

# Comment interpréter l'expérience du disque de Newton ?

par **Julien DELAHAYE**

CNRS - Institut Néel - 38042 Grenoble Cedex 9

julien.delahaye@neel.cnrs.fr

et **Sylvie ZANIER**

PhITEM (Physique, Ingénierie, Terre, Environnement, Mécanique)

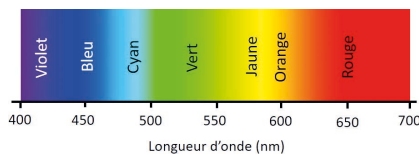
Université Grenoble Alpes - 38041 Grenoble Cedex 9

sylvie.zanier@univ-grenoble-alpes.fr

**E**N 1666, NEWTON A DÉCOMPOSÉ LA LUMIÈRE blanche avec un prisme pour faire apparaître les couleurs dites de « l'arc-en-ciel ». Il a représenté ces couleurs sur un disque, que nous faisons couramment tourner pour retrouver du blanc. Mais cette expérience est-elle vraiment la symétrique de celle du prisme ? Nous allons voir ici, avec l'aide d'un spectromètre et d'un microscope numérique, qu'alors que l'expérience du prisme renseigne sur la nature de la lumière et ses composantes spectrales, l'expérience du disque renseigne plutôt sur le fonctionnement de notre système visuel.

## 1. LE DISQUE DE NEWTON : UN DISQUE « ARC-EN-CIEL » QUI DEVIENT « BLANC » EN TOURNANT

Un disque de Newton est un disque dont les couleurs des secteurs ont été choisies dans le spectre de la lumière blanche, couleurs communément appelées de « l'arc-en-ciel ». Le nombre et le choix des couleurs, ainsi que les tailles relatives des différents secteurs, peuvent varier d'un disque de Newton à l'autre.

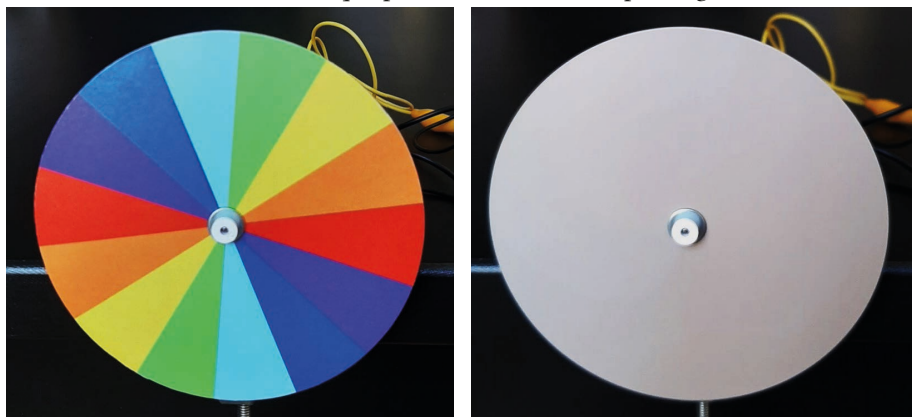


**Figure 1** - Spectre de la lumière blanche (en fonction de la longueur d'onde dans le vide) et principales couleurs associées<sup>(1)</sup>.

Dans l'exemple que nous étudions ici (disque commercialisé par « 123 Couleurs »),

(1) **NDLR** : Les images de cet article ont été converties de RVB en CMJN, obligation pour une impression, par conséquent vous trouverez les originaux sur le site de l'UdPPC.

le disque comporte deux fois sept secteurs de tailles identiques et aux couleurs suivantes : violet, bleu, cyan, vert, jaune, orange et rouge. Quand le disque est mis en rotation (dans notre cas avec un moteur électrique), l'œil ne parvient plus à distinguer les différentes couleurs et le disque paraît blanc, en réalité plutôt gris.



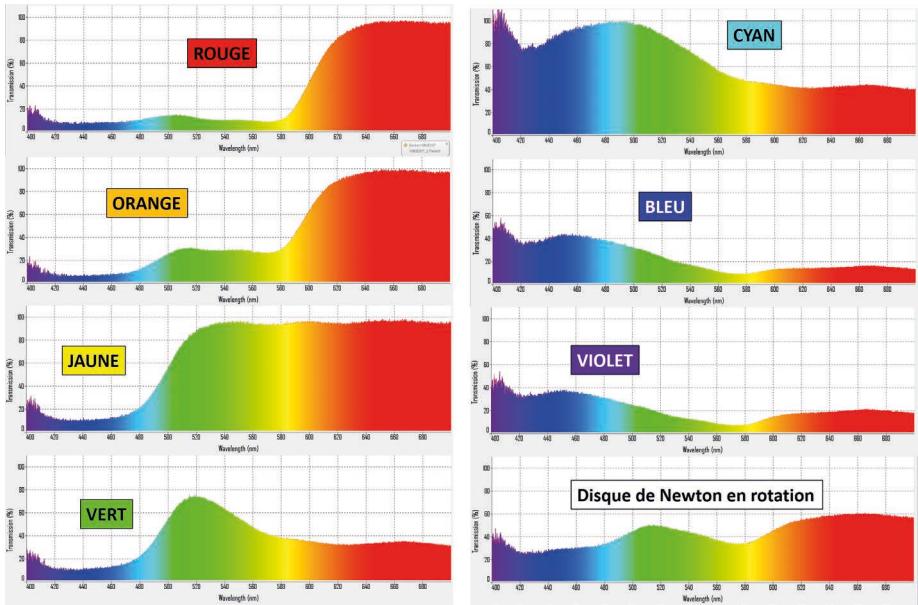
**Figure 2** - Disque de Newton à l'arrêt (à gauche) et en rotation (à droite).  
Le disque est éclairé à la lumière du jour et photographié avec un smartphone<sup>(2)</sup>.

## 2. MESURES SPECTROSCOPIQUES DU DISQUE

Afin de mieux comprendre ce qui se passe dans cette expérience, nous avons mesuré les spectres de réflexion des sept secteurs colorés et du disque en rotation. Nous avons pour cela pointé la fibre d'un spectromètre CCD sur une zone du disque (fixe ou en rotation) éclairé à l'aide d'une lampe halogène (l'expérience pourrait se faire aussi à la lumière du Soleil) après avoir pris un spectre de référence avec une feuille blanche. Les spectres affichés sur la figure 3 (cf. page ci-contre) représentent le pourcentage de lumière réfléchi par le disque par rapport à la feuille blanche. Le temps de pause (quelques dizaines de millisecondes (ms)) est suffisamment long pour que le spectromètre moyenne la lumière réfléchi par l'ensemble des secteurs du disque en rotation.

Les spectres de réflexion des secteurs bleu, vert et rouge montrent que ces secteurs réfléchissent préférentiellement des gammes de longueurs d'onde étendues, respectivement dans les zones bleue, verte et rouge du spectre. Pour les autres secteurs, les gammes de longueurs d'onde préférentiellement réfléchies sont encore plus larges et ne se limitent absolument pas aux longueurs d'onde correspondant à la couleur des secteurs. Pour le secteur jaune par exemple, le coefficient de réflexion est proche de 100 % pour toutes les longueurs d'onde supérieures à environ 520 nm, donc pas seu-

(2) Une vidéo est disponible sur la chaîne YouTube : <https://youtu.be/odZoxlvgBw4>



**Figure 3** - Spectres de réflexion des différents secteurs colorés du disque (à l'arrêt) et du disque en rotation. L'échelle horizontale représente les longueurs d'onde de 400 à 700 nm, l'échelle verticale le pourcentage de réflexion, par rapport à une feuille blanche, de 0 à 100 %.

lement autour de la zone jaune du spectre (570–580 nm). Si le disque est éclairé par une lumière blanche avec une composition spectrale large, les lumières réfléchies par les différents secteurs seront donc très différentes des lumières spectralement pures qu'on obtient dans une expérience de décomposition.

Le fait que deux compositions spectrales différentes puissent donner la même couleur s'explique par le fonctionnement de notre système visuel. La couleur est une sensation, déterminée notamment par les réponses spectrales des trois types de récepteurs (les cônes) présents sur notre rétine. Et si une longueur d'onde du spectre peut-être associée à une couleur, la réciproque n'est pas vraie ! Une sensation colorée jaune par exemple est associée à l'activation des cônes dits « rouges » et « verts », ce qui peut s'obtenir en regardant une lumière monochromatique jaune (cas du jaune observé dans une expérience de décomposition) ou un mélange de tout sauf la partie bleue du spectre (cas du secteur jaune observé sur notre disque de Newton).

Le spectre de réflexion mesuré sur le disque en rotation est logiquement la moyenne des spectres de réflexion des différents secteurs colorés. On observe un coefficient de réflexion variant peu sur l'ensemble du domaine visible. Quand le disque est éclairé par une lumière blanche, nos trois types de cônes sont donc activés de façon

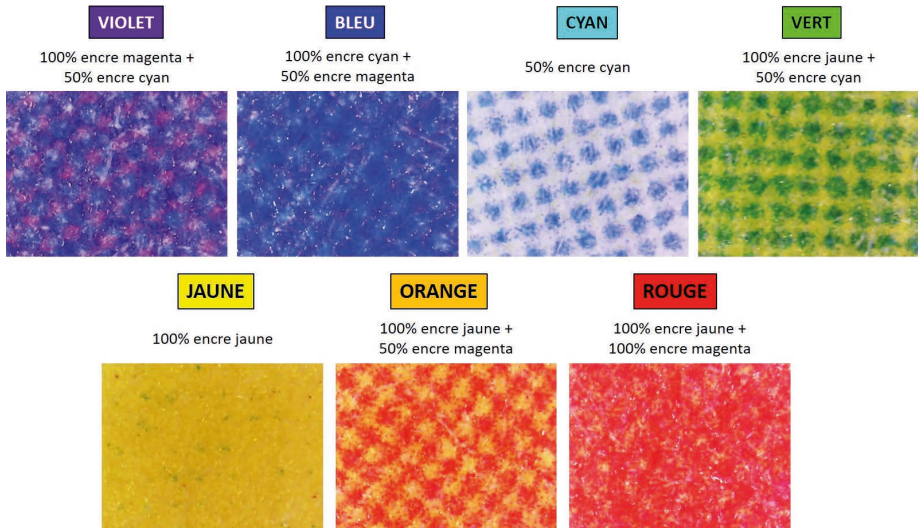
comparable : c'est ce qu'on appelle du blanc, ou du gris si la luminosité est faible. Une feuille blanche « idéale » a un coefficient de réflexion de 100 % à toutes les longueurs d'onde. Une surface qui, comme le disque, a un coefficient de réflexion proche de 40 % à toutes les longueurs d'onde est donc vue comme un blanc moins lumineux, c'est-à-dire un gris. Le rendu final du disque en rotation dépend bien sûr du spectre de la source lumineuse et des conditions d'observation (il paraîtra par exemple plus clair sur un fond noir et plus foncé sur un fond blanc).

### 3. OBSERVATIONS DU DISQUE À L'AIDE D'UN MICROSCOPE NUMÉRIQUE ET MODÉLISATION DES SPECTRES

Pouvons-nous aller plus loin et chercher à expliquer les caractéristiques des spectres de réflexion mesurés sur les différents secteurs colorés ? Il faut pour cela partir d'une évidence : la coloration des secteurs d'un disque de Newton est induite par la présence, dans la matière qui compose le disque, de colorants et/ou de pigments. Dans notre exemple, les secteurs colorés ont été imprimés sur du papier blanc, puis collés sur un support en carton. Les couleurs ont donc été obtenues par le procédé de la quadrichromie, à partir d'encre cyan, magenta, jaune et noire (CMJN), en utilisant le blanc de la feuille et les règles de la synthèse soustractive des couleurs (par exemple, une superposition d'encre jaune et magenta donne du rouge) [1].

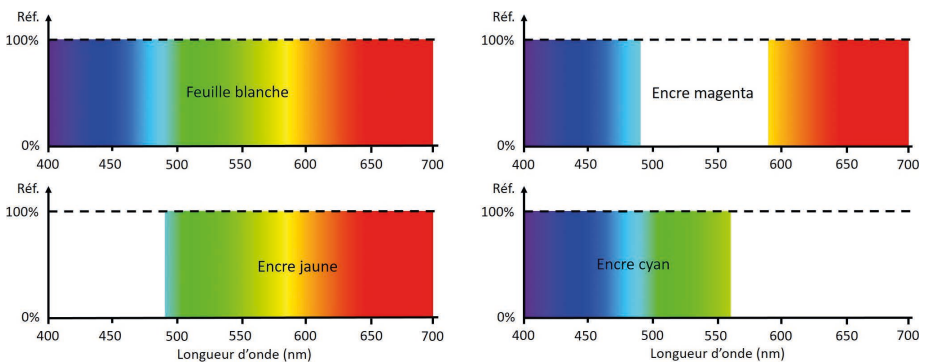
Une observation des différents secteurs à l'aide d'un microscope numérique confirme cela, et nous permet même de savoir quelles encres ont été déposées sur les différents secteurs et dans quelles proportions (cf. figure 4, page ci-contre). Ces observations réservent quelques surprises. Par exemple, la couleur du secteur vert n'est pas obtenue par une couverture complète de la feuille par des encres jaune et cyan : l'encre cyan couvre moins de 50 % de la surface (superposée sur le fond d'encre jaune, cela donne une trame de points verts). Autre exemple : la couleur du secteur cyan est loin d'être saturée et une grande partie de la feuille blanche n'est pas recouverte d'encre cyan. Ces choix d'impression traduisent la difficulté qu'il y a à s'approcher du rendu des couleurs spectrales avec des pigments et/ou des colorants.

Il est ensuite possible, à partir de ces images, de retrouver les caractéristiques principales des spectres de réflexion mesurés sur les différents secteurs. On suppose pour cela que les encres obéissent au comportement « idéal » suivant, déduit des spectres de transmission de filtres colorés : l'encre jaune absorbe 100 % de la lumière en dessous de 490 nm (gamme des bleus) et réfléchit le reste ; l'encre cyan absorbe 100 % de la lumière au-delà de 560 nm (gamme des rouges) et réfléchit le reste ; et l'encre magenta absorbe 100 % de la lumière entre 490 et 590 nm (gamme des verts) et réfléchit le reste. La feuille blanche (sans encre) est quant à elle supposée réfléchir 100 % de la lumière incidente. Connaissant même très approximativement le taux de couverture des encres, on peut alors déduire une estimation du spectre de réflexion des différents secteurs. Par



**Figure 4** - Observation des différents secteurs du disque à l'aide d'un microscope numérique. La largeur d'une image correspond à environ 1 mm. Les taux de couverture des différentes encres indiqués au-dessus des images sont très approximatifs.

exemple, pour le secteur vert : l'encre jaune couvre 100 % de la surface de la feuille, ce qui signifie que toute la gamme des bleus (en dessous de 490 nm) est entièrement absorbée ; l'encre cyan couvre environ 50 % de la surface de la feuille, et donc la gamme des rouges (au-delà de 560 nm) sera absorbée à 50 %. On retrouve bien l'allure du spectre de réflexion mesuré sur le secteur vert (cf. figure 3, pages précédentes). Vous trouverez plus de détails sur cette modélisation dans la référence [2].



**Figure 5** - Spectres de réflexion « idéaux » pour une feuille blanche et des encres jaune, cyan et magenta. À partir de ces spectres et des observations de la figure 4, il est possible de comprendre, au moins qualitativement, les spectres mesurés sur les différents secteurs du disque.

## CONCLUSION : DU DISQUE DE NEWTON AU DISQUE DE MAXWELL

Ces résultats nous montrent que l'expérience du disque de Newton est avant tout une expérience sur le fonctionnement de notre système visuel, et qu'il est pour le moins hasardeux de vouloir en faire une expérience symétrique de la décomposition de la lumière blanche. Historiquement, ce disque a d'ailleurs été introduit par Isaac Newton pour proposer une nouvelle classification des couleurs, et pas pour le faire tourner [3]. Si le disque est blanc quand il tourne, ou plutôt gris, c'est parce que la lumière qu'il nous renvoie active les trois types de cônes présents sur notre rétine. Le fait d'obtenir du gris sur un disque en rotation n'est en rien une propriété exclusive des couleurs de l'arc-en-ciel. Beaucoup d'autres combinaisons de couleurs sont possibles, comme par exemple les couples de couleurs complémentaires jaune et bleu, cyan et rouge, ou vert et magenta, alors même que le magenta, rappelons-le, n'est pas une couleur de l'arc-en-ciel. Et si l'on veut étudier, non pas la nature de la lumière blanche et ses composantes spectrales, mais le fonctionnement de l'œil avec les réponses de ses trois capteurs spécifiques, il est plus pertinent d'utiliser les couleurs primaires de la synthèse additive : le rouge, le vert et le bleu. Le mélange de deux primaires donnera du cyan (rouge et vert), du magenta (rouge et bleu) ou du jaune (vert et bleu) quand le mélange des trois primaires donnera du gris. Avec un coloriage astucieux du disque, on peut même passer d'un disque rouge, vert et bleu à l'arrêt, à un disque cyan, magenta et jaune quand il tourne (cf. figure 6) ! On ne parlera alors plus de disque de « Newton », mais de disque de Maxwell, en mémoire aux travaux de James Clerk Maxwell sur la vision des couleurs (datant de 1855, soit près de deux cents ans après



**Figure 6** - Disque de Maxwell avec des secteurs rouge, vert et bleu, à l'arrêt (à gauche) et en rotation (à droite).

(3) Une vidéo est disponible sur la chaîne YouTube : <https://youtu.be/tBqvGQbosHA>

ceux de Newton) [4], et sans guillemets cette fois, car Maxwell a vraiment fait tourner ses disques colorés !

## BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] J. Delahaye et S. Zanier, «Les supports imprimés à la loupe».  
Page consultée le 8 novembre 2021 : <https://www.123couleurs.fr/exp%C3%A9riences/exp%C3%A9riences-mati%C3%A8re/em-impressionsloupe/>
- [2] J. Delahaye et S. Zanier, «Le disque de Newton : attention à ne pas lui faire dire ce qu'il ne dit pas».  
Page consultée le 8 novembre 2021 : <https://www.123couleurs.fr/articles/disquenewton/>
- [3] I. Newton, *Optique*, Dunod, 2015.
- [4] G. Peruzzi, « Voir, c'est voir en couleurs », *Les génies de la Science*, n° 24 : Maxwell, p. 52, 2005.

### Complément de l'article

*Cet article comporte un complément qui regroupe les originaux des figures en RVB. L'ensemble est disponible sur le site de l'UdPPC sous la forme d'un fichier zippé 10391119.*



**Julien DELAHAYE**

*Chercheur CNRS  
Institut Néel  
Grenoble (Isère)*



**Sylvie ZANIER**

*Professeure agrégée de physique  
Université Grenoble Alpes  
Grenoble (Isère)*