

## Augustin FRESNEL et la théorie ondulatoire de la lumière

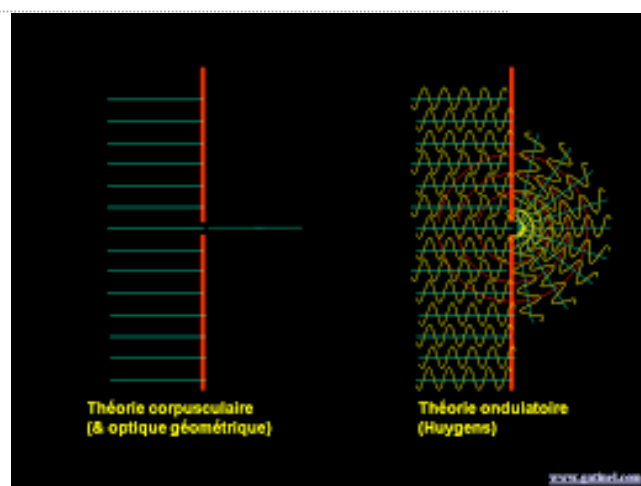
**Augustin Jean Fresnel**, est né le 10 mai 1788 et mort le 14 juillet 1827. Il est ingénieur des Ponts et Chaussées. Il est plus connu aujourd'hui comme concepteur des appareils lenticulaires pour feu à éclats des phares maritimes installés pour la première fois au phare de Cordouan, qui a été récemment inscrit au patrimoine mondial. Ce serait oublier que ses recherches ont conduit à l'acceptation définitive de la *théorie ondulatoire* de la lumière en remplacement de la *théorie d'émission corpusculaire* qui s'était imposée depuis Newton (1666).



### Premier mémoire sur la diffraction de la lumière (1815)

En s'appuyant sur les concepts émis par Christian Huygens à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, Augustin Fresnel s'attache d'abord à montrer que dans la diffraction de la lumière sur un obstacle, certains phénomènes comme les franges colorées que présentent les ombres des corps éclairés par un point lumineux, sont totalement inexplicables par les tenants de l'approche corpusculaire.

Diffraction et interprétations selon Newton et Huygens



Comme il ne dispose chez sa mère en province d'aucun instrument, il doit construire un dispositif expérimental avec les moyens du bord :

- La source lumineuse : il utilise comme Newton la lumière du soleil qu'il laisse filtrer à travers l'ouverture dans un volet ; « ...N'ayant pas de plus forte lentille, je me suis servi d'un globule de miel déposé sur un petit trou fait à une feuille de cuivre »
- L'obstacle : « Éclairé par ce globule, le fil de fer dont je mesurais les franges en produisait encore très nettes même à un centimètre du point lumineux ».
- Pour mesurer les franges sur l'écran, il construit un micromètre formé de deux fils de soie, « un petit carton mobile me sert de marquer l'endroit où la distance entre les fils est égale à la largeur de l'ombre »

L'usage de la lumière blanche pour ses premières expériences fait que les franges des différentes longueurs d'onde constituant la lumière blanche, se chevauchent. Il fait ses mesures entre les franges rouges du premier ordre et les franges violettes du second ordre et prend pour ses calculs une longueur d'onde moyenne.

L'apport de Fresnel est d'avoir développé un modèle théorique dès ses premières expériences, en complétant les concepts exposés en 1690 par Christian Huygens dans son *Traité de Lumière*, par le principe des interférences pour expliquer les phénomènes de propagation, diffraction et d'interférences lumineuses. Il a ainsi prouvé qu'il pouvait expliquer le phénomène de la diffraction par la théorie ondulatoire,

L'ensemble des résultats obtenus fait l'objet d'un premier mémoire que Fresnel dépose à l'académie des Sciences le 23 octobre 1815. Le 8 novembre, Arago de deux ans son aîné lui répond :

*« J'ai été chargé par l'Institut de l'examen de votre mémoire sur la diffraction de la lumière. Je l'ai étudié avec soin et j'y ai trouvé un grand nombre d'expériences intéressantes, dont quelques-unes avaient déjà été faites par le docteur Thomas Young qui, en général, envisage ce phénomène de manière analogue à celle que vous avez adoptée. Mais ce que, ni lui, ni personne n'avait vu avant vous, c'est que les bandes colorées extérieures ne cheminent pas en ligne droite à mesure qu'on s'éloigne du corps opaque. Vous pouvez compter sur l'empressement que je mettrai à faire valoir votre expérience : la conséquence qui s'en déduit est tellement opposée au système à la mode, que je dois m'attendre à beaucoup d'objections ».*

On conçoit qu'avec le premier dispositif adopté par Fresnel bricolé avec la lumière naturelle, celui-ci ait rencontré des difficultés. On ne peut qu'admirer qu'il ait obtenu cependant des résultats significatifs.

En février 1816, Fresnel revient à Paris et réalise de nouvelles expériences et de mesures qui ont été refaites avec Arago en utilisant de la lumière monochromatique rouge.

Une version corrigée et enrichie est présentée à l'Académie par Arago, le 25 mars 1816 intitulée *Mémoire sur la diffraction de la lumière, où l'on examine particulièrement le phénomène des franges colorées que présentent les ombres des corps éclairés par un point lumineux*

Fresnel rencontre alors des compétiteurs : Biot, partisan de la théorie corpusculaire de Newton, présente un mémoire sur la diffraction dont il est l'auteur avec son étudiant Claude Pouillet. Mais la présentation n'est pas rigoureuse et Pouillet lui-même deviendra un des premiers défenseurs de la théorie ondulatoire. Le 24 mai 1816, Fresnel écrit (en français) à Young, reconnaissant qu'une grande partie de son mémoire n'est pas originale.

### **Supplément au premier Mémoire sur la diffraction**

Trois semaines après avoir envoyé son premier Mémoire, Fresnel envoie à l'Académie un *Supplément au premier Mémoire sur la diffraction de la lumière*. Ce mémoire est présenté à l'académie le 15 juillet 1816 par Arago.

Fresnel commence par réfuter les hypothèses de Newton sur les anneaux colorés. Il présente ensuite sa propre interprétation du phénomène.

Puis il rapporte deux expériences nouvelles et une nouvelle approche théorique : la diffraction par une fente lumineuse, les interférences obtenues par les images d'une fente lumineuse avec deux miroirs et la diffraction par un petit objet opaque.

Fresnel refait l'expérience, rapportée par Biot, de la diffraction de la lumière par une fente étroite. Il ne trouve pas la même chose et découvre la loi de répartition des franges.

« La distance entre les points les plus sombres de deux bandes consécutives, prises à droite ou à gauche de l'intervalle clair du milieu, était égale à  $b\lambda/c$ , ou du moins en différait assez peu. Quant à l'intervalle du milieu, j'ai trouvé qu'il variait entre deux limites  $b\lambda/c$  et  $2b\lambda/c$ , suivant une loi que je n'ai pas encore pu déterminer.

Lorsque le diaphragme est très étroit, et qu'on en reçoit l'ombre à une distance assez considérable, l'intervalle du milieu est toujours, à très peu près, le double des autres intervalles ».

Avec le dispositif à fente et une lumière monochromatique, et l'aide d'Arago, Fresnel a pu améliorer ses résultats ; rappelons-nous que la lumière était celle d'une bougie !

## Deuxième Mémoire sur la diffraction de la lumière

Le 17 mars 1817, l'Académie des sciences annonce que la *diffraction de la lumière* sera le thème du prochain Grand Prix biennuel de physique qui sera attribué en 1819. La date limite de soumission des manuscrits est fixée au 1<sup>er</sup> août 1818, de façon que le jury ait le temps de répéter les expériences proposées. Arago et Ampère encourage Fresnel à participer au concours.

Le jury du concours est composé de Laplace, Biot et Poisson, tous trois tenant de la théorie corpusculaire newtonienne, Gay Lussac(neutre), et Arago qui, à la fin, écrit le rapport du jury.

Le mémoire de Fresnel *Natura simplex et fecunda* comportait deux parties :

### 1. Composition de deux fonctions sinusoïdales

Cette partie reprend une note additionnelle à un article sur la polarisation parue le 15 janvier 1818. Sa méthode sera désignée par la suite comme celle des *Vecteurs de Fresnel*.

### 2. Diffraction par un bord rectiligne

La méthode est exposée dans une note préliminaire du 19 avril 1818 et reformulée dans le mémoire soumis au jury. Pour la diffraction par un bord droit, l'intensité en fonction de la distance au bord de l'ombre géométrique peut alors être exprimée avec suffisamment d'exactitude par ce qu'on appelle maintenant les *intégrales de Fresnel normalisées*.

L'examen du jury dura jusqu'à l'année suivante (1819). Au cours de cet examen, Poisson, exploitant un cas où la théorie de Fresnel donnait des intégrales faciles, trouva que la théorie prédisait l'existence d'un point lumineux au centre de l'ombre projetée d'un petit disque éclairé par une source ponctuelle. Ceci semblait être une preuve par l'absurde que la théorie de Fresnel était fautive.

Arago, intrigué par la démonstration de Poisson, réalisa l'expérience avec un disque opaque de 2 mm de diamètre et observa que, effectivement, une tache claire apparaissait au centre de l'ombre.

Le jury unanime accorda le Grand Prix au mémoire portant la sentence *Natura simplex et fecunda* au cours de la séance de l'Académie du 15 mars 1819.

## Polarisation et Ondes transversales

Comme ses contemporains (Malus, Biot, Young, Arago, etc.) Fresnel a effectué des recherches sur la polarisation. Il n'a probablement pas été le premier à suspecter que les ondes lumineuses auraient une *composante* transversale, ou que les ondes *polarisées* étaient exclusivement transversales. Young qui a été le premier à publier l'idée que la polarisation dépend de l'orientation d'une onde transversale.

Mais ses théories incomplètes n'avaient pas réconcilié la nature de la polarisation avec l'existence apparente d'une lumière non-polarisée. C'est à Fresnel qu'on doit l'achèvement de la théorie de la polarisation de la lumière, l'explication de la biréfringence et de la polarisation circulaire.

Selon Émile Vernet co-auteur de la publication des œuvres de Fresnel, « *La conception des vibrations transversales fut le point de départ de recherches qui constituent peut-être la plus importante partie de l'œuvre de Fresnel* ».

### Épilogue : Le photon et la dualité onde-corpuscule

Alors que la théorie ondulatoire de la lumière semblait bien établie, en 1885, Hertz montre qu'un rayonnement ultraviolet projeté sur une plaque de zinc en arrache les électrons, ce que ne peut pas expliquer la théorie ondulatoire. De fait en 1905, Einstein va rendre compte de cet effet photoélectrique en établissant que le rayonnement est constitué de corpuscules, les photons, de masse nulle mais porteurs d'un quantum d'énergie.

Après Louis de Broglie en 1924 et la mécanique ondulatoire, la mécanique quantique rend compte aujourd'hui du double aspect corpusculaire et ondulatoire de la lumière.

De son vivant, Fresnel, de santé fragile, a eu conscience que son influence restait limitée, dans l'ombre apportée par Thomas Young qui lui fera du reste obtenir la médaille Rumford de la Royal Society à la fin de sa vie. Son œuvre aura connu cependant une diffusion importante à titre posthume et sera valorisée à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Ainsi, *Les œuvres complètes d'Augustin Fresnel* ont été publiées en 1868 suivant trois tomes de plus de 800 pages chacun, par Henri de Sénarmont, Émile Verdet et Léonor Fresnel, à l'Imprimerie impériale, Paris.

Deux cents ans après, l'approche ondulatoire de la lumière par Fresnel ne reste pas moins d'actualité, ne serait-ce que dans les applications de la diffraction et son enseignement : détermination des longueurs d'onde, cristallographie, optique réfringente, etc.

Fresnel figure parmi les 72 noms de savants et ingénieurs inscrits à la demande de Gustave Eiffel, au premier étage de la Tour Eiffel.



Jean-François Coste

Membre du Comité Patrimoine d'IESF

Pour en savoir plus : [lien vers la version complète](#)