



N° 27

LA LUMIÈRE

Christian SCOTTA



Les Cahiers de la SAN

LA LUMIÈRE

Christian SCOTTA

Édition 2011

Les « *Cahiers de la SAN* » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet

44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : contact-san@san-fr.com

Mis à disposition selon les termes de la licence CC BY-NC-ND 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Table des matières

Optique rectiligne.....	8
Propagation rectiligne.....	8
Ombre et pénombre.....	8
Réflexion.....	9
Réfraction.....	10
Nature de la lumière.....	12
Théorie corpusculaire.....	12
Théorie ondulatoire.....	14
La diffraction.....	16
La dualité onde-corpuscule.....	18
Bibliographie.....	19

LA LUMIÈRE

L'étude de la lumière intéresse aussi bien les physiciens que les astronomes car toute l'information qui nous parvient des astres est véhiculée par les rayonnements qu'ils émettent, et plus particulièrement par la lumière.

Optique rectiligne

Commençons par exposer sommairement les lois de l'optique géométrique, énoncées par René DESCARTES dans sa « Dioptrique » (1637).

Propagation rectiligne

Dans le vide, ou dans un milieu transparent homogène, la lumière se déplace en lignes droites (les « rayons lumineux »). La vitesse de la lumière est de 300 000 km/s dans le vide, de 225 000 km/s dans l'eau et de 200 000 km/s dans le verre.

Ombre et pénombre

La propagation rectiligne de la lumière explique la formation de l'ombre et de la pénombre.

- Ombre (Fig. n° 1)

Un objet intercepte la lumière émise par une source ponctuelle et produit derrière lui un cône d'ombre. Un objet placé dans ce cône d'ombre ne reçoit aucune lumière de la source.

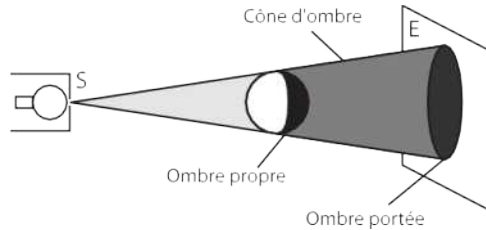


Figure 1

- Pénombre (Fig. n° 2)

Un objet intercepte la lumière émise par une source étendue et produit derrière lui un cône d'ombre et un cône de pénombre. Un point situé dans la pénombre reçoit une partie de la lumière émise par la source.

Le phénomène astronomique correspondant est une éclipse : l'éclipse est totale dans l'ombre et partielle dans la pénombre.

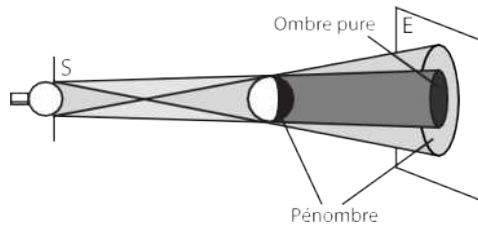


Figure 2

Réflexion

Une image se réfléchit dans un miroir ou un plan d'eau calme (Fig. n° 3).

L'angle de réflexion, mesuré par rapport à la normale ou à la verticale du plan, est égal à l'angle d'incidence.

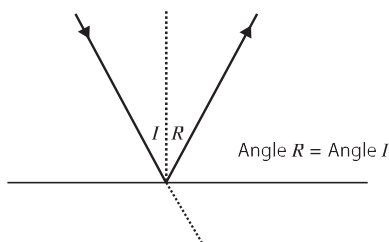


Figure 3

Dans un télescope, la lumière se réfléchit sur un miroir sphérique ou parabolique (Fig. n° 4) et les rayons réfléchis convergent vers un point appelé 'foyer'. L'oculaire est une loupe qui grossit l'image obtenue au foyer de l'instrument.

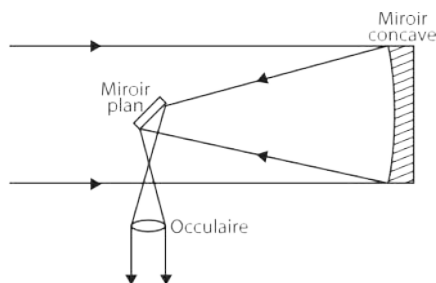


Figure 4

Réfraction

Un rayon lumineux change de direction en passant d'un milieu à un autre ; il est réfracté (Fig. n° 5).

Pour un milieu donné, le rapport du sinus de l'angle du rayon incident sur le sinus de l'angle réfracté est constant. Ce rapport caractérise chaque milieu.

La réfraction se produit également dans le cas des surfaces courbes (cristallin de l'œil, lentilles des lunettes astronomiques), mais les rayons réfractés convergent vers un point nommé 'foyer'.

Quand le rayon incident n'est pas monochromatique, le rayon réfracté est dispersé, c'est à dire décomposé; c'est le cas de la lumière blanche qui, dispersée en passant à travers un prisme, rend les couleurs qui la composent.

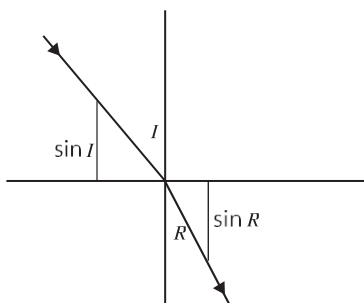


Figure 5

Isaac NEWTON découvrit la dispersion de la lumière en 1666. Le résultat est un spectre où l'on voit les couleurs de l'arc-en-ciel.

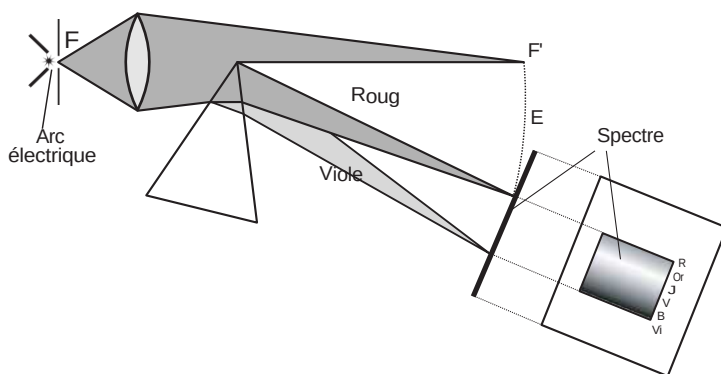


Figure 6

En passant à travers une lentille, la lumière blanche est légèrement dispersées car les rayons réfractés ne convergent pas tout à fait au foyer (Fig. n° 7) : c'est l'aberration chromatique.

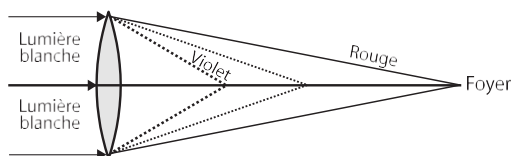


Figure 7

Nature de la lumière

Le problème de la nature de la lumière s'est posé au XVIII^e siècle.

À cette époque, deux théories entrèrent en concurrence, la théorie corpusculaire de NEWTON et la théorie ondulatoire de HUYGENS, qui prenait en compte la vitesse finie de la lumière (déterminée par Olaüs RÖMER en 1676, à partir des éclipses des satellites de Jupiter).

Théorie corpusculaire

Isaac Newton (« Traité d'Optique », 1704)

La lumière est composée de corpuscules dotés d'une masse, se comportant comme des projectiles et sensibles à une loi d'attraction. Aux « sept couleurs de l'arc-en-ciel » correspondent des particules de masses différentes. Celles correspondant au rouge ont la plus grande masse car elles sont moins déviées dans le passage à travers un prisme; celles correspondant au bleu ont la plus faible masse car elles sont moins déviées.

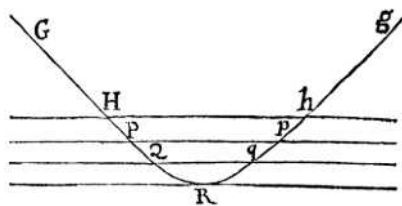


Figure 8

Dans le cas d'une réflexion (Fig. n° 8) les particules rebondissent sur la paroi réfléchissante, ou plus exactement une force réfringente répartie dans l'épaisseur de la surface s'oppose à la pénétration des particules qui rebondissent.

La réfraction se produit de deux façon :

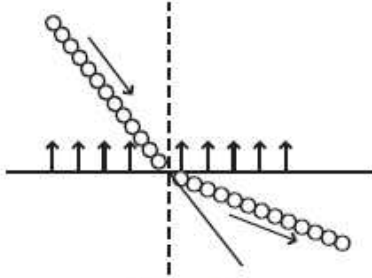


Figure 9

- passage d'un milieu dense à un milieu moins dense, par exemple passe du verre dans l'air (Fig. n° 9)
- : on observe que le rayon réfracté s'écarte de la normale (la perpendiculaire) à la surface de séparation.

• Pour Newton, une force d'attraction plus grande dans le verre (en raison de sa plus grande densité) que dans l'air freine les particules dans leur passage d'un milieu à l'autre. Le rayon réfléchi s'écarte de la normale au plan de réfraction. Mais la lumière doit aller plus vite dans le verre que dans l'air.

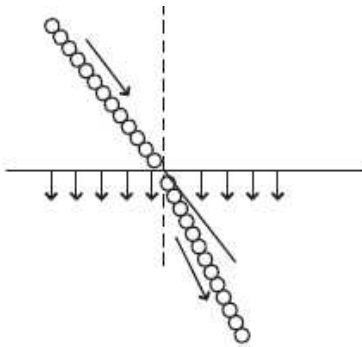


Figure 10

- passage d'un milieu dense à un milieu plus dense, par exemple passage de l'air dans le verre (Fig. n° 10) : on observe que le rayon réfracté se rapproche de la normale (la perpendiculaire) à la surface de séparation.

Pour Newton, la force d'attraction du verre, plus importante, accélère les particules quand elles vont d'un milieu à l'autre. La lumière doit aller plus vite dans le verre.

Cette tentative de ramener l'optique à une loi d'attraction se heurte à la question suivante : comment un corps, si petit soit-il, peut-il se déplacer plus vite dans un milieu dense que dans un milieu raréfié ou dans le vide ?

Théorie ondulatoire

C. Huygens (« *Traité de la lumière* », 1676)

La lumière est expliquée par des ondes se propageant dans un milieu.

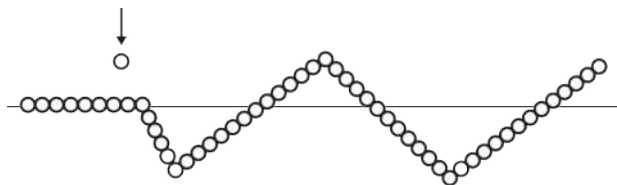


Figure 11

L'onde

La surface d'un liquide est composée de particules. Un caillou qui tombe à la surface de ce liquide (Fig. n° 11) entraîne les particules vers le bas. Celles-ci remontent, et par le mouvement acquis (ou par leur inertie) vont plus haut que la surface. Ce mouvement d'ondulation se propage de proche en proche dans le liquide en cercles concentriques de plus en plus grands. Ce sont « les ronds dans l'eau ».

Un bouchon de liège monte et descend au passage de l'onde mais ne change pas de position.

L'onde consiste en de l'énergie qui se propage dans la matière, mais ne consiste pas en un déplacement de matière.

Une onde se caractérise par sa longueur d'onde qui sépare deux crêtes successives, par son amplitude qui est son élévation au dessus du niveau moyen et par sa fréquence qui est le nombre de crêtes qui défilent en une seconde devant un point repère.

La vitesse de l'onde est la vitesse d'un point qui serait en permanence sur une crête de l'onde et est égale au produit de la fréquence par la longueur d'onde.

Ajoutons qu'un observateur placé loin du centre d'ébranlement d'une onde sphérique a l'impression que celle-ci se déplace selon le rayon d'une sphère dont le centre est la source émettrice de l'onde. La portion d'onde étudiée est petite

par rapport à ce rayon et peut être assimilée à un plan, d'où la notion d'onde plane (figure 12).

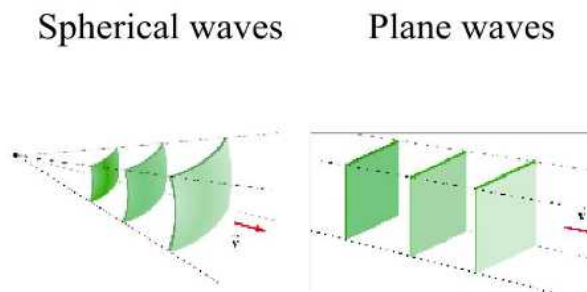


Figure 12

La réflexion (Fig. n° 13)

L'onde plane AC se déplace de A vers B et rencontre la surface réfléchissante xxx.

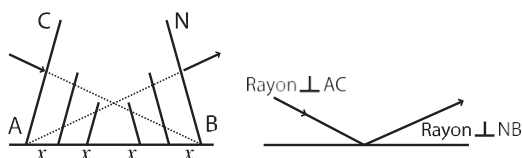


Figure 13

Tous les points de cette surface engendrent à leur tour des ondes : l'onde plane NB est l'onde réfléchie. Les rayons sont perpendiculaires aux ondes incidentes AC et aux ondes réfléchies NB.

La réfraction (Fig. n° 14) :

Le rayon perpendiculaire à l'onde pénètre dans le milieu mais sa propagation est gênée. La matière, discontinue, laisse passer le rayon mais modifie sa direction.

La vitesse de la lumière est plus faible dans un milieu plus dense, plus faible dans le verre que dans l'air,

contrairement à la théorie corpusculaire.

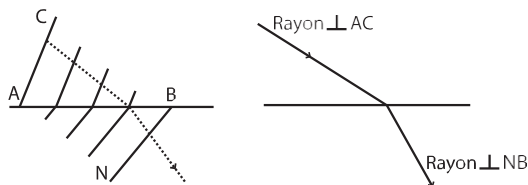


Figure 14

Comme l'onde est une agitation qui se propage dans la matière, il faut admettre l'existence dans l'espace d'un milieu capable de transmettre les ondes lumineuses : l'éther.

Cet éther doit avoir une certaine « rigidité » pour permettre qu'à chaque seconde, un nombre de 3.10^{14} crêtes défilent devant un point de repère. Mais il ne doit opposer aucune résistance aux mouvements des planètes. Ces propriétés contradictoires de l'éther poseront une énigme aux savants jusqu'à l'aube du xx^e siècle.

La diffraction

Newton affirmait que la lumière n'est pas de nature ondulatoire car elle ne se diffracte pas comme les ondes sonores.

Quand la lumière rencontre un obstacle percé d'un trou RC (Fig. n° 15), elle se propage de façon rectiligne selon le cône PAQ. Or, une onde se comporte différemment. Le trou se comporte comme s'il devenait à son tour émetteur d'ondes qui

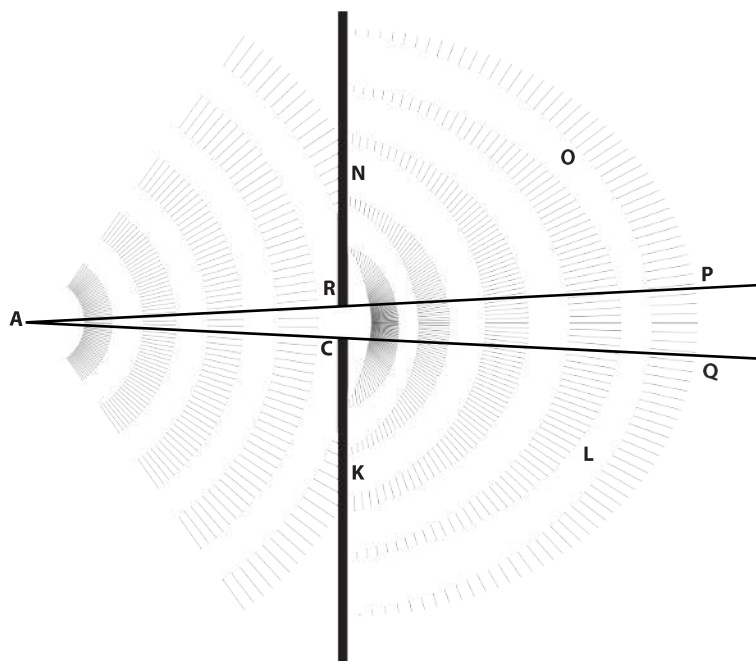


Figure 15

se répandent dans l'espace NO et KL. C'est le cas des ondes aquatiques et des ondes sonores.

Nous savons aujourd'hui que la lumière est diffractée si l'ouverture du trou est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de la lumière ; si le trou mesure quelques dix-millièmes de millimètres, on observe la diffraction de la lumière sous la forme d'une tache lumineuse entourée de cercles lumineux concentriques de plus en plus faibles.

Les ouvertures de nos fenêtres sont bien trop grandes pour permettre la diffraction de la lumière, alors qu'elles permettent la diffraction du son.

La diffraction de la lumière ne peut s'expliquer que dans la théorie ondulatoire.

La dualité onde-corpuscule

Les expériences de Thomas YOUNG sur les interférences puis celles d'Auguste FRESNEL ont amené le monde savant du XIX^e siècle à rejeter la théorie corpusculaire et à admettre la théorie ondulatoire de la lumière.

Cette dernière expliquait tous les phénomènes. Ne subsistait que l'énigme posée par l'éther.

Mais, au début du XX^e siècle, l'expérience de MICHELSON et MORLEY prouve l'inexistence de l'éther et conduira Albert EINSTEIN à la théorie de la Relativité. Celui-ci explique en 1905 l'effet photoélectrique en réintroduisant une conception corpusculaire de la lumière.

Un faisceau lumineux dirigé vers une plaque de métal fait rejaillir des électrons de cette plaque, d'autant plus nombreux que le faisceau est intense. Mais la vitesse des électrons arrachés ne dépend pas de l'intensité de la lumière mais de sa longueur d'onde; plus celle-ci est courte, plus sa fréquence augmente et plus l'énergie cinétique des électrons augmente. La lumière doit être composée de « grains » d'énergie, les photons.

Mais l'affaire est complexe : la lumière se comporte tantôt comme une onde (diffraction, par exemple) tantôt comme un corpuscule (effet photoélectrique) Les électrons, « grains » d'énergie de l'électricité, qui se comporte comme des particules dans l'effet photoélectrique, peuvent eux aussi être diffractés dans certaines expériences.

La physique quantique doit élaborer de nouvelles conceptions de la matière pour expliquer tous ces phénomènes.

La lumière se présente alors comme un phénomène énergétique quantifié qui se propage par ondes.

Bibliographie

La Lumière, Bernard MAITTE, Collection 'Points-Sciences'

La Lumière, Pierre ROUSSEAU, Collection 'Que sais-je ?' n° 48

Pour des compléments sur l'analyse spectrographique, non abordée dans le présent cahier, consulter l'Atlas de l'Astronomie des éditions Stock, pages 32-33.

Pour les instruments, même titre pages 21 à 27.

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

*La Société d'Astronomie de Nantes est une association
fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.*

LA LUMIÈRE

Christian SCOTTA

Christian Scotta explore les propriétés physiques et les théories sur la nature de la lumière avec une approche historique. Il commence par les lois de l'optique géométrique : la lumière se propage en ligne droite, produisant ombre et pénombre, et subit réflexion et réfraction. Newton découvre la dispersion de la lumière blanche en spectre coloré via un prisme. Deux grandes théories s'opposent au XVII^e siècle : la théorie corpusculaire de Newton (lumière = particules) et la théorie ondulatoire de Huygens (lumière = ondes). La réfraction est expliquée différemment dans chaque théorie, mais l'idée de l'éther (milieu de propagation des ondes lumineuses) soulève des contradictions. L'onde lumineuse présente diffraction et interférences, ce que la théorie corpusculaire n'explique pas. Au XX^e siècle, l'effet photoélectrique met en évidence le caractère corpusculaire de la lumière (photons). Einstein et la mécanique quantique réconcilient les deux approches : la lumière a une dualité onde-corpuscule. Elle se comporte tantôt comme une onde (diffraction), tantôt comme une particule (photoélectricité), imposant une nouvelle vision de la matière et de l'énergie.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san.asso.fr - E-mail : contact-san@san-fr.com