

Il n'y a pas de couleur sans lumière . . . mais

il y a couleurs . . .

. . . et couleurs

Yvon Renotte, Dr Sci., enseignant-chercheur honoraire de l'Université de Liège
Past-prof invité, co-fondateur du HOLOLAB, Dépt AGO (Astrophysique, Géophysique et Océanographie)
y.renotte@uliege.be – <https://orbi.uliege.be/profile?uid=p041181> - www.linkedin.com/in/yvon-renotte-54a91a13

Avant-propos

La couleur ?

Un peu d'histoire

Young, le précurseur surdoué

Vision, perception et reproduction des couleurs

Théories scientifique et artistique

- **Approche scientifique : quelques rappels**
 - Les diagrammes de chrominance – les coefficients trichromatiques x, y, z (CIE 1931)
 - Synthèses additive et soustractives des couleurs
 - Les coefficients trichromatiques u, v, Y (CIE 1960) et u', v', Y (CIE 1976)

- **Approche artistique : la contribution essentielle de M.E. Chevreul**

La loi du contraste simultané

Chevreul, le théoricien visionnaire

La loi du contraste simultané – interprétation et retombées

Couleur lumière et couleur matière

- Le mélange additif de faisceaux lumineux colorés sur un écran blanc
- Le mélange soustractif de pigments ou de filtres coloré superposés
- Le mélange optique
- Distinction entre le principe du mélange et le principe du contraste

L'influence de Chevreul sur les artistes

En résumé

Conclusions

Remerciements

Avant-propos

Il y a une dizaine d'années, dans le cadre de « 2015, Année internationale de la Lumière et des techniques utilisant la Lumière » organisée par l'UNESCO, j'écrivais

« **La couleur, une question simple ?** »

. . . aujourd'hui, je crois savoir pourquoi je terminais ce titre par un point d'interrogation !

Des années de recherche et d'enseignement de l'optique et de la photonique, particulièrement sur la perception, l'enregistrement et la reproduction des formes, des volumes (3D, stéréoscopie, holographie, . . .) et des couleurs (radiométrie, photocolorimétrie, . . .) m'avaient entraîné à estimer (croire ?) que j'en avais « fait le tour ».

Et pourtant . . . !

Depuis quelques années j'accompagne mon épouse lors de visites d'expositions organisées par son professeur d'Histoire de l'Art à l'U3A (université du 3^e âge de Liège), peut-être pour palier une trop longue absence d'intérêt accordé aux arts pendant ma « vie professionnelle » ?

Sa manière de considérer la perception et la reproduction des couleurs, (très) différente de celles des opticiens, m'a souvent interpellé. J'ai tenté plusieurs fois de comprendre l'origine de cette dichotomie . . . jusqu'à deux visites récentes consacrées l'une aux *impressionnistes*¹, l'autre à *van Gogh*² où il évoqua un « *théoricien des couleurs* », **Chevreul**, que je ne connaissais pas ! plus exactement, dont je n'avais pas perçu l'intérêt des travaux *principalement destinés au « monde des Arts »*.

Michel-Eugène Chevreul (1786-1889), chimiste français de renommée internationale³, fut très concerné professionnellement par les *teintures*, particulièrement par les associations, les contrastes et l'harmonisation des couleurs. Élu à l'Académie des Sciences, membre de la Royal Society de Londres, il dirigea le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris pendant plus de 10 ans et fut directeur de la *Manufacture Nationale des Gobelins* spécialisée dans le tissage et la teinture de tapisseries et de tentures depuis le 15^e siècle⁴. Il établit une classification des couleurs au 19^e siècle, avant qu'Helmholtz ne propose celle en teintes primaires et secondaires ainsi que les notions de synthèses additive et soustractive.

La couleur ? Il importe de rappeler que *ce n'est pas une grandeur physique*, elle ne peut pas être quantifiée par un nombre suivi d'une unité : *c'est une sensation créée par notre cerveau*⁵.

La difficulté à l'appréhender empêcha longtemps d'en faire la base d'un art et le dessin prévalut jusqu'à ce que *Newton* établît au début du 17^e siècle que la lumière blanche n'est pas homogène mais composée.

Sur le plan artistique, le milieu du 19^e siècle marque un tournant essentiel lorsque *Chevreul* remet en question les rapports admis de l'œil avec l'objet perçu. Il établit une loi générale qui régit la perception des rapports entre couleurs contiguës. Une revalorisation de la couleur s'ensuit, qui a exercé une influence considérable sur plusieurs générations de peintres, *Delacroix*⁶, des Impressionnistes et post-impressionnistes⁷ (*Van Gogh, Gauguin, Cézanne, Seurat, Signac*), les symbolistes, les futuristes et

1. Bernard Sohet, conférencier – historien de l'art, *L'impressionnisme, une nouvelle liberté artistique*, « Paris 1874 : révolution dans l'art », Musée Wallraf – Cologne, 23/03/2024

2. Bernard Sohet, *Le musée Kröller – Müller : Vincent van Gogh, Claude Monet, Georges Seurat, Pablo Picasso, Paul Gauguin, Kandinsky et Piet Mondrian*, Utrecht, 18/05/2024

3. https://fr.wikipedia.org/wiki/Michel-Eug%C3%A8ne_Chevreul

4. https://fr.wikipedia.org/wiki/Manufacture_des_Gobelins

5. Yvon Renotte, *La couleur : perception et reproduction*, leçon donnée à l'U3A - Liège (Université du Troisième Âge) le 3 mai 2016, <https://hdl.handle.net/2268/258726> ; *La couleur, une question simple ?*, exposé donné le 19 juin 2015 à l'Université de Strasbourg (France) dans le cadre « 2015 année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière – UNESCO » : « iCube en Lumière », Campus CNRS de Cronembourg - iCube / CNRS, 89 slides

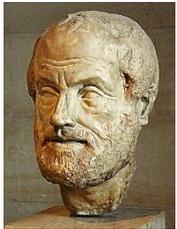
6. https://fr.wikipedia.org/wiki/Eug%C3%A8ne_Delacroix

7. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Impressionnisme> ; <https://fr.wikipedia.org/wiki/Postimpressionnisme>

Delanay ⁸. Le changement de paradigme ouvre sur la conquête des voies propres de la couleur qui conduiront la peinture jusqu'à l'abstraction ⁹.

Un peu d'histoire ¹⁰

Ils ont « inventé » des théories de la couleur . . .



Aristote
(384-322 av. JC)



Isaac Newton
(1642-1727)



G. de Buffon
(1707-1788)



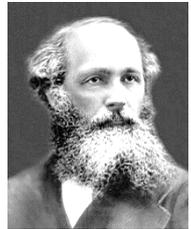
J. von Goethe
(1749-1832)



Thomas Young
(1773-1829)



H. von Helmholtz
(1821-1894)



James C. Maxwell
(1831-1879)

À l'aube du 18^e siècle, la théorie optique la plus répandue dans la communauté scientifique est celle développée par *Isaac Newton* (1642-1727) dans son célèbre *Opticks* ¹¹. Il considère strictement la lumière sous la forme d'un flux de corpuscules matériels émanant des corps lumineux et, surtout, il a montré que **la lumière blanche peut être décomposée en un ensemble de couleurs visibles, celles du spectre, ce qui a révolutionné notre compréhension de la nature de la lumière**. Il apporte ainsi un renversement complet de perspective vis-à-vis de la position hégémonique d'*Aristote* (384-322 av. J.-C.) qui affirme la pureté du blanc et le caractère composite de toutes les couleurs, qui a prévalu pendant deux millénaires. En 1666, Newton fait du *blanc un mélange* ¹² et définit *sept couleurs « pures »* qu'il intègre dans sa théorie corpusculaire : le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge, les « *sept couleurs de l'arc-en-ciel* » ¹³.

Mais il mélangeait également des pigments et supposait comme ses contemporains que le mélange de pigments colorés donnerait les mêmes résultats que le mélange de lumières de mêmes couleurs. Il expliquait « *difficilement* » l'observation selon laquelle le mélange de pigments qui aurait dû donner du blanc une fois mélangés apparaissait gris plutôt que blanc. C'est *Thomas Young* (1773-1829) qui permettra à la lumière de se présenter sous une forme continue de fréquences « tout au long » du spectre, du rouge au violet. Ils ont néanmoins en commun d'avoir établi quelques principes fondamentaux qui ont révélé que la couleur était liée aux radiations lumineuses ¹⁴.

8. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Simultan%C3%A9isme>

9. <https://www.lumni.fr/article/le-cubisme-orphique-1914-1920#:~:text=Le%20cubisme%20orphique%20ou%20la%20sensation%20voire%20le%20lyrisme.>

10. Olivier Morizot, *Traduction commentée de la Conférence Bakerienne sur la Théorie de la Lumière et des Couleurs de Thomas Young* - MORIZOT Olivier, <https://arxiv.org/pdf/2211.06413> ; *Théorie des couleurs - pour l'artiste peintre*, <https://peindrecouteau.com/theorie-des-couleurs/> ; Remco Heesen, *The Young-(Helmholtz)-Maxwell Theory of Color Vision*, https://philsci-archive.pitt.edu/11279/1/The_Young-%28Helmholtz%29-Maxwell_Theory_of_Color_Vision.pdf

11. Isaac Newton, *Optick : a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*, L'ouvrage a donné lieu à quatre éditions de 1704 à 1730, présentant de légères évolutions du texte, et l'ajout progressif de questions ouvertes à la fin de l'ouvrage, printed by S. Smith & B. Walford, printers of the Royal Society ; *A new theory about light and colors*, *Philos. Trans. Roy. Soc.*, V.6, 80 (1671), 3075-3087 ; *Philos. Trans. Roy. Soc., Letters* : V.7, 83 (1672), 4059-4062 ; V.7, 85 (1672), 4014-4018 et 5004-5007 ; V.7, 88 (1672), 5084-5103 ; V.8, 97 (1673), 6108-6112

12. D'après ses carnets de notes (*Certain Philosophical questions : Newton's trinity Notebook*, James E. McGuire and Martin Tammy (éds), Cambridge University Press, 1983), les premières expériences de Newton relatives aux anneaux colorés ont été réalisées en 1666, soit juste après la publication de la *Micrographia*, et visaient à déterminer les épaisseurs de lame correspondant à chaque couleur

13. *On notera que le chiffre sept répond à une « forme de mysticisme cabalistique », référence aux sept planètes connues à l'époque, aux sept jours de la Genèse, de la semaine, . . .*

14. https://fr.wikipedia.org/wiki/Thomas_Young

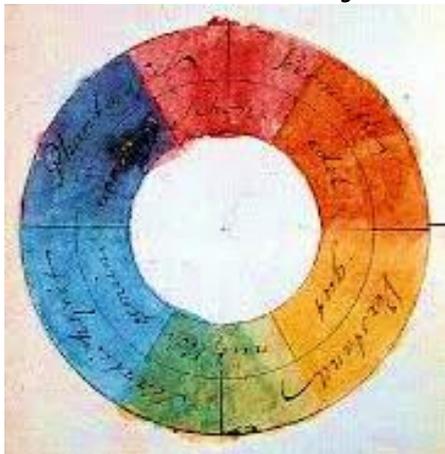
Spectre visible : *fréquences* ν (indépendante du matériau traversé) : 384 à 789 THz (1 **t**éra**h**ertz = 1 billion de hertz = mille milliards de hertz ; 1 Hz = 1 s⁻¹ = 1 « par seconde ») ; *longueurs d'onde* (dans le vide) $\lambda = c/\nu$: 780 à 380 nm (1 **n**ano**m**ètre = 1 milliardième de mètre ; c = 299 792 458 m/s : vitesse de la lumière dans le vide]

Les positions de *Newton* ont néanmoins été vivement combattues par certains de ses contemporains et successeurs¹⁵, dont *Johann Wolfgang von Goethe* (1749-1832).

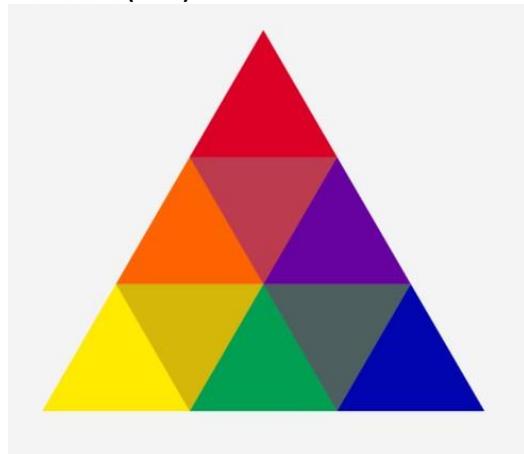
En 1743, *Georges-Louis Leclerc de Buffon* (1707-88) décrit devant l'Académie des sciences des observations concernant ce qu'il appelle les « *couleurs accidentelles* »^{16,17} : il avait remarqué que si l'on regardait longtemps une tache rouge sur un fond blanc on voyait apparaître autour un halo vert, halo devenant un carré si l'œil fixait alors le blanc. À côté des *couleurs naturelles qui dépendent des propriétés de la lumière, il existerait donc des couleurs purement subjectives, dépendant uniquement des conditions d'observation*. Se dessine ainsi une *opposition entre une approche physique de la couleur, telle celle issue des travaux de Newton, et une approche physiologique, sur laquelle Goethe puis Arthur Schopenhauer* (1788-1860)¹⁸ insisteront beaucoup.

Les recherches de *Chevreul*¹⁹ tenteront de concilier les observations de Buffon et la théorie de Newton. Goethe recherche les caractères spirituels de la lumière, refusant toute explication de la nature basée sur les mathématiques¹⁶. Il est d'avis que la couleur est un mélange de lumière et d'ombre. À partir de l'expérience de la peinture, il construit un système qui n'est pas une théorie. Il ne s'agit pas de comprendre ou d'expliquer les couleurs ! Il soutient son propos par deux diagrammes de couleurs : le *cercle chromatique* et le *triangle des couleurs*.

Diagrammes chromatiques de Goethe (1810)



Cercle chromatique



Triangle chromatique

15. Rappelons la controverse entre le scientifique liégeois *Francis Line* (alias *Linus de Liège, aristotélicien convaincu*) et *Newton* dont il critiqua la théorie sur la lumière et les couleurs : deux lettres in « *Philos. Trans. Roy. Soc.* (1674-75) ; détails in : Yvon Renotte, *Un Liégeois précurseur et spécialiste des cadrans solaires, . . . fort oublié . . . Francis Line, connu sous le patronyme « Linus de Liège », Le Ciel* (Bull. Soc. As. Liège), 83 (2021), 194-207 ; <http://hdl.handle.net/2268/258697> ; <http://hdl.handle.net/2268/260564>

Francis Linus, A letter of the learn'd Franc, Linus, to a friend of his in London, animadverting upon Mr. Isaac Newton's theory of light and colors, *Philos. Trans. Roy. Soc.*, V.9, 110 (1674), 6108-6112 - <https://doi.org/10.1098/rstl.1674.0047> ; *A letter of Mr. Franc. Linus, written to the publisher from Liege the 25th of Febr. 1675. St. N. being a reply to the letter printed in Numb. 110. By way of answer to a former letter of the same Mr. Linus, concerning Mr. Isaac Newton's theory of light and colours*, V.10, 121 (1675), 499-500 - <https://doi.org/10.1098/rstl.1675.0056> ; *Isaac Newton, letter, reply written to the publisher from Cambridge*, Novemb. 13, 1675, V.10, 121 (1675), 501-504 ; *A particular answer of Mr. Isaac Newton to Mr. Linus his letter, printed in Numb. 121. P.499. about an experiment relating to the new doctrine of light and colours : answer sent from Cambridgs in a letter to be published Feb. 29. 1675/6*, V.11, 123 (1676), 556-561 - <https://doi.org/10.1098/rstl.1676.0003> ; *Anthony Lucas, A letter from Liege concerning Mr. Newton's experiment of the coloured spectrum ; together with some exceptions against his theory of light and colours*, V.11, 128 (1676), 556-561 ; *Mr. Newton's answer to the precedent letter sent to the publisher*, V.11, 128 (1676), 692-698

16. *L'expérience de la couleur : voisinage et postérité du Traité des couleurs de Goethe*, éd. La Maison d'à Côté (2007), <https://www.mollat.com/livres/441006/l-experience-de-la-couleur-voisinage-et-posterite-du-traite-des-couleurs-de-goethe> ; https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Traité_des_couleurs&oldid=218225409

Johann Wolfgang von Goethe, Zur Farbenlehre : Sämtliche Werke. Briefe, Tagebücher und Gespräche, 40 volumes, Francfort-sur-le-Main, Deutscher Klassiker Verlag, dont : *Materialen zur Geschichte der Farbenlehre*, 2 volumes, vol. 23/1 et 23/2 (1810), Munich ; *Traité des couleurs*, trad. H. Bideau, Triades, (1980), Paris

17. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Georges-Louis_Leclerc_de_Buffon&oldid=218438327

18. https://fr.wikipedia.org/wiki/Arthur_Schopenhauer

19. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Michel-Eugène_Chevreul&oldid=217719274

On notera que l'approche de Goethe s'intéresse plus à la perception des couleurs qu'à la caractérisation objective du rayonnement lumineux. De ce point de vue, *il a fait œuvre utile en ouvrant le champ d'une recherche indépendante de celle de la physique, celle de la perception des couleurs à laquelle la physique est indifférente.*

La seule hypothèse crédible opposée au modèle corpusculaire à l'époque est celle selon laquelle la lumière serait le fruit d'une vibration, ou d'une onde de pression, se propageant dans un milieu extrêmement rare et subtil, communément appelé éther. Parmi les plus prestigieux défenseurs de ce modèle ondulatoire de la lumière on trouve *Huygens*²⁰, *Hooke*²¹, *Euler*²².

Convaincu de l'existence d'un milieu éthéré plus subtil que l'air et porteur notamment des phénomènes magnétiques, électriques²³ et gravitationnels, *Thomas Young* défend l'idée unificatrice que ce même éther, imprégnant intégralement l'univers, est aussi le vecteur par ses ondulations de la propagation de la lumière et de la chaleur. Il s'engage ainsi dans la défense d'un système ondulatoire de la lumière auquel *Augustin Fresnel* (1788-1827)²⁴ apporte la force de l'analyse mathématique (1817).

On s'étonnera toutefois du faible écho qu'auront ses propositions révolutionnaires dans les années qui suivront leur publication. De manière plutôt inattendue, le point du contenu de la *Théorie de la Lumière et des Couleurs* qui a le plus « influencé » la science est l'hypothèse relative au mécanisme de la perception des couleurs¹⁰, supposant la présence en chaque point de la rétine de trois types de récepteurs, sensibles chacun préférentiellement à une gamme de fréquences d'ondulation : l'une correspondant à la sensation du rouge, la deuxième du jaune, la troisième du bleu, rapidement changées en rouge, vert et violet. ***Young a révolutionné la compréhension de la lumière en établissant la théorie des trois couleurs primaires.***

La théorie physique de la couleur prend son essor à partir du milieu du 19^e siècle, en particulier grâce aux travaux exceptionnels de *James Clerk Maxwell* (1831-1879)²⁵ sur la nature électromagnétique de la lumière (1857), et de *Hermann von Helmholtz* (1821-1894)²⁶, sensibilisés aux travaux de Young par ses publications. Dans un premier article sur le mélange des couleurs (1852)²⁷, Helmholtz tente de créer un certain ordre dans le domaine chaotique du mélange des couleurs. Il distingue le mélange de lumière (« mélange additif ») du mélange de pigments (« mélange soustractif »). Les pigments agissent comme des filtres qui ne réfléchissent que la lumière de certaines couleurs, tandis que d'autres sont absorbées. Dans une interprétation trop stricte, il conclut que la théorie physiologique des couleurs primaires de Young doit être rejetée. En 1855, Maxwell utilise les résultats expérimentaux de Helmholtz ainsi que les siens pour arriver à la conclusion opposée. Maxwell « confirme » la théorie de Young sur les trois « modes de sensation » mais la modifie en supposant que la lumière de n'importe quelle couleur affecte chacun des trois modes de sensation avec des intensités différentes (1857)²⁸. Helmholtz revient sur sa position et accepte une théorie physiologique dans laquelle l'œil contient « trois ensembles distincts de fibres nerveuses ». Dans le deuxième volume du *Handbuch der physiologischen*

20. Christian Huygens (1629-1695) développe dans son *Traité de la Lumière* (1690), une théorie ondulatoire de la lumière, ouvertement opposée aux théories newtoniennes circulant depuis 1672

21. Robert Hooke (1635-1703), observe dès 1660 diverses irisations et propose un modèle ondulatoire de la lumière débouchant sur une première confrontation avec Newton suite à la publication de *Robert's Hooke critique of Newton's theory of light and colours* (1672), publié dans « Thomas Birch, *The History of the Royal Society*, vol. 3, (1757) 10-15 »

22. Leonhard Euler (1707-1783), exprime son désaccord avec la théorie de la lumière de Newton dans *Nova Theoria Lucis et Colorum* (1746) dans lequel il associe la propagation de la lumière à un mouvement vibratoire de l'éther

23. Probablement inspiré par Benjamin Franklin, *Experiments and Observations on Electricity, made at Philadelphia in America*, (1769) London, dans lequel il développe une brève interprétation vibrationnelle des phénomènes optiques (p. 264 – note de 1752)

24. *Œuvres complètes d'Augustin Fresnel*, eds : H. de Senarmont, E. Verdet, L. Fresnel, tomes I et II (1866)

25. James Clerk Maxwell, *On the Theory of Colours in Relation to Colour Blindness*, Edinb. Transactions of the Royal Scottish Society of Arts, 4 (1856), 394-400 ; https://clerkmaxwellfoundation.org/PUBLISHED_SCIENTIFIC_PAPERS.pdf

26. Hermann von Helmholtz, *Handbuch der physiologischen Optik*, (1867) ; *Traduction française : Optique Physiologique*, Émile Javal et N. Th. Klein, Victor Masson - Paris (1867)

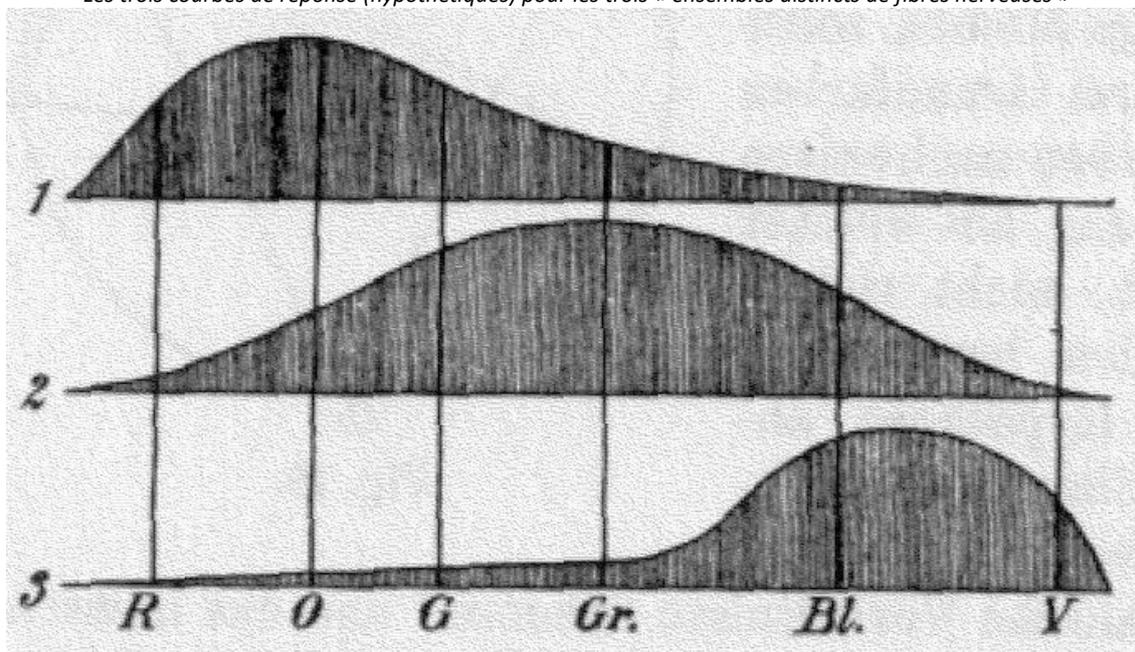
27. Hermann von Helmholtz, *Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben*. *Annalen der Physik*, 163(9) (1852), 45–66 ; *On the theory of compound colours*. *Philosophical Magazine*, Series 4, 4(28) (1852), 519–534

28. James Clerk Maxwell, *Experiments on colour, as perceived by the eye, with remarks on colour blindness*. Edinb. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 21(2) (1857), 275–298 [1855] ; *On the theory of compound colours and the relations of colours of the spectrum*, *Roy. Soc. Proc.*, 10 (1859-60), 404-409 ; *Phil. Trans.*, (1860), 57-84

Optik (1860)²⁹, Helmholtz expose une théorie de la vision des couleurs à trois récepteurs et montre que cette théorie peut unifier la plupart des phénomènes de mélange des couleurs connus à l'époque. Maxwell avait publié la même théorie cinq ans plus tôt. Les anciennes observations ont été unifiées et expliquées par une théorie unique connue sous le nom de **théorie de la vision des couleurs de Young-Helmholtz**. Selon plusieurs historiens, il serait sans doute mieux approprié de l'appeler « *théorie de Young-Helmholtz-Maxwell* », voire « *théorie de Young-Maxwell* » !

Théorie de Young-Helmholtz

Les trois courbes de réponse (hypothétiques) pour les trois « ensembles distincts de fibres nerveuses »



Sensibilité des trois différents récepteurs : R (rouge), O (orangé), G (jaune), Gr (vert), Bl (bleu), V (violet)

Selon la théorie trichromatique de la vision des couleurs, il y a trois récepteurs dans la rétine qui sont responsables de la perception des couleurs. Un récepteur est sensible à la couleur verte, un autre à la couleur bleue et un troisième à la couleur rouge. Les combinaisons de ces trois couleurs produisent toutes les couleurs que nous sommes capables de percevoir. Les photorécepteurs ont également des niveaux de sensibilité différents. Les récepteurs bleus sont les plus sensibles et les rouges les moins sensibles. La capacité à percevoir les couleurs nécessite une interaction entre au moins deux types de photorécepteurs. Les trois couleurs peuvent ensuite être combinées pour former n'importe quelle couleur visible.

En 1870, Helmholtz, empruntant à Newton, à Goethe, à Young et quelques autres, fonde une *physico-physio-psychologie des couleurs* que Chevreul enrichit aux Gobelins (1879) : ils contribuent à préparer les reformalisations du 20^e siècle³⁰.

Young, le précurseur surdoué^{10,31}

Aussi doué pour les langues que pour les sciences, considéré comme fondateur de l'optique physiologique et un des pères de la théorie ondulatoire de la lumière, il est également le premier à déchiffrer certains hiéroglyphes égyptiens. Ses études lui fournissent des bases solides en physique newtonienne et en optique. Il parle plusieurs langues, européennes et orientales, vivantes ou mortes. Il entreprend des études de médecine en 1792 et découvre le mécanisme de l'accommodation qu'il explique par une modification de la courbure du cristallin. Il obtient un doctorat en sciences physiques à l'université de Göttingen (avril 1796) et rentre en Angleterre en 1797. En 1799, fraîchement reconnu par l'ordre des médecins britanniques, il s'installe à Londres

29. Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz. *Handbuch der physiologischen Optik* - volume II. Leopold Voss, Leipzig (1860) ; James Clerk Maxwell, *On the theory of compound colours, and the relations of the colours of the spectrum*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 150 (1860), 57–84

30. *Une histoire des couleurs* - WebTV Université de Lille - <https://webtv.univ-lille.fr/video/10275/une-histoire-des-couleurs>

31. Riad Haidar, *Thomas Young et la théorie ondulatoire de la lumière* – Bibnum, *Textes fondateurs de la science*, OpenEdition, Journals, Physique-Optique (2017), <https://doi.org/10.4000/bibnum.785> , <https://journals.openedition.org/bibnum/785>

tout en poursuivant ses recherches sur le fonctionnement de l'œil et de l'oreille ce qui l'entraînera à faire le lien entre son et lumière.

Il publie très vite ses premiers travaux dans une série de communications à la Royal Society de Londres, dont certaines anonymement en raison de son statut de médecin : *Son et Lumière* (janvier 1800), *Le mécanisme de l'œil* (novembre 1800). Il y analyse l'astigmatisme pour la première fois et pose les bases de la vision trichromatique en même temps qu'il pointe les insuffisances du système newtonien.

Nommé membre de la Royal Society à l'âge de vingt-et-un ans suite à la publication d'un premier travail sur le mécanisme de la vision ³², il propose dans une seconde publication principalement consacrée aux phénomènes sonores, d'appliquer les résultats et connaissances relatives au son pour une meilleure compréhension des phénomènes lumineux encore inexplicables.

Le 12 novembre 1801, Thomas Young, âgé de vingt-huit ans, expose à la Royal Society sa « *Théorie de la Lumière et des Couleurs* », pour laquelle il reçoit la médaille bakerienne ³³ pour la deuxième année consécutive. Il fournit la toute première série de mesures des longueurs d'onde de la lumière, concept qu'il introduit à cette occasion, défend le modèle ondulatoire de la lumière et formule l'hypothèse visionnaire de la structure triple des photorécepteurs de la rétine humaine justifiant des sensations colorées.

Le point d'orgue de l'exposé est toutefois formulé par le *principe d'interférence* : même si la formulation de Young est complexe, *c'est la première fois qu'un modèle lève le voile sur les mécanismes de diffraction et d'interférences*, là où Newton avait « fortement peiné ». Il affinera son argumentaire dans la communication *Rapport sur certains cas de production de couleurs* (1802). Il utilise le concept pour expliquer un certain nombre de phénomènes tels que l'irisation des lames minces et les anneaux colorés de Newton mais *sa démarche et ses conclusions sont qualitatives, il ne les appuie sur aucun formalisme concret*. C'est Fresnel qui apportera le formalisme mathématique au modèle expérimental de Huygens (1819), qui s'érigera en *principe de Huygens-Fresnel*. Young reconnaîtra d'emblée la supériorité conceptuelle de ce modèle. *Sa contribution reste néanmoins pertinente pour avoir jeté les bases d'une théorie qui a révolutionné la conception de la lumière*.

En 1801, il crée une cinquantaine de cours pour la Royal Society, qu'il donne à partir de 1802. Le programme est ambitieux et varié (mécanique, hydrodynamique, physique générale, mathématique, . . .) mais s'adresse à un public averti et a peu de succès. Il l'abandonne en 1803 mais publie un volumineux « *Conférences sur la philosophie naturelle et les arts mécaniques* » (1807) qui regroupe l'ensemble de ses notes. On y trouve notamment le *module éponyme* qui caractérise la déformation d'un matériau sous une contrainte qui lui est appliquée ³⁴.

« Touche-à-tout » de génie ³⁵, son goût et son talent pour les langues poussent Young vers l'étude des textes égyptiens anciens. Dès 1814, il s'attaque à la Pierre de Rosette au British Museum, dont le texte est répété en grec, démonique et hiéroglyphes. Guidé par son intuition et son approche analytique, il propose une traduction conjecturale qui permettra la traduction de 220 cartouches dont une partie sera confirmée par le déchiffrement complet de *Jean-François Champollion* (1790-1832) en 1822.

32. Thomas Young, *Observations on vision*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 83 (1793), 169-181 ; *Outlines of Experiments and Inquiries respecting Sound and Light*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 90 (1800), 106-150 ; *On the Mechanism of the Eye*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 91 (1801), 23-88

33. Henry Baker (1698-1774) fonde à sa mort le prix et le cycle des conférences portant son nom en léguant une dotation de £100 par an à la Royal Society pour la mise en place d'une conférence annuelle donnée par un membre sur quelque sujet d'histoire naturelle ou de philosophie expérimentale que la société jugera d'importance majeure

Thomas Young, *The Bakerian lecture : On the theory of light and colours*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 92 (1802), 12-48 ; *An account of some cases of the production of colours, not hitherto described*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 92 (1802), 387-397 ; *Experiments and Calculations relative to Physical Optics*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 94 (1804), 1-16

34. Thomas Young, *Syllabus of a course of Lectures on Natural and Experimental Philosophy*, Royal Institution, London, Art. 289 (1802) ; *A Course of Lectures in Natural Philosophy and Mechanical Arts*, vol. I et II, London (1807)

35. *Thomas Young (1773-1829) – Toutes ses œuvres*, BnF Data, 3 pages : https://data.bnf.fr/fr/see_all_activities/12571287/page1 ; <https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb12571287f>

Vision, perception et reproduction des couleurs

La perception des couleurs n'est pas un phénomène naturel, ni d'emblée individuelle, mais d'abord une activité culturelle collective, historique, certaines règles, et fonctionne à la manière d'un paradigme. Les couleurs complémentaires constituent un tel paradigme qui régit depuis plus d'un siècle notre façon de voir des couleurs, de les harmoniser pour les peintres et d'en comprendre les mécanismes pour les scientifiques. En conséquence, tout peintre possède un système chromatique minimal. *Par système chromatique on entend l'ensemble des facteurs conscients ou inconscients, implicites ou explicite, qui organisent tant la perception chromatique des peintres que leur façon de la (re)produire dans leurs œuvres.* Tout système chromatique contient donc à la fois des aspects collectifs qui relèvent du paradigme dominant à un moment donné et des aspects individuels, propres à tel artiste en particulier. Il constitue en ce sens une charnière entre le collectif et l'individuel.

Les artistes se sont posé la question du mélange des couleurs bien avant les scientifiques ³⁶. Pour d'aucuns, le choix d'une couleur est souvent vu d'une manière mystique, irrationnelle, . . . : ce qui est sûr c'est que certaines couleurs se marient bien entre elles et d'autres non !

Théories scientifique et artistique

Il importe de noter que ces deux types d'activités répondent à des objectifs très différents même s'ils peuvent avoir plusieurs traits en commun. *L'objectif d'une théorie scientifique* de la couleur est de comprendre et d'expliquer les différents phénomènes chromatiques du point de vue de leurs mécanismes physique, physiologique, etc. *L'objectif d'une théorie artistique* de la couleur est, en s'appuyant ou non sur une théorie scientifique, de fournir aux artistes, un ensemble de principes, de règles de conception, de formuler des lois. Les deux constituent des théories et il ne s'agit pas d'établir une hiérarchie entre elles mais de souligner qu'elles répondent des visées différentes.

En résumé, les physiciens manipulent les couleurs-lumière tandis que les peintres utilisent des couleurs-pigments, substances colorantes capables de recouvrir une surface. Elles peuvent être transparentes, semi-opaques ou opaques. Le mélange des couleurs s'effectue donc par une synthèse soustractive. La combinaison de pigments colorés crée de nouvelles teintes. Contrairement à la synthèse additive utilisée en éclairage, où les couleurs s'additionnent pour former le blanc, la synthèse soustractive implique la soustraction de certaines longueurs d'onde de la lumière blanche pour produire des couleurs. L'interaction subtile de ces pigments colorés permet de produire une vaste gamme de teintes et de nuances dans la peinture.

– Approche scientifique : quelques rappels

Rappelons que **la couleur n'est pas une grandeur physique**, et qu'elle ne peut pas être quantifiée par un nombre suivi d'une unité : **c'est une sensation créée par notre cerveau.**

Et pourtant, **les longueurs d'onde** (du spectre visible) sont quantifiées par un nombre, compris entre 400 et 700, et une unité, le nanomètre » ? Effectivement, MAIS ces grandeurs ne concernent que les **teintes** (je préfère utiliser ce terme pour désigner une impression visuelle colorée au sens large) **saturées** résultant de la décomposition spectrale de la lumière blanche par réfraction ou par diffraction. Depuis I. Newton, nous savons que la lumière blanche n'est pas une teinte « pure », elle est composée d'une succession de teintes continûment distribuées du violet profond (380 nm) au rouge profond (730 nm). *Il est plus correct de quantifier les teintes des ondes lumineuses (électromagnétiques) par leur fréquence* que par la longueur d'onde qui varie lorsque la lumière passe d'un milieu dans un autre (la longueur d'onde d'une radiation monochromatique est plus petite dans l'eau ou dans le verre que dans l'air), pas la fréquence : la longueur d'onde dans le vide (ou dans l'air) $\lambda_0 = c/\nu = n\lambda$, c étant la vitesse de la lumière dans le vide (= 299 792 458 m/s), ν et λ : respectivement la fréquence de la radiation monochromatique et sa longueur d'onde dans le milieu transparent d'indice de réfraction n . Par

36. *Lumière et couleur La théorie des couleurs*

<http://sti.mermoz.free.fr/mo/vision1/Profil-couleur/www.profil-couleur.com/lc/000-lumiere-couleur.html>

exemple pour *le verre* et la radiation rouge du LASER HeNe : $n = 1,5$; $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$; $\lambda = 421,9 \text{ nm}$ et $\nu = 473,76 \text{ THz}$ (1 térahertz = $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$ = mille milliards de hertz).

Hors les teintes spectrales, il existe une infinité de teintes qui ne peuvent pas être quantifiées simplement par une fréquence (ou une longueur d'onde – *je continuerai à utiliser cette grandeur par facilité*) : quelle est la longueur d'onde d'une plage colorée en « *rose bonbon* » ou en « *lilas* » (nuance de mauve) ?

Nous avons vu que des études menées du 18^e au 20^e siècle par des personnalités aussi célèbres que *Isaac Newton (1704)*, *Thomas Young (1801)*, *James Clerk Maxwell (1855)*, *Hermann G. Grassmann (1809-77/1853)*, *Hermann Helmholtz (1859)* et *Erwin Schrödinger (1887-1961/1920-27)*, ont montré qu'il est possible de préciser très exactement une teinte à l'aide de trois paramètres : c'est le **principe de la trichromie**³⁷. D'une manière générale, on peut reproduire une teinte en superposant trois faisceaux lumineux *convenablement choisis* (le mélange de deux ne peut pas donner la troisième et la somme des trois doit donner le blanc « équi-énergétique »). L'expérience a montré qu'**un faisceau bleu, un vert et un rouge** correctement choisis et dosés en intensité constituent un système de « **couleurs fondamentales** » répondant aux critères recherchés. La **CIE** (Commission Internationale de l'Éclairage – 1931) a précisé les caractéristiques des *sources étalons réelles*, les **primaires spectrales**, bases du **système R-G-B** : longueurs d'onde $\lambda_R = 700 \text{ nm}$, $\lambda_G = 546,1 \text{ nm}$ (raie verte du mercure) et $\lambda_B = 435,8 \text{ nm}$ (raie bleue du mercure) dans le rapport de luminances photométriques 1,0 : 4,59 : 0,06³⁸.

En pratique on n'utilise pas les primaires réelles qui exigent une subtilité analytique (des paramètres négatifs) pour pouvoir rendre compte de toutes les teintes. On recourt à un artifice, les **primaires virtuelles X, Y et Z** (les *coordonnées trichromatiques*)³⁹ qui sont des *combinaisons toujours positives de R, G et B* (les *composantes trichromatiques*) et *Y l'éclairement de la scène* ($Y = R + 4,59 G + 0,06 B$). En divisant les coordonnées par leur somme, on les normalise et l'on obtient les **coefficients trichromatiques x, y et z** tels que $x + y + z = 1$. Les **diagrammes de chrominance** proposent une variante de la trichromie : **deux paramètres de chrominance x et y** qui situent précisément la teinte dans le diagramme, et **un troisième, photométrique, Y** qui indique **l'éclairement de la plage considérée** (on l'appelle communément *l'intensité lumineuse*, il se mesure en *watts par mètre carré ou en lux*). Si $Y = 0$, on se trouve au *point alychne* de la représentation vectorielle de l'espace colorimétrique où l'éclairement est nul : **c'est le point « sans lumière »**.

Le mode de fonctionnement exposé ci-avant repose sur le processus de **synthèse additive des couleurs** largement utilisé en cinématographie, télévision, informatique et photographie (diapositives). Une autre technique, la **synthèse soustractive des couleurs**, consiste à soustraire trois **couleurs secondaires** à l'aide de filtres d'un éclairage uniforme blanc. Ce sont le cyan, le magenta et le jaune, respectivement teintes complémentaires des primaires rouge, vert et bleu (la teinte complémentaire d'une teinte primaire ou secondaire est celle des trois teintes secondaires ou primaires n'intervenant pas dans le mélange donnant la teinte primaire ou secondaire – *exemple : le jaune, teinte secondaire, est la teinte complémentaire du bleu, teinte primaire, et résulte du mélange des teintes primaires rouge et vert*). Une teinte ajoutée à sa complémentaire donne du blanc en additif, du noir en soustractif. La synthèse soustractive intervient en peinture, photographie (négatifs couleurs), imprimerie couleur et autres techniques de reproduction d'images colorées.

La représentation graphique du domaine des couleurs a notamment pour but l'appréciation des importances relatives des différentes teintes. Or, en conséquence de la nature intrinsèquement non euclidienne de l'espace des couleurs, l'espacement des échelles de couleurs varie d'un point à l'autre. Il en résulte que les espaces impartis aux représentations des diverses teintes ne sont pas équivalents : on constate aisément que la zone impartie aux verts est nettement plus vaste que celles des rouges et

37. Paul Kowaliski, *Vision et mesure de la couleur*, Masson éd., Physique fondamentale et appliquée – 2e édition actualisée par Françoise Viénot et Robert Sève (1990) ; *CIE 1931 et 1976*, id Chapitre IV et pp.240-244

38. <https://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition> ; <https://cie.co.at/search/node/colorimetry> ; https://dept-info.labri.fr/~achille/ti/Notes-de-cours/ti_A03_n.pdf ; https://dept-info.labri.fr/~achille/ti/Notes-de-cours/ti_A03_n.pdf ; <https://www.datacolor.com/wp-content/uploads/2023/05/color-management-ebook-3-fr.pdf>

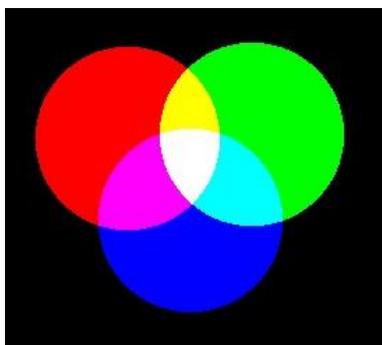
39. https://fr.wikipedia.org/wiki/CIE_XYZ ; https://fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/CIE_XYZ_1931

des bleus ce qui crée inévitablement un déséquilibre dans l'acuité de la précision des définitions de deux teintes voisines. Pour tenter de palier ce défaut et établir un espacement plus uniforme des échelles de couleurs, la CIE a procédé à deux corrections en remplaçant les coefficients x , y et z par le trio u , v et Y en 1960 et u' , v' , Y en 1976 ⁴⁰. Les paramètres u , v et u' , v' sont des combinaisons des coefficients x et y , ils fournissent les « **diagrammes uniformes de chromaticité** » qui devraient remplacer le *diagramme de chrominance*. On notera que dans la pratique, ce dernier est encore souvent préféré à celui recommandé en 1976.

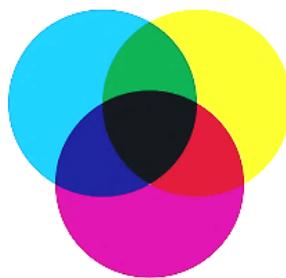
Je ne considérerai pas ici le *traitement numérique des couleurs* pour lequel l'informatique a développé de nombreux outils, programmes et applications spécifiques, très performants détaillés dans des articles et ouvrages spécialisés ⁴¹.

J'ai volontairement réduit le « *traitement scientifique* » puisqu'il a été proposé antérieurement. Ce paragraphe est donc un résumé. Le(a) lecteur(trice) intéressé(e) trouvera des informations détaillées sous la **référéncée [5]**.

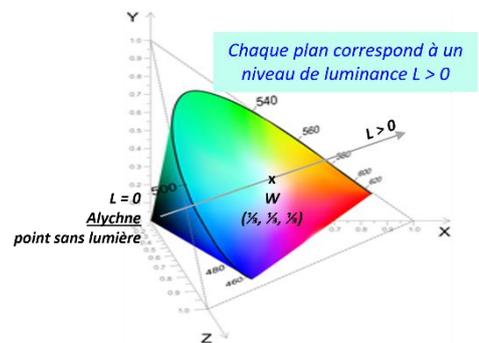
Synthèses additive et soustractive : teintes primaires et secondaires, diagrammes de chrominance



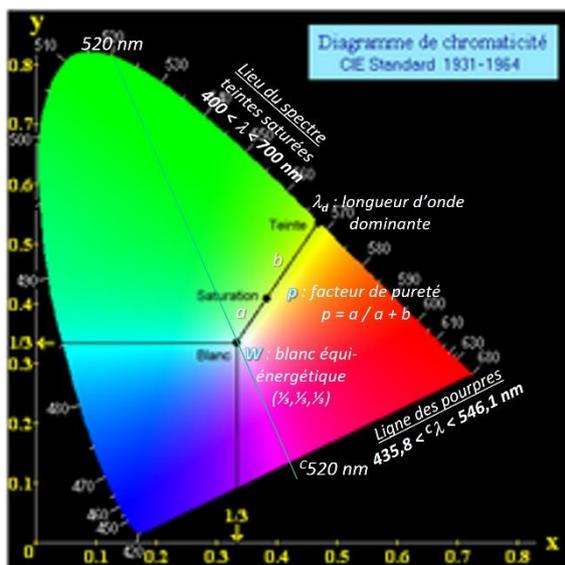
La **synthèse additive R, G, B** on superpose trois faisceaux de lumières colorées : les teintes primaires rouge, vert et bleu



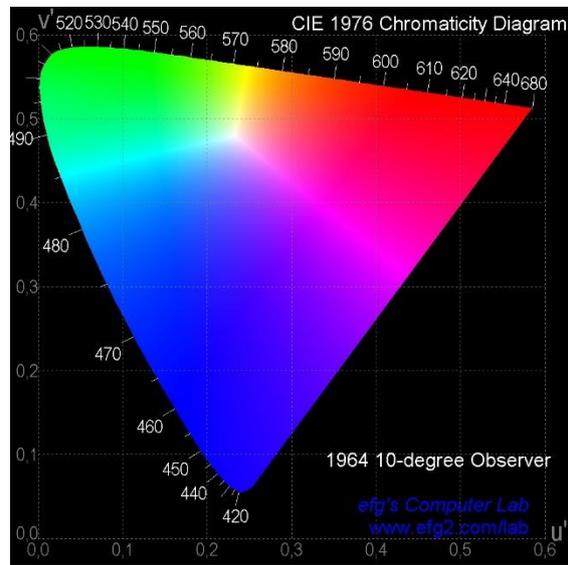
La **synthèse soustractive** on superpose trois filtres colorés dans un faisceau de lumière blanche qui traverse l'ensemble jaune, cyan et magenta



Représentation vectorielle de l'espace colorimétrique Les pourpres n'ont pas de λ , ils sont désignés par celle de leur teinte complémentaire exposée $c\lambda$



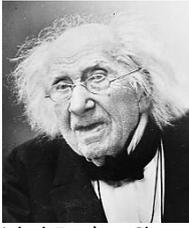
CIE 1931



CIE 1976

40. https://fr.wikipedia.org/wiki/L*u*v*_CIE_1976 ; https://fr.wikipedia.org/wiki/CIE_UVW ; <https://www.datacolor.com/fr/business-solutions/blog/quest-ce-que-cielab/> ; https://fr.wikipedia.org/wiki/L*a*b*_CIE_1976 ; <https://www.datacolor.com/fr/business-solutions/blog/quest-ce-que-cielab/>

41. https://fr.wikipedia.org/wiki/Codage_informatique_des_couleurs ; https://fr.wikipedia.org/wiki/Image_num%C3%A9rique



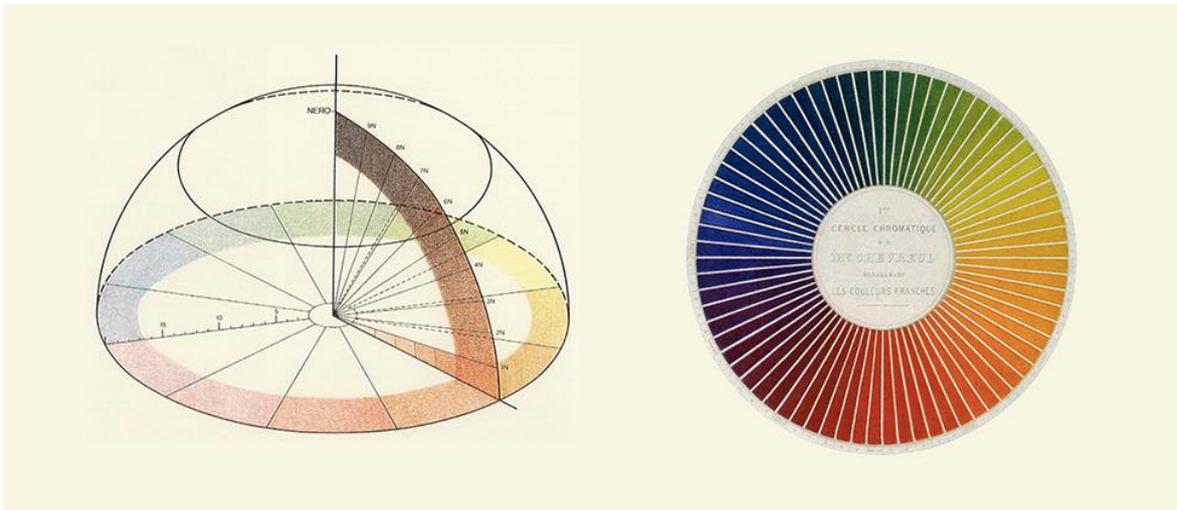
Michel-Eugène Chevreul
(1786-1889)

- Approche artistique : la contribution essentielle de M.E. Chevreul
- La loi du contraste simultané

Chevreul, le théoricien visionnaire ^{3,42}

Brillant chimiste, il est nommé directeur du service de teinture à la Manufacture des Gobelins en 1824, tâche ingrate et complexe qui l'amena à créer un référentiel des couleurs suffisamment général, commun aux tisserands et aux teinturiers.

Il a conçu un *diagramme tridimensionnel hémisphérique* qui comporte également sur un plan horizontal le cercle des couleurs saturées avec le blanc au centre. Le noir est disposé en haut du demi-axe vertical. Il précise que la base horizontale comprend ce qu'il appelle les « *couleurs franches* », y compris leurs échelles de saturation sur les rayons issus du centre, et chaque quadrant vertical élevé au-dessus d'un rayon contient les *couleurs de cette teinte* « *rabattues avec du noir* ». L'espace de Chevreul est intéressant par son inclusion des couleurs d'efficacité maximale, situées suivant leurs teintes à des distances variables du centre ⁴³.



Espace hémisphérique de Chevreul

Cercle chromatique « des couleurs franches » mis au point pour les manufactures nationales de tapisseries et de tapis

À la suite d'une plainte des tisserands, une comparaison minutieuse des échantillons critiqués révéla que la qualité de la matière teinte n'était pas en cause ce qui le conduisit à émettre l'hypothèse que le manque de tenue des noirs n'était pas dû aux colorants ou à leur absorption mais était un phénomène visuel lié aux couleurs juxtaposées aux noirs. Et plus généralement, *le cerveau a tendance à exagérer les différences pour mieux les percevoir, surtout le long des frontières où se juxtaposent deux teintes différentes. Cette loi fonctionne pour la luminosité comme pour les teintes*. Après quatre années de recherches, il rédige un Mémoire qui est lu à l'Académie des Sciences en avril 1828 : *Mémoire sur l'influence que peuvent avoir deux couleurs l'une sur l'autre lorsqu'elles sont vues simultanément*. Son principal ouvrage sur le sujet paraîtra onze ans plus tard, en 1839, sous le titre est « **Sur la loi du contraste simultané des couleurs et sur ses applications à ...** » suivi d'une liste impressionnante des domaines auxquels cette loi peut s'appliquer, dont évidemment la tapisserie, mais aussi la peinture, les tapis, les vêtements, l'horticulture, les vitraux, etc ⁴⁴. Le livre

42. Georges Roque, *Art et science de la couleur, Chevreul et les peintres de Delacroix à l'abstraction*, éditions Gallimard (édition revue et augmentée) (2009) ; *Chevreul's colour theory and its consequences for Artists*, paper presented in Paris (June 2010) to the Colour Group meeting *Colour and Textiles : from past to future*, published by the Colour Group (GB), <http://www.colour.org.uk> (2011), <https://www.colour.org.uk/wp-content/uploads/2017/10/Chevreuls-Law-F1-web-good.pdf> ; Paul Kowaliski, *Vision et mesure de la couleur*, Masson – Physique fondamentale et appliquée (1990), 150-51

43. https://www.museefabre.fr/sites/default/files/2022-07/fiche_couleurs_theories_et_pratique.pdf

44. Michel-Eugène Chevreul, *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés considérés d'après cette loi dans ses rapports avec la peinture, les tapisseries des Gobelins, les tapisseries de Beauvais pour meubles, les tapis, la mosaïque, les vitraux colorés, l'impression des étoffes, l'imprimerie, l'enluminure, la décoration des édifices*,

fut immédiatement traduit en allemand (1840) et en anglais (1854). Il fut le premier d'une série de publications importantes dans le domaine de la couleur.

Il importe de noter que ***Chevreul est un théoricien qui a développé une « théorie principalement scientifique »*** dont il ressort qu'***une couleur influence une couleur avoisinante : un même ton semble plus clair s'il est sur un fond plus sombre, les complémentaires se rendent plus vives mutuellement et les couleurs non complémentaires s'éloignent en ton. C'est le principe du contraste simultané des couleurs*** déjà évoqué selon lequel les différences entre deux couleurs complémentaires ressortent davantage lorsqu'on les associe. ***Son influence sur le monde des arts ne fut donc pas directe mais se fit auprès d'une génération d'artistes notamment / principalement via Charles Blanc (1813-1882)⁴⁵, dont le rôle fut essentiel : ce n'est pas tant qu'il leur aurait fourni un résumé accessible de la loi de Chevreuil, mais plutôt qu'il a produit une théorie artistique de la couleur bien plus utile aux peintres qu'une théorie scientifique.***

La loi du contraste simultané – interprétation et retombées

Couleur lumière et couleur matière

Tout peintre amateur sait qu'il aura beau mélanger du rouge, du jaune et du bleu, il n'obtiendra jamais le blanc mais du gris, parce que le mélange de lumière colorée n'obéit pas aux mêmes lois que le mélange de pigments. Il est essentiel de distinguer les couleurs du spectre et les pigments, Ceci nécessite sans doute pour le lecteur non familier une explication rapide, donc nécessairement schématique. Pour clarifier cette question, on considère aujourd'hui qu'il existe deux types principaux de mélanges des couleurs.

– Le mélange additif de faisceaux lumineux colorés sur un écran blanc

En mélangeant les couleurs spectrales, Maxwell et Helmholtz ont montré que les trois couleurs fondamentales à partir desquelles il est possible d'obtenir les autres sont le rouge, le vert et le bleu, concept obtenu en développant les travaux de Young, à qui on attribue généralement l'invention de la théorie trichromatique. La sensation de blanc peut être obtenue en mélangeant les trois couleurs. *On appelle ce type de mélange de faisceaux lumineux sur un même écran additif.*

– Le mélange soustractif de pigments ou de filtres colorés superposés

On l'appelle soustractif parce que chaque couleur agit comme un filtre qui soustrait à la lumière une partie de ses radiations.

– À ces deux mélanges, les seuls pris en compte la science de la couleur, certains ajoutent un troisième, ***le mélange optique***, appelé parfois *partitif*, mélange dans l'œil de petites quantités de couleurs juxtaposées lorsqu'elles sont vues de loin, comme dans la mosaïque où le tissage.

Notons que la distinction entre *mélange additif* et *soustractif* appartient aux théories scientifiques tandis que ***le mélange optique*** est typiquement un concept des théories artistiques de la couleur.

En outre, rappelons que le résultat du mélange des complémentaires est différent, blanc pour les complémentaires additifs, il est gris pour les complémentaires optiques et noirs en principe pour les complémentaires soustractifs, quoique dans la pratique des peintres, il est souvent en gris, les pigments utilisés n'étant jamais tout à fait purs. La confusion règne encore souvent. Elle était souveraine au dix-neuvième siècle.

<i>Matière</i>	<i>Type de mélange</i>	<i>Résultat</i>
<i>Lumière</i>	<i>Additif</i>	<i>Blanc</i>
<i>Disque tournant ou mosaïque de petits éléments juxtaposés</i>	<i>Optique</i>	<i>Blanc</i>
<i>Pigments</i>	<i>Soustractif</i>	<i>Noir (ou gris)</i>

l'habillement et l'horticulture, Paris, Pitois-Levrault (1839) ; réédité par son fils *De la loi du contraste simultané des couleurs* (1889) ; https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_du_contraste_simultan%C3%A9_des_couleurs ; https://www.musees.uliege.be/cms/c_14639682/en/001-michel-eugene-chevreul-de-la-loi-du-contraste-simultane-des-couleurs-et-de-l-assortiment-des-objets-colores?details=true

45. https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Blanc

Chevreul distinguait bien mélange de lumière colorée et mélange pigmentaire. Reste à examiner ce qu'il entendait par « mélange » de couleurs ? La notion de *mélange* est en effet définie par opposition à celle de *contraste*.

Il y a *mélange de couleurs* toutes les fois que des matières de diverses couleurs sont si divisées et si rapprochées que l'œil ne peut distinguer ces matières l'une de l'autre : dans ce cas il reçoit une impression unique. Par exemple, si les matières sont l'une bleue et l'autre jaune à la même hauteur et en proportion convenable, l'œil reçoit la sensation du vert.

Il y a *contraste de couleurs* toutes les fois que les surfaces différemment colorées sont convenablement rapprochées et susceptibles d'être vues simultanément et parfaitement distinctes l'une de l'autre. Si une surface bleue est juxtaposée à une surface jaune, loin de tendre au vert, elles s'éloignent au contraire l'une de l'autre en prenant du rouge.

– *Distinction entre le principe du mélange et le principe du contraste*

La différence entre les deux principes tient dans le fait que, dans le cas du mélange, les couleurs se « rapprochent » en fusionnant, alors que dans le cas du contraste, elles s'éloignent l'une de l'autre, c'est-à-dire qu'elles accentuent leurs différences.

La distinction qu'introduit Chevreul a gardé toute sa pertinence et correspond aujourd'hui à l'opposition entre « *assimilation* » (terme plus précis que celui de « *mélange* ») et « *contraste* ». Chevreul avait parfaitement perçu l'importance de cette distinction, la différence étant essentiellement due à la taille des couleurs en présence. Quand les surfaces de couleurs juxtaposées sont très petites, loin de contraster, elles ont au contraire tendance à se fondre l'une dans l'autre ou à s'assimiler, d'où le terme. *Il s'agit donc bien de deux processus opposés puisque dans le contraste se trouvent accentuées les différences alors que le mélange se caractérise par l'incapacité de discriminer deux stimuli juxtaposés.*

C'est à ce sujet qu'aura lieu une polémique avec le scientifique belge Joseph Plateau (1801-1883)

⁴⁶ *qui avait attiré l'attention sur ce qu'il considérait comme une exception à la loi du contraste.*

Un cas échappe à cette loi du contraste simultanée : c'est lorsqu'on regarde d'une distance suffisante une bande colorée très étroite sur un fond d'une autre couleur. Alors, au lieu de paraître modifiée par la complémentaire du fond, conformément à la loi du contraste, elle semble au contraire combinée avec la couleur même de ce fond. À cette remarque parfaitement fondée de Plateau qui donne ainsi une description exacte d'un cas d'assimilation, Chevreul réagira assez vivement alors que Plateau n'entendait nullement, comme il s'en est expliqué, remettre en cause la validité de la loi du contraste. Mais « *le gaillard* » n'était pas prêt à accepter qu'une exception vienne « contredire son principe » !⁴⁷

Ce que Chevreul appelle « mélange » devait connaître par la suite un grand développement théorique sous forme du « mélange optique » qu'un certain nombre de critiques et de peintres associeront au « contraste » en perdant de vue qu'il s'agit de processus opposés.

46. Yvon Renotte, *Deux savants contemporains à l'Université de Liège : Michel Gloesener (1794-1876) et Joseph Plateau (1801-1883)*, 5 juin 2024 ; <https://hdl.handle.net/2268/319323>

47. **Michel-Eugène Chevreul**, *Nouvelles expériences sur le principe du contraste simultané des couleurs, et sur le principe de leur mélange, en réponse à un Mémoire de M. Plateau*, Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences, Paris (séance du 2-11-1863), 57 (juillet – décembre 1863), 713-720 ; <https://catalog.hathitrust.org/Record/000503547> ; <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015035406373&seq=733>

Mémoire incriminé : **Joseph Plateau**, *Sur un phénomène de couleurs juxtaposées*, Bulletins de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique, 32^e année, 2^e série, 16 (1863), 139-147 ;

<https://www.biodiversitylibrary.org/page/37487181#page/155/mode/1up>

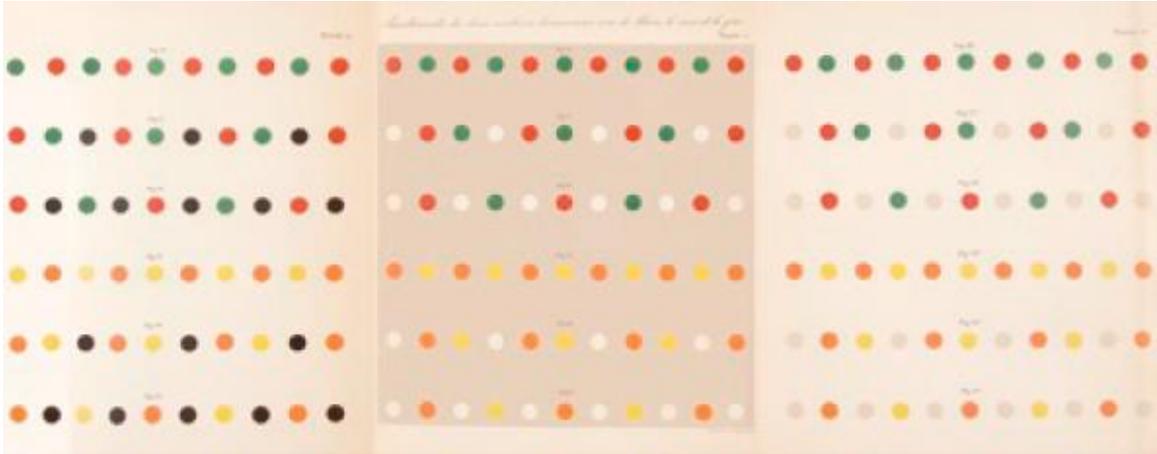
Réponse de **Joseph Plateau**, *Réponse de M. Plateau aux observations présentées par M. Chevreul dans la séance du 2 novembre dernier*, Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences, Paris (séance du 21-12-1863), 57 (juillet – décembre 1863), 1029-1032 ; <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015035406373&seq=1049>

Réponse de **Michel-Eugène Chevreul**, *Sur la généralité de la loi du contraste simultané ; Réponse de M. Chevreul aux observations de M. Plateau, insérées dans le Compte rendu de la séance du 21 décembre 1863*, Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences, Paris (séance du 11-01-1864), 58 (janvier – juin 1864), 100-103 ;

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015032334222&view=1up&seq=99>

L'influence de Chevreul sur les artistes

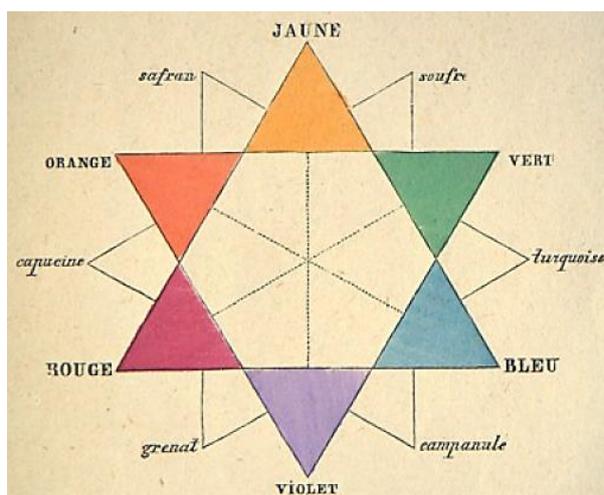
Il est intéressant d'examiner le cadre dans lequel s'est déroulée la relation entre sa théorie et la pratique des artistes. En effet, dans la plupart des cas, les peintres n'avaient qu'une connaissance indirecte des théories du chimiste. Par exemple, **Seurat**⁴⁸ expliqua qu'il avait connu les idées de Chevreul par l'intermédiaire de Charles Blanc. Et il n'était pas un cas isolé : *les interprétations de Blanc ont eu une grande influence sur de nombreux autres artistes dont Signac, Gauguin*⁴⁹ et *Van Gogh*.



Assortiment de couleurs simples et binaires des artistes avec le blanc, le noir et le gris
« De la loi du contraste simultané des couleurs . . . », M. E. Chevreul (1839)

Afin de rendre sa loi visuellement plus efficace, Chevreul a publié une série de planches testant différentes combinaisons d'harmonies de couleurs qui ont fait une profonde impression sur les peintres. Elles ont été considérées comme l'une des sources des traits en pointillés adoptés par les peintres néo-impressionnistes⁵⁰ et divisionnistes⁵¹.

L'ouvrage de Chevreul suscita un énorme intérêt en donnant accès au grand public à des processus jusque-là traités uniquement dans des revues scientifiques spécialisées et en étudiant minutieusement les applications de sa loi à presque tous les domaines de l'art et de l'artisanat. **Il est passé de la science pure à la science appliquée et s'est adressé à presque tous ceux qui utilisent la couleur.** Il ne s'intéresse pas tant à la production de couleurs « accidentelles » par l'œil qu'à l'influence mutuelle et simultanée que deux couleurs placées côte à côte exercent l'une sur l'autre, situation à laquelle les peintres et les tapissiers sont constamment confrontés. D'où leur fascination pour la loi du contraste simultané.



« Rose des couleurs » de Charles Blanc
« Grammaire des arts du dessin » (1867)

48. https://fr.wikipedia.org/wiki/Georges_Seurat

49. https://fr.wikipedia.org/wiki/Paul_Gauguin

50. <https://en.wikipedia.org/wiki/Neo-Impressionism>

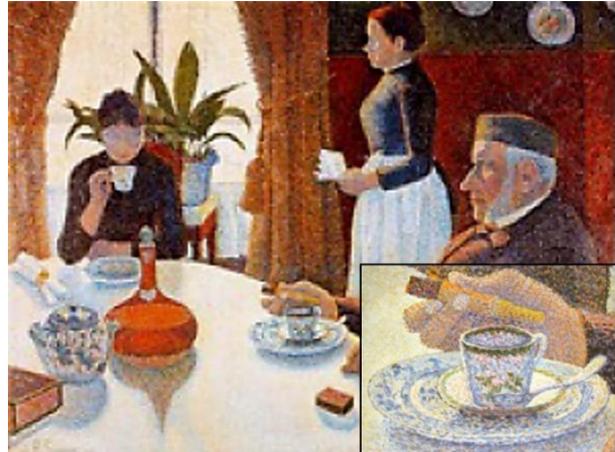
51. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Divisionnisme>

Jusqu'aux années 1880, les seuls peintres intéressés par la théorie des couleurs de Chevreul étaient ceux qui souhaitaient rehausser leurs couleurs. Ils cherchaient en fait une recette pour donner plus d'intensité à leurs couleurs et la trouvèrent dans la juxtaposition de couleurs complémentaires. Parmi ceux-ci, on trouve **Delacroix**. Nous le savons par le témoignage du le néo-impressionniste *Signac*.



Claude Monet (1840-1926) ⁵²

Coquelicots à Argenteuil (1873) - Musée d'Orsay, Paris

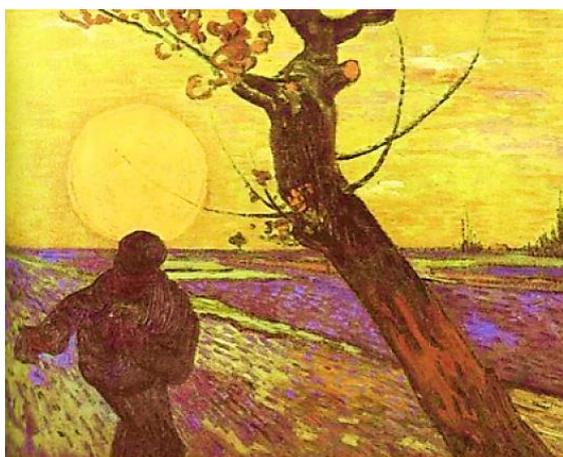


Paul Signac (1863-1935) ⁵³ - *Le petit déjeuner* (1885-86)

Musée Kröller-Müller, Otterlo – Pays-Bas

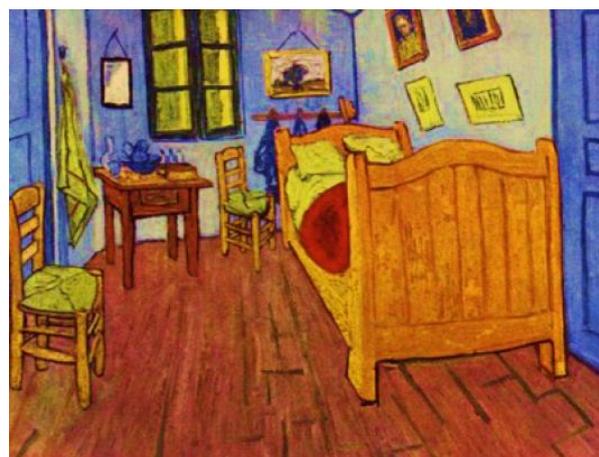
Le tableau de **Claude Monet** « *Coquelicots à Argenteuil* (1873 – Musée d'Orsay) est un exemple remarquable en opposant des taches de rouge pur au vert dominant. *Les peintres impressionnistes étaient conscients de la loi des contrastes simultanés des couleurs et l'appliquaient très souvent dans leurs œuvres afin de leur donner plus d'intensité.*

L'intérêt de **Van Gogh** pour la théorie des couleurs est moins connu. Son utilisation des couleurs a surtout été analysée par les neuropsychiatres et les ophtalmologues. Il avait un grand penchant pour le jaune, mais un rapide coup d'œil à ses tableaux montre que le jaune apparaît rarement seul : dans la plupart des cas, il s'oppose au violet, la composition est structurée par une opposition de couleurs complémentaires. C'est le cas du « *Semeur* ». Le tableau est divisé en deux : une moitié est jaune, la partie supérieure, la partie inférieure est violette. *C'est grâce à l'interprétation de Charles Blanc de la théorie des couleurs de Chevreul que Van Gogh a découvert la théorie du contraste simultané. Il souhaitait non seulement utiliser des combinaisons de couleurs complémentaires dans un but d'harmonie mais aussi les faire contribuer à la signification du tableau.* On trouve un bon exemple de cette stratégie chromatique dans sa célèbre « *Chambre à coucher à Arles* » où il souhaitait suggérer l'idée de repos par une utilisation particulière de combinaison de couleurs.



Vincent Van Gogh (1853-90) ⁵⁴ – *Le semeur* (1888)

Musée Van Gogh, Amsterdam



Vincent Van Gogh – *La chambre à coucher* (1888)

Musée Van Gogh, Amsterdam

52. https://fr.wikipedia.org/wiki/Claude_Monet

53. https://fr.wikipedia.org/wiki/Paul_Signac

54. https://fr.wikipedia.org/wiki/Vincent_van_Gogh

En résumé

Les concepts développés par Chevreul, *bien que théoriques*, ont influencé, il est vrai le plus souvent indirectement, les impressionnistes, les post-impressionnistes, le cubisme orphique et plus directement le *simultanéisme* au XX^e siècle, *mouvement artistique développé par le couple Sonia (1885-1979) et Robert Delaunay (1885-1941) qui consistait à introduire le principe du contraste simultané de couleurs dans la peinture, le textile, la mode vestimentaire et dans la décoration*. L'un des aspects les plus révolutionnaires de la technique picturale des impressionnistes est l'utilisation de la couleur très différente des règles enseignées par l'Académie.

L'exploitation des idées de Chevreul, même si elle ne fut pas théoriquement évidente, conduisit à l'abolition des tons gris, à une luminosité des tableaux toujours plus grande et à une expression picturale reposant sur les contrastes colorés. Concrètement, il a fourni aux pionniers de la peinture abstraite des règles pour organiser les relations pures des couleurs, et c'était exactement ce dont ils avaient besoin : c'était très attrayant pour les peintres préoccupés par les combinaisons de couleurs indépendantes du rendu de la nature. Un exemple déjà évoqué est Robert Delaunay, pionnier de l'art abstrait qui était fasciné par les idées de Chevreul.

Au cours du XX^e siècle, il est devenu de plus en plus difficile de retracer l'influence de Chevreul, notamment parce que son traité a été remis en cause par des théories plus récentes. Cela ne signifie pas pour autant que ses enseignements n'ont plus aucune pertinence. Au contraire, ils sont toujours vivants précisément dans le domaine de l'enseignement des couleurs en raison du nombre impressionnant d'expériences et de tests de combinaisons de couleurs qu'il a effectués.

Conclusions

Au regard des considérations précédentes, on peut raisonnablement se demander si les approches scientifiques et artistiques sont compatibles ou exclusives ? Elles procèdent évidemment de schémas de pensées (très) différents mais sont-elles pour autant nécessairement incompatibles ni inconciliables ? De nombreux éléments plaident en faveur d'une complémentarité salutaire tant pour l'Art que pour la Science. *Il n'est donc pas question de les opposer mais bien d'en rechercher et dégager les éléments qui leur permettent de s'épauler et de se renforcer dans un souci d'émulation et de complémentarité mutuelles*⁵⁵.

Toute tentative de classement des couleurs fondée sur l'observation de la sensation de couleur montre que *l'apparence est tridimensionnelle*. Trois paramètres élémentaires ressortent :

- *la teinte* : rouge, jaune, vert, bleu, . . . ,
- *la saturation*, degré de coloration généralement déterminé par la fraction de radiation blanche contenue dans le rayonnement coloré,
- *la luminosité*, résultant du niveau énergétique du rayonnement relativement à celui du champ environnant,

chacun de ces paramètres peut varier continûment et indépendamment.

Les teintes forment une suite fermée, la saturation couvre un domaine allant du plus coloré au blanc, et la luminosité varie d'un maximum (inférieur à l'éblouissement) au noir (l'absence de lumière). L'expérience montre par ailleurs que *presque toutes les couleurs peuvent être créées ou restituées par le mélange en quantités appropriées de trois « lumières primaires » de couleurs rouge, verte et bleue très saturées*. C'est un autre aspect du caractère tridimensionnel du domaine des couleurs. Le caractère tridimensionnel des couleurs est d'ailleurs « implicitement prévu » par la première loi (colorimétrique) de *Grassmann*⁵⁶.

Définissant la *teinte d'une couleur* par la longueur d'onde λ de la radiation monochromatique équivalente et ses deux autres dimensions par les luminances L_λ et L_B de cette radiation et de la

55. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Couleur>

56. Paul Kowaliski, *Vision et mesure de la couleur*, éd. Masson – Physique fondamentale et appliquée, 2^e édition actualisée (1990), Chapitre IV, pp.124-126 ; https://fr.wikipedia.org/wiki/Lois_de_Grassmann ; Hermann Günther **Grassmann** (1809-1877), https://fr.wikipedia.org/wiki/Hermann_G%C3%BCnther_Grassmann

radiation blanche que la couleur contient, la *saturation* $p_c = L_\lambda/L$; $L = L_\lambda + L_B$; L est la somme des luminances (intensités lumineuses en langage courant). L , λ et p_c définissent quantitativement les paramètres physiques de la couleur étudiée. Il ne s'agit que d'une des manières de représenter une couleur, la *CIE* (Commission Internationale de l'Éclairage) a défini plusieurs systèmes (notamment CIE 1931 et 1976) permettant de définir et reproduire une couleur avec de plus en plus de précision ⁵⁷.

Merci Monsieur Sohet, outre l'excellence de vos exposés et présentations, vous m'avez obligé à sortir de ma sphère de confort et entraîné à considérer un « *pan de la colorimétrie* » que j'avais « *malencontreusement négligé* », auquel je n'avais pas suffisamment accordé d'attention, *celui du monde des Arts qu'il ne faut surtout pas opposer à celui des Sciences parce qu'ils sont complémentaires*.

57. Op cit, pp.48-49 et 240-244 ; <https://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition>