

## **Un épisode de l'histoire de la colorimétrie : de la théorie de Brewster (1831) à sa réfutation par Helmholtz (1852)**

par M. SAILLARD

Maître-assistant à l'IUT de Saint-Nazaire

---

### **1. LA THÉORIE DES COULEURS AVANT NEWTON LA THÉORIE DE NEWTON**

Avant Newton, les idées les plus communément admises sont identiques à celles développées par Aristote, ou du moins assez proches d'elles ; à savoir que les couleurs résultent d'une modification de la lumière initiale de couleur blanche. Ainsi, nombreux sont ceux qui pensent que les différentes couleurs résultent d'un mélange en proportions différentes de blanc et de noir. Selon Helmholtz «la théorie des couleurs ne se composait guère que d'hypothèses mal définies» (1).

La théorie proposée par Newton en 1672 puis précisée dans son «Opticks» en 1704 est en rupture avec les conceptions antérieures. Pour lui la lumière perçue par l'œil comme blanche est hétérogène ; elle est constituée de lumières simples homogènes qui provoquent des sensations colorées différentes. On sait que la preuve expérimentale du bien fondé de sa théorie repose sur l'analyse de la lumière blanche par le prisme. Il observe sept couleurs différentes dans le spectre obtenu. Une analyse de faisceaux monocolorés par un second prisme qui ne provoque aucune modification de la sensation lui apporte la preuve de leur homogénéité. Enfin il procède à la synthèse de la lumière blanche en recombinaison des différents faisceaux homogènes. Pour la première fois nous avons une possibilité de mesurer les couleurs ; chaque couleur peut être caractérisée par la valeur de l'indice du prisme.

La qualité et la variété des expériences proposées font admettre rapidement cette théorie. Tout au long du 18<sup>ème</sup> siècle les idées de Newton sur la lumière sont largement diffusées mais il n'y a pas d'approfondissement de son travail sur les couleurs, en particulier du chapitre intitulé

«Dans un mélange de couleurs primitives, la quantité et la qualité de chaque couleur étant données, connaître la couleur composée». (2)

## 2. L'HYPOTHÈSE DE LA TRICHROMIE DE YOUNG LE DISQUE DE YOUNG

En 1802, dans son célèbre article sur la théorie ondulatoire de la lumière, Young énonce clairement l'hypothèse de la trichromie : «Comme il est tout à fait impossible de concevoir que chaque point sensible de la rétine contient un nombre infini de particules, chacune étant capable de vibrer à l'unisson avec chaque ondulation possible, il devient nécessaire de supposer leur nombre limité, par exemple aux trois principales couleurs, rouge, jaune et bleu, dont les grandeurs des ondulations sont environ entre elles comme les nombres 8, 7 et 6''. (3)

De 1802 à 1807 Young reviendra sur le problème des couleurs, changeant les trois couleurs fondamentales en bleu, vert et rouge, en s'appuyant, dit-il, sur les recherches de Wollaston qui en 1802 a observé trois raies sombres bien définies dans le spectre prismatique de la lumière solaire et les interprète comme les limites naturelles des couleurs (qui seraient alors au nombre de 4). (4)

En 1807 Young relate les expériences qu'il a faites sur les couleurs. Lorsqu'il met en rotation un disque qu'il a divisé en trois secteurs colorés en bleu, rouge et vert il observe une couleur blanc verdâtre. Lors d'une autre expérience il fait un mélange de trois substances de couleur bleue, rouge et verte. Selon les conditions d'éclairage la couleur du mélange lui paraît blanche ou grise (5). Ces deux expériences montrent que Young ne fait pas de différence entre ce que nous appelons synthèse additive et synthèse soustractive (\*) ; ce problème sera résolu en 1853 par Helmholtz.

L'hypothèse de la trichromie va jouer un rôle important dans la théorie de Brewster. En définitive on peut se demander si cette idée, à une époque où l'on connaît quelques couleurs complémentaires, ne résulte pas de l'observation de la technique utilisée par les artistes qui, par un mélange de trois pigments différents judicieusement choisis, produisent des couleurs si variées.

(\*) Quand plusieurs lumières colorées agissent simultanément sur l'œil, la couleur résultante procède du «mélange additif» ou «synthèse additive» ; c'est le cas, à cause de la persistance rétinienne, du disque tournant.

Lorsqu'on mélange des pigments de couleurs différentes, l'effet obtenu est analogue à celui produit par de la lumière blanche transmise à travers des filtres colorés superposés : on dit qu'un tel mélange est «soustractif», ou procède de la «synthèse soustractive», par opposition aux «mélanges additifs» définis plus haut.

### 3. LA THÉORIE DES COULEURS DE BREWSTER

Cette théorie déjà en puissance dans le premier article qu'il publie sur les spectres en 1822 est énoncée avec précision en quatre points en 1831 puis en 1834. (6)

- 1) La lumière blanche est composée de trois couleurs simples, le rouge, le jaune et le bleu, par le mélange desquelles toutes les autres couleurs sont formées.
- 2) Le spectre solaire obtenu soit par des prismes de substances transparentes, soit par des stries sur des surfaces métalliques et transparentes, consiste en trois spectres d'égale longueur, qui commencent et se terminent aux mêmes points, c'est-à-dire un spectre rouge, un spectre jaune, un spectre bleu.
- 3) Toutes les couleurs du spectre solaire sont des couleurs composées, chacune comprenant du rouge, du jaune et du bleu en différentes proportions.
- 4) Une certaine quantité de lumière blanche, incapable d'être décomposée par le prisme, ses composantes ayant la même refrangibilité, existe en chaque point du spectre, et peut en un point quelconque du spectre être isolée.

Les preuves expérimentales données pour étayer sa théorie reposent sur l'examen du spectre prismatique à travers des milieux différemment colorés. Grâce à un choix convenable de filtres il observe du bleu, du jaune et du rouge d'un bout à l'autre du spectre visible. Puis en chaque point du spectre il voit les couleurs se modifier et prendre l'aspect de la lumière blanche en combinant les filtres adéquats. Le lecteur trouvera en note (7) la traduction d'une partie de l'article qui relate les expériences faites par Brewster.

### 4. BREWSTER ET LES THÉORIES PHYSIQUES DE LA LUMIÈRE

Bien qu'il admire les travaux de Fresnel qui ont permis d'expliquer bon nombre de phénomènes dont n'avait pu rendre compte la théorie newtonienne de l'émission, Brewster appartient au camp des adversaires de la théorie ondulatoire en tant que théorie physique de la lumière (8). Mais alors qu'il se déclare partisan de la théorie de l'émission, il propose une théorie des couleurs qui réfute une partie essentielle de l'optique newtonienne.

En particulier Brewster n'accorde pas d'attention aux réserves de Newton qui écrivait «Si je parle quelquefois de la lumière des rayons comme colorés ou imbus des couleurs, je prie le lecteur de se ressouvenir que je ne

Représentation de la planche qui accompagne l'article de Brewster (1834) et traduction du commentaire qui accompagne la planche.  
(la planche originale est en couleur)

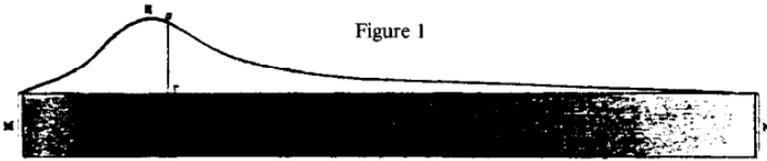


Figure 1

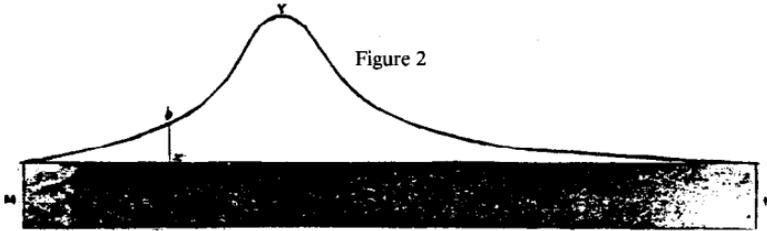


Figure 2

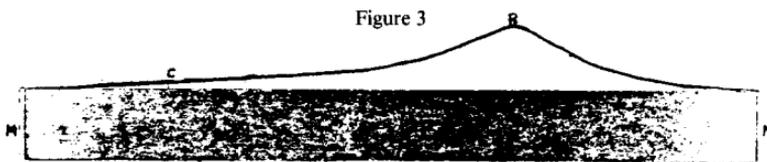


Figure 3

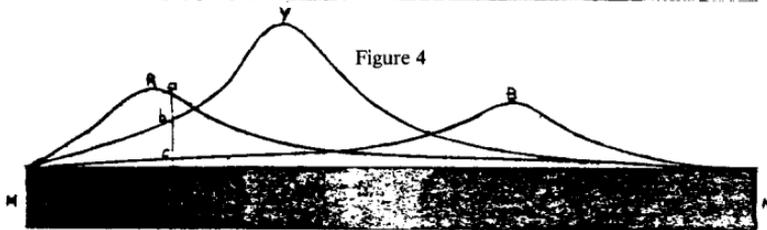


Figure 4

Figure 1 : Représentation du spectre rouge qui entre dans la composition du spectre solaire, et qui s'étend sur tout le spectre. L'intensité maximum est notée en R.

Figure 2 : Représentation du spectre jaune qui a la même longueur. Son intensité maximum est notée en Y.

Figure 3 : Représentation du spectre bleu qui a la même longueur. Son intensité maximum est notée en B.

Figure 4 : Représentation du spectre solaire formé de l'union, ou de la superposition des trois figures précédentes.

On doit considérer cette figure simplement comme une illustration et non pas comme une image précise du spectre solaire. La proportion des espaces colorés est cependant très proche de celle de Fraunhofer a déterminée à l'aide du télescope. Les lignes fixes découvertes par cet éminent philosophe ont été omises.

prétends pas parler philosophiquement et proprement, mais grossièrement et conformément aux conceptions que le peuple serait sujet à se former en voyant les expériences que je propose dans cet ouvrage. Car à proprement parler, les rayons ne sont point colorés, n'y ayant autre chose en eux qu'une certaine puissance ou disposition à exciter une sensation de telle ou telle couleur» (9) ; et, en définitive, il ne semble pas exagéré de dire que Brewster pense avoir montré l'existence objective des couleurs et donné les fondements physiques à l'hypothèse de la trichromie de Young.

## 5. LES PREMIÈRES OBJECTIONS À LA THÉORIE DE BREWSTER

Déjà en 1829, J.F.W. Herschel, au courant des travaux de Brewster, expose en quelques lignes et avec prudence la théorie de celui-ci dans son «Traité de la lumière». Cependant il ne la trouve pas sans objection ; l'objection principale étant la curieuse affectation de vision rencontrée chez certains individus qui distinguent seulement deux couleurs. (10)

Dans son article de 1834 Brewster répond à cette objection et en fait un argument en faveur de sa théorie : «Les yeux de ces personnes sont aveugles à la lumière rouge et quand on enlève tous les rayons rouges au spectre constitué ainsi que nous l'avons décrit, il restera le bleu et le jaune, les seules couleurs qui sont reconnues par ceux qui ont ce défaut de vision». (11)

Mais les attaques ne commencent qu'en 1847. Dans son ouvrage «History of the inductive science» Whewell, après avoir exposé les théories de Newton et Brewster sur les couleurs, écrit : «Le problème entier des couleurs des objets, aussi bien opaques que transparents, est encore dans l'obscurité» (12). Il relate que Airy, lors de la parution du travail de Brewster, avait essayé sans succès de reproduire ses expériences.

Airy, mis en cause, publie en 1847 un article sur la question ; la même année Melloni publie également un article où il conteste la théorie de Brewster. (13)

Ces deux éminents scientifiques, partisans de la théorie ondulatoire, n'ont pas réussi à voir ce qu'avait vu Brewster et pensent que celui-ci a commis quelque erreur expérimentale.

Airy suggère deux causes d'erreur possibles : ou bien il existait de la lumière parasite dans la pièce où était conduite l'expérience ; ou bien Brewster, en comparant en même temps le spectre de la lumière incidente avec le spectre filtré par les milieux absorbants, avait interprété de façon subjective les résultats.

Quant à Melloni il suppose que Brewster n'avait pas travaillé avec ce que nous appellerions actuellement une résolution suffisante, si bien que dans le plan d'observation des spectres il devait y avoir enchevêtrement des couleurs.

A ces critiques, Brewster répond point par point (14), et sur un ton très polémique surtout à l'égard d'Airy qui connaissait son dispositif expérimental. Non, il n'y avait pas de lumière parasite dans la pièce où il manipulait ; oui, il comparait à chaque instant les couleurs du spectre initial avec le spectre transmis par les filtres : les filtres étaient disposés de façon à n'occuper qu'une partie du champ, si bien qu'il avait sous les yeux à chaque instant les spectres superposés.

La critique faite par Melloni n'est pas non plus fondée ; en effet en 1834 Brewster publie un article où il décrit 2 000 raies sombres dans le spectre solaire (15), ce qui montre clairement la qualité de son dispositif, qui lui donne des résultats supérieurs à ceux obtenus en 1814 par Fraunhofer.

En 1848 le problème demeure entier. Certes Brewster répond de façon satisfaisante aux critiques ; mais enfin, comment accepter une théorie reposant sur des expériences que l'on ne réussit pas à reproduire ? Brewster, conscient de cela, écrit dans sa réponse à Melloni : «Je suis sûr que mon analyse du spectre sera confirmée par de futurs expérimentateurs qui répéteront sans idées préconçues mes expériences avec tout le soin avec lesquelles elles furent faites». (16)

## 5. LA RÉFUTATION DE LA THÉORIE DE BREWSTER PAR HELMHOLTZ (17)

Helmholtz, médecin de formation, est depuis 1849 professeur de physiologie à Königsberg ; en 1852, grâce aux articles de Airy, de Melloni et aux réponses de Brewster, il a à sa disposition toutes les données du problème.

La question n'est pas de savoir si les couleurs fondamentales sont le bleu, le vert et le rouge plutôt que le bleu, le jaune et le rouge, ainsi que le souligne Verdet : «il ne résulterait de là qu'une modification peu importante de la théorie de Brewster..., il s'agit de savoir si la teinte d'un rayon du spectre peut être modifiée par absorption et si, par conséquent, la liaison généralement admise entre la couleur et la réfrangibilité doit être rejetée.» (18)

La démarche de Helmholtz peut se résumer en trois temps :

- 1) Recommencer les expériences de Brewster dans les mêmes conditions.
- 2) Analyser toutes les causes d'erreurs possibles, qu'elles soient inhérentes au dispositif optique ou qu'elles soient physiologiques.

- 3) Recommencer les expériences de Brewster en évitant ou minimisant les causes d'erreurs et voir si les conclusions de Brewster demeurent exactes.

Une répétition des principales expériences de Brewster lui montre l'exactitude de tous les faits qu'il a affirmé avoir vus. En fait ajoute Helmholtz : «On ne pouvait rien attendre d'autre d'un si habile expérimentateur» (19). Ainsi Helmholtz a vu le «blanc de Brewster» en observant la partie jaune du spectre à travers un verre à l'oxyde de cobalt et il a vu également les différentes parties du spectre changer de couleur en les observant à travers différents filtres.

Helmholtz examine alors les différentes causes qui pourraient faire qu'en un point de la rétine on reçoive, en plus d'une lumière de couleur bien définie, une certaine quantité de lumière parasite. Si lumière parasite il y a elle peut provenir :

- 1) de la diffusion de la lumière dans le verre des prisme et lentille.
- 2) de réflexions multiples dans le prisme.
- 3) de réflexions multiples sur les faces des filtres. Si les faces de ces lames ne sont pas strictement parallèles, elles produisent des images multiples qui ne sont pas strictement superposées à celles du spectre principal et par conséquent diminuent la résolution réelle du dispositif.
- 4) de phénomènes de diffusion dans les milieux oculaires, ainsi que des phénomènes de réflexions multiples soit à l'intérieur de l'œil soit entre l'œil et le filtre placé entre le prisme et l'œil.

En d'autres termes, pour les raisons énoncées ci-dessus, en un point de la rétine qui reçoit une lumière monochromatique du spectre principal s'ajoutent, en quantité beaucoup plus faible, des lumières diversement colorées. Si maintenant on observe par exemple le jaune du spectre à travers un filtre qui absorbe beaucoup plus cette couleur que les autres, cette lumière jaune fortement atténuée pourrait avoir une intensité comparable à celles des lumières parasites diversement colorées : on pourrait alors percevoir une couleur différente du jaune. Un filtre, ou la combinaison de différents filtres, pourrait même permettre de percevoir une lumière de couleur blanche.

Pour minimiser les lumières parasites dues aux réflexions multiples et aux phénomènes de diffusion, Helmholtz noircit les faces du prisme autres que celles du dièdre utilisé ; puis il étudie les couleurs avec un dispositif que l'on peut considérer comme un monochromateur double : le spectre solaire est produit sur un écran au moyen d'un prisme et d'une lentille.

L'écran qui reçoit le spectre est percé d'une fente qui peut balayer le spectre. Le faisceau qui passe à travers cette fente est reçu sur un second prisme lui-même suivi d'une lentille. Ainsi on réduit relativement les intensités des lumières indésirables dues aux diffusions inévitables (seules demeurant inchangées les diffusions à l'intérieur de l'œil).

Les expériences de Brewster recommencées dans ces conditions expérimentales laissent les couleurs inchangées lorsqu'on les observe à travers des filtres. Helmholtz explique également certaines observations faites par Brewster par des phénomènes de contraste.

Bien qu'en 1855 Brewster ne soit pas encore convaincu par les expériences d'Helmholtz (20), la cause est entendue : les couleurs du spectre sont bien telles que Newton les avait décrites. Chacune de ces couleurs est caractérisée par la valeur de l'indice du prisme et, si l'on est partisan de la théorie ondulatoire, largement admise à l'époque, par sa «longueur d'ondulation».

Les quelques années qui vont suivre la parution de l'article de Helmholtz que nous avons analysé vont être très fécondes : en 1856, grâce à de nouveaux travaux d'Helmholtz, de Grassmann, puis de Maxwell on peut considérer que les bases de la colorimétrie moderne sont établies. (21)

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] H. HELMHOLTZ : «Optique Physiologique» - *Masson 1867* - p. 353-354.  
M. BLAY : «La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur» - *Vrin 1983* : p. 16 - 60.
- [2] I. NEWTON : «Traité d'optique» - *Gautier-Villars 1955* - p. 177.
- [3] T. YOUNG : «On the theory of light and colours» - *Phil. Trans. 1802* ; 2 - p. 20-21.
- [4] W.H. WOLLASTON : «A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflexion» - *Phil. Trans. 1802* - p. 378-380.
- [5] «Oeuvres ophtalmologiques de T. YOUNG - traduites et anotées par M. TSCHERNING» - *Copenhague 1894* - p. 1-233.
- [6] D. BREWSTER : «Description of a monochromatic lamp for microscopical purposes, with remarks on the absorption of the prismatic rays by coloured media» - *Trans. Roy. Soc. Edinb. 1823* - p. 441-442.  
«On a new analysis of solar light» - *Edinb. J. Sc. 1831* ; 5 - p. 197-206, et aussi *Trans. Roy. Soc. Edinb. 1834* ; p. 123-136.

[7] *op. cit.* (article de 1834) p. 133-134.

«Quand nous regardons le spectre au travers d'un verre bleu d'une certaine épaisseur, nous isolons l'espace jaune, qui paraît d'une teinte très riche. Si l'on augmente l'épaisseur du verre, ce jaune composé prend la teinte pâle couleur de paille, de la flamme monochromatique produite par la combustion de l'alcool et de l'eau, ou d'une solution alcoolique de sel. Une épaisseur encore plus grande du verre produit une bande d'un blanc verdâtre, qui devient d'un blanc rougeâtre si l'on change le bleu du verre. Si maintenant on mêle une solution de sulfate de cuivre, qui agit sur les rayons du côté rouge de l'espace jaune, avec de l'encre rouge délayée, qui agit sur les rayons du côté bleu du même espace, on réduira les rayons de cet espace jaune à une lumière presque blanche, avec une légère teinte de vert quand le sulfate de cuivre est en excès, et une légère teinte de rouge quand c'est l'encre rouge. La séparation de la lumière blanche peut très bien être obtenue au moyen de quelques verres bleu azuré ; et dans quelques cas, la pureté de la lumière peut être augmentée par une solution de sulfate de cuivre et de fer, ou même par un verre vert. La lumière mise en évidence peut être rendue jaune par le moyen d'une oublie jaune transparente, qui absorbe quelques un des rayons bleus, et elle peut être rendue verte par une oublie verte transparente, qui absorbe quelques uns de ses rayons rouges. Il résulte de ces expériences que la lumière blanche, composée de rayons rouges, jaunes et bleus, existe dans les parties les plus lumineuses du spectre, et peut être séparée par l'absorption de la portion de lumière jaune, ou d'autre couleur, qui excède ce qui est nécessaire pour former la lumière blanche. Un prisme d'un grand pouvoir dispersif ayant été employé, ce fut une chose singulière et particulièrement intéressante que de voir, pour la première fois, un rayon de lumière blanche formé de rayons rouges, jaunes et bleus, d'égale réfrangibilité, et ne pouvant être analysé par la réfraction prismatique».

[8] D. BREWSTER : «Report on recent progress in optics» - *Rep. Brit. Assoc. 1832* ; 2 - p. 308-322.

«Observations on the absorption of specific rays in reference to the undulatory theory» - *Phil. Mag - 1832* ; 2 - p. 360-362.

[9] *op. cit.* (2) - p. 140.

[10] J.F.W. HERSCHELL : «Traité de la lumière» - *Paris 1829* - p. 304-305.

[11] *op. cit.* (6) (article de 1834) - p. 135.

[12] W. WHEWELL : «History of the inductive science» - *2nd ed. 1847* - p. 394.

- [13] Airy G. BIDDELL : «On Brewster analysis of solar spectrum» - *Phil. Mag.* 1847 ; 3 ; 30 - p. 73-76.  
M. MELLONI : «Rescarches on the radiations of incandescent bodies, and on the elementary colours of the spectrum - *Phil. Mag.* ; 1948 ; 3 ; 32 - p. 262-274 (Voir aussi Bibl. Archi. Gen. Août 1847).
- [14] D. BREWSTER : «Reply to the Astronomer Royal on the new analysis of solar light» - *Phil. Mag.* ; 1847 ; 3 ; 30 - p. 153-158.  
«Observations on the elementary colours of the spectrum, in reply to M. Melloni - *Phil. Mag.* : 1848 ; 3 ; 32 - p. 489 -494.
- [15] D. BREWSTER : «Observations on the lines of solar spectrum produced by the earth's atmosphere, and by the action of mitrous acid gaz» - *Trans. Roy. Soc. Edinb* ; 1834 ; 12 -p. 519-30.
- [16] *op. cit.* 14 (reply to M. Melloni) - p. 494.
- [17] H. HELMHOLTZ : «On sir David Brewster's new analysis of solar light» - *Phil. Mag.* ; 4 ; 4 - p. 402-416.  
(paru d'abord dans *Progg. Ann.* ; 1852 ; 86 - p. 501).
- [18] Mémoire sur l'analyse de la lumière solaire et la théorie de Brewster par M. Helmholtz - Extrait par M. Verdet - *Ann. Chim. Phys.* ; 1853 ; 3 ; 37 - p. 70.
- [19] *op. cit.* (17) - p. 403.
- [20] D. BREWSTER : «On the triple spectrum» - *Rep. Brit. Assoc.* ; 1855 ; 2 - p. 7-9.
- [21] P.D. SHERMAN : «Colour Vision in the nineteenth century» - *Adam Hilger : Bristol* 1981.  
(Nous nous sommes largement servis de cet ouvrage dans notre étude).

#### QUELQUES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES D'OUVRAGES RÉDIGÉS EN FRANÇAIS SUR LA COLORIMÉTRIE MODERNE :

- Articles Vision et Couleur de *l'Encyclopedia Universalis*.
- P. Fleury et J.P. Mathieu - *Lumière* - Eyrolles 1965 - Chapitre 6.
- F. Blottiau - *Colorimétrie* - Ed. Rev. d'Opt. 1951.
- P. Kowaliski - *Vision et mesure de la couleur* - Masson 1978.