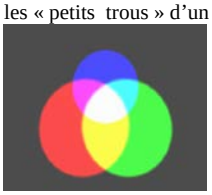
Chapitre 3.1a – La nature ondulatoire de la lumière : preuve expérimentale

Optique ondulatoire

L'optique ondulatoire est une branche de la physique qui s'intéresse aux propriétés ondulatoires de la lumière, car la **lumière** se comporte dans plusieurs situations comme une **onde** puis qu'elle peut être caractérisée par une **longueur d'onde** et subit des phénomènes **d'interférences**.

Diffraction et interférence de la lumière dans les « petits trous » d'un CD.

De plus, c'est ce domaine d'étude qui a permis d'associer la **longueur d'onde** de la lumière à une **couleur** observée. Par exemple, la somme de la couleur rouge, bleu et jaune donne la couleur blanche. Ainsi, une source de lumière blanche est composée de plusieurs longueurs d'onde différentes.


Addition chromatique de la lumière.

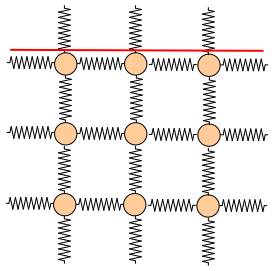
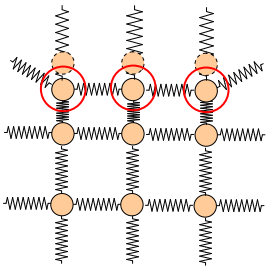
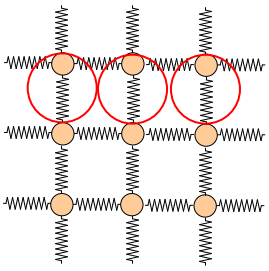
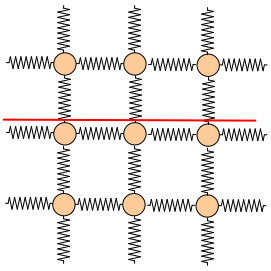
Le modèle ondulatoire d'Huygens

Le physicien Christiaan Huygens né au Pays-Bas fut le premier scientifique à émettre l'hypothèse ondulatoire de la lumière. En 1678, Huygens développe une technique appelé *principe de Huygens* permettant de suivre l'évolution d'un front d'onde et il l'appliqua à différents problèmes d'optique géométrique.

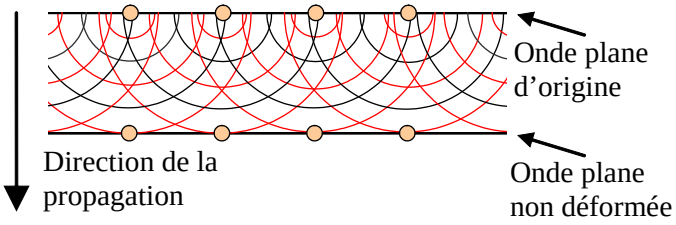
Christiaan Huygens
(1629-1695)

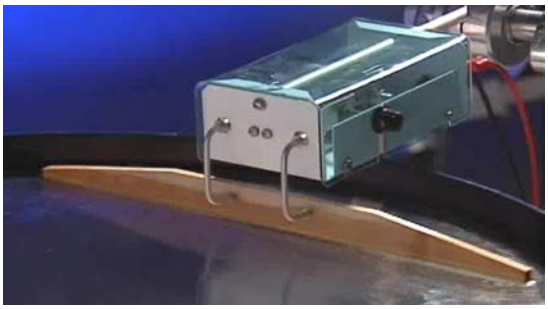
Selon le *principe de Huygens*, un milieu pouvant propager une onde est constitué d'une multitude d'oscillateurs reliés à ses plus proches voisins par des forces internes (comme un système masses-ressort en quadrillage). Lorsqu'un oscillateur est stimulé par la présence d'une onde, celui-ci est déplacé de sa position d'équilibre ce qui provoque l'émission d'une onde de forme sphérique (une « ondelette »).

Représentation du *principe de Huygens* avec un maillage à 3 ressorts :

Avant la stimulation de du front d'onde plane	Après la stimulation du front d'onde plane sur le milieu	Propagation des ondelettes sphérique	Superposition des ondelettes formant un front d'onde plane
			

Lorsqu'une onde plane stimule simultanément une rangé d'oscillateurs avec la même fréquence f et la même phase ϕ, la superposition de toutes les ondes sphériques générées par l'ensemble des oscillateurs génère à nouveau une onde plane.

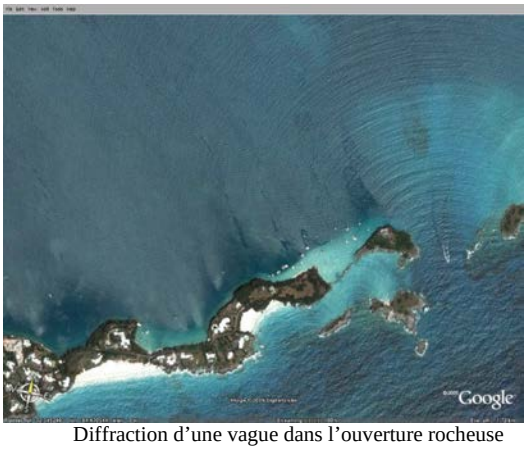



Montage permettant de générer des ondes planes dans un bac d'eau

À cette époque, ce modèle ondulatoire était remis en question par plusieurs physiciens dont Newton à ce qui attrait à l'appliquer à la lumière, car le milieu propageant l'onde lumineuse était indéterminé (*l'éther* était le nom que portait ce milieu). Selon les théories ondulatoire de l'époque, une onde mécanique se devait d'avoir un milieu physique ce qui n'était pas le cas pour la lumière. De nos jours, la **lumière** est considérée comme étant une **onde électromagnétique** ne nécessitant pas de milieu pour être propagée.

L'étalement d'une onde

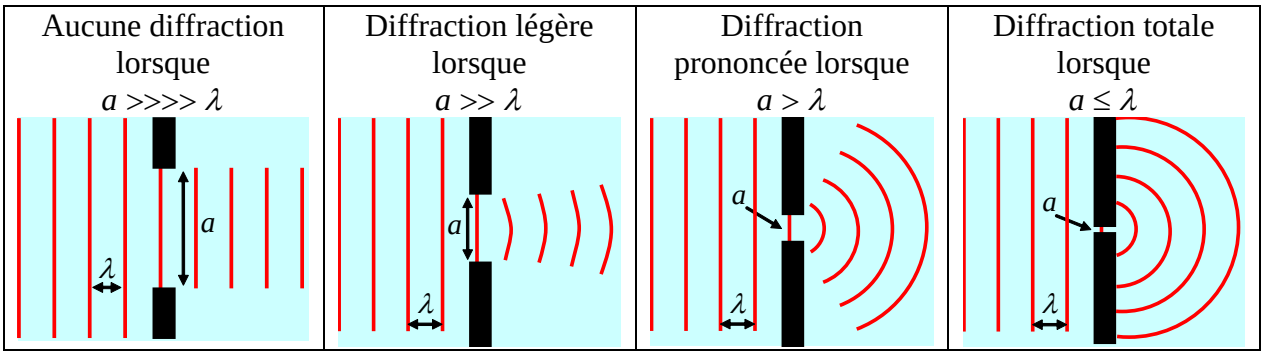
Lorsqu'une onde plane frappe une mince ouverture, la portion d'onde plane traversant l'ouverture se transforme en onde ayant une forme sphérique. On peut affirmer que l'ouverture se comporte alors comme un générateur d'onde (source) de forme sphérique. Ce phénomène porte le nom de **diffraction**[1].



Diffraction d'une vague dans l'ouverture rocheuse

L'ampleur de la diffraction d'une onde plane dépend de la **longueur d'onde** λ de l'onde et de la **largeur de la fente** a. Plus la fente est petite comparativement à la longueur d'onde, plus la diffraction est prononcée.

Exemple :



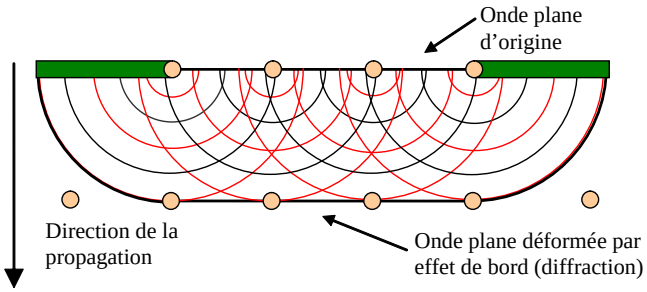
[1] La diffraction sera étudiée plus particulièrement au chapitre 3.5

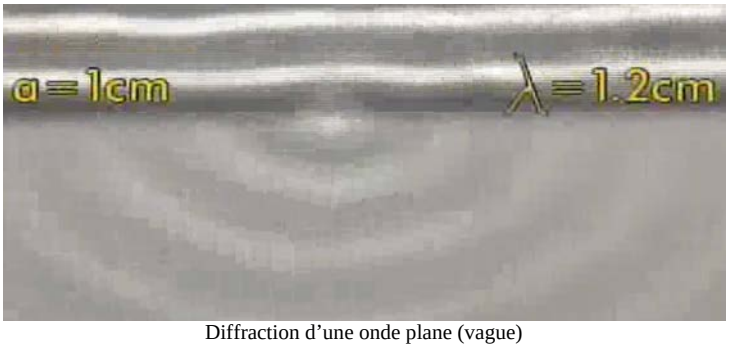
La diffraction et le modèle d'Huygens

La diffraction d'une onde peut s'expliquer grâce au *principe de Huygens.*

Lorsqu'une onde plane est forcée à stimuler uniquement un nombre restreint d'oscillateurs sur une même rangé (une petite ouverture), la superposition des ondes sphérique génère une onde de forme sphérique. Plus l'ouverture est petite, plus l'onde propagée sera de forme sphérique où l'amplitude de l'onde sera uniformément sur le front d'onde sphérique. Ce sont les effets de bord qui déforme l'onde plane d'origine en onde sphérique. Ce phénomène ondulatoire porte le nom de **diffraction**.

Diffraction d'une onde plane (vague)
dans un bac d'eau ($\lambda < a$).



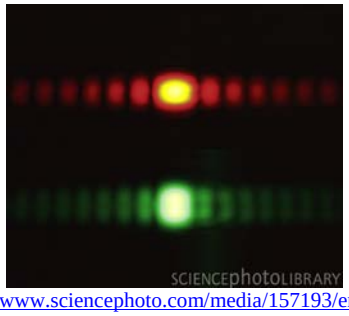


Diffraction d'une onde plane (vague)
dans un bac d'eau ($\lambda > a$)

La diffraction d'un laser dans une fente rectiligne

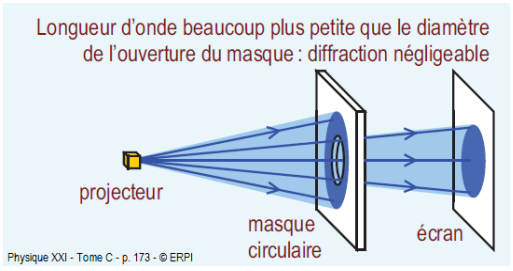
Lorsqu'un laser éclaire une fente rectiligne, on observe une figue de diffraction ce qui prouve que la lumière est une onde. L'étalement s'effectue dans l'axe où la fente est mince. Selon l'image ci-contre, la fente est mince sur l'axe horizontale ($\leftrightarrow$) et le tout est projeté sur un écran plat. La forme de l'étalement dépend alors de la forme de la fente :

- Laser vert ($\approx$ 550 nm) : $\lambda << a$, étalement légère.
- Laser rouge ($\approx$ 650 nm) : $\lambda << a$, étalement légère.

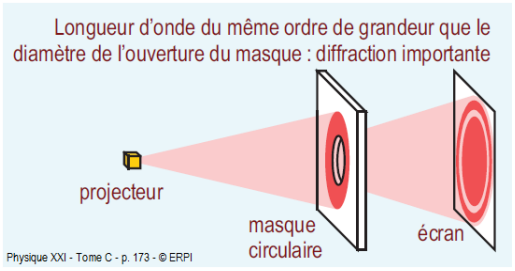


http://www.sciencephoto.com/media/157193/enlarge
Diffraction d'un laser rouge et vert au travers une fente rectiligne verticale mince.

Aucune diffraction : $\lambda <<<< a$



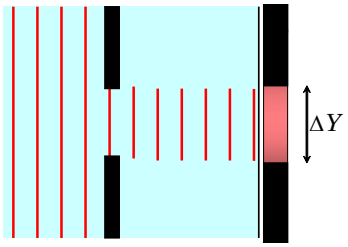
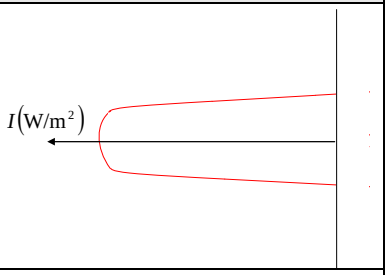
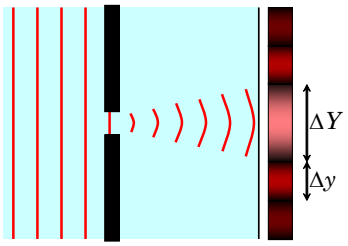
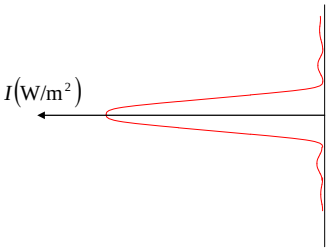
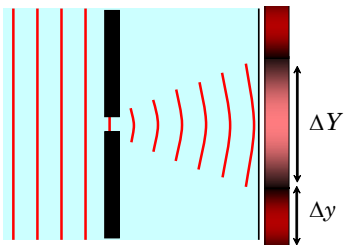
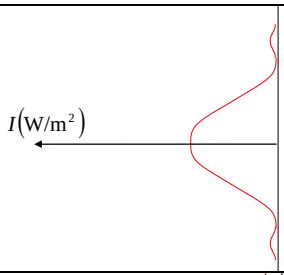
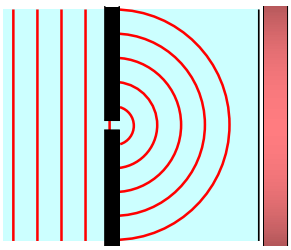
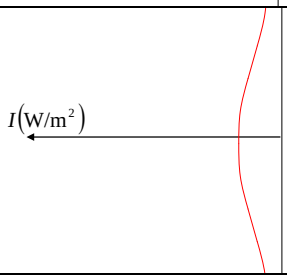
Diffraction prononcée : $\lambda < a$



Répartition de l'intensité après diffraction

L'intensité recueillie sur un écran de projection après la diffraction d'une onde dépend de l'ampleur de la diffraction (taille de la fente a et de la longueur d'onde λ). Il est important de préciser que toute la puissance initiale de l'onde se retrouve sur l'écran de projection à différentes intensités. Ainsi, l'aire sous la courbe du graphique de l'intensité en fonction de la surface de projection doit redonner la puissance initiale.

Voici un tableau décrivant qualitativement différent cas de diffraction :

Type de diffraction et taille de l'ouverture a	Patron de la diffraction	Répartition de la puissance lumineuse ou intensité lumineuse
Aucune diffraction $a >>>> \lambda$		
Diffraction légère $a >> \lambda$		
Diffraction prononcée $a > \lambda$		
Diffraction complète $a \leq \lambda$		

Remarque :

L'origine des tâches lumineuses secondaires lors de la diffraction légère ($a >> \lambda$) et prononcée ($a > \lambda$) seront expliquées au chapitre 3.5.

L’expérience de Young

En 1803, le physicien et philosophe Thomas Young publie les résultats de son expérience qui confirma la nature ondulatoire de la lumière. Basé sur le *principe de Huygens*, il réalise qu’une source de lumière qui traverse deux fentes minces tel que $a \leq \lambda$ subit de la diffraction complète, que les deux fentes se comportent comme des oscillateurs ponctuels et que ces deux mêmes sources de lumière effectuent de l’interférence sur un écran de projection.

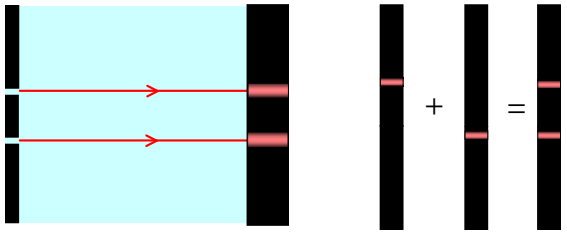
Thomas Young
(1773-1829)

L’expérience des fentes doubles de Young a permis de relancer le débat sur la nature de la lumière. Selon la théorie Newtonienne de l’époque, la lumière était considérée comme des particules se déplaçant sur des trajectoires rectilignes comme le démontre bien l’optique géométrique.

Voici les résultats possibles de l’expérience de Young si l’on considérait la lumière avec d’autres propriétés :

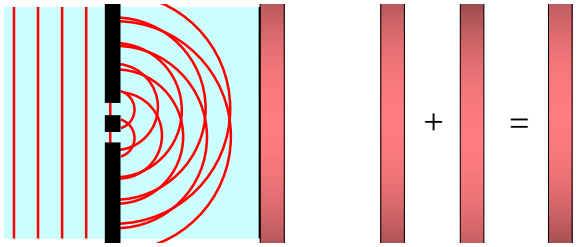
<u>Comportement strictement corpusculaire :</u>

La lumière se comporte comme des particules ponctuelles ne pouvant que réfléchir sans subir de diffraction. La particule traverse l’une ou l’autre des deux fentes.



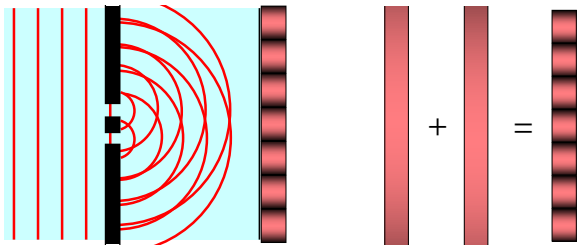
<u>Deux diffractions superposées :</u>

La lumière subie de la diffraction complète par la fente du haut et du bas. La projection finale correspond à la somme de deux sources d’onde sphérique légèrement décalées verticalement l’une par rapport à l’autre.



<u>Deux diffractions avec interférence :</u>

Ce résultat correspond à **l’observation de l’expérience de Young**. Il y a diffraction et interférence entre les deux sources agissant comme des sources ponctuelles. Les tâches sombres deviennent visibles lorsque les deux fentes sont légèrement décalées verticalement (une distance *d* sépare les deux fentes).



Ainsi, l’explication de l’expérience de Yong fait intervenir la notion d’interférence en deux dimensions de deux sources ponctuelles en phase provenant du même front d’onde d’origine. L’analyse mathématique de cette expérience sera réalisée au chapitre 3.2.