

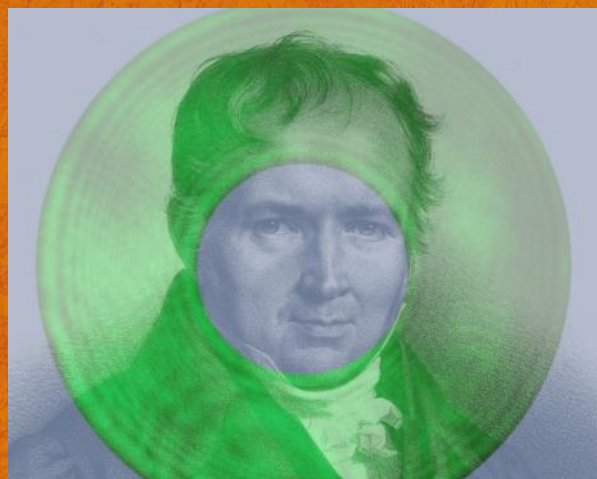
HISTOIRE(S) DE L'UNIVERSITÉ

PROGRAMME CULTUREL
2021

DE L'UNIVERSITÉ
GRENOBLE
ALPES

en écho à l'exposition

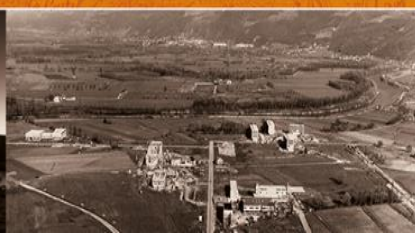
**HISTOIRE
DE SAVOIR(S)**
L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES (1339-2021)



Le point blanc de Poisson, une bataille scientifique

Dominique RAYNAUD - maître de conférence en histoire et sociologie des sciences à l'UGA

Sylvie ZANIER - professeur agrégée de physique à l'UGA



Depuis 1339
«Patrimoine d'hier,
histoire de demain»

UGA
Université
Grenoble Alpes

Plan

1. L'approche corpusculaire de la lumière

Alhacen av. 1040
Descartes 1637
Newton 1704

2. L'approche ondulatoire de la lumière

Grimaldi 1665
Huygens 1690
Young 1802

3. Le prix sur la diffraction de 1819

Le prix de physique
Le mémoire de Fresnel
L'objection de Poisson
L'expérience d'Arago

1. L'approche corpusculaire de la lumière

1. L'approche corpusculaire de la lumière

La propagation rectiligne des rayons

Principe fondamental de l'optique

Ce principe change de statut à travers le temps:

–**300: Euclide**, *Optique* ➡ **postulat**

« Je suppose qu'à partir de l'oeil, sont tirées des lignes droites qui s'étendent sur de grandes distances »

–**212: Archimède**, *Commentaire de Théon sur l'Almageste* ➡ **donnée d'observation**

« Et puisque la vue voit par nature selon des lignes droites »

70: Héron, *Catoptrique* ➡ **principe métaphysique**

« Les rayons parcourent le chemin le plus court, c'est-à-dire la ligne droite »

168: Ptolémée, *Optique* ➡ **preuve expérimentale**

Rayon passant par une alidade à pinnules (III, 3)

1040: Alhacen, *Optique* ➡ **preuve expérimentale**

Visée d'un objet à travers un tube (I, 2.6)

Matérialisation du rayon par la fumée dans une chambre noire (I, 3.3)

Interception du rayon par un écran (I, 3.36)

1. L'approche corpusculaire de la lumière

1040: Alhacen, *Optique*

Premier emploi d'une analogie mécanique:

Alhacen: « Quand les corps physiques se déplacent en ligne droite à travers un corps perméable, leur passage est plus facile le long de la normale. Ce [fait] est observé dans [plusieurs cas...]. Par exemple, si on lance une **boule de fer** perpendiculairement à une planchette, elle la traverse; si on lance la boule obliquement, elle est déviée » (VII, 2.83)

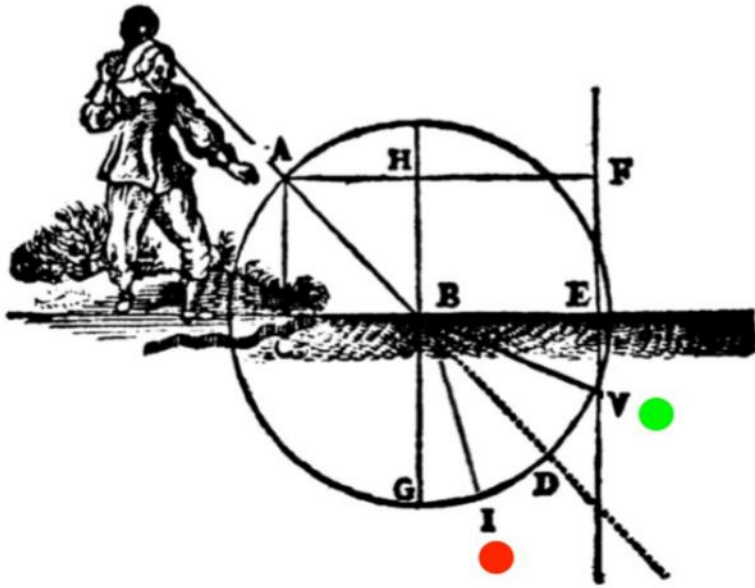
Alhacen: « Le corps plus dense oppose [au rayon] une plus grande résistance, **de même** qu'une pierre se déplace dans l'air plus facilement et plus rapidement que dans l'eau, parce que l'eau lui oppose avec une plus grande résistance que l'air » (VII, 2.89)

Comme l'analogie porte sur la résistance du corps dense, la lumière se meut plus rapidement dans l'air que dans l'eau...

1. L'approche corpusculaire de la lumière

1637: Descartes, *Dioptrique*

Descartes: « Il est bien aisé à croire que l'action ou inclination à se mouvoir... de la lumière, doit suivre en ceci les mêmes lois que le mouvement... Considérez que, si une **balle** qui se meut rencontre obliquement la superficie d'un corps liquide... elle se détourne et change son cours en y entrant... Or il faut penser **en même façon** qu'il y a des corps qui, étant rencontrés par les rayons de la lumière, les amortissent, et leur ôtent leur force »



Une balle qui pénètre dans l'eau perd de la vitesse... et suit le chemin **BV** ●

Or le rayon de lumière suit le chemin **BI** ●

Donc la lumière gagne de la vitesse dans le milieu dense...

1. L'approche corpusculaire de la lumière

1704: Newton, *Opticks*

Newton: « Les rayons de lumière ne sont-ils pas de très petits corpuscules émis par les corps lumineux? » (Query 29, p. 345)

Newton: « Les rayons de lumière, en passant du verre vers le vide, sont fléchis vers le verre... et cela doit être dû au pouvoir qu'a le verre d'**attirer** les rayons quand ils sortent dans le vide » (p. 346)

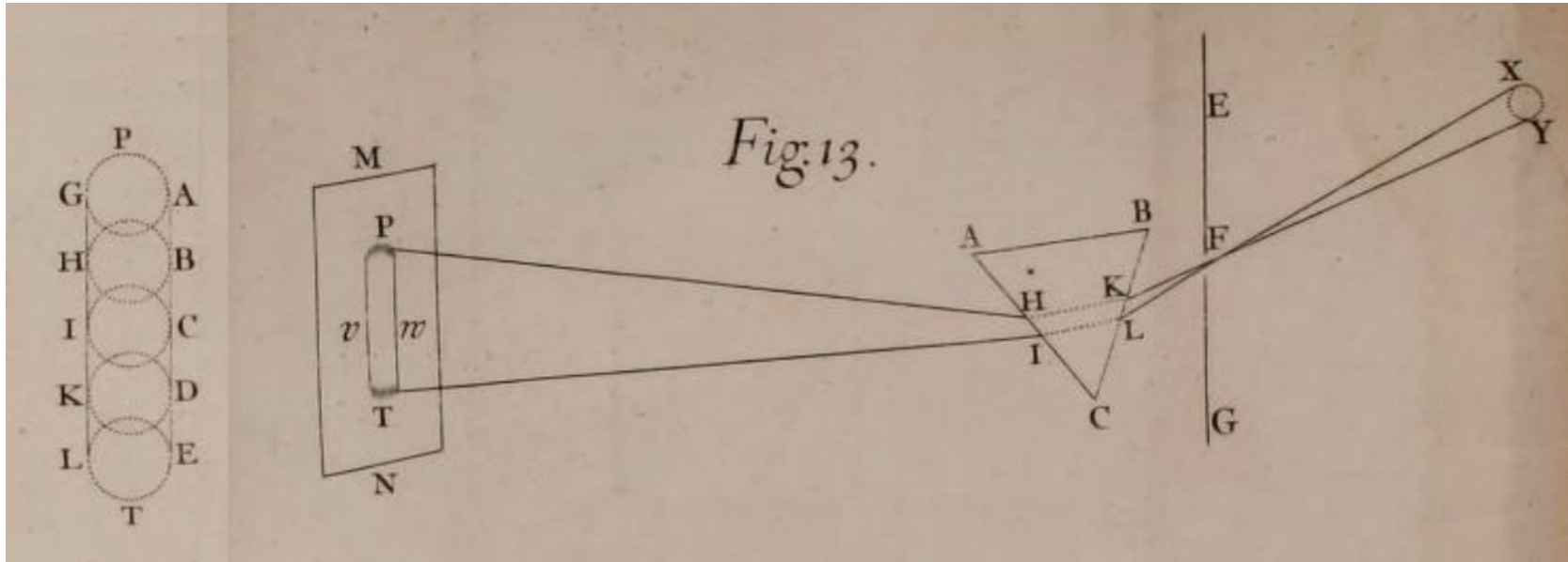
»→ Extrapolation de la théorie de l'attraction à l'optique

Les corpuscules de lumière étant attirés par le milieu le plus dense, ils se déplacent plus vite dans la matière que dans le vide: « *Light be swifter in bodies than in vacuo* » (Opticks, p. 245)

»→ Même conclusion que Descartes...

1. L'approche corpusculaire de la lumière

1704: Newton, *Opticks*



Expérience du prisme

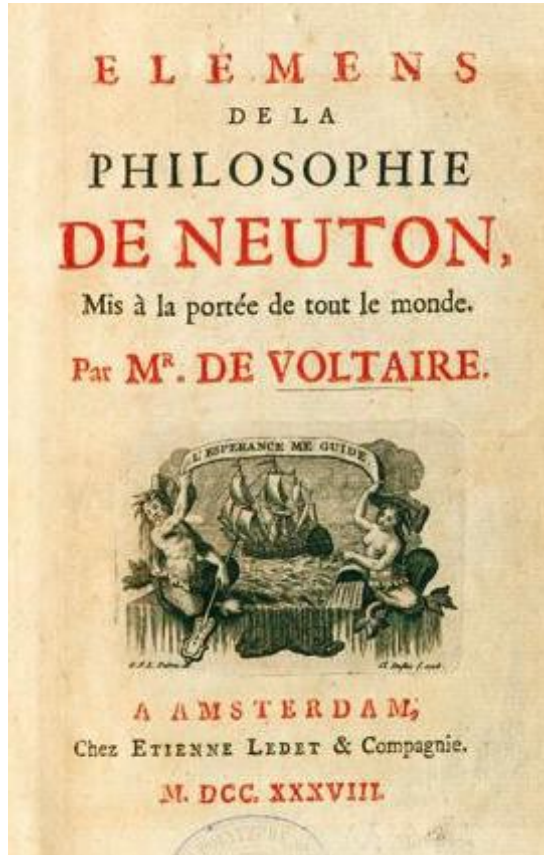
Newton: « Les rayons de lumière sont des corps de taille différente, dont les plus petits [légers] prennent la couleur la plus sombre: le violet... les autres, qui sont de plus en plus gros [lourds] prennent des couleurs plus claires: bleu, vert, jaune et rouge » (p. 347)

» Le spectre newtonien n'est pas continu: il résulte du mélange de rayons qui ont sept couleurs définies: rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo, violet.

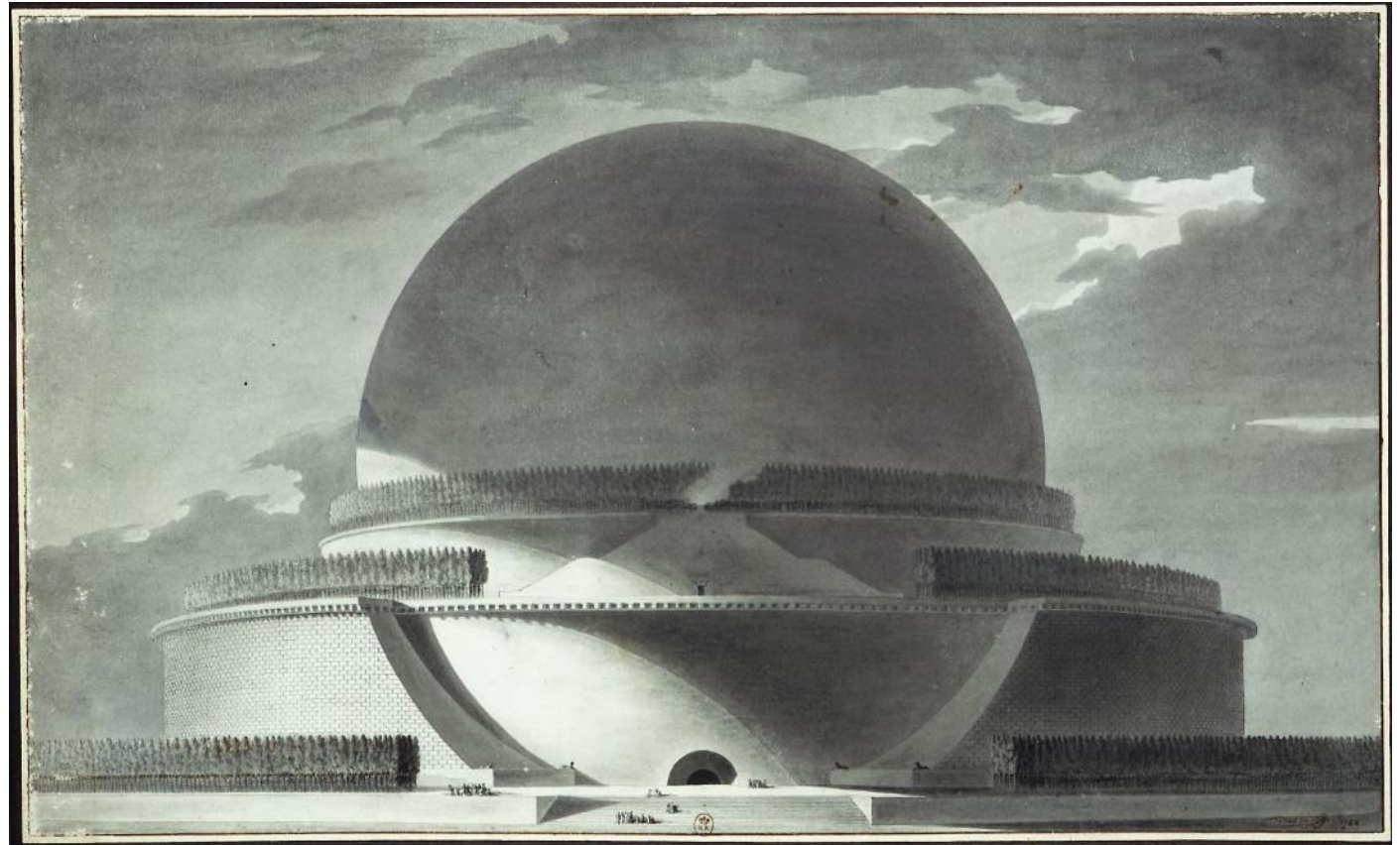
» Les couleurs intermédiaires sont expliquées par le mélange des rayons purs.

1. L'approche corpusculaire de la lumière

1704: Newton, *Opticks*



1738 Voltaire



1784 Boullée

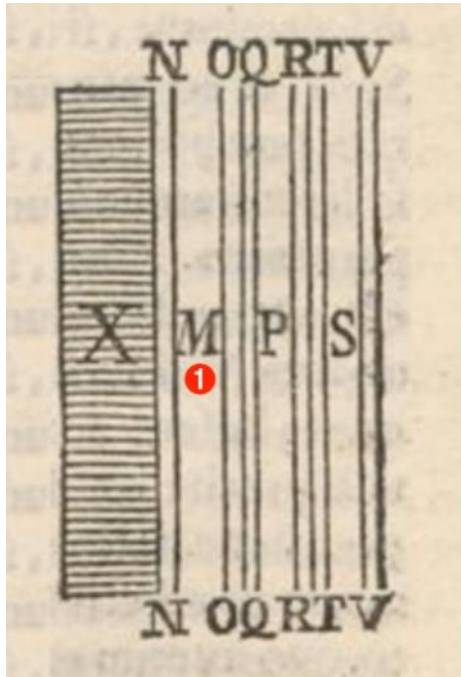
La théorie corpusculaire de la lumière (dite théorie de l'émission) profitera de la célébrité de Newton durant tout le 18^e siècle...

2. L'approche ondulatoire de la lumière

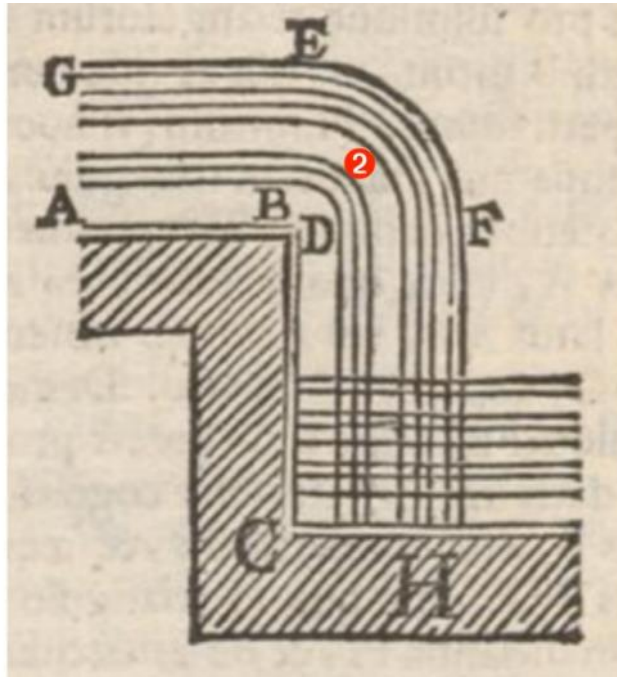
2. L'approche ondulatoire de la lumière

1665: Grimaldi, *Physico-mathesis de lumine*

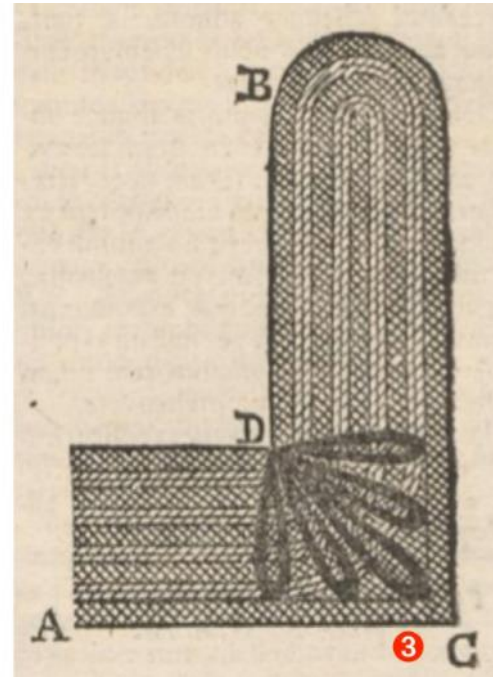
Grimaldi: «La lumière se propage ou se diffuse non seulement en ligne droite, en se réfractant et en se réfléchissant, mais aussi suivant un quatrième mode, en se diffractant» (p. 1)



Bord rectiligne



Angle sortant

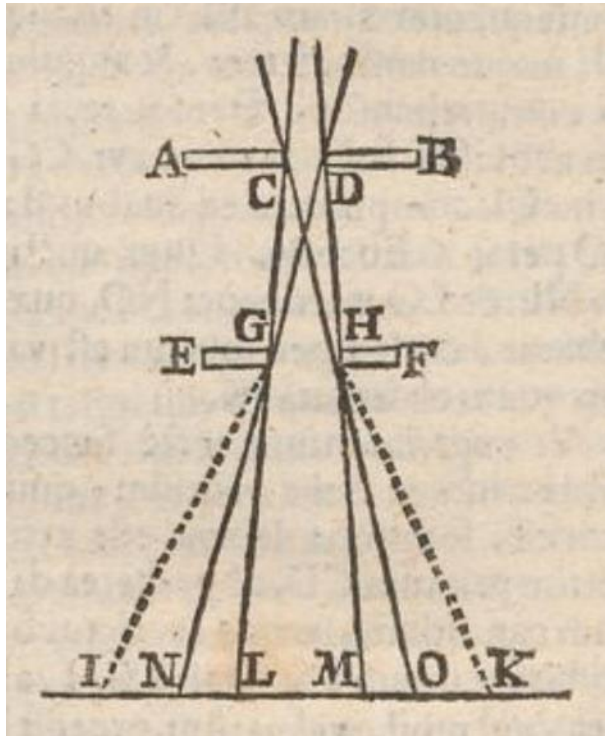


Angle rentrant



2. L'approche ondulatoire de la lumière

1665: Grimaldi, *Physico-mathesis de lumine*



Les rayons notés --- sont extérieurs aux limites géométriques de l'ombre !

Grimaldi: « Lorsque la lumière tombe sur une surface blanche et lisse, elle présente une **base lumineuse IK nettement plus grande que celle des rayons transmis en ligne droite** par les deux ouvertures [CD, GH]. Cela peut s'établir chaque fois qu'on tente l'expérience, en observant la grandeur de la base **IK** et en déduisant par calcul la grandeur que devrait avoir la base **NO** limitée par les rayons directs croisés passant par les deux ouvertures... Enfin, à chaque extrémité, sa lumière est colorée, en partie de rouge, en partie de bleu » (pp. 9-10)

2. L'approche ondulatoire de la lumière

Vérification

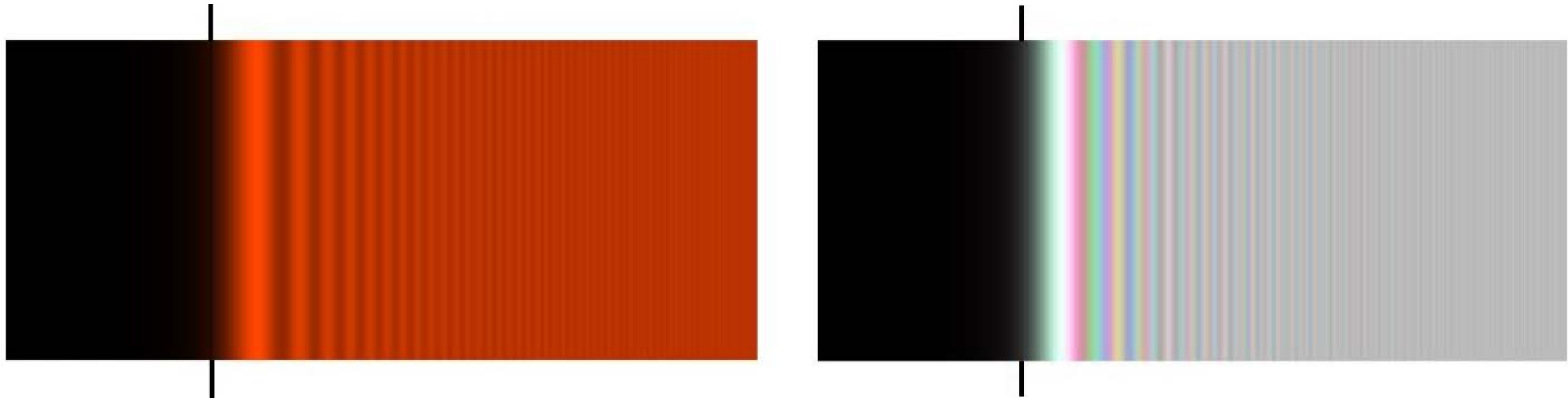


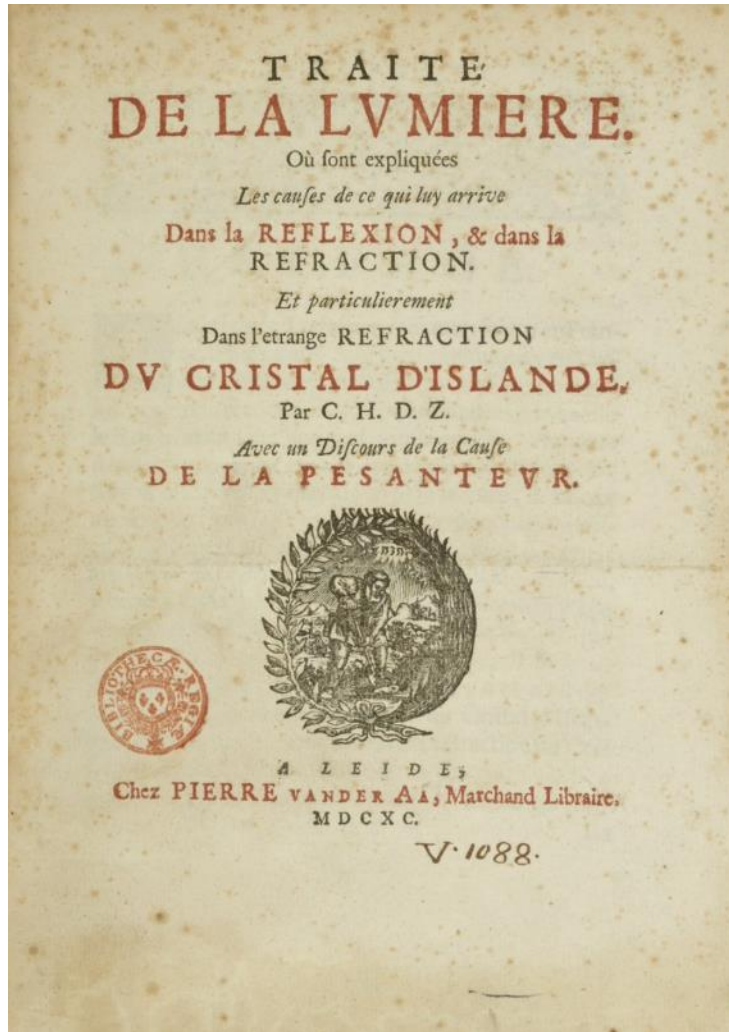
Figure de diffraction obtenue A/ en lumière monochromatique

B/ en lumière blanche

Note: Remarquez la présence de lumière au-delà de la limite de l'ombre géométrique

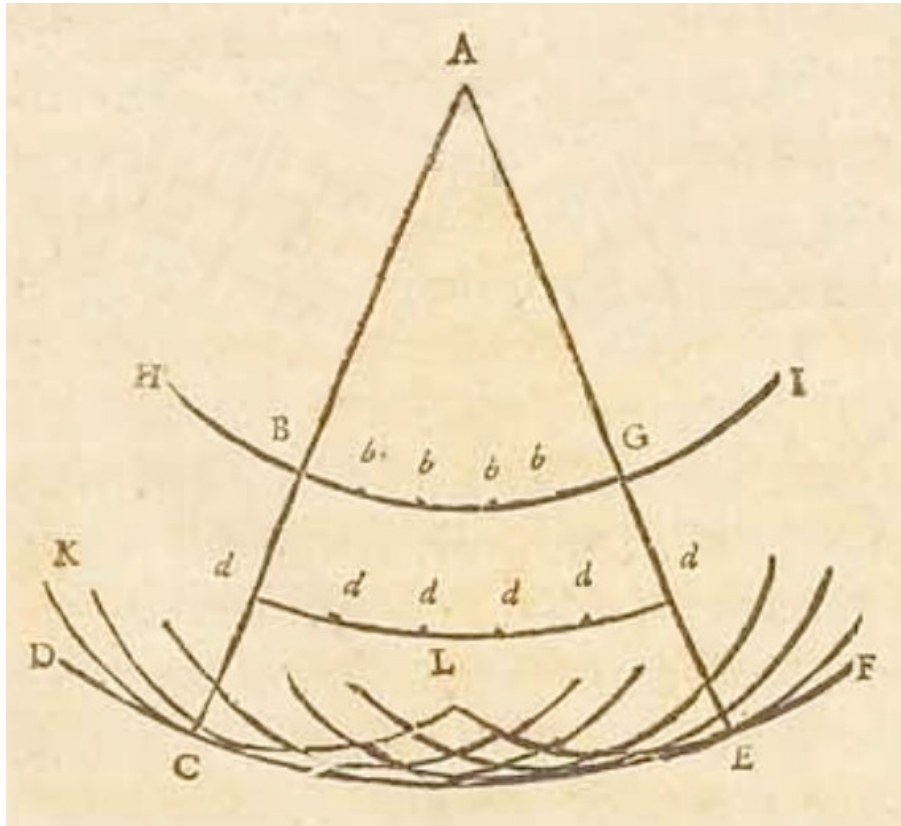
2. L'approche ondulatoire de la lumière 1690: Huygens, *Traité de la lumière*

Pose les principes de l'optique ondulatoire:

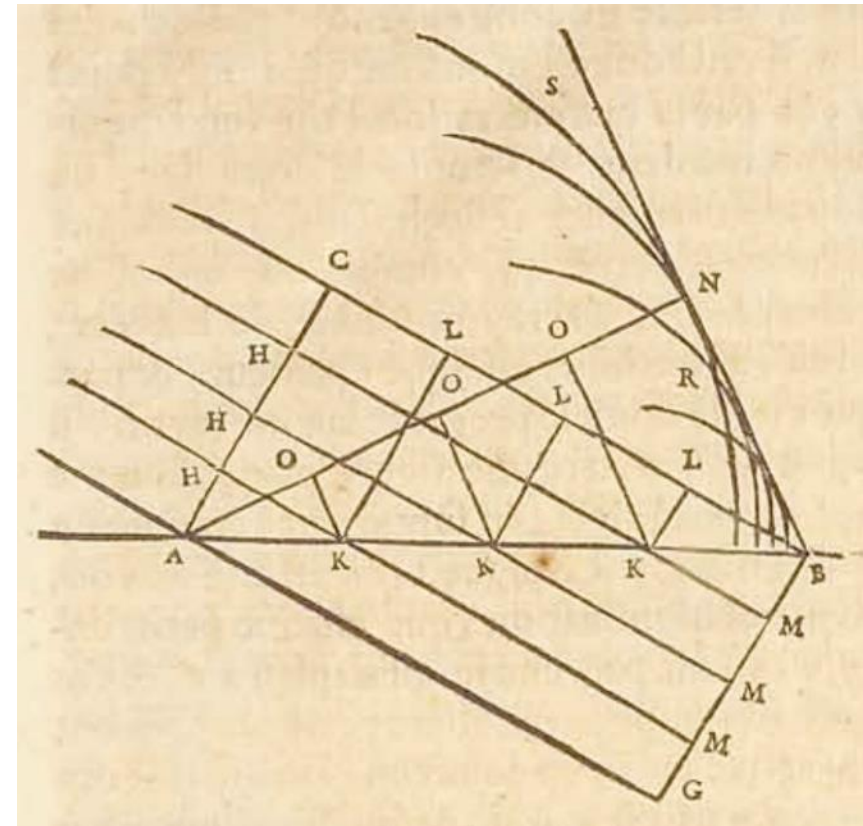


1. La lumière se propage « par des ondes sphériques » (p. 15)
2. En tant qu'onde, la lumière est distincte du substrat matériel: « une même particule de matière peut servir à plusieurs ondes, venant de divers costez, ou mesme de costez contraires » (p. 16)
3. La lumière étant une onde, les faisceaux se croisent sans collision: les « ondes se traversent sans confusion » (p. 16)

2. L'approche ondulatoire de la lumière 1690: Huygens, *Traité de la lumière*



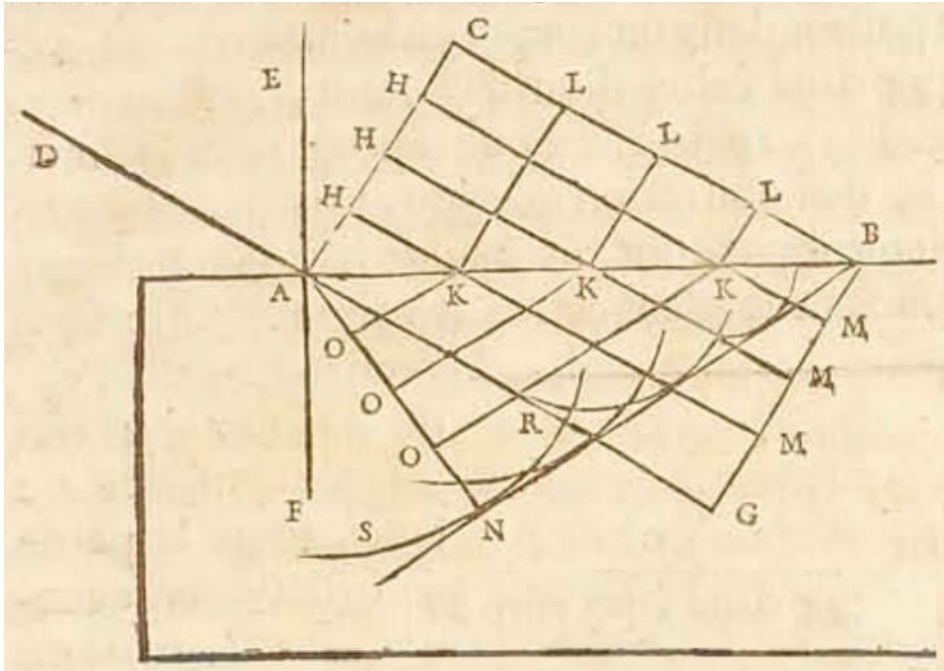
Propagation sphérique des ondes



Analyse de la réflexion: $AN = CB$ Huygens:

«Ainsi l'on verra que l'onde AC... est devenue brisée dans tous les OKL & qu'elle est redevenue droite en NB. Or il paraît d'icy que l'angle de reflexion se fait egal à l'angle d'incidence» (p. 23) [*L'onde plane AC est réfléchie en BN*]

2. L'approche ondulatoire de la lumière 1690: Huygens, *Traité de la lumière*



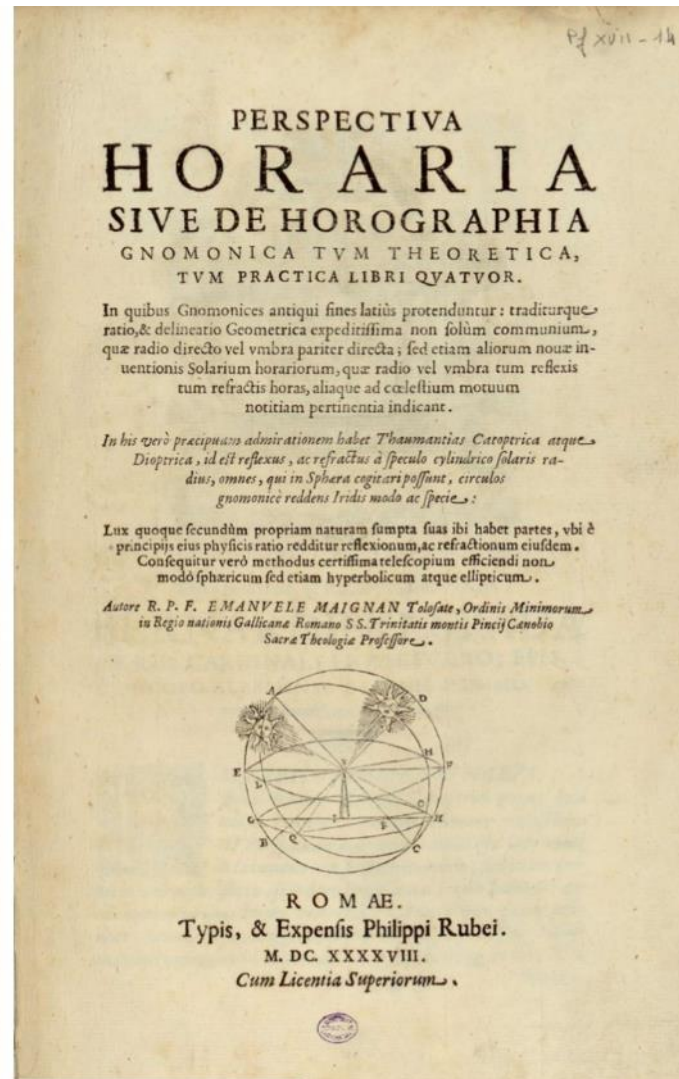
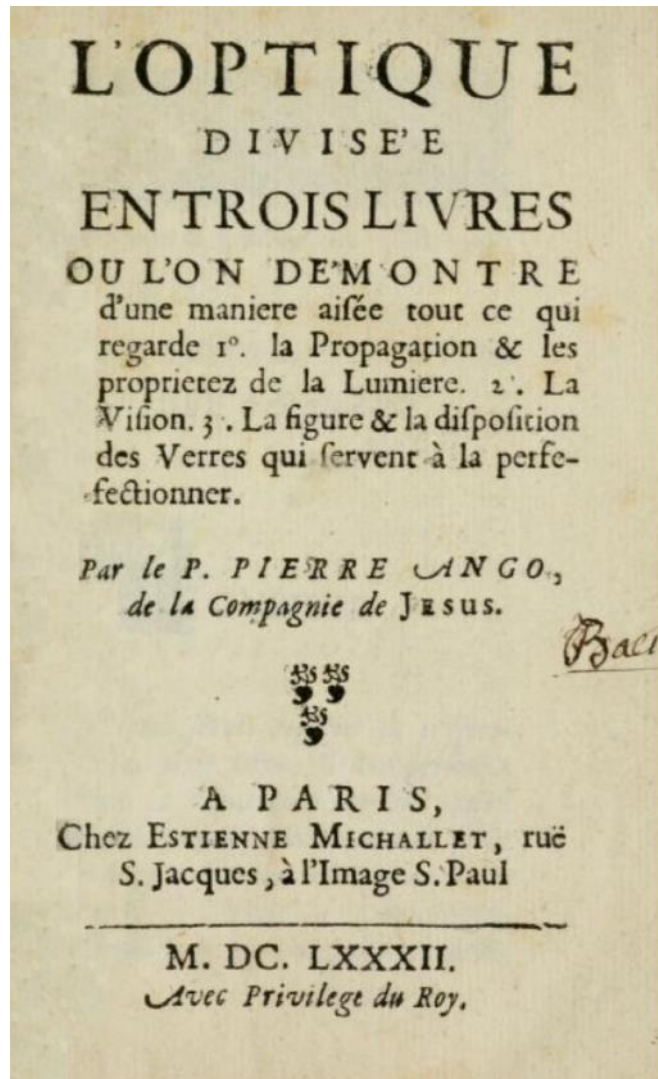
Analyse de la réfraction

Huygens: « Supposons que la matière transmette ce mouvement moins vite d'un tiers... il se sera donc repandu depuis le point A, dans la matière du corps transparent par une étendue égale aux deux tiers de CB [= AO]... Ainsi on verra que l'onde AC est brisée dans toutes les LKO, & qu'elle est redevenue droite en BN » (p. 34-5) [L'onde AC est réfractée en BN]

Huygens: « Il faudroit donc par les principes de **Mr. Descartes**, que la lumière passant de cet espace où il n'y a que la matière subtile, dans celui-cy où il y a de l'air, se rompit en s'éloignant de la perpendiculaire. Cependant l'expérience nous fait voir le contraire » (p. 87)

2. L'approche ondulatoire de la lumière 1690: Huygens, *Traité de la lumière*

Deux sources de Huygens:



Huygens: « Le **P. Pardies**, dans un traité dont il me fit voir une partie, & qu'il ne pût achever estant mort peu de temps après, avoit entrepris de prouver par ces ondes les effets de la reflexion & de la refraction » (p. 18)

Pardies: « Le **P. Maignan** dans le livre qu'il a fait de la Perspective horaire explique autrement la cause des refractions, en supposant, comme je l'ay fait, que la lumiere passe plus vîte & plus aisement dans un corps plus diaphane, que dans celuy qui l'est moins » (p. 88)

2. L'approche ondulatoire de la lumière

1800: Young, *On sound and light*

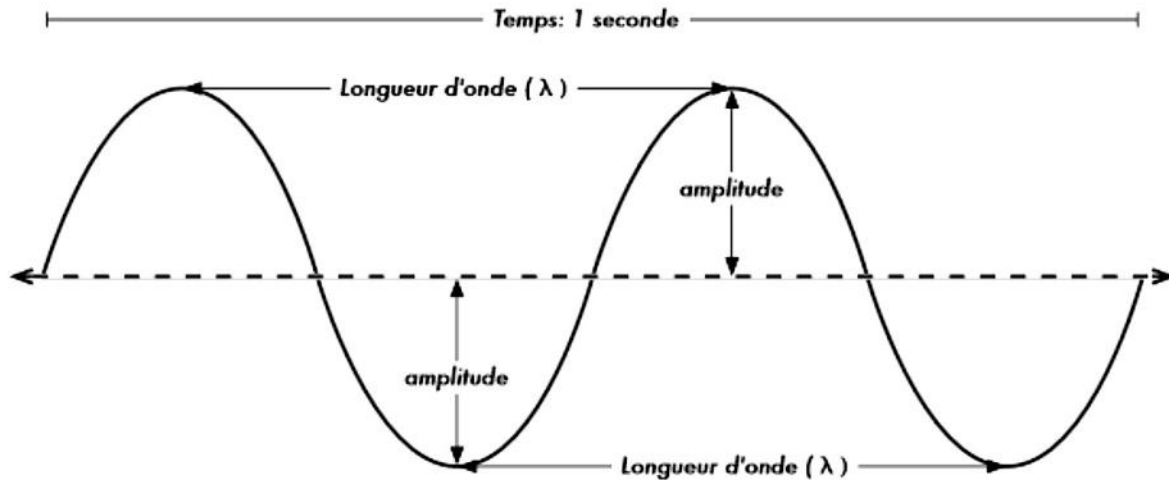


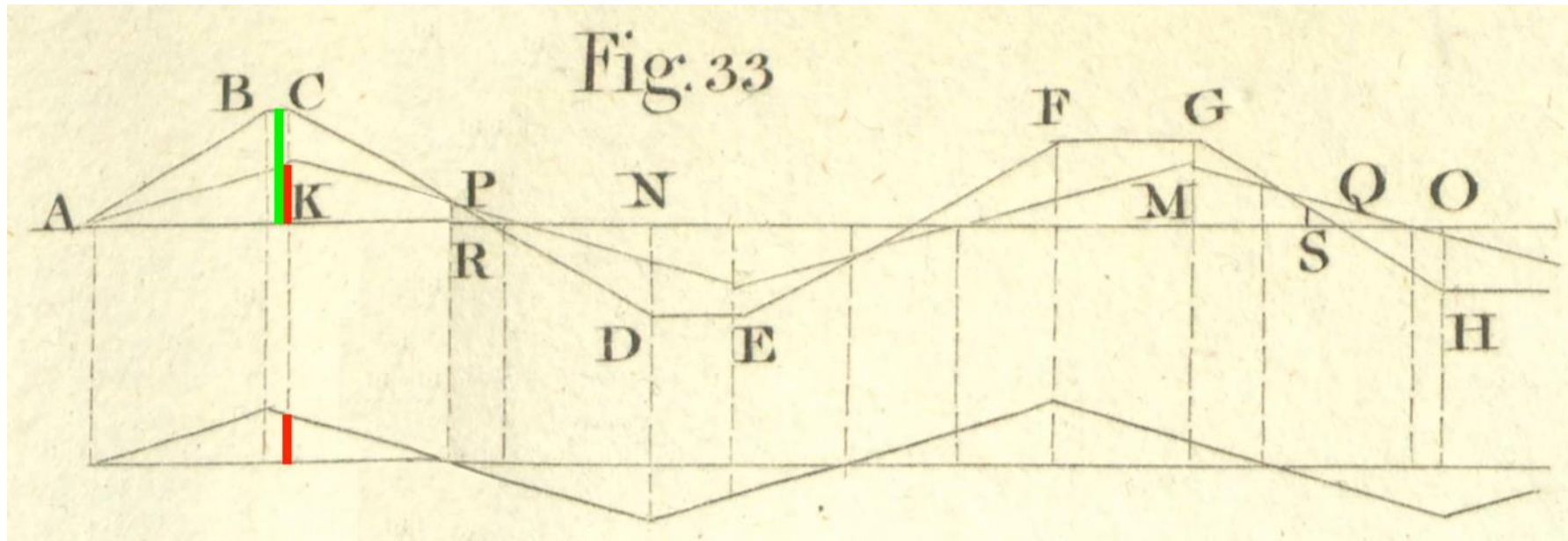
Figure 2.1: Longueur d'onde, amplitude, et fréquence. Pour cette onde, la fréquence est de 2 cycles par seconde, ou 2 Hz.

Thomas Young introduit deux concepts importants:

- « Les couleurs de la lumière sont constituées par les différentes **fréquences** des vibrations de l'éther lumineux » (p. 128)
- « En ajoutant à un son donné d'autres sons semblables... les lignes droites peuvent être converties en **lignes sinusoïdales**, et celles-là en lignes droites » (p. 133)

2. L'approche ondulatoire de la lumière

1800: Young, *On sound and light*



Principe d'addition des ondes

1. Si deux ondulations de même fréquence coïncident elles s'additionent
2. Si elles sont décalées d'une demi-ondulation, elles s'annulent
3. Si deux ondes de fréquence légèrement différente se superposent, elles se combinent

2. L'approche ondulatoire de la lumière

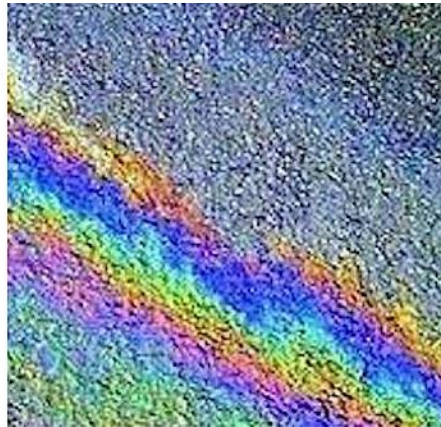
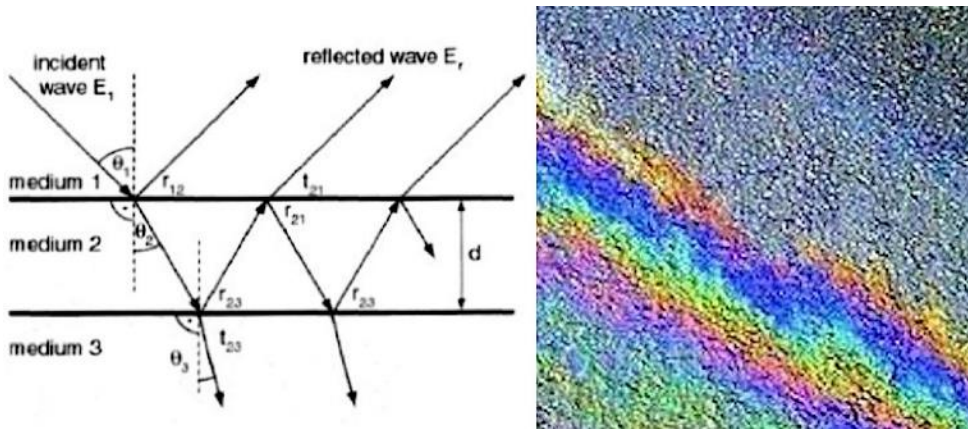
1802: Young, *On the theory of light and colours*

H1. L'univers est rempli d'éther luminifère

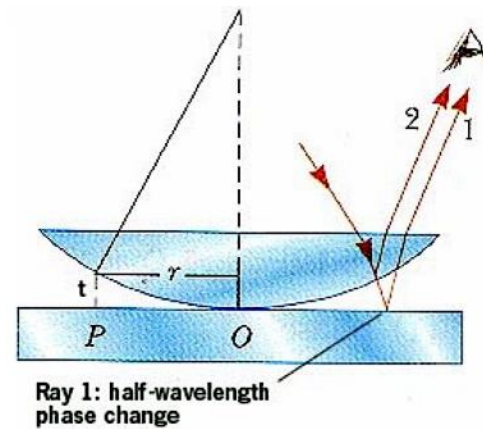
H2. Toute source de lumière produit des ondulations de l'éther

H3. La couleur résulte de la fréquence des vibrations

Young: « Quand deux ondulations, d'origines différentes, coïncident parfaitement ou presque en direction, leur effet conjugué est une combinaison de leurs mouvements » (34)



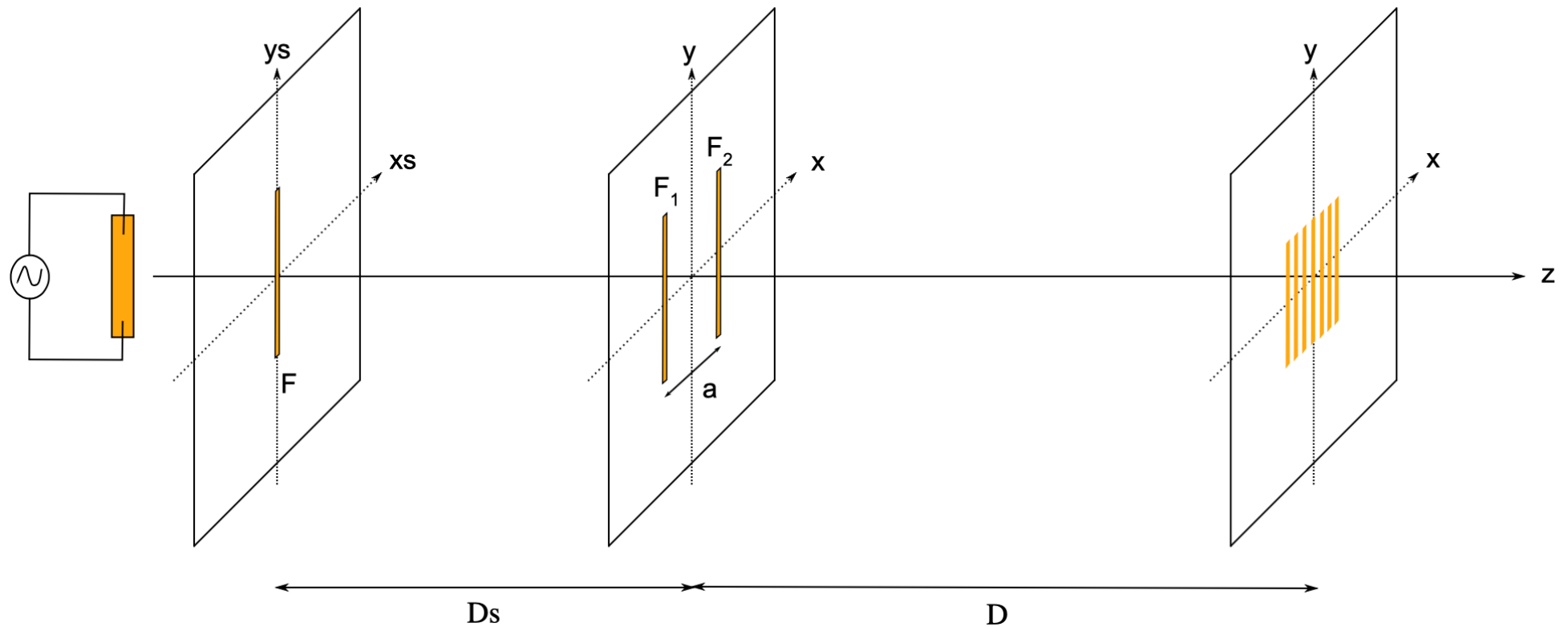
Films minces



Anneaux de Newton

2. L'approche ondulatoire de la lumière

1803: Young, *Experiments and calculus relative to physical optics*



Expériences des deux fentes d'Young

Note: l'expérience historique des « deux fentes » (*double slit*) ou des « deux trous » d'Young, n'utilise ni trous, ni fentes: « une feuille de carton, d'environ un treizième de pouce de largeur » (*a slip of card, about one-thirtieth of an inch in breadth*) [0.8 mm]

3. La controverse de 1819

«Deux fentes d'Young»

2 *Dr. YOUNG'S Experiments and Calculations*

the sun shines, and without any other apparatus than is at hand to every one.

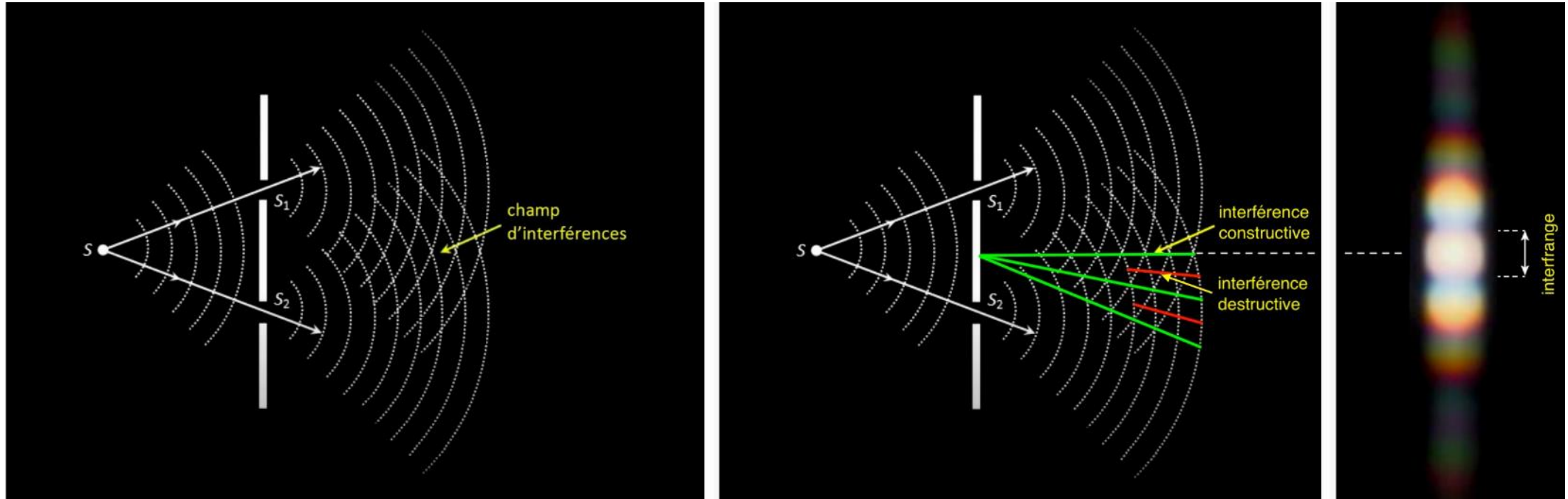
Exper. 1. I made a small hole in a window-shutter, and covered it with a piece of thick paper, which I perforated with a fine needle. For greater convenience of observation, I placed a small looking glass without the window-shutter, in such a position as to reflect the sun's light, in a direction nearly horizontal, upon the opposite wall, and to cause the cone of diverging light to pass over a table, on which were several little screens of card-paper. I brought into the sunbeam a slip of card, about one-thirtieth of an inch in breadth, and observed its shadow, either on the wall, or on other cards held at different distances. Besides the fringes of colours on each side of the shadow, the shadow itself was divided by similar parallel fringes, of smaller

1803: Young

Experiments relative to physical optics (p. 2)

2. L'approche ondulatoire de la lumière

1803: Young, *Experiments and calculus relative to physical optics*



Young revisité: Interférences constructives et destructives

3. La controverse de 1819

3. La controverse de 1819
Le prix de physique

ACADÉMIE DES SCIENCES.

PROCÈS-VERBAUX

des

SÉANCES DE L'ACADÉMIE

tenues depuis la fondation de l'Institut jusqu'au mois d'août 1835.

PUBLIÉS

Conformément à une décision de l'Académie

PAR M.M. LES SECRÉTAIRES PERPÉTUELS.

TOME VI

AN 1816-1819.

Procès-verbaux 1817-1819

3. La controverse de 1819

Chronologie

1800-1815: Vague de travaux sur interférences et diffraction: Young, Arago, Pouillet, Biot...

1815, 15 Oct: Premier mémoire sur la diffraction de Fresnel

1817, 10 Fev: Rédaction du sujet du Prix de physique sur « la diffraction »

1817, 24 Mar: Publication du sujet du Prix

1818, 29 Jul: Fresnel dépose son mémoire pour le Prix de physique

1818, 3 Aug: L'Académie élit les membres du jury

1819, 15 Mar: Arago lit le Rapport de la commission sur les différents mémoires

1819, 15 Mar: Ouverture des plis: le vainqueur est Fresnel

3. La controverse de 1819

Un Prix pour encourager une théorie corpusculaire de la diffraction?

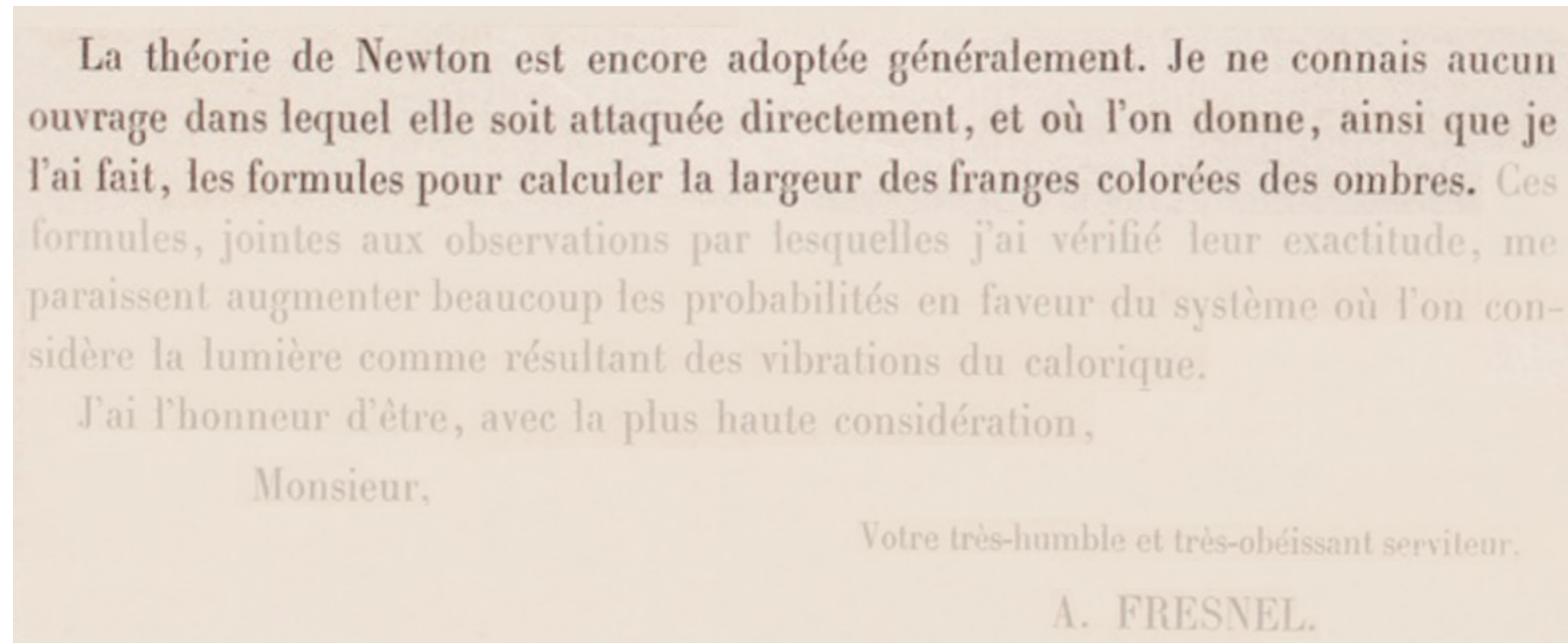
1817, 10 Fev: Biot rédige le sujet du Prix de physique sur « la diffraction »

Biot est un **newtonien**

1818, 3 Aug: L'Académie élit les membres du jury: Biot, Arago, Laplace, Gay-Lussac, Poisson:

Biot, Laplace et Poisson sont des **newtoniens**

Ce n'est pas le cas de Fresnel:



Lettre accompagnant le Premier mémoire sur la diffraction

3. La controverse de 1819

Le prix de physique

SÉANCE DU LUNDI 24 MARS 1817.

165

PRIX PROPOSÉS AU CONCOURS POUR LES
ANNÉES 1818 ET 1819.

« 1^o Déterminer par des expériences précises tous les effets de la diffraction des rayons lumineux directs et réfléchis, lorsqu'ils passent séparément ou simultanément près des extrémités d'un ou de plusieurs corps, d'une étendue soit limitée, soit indéfinie, en ayant égard aux intervalles de ces corps, ainsi qu'à la distance du foyer lumineux d'où les rayons émanent.

« 2^o Conclure de ces expériences par des inductions mathématiques les mouvements des rayons dans leur passage près des corps.

« Le prix sera décerné dans la Séance publique de 1819; mais les concours sera fermé le 1^{er} Août 1818, et ainsi les Mémoires devront être remis avant cette époque pour que les expériences qu'ils contiendront puissent être vérifiées.

« Le prix sera une médaille d'or de la valeur de 3000 francs.

1817, 24 Mar: Publication du sujet

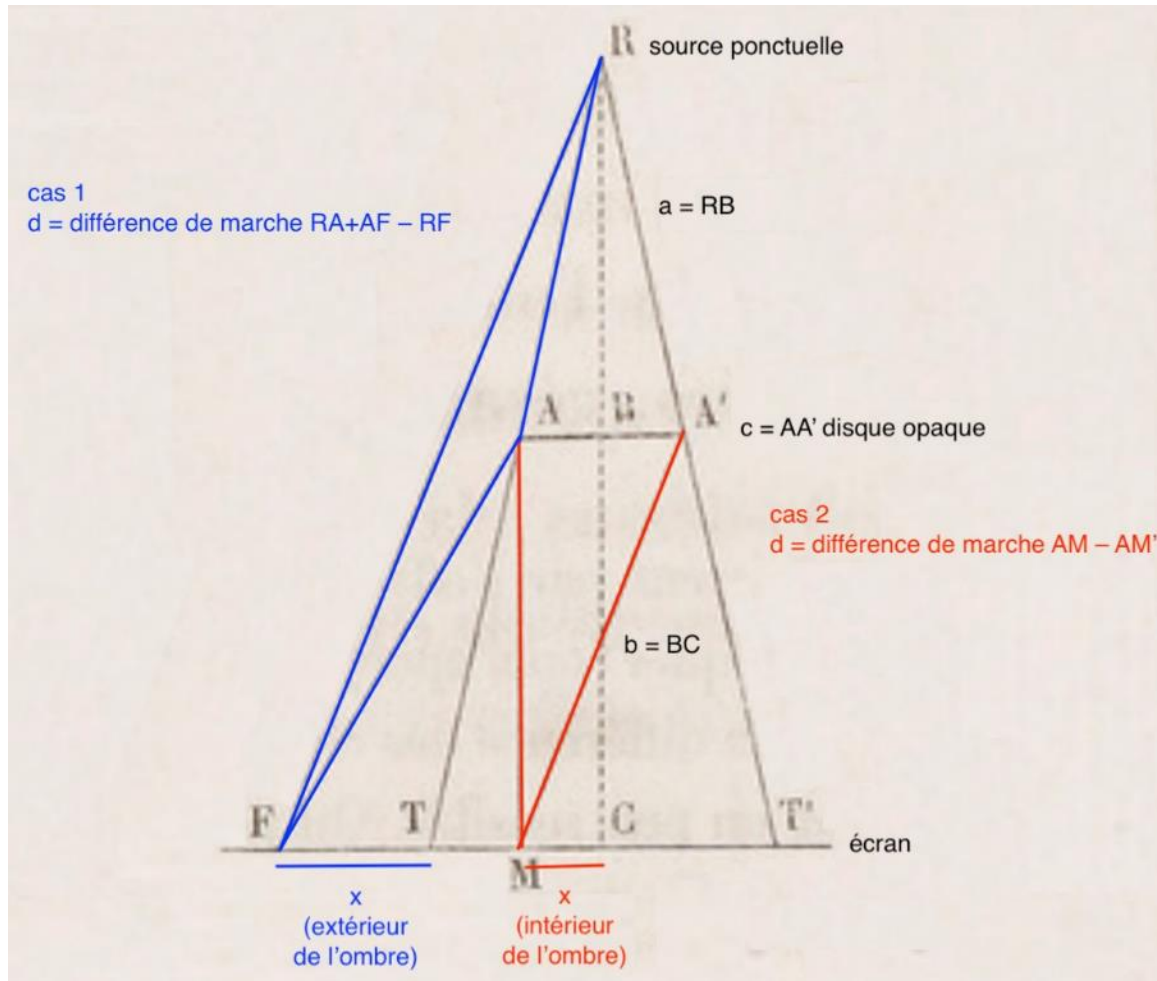
Il est demandé:

1^o de déterminer les effets de la diffraction

2^o d'étudier mathématiquement le mouvement des rayons

3. La controverse de 1819

Le prix de physique



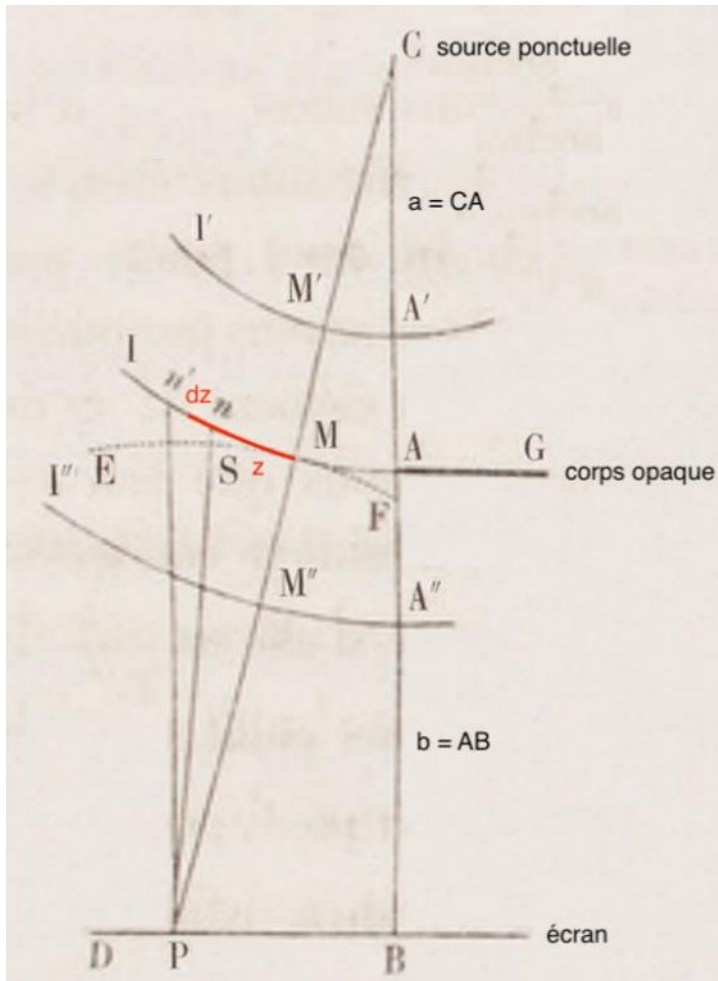
1818, 29 Jul: Mémoire de Fresnel

Théorie simplifiée pour deux rayons:

Fresnel détermine la position des franges **extérieures** et **intérieures** à l'ombre géométrique

3. La controverse de 1819

Le prix de physique



Fresnel applique le principe de Huygens:

Les vibrations d'une onde lumineuse dans chacun de ses points peuvent être regardées comme la somme des mouvements élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans une quelconque de ses positions antérieures ⁽¹⁾.

Si l'on représente par λ la longueur d'une ondulation, on aura, pour la composante de l'onde que l'on considère, rapportée à l'onde émanée du point M,

$$dz \cos \left(\pi \frac{z^2 (a+b)}{ab \lambda} \right);$$

et pour l'autre composante, rapportée à une onde distante d'un quart d'ondulation de la première,

$$dz \sin \left(\pi \frac{z^2 (a+b)}{ab \lambda} \right).$$

Il intègre:

$$\int dv \cos qv^2 \quad \int dv \sin qv^2$$

q représentant le quadrans ou $\frac{1}{2} \pi$,

L'intensité lumineuse au point P sera la somme des deux intégrales

1818, 29 Jul: Mémoire de Fresnel

Théorie « complète »

Fresnel détermine la position des franges par intégration

3. La controverse de 1819

Le prix de physique

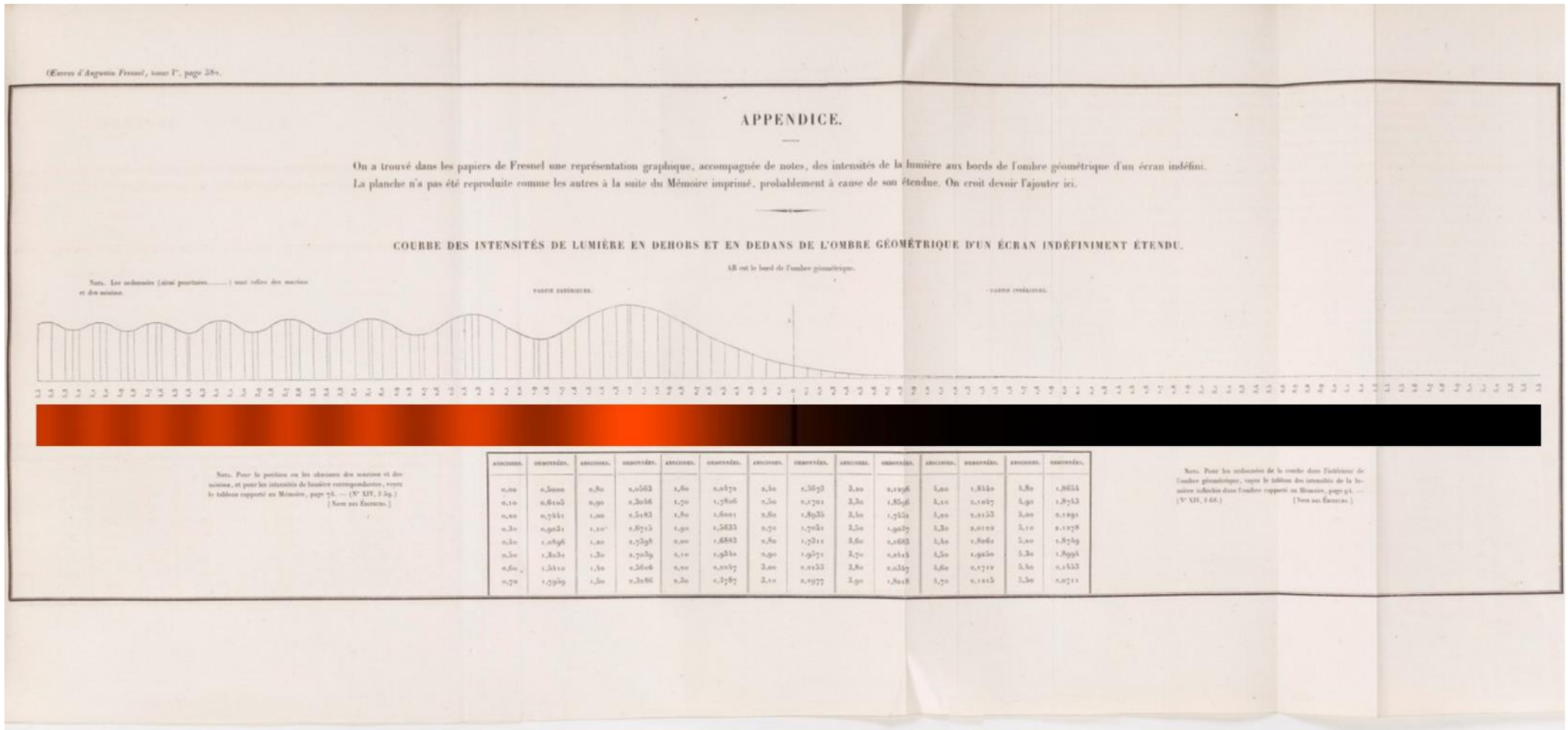
TABLEAU
DES MAXIMA ET MINIMA POUR LES FRANGES EXTÉRIEURES,
ET DES INTENSITÉS DE LUMIÈRE CORRESPONDANTES.

	VALEURS de v .	INTENSITÉS de lumière.
Maximum du 1 ^{er} ordre.....	1,2172	2,7413
Minimum du 1 ^{er} ordre.....	1,8726	1,5570
Maximum du 2 ^e ordre.....	2,3449	2,3990
Minimum du 2 ^e ordre.....	2,7392	1,6867
Maximum du 3 ^e ordre.....	3,0820	2,3022
Minimum du 3 ^e ordre.....	3,3913	1,7440
Maximum du 4 ^e ordre.....	3,6742	2,2523
Minimum du 4 ^e ordre.....	3,9372	1,7783
Maximum du 5 ^e ordre.....	4,1832	2,2206
Minimum du 5 ^e ordre.....	4,4160	1,8014
Maximum du 6 ^e ordre.....	4,6369	2,1985
Minimum du 6 ^e ordre.....	4,8479	1,8185
Maximum du 7 ^e ordre.....	5,0500	2,1818
Minimum du 7 ^e ordre.....	5,2442	1,8317

1818: Fresnel calcule les *minima* et *maxima* pour $\lambda = 638$ nm

3. La controverse de 1819

Le prix de physique



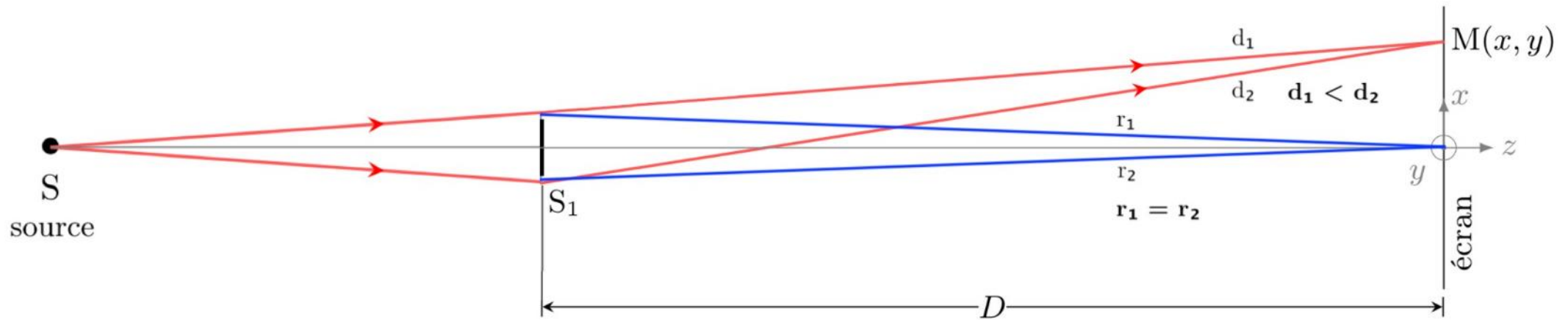
1818: Ces valeurs permettent à Fresnel de tracer le profil d'intensité lumineuse
Le trait vertical est la limite de l'ombre géométrique

3. La controverse de 1819

Le prix de physique

236 THÉORIE DE LA LUMIÈRE. — PREMIÈRE SECTION.

L'un de vos commissaires, M. Poisson, avait déduit des intégrales rapportées par l'auteur le résultat singulier que le centre de l'ombre d'un écran circulaire opaque devait, lorsque les rayons y pénétraient sous des incidences peu obliques, être aussi éclairé que si l'écran n'existait pas. Cette conséquence a été soumise à l'épreuve d'une expérience directe, et l'observation a parfaitement confirmé le calcul (E).



Objection de Poisson

La théorie du mémoire No 2 implique une interférence constructive au centre

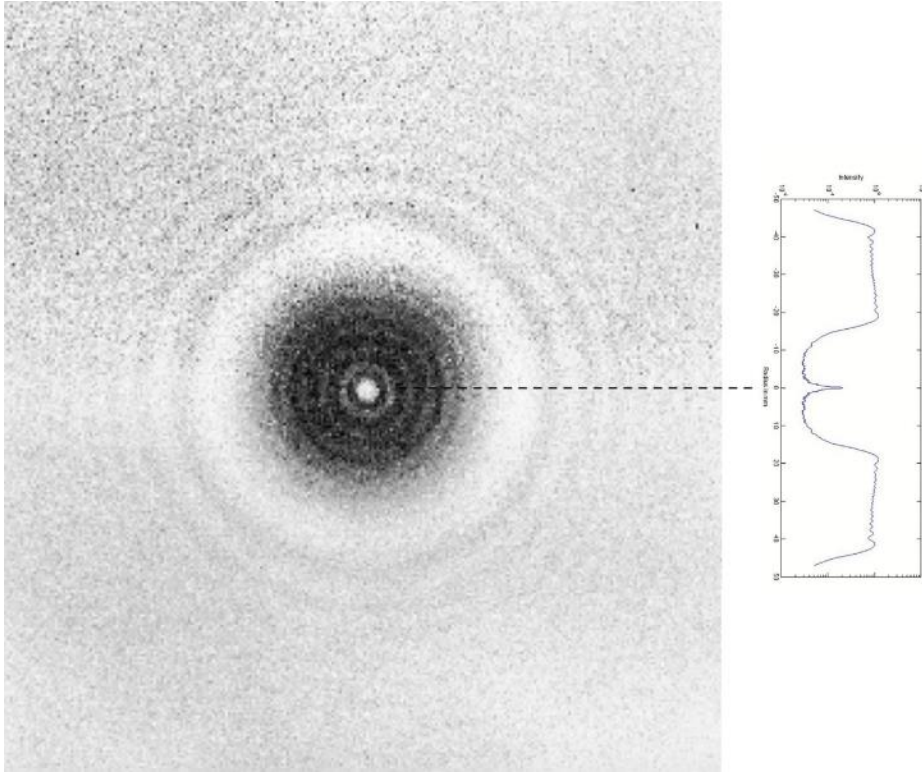
(par symétrie, les distances en bleu sont égales)

Or la lumière se propage en ligne droite: il ne peut pas y avoir de lumière derrière l'écran

Donc le mémoire No 2 est faux.

3. La controverse de 1819

Le prix de physique



Arago réalise l'expérience du « point blanc de Poisson »

Réponse d'Arago

La théorie du mémoire No 2 implique une interférence constructive au centre
(par symétrie, les distances en bleu sont égales)

L'expérience montre la présence de lumière derrière l'écran

Donc, il faut écarter la théorie de l'émission.

3. La controverse de 1819

Le prix de physique

SÉANCE DU LUNDI 15 MARS 1819.

427

La Commission chargée de décerner le prix de Physique Mathématique, annonce que son choix s'est fixé sur le Mémoire N° 2, ayant pour épigraphe *Natura simplex et fecunda*.

Le billet ayant été ouvert, l'auteur est M. Fresnel, Ingénieur au Corps des Ponts et Chaussées.

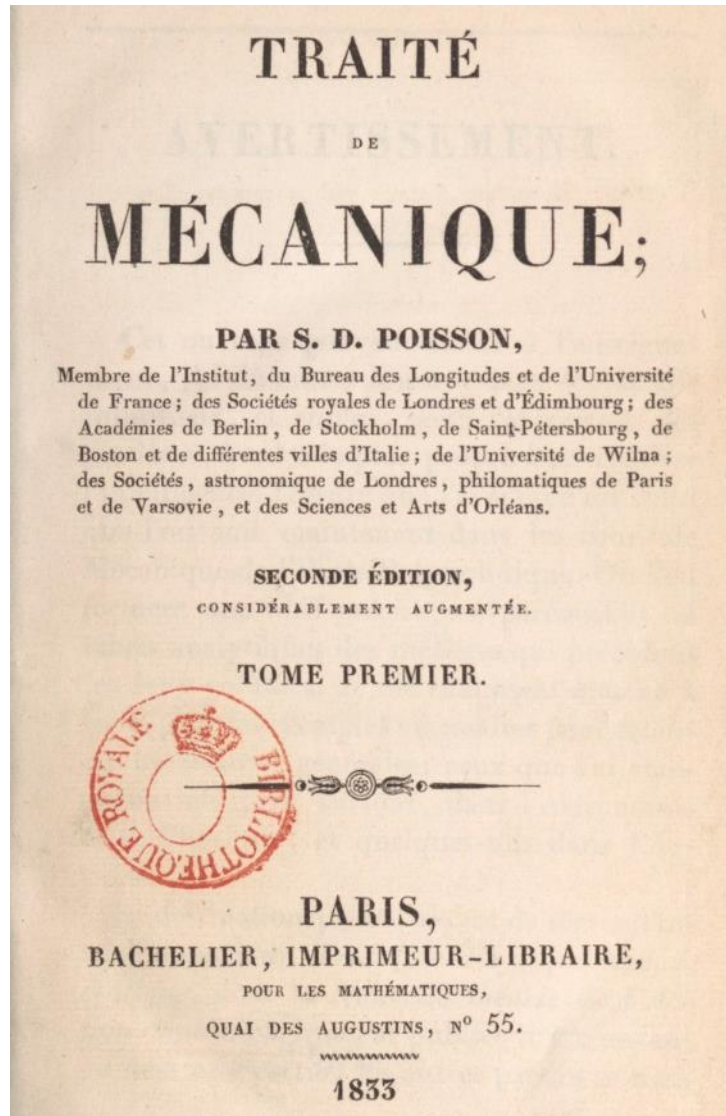
1819, 15 Mar: Ouverture des plis

Le Mémoire No 2 «*Natura simplex et fecunda*» est celui de Fresnel

4. Après 1819...

3. La controverse de 1819

Après le prix...



DYNAMIQUE, PREMIÈRE PARTIE. 301

§ III. *Digression sur le mouvement de la lumière.*

162. Le théorème du n° 160 est connu sous la dénomination de *principe de la moindre action*, qui lui vient du point de vue métaphysique sous lequel on l'a d'abord envisagé, et qu'on a depuis justement abandonné. Mais il peut encore être utile de donner ici une des premières applications qu'on a faites de ce principe, celle qui est relative à la réflexion et à la réfraction de la lumière dans le système de l'émission.

1833: Poisson et la théorie de l'émission

3. La controverse de 1819

Après le prix...

316

TRAITÉ DE MÉCANIQUE.

Un rayon lumineux, lancé du soleil ou d'une étoile, doit éprouver dans sa vitesse, comme tout autre projectile, une diminution due à sa pesanteur vers cet astre, c'est-à-dire, à l'attraction en raison inverse du carré des distances à son centre, que la masse du corps exerce sur chaque particule matérielle de la lumière; mais cette diminution est une fraction très petite de la vitesse finale de la lumière.

1833: Poisson continue d'adhérer à la théorie de l'émission...

Références

Sources:

- Académie des sciences, *Procès-verbaux des séances de l'Académie tenues depuis la fondation de l'Institut jusqu'au mois d'août 1835*, t. 6, an 1816-1819. Hendaie: Imprimerie de l'observatoire d'Abbadia, 1915.
- Alhacen = Sabra A.I. (1989) *The Optics of Ibn al-Haytham, Books I–II–III: On Direct Vision*, 2 vols. London: The Warburg Institute.
- Arago F., *Oeuvres de François Arago, Notices biographiques*, t. 1, Paris: Gide et Baudry, 1854.
- Archimède = *Commentaires de Pappus et de Théon d'Alexandrie sur l'Almageste*, 3 vols., ed. A. Rome, Vatican: Biblioteca Apostolica Vaticana.
- Descartes R., *Discours de la méthode... la Dioptrique, les Météores et la Géométrie*. Leiden: Maire, 1637.
- Euclide = Ver Eecke P. (1959) *Euclide: l'Optique et la Catoptrique*. Paris: Blanchard.
- Fizeau H., Note sur l'expérience de la vitesse comparative de la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau. *CRAS* 30 (1850): 562–3.
- Fresnel A., *Oeuvres complètes d'Augustin Fresnel*, t. 1. Paris: Imprimerie impériale, 1866.
- Grimaldi F.M. *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride*. Bologna: Bernia, 1665.
- Huygens C. *Traité de la lumière*, Leiden: van der Aa, 1690.
- Newton I. (1704) *Opticks*. London: Smith & Walford.
- Pardiès = Ango P. (1682) *L'Optique divisée en trois livres*, Paris: Michallet.
- Ptolémée = Lejeune A. (1989) *L'Optique de Claude Ptolémée*. Leiden: E.J. Brill.
- Théon = Ver Eecke P. (1959) *Euclide: l'optique et la catoptrique*. Paris: Blanchard.
- Young T. (1800) Outlines of Experiments and Inquiries respecting Sound and Light, *Philosophical Transactions* 90: 106–150.
- Young T. (1802) On the Theory of Light and Colours, *Philosophical Transactions* 92: 12–48.
- Young T. (1803) Experiments and Calculations relative to Physical Optics, *Philos. Transactions* 94: 1–16.

Commentaires:

- Basdevant J.L. (2009) Fresnel: Premier mémoire sur la diffraction, <http://www.bibnum.education.fr> [online].
- Blaise P. (1988) Augustin Fresnel, à l'occasion du 200e anniversaire de sa naissance, 10 mai 1788–14 juillet 1827, *Annales des Ponts et Chaussées* 46: 22–25.
- Buchwald (1989) *The Rise of the Wave Theory of Light*, Chicago: University of Chicago Press.
- Darrigol O. (2012) *A History of Optics from Greek Antiquity to the 19th Century*. Oxford: Oxford University Press.
- Gott J.R., Vanderbei R.J. (2011) Poisson's spot (the spot of Arago), *Princeton* [online].
- Wenger J. (2000) Reproducing the Fresnel-Arago experiment to illustrate physical optics, *Photoniques* 104: 21–24.
- Worrall J. (1989) Fresnel, Poisson and the white spot, D. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer, eds., *The Uses of Experiment*, Cambridge University Press, 135–157.