REVEL NICE
REVUES ÉLECTRONIQUES DE L'UNIVERSITÉ DE NICE

http://revel.unice.fr

CULTURE - SCIENCE - TECHNIQUE

Alliage

**Pour citer cet article :**

Dorothée Devaux, Bernard Maitte,
" Newton, les couleurs et la musique ",
Alliage, n°59 - Décembre 2006, , ,
mis en ligne le 02 août 2012.
URL : http://revel.unice.fr/alliage/index.html?id=3530

Voir l'article en ligne

***AVERTISSEMENT***

*Les publications du site REVEL sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.*

***Conditions d'utilisation - respect du droit d'auteur et de la propriété intellectuelle***

*L'accès aux références bibliographiques et au texte intégral, aux outils de recherche ou au feuilletage de l'ensemble des revues est libre, cependant article, recension et autre contribution sont couvertes par le droit d'auteur et sont la propriété de leurs auteurs.*

*Les utilisateurs doivent toujours associer à toute unité documentaire les éléments bibliographiques permettant de l'identifier correctement et notamment toujours faire mention du nom de l'auteur, du titre de l'article, de la revue et du site Revel. Ces mentions apparaissent sur la page de garde des documents sauvegardés sur les postes des utilisateurs ou imprimés par leur soin.*

*L'université de Nice-Sophia Antipolis est l'éditeur du portail REVEL@Nice et à ce titre détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation du site.*
*L'exploitation du site à des fins commerciales ou publicitaires est interdite ainsi que toute diffusion massive du contenu ou modification des données sans l'accord des auteurs et de l'équipe Revel.*

REVEL revues électronique de l'UNS - plate-forme pepinière

# Newton, les couleurs et la musique

Dorothée Devaux

Professeur de sciences physiques en collège, elle pratique l'art lyrique, et est médaille d'or de solfège.

Bernard Maitte

Physicien et historien des sciences, professeur des universités, directeur du Centre d'histoire et d'épistémologie des sciences de l'université de Lille 1. Il a récemment publié Histoire de l'arc-en-ciel, Seuil, 2005.

fr

126-138

Décembre 2006

Nous avons tous appris qu'il y a sept couleurs : sept couleurs peintes d'après un prisme, sept couleurs de l'arc-en-ciel… Ce nombre sept nous vient de l'affirmation répétée, de la démonstration même, d'Isaac Newton (1643-1727). Celui-ci, alors même qu'il renverse la conception bimillénaire faisant du blanc une couleur homogène et pure, et des couleurs des mélanges, des atténuations, des « mises en acte » différentes ; il identifie sept couleurs « primitives » et montre que leur mélange produit le blanc. Newton adopte explicitement ce dénombrement afin de pouvoir mettre en correspondance les couleurs « simples » et les notes de musique. C'est sur la justification qu'il donne de cette mise en relation que nous allons nous pencher.

## Les premières études sur les couleurs

Lorsque le jeune Newton aborde l'étude des couleurs (1665), un seul de nos sens est mathématisé, l'ouïe, depuis que les pythagoriciens ont relié notes de musique et longueurs des cordes vibrantes. Une tradition séculaire distingue alors sept notes et fait de la musique, pour sa perfection, le couronnement des études dans les Facultés des Arts. D'emblée, Newton se montre partisan d'une conception corpusculaire de la lumière, qui

> « ne peut pas être une pression… car dans ce cas nous verrions de nuit…aussi bien qu'en plein jour » [1].

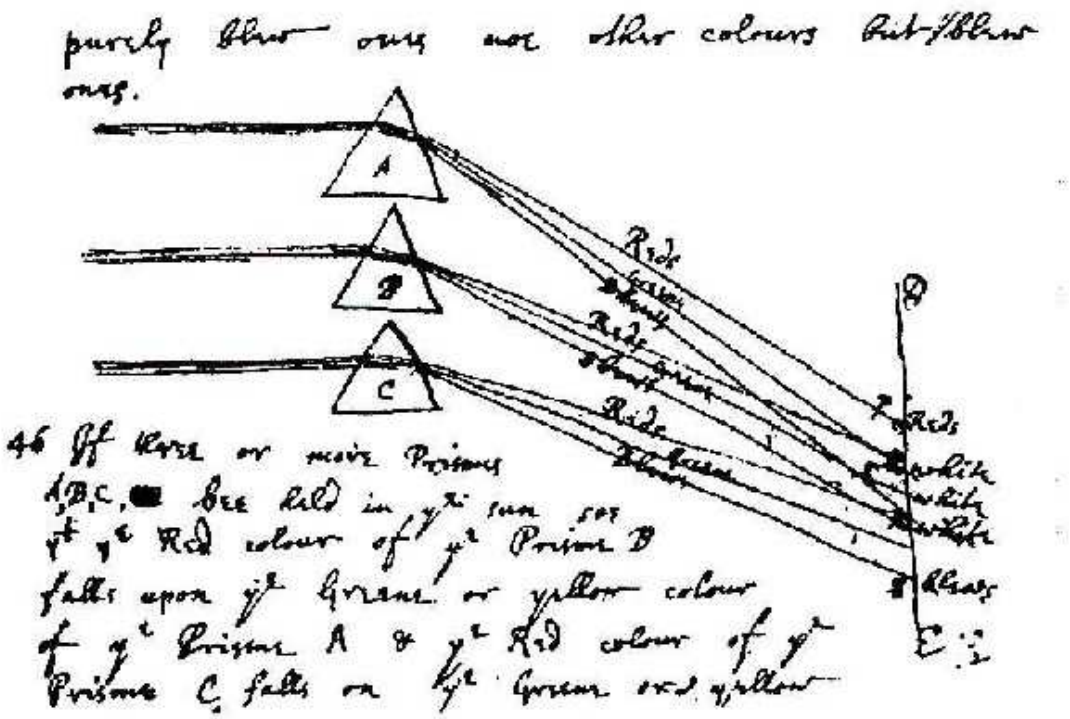
Il observe au travers d'un prisme la limite tracée sur un corps entre des surfaces, l'une ombragée, l'autre blanche : elle paraît colorée ; il y distingue alors du bleu, du vert, du jaune, du rouge.

À cette époque, il considère encore, dans la filiation aristotélicienne, la lumière blanche comme homogène, les couleurs comme un mélange d'obscurité et de lumière. Il explique que la couleur est une illusion créée par notre *sensorium*. Cette illusion vient d'un processus physique initial qui agit sur l'œil : ou bien les rayons colorés vont à des vitesses différentes ou bien ils sont associés à des corpuscules de grosseurs différentes. Newton veut préciser ces sensations colorées. Pour cela, il accumule les expériences faisant apparaître les couleurs : en pressant l'œil, en observant par réflexion, par réfraction, entre les barbes d'une plume, en considérant des tissus colorés, des précipités de réactions chimiques, des prismes… Il s'aperçoit alors que la lumière blanche pourrait aussi bien être homogène qu'hétérogène, les couleurs également. Pour trancher, il s'installe dans une pièce obscure, fait pénétrer un rayon solaire par un trou percé dans un volet, fait tomber des rayons parallèles sur un prisme et observe sur le mur opposé une tache oblongue colorée (1666). Il y distingue trois couleurs, rouge, vert et bleu. Il prend alors plusieurs prismes, fait tomber sur eux de la lumière solaire, observe que le rouge est toujours le moins dévié, le bleu toujours le plus. Dans la zone de l'écran où les couleurs dispersées par les prismes – il en distingue maintenant cinq, rouge, vert, bleu et pourpre – se superposent, il observe du blanc (figure 1). Plusieurs autres expériences le persuadent que le blanc est hétérogène, les couleurs homogènes, qu'à chacune

[1] Isaac Newton, Carnet de notes, présenté par A. R. Hall, « Further Optical Experiments of Isaac Newton », *Annals of Science*, n° 111,1995, n. 40, p. 246.

de celles-ci est lié « un degré de réfrangibilité » (indice de réfraction) différent. Ceci l'amène à concevoir et à construire un télescope sans lentilles (toujours dispersives, selon lui) : à réflexion. Cette découverte lui permet d'obtenir, en 1669, une chaire à Cambridge et d'être élu, en 1671, à la Royal Society.

**Figure 1**




Dans ses cours à Cambridge, prononcés devant un public très restreint d'étudiants et qui seront publiés après sa mort, les *Lectiones Opticæ* ([2]), Newton présente, évidemment, ses expériences sur les prismes et les couleurs. Entre 1669 et 1671, il explique qu'il y a cinq couleurs principales (rouge, jaune, vert, bleu, violet) et un nombre indéfini de couleurs secondaires. Dans une révision de son cours datant de 1672, on note une modification de sa conception : les couleurs « simples » sont maintenant au nombre de sept, Newton ayant ajouté aux cinq précédentes l'orange et l'indigo, afin que les différentes parties accordées à chacune des couleurs dans le spectre soient entre elles dans des rapports plus élégants. C'est donc une question de beauté et d'harmonie qui lui fait dénombrer sept couleurs. La même année, Newton met en forme toutes ses expériences sur les couleurs et rédige une longue lettre qu'il adresse, le 6 février 1672, à la Royal Society. Elle est lue en l'absence de Newton deux jours plus tard, par le secrétaire de la société, Oldenburg, et contient une théorie des couleurs totalement novatrice par rapport aux conceptions antérieures. Il note :

> « [Ma conception permet à] la science des couleurs de devenir mathématique [car]…l'accord entre les couleurs et la réfrangibilité est très précis et très strict. » Newton écrit un peu plus loin : « Il y a deux sortes de couleurs : les couleurs simples et primitives d'une part, leurs mélanges d'autres part. Les couleurs primitives ou primaires sont le rouge, le jaune, le vert, le bleu, un violet pourpre, avec aussi l'orange, l'indigo et une variété indéfinie de nuances intermédiaires. » [3]

Sept couleurs primitives donc, comme dans les cours, mais avec un statut un peu particulier pour l'orange et l'indigo, ajoutés à la liste sans tenir compte de leur position dans le spectre. Un passage de la lettre établit une analogie entre couleurs et sons. La réception de la lettre de Newton est ambiguë : initialement très satisfaite, la Royal Society désigne une

[2]Isaac Newton , *Lectiones Opticae…*, voir A. E. Shapiro, *Optical Papers of Isaac Newton*, Cambridge University Press, 1984.

[3]Isaac Newton, « Lettre à Oldenburg », *Philosophical Transactions*, 80, 19 février 1671-1672, p. 3075-3087. La lettre a été partiellement traduite en français par M. Blay, *La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur,* Paris, Vrin, 1983, p. 179-189.

commission pour l'examiner. Huit jours plus tard, le compte rendu tombe, qui exprime une divergence fondamentale avec Newton. Celle-ci est ensuite précisée à plusieurs reprises par Robert Hooke (1635-1703), qui présidait la commission : ce n'est pas la conception de la dispersion des couleurs ni leur nombre qui est surtout en cause, mais la théorie corpusculaire de la lumière qui la sous-tend. Hooke, farouche partisan d'une théorie ondulatoire, reconnaît la réalité des résultats expérimentaux, qu'il « a trouvé avant [Newton]», mais reproche à celui-ci de mêler le compte rendu des expériences et leur interprétation, conteste celle-ci en ce que, pour lui, les couleurs ne préexistent pas dans la lumière solaire,

> « pas plus que les sons que l'on entend s'échapper des tuyaux d'orgue ne doivent être en premier lieu dans l'air de la caisse de la soufflerie ou bien dans la corde où par la suite ils seront produits en diversifiant les arrêts et les chocs. » [4]

Voici une autre analogie musicale, utilisé a contrario contre Newton. Dépité, celui-ci écrit à Oldenburg :

> « J'ai l'intention de ne plus m'occuper de philosophie…vous favoriserez ma détermination en empêchant les objections ou d'autres lettres me concernant. » [5]

## La correspondance entre notes et couleurs

Entre 1664 et 1666, Newton avait produit plusieurs brouillons et un texte « Of Musick », dans lesquels il compile des renseignements sur les intervalles musicaux selon l'échelle de Zarlino, utilisée alors. [6] Dans la lettre à Oldenburg de 1672, il discute les intervalles musicaux.

En 1675, Newton écrit une autre lettre, à Oldenburg. Il revient sur les sept couleurs « simples » : il indique que la lumière produit dans l'œil des vibrations qui excitent le nerf optique et produisent les mêmes harmonies et discordances que celles engendrées par les sons. Il répartit donc les couleurs selon des proportions précises, ordonnées conformément, dit-il, aux règles de l'harmonie musicale. [7] Pourtant, dans l'œuvre majeure de Newton, celle par laquelle il reprend contact avec la philosophie, établit la « gravitation universelle », invente le calcul infinitésimal, les *Principia mathematica*…, adressés à la Royal Society en 1676, publiés l'année suivante, Newton n'évoque que très brièvement la lumière. Il ne fait que l'intégrer dans sa conception du monde, qui s'étend de l'infiniment petit à l'infiniment grand (trajectoires des planètes, cosmos), en se contentant de montrer qu'un mobile passant d'un milieu à un autre et subissant l'action d'une force perpendiculaire à la surface de séparation suit une trajectoire telle que les lois de la réflexion et de la réfraction sont vérifiées. [8] Il précise :

> « À cause de l'analogie qui est entre le mouvement progressif de la lumière, et celui des autres projectiles, j'ai cru nécessaire d'ajouter les Propositions suivantes en faveur des Opticiens. Au reste, je ne m'embarrasse point de la nature des rayons, je n'examine point s'ils sont matériels ou non ; mais je me contente de déterminer les trajectoires des corps, qui peuvent être semblables à celles que décrivent les rayons. » [9]

Newton veut épargner à son œuvre les critiques sur sa théorie de la lumière, mais il ne trompe pas : c'est bien une conception corpusculaire qui sous-tend sa démonstration. Rien sur les couleurs dans ces *Principia*… . Un peu plus loin, il donne cependant les objections qu'il formule à l'encontre d'une théorie ondulatoire de la lumière :

> « Le son s'entend quoiqu'il y ait une montagne entre le corps sonore et nous, et lorsqu'il entre dans une chambre, en sorte qu'on l'entend de tous les coins, non pas tant parce qu'il est réfléchi par les murailles de la chambre opposées au lieu où on l'entend, que parce qu'il y arrive en droiture de la fenêtre… » [10]

Il appuie ce raisonnement par un dessin (fig.2), qui ne saurait s'appliquer à un faisceau lumineux. Réponse indirecte à Hooke.

---

[4]Robert Hooke, *Lettre à Oldenburg du 15 février 1672*, Newton, *Correspondance*, t. 1, p. 114.

[5]*Lettre à Oldenburg du 23 juin 1673*, Newton, *Correspodance*, op. cit., t. 1, p. 117.

[6]Peter Pesic, *Isaac Newton and the Mystery of the Major Sixth: A Transcription of his Manuscript "Of Musick" with Commentary* (October 3, 2006, à paraître).

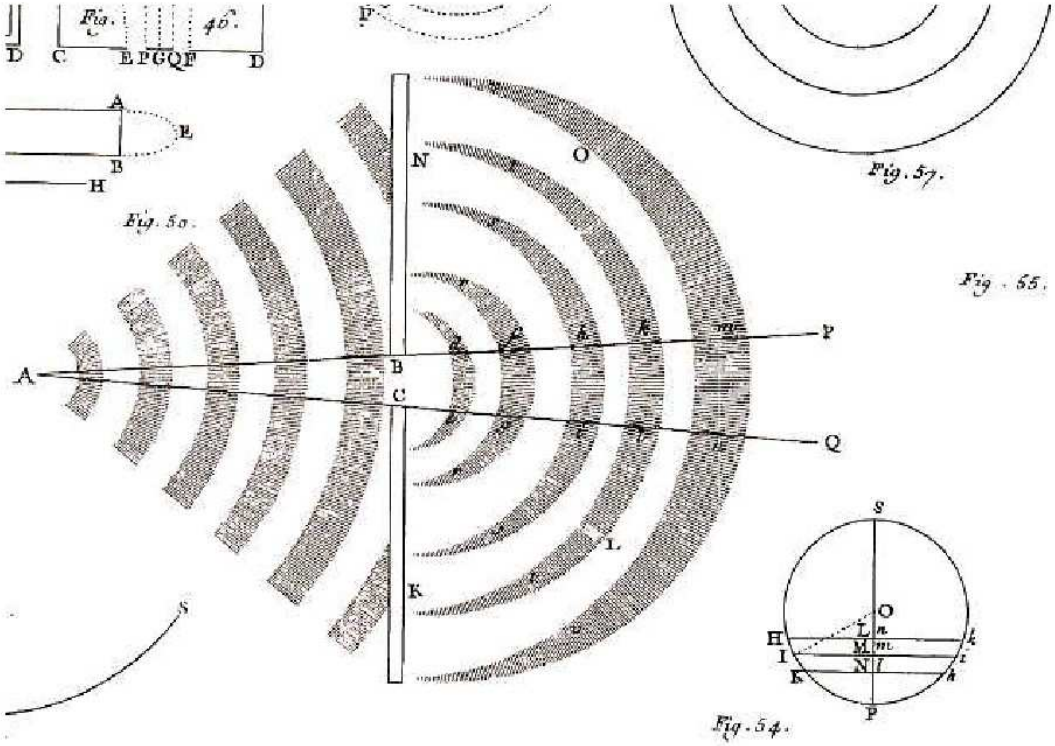
[7]*Lettre à Oldenburg du 7 décembre 1675*, Newton, *Correspodance*, *op. cit*., t. 1, p. 377.

[8]Isaac Newton, *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle*, traduit par la Marquise du Chastelet, Paris, Desaint et Saillant, 1759, livre I, 14ème section, t. 1, p. 235-243.

[9]Isaac Newton, *Principes…, op. cit.*, livre 1, 14ème section, prop. 16, théorème 1, scholie, t.1, p.239-240.

[10]Isaac Newton, *Principes…, op. cit*., livre 2, 8ème section, prop. 42, théorème 33, t.1, p. 397.

**Figure 2**




Quelques mois après la mort de Hooke, en 1703, Newton donne enfin son *Optique*, rédigée bien avant, qui reprend et donne complètement pour la première fois ses travaux et déductions sur la lumière et les couleurs, effectués entre 1665 et 1675. On y retrouve toutes les précisions nécessaires sur la mise en relation des sept couleurs et des sept notes de musique. Newton demeure partisan d'une théorie corpusculaire de la lumière. Il en vient, certes, dans la dernière partie de son ouvrage, à introduire, pour expliquer les couleurs des bulles de savon, des vibrations déclenchées par l'arrivée des rayons lumineux dans un éther emplissant l'espace (les *accès*), mais ne le fait que sous forme de « *questions* ». [11] Fondamentalement, ne nous attendons donc pas à trouver développée une identité entre sons et couleurs, mais la marque que deux phénomènes différents peuvent être quantifiés de la même manière, ce qui permet de mettre la théorie de la lumière en concordance avec l'harmonie générale du monde.

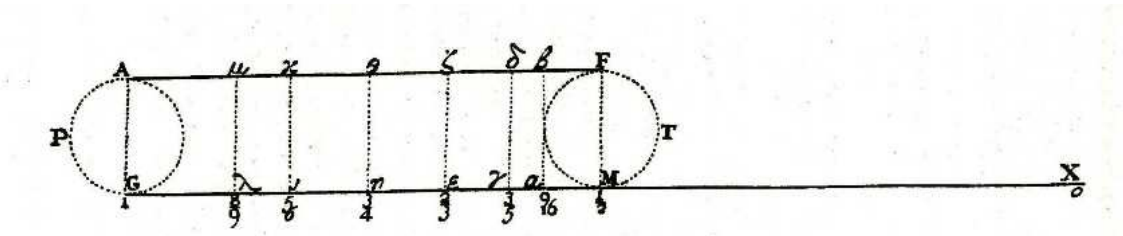
Dans le livre I de l'O*ptique,* Newton décrit les observations et problèmes qui lui permettent ensuite de tirer des conclusions sur la lumière ; il relate ainsi le relevé des positions des couleurs dispersées par prisme :

> « …Une personne…ayant la vue plus pénétrante que moi pouvait mieux discerner les couleurs, tirant en travers sur le spectre les lignes droites… [elle] marquait les confins des couleurs. Et cette opération ayant été répétée plusieurs fois … je trouvai que les observations s'accordaient assez bien et que les côtés rectilignes MG et FA étaient divisés par les dites lignes qui coupaient le spectre de travers, de la même manière qu'est divisée la corde d'un instrument de musique. » [12] (fig.3)

**Figure 3**

[11]Isaac Newton, *Traité d'optique*, reproduction de la seconde édition de la traduction de M. Coste (1722), Paris, Gauthier-Villars, livre III, Questions ? Q. XVII à XXIV et Q. XXVII à XXXI. Voir aussi Bernard Maitte, *La lumière*, Paris, Seuil, Points-Science, 1981 (réed.2002), p. 116 à 151.

[12]Isaac Newton, *op. cit*. (10), livre I, partie II, 3e proposition, problème I., p. 142.




Newton ne voit pas lui-même sept couleurs. Il laisse ce soin à un aide à la vue pénétrante. C'est celui-ci qui trace les limites des couleurs, Newton constate que ces observations sont reproductibles. Objectivement, il peut en tirer une conclusion fondée sur l'expérience : la partition entre les couleurs et celle des cordes vibrantes d'un instrument de musique se fait de la même manière. La mise en relation des notes de la gamme et des couleurs peut donc être affirmée.

Sur cette homologie, Newton s'attarde longuement :

> « Soit GM prolongée en X, de sorte que MX soit égale à GM et imaginez que GX, λX, υX, ηX, εX, γX, αX, MX soient les unes aux autres dans la proportion des nombres 1, 8/9, 5/6, 3/4, 2/3, 3/5, 9/16, 1/2 et qu'ainsi elles représentent les cordes de la clé, du ton, de la tierce mineure, de la quarte, de la quinte, de la sixte majeure, de la septième et de l'octave du dessous de la clé et des intervalles Mα, αγ, γε, εη, ηυ, υλ, λG seront les espaces occupés par différentes couleurs, le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo, le violet. » [13]

L'analogie est très précise. Elle est démontrée. Newton note, en effet, que, en passant du verre dans l'air, les sinus d'incidence (angle i) sont aux sinus des angles de réfraction selon le rapport sinus i/sinus r = 50/77. Lorsqu'il y a dispersion après le prisme, chaque couleur est liée à une différence de réfraction. Pour deux couleurs différentes, les rapports varient donc. Les mesures de *réfrangibilités* permettent d'obtenir des proportions qui sont les mêmes que celles citées pour la musique. L'analogie couleurs/notes s'appuie donc sur une apparente correspondance numérique. Encore faut-il savoir à quoi correspondent, dans le domaine musical, les proportions citées. En d'autres termes, dans quelle échelle sont-elles repérées ?

## Premières difficultés…

Des premières difficultés, d'ordre sémantique, apparaissent d'abord : « cordes de la clé » est une expression imprécise. Quelle clé est-elle concernée ? Depuis la Renaissance, on en compte… sept. Celle d'ut ? et que sont les « cordes » de cette clé ? Pourquoi ne pas parler de tons, d'intervalles ? Pourquoi préciser tierce « mineure » et sixte « majeure » et ne pas qualifier la quarte, la quinte (sont-elles « justes » ?), la septième (est-elle mineure ou majeure ?).

Une imprécision plus grande affecte ce qui semble le plus précis : les proportions indiquées. Pour caractériser les différents intervalles musicaux, il faut connaître, nous l'avons dit, dans quelles échelles ils sont notés. Or, à partir de 1660, l'Angleterre voit son activité musicale stimulée par Charles II. Celui-ci développe la musique de cour, lui fait jouer un rôle éducatif essentiel, la réserve à une élite, incite ses musiciens à se déplacer en France et en Italie pour qu'ils se forment, composent à la française ou à l'italienne, perfectionnent l'institution musicale. Il s'ensuit que plusieurs échelles sont alors utilisées en Angleterre, des plus traditionnelles (pythagoriciennes) aux nouvelles (celle de Werckmeister). Nous allons voir que les rapports qu'elles introduisent entre les notes sont différents. Nous devons donc décrire les échelles, afin de pouvoir déterminer celle à laquelle fait référence Newton.

Les échelles pythagoriciennes, les plus anciennes, employées en Grèce antique et au Moyen Âge, s'introduisent de manière naturelle. Elles sont entièrement basées sur l'utilisation de la division de longueurs d'objets sonores, tels que cordes vibrantes ou tuyaux, par des nombres ou des fractions simples, créant ainsi des intervalles purs tels que la quinte ou l'octave de rapports naturels respectifs 3/2 et 2 .Elles présentent un pseudo-cycle de cinq quintes, dont chacun a un rapport de 3/2.

[13] *Ibid* p. 143.

Partons du do, associé au rapport 1 et multiplions le par 3/2, on obtient ainsi le sol, placé à la quinte d'un rapport 3/2. Répétons l'opération, on obtient le ré, à une quinte du sol précédent et situé dans l'octave supérieure de celle de départ. Nous obtenons 9/4 (3/2 ×3/2) que l'on divise par 2, puisqu'elle est à l'octave supérieure, ce qui donne 9/8. Le processus est effectué par quintes ascendantes.

Pour l'enchaînement des premières, nous aboutissons au tableau suivant :

| do | ré | mi | sol | la | si | do |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/8 | 81/64 | 3/2 | 27/16 | 243/128 | 2 |

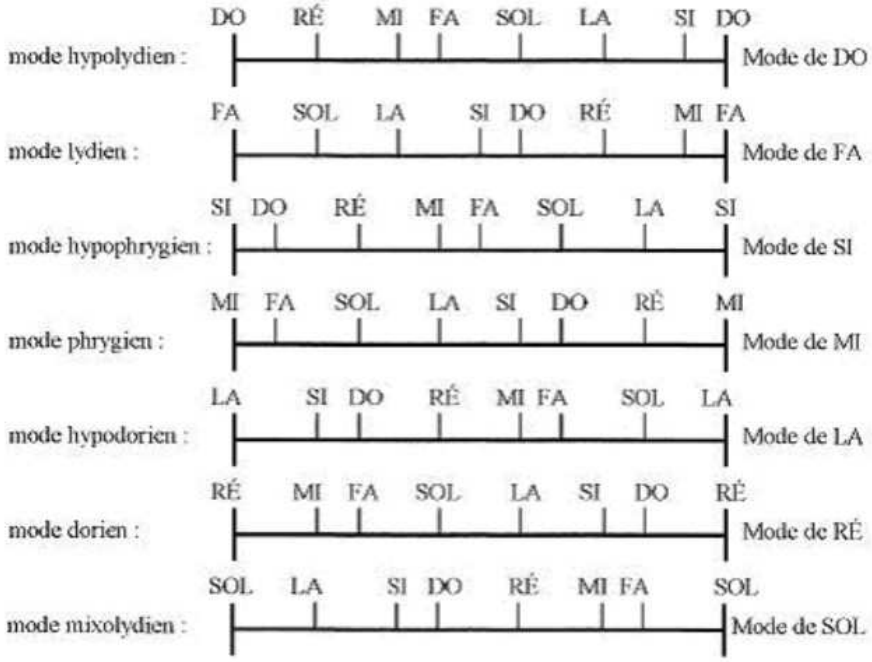
En continuant par quinte ascendante, nous obtiendrions les rapports liés aux notes fa#, do#, sol#, ré#, la# et mi#. Il nous manque alors ceux répondant aux notes fa, si b, mi b. Pour les obtenir, on procède désormais de façon inverse, c'est-à-dire en divisant par 3/2, ce qui revient à multiplier par 2/3 et en respectant également le rapport de 2 pour revenir dans l'octave initiale, ce qui donne finalement :

| do | ré | mi b | mi | fa |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/8 | 32/27 | 81/64 | 4/3 |

| sol | la | si b | si | do |
|---|---|---|---|---|
| 3/2 | 27/16 | 16/9 | 243/128 | 2 |

Il est cependant essentiel d'observer que l'intervalle formé par la succession des douze quintes pures, qui s'étend de do à si#, est légèrement supérieur à l'intervalle de sept octaves consécutives. Ces deux progressions coïncident à un comma pythagoricien près (Comma pythagoricien : excédent relatif entre les douze quintes pures et les sept octaves. Ce rapport est égal à $(3/2)^{12}/2^{7} = 3^{12}/2^{19}$ . Ce rapport vaut à peu près 1,01364). Pourtant, ce rapport 2 réservé à l'octave est bien conservé, car il s'agit d'un intervalle pur. Elles aboutissent à une gamme de sept notes, qui peuvent être utilisée de sept manières, selon la note de départ. On obtient ainsi sept modes, « les modes grecs » primitifs, constituant sept répartitions d'intervalles différentes (fig.4) … dont aucune ne correspond aux proportions données par Newton : certes, celui-ci calcule ses proportions par rapport à GX et nomme les couleurs à partir de M. Il faut donc multiplier systématiquement par deux les fractions lues dans l'*Optique* et en inverser l'ordre. Elles deviennent 1, 9/8, 6/5, 4/3, 3/2, 5/3, 16/9. Elles ne correspondent guère à la gamme pythagoricienne : le rapport 16/9 apparaît et correspond au si b; mais si telle est la référence, seuls sont valables le ré et le sol. Il s'ensuit que seuls le ton, la quinte et la septième coïncident avec cette échelle. Si Newton utilise une échelle pythagoricienne comme référence, la correspondance avec le spectre coloré n'est pas vérifiée, quelle que soit la solution retenue. Il faut chercher ailleurs…

**Figure 4**




Au XVII[e] siècle, ces modes sont progressivement abandonnés, car les tierces pythagoriciennes sont trop grandes par rapport aux tierces naturelles. Ces dernières sont obtenues grâce au monocorde, instrument composé d'une caisse de résonance rectangulaire et graduée sur laquelle est tendue une corde de boyau. Un chevalet mobile permet de réduire à volonté la longueur de la corde et de mesurer ainsi les intervalles. [14] La tierce dite « naturelle » provient de la division de cette corde et correspond au rapport 5/4. Ce défaut ne gênait pas la polyphonie, qui n'utilisait pratiquement pas ces tierces. Pourtant, à partir de la Renaissance, les compositeurs ont tendance à s'arrêter de plus en plus longuement sur des accords comportant des tierces, qu'il fallait écrire harmoniquement. Au XVI[e] siècle, une nouvelle gamme est proposée par le théoricien Giosseffo Zarlino (1517-1590) : l'échelle zarlinienne, qui sera prise comme référence pendant toute la période baroque. C'est à elle que fait référence Newton dans ses écrits restés non publiés de 1664-1666. (6) Zarlino introduit la tierce dans les calculs des rapports musicaux, et le rapport 5/4 adopté pour la tierce majeure. Les divisions suivantes sont alors adoptées.

| do | do # | ré | mi b (tierce mineure) | mi | fa (quarte) | fa# |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 25/24 | 9/8 | 6/5 | 5/4 | 4/3 | 45/32 |

| sol (quinte) | sol # | la | si b | si | do |
|---|---|---|---|---|---|
| 3/2 | 25/16 | 5/3 | 9/5 | 15/8 | 2 |

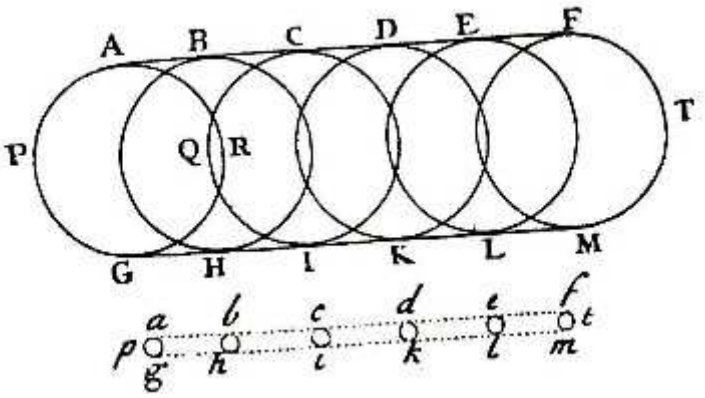
Elles correspondent en partie aux rapports corrigés indiqués par Newton : les cinq premiers intervalles sont ceux qu'il a nommés : ton, tierce mineure, quarte et quinte (« justes ») et sixte. Cependant, la septième, correspondant au rapport 16/9, est intermédiaire entre le si et le si bémol c'est-à-dire que cet intervalle ne peut être qualifié ni de septième majeure, ni de septième mineure. En revanche, rappelons-nous que ce rapport coïncidait avec la gamme pythagoricienne. Newton aurait-il fusionné artificiellement les deux gammes pour la nécessité de sa démonstration ?

[14]Marc Honegger, *Connaissance de A à Z de la musique*, Paris, Bordas, 1996, p. 136.

## Des espoirs demeurent…

Peut-être pas ; s'ouvre en effet une autre piste : avec le besoin de changer fréquemment de tonalité à l'intérieur d'un même morceau, la nécessité de construire de nouvelles échelles transposables s'est fait sentir à partir du XVI[e] siècle. Nombre de théoriciens ont essayé de résoudre ce problème. Leurs efforts ont abouti à la création de l'échelle tempérée, utilisée actuellement de façon presque universelle, car elle est mathématiquement cohérente, transposable et simple… mais au prix d'approximations introduites progressivement. La première est celle du « tempérament mésotonique », largement utilisé au XVII[e] siècle. Les compositeurs désirent avoir la possibilité de moduler loin de la tonalité de départ sans se heurter à des intervalles brusquement faux, les interprètes veulent jouer des pièces de tonalités très différentes sans avoir à réaccorder leur instrument entre chacune. Le tempérament mésotonique satisfait les uns et les autres en ce qu'il s'appuie sur des tierces majeures « pures » : le principe est de répartir la « fausseté » entre les quintes justes et les tierces majeures. Celle-ci est calée sur la tierce naturelle de rapport 5/4 (abaissée par rapport à la tierce pythagoricienne) et les deux tons qui la composent ne sont plus inégaux (comme dans la gamme du Zarlino), mais égaux. Le ré se trouve à égale distance du do et du mi. Le ton de ce tempérament est alors inférieur au rapport 9/8. Hélas, il n'a nulle correspondance avec Newton, corrigé ou non.

**Figure 5**



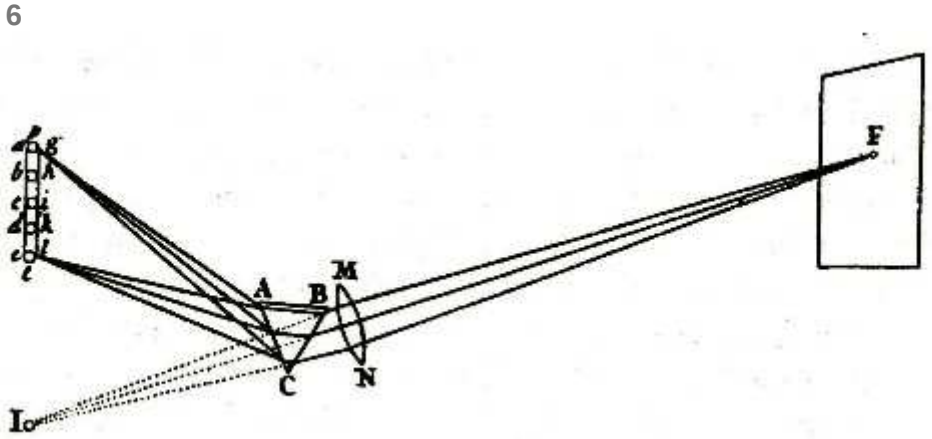

À partir de la fin du XVII[e] siècle, des tempéraments plus complexes voient le jour, afin que certaines tonalités ne sonnent plus faux. Andréas Werckmeister (1645-1706), adversaire du tempérament mésotonique, propose en 1691 six tempéraments différents, chacun apportant une solution à différents problèmes. Le plus connu est le troisième, qui reprend le principe de la diminution de la quinte à 3/2 par un quart de « comma syntonique» pour les quatre premières quintes uniquement (Comma syntonique : excédent entre la tierce pythagoricienne et la tierce majeure dite « naturelle ». Ce comma est égal à (81/64) / (5/4) soit 81/80, c'est-à-dire approximativement 1,0125). Il s'ensuit que les tons (do-ré), quinte (do-sol) et sixte (do-la) ne répondent plus aux rapports respectifs 9/8, 3/2 et 5/3. Ce tempérament est pourtant un tempérament inégal, où les tonalités centrées autour de do sonnent très bien, mais où la justesse se dégrade lorsque l'on s'éloigne de celle-ci. C'est ainsi qu'aurait été composé par Bach *Le clavier bien tempéré*, qui permet des tonalités jusqu'alors inaccessibles. Ici, le ton, la quinte et la sixte voient leurs proportions diminuer et les intervalles s'éloignent de ceux indiqués par Newton… et il est, en outre, peu vraisemblable que celui-ci ait connu l'échelle de Werckmeister,qui a toujours vécu en Allemagne… Point de correspondance non plus avec Henry Purcell (1659-1695), contemporain anglais de Newton, compositeur officiel de Charles II. Quand il compose *Dido and Aeneas* (1689), son écriture musicale est simple, basée sur des lignes monodiques, qui relatent un héritage passé. Mais il ne se contente pas uniquement de cette écriture archaïque puisqu'il maîtrise parfaitement le contrepoint, lequel s'appuie sur des lignes, mais dessine aussi une musique plus « verticale », liée à l'enchaînement des accords. C'est justement cette prise de conscience vis-à-vis de l'existence d'une musique verticale, grâce notamment à la naissance d'une autre technique musicale, la basse chiffrée, qui oriente à penser l'harmonie en tant non plus d'intervalles mais d'accords. Purcell, s'inspirant du

madrigal italien, se permet des audaces telles que l'emploi de tonalités très éloignées : en effet, passer, par exemple, d'une tonalité avec quatre dièses à une tonalité qui comporte trois bémols est osé pour l'époque. Il utilise aussi les trilles, les mordants, ressources pour écrire une musique très expressive et déclamée, provenant souvent de l'adaptation d'un texte, d'un poème. Nous sommes loin des intervalles précis évoqués par Newton. Y a-t-il donc « lecture avec les yeux de la foi » chez Newton ou manque d'information de notre part ?

## Y a-t-il quelque arrangement dans cette affaire ?

Ce qui semble renforcer l'hypothèse de l'arrangement – tous les physiciens polissent toujours quelque peu leurs mesures —, c'est que, lorsque Newton commence à présenter ses expériences dans l' « *Optique* », [15] avant donc de parler des rapports, il fait tomber de la lumière solaire sur un prisme et obtient, dit-il, un spectre coloré, composé de couleurs homogènes et de leurs mélanges (fig. 5 en haut). Les couleurs homogènes se présenteraient selon des cercles correspondant au diamètre apparent du soleil, au nombre de six. Les intersections de ces cercles produiraient les mélanges. Voulant éliminer ceux-ci, Newton veut diminuer le rayon des taches colorées. Pour cela, il faut ne prendre qu'une partie de la lumière provenant du disque solaire. Newton dit percer un petit trou dans un volet et placer une lentille avant le prisme, de telle manière que l'image directe formée sur un écran ait un diamètre égal à celui du trou (fig. 6). Il obtiendrait alors après le prisme une image où apparaîtraient six couleurs selon des petits cercles séparés les uns des autres (fig. 5 en bas). Newton calcule que les couleurs de ces cercles sont soixante et onze fois moins composées que la lumière directe du soleil. Ce sont alors pratiquement des couleurs homogènes. Il y en a six et non sept... mais peut être Newton n'avait-il pas eu ici recours « à une personne ayant la vue plus pénétrante que [lui] » ? Il semble pourtant que les couleurs homogènes étant séparés, il est facile de les compter... mais, plus sérieusement, nous pouvons douter de la réalité de l'expérience décrite. Celle-ci est, à coup sûr, une expérience mentale illustrant les prédicats de la théorie. Nous savons, en effet, aujourd'hui que le spectre solaire est continu. Pour discrétiser les couleurs, il faut, par exemple, utiliser un collimateur placé après le prisme, ce que ne fait pas Newton. Il ne peut donc obtenir ce qu'il décrit. De plus, les couleurs homogènes sont ici représentées comme équidistantes. Les rapports indiqués par Newton n'interviennent pas…

**Figure 6**




## Le cercle chromatique

Laissons ce problème en suspens et intéressons-nous au second passage important de l'*Optique* où Newton parle des sept couleurs et des sept notes : celui où il introduit son célèbre cercle chromatique. Il le fait pour répondre à un problème qu'il formule ainsi :

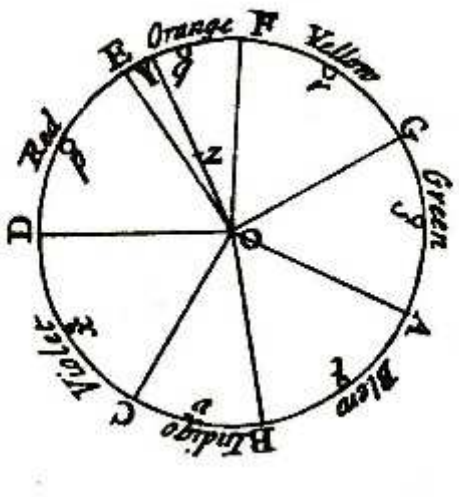
> « Dans un mélange de couleurs primitives, la quantité et la qualité de chaque couleur étant données, connaître la couleur du composé. » [16]

Le début de la résolution est exprimé ainsi

[15] Isaac Newton, *op. cit.* (10), livre 1, partie. II, 4e proposition, problème I, p. 68 et fig. 23.
[16] Isaac Newton, *op. cit.* (10), livre 1, partie II, 6e proposition, problème II, p. 173 et fig. 11.

: « Du centre o, et de l'intervalle od, soit décrit un cercle ADF et soit sa circonférence distinguée en sept parties… » (fig. 7) Ces sept parties sont DE, EF, FG, GA, AB, BC, CD « proportionnelles aux sept tons de musiques ou aux intervalles des huit sons contenus dans une octave, sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol, c'est-à-dire proportionnelles aux nombres 1/9, 1/16, 1/10, 1/9, 1/10, 1/16, 1/9. »

**Figure 7**




Remarquable symétrie dans cette suite de rapports, mais d'où viennent-ils ? Ils ne correspondent pas à ceux envisagés précédemment pour la division linéaire du spectre… et les notes associées s'étendent sur deux octaves. Les deux couleurs ajoutées par Newton en 1672, orange et indigo, correspondent à des demi-tons. Newton explique ensuite l'utilisation de ce cercle : les parties DE, EF, représentent les nuances du rouge, de l'orange… (fig. 7) ; les « centres de gravité » des arcs DE, EF… sont p, q… Autour de ces centres sont décrits

> « des cercles proportionnels aux nombres des rayons de chaque couleur du mélange donné… »

(qu'est-ce que le « nombre de rayons » ?) On trouve le centre de gravité commun à tous ces cercles (par exemple, Z) et l'on tire de ce point le rayon O, qui coupe le cercle en Y, point déterminant la couleur du mélange (ici, un orange tirant vers le rouge). Une certaine imprécision est patente chez Newton, qui l'avoue d'ailleurs un peu plus loin :

> « Quoique cette règle ne soit pas d'une justesse mathématique, je crois que pour la pratique, elle est assez exacte »…

et – c'est le plus important pour le problème étudié ici – les rapports associés aux notes de musique ne correspondent à aucune des échelles évoquées précédemment. Comme l'a souligné très justement Jean-Marc Lévy-Leblond :

> « Newton procède à cette discrétisation du spectre en pleine connaissance de la contradiction entre la réalité et son désir d'un strict classement en sept couleurs « simples » séparées …» [17]

# Intégrer les découvertes sur les couleurs dans l'ordre divin

Par ses études sur les couleurs, Newton vient de renverser la tendance vieille de deux mille ans qui faisait du blanc une couleur pure et des couleurs ses contaminations. Il vient de quantifier les couleurs, étendant donc à la lumière un traitement mathématique qui n'existait avant lui que pour les sons. Dans cette grande réorganisation, pourquoi ne pas tenter de faire une analogie entre couleurs et notes de la gamme ? Le premier sens chez les Grecs du mot analogie se réfère aux proportions mathématiques, qui sont des outils pour appréhender l'unité. Chez les pythagoriciens, les nombres sont les causes et les principes des choses, donnent la clef des lois de l'harmonie cosmique. Pour eux, est fondamentale la constatation que les accords musicaux agréables sont produits par les longueurs des cordes des instruments exprimées dans les rapports numériques simples: ils veulent les dénombrer. Selon Aristote, sons, couleurs, saveurs agréables obéissent à certains rapports numériques. Il y a pour lui des couleurs agréables, d'autres qui peuvent choquer. Sons et couleurs agréables résultent de

[17] Jean-Marc Lévy-Leblond, «Les x couleurs de l'arc-en-ciel », *La vitesse de l'ombre*, Seuil, 2006, p. 45-60.

proportions simples, heureuses, faciles à calculer. Les autres sont incommensurables. À ses yeux, il est absurde de vouloir dénombrer les couleurs agréables : contrairement aux pythagoriciens, il estime que les nombres ne sont pas causes des choses. La musique est une « science mixte », entre arithmétique et physis, comme l'explication de l'arc-en-ciel appartient à une autre médiété, entre géométrie et physis, cette fois. Au Moyen Âge, l'étude de la musique couronne, dans les Facultés des Arts, le cycle du quadrivium (arithmétique, géométrie, astronomie, musique). Les maîtres s'y appuient sur les traités de Boèce pour enseigner une science du nombre rapportée aux sons, consonances, intervalles, échelles pythagoriciennes, conditions de l'harmonie. Ils dénombrent les couleurs agréables : cinq généralement. Un petit traité du XIVe siècle, qui peut représenter une tendance de cet enseignement, essaye de résoudre le conflit entre Aristote et Boèce en soulignant la diversité des expériences sensibles du toucher, de l'odorat, du goût, de l'audition, de la vue. [18] Il distingue trois proportionnalités, arithmétique, géométrique, harmonique, communes aux saveurs, odeurs, couleurs et sons : en particulier, couleurs et sons agréables correspondent, selon lui, à cinq rapports qui procurent le plaisir des sens. La typologie adoptée par l'auteur unit rouge brique, octave, rapport 2/1 ; jaune d'or, quinte redoublée à l'octave, 3/1 ; rouge écarlate, quinte, 3/2 ; vert bleuâtre, double octave, 4/1 ; vert, quarte , 4/3. Newton connaissait-il cette tradition ? Voulait-il atteindre la perfection pythagoricienne en introduisant un dénombrement des couleurs ? Peut-être, mais il y a plus : dans le Timée, Platon introduit des proportions, des rapports, qui conduisent à identifier sept nombres fondamentaux constituant l'âme et se retrouvant dans toute la création. À l'époque de Newton, sont très étudiées les œuvres d'un commentateur de Platon, Théon de Smyrne (vers-100). Celui-ci développe une mathématisation à des fins philosophiqueS et introduit des rapports caractérisant les dyade, triade, tétrade … et leurs « médiétés », terme très aristotélicien, nous l'avons vu. Théon est à la mode dans le contexte de l'Angleterre du XVIIe siècle, qui, pour s'opposer à Aristote, se penche vers le néo-platonisme. Les proportions introduites par Théon sont, justement, au nombre de sept, et se retrouvent dans l'astronomie, la mesure des montagnes, la musique. [19] Théon y déduit la structuration de l'âme d'une analogie musicale, où sept nombres encadrent des moyennes géométriques faisant apparaître sur une double octave les tons, quarte et quinte…

C'est donc dans une triple filiation que Newton place sa théorie des couleurs. Celles des traditions pythagoricienne et néo-platonicienne d'abord. La judéo-chrétienne ensuite, où le nombre sept joue un rôle important dans la Bible et l'Apocalypse (les sept plaies d'Égypte, les sept péchés capitaux, les sept lettres, les sept lampes ardentes, les sept esprits de Dieu). Enfin, dans une tradition symbolique et sacrée, qui fait de sept le nombre le plus important après trois. [20] Sept représente donc pour Newton la cohérence de la création :

> « L'harmonie et la discordance des couleurs ne pourraient-elles pas venir des proportions des vibrations continuées jusqu'au cerveau… comme l'harmonie et la dissonance des sons viennent des proportions des vibrations de l'air ?» [21]

La concordance entre un phénomène corpusculaire (lumière) et un phénomène ondulatoire (sons) viendrait-elle donc de ce que les processus physiques donnent naissance, dans l'œil et dans l'oreille, à d'autres processus, ondulatoires, de nature physique et/ou physiologique, conduits dans le cerveau par des vibrations, engendrant dans l'encéphale des « illusions » colorées ou sonores ? Nous l'avons vu, cette conjecture avait été formulée par Newton dés 1675. Elle est somme toute, assez rationnelle. Elle est, de plus, cohérente avec la théorie des « accès » par laquelle Newton explique les couleurs des bulles de savon (11). Par contre, Newton étend un peu plus loin sa conjecture, de manière totalement métaphysique et idéologique.

> « Sur ce pied-là, la nature se trouvera très simple et conforme à elle-même, produisant tous les grands mouvements des corps célestes… et presque tous les

[18] Christian Meyer, *Musica est indita nobis naturaliter : musique spéculative et philosophie de la nature*, Archives d'Histoire Doctrinale et Littéraire du Moyen-Age, 72, 2005, p. 277-321.

[19] Joëlle Delattre, « Rapport numériques et harmonie en Grèce ancienne… », *Contribution à une approche historique de l'enseignement des mathématiques*, IREM des Pays de Loire, mai 1999.

[20] Bernard Maitte, *Histoire de l'arc-en-ciel*, Paris, Seuil, Science ouverte, 2005, p.184 et suiv.

[21] Isaac Newton, *op. cit.* (1), livre III, question XIV, p. 414.

> grands mouvements [des] particules [des corps]… Toutes les choses dûment considérées, il me semble très probable qu'au commencement, Dieu forma la matière en particules solides avec… telles proportions… C'est à celui qui créa ces particules qu'il appartenait de les mettre en ordre… une uniformité aussi merveilleuse… doit être nécessairement regardée comme l'effet d'un choix. » [22]

Dans sa grande réorganisation de la physique, Newton éprouve le besoin de s'assurer, et se réassurer de manière mystique — comme l'avait fait Kepler à propos de l'astronomie —, en invoquant l'ordre du monde. La quantification des couleurs est mise en cohérence avec la totalité de l'œuvre de Dieu. Par le chiffre sept, Newton atteint la beauté et la perfection. Ceci ne mérite-t-il pas un petit coup de pouce destiné à forcer un peu des rapports à entrer dans le cadre ?

Bernard Maitte, *Histoire de l'arc-en-ciel*, Paris, Seuil, Science ouverte, 2005.

Peter Pesic, *Isaac Newton and the Mystery of the Major Sixth: A Transcription of is Manuscript "Of Musick" with Commentary* (October 3, 2006, à paraître).

[22] *Ibid*, question XXI, p. 482-494.