

b et b' sont placés à une égale distance de l'axe a , et que la réfraction est très-faible au voisinage de l'axe, ce sont eux qui coupent l'axe à la plus grande distance de la lentille, au point o . Les rayons c et c' , qui sont plus éloignés de l'axe, se réuniront et se croiseront en h . Enfin les rayons d et d' , qui sont les plus distans de cet axe, se réuniront et se croiseront en n . S'il se trouve en o une surface qui reçoive la lumière, il s'y formera non seulement le foyer des rayons centraux, mais encore un cercle diffus de tous les autres rayons qui ont leur foyer non en o , mais en h , en n , et autres points de l'axe ao ; yy sera le diamètre de ce cercle de diffusion. Si la paroi est placée en h , on y verra paraître le foyer des rayons c et c' , avec le foyer de diffusion $x' y'$ etc.

Si les rayons d, c, b, a, b', c', d' , au lieu d'être parallèles, constituent la base d'un cône lumineux éloigné à l'infini, il n'y a pas non plus de réunion en un seul point, et l'on apercevra sur la paroi, outre un point de réunion déterminé de certains rayons, les cercles de diffusion des autres rayons. Si les rayons peuvent tomber à la fois sur la partie centrale et sur la partie marginale de la lentille, les cercles de diffusion seront naturellement plus grands qu'en toute autre circonstance, que la paroi se trouve en vw ou en yy ; car alors, outre le point de réunion de certains rayons, il apparaîtra les diffusions de tous les autres. Mais si les rayons marginaux peuvent être éliminés, et qu'ils ne passent que les centraux, alors, quand la paroi se trouve au point de réunion de ces derniers en o , le cercle de diffusion de tous les autres rayons disparaît en entier, et l'image est nette. On obtient ce résultat en couvrant d'un diaphragme la partie marginale de la lentille. L'image deviendra également nette si la lumière passe par le bord seulement de la lentille, et que le centre soit couvert, car alors on n'aura plus le cercle de diffusion des rayons centraux. Ce dernier mode d'occlusion n'est point employé dans les instrumens d'optique, parce que l'aberration

au bord nuit davantage; mais tous ces instrumens doivent être pourvus de diaphragmes pour donner des images nettes.

Lorsque l'ouverture du diaphragme est très-petite, il peut naître de l'inflexion de la lumière au bord de celui-ci, des phénomènes nouveaux et particuliers, qui changent notablement la forme et la clarté de l'image.

L'aberration de sphéricité peut être diminuée, et réduite au minimum, par un changement du rapport entre les courbures des deux surfaces. Elle devient aussi petite que possible, d'après Herschel, quand le rayon de la surface postérieure de la lentille est six à sept fois plus grand que celui de la surface antérieure. En mettant deux lentilles minces en contact l'une avec l'autre, on détermine les rapports des rayons sous l'influence desquels l'aberration de sphéricité disparaît entièrement. L'accroissement de la densité d'une lentille de la circonférence au centre doit aussi diminuer l'aberration; car alors le foyer des rayons centraux se trouve raccourci et rapproché de celui des rayons marginaux, qui a moins de longueur. Les lentilles dont on a évité l'aberration sont appelées aplanatiques.

III. Conditions physiques des couleurs.

A. Couleurs dioptriques. Théorie newtonienne des couleurs.

Quand la lumière subit la réfraction, non seulement elle est détournée de sa direction, mais encore elle paraît, sous certaines conditions, colorée. C'est à l'aide du prisme qu'on aperçoit le mieux le phénomène des couleurs. Soit ab un

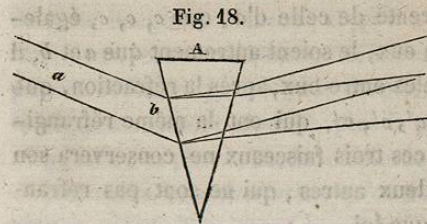
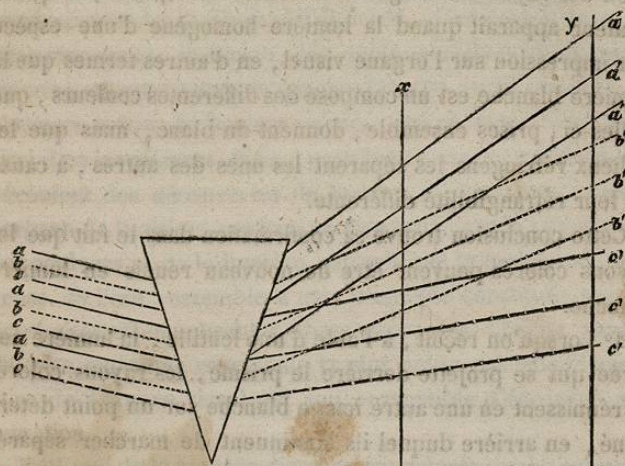


Fig. 48.

faisceau de rayons solaires parallèles, qui tombent obliquement sur le prisme; ils sont réfractés deux fois par la surface antérieure et

par la surface postérieure de celui-ci ; mais, au lieu que les rayons continuent de marcher parallèlement dans la nouvelle direction , le faisceau de lumière s'étale , et s'il est reçu par une surface , il montre les couleurs de l'arc-en-ciel. Il n'est pas nécessaire , pour observer ces couleurs , de faire tomber la lumière , par le trou d'un volet , dans une chambre obscure ; on les voit en plein jour lorsqu'on projette la lumière solaire sur un mur , après qu'elle a traversé le prisme ; mais le phénomène est beaucoup plus apparent dans une chambre obscure , et les limites du spectre y sont plus nettes. Au lieu d'une image ronde , le faisceau réfracté par le prisme jette une figure oblongue , à bords latéraux droits , arrondie par le haut et par le bas , dans laquelle les couleurs se succèdent ainsi : violet , bleu , vert , jaune , orangé , rouge. D'après les lois de la réfraction seule , les rayons lumineux parallèles recevraient bien du prisme une autre direction , mais ne perdraient pas leur parallélisme. Or comme l'image s'est élargie , il est évident que les rayons , qui ont cessé d'être parallèles , n'ont pas subi la même réfraction. Ce fait conduisit Newton à sa théorie des couleurs. De l'action du prisme il conclut que le faisceau de rayons solaires sur lequel on opère doit renfermer des élémens ou des rayons qui diffèrent de réfrangibilité , et parmi lesquels ceux qui sont réfrangibles au même degré sont les seuls qui continuent de marcher dans une même direction. Si , par exemple , dans le faisceau des rayons parallèles , a, a, a sont également réfrangibles , que b, b, b , doués entre eux de la même réfrangibilité , en aient une différente de celle d' a , que c, c, c , également réfrangibles entre eux , le soient autrement que a et b , il n'y aura plus de parallèles entre eux , après la réfraction , que a', a', a' , b', b', b' et c', c', c' , qui ont la même réfrangibilité , mais aucun de ces trois faisceaux ne conservera son parallélisme avec les deux autres , qui ne sont pas réfrangibles au même degré que lui.

Fig. 49.



Les rayons homogènes $a' a' a'$ paraissent sous la même couleur , le violet ; les rayons homogènes $b' b' b'$ sous la même couleur , le bleu ; les rayons homogènes $c' c' c'$ sous la même couleur , le vert , et ainsi des autres pour le jaune , l'orangé et le rouge. Le violet et le rouge sont placés aux limites extrêmes et opposées du spectre , parce que le premier est le plus réfrangible de tous , et que le dernier l'est le moins. Mais on n'apercevra les couleurs qu'autant qu'on les recevra à une distance convenable du prisme , par exemple à la distance y , où les rayons $a' b' c'$, qui s'éloignent les uns des autres , ne se couvrent plus. Si l'on reçoit l'image plus près du prisme , par exemple en x , les rayons hétérogènes $a' b' c'$ se couvrent dans son milieu , de sorte qu'alors la partie moyenne de cette image est blanche , et qu'il n'y a que son extrémité supérieure et son extrémité inférieure qui soient colorées ; plus on reçoit le spectre près du prisme , moins les rayons hétérogènes se sont séparés , plus la partie moyenne blanche est grande , et plus la bordure colorée est petite.

Ceci mène à la conclusion qu'on voit le blanc lorsque les mêmes points d'un corps reçoivent à la fois et renvoient à

l'œil des rayons hétérogènes de toutes les espèces, et que la couleur apparaît quand la lumière homogène d'une espèce fait impression sur l'organe visuel, en d'autres termes que la lumière blanche est un composé des différentes couleurs, que celles-ci, prises ensemble, donnent du blanc, mais que les milieux réfringens les séparent les unes des autres, à cause de leur réfrangibilité différente.

Cette conclusion trouve sa confirmation dans le fait que les rayons colorés peuvent être de nouveau réunis en lumière blanche.

1° Lorsqu'on reçoit, à l'aide d'une lentille, la lumière colorée qui se projette derrière le prisme, les rayons colorés se réunissent en une autre image blanche sur un point déterminé, en arrière duquel ils continuent de marcher séparés les uns des autres.

2° On arrive au même résultat en faisant traverser à la lumière solaire deux prismes qui aient le même angle réfringent et une situation inverse. Par la réfraction en sens opposé qu'il détermine, le second prisme détruit l'effet du premier, et l'image ne peut apparaître que blanche.

3° On y parvient également à l'aide d'un miroir concave, sur lequel on fait tomber obliquement les rayons colorés produits par le prisme. Ainsi réfléchis en bas, ils ne produisent qu'une image blanche.

Les couleurs dioptriques se présentent aussi, quoique moins prononcées, lorsqu'au lieu de prisme on emploie des lentilles; elles forment alors des bandes colorées autour des objets. Une lentille peut être considérée comme un prisme, dont l'angle réfringent croît vers le bord de l'instrument, et dans lequel la décomposition de la lumière s'opère, non pas de haut en bas, comme dans le prisme, mais suivant toutes les directions, du centre à la périphérie. Les bandes colorées sont d'autant plus fortes que l'image est plus éloignée du point de réunion des rayons.

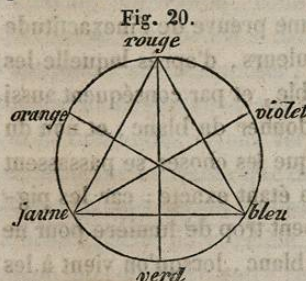
L'emploi du mot rayon dans l'exposition de la théorie newtonienne des couleurs, a fait naître, dans l'esprit de quelques personnes, la fausse idée qu'en conséquence de cette théorie, chaque rayon de lumière blanche serait composé de plusieurs rayons de lumière colorée, qui en formeraient pour ainsi dire les élémens. Mais, pour bien saisir les résultats qui découlent des découvertes de Newton, il faut se reporter à l'organe de la vision, qui joue un rôle actif dans le phénomène des couleurs et de la lumière. On sait que la membrane nerveuse de l'œil ressemble à une mosaïque constituée par les extrémités d'innombrables fibres nerveuses. Chaque papille de cette mosaïque représente la plus petite parcelle élémentaire de l'organe visuel qui soit susceptible d'éprouver une sensation.

Tant que de la lumière diversement colorée tombe sur cette mosaïque de l'organe visuel, de telle manière que chacune des parties élémentaires de la rétine reçoive de la lumière homogène, savoir, *a* de la bleue, *b* de la jaune, *c* de la rouge, ces impressions colorées sont perçues comme existant les unes à côté des autres. Mais lorsque les mêmes particules de la rétine sont éclairées par toutes les principales couleurs à la fois, de sorte que la même papille nerveuse soit déterminée à voir rouge, jaune et bleu, on ne distingue plus ni l'une ni l'autre de ces couleurs, mais une impression mixte, qui produit le blanc. C'est là tout ce que l'on peut conclure des observations de Newton. Ainsi l'impression simultanée de toutes les couleurs sur la même particule de la rétine produit la sensation du blanc.

Newton admettait, sans motifs suffisans, sept couleurs dioptriques, qui résultent de la décomposition de la lumière blanche par la réfraction, et l'on s'en tint pendant trop longtemps à cette hypothèse arbitraire, qui aurait dû être rectifiée dès avant les travaux de T. Mayer et de Goethe. Il n'y a que trois couleurs principales, le jaune, le bleu et le rouge,

par le mélange desquelles toutes les autres s'expliquent. Entre le jaune et le bleu se trouve le vert, qui résulte de leur mélange ; entre le bleu et le rouge, le violet ; entre le rouge et le jaune, l'orangé. Lorsqu'il tombe de la lumière rouge et de la lumière bleue sur la même particule de la rétine de l'œil, on ne voit ni l'une ni l'autre, mais du violet ; il en est de même des autres couleurs qui s'unissent pour produire des sensations mixtes. De là vient que l'association d'une couleur mixte et d'une pure correspond à celle des trois couleurs principales, parce que la couleur mixte contient toujours déjà les deux autres couleurs principales. Ainsi, par exemple, $\frac{2}{3}$ d'orangé et $\frac{1}{3}$ de bleu, sont autant que $\frac{1}{3}$ de bleu, $\frac{1}{3}$ de rouge et $\frac{1}{3}$ de jaune, ces deux derniers constituant ensemble les $\frac{2}{3}$ d'orangé. Donc, lorsqu'au moyen d'un appareil particulier, on opère la réunion sur un plan de l'orangé et du bleu prismatiques, l'impression est celle du blanc, comme la produiraient les trois couleurs principales unies ensemble ; la même chose a lieu pour le rouge et le vert, qui contient du bleu et du jaune, et pour le jaune et le violet, que constituent du rouge et du bleu. Une couleur prismatique mixte et une couleur prismatique pure, qui donnent ensemble du blanc, prennent l'épithète de *complémentaires*. Le vert et le rouge, le violet et le jaune, le bleu et l'orangé, sont complémentaires. Le noir n'est point une chose positive : ce n'est que l'expression du repos de certaines parties de la rétine, ou de toutes. Si les impressions de couleurs, sans mélange de blanc, sont très-faibles, elles sont nécessairement plus ou moins obscures en même temps. Quand l'impression de la lumière blanche est assez faible, l'organe visuel aperçoit du gris, ou, comme on dit, un mélange de blanc et de noir. Cependant le gris peut aussi provenir du mélange de couleurs pigmentaires : des pigmens rouge, jaune et bleu, mêlés ensemble, donnent du gris. On peut aussi produire du gris avec deux pigmens seulement, lorsque l'un d'eux est une couleur pure, et l'autre une couleur

mixte, c'est-à-dire due au mélange de deux autres, qui, avec la couleur pure, représentent les trois couleurs principales, rouge, jaune, bleu. Ainsi le rouge et le vert, le jaune et le violet, l'orangé et le bleu, donnent du gris. On appelle également complémentaires les couleurs qui produisent du gris par leur association.



Dans la figure ci-contre, les trois principales couleurs, rouge, jaune, bleu, sont placées aux angles d'un triangle équilatéral unis par un cercle : les couleurs mixtes se trouvent entre les pures qui leur correspondent ; les complémentaires, dont les pigmens produisent ensemble du gris et dont les spectres prismatiques donnent du blanc par leur réunion, sont opposées et situées aux deux extrémités des diamètres. La même figure explique également d'autres nuances qui, prises ensemble, donneraient du gris ou du blanc, suivant leur intensité. Ainsi qu'on suppose représentées dans le cercle toutes les nuances intermédiaires entre les six couleurs qui y sont marquées, les couleurs complémentaires seront toujours placées régulièrement en face les unes des autres, de manière, par exemple, que la teinte entre l'orangé et le rouge est complémentaire de celle entre le vert et le bleu. Lorsqu'après avoir partagé un disque circulaire en trois champs égaux dont chacun est peint d'une des couleurs principales, on le fait tourner sur lui-même avec assez de rapidité pour que les couleurs changent de place sur la rétine avant l'effacement de l'impression qu'elles y ont produite, au lieu des couleurs, c'est du gris qu'on aperçoit. Le même effet a lieu quand le disque est peint de deux couleurs complémentaires seulement, mais dans de certaines proportions ($\frac{2}{3}$ de la mixte et $\frac{1}{3}$ de la pure). Mais si l'une des couleurs prédomine trop, elle influe sur le

gris, qui n'est plus pur. Deux couleurs pures, sans la couleur complémentaire, ne donnent jamais de gris quand on les mêle ensemble, mais seulement la nuance produite par leur mélange, par exemple, du vert pour le bleu et le jaune, du violet pour le rouge et le bleu, de l'orangé pour le rouge et le jaune.

On a regardé ces faits comme une preuve de l'inexactitude de la théorie newtonienne des couleurs, d'après laquelle les couleurs principales prises ensemble, et par conséquent aussi les complémentaires, devraient donner du blanc, et non du gris. Cependant il serait difficile que les choses se passassent autrement, la théorie de Newton étant exacte; car les pigments sont trop troubles et absorbent trop de lumière pour ne pas donner du gris, au lieu de blanc, lorsqu'on vient à les mêler ensemble. Effectivement, d'après la théorie de Newton, un corps coloré a telle ou telle couleur parce qu'il absorbe une ou plusieurs des couleurs de la lumière solaire blanche, et n'en réfléchit qu'une déterminée. L'impression de plusieurs champs colorés peints sur un disque circulaire animé d'un mouvement rotatoire ne peut point être blanche, parce qu'un disque blanc réfléchit toute la lumière, tandis que les champs colorés n'en renvoient qu'une partie. Ainsi la réunion des impressions colorées sur les mêmes points de la rétine doit être un blanc affaibli, un gris plus ou moins clair ou plus ou moins foncé, suivant la quantité de clair ou de trouble qui se trouve dans les pigments.

Mais si l'on réunit les couleurs claires du spectre prismatique, on obtient un blanc pur, qui résulte aussi de la réunion de deux couleurs dioptriques complémentaires, comme l'a fait voir Grotthuss.

Il faut remarquer que les couleurs intermédiaires qu'on obtient par la réunion de deux couleurs prismatiques, peuvent être redécomposées par le prisme en leurs couleurs primitives, tandis que le prisme n'a pas le même pouvoir sur celles du

spectre prismatique. Cette différence semble prouver que la lumière solaire contient plus de trois couleurs primitives, et qu'il y a vraisemblablement en elle un nombre infini de rayons d'une réfrangibilité différente. Que les couleurs intermédiaires prismatiques et celles qui résultent de mélanges produisent la même impression, celle du vert, par exemple, tandis qu'elles se comportent si diversement sous le point de vue de l'aptitude à se décomposer, c'est ce qu'on explique, dans la théorie de l'ondulation, par la vitesse des ondes, les ondes qui ont la vitesse des rayons verts primitifs, faisant la même impression sur la rétine que des ondes simultanées, de vitesse différente, des rayons jaunes et bleus, qui frappent ensemble la même partie de la rétine. La vitesse des rayons verts est même intermédiaire entre celle des rayons bleus et celle des rayons jaunes. Mais la vitesse des rayons violets est plus considérable que celle des bleus et des rouges.

Au reste, la théorie newtonienne des couleurs demeure la même, quant aux points essentiels, soit qu'on adopte la doctrine de l'émanation, soit qu'on préfère celle de l'ondulation. Car les impressions qu'en vertu de la première les rayons de qualité diverse de la lumière colorée font sur l'œil, dépendent, dans la seconde, de la diversité des ondes et de la vitesse des lumières diversement colorées, et ces rayons éprouvent une réfraction inégale en traversant les milieux réfringens.

Les objections que Goethe a élevées contre la théorie newtonienne des couleurs reposent en grande partie sur un malentendu. Goethe et Seebeck considèrent les couleurs comme naissant du blanc et du noir, et leur attribuent à elles-mêmes une certaine obscurité, dont le degré établit la distinction qui règne entre elles, attendu qu'elles se suivent du blanc au noir, comme jaune, orangé, rouge, violet, bleu, tandis que le vert semble se trouver dans le milieu entre le jaune et le bleu. Cette remarque, quoiqu'elle n'exerce pas d'influence