont la fréquence de vibration est réglable.

Un éclairage stroboscopique permet d'améliorer l'observation, en particulier de bien visualiser le déplacement des ondes de surface.

Expérience : film d'eau d'épaisseur uniforme.

La vibration de la règle produit des « vagues », des ondes de déformation de la surface de l'eau qui se propage dans une direction orthogonale à la règle. Les **fronts d'onde** sont parallèles à la règle vibrante. Ces fronts d'onde sont les lieux de points situés dans un même état vibratoire à la surface de l'eau.

La distance qui sépare ces fronts d'onde est fixe, c'est la **longueur d'onde** λ .

Cette grandeur dépend de la **fréquence** f selon : $\lambda = c / f$ où c est la **célérité** des ondes, ou vitesse de propagation.

Rappelons que la fréquence est l'inverse de la période : $f = 1/T$

Ce qui conduit à la relation : $\lambda = c.T$

2. 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 réfléchi), tandis qu'une autre partie va poursuivre sa propagation dans le sens incident (onde transmise).

Expérience : bloc de plexiglas épais immergé dans la cuve.

Observation des ondes réfléchies. Evolution de la direction de réflexion avec l'**angle d'incidence**, angle entre la direction de propagation de l'onde incidente et la normale à la **surface réfléchissante**.

Les conditions choisies ici (bloc assez épais) empêchent toute transmission au-delà de la surface réfléchissante.

Remarque : les bords de la cuve sont équipés d'un joint en mousse absorbant les ondes et évitant les phénomènes de réflexion parasite qui gêneraient l'observation.

Les règles de la réflexion ont été énoncées par Snell et Descartes au 17^e siècle. Nous les rappellerons dans le cours d'optique géométrique.

3. Réfraction.

Expérience : bloc de plexiglas mince immergé dans la cuve.

La vitesse de propagation, ou célérité, c , dépend notamment de l'épaisseur du film d'eau. Dans la partie située au-dessus de la lame de plexiglas mince, cette célérité est donc différente.

On constate :

- Une modification de la longueur d'onde, liée à celle de la célérité par $\lambda = c/f$
- Un 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^e siècle. Nous les rappellerons dans le cours d'optique géométrique.

4. Diffraction.

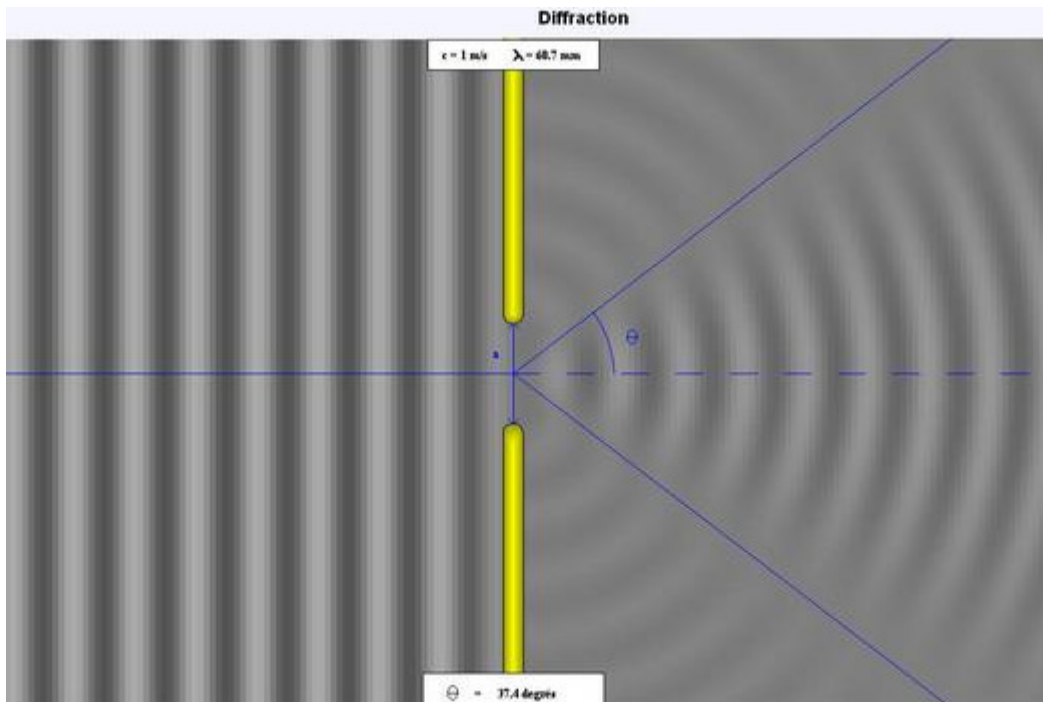
Le phénomène de diffraction s'observera notablement lorsqu'une onde va devoir passer dans une ouverture de largeur relativement faible.

Expérience : bloc avec fente de largeur réglable.

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.

L'onde ne se propage plus dans la direction incidente, les fronts d'onde ne sont plus rectilignes. Contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, la présence de la fente ne se traduit pas par une « occultation » simple d'une partie du front d'onde.



Diffraction par sur une cuve à onde (simulation).

Les caractéristiques géométriques de cette figure dépendent en particulier de deux critères :

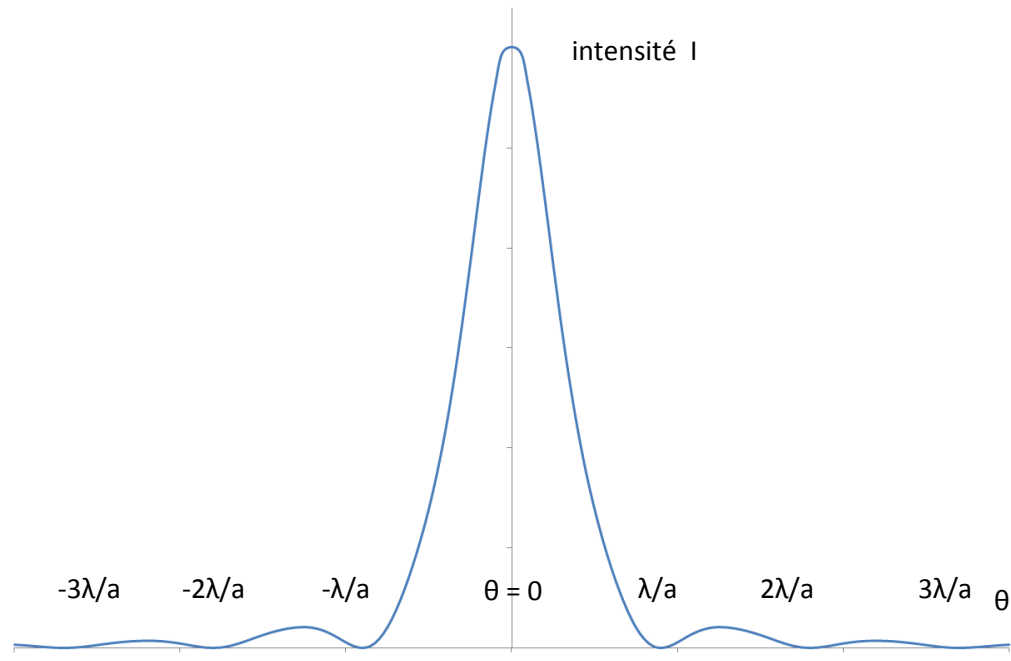
- La taille de l'ouverture
- La longueur d'onde.

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 θ 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 θ . La courbe présentant l'intensité I en fonction de l'angle θ 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 θ 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.

5. 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.

6. Interférences :

Ce phénomène, déjà présenté sur d'autres expériences (interférences entre ondes acoustiques) peut aussi s'observer au moyen d'une cuve à ondes. Cette observation est néanmoins délicate car elle suppose de très bonnes conditions de contraste de l'image projetée au moyen de la cuve à ondes.

Elle suppose aussi l'élimination de phénomène parasitant l'observation, comme les réflexions sur les bords de la cuve.



Le vibreur est relié à un système de deux pointes, réalisant ainsi deux sources synchrones, produisant des ondes de déformation de la surface de l'eau.

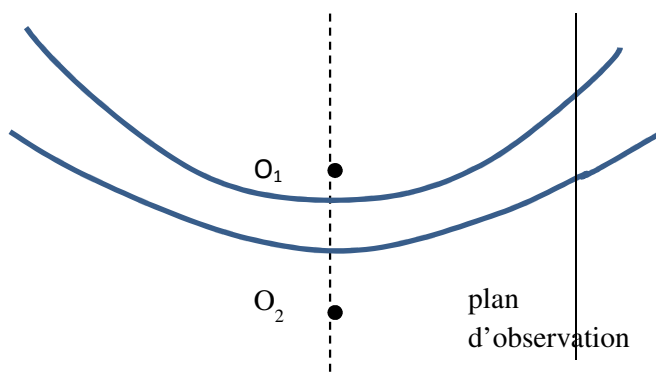
Le déphasage entre ces deux ondes dépend de la position du point considéré.

Pour certaines régions, ce déphasage sera voisin de π [2π], on a des interférences destructives (zones peu contrastées sur l'image).

A l'inverse, le déphasage sera voisin de 0 [2π] dans les régions à fort contraste.

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 δ . 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.

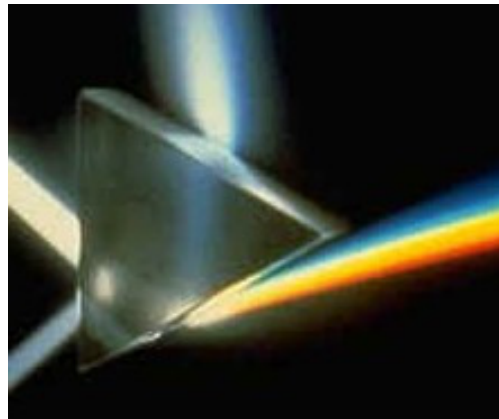
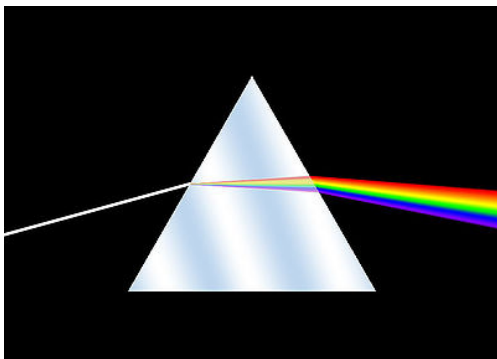
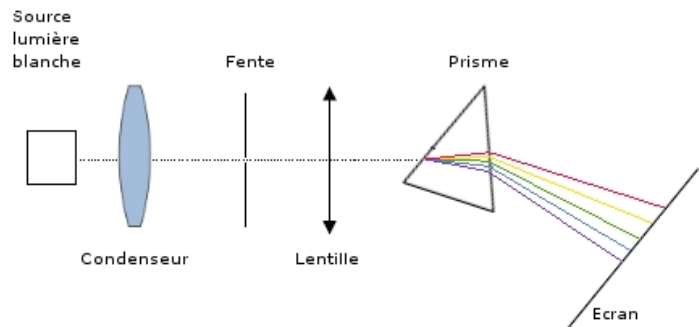
7. Dispersion.

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**.

Les conditions d'observation sur la cuve à onde ne permettent pas de le mettre en évidence.

Il s'observe cependant 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.

Dispersion de la lumière blanche par un prisme :



Représentation idéale et photographie d'une expérience :

On distingue des phénomènes de réflexion, réfraction, dispersion...