

La longue histoire inachevée des représentations sur la lumière

Christian Larcher, Paris

La lumière et la variété des phénomènes lumineux qu'offre la nature intriguent depuis toujours les hommes par leur beauté et leurs apparitions fortuites. Bien que visibles à l'œil nu, leur interprétation reste délicate. Dans cet article nous relatons quelques interprétations qui furent proposées au cours du temps. Mais à la question « qu'est-ce que la lumière ? », la science contemporaine apporte des réponses qui pourraient encore évoluer.

L'histoire de la lumière est fascinante ; elle traverse les siècles sans jamais vraiment s'épuiser et garde, même de nos jours, sa part de mystère.

Rappelons tout d'abord les phénomènes qui ont été successivement découverts et pris en compte :

- tout d'abord la propagation rectiligne, la réflexion, la réfraction et la genèse des couleurs ;

- puis au XVII^e siècle trois autres phénomènes lumineux : la **diffraction** (Francesco Grimaldi 1665), les couleurs à la surface des **lames minces** (anneaux de Newton) et la **biréfringence** du spath d'Islande, c'est-à-dire le dédoublement des images des objets vus par transparence (Erasmus Bartholin médecin danois, 1669).

Notons aussi que la notion de lumière est initialement intriquée avec celle de la vision, et que ce n'est qu'à partir du XVII^e siècle que l'étude de la lumière devient scientifique, reposant sur des expériences, bien qu'il y ait eu ponctuellement des précurseurs.

Nous indiquerons ici quelques repères de l'évolution des questions et des représentations que les hommes ont développées au cours des âges.

Comment voit-on ?

(Antiquité classique)

Pour les anciens, l'Univers est constitué par 4 éléments de base : feu, air, eau, terre. La lumière entretient un certain rapport avec le feu, sans être du feu, mais une forme idéale du feu. Car c'est principalement le feu et la flamme qui engendrent la lumière. Mais d'où provient ce « feu » ? Des objets eux-mêmes (théorie du « feu externe ») ? De l'œil qui regarde (théorie du « feu visuel ») ? Des deux en même temps ?

Dans la théorie du « feu externe » (Démocrite, Épicure, Leucippe) les objets manifestent leur présence en envoyant dans l'espace des « *eidola* », espèces d'enveloppes très fines, qui véhiculent une image réduite semblable à l'objet observé (vraisemblable). Dans le « *De natura rerum* », Lucrèce parle de « *simulacres détachés de la surface des objets* »... « *La superficie de tous les corps étant garnie d'une multitude de corpuscules imperceptibles qui peuvent se détacher sans perdre leur ordre et leur forme primitive* ». La taille de cette émanation issue de l'objet diminue régulièrement jusqu'à l'œil.

L'ensemble est contenu dans un cône dont l'œil est le sommet et l'objet la base. Ces émanations pénètrent dans l'œil, laissent une trace sur la rétine et viennent stimuler nos sensations.

Dans la Théorie du « feu visuel », (Pythagore, Euclide, Hipparque), il existe une entité appelée « *quid* » qui sort de l'œil et qui vient tâter les objets, un intermédiaire qui n'est pas de la lumière (le concept n'existe pas encore). Quelque chose d'analogue aux ondes des radars qui viennent palper les objets pour en révéler la forme. Cette conception perdurera très longtemps. Elle est très fréquente dans les représentations que se construisent les enfants¹.

Dans une théorie mixte, développée par Platon, la vision provient d'une interaction entre ce qui provient de l'objet et de ce qui provient de l'œil. Un choc entre les deux. Pour Platon dans le *Timée* : une « *sorte de flamme qui s'échappe des corps et dont les parties, en s'unissant symétriquement avec la vue (qui est elle-même une flamme), produisent la sensation* ». Ce qui est logique puisque que « *le semblable rencontre le semblable* ».

Qu'est-ce que la couleur ?

(Aristote 385-332 av JC)

Pour Aristote, rien ne provient de l'œil ni de l'objet. Si l'œil, disait-il, pouvait émettre des rayons lumineux nous pourrions voir la nuit... argument difficile à réfuter !

Aristote considère que la lumière blanche issue du Soleil est **pure et homogène**, que les couleurs par contre résultent d'une atténuation de cette lumière. Cette idée s'appuie sur l'observation que la lumière blanche du Soleil devient rougeâtre quand de la brume ou de la fumée sombre s'interpose. De même la lumière du Soleil en pénétrant dans l'eau se trouve tellement affaiblie qu'elle prend une teinte bleu-vert. Il est tentant d'en déduire que les couleurs résultent d'une atténuation de la lumière blanche.

En fait Aristote subordonne la couleur à la lumière, il considère le blanc et le noir comme des couleurs sources de toutes les autres. Chaque couleur résulte d'un mélange

¹ C. de Hosson et W. Kaminski, Les yeux des enfants sont-ils des porte-lumière ?, BUP 840, 2002, p. 143

en proportion simple de blanc et de noir. Comme pour la musique les couleurs les plus belles résultent de certaines proportions harmonieuses. Sous cet aspect les couleurs sont classées en fonction de leur clarté du blanc au noir en passant successivement par le jaune, le rouge et le bleu. Cette conception durera pratiquement jusqu'au XVII^e siècle.

La lumière est-elle indépendante de l'observateur ?

(Alhazen 965-1039)

Ibn al-Haytham [appelé Alhazen en Occident] est considéré par certains comme le pionnier de la physique moderne, celle qui associe une expérimentation rigoureuse avec une traduction des phénomènes en lois mathématiques. Il est connu comme l'auteur d'un imposant « *traité d'optique* » en sept volumes dans lequel il étudie la **lumière en elle-même**, indépendamment des corps lumineux et de l'observateur : « *L'œil ne peut sentir l'objet vu, que par l'intermédiaire de la lumière que celui-ci envoie* ». Cet intermédiaire est constitué par les rayons lumineux qui acquièrent une véritable réalité physique alors que l'œil devient un simple appareil d'optique, un récepteur.

La réflexion de la lumière résulte de rebonds sur les objets, comme avec des balles, ce qui esquisse une première conception corpusculaire des phénomènes lumineux. Dans le cas de la réfraction, il décompose le mouvement du rayon lumineux qui traverse le dioptré séparant les deux milieux transparents, en deux composantes : l'une parallèle au dioptré, qui reste constante, et l'autre perpendiculaire, **qui est modifiée** (ralentie ou accélérée selon la nature du second milieu). La réfraction est causée par une accélération ou un ralentissement de la lumière qui change de milieu. Il suppose qu'elle va plus lentement dans les milieux transparents denses, comme l'eau, que dans l'air.

Comment se représenter les différences de couleur ?

Descartes (1596-1650)

Descartes développe une philosophie mécaniste ; pour lui le monde est plein de tourbillons, la couleur pro-

vient de globules, de petites boules contiguës les unes aux autres qui se déplacent d'une manière rectiligne mais peuvent également tourner sur elles-mêmes : « *ce sont les différents tournoyemens qui font les différentes couleurs* » « *...celles qui tendent à tourner beaucoup plus fort, causent la couleur rouge, et celles qui n'y tendent qu'un peu plus fort, causent la jaune.* » « *...et le bleu où elles tournoient beaucoup moins vite* »²

La lumière blanche est-elle homogène ? Newton (1642 -1727)

Son apport en optique comme en mécanique est considérable. Michel Blay indique que l'étude des carnets de notes de Newton montre que l'expérience du prisme n'est pas celle que l'on croit. En effet la conception aristotélicienne suffit à expliquer la décomposition de la lumière par le prisme (connue depuis longtemps) : si on envoie un pinceau lumineux sur un prisme, les rayons qui passent à proximité de l'arête effectuent, dans le verre, un parcours plus court que ceux qui sont plus éloignés. Plus le chemin de la lumière est long dans le verre, plus celle-ci est atténuée. Il est donc logique que l'on observe les rayons rouges dans la partie supérieure du prisme et le bleu-violet dans la partie inférieure.

C'est l'étude minutieuse de la dispersion de la lumière dans le prisme qui permet à Newton de décrire, en 1672, ce qu'il appellera son « *experi-mentum cruxis* » (son expérience cruciale). Elle prouve que la lumière blanche **n'est pas « pure et homogène »** comme on le pensait, mais que, au contraire, c'est un mélange de couleurs possédant chacune leur degré de réfrangibilité (indice de réfraction).

Les couleurs sont « *des propriétés originelles et innées différentes selon les rayons* ».

L'expérience cruciale de Newton consiste à recueillir sur un écran le spectre de la lumière obtenue à l'aide d'un prisme. Puis à l'aide d'un petit trou percé dans cet écran d'étudier séparément chaque couleur à l'aide d'un second prisme. Newton observe que :

1°) Chaque couleur subsiste sans être décomposée en différentes couleurs, ce n'est donc pas le prisme qui provoque l'apparition des couleurs ; celles-ci sont présentes initialement dans la lumière solaire.

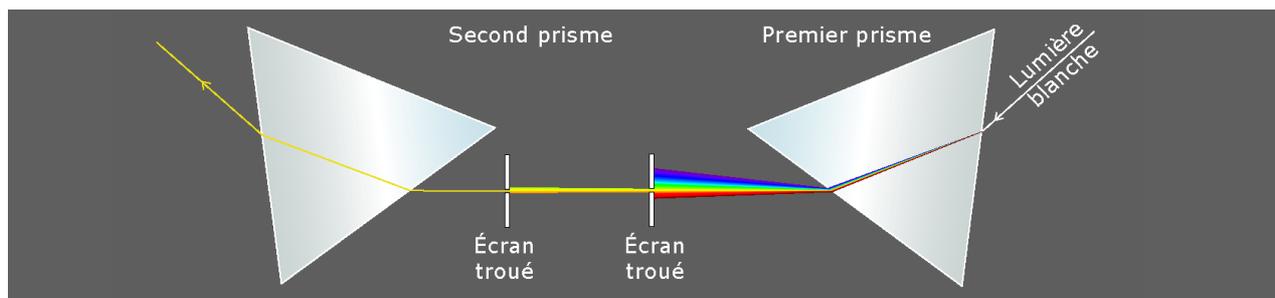
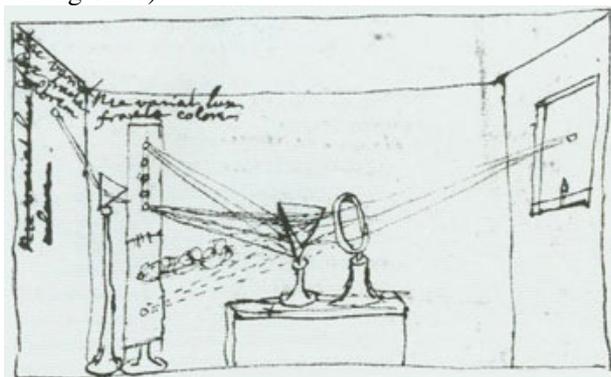


Schéma expérience cruciale.

¹ La Dioptrique et Les Météores (1637).

2°) Que chaque couleur est déviée de la même manière par le premier et le deuxième prisme (même réfrangibilité).



L'expérience cruciale, dessin de Newton.

Newton, comme Boyle avant lui, avait remarqué qu'une très fine feuille d'or a des reflets jaunes par réflexion et une teinte bleu-vert par transmission. Pour Boyle la différence provenait d'une atténuation différente de la lumière blanche tandis que pour Newton les rayons réfléchis ne sont pas les mêmes que les rayons transmis ce qui s'explique par le fait que la lumière blanche n'est pas une couleur pure mais la somme de toutes les autres.

La lumière a-t-elle une vitesse ? Römer (1644-1710)

On pensait jusqu'alors que la lumière était instantanée, même si Galilée 1610 et Fermat 1657 présentaient une vitesse finie, sans réussir à le montrer.

En 1676 l'astronome danois Olas Römer, lors de son séjour à l'Observatoire de Paris, observe que les éclipses des satellites de Jupiter sont régulièrement en avance ou en retard par rapport aux prédictions des éphémérides. Il attribue ces variations au temps que met la lumière pour aller de Jupiter à la Terre. Il en déduit que pour parcourir le diamètre de l'orbite terrestre la lumière met 22 minutes et que par conséquent celle-ci n'est pas infinie comme beaucoup le croyait. Il ne donne pas sa valeur car la distance entre la Terre et le Soleil, l'unité astronomique, était mal connue à cette époque. Ce calcul, qu'il ne fait pas, aurait donné environ 215 000 km/s.

La lumière est-elle constituée de particules ? (Newton/Hooke, XVIII^e s)

Dès cette époque, on voit se dessiner deux conceptions sur la nature de la lumière. L'une, celle de Newton, repose sur l'existence de particules matérielles dont les vitesses ou les masses diffèrent.

Cette théorie s'accorde bien avec la théorie de la gravitation élaborée par Newton dans les *Principia*. Elle est censée expliquer la théorie de la réfraction. Par exemple lorsque la lumière passe de l'air dans le verre, le rayon émergent se rapproche de la normale tracée au point d'incidence. Newton en déduit que les particules de lumière sont attirées par les particules constitutives du verre par une force perpendiculaire au dioptre qui modifie la direction du pinceau de lumière. Par conséquent, pour lui, **la vitesse de la lumière dans le verre doit nécessairement être plus grande que dans l'air.**

Cette conception corpusculaire de la lumière est contestée par Robert Hooke.

Newton publiera son traité d'optique en 1704, après la mort de Robert Hooke en 1703.

Newton affirme : je n'avance pas d'hypothèses (« **Hypothèses non fingo** ») ; il écrit :

« *Tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes doit être appelé hypothèse, et les hypothèses, qu'elles soient métaphysiques, physiques, se rapportant aux qualités occultes ou mécaniques, n'ont pas de place en philosophie expérimentale. En cette philosophie, les propositions sont déduites des phénomènes et rendues générales par induction* »²

Par cette remarque Newton vise Descartes. Pourtant, sans le dire explicitement, il fait clairement l'hypothèse d'une théorie corpusculaire de la lumière, qui durera jusqu'au début du XIX^e siècle puis reviendra au début du XX^e avec Planck et Einstein.

La lumière est-elle plutôt la propagation d'une déformation ? Huygens (1629-1695)

Dans son traité de la lumière (1690), Huygens défend l'aspect ondulatoire de la lumière.

Pour lui il n'y a pas de déplacement de matière mais la propagation d'une déformation. Sa démarche est typiquement scientifique.

Dès le premier chapitre de son ouvrage il indique que « *Les démonstrations qui concernent l'optique, ainsi qu'il arrive dans toute les sciences où la géométrie est appliquée à la matière, sont fondées sur des vérités tirées de l'expérience ; telles que les rayons de lumière s'étendent en droite ligne ; que les angles de réflexion et d'incidence sont égaux et*

² - Livre III des *Principia*, Scholie général, Newton Isaac : *Principia mathematica* ; Christian Bourgeois, 1985, page 117.

que dans les réfractions le rayon est rompu suivant la règle des sinus »³.

Huygens rejette la théorie de l'émission de corpuscules, peu compatible avec l'extrême rapidité de la lumière qu'il évalue à : « plus de six cent mille fois celle du son (...). Or le mouvement successif de la lumière étant confirmé de cette manière, il s'ensuit, comme j'ai déjà dit, qu'il s'étend par des ondes sphériques, ainsi que le mouvement du son⁴. Plus loin⁵, il écrit : « J'ai donc montré de quelle façon l'on peut concevoir que la lumière s'étend successivement par des ondes sphériques, et comment il est possible que cette extension se fasse avec une aussi grande vitesse, que les expériences, et les observations célestes la demandent ».

« La propagation successive des ondes (...) ne consiste point dans le transport de ces parties, mais seulement dans un petit ébranlement, qu'elles ne peuvent s'empêcher de communiquer à celles qui les environnent »... « Chaque petit endroit d'un corps lumineux, comme le Soleil, une chandelle, ou un charbon ardent, engendre ses ondes, dont cet endroit est le centre ».

Au cours de la deuxième partie du XVIII^e siècle, l'influence de Newton resta tellement forte que la question n'évoluera pas véritablement.

Il faudra attendre le XIX^e pour que la question de la nature de la lumière refasse surface avec Fresnel (1788 – 1827), Fizeau (1829 – 1896), Foucault (1819 – 1868). Les travaux et la vie de ces grands physiciens font l'objet d'autres articles de ce numéro et en particulier la fameuse « expérience cruciale », imaginée par Arago et réalisée par Fizeau, qui devait consacrer la prédominance de l'aspect ondulatoire de la lumière à partir de la comparaison de sa vitesse dans l'air et dans l'eau. En attendant une révolution d'une tout autre ampleur au début du XX^e siècle.

Les couleurs de l'arc-en-ciel sont-elles équivalentes aux tons en musique ?

Pour terminer ce panorama, voici une question qui incitera à la réflexion personnelle sur les analogies.

Le phénomène d'arc-en-ciel, observé à toutes les époques, est décrit par Xénophane de Colophon au VI^e siècle avant JC puis par Aristote comme contenant 3 couleurs (ou quatre couleurs avec

Empédocle ou Démocrite). La physique moderne y voit une infinité continue de teintes dispersées à partir de la lumière blanche qui les contient.

Pourquoi apprend-on à l'école : « Les-sept-couleurs-de-l'arc-en-ciel ? ».

Jean-Marc Lévy-Leblond consacre un chapitre entier à cette question dans son livre : *La vitesse de l'ombre*⁶. Il explique que, si Newton décrit correctement les expériences réalisées, il ne peut s'empêcher de privilégier le nombre sept quand il s'agit de donner une interprétation théorique pour mieux s'accorder avec l'analogie sonore et la gamme musicale.

Avec cette même analogie, dans son livre « Opticks », Newton va jusqu'à découper le spectre lumineux en sept espaces bien délimités « dans la proportion des longueurs du monocorde qui donnent les sept tons du mode mineur ». La figure qu'il trace apparaît dans le livre premier, seconde partie, troisième proposition : « Déterminer la réfringibilité des différents rayons homogènes correspondante aux différentes couleurs ».

Cette conception est contestée à la même époque par Robert Hooke (1635-1703) pour qui les couleurs ne préexistent pas dans la lumière du Soleil ; il écrit : «... pas plus que les sons que l'on entend s'échapper des tuyaux d'orgue ne doivent être en premier lieu dans l'air de la caisse de la soufflerie ou bien dans la corde où par la suite ils seront produits en diversifiant les arrêts et les chocs. » (*Lettre à Oldenburg du 15 février 1672*).

Notons que le nombre de couleurs de l'arc-en-ciel dépend du pays, et de la langue qui les distingue. Et que finalement trois suffisent à notre œil pour reconstituer la lumière blanche...

Bibliographie :

- Beaubois Francis : *Lumière et atomes* ; Vuibert 2008
- Blay Michel : *Lumières sur les couleurs* ; Ellipses 2001
- Koyré Alexandre : *Études newtoniennes* ; Gallimard, 1968
- Huygens Christiaan : *Traité de la lumière* ; Présenté par Michel Blay ; Dunod, 2015
- Lequeux James : *Hippolyte Fizeau* ; EDP sciences, 2014
- Lévy-Leblond : *La vitesse de l'ombre* ; Seuil, 2006
- Maitte Bernard : *Une histoire de la lumière* ; Seuil, 2015
- Newton Isaac : *Optique* ; Présenté par Michel Blay ; Dunod, 2015
- Newton Isaac : *Principia mathematica* ; Christian Bourgeois, 1985
- Rosmorduc & Dufour : *Optique ; l'œuvre de Fresnel* ; Vuibert, 2004
- Suagher Françoise : *Jeux de lumière* ; Cêtre, 1995
- Tobin : *Léon Foucault* ; EDP Sciences, 2002
- Valeur Bernard : *Lumière et luminescence* ; Belin, 2005
- Valeur Bernard : *Sons et lumière* ; Belin, 2008

³ - Christiaan Huygens Traité de la lumière ; Présenté par Michel Blay ; Dunod, 2015, page 49.

⁴ - Ibid, page 43

⁵ - Ibid, page 54

⁶ - Lévy-Leblond : *La vitesse de l'ombre* ; Seuil, 2006, p. 45. ■