



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

ANNEX

ANNEX

Q. 4





PAE

~~631~~

100

100

100

POSITIONS
DE PHYSIQUE,

OU

RÉSUMÉ

D'UN COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE.

IMPRIMERIE DE M. HAYEZ.

POSITIONS DE PHYSIQUE,

PAR A. QUETELET,

Correspondant de l'institut de France ; des académies
royales de Bruxelles, de Berlin et de Turin ; de la
société royale astronomique de Londres, etc.

Summa sequar fastigia.
VIRG.

DEUXIÈME ÉDITION.

TOME II.

BRUXELLES,

CHEZ J.-B. TIRCHER, LIBRAIRE-ÉDITEUR,
RUE DE L'ÉTUVE, n° 20.

1834.





POSITIONS DE PHYSIQUE

OU

RÉSUMÉ

D'UN COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE.

LIVRE TROISIÈME.

DE LA LUMIÈRE.

PREMIÈRE SECTION.

DE LA LUMIÈRE NON POLARISÉE.

CHAPITRE PREMIER.

De la Lumière en général.

1. Parmi les différens corps que présente la nature, les uns possèdent par eux-mêmes la propriété d'exciter dans

nos yeux , la sensation de la lumière : d'autres , en plus grand nombre , sont dépourvus de cette même propriété.

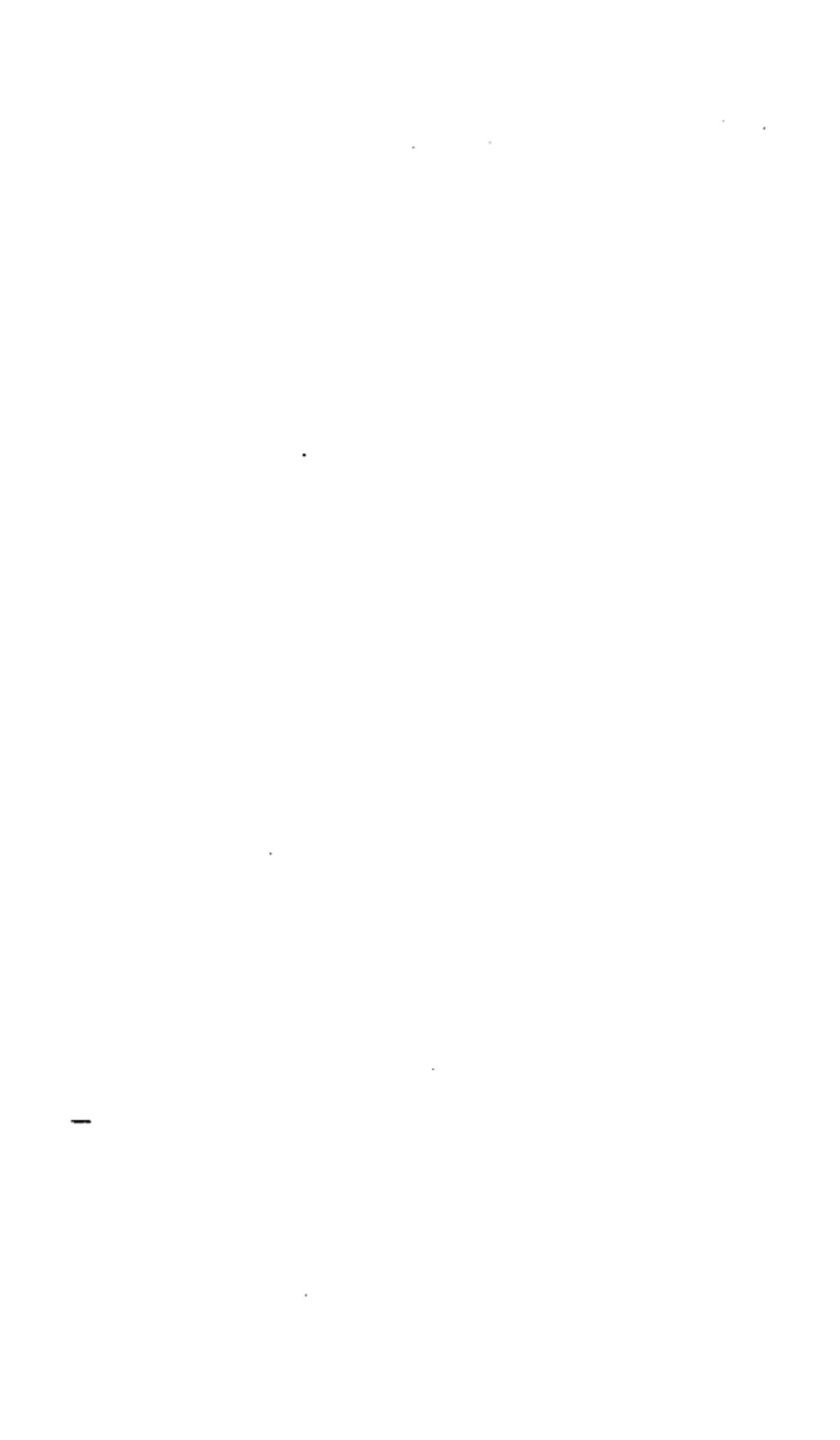
EXEMPLES. Le soleil, les étoiles, une lampe allumée, un fer rouge, sont des corps *lumineux par eux-mêmes* ; un morceau de fer ou de plomb, une pierre, sont des corps non lumineux et demeurent inaperçus dans l'obscurité : on les nomme *corps opaques*, quoique ce mot soit aussi employé pour exprimer le défaut de transparence.

On nomme *optique* la partie de la physique qui traite de la lumière. On a imaginé, pour expliquer les phénomènes de la lumière, plusieurs systèmes, parmi lesquels on distingue surtout celui de l'*émission* et celui des *ondulations*, que nous ferons connaître plus tard. Nous observerons seulement que les partisans de l'*émission* supposent que la lumière est une *matière* dont les particules sont lancées en ligne droite ; et que les partisans des *ondulations* supposent que la lumière est une *modification* de la matière, et qu'elle parvient à l'œil, comme

le son parvient aux oreilles, par l'intermédiaire d'un *éther*, qu'ils imaginent et qu'ils supposent mis en vibration.

2. Tous les corps dépourvus de la faculté d'exciter dans nos yeux la sensation de la lumière, sont susceptibles d'acquérir cette faculté en présence d'autres corps lumineux par eux-mêmes.

Ex. Quand nous apportons une chandelle allumée dans une chambre obscure, nous ne voyons pas seulement la chandelle, mais encore tous les autres corps qui l'entourent. Des rayons de soleil, en passant dans une chambre obscure, rendent lumineuse et conséquemment visible, une feuille de papier sur laquelle ils tombent, et cette feuille à son tour éclaire tout l'appartement et rend visibles les objets qui s'y trouvent, tant qu'elle reçoit les rayons du soleil. La lune et les planètes sont des corps opaques ; mais leurs parties éclairées par le soleil deviennent lumineuses et susceptibles d'éclairer.



PAE

~~634~~

100

POSITIONS
DE PHYSIQUE,
OU
RÉSUMÉ
D'UN COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE.

sinus de l'angle que les rayons forment avec cette surface.

11. La *clarté intrinsèque réelle* d'un corps lumineux est l'intensité de la lumière de chaque point physique de sa surface.

La *clarté intrinsèque apparente* d'un corps lumineux est le degré de clarté de son image au fond de l'œil.

Obs. C'est par la clarté intrinsèque apparente que nous jugeons ordinairement de la lumière des corps. Ainsi un corps pourrait être *réellement* plus lumineux qu'un autre, et nous pourrions en juger différemment si des causes accidentelles interceptaient une partie de la lumière qui vient vers nos yeux; comme quand nous apercevons le soleil à travers les vapeurs qui bordent l'horizon ou à travers une lame de verre noirci.

12. La *lumière absolue* d'un corps lumineux est égale à la somme des aires

de ses portions élémentaires, multipliées chacune par leur clarté intrinsèque réelle.

La *lumière apparente* d'un objet est égale à la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil.

13. Quand nous nous éloignons d'un corps lumineux, sa lumière apparente diminue par deux motifs : 1.° nos yeux étant d'une grandeur limitée, présentent une surface constante à la lumière et reçoivent conséquemment une quantité de lumière inversement proportionnelle au carré de la distance ; 2.° en passant par l'air, une portion de lumière est éteinte par le défaut de transparence de ce milieu.

14. La clarté intrinsèque apparente est égale à la lumière apparente divisée par la surface de l'image sur la rétine de notre œil.

surface blanche par exemple, ou par rapport à deux surfaces d'une égale blancheur, ils doivent y répandre le même éclairement.

Obs. Ceci peut être considéré comme un axiome qui a servi de base pour la construction de la plupart des *photomètres* connus jusqu'à présent, tels que ceux de *Bouguer*, de *Régnier*, etc. *Rumford* plaçait les lumières qu'il voulait comparer, devant un écran, dont il les éloignait ou rapprochait insensiblement, jusqu'à ce que les ombres projetées fussent également intenses; les distances des deux lumières à l'écran lui donnaient alors les éléments nécessaires pour calculer le rapport cherché. Les photomètres sont des instrumens qui pourraient rendre de grands services à l'optique s'ils étaient parfaits. Il faudra prendre garde de ne pas comparer des lumières de couleurs différentes, telles que celles du soleil, de la lune, des chandelles, etc.; on obtiendrait des résultats peu exacts.

Modifications de la lumière.

18. Quand un rayon de lumière traverse l'espace ou un milieu homogène , sa direction est rectiligne et sa vitesse uniforme (4 et 7) ; mais quand il rencontre un obstacle ou un milieu de nature différente, il subit des modifications que nous allons faire connaître.

19. Le rayon se partage en plusieurs parties qui suivent des chemins différens et sont diversement modifiés : 1° l'une de ces parties est *réfléchiè régulièrement* et poursuit, après la réflexion, un chemin entièrement extérieur à l'obstacle ou au nouveau milieu ; 2° une seconde partie et une troisième sont *réfractées régulièrement*, c'est-à-dire qu'elles entrent dans le milieu et le traversent conformément aux *lois de la réfraction*. Dans plusieurs milieux, par-

régulièrement, d'après des lois que nous connaissons plus tard.

21. Les parties régulièrement réfractées d'un rayon de lumière blanche solaire, se séparent (excepté dans certaines circonstances) en une multitude de rayons, différens par les couleurs, par les propriétés physiques, qui obéissent ensuite chacun conformément aux lois de la réfraction et de la réflexion régulière. Les lois de cette séparation ou *dispersion* des rayons colorés, et des propriétés physiques qui en résultent, forment l'objet de *la chromatique*.

22. Toutes les parties du rayon lumineux qui sont ou régulièrement réfractées, ou régulièrement réfléchies, subissent plus ou moins une modification qu'on nomme *polarisation*, et de laquelle elles présentent, en entrant un nouveau milieu, des ph

nes de réflexion et de réfraction différens de ceux présentés par la lumière *non polarisée*. Généralement parlant, la lumière polarisée obéit aux mêmes lois de réflexion et de réfraction que la lumière non polarisée, *quant à la direction* que suivent les différens faisceaux dans lesquels la lumière se partage à son entrée dans le nouveau milieu; mais elle en diffère *quant à l'intensité relative* de ces faisceaux, qui varie d'après l'inclinaison sous laquelle la surface du milieu se présente au rayon incident.

23. Dans certaines circonstances, les rayons de lumière exercent les uns sur les autres une influence réciproque, qui augmente, diminue ou modifie leurs effets respectifs d'après des lois particulières. Cette influence réciproque se nomme *interférence des rayons lumineux*.

24. La lumière, dans des circonstan-

ces particulières, éprouve aussi des modifications quand elle passe dans le voisinage des corps ; les phénomènes qu'elle produit alors appartiennent à la *diffraction*.

Nous allons examiner successivement les différentes propriétés que nous venons d'exposer, et les propriétés qui constituent autant de divisions différentes de la théorie de la lumière.

CHAPITRE II.

DE LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE. (CATOPTRIQUE).

Des Lois de la Réflexion et des Mirrors plans.

25. Quand la réflexion se fait sur une surface plane, le rayon *incident* et le rayon *réfléchi* sont avec la perpendiculaire au point d'incidence dans un même

plan qu'on nomme *plan de réflexion* : de plus, les deux angles formés par les rayons avec cette perpendiculaire, sont égaux.

Obs. On nomme *angle d'incidence* et *angle de réflexion*, les angles formés par la perpendiculaire avec le rayon incident et le rayon réfléchi. On dit, dans ce sens, que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion. Il devient évident, d'après ce qui précède, que le rayon incident et le rayon réfléchi sont également inclinés sur la surface réfléchissante.

26. Quand la réflexion se fait sur une surface courbe, la direction du rayon réfléchi est la même que si la réflexion s'était opérée sur une surface plane, tangente au point d'incidence; conséquemment le rayon incident et le rayon réfléchi sont dans un même plan avec la normale au point d'incidence, et les

deux angles formés par les rayons avec cette normale , sont égaux.

Ex. On peut vérifier les lois précédentes en employant des miroirs de différentes formes ; les astronomes en ont surtout constaté l'exactitude , en observant les astres par réflexion à la surface du mercure , au moyen d'instrumens de grande dimension et d'une précision extrême.

On a plusieurs instrumens utiles dont la construction est fondée sur les propriétés de la réflexion , tels que les goniomètres de *Wollaston* et de *Malus*, l'héliostat , le sextant , etc.

27. La quantité de lumière réfléchie n'est pas la même pour toutes les incidences ; elle est d'autant plus grande que les rayons incidens sont plus obliques à la surface réfléchissante.

Ex. *Bouguer* a trouvé que , pour 1000 rayons incidens , les rayons réfléchis sont dans les rapports suivans :

Angle d'incidence.	Eau.	Verre.
5°	501	549
10	333	412
15	211	299
50	22	34
70	18	25
90	18	25

Le mercure est un miroir de métal poli, réfléchissant 754 rayons sous une incidence de $11^{\circ} \frac{1}{2}$. *Lambert* a trouvé que la seconde face d'une lame diaphane réfléchit sous le même angle plus de lumière que la première. *M. Arago* a reconnu que ces deux quantités sont dans un rapport constant pour une même substance. *M. Potter*, de Manchester, vient de publier de nouvelles recherches sur le même sujet.

28. Quand la réflexion s'opère sur un miroir plan, les objets sont vus exactement comme s'ils étaient derrière le miroir dans une position symétrique à celle qu'ils occupent en effet.

On nomme *images* les formes apparentes des objets.

Ex. Si d'un point, placé à 1 mètre de distance d'un miroir plan, on abaisse sur le miroir une perpendiculaire qu'on prolonge, l'image du point sera encore à un mètre de distance, mais derrière le miroir et sur le prolongement de la perpendiculaire : on verra l'image dans cette position comme si l'objet y était lui-même réellement et comme si le miroir était une glace transparente. La symétrie des objets et des images explique comment une épée, par exemple, qu'on porte au côté gauche, est vue au côté droit dans un miroir ; comment les arbres paraissent renversés quand on les voit par réflexion dans une eau calme, etc. ; elle donne aussi l'explication de plusieurs effets d'optique qui appartiennent à la physique amusante.

29. Si l'objet se rapproche ou s'éloigne du miroir, l'image se rapproche ou s'en éloigne également ; de sorte que le mou-

vement pour l'image est double de ce qu'il est pour le miroir.

Ex. Si l'on se trouve à dix pieds de distance d'un miroir, on est à vingt pieds de distance de son image (28); si l'on avance vers le miroir, de 1, 2, 3, etc., pieds, l'image se rapproche aussi d'autant de pieds vers le miroir; en conséquence le mouvement est double. On remarquera que, pour se voir en entier dans un miroir plan, il faut que le miroir ait au moins la moitié de notre hauteur, à moins qu'il ne soit incliné par rapport au rayon visuel.

30. Quand un objet peut être réfléchi par deux miroirs plans, cet objet et ses images successives se trouvent sur une circonférence située dans un plan perpendiculaire à la commune intersection des deux miroirs.

Quand les miroirs sont parallèles, l'objet et toutes ses images en nombre infini, se trouvent sur une perpendiculaire commune aux deux miroirs.

Ex. Une chandelle placée entre deux miroirs qui forment un certain angle, se trouve avec toutes ses images sur une circonférence dont le centre est sur la droite où les plans des miroirs iraient se rencontrer. On remarquera que les bords inférieurs et supérieurs des miroirs et leurs images forment des lignes divergentes de centres communs.

Sir D. Brewster a fondé sur ces propriétés la construction du *Kalbidoscope*, instrument ingénieux qu'on emploie maintenant dans les arts pour obtenir des dessins très-variés, et toujours symétriques.

Un singulier exemple de la réflexion opérée par deux surfaces parallèles, est celle qui a lieu dans les miroirs ordinaires par les deux faces opposées de la glace. Ceci présente un moyen d'apprécier l'épaisseur de cette glace (26).

Des Miroirs courbes et des Caustiques

31. Quand la réflexion se fait sur une surface courbe, chacun des points de

cette surface doit être considéré comme un petit miroir plan, qui réfléchit les rayons partis de l'objet (26).

32. Quand une série de rayons lumineux, partis d'un point, vont rencontrer une surface courbe, ces rayons, après avoir été réfléchis, se coupent mutuellement, et le lieu des points d'intersection est une surface brillante qui a reçu le nom de *catacaustique* ou caustique par réflexion. Tous les rayons réfléchis sont tangens à cette caustique.

Ex. Si l'on examine le fond d'une tasse ou d'un autre vase éclairé par le soleil ou toute autre lumière, on verra se former une ligne brillante, qui est une section de la caustique sur laquelle les rayons réfléchis se coupent mutuellement.

33. Quand des rayons réfléchis par une première surface courbe, vont se réfléchir encore sur une seconde surface,

ils se coupent de nouveau et forment par leurs intersections mutuelles une autre caustique, ou *catacaustique*, ainsi de suite, c'est-à-dire qu'à chaque nouvelle réflexion correspond une nouvelle caustique.

* OBS. Il est remarquable que, si des rayons incidens ont été primitivement perpendiculaires à une même surface, ils seront encore perpendiculaires à une autre surface, après avoir subi un nombre quelconque de réflexions sur des miroirs continus de forme quelconque. Ce résultat, dû primitivement à *Huyghens*, a été démontré par *Malus* et *Ch. Dupin*.

* 34. Quand des rayons de lumière partis d'un même point se réfléchissent à la rencontre d'une surface quelconque, si, des différens points de la surface réfléchissante, pris successivement pour centres, on décrit des sphères qui passent par le point rayonnant, l'en-

loppe de toutes ces sphères sera une des surfaces trajectoires orthogonales des rayons réfléchis.

OM. Ce théorème simplifie beaucoup la théorie des caustiques, et particulièrement quand on la traite mathématiquement. Voyez les *Mémoires* que j'ai insérés dans les recueils de l'Académie de Bruxelles.

35. Quand la réflexion des rayons de lumière a lieu sur une surface de révolution du second degré, la caustique se réduit à un point, qui est l'un des foyers de la surface, si le point rayonnant est à l'autre foyer.

OM. Cette propriété des surfaces du deuxième degré est de la plus haute importance pour la construction des instrumens d'optique; aussi ne fait-on guère usage que de miroirs de cette espèce. Le miroir *parabolique* concentre à son foyer les rayons partis d'un point infiniment éloigné, tel que serait une étoile; réciproque-

ment, si le point-rayonnant est à son foyer, réfléchit les rayons lumineux de manière qu'ils forment un faisceau de rayons parallèles. Ce mode de réflexion a été employé dans les phares et dans les circonstances où l'on veut répandre une vive lumière dans une même direction. Le miroir *elliptique* réfléchit les rayons issus de l'un de ses foyers, vers l'autre; dans le miroir *hyperbolique*, au contraire, les rayons issus d'un des deux foyers divergent comme s'ils partaient de l'autre foyer.

Il faut observer que, dans les lignes du deuxième degré, quand la réflexion a lieu dans un plan, les caustiques ne se réduisent à un point qu'autant que le point rayonnant est l'un des foyers; si le point rayonnant est partout ailleurs, il se forme une caustique qui pour développantes des lignes qui sont en général du quatrième degré, et qui jouissent de très-belles propriétés. M. Dandelin et moi nous en avons fait connaître un grand nombre dans les *Mémoires* de l'Académie de Bruxelles.

36. Quand on ne prend d'une surface de révolution du second degré que l

portion qui avoisine l'extrémité de l'axe, la courbure de cette portion se confond sensiblement avec celle d'une surface sphérique qui aurait son centre sur le grand axe.

Obs. Il résulte de là qu'en construisant des miroirs sphériques d'un arc de courbure très-peu étendu, on peut suppléer à l'emploi des miroirs elliptiques, paraboliques ou hyperboliques; et des rayons de lumière, partis d'un point quelconque de l'espace, viendront passer sensiblement par un second point, qui est l'image du premier.

37. Quand, au lieu de miroirs elliptiques ou paraboliques, on emploie des portions de sphères, la caustique formée par les rayons émanés d'un point, ne se réduit pas rigoureusement à un point; mais les rayons réfléchis subissent une déviation plus ou moins grande, qu'on nomme *aberration*.

Obs. La considération de l'aberration est des points importans de l'optique pratique. nomme *cercle de moindre aberration*, un diaphragme circulaire, placé en forme d'écran dans l'intérieur des instrumens, de manière à intercepter le plus avantageusement les rayons qui dévieraient trop de l'image.

De la Formation des Images par les miroirs concaves.

38. Si une sphère est polie à l'intérieur et si on la coupe par un plan, on en détachera une calotte qui est un *miroir sphérique concave*; si la sphère était polie à l'extérieur, on aurait un *miroir sphérique convexe*.

L'*ouverture du miroir* est l'angle compris entre deux rayons de la sphère, menés dans un même plan aux bords de la calotte.

Le *diamètre du miroir* est la corde qui joint les extrémités de ces rayons.

L'*axe du miroir* est la ligne droite qui passe par le centre de la sphère et le centre de la calotte.

Le centre de la sphère se nomme, par rapport au miroir, *centre géométrique* ou *centre de courbure*; et le centre de la calotte prend plus particulièrement le nom de *centre de figure* ou *centre optique*.

OBS. Les miroirs sphériques dont on se sert dans la catoptrique, n'ont une ouverture que de 20 à 30 degrés.

39. Quand un point rayonnant est à une distance *infinie*, dans la direction de l'axe d'un miroir sphérique *concave*, ses rayons viennent, après la réflexion, passer par un même point, situé *devant* le miroir et sur l'axe, à égale distance du centre géométrique et du centre optique du miroir (36).

Le point par lequel passent les rayons

réfléchis, se nomme *foyer principal* ; et sa distance au miroir est la *distance focale principale*.

Réciproquement, les rayons partis d'un point brillant qui serait au foyer principal, deviendraient, après la réflexion, parallèles à l'axe du miroir.

Ex. Une étoile, située dans le prolongement de l'axe d'un miroir sphérique concave, de six pieds de rayon, est vue au foyer principal, à trois pieds de distance du miroir. L'étoile, l'image et le centre du miroir se trouvent évidemment en ligne droite. Ce qui caractérise une image, c'est qu'on ne peut l'apercevoir que dans certaines directions déterminées, parce que cette image n'envoie pas, comme les corps lumineux, des rayons vers tous les points de l'espace (5). On détermine par expérience le foyer principal, en exposant un miroir aux rayons du soleil, et en cherchant, au moyen d'un papier, le lieu vers lequel les rayons réfléchis se dirigent en convergeant.

40. Si le point rayonnant est situé à une distance *finie* sur l'axe et au-delà du centre géométrique, l'image se trouve au *foyer conjugué* aussi sur l'axe, entre le foyer principal et le centre.

Réciproquement, si le point rayonnant est entre le foyer principal et le centre géométrique, le foyer conjugué est au delà du centre.

41. Quand le point rayonnant est sur l'axe, entre le miroir et le foyer principal, les rayons réfléchis divergent comme s'ils partaient d'un point situé derrière le miroir.

Obs. On construit le foyer, pour un point rayonnant situé sur l'axe, en considérant ce foyer comme l'intersection de l'axe avec un rayon réfléchi, selon les lois énoncées plus haut (31). En nommant r , p et p' les distances du miroir à son centre, au point brillant et à l'image, on a encore la relation suivante :

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

42. Quand le point rayonnant est tué hors de l'axe du miroir, on détermine son foyer conjugué, en menant, ce point rayonnant et le centre géométrique, une ligne droite qui peut être considérée comme un axe, d'après le peu d'étendue et la sphéricité du miroir, et qui contient conséquemment le foyer conjugué que l'on cherche (40).

Une pareille ligne droite se nomme *axe secondaire*.

Il est évident que tous les axes secondaires passent par le centre géométrique du miroir.

Obs. Le foyer conjugué, étant le point par lequel viennent passer tous les rayons réfléchis, sera déterminé par deux de ces rayons. Pour plus de facilité, on peut le considérer comme étant sur les deux rayons qui, avant la réflexion, passent l'un par le centre du miroir, et l'autre parallèlement à son axe, parce que ces rayons réfléchis se construisent d'une ma-

nière très-expéditive (39 et 40). On peut réduire à ceci la construction de toutes les images formées par des miroirs sphériques.

Quand l'axe secondaire fait avec l'axe principal un angle de plus de 10 ou 15 degrés, l'image n'est plus régulière; il y a aberration de sphéricité (37); et l'on dit alors que l'objet qu'il a produit est hors du *champ* du miroir.

43. Quand un objet a une certaine étendue, pour faciliter la construction de son image, on le considère comme un assemblage de points lumineux dont on détermine les différens foyers conjugués.

44. L'image d'un objet placé au delà du centre géométrique est plus petite que cet objet; le contraire a lieu si l'objet est placé entre le foyer principal et le centre. Dans les deux cas, l'image est renversée.

45. Quand un objet est placé entre le foyer et le miroir, l'image, située der-

rière le miroir, est plus grande que l'objet, et elle a la même direction que lui à mesure que l'objet se rapproche du foyer, l'image grandit et s'éloigne.

Ex. On met les résultats précédens en évidence, en plaçant une chandelle allumée à différentes distances d'un miroir concave ; on produit aussi par le miroir concave plusieurs illusions remarquables, en faisant paraître des objets dans des lieux où ils ne sont pas effectivement. Une bouteille à moitié pleine d'eau qu'on tient renversée, forme une image droite (44); et l'illusion porte à croire que l'eau est dans la partie de la bouteille opposée à celle où elle est réellement. Nous verrons plus loin l'usage des miroirs concaves dans la construction des télescopes.

De la Formation des Images par les miroirs convexes.

46. Quand un point rayonnant est à une distance infinie dans la direction

l'axe d'un miroir sphérique *convexe*, ses rayons, après la réflexion, semblent partir d'un même point, situé *derrière* le miroir et sur l'axe, à égale distance du centre géométrique et du centre optique.

Le point duquel semblent diverger les rayons réfléchis, se nomme *foyer principal négatif*, et sa distance au miroir est la *distance focale négative*.

Obs. On détermine par expérience le foyer principal, en couvrant le miroir d'une feuille de papier percée de deux trous situés à égale distance du centre optique et dans un plan passant par l'axe. Le miroir, ainsi exposé au soleil, réfléchit deux rayons dont les directions prolongées iraient passer par le foyer principal (39).

47. Quelle que soit la place d'un point rayonnant devant un miroir convexe, son foyer conjugué sera derrière le miroir.

Obs. On construit le foyer, en le co
comme l'intersection de deux rayons
qui sont avant la réflexion l'un perpen
au miroir et l'autre parallèle à l'axe (
point était sur l'axe même, on pou
ployer la relation $\frac{3}{p} = \frac{1}{p} - \frac{1}{p'}$;
sont les distances du miroir au cent
jet et au foyer conjugué de cet objet

48. Quand un objet est plac
un miroir convexe, son image
petite que lui et se trouve de
miroir, dans une direction sen
la sienne. Cette image dimini
sure que l'objet s'éloigne.

Ex. Les miroirs convexes sont em
les peintres pour réduire commod
proportions des objets qu'ils veulent
ter. Les lignes sont néanmoins un pe

Ce qui a lieu pour le miroir convex
logue à ce qui se passe quand l'objet
un miroir concave, entre la surface
principal.

Des Miroirs coniques et cylindriques, et des Anamorphoses.

49. Les miroirs coniques et cylindriques ne sont guère employés que dans les cabinets de physique amusante, et ils servent généralement à produire des images difformes d'objets réguliers, ou des images régulières de dessins combinés d'avance, mais qui, au premier coup d'œil, ne présentent que des traits bizarrement assemblés. Ces dessins sont des *anamorphoses*; ils exigent pour produire l'effet désiré, que l'œil et le miroir soient dans des positions déterminées.

Ex. Si l'on partage un carton circulaire en plusieurs secteurs par des rayons qui divergent du centre, et si l'on place un miroir conique sur ce carton, de manière que l'axe du cône s'élève verticalement au-dessus du centre, tous

les rayons seront vus par réflexion comme des lignes qui convergent au sommet du cône, tant que le point de vue est un point situé dans l'axe prolongé : mais ces rayons seront déformés, si l'on change de point de vue. On pourrait encore dessiner un système de circonférences concentriques, des droites parallèles, etc.

CHAPITRE III.

DE LA RÉFRACTION RÉGULIÈRE DE LA LUMIÈRE DANS
LES MILIEUX NON CRISTALLISÉS.
(DIOPTRIQUE.)

De la Réfraction de la Lumière homogène pour des surfaces planes.

50. Quand un rayon de lumière tombe sur la surface d'un milieu transparent non cristallisé, une partie se trouve réfléchié ; une autre est dispersée dans toutes les directions, et sert à rendre la surface visible ; et le reste pénètre dans le milieu, en poursuivant sa route

en éprouvant toutefois une déviation : *réfraction*.

On nomme *milieux réfringens* ou *dians* les corps qui ont la propriété réfracter la lumière ou de lui faire changer de route.

ix. C'est à la réfraction qu'on doit de voir le soleil sur l'horizon lorsque son disque ne s'y montre pas encore, ou de le voir, le soir, quelques instans après que cet astre est déjà effectivement couché. Une pièce d'argent placée au fond d'un verre et cachée par le bord, peut devenir visible en versant de l'eau dans le verre ; un bâton plongé dans l'eau paraît courbé, etc.

1. Dans la réflexion de la lumière, l'angle d'incidence est constamment égal à l'angle de réflexion, quelle que soit la nature du milieu réflecteur; il n'en est pas de même pour la réfraction, où un milieu différent agit sur la lumière d'après une loi qui lui est propre,

de l'émission, est l'accroissement du car la vitesse que prend la lumière en passant dans les différentes substances.

Voici différens résultats qui sont particulièrement dus aux recherches de *Dulong*.

Gas.

	Indic. de réfr.	Puis
Air atmosphérique.	1,000294	0,0
Oxygène	1,000272	0,0
Hydrogène	1,000138	0,0
Azote	1,000300	0,0
Ammoniaque.	1,000385	0,0
Acide carbonique	1,000449	0,0
Chlore	1,000772	0,0
Cyanogène	1,000834	0,0
Gaz oléfiant	1,000878	0,0
Gaz des marais.	1,000443	0,0
Hydrogène sulfuré	1,000644	0,0
Éther sulfurique	1,001153	0,0

Liquides.

Eau de pluie	1,336	0,
Esprit-de-vin bien rectifié.	1,370	0,

Liquides.

	Indic. de réf.	Puiss. réf.
Acide sulfurique	1,428	1,041
Huile d'olive	1,466	1,151
Essence de térébenthine.	1,471	1,155
Huile de lin	1,481	1,194

Solides.

Alun	1,458	1,126
Chaux sulfatée	1,488	1,212
Sel gemme	1,545	1,388
Verre commun	1,550	1,402
Cristal de roche	1,562	1,444
Spath d'Islande.	1,666	1,777
Verre d'antimoine	1,888	2,568
Soufre natif.	2,115	3,473
Phosphore	2,224	3,946
Diamant	2,439	4,949
Chromate de plomb.	2,970	7,811

Voici quelques conséquences que l'on a déduites des recherches sur les puissances réfractives :

1° En général, toutes choses égales d'ail-

leurs, les substances inflammables ont une puissance réfractive considérable. Nous voyons cependant que le chromate de plomb a une puissance réfractive plus considérable que toute autre substance.

2^o MM. *Arago* et *Biot* ont constaté que pour un même gaz l'augmentation de vitesse de la lumière, en passant du vide dans un gaz, reste exactement proportionnelle à sa densité. M. *Dulong* a vérifié cette loi sur plusieurs gaz, que MM. *Arago* et *Biot* n'avaient pas soupçonnés dans leurs expériences.

3^o MM. *Arago* et *Petit* ont reconnu que les vapeurs ont un pouvoir réfringent moindre que les liquides d'où elles émanent, du moins est-ce le résultat fourni par le sulfure de carbone, l'éther sulfurique et l'éther hydro-chlorique.

4^o Un résultat encore très-remarquable, c'est que l'eau, d'après M. *Arago*, réfracte plus en plus, même en acquérant moins de densité par son refroidissement au-dessous de la température de 4^o. D'après *Euler*, le verre chaud réfracte plus que le verre froid.

1^o Ou la diminution de la vitesse, si l'on admet l'hypothèse des ondulations.

5^o Il paraît bien démontré, par les expériences, qu'il n'existe aucun rapport simple entre les puissances réfractives des substances élémentaires ou composées. Ainsi la puissance réfractive de l'hydrogène est presque la moitié de celle du gaz oxygène, et sa densité est 13 à 14 fois moindre.

6^o L'air est le seul gaz composé dont le pouvoir de réfraction soit égal à celui qui se déduit de ses élémens (*Despretz*).

58. C'est une loi générale de l'optique qu'un rayon lumineux, en allant d'un point à un autre, parcourt exactement le même chemin que celui qu'il suivrait s'il venait de ce second point vers le premier, toutes les circonstances demeurant les mêmes.

Ex. Si l'on aperçoit une lumière au moyen de plusieurs réfractions et réflexions consécutives, on doit l'apercevoir encore quand l'œil et la lumière changent de place et vont se substituer l'un à l'autre.

37. Par l'effet de la réfraction, un rayon lumineux, en pénétrant dans un milieu plus dense, forme généralement avec la perpendiculaire à la surface diaphane, un angle plus petit que celui que forme le rayon incident avec la même perpendiculaire. La plus grande valeur que puisse avoir le premier angle est 90 degrés; le second doit donc être toujours moindre, et sa valeur *maximum* varie pour les différentes substances. Cet angle se nomme la *limite de l'angle de réfraction*.

Ex. La limite de l'angle de réfraction, calculée pour quelques substances, a les valeurs suivantes :

Pour l'eau	49°	27'	4
le crown glass	40	39	
le flint glass	38	41	
le diamant	23	49	
le chromate de plomb . .	19	28	2

La limite de l'angle de réfraction se calcule en cherchant l'angle dont le sinus est réciproque à l'indice de réfraction.

58. Quand un rayon, dans l'intérieur d'un liquide, rencontre obliquement la surface et forme avec la perpendiculaire un angle moindre que la limite de l'angle de réfraction, il peut sortir de ce liquide en se réfractant; si son incidence est telle qu'il forme un angle égal à l'angle limite, ce rayon rasera la surface du liquide, au lieu d'en sortir; enfin si l'angle qu'il forme avec la perpendiculaire est plus grand que l'angle limite, il se produit un phénomène remarquable qu'on appelle le *phénomène de la réflexion totale*, parce que le rayon qui ne peut plus sortir du liquide, se réfléchit en totalité à l'intérieur, suivant les lois ordinaires de la réflexion.

Ex. Une pièce d'argent, mise au fond d'un

verre d'eau, peut produire tous les phénomènes précédemment énoncés, si l'on a égard à ce qui a été dit plus haut (75). Les poissons peuvent voir les objets qui sont sur le rivage, d'une manière très-déformée et comme à travers une grande ouverture circulaire; au delà des limites de cette ouverture, ils doivent voir, par réflexion, les objets placés sous le niveau de l'eau.

89. Quand des rayons de lumière traversent un milieu d'une densité variable, leur direction se trouve à chaque instant modifiée, et leur trajectoire est une ligne courbe.

Ex. La lumière des astres traverse notre atmosphère en décrivant une courbe qui a sa concavité du côté de l'horizon; les étoiles paraissent ainsi plus élevées qu'elles ne sont véritablement, et on les voit encore au-dessous de l'horizon au moment où elles viennent de se lever. Il en est de même du soleil et de la lune: c'est aussi par un effet de réfraction que les disques de ces astres paraissent aplatis vers le sens de la hauteur.

Des rayons de lumière qui traversent une couche d'air, raréfiée par le voisinage d'un corps fortement échauffé, ont aussi une trajectoire courbe ; de là, le *mirage* et les phénomènes des *parhélies* et des *parasélènes*. Une couche d'acide sulfurique concentré, sur laquelle on verse une couche d'eau, peut encore rendre sensible le même phénomène.

De la Réfraction ordinaire de la lumière à travers un système de surfaces planes.

60. Quand des rayons de lumière traversent des milieux homogènes, limités par des surfaces planes et parallèles, ces rayons subissent deux réfractations, et leur direction définitive est parallèle à celle qu'ils avaient d'abord.

Ex. Quand on voit les objets extérieurs à travers des carreaux de vitre, les rayons qui les rendent visibles sont parallèles à leurs directions primitives.

Ex Les prismes sont d'une grande u dans tout ce qui se rapporte à la décompo de la lumière, comme nous le verrons bie On s'en sert aussi pour estimer l'indice réfraction dans les substances solides, li des ou aériformes. *Wollaston* a fait une ap plication très-ingénieuse du prisme à l'art du dessin, en imaginant la chambre claire (*camera lucida*) : c'est un petit prisme de cris tal, de forme quadrangulaire; les rayons éma nés des objets extérieurs arrivent à l'œil dans une direction perpendiculaire à leur incidenc, après avoir subi deux réflexions à l'intérieur du prisme; de plus, ils ne subissent aucune ré fraction, parce qu'ils entrent et sortent du prisme perpendiculairement à deux de ses fa ces On dessine sur le papier les objets dans la direction où on les voit.

63. Si l'angle réfringent du prisme est double de l'angle limite ou plus grand, aucun des rayons qui sont entrés par l'une des faces, ne peut sortir par l'autre.

Si l'angle réfringent est égal à l'angle limite, tous les rayons qui tombent entre la normale et la base du prisme, peuvent sortir par la seconde face.

Si l'angle réfringent est plus petit que l'angle limite, plusieurs des rayons qui tombent sur la première surface, entre la normale et le sommet, peuvent émerger à la seconde surface.

Ex. On peut, en employant un prisme de verre d'un angle réfringent suffisamment grand, fermer une chambre obscure sans qu'il y pénètre la moindre lumière.

De la Réfraction ordinaire pour des surfaces courbes, et des Caustiques par réfraction.

64. Quand la réfraction se fait dans un milieu limité par une surface courbe, aucun des points de cette surface doit

être considéré comme un très - plan , faisant partie du plan tangent au point d'incidence.

65. Quand une série de rayons lumineux partis d'un point , va rencontrer une surface , ces rayons , après avoir été réfractés , suivent de nouvelles directions et se coupent mutuellement. Le lieu des points d'intersection est une surface brillante , qui a reçu le nom de *diacaustique* ou caustique par réflexion. Tous les rayons réfractés sont tangents à cette caustique.

Ex. Un verre d'eau, placé devant une chandelle allumée, forme une caustique qui prend différentes formes , selon la distance du verre à la chandelle.

66. Quand des rayons réfractés par une première surface , sont réfractés encore par une seconde , ils se coupent

de nouveau et forment par leurs intersections mutuelles une autre caustique, et ainsi de suite ; c'est-à-dire qu'à chaque nouvelle réfraction correspond une nouvelle caustique.

Obs. Il est remarquable que si des rayons incidens ont été primitivement perpendiculaires à une même surface , ils seront encore perpendiculaires à une autre surface , après avoir subi un nombre quelconque de réfractions : à la rencontre de surfaces continues , d'une forme quelconque (33).

* 67. Quand des rayons de lumière , partis d'un même point , se réfractent à la rencontre d'une surface quelconque ; si , des différens points de la surface dirimante pris successivement pour centres , on décrit des sphères dont les rayons soient proportionnels aux distances de ces centres au point rayonnant , l'enveloppe de toutes les sphères sera une des

Ex. Quand les rayons lumineux arrivent d'une distance infinie, parallèlement à l'axe ; ils se concentrent derrière la surface dirimante au *foyer principal* (65) ; plus le point rayonnant se rapproche ensuite de la surface dirimante , et plus le foyer conjugué s'éloigne de cette même surface. Si le point rayonnant était même trop rapproché du milieu , les rayons réfractés ne se couperaient plus. On a la relation suivante pour déterminer le foyer :

$$\frac{l-1}{r} = -\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} ;$$

r , p et p' sont les distances de la surface sphérique à son centre , à l'objet et au foyer conjugué ; l est l'indice de la réfraction , le signe + est pris pour le rayon réfracté dans le milieu.

Des Lentilles.

70. On entend généralement par *lentilles* , en optique, des corps diaphanes ; limités par deux surfaces sphériques ou par une surface sphérique et par un plan.

On divise les lentilles en deux espèces, les lentilles *convexes* ou de *convergence*, et les lentilles *concaves* ou de *divergence*.

La première espèce comprend les lentilles *doublement convexes*, *plano-convexes* et *concavo-convexes*.

La seconde comprend les lentilles *doublement concaves*, *plano-concaves* et *convexo-concaves*.

Obs. Il est bon d'observer que les lentilles *concavo-convexes* sont celles où la convexité prédomine. Le contraire a lieu pour les lentilles *convexo-concaves*. L'axe d'une lentille est la droite qui joint les deux centres de courbure des surfaces que présente la lentille.

71. Quand des rayons lumineux, émanés d'un point, tombent sur une lentille, ils vont, après avoir subi deux réfractations successives, converger vers un même foyer, s'ils ont traversé une len-

tille convexe ; et s'ils ont traversé une lentille concave , ils divergent comme s'ils partaient d'un même foyer (67).

Dans le premier cas , la lentille est entre le point rayonnant et le foyer ; dans le second cas , ces deux points sont du même côté de la lentille.

Obs. Ce que nous disons des foyers n'est vrai , du moins pour les lentilles de convergence , qu'autant que le point rayonnant est à une certaine distance.

72. Les rayons lumineux qui ont traversé une lentille convexe ou concave , n'ont pas rigoureusement un point unique pour foyer , mais les rayons les plus éloignés de l'axe s'écartent sensiblement de ce point. C'est ce qu'on nomme l'*aberration de sphéricité* (65).

Obs. Pour diminuer l'aberration de sphéricité , on diminue quelquefois l'étendue de l'ob-

ectif dans les lunettes, au moyen d'un *diaphragme*.

Des Lentilles de convergence.

73. Quand le point rayonnant est à une distance *infinie*, dans la direction de l'axe d'une lentille de convergence (70), ses rayons viennent, après avoir traversé la lentille, passer par un même point situé sur l'axe, et désigné sous le nom de *foyer principal*. La *distance focale* est la distance du foyer à la surface du verre la plus voisine. Réciproquement, si le point rayonnant était au foyer principal, ses rayons réfractés deviendraient parallèles à l'axe de la lentille.

Ex. Si l'on expose au soleil une lentille convergente, et si l'on reçoit l'image sur un écran, le point où les rayons réfractés viennent se concentrer est le foyer cherché. On peut

encore déterminer ce foyer par la formante : $a(l-1) = \frac{rr'}{r+r'}$; r et r' sont les de courbure des deux surfaces de la le est l'indice de réfraction , a la distanc demandée. Quand une des faces de la est concave , son rayon doit être pris ment. Si les deux courbures sont conv de même rayon , ce qui est le plus on a la relation très-simple $a(l-1) = \frac{1}{2}$

L'angle sous lequel une lentille est foyer principal , se nomme l'*ouverture* lentille ; cet angle ne doit pas dépasser degrés. S'il était plus grand , il y au aberration de sphéricité plus ou moins ble (72).

74. Quand le point rayonnant une distance *finie* sur l'axe de la le au delà du foyer principal , le *foyer jugué* est aussi sur l'axe de cette le et de l'autre côté ; il s'éloigne qu point rayonnant approche , et ré quement. Si le point rayonnant e

tre la lentille et le foyer principal, le foyer conjugué tombe du même côté, mais toujours plus loin de la lentille.

Ex. On peut déterminer le foyer conjugué, par expérience, à peu près comme nous avons déterminé le foyer principal (69), ou par le calcul, en employant la formule $\frac{l-i}{r} + \frac{l-i}{r'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$; p et p' sont les distances de l'objet et du foyer conjugué à la lentille; r , r' et l ont les mêmes valeurs que précédemment.

75. Le *centre optique* d'une lentille est un point situé sur l'axe de telle manière que tout rayon lumineux qui y passe, sort dans une direction parallèle à celle qu'il avait avant son entrée dans la lentille; de sorte qu'à cause du peu d'épaisseur de la lentille en général, le rayon n'éprouve pas de déviation sensible.

Le point rayonnant et son foyer conjugué se trouvent donc sur une même droite avec le centre optique.

76. Le centre optique divise l'axe de la lentille en deux parties proportionnelles aux rayons des faces auxquelles elles aboutissent.

Ex. Dans une lentille biconvexe, ayant deux faces de même courbure, le centre optique est au milieu de la lentille.

77. Quand le point rayonnant est placé hors de l'axe d'une lentille, on détermine son foyer conjugué, en le considérant comme l'intersection de deux rayons lumineux, dont l'un passe par le centre optique (75), et dont l'autre, parallèle à l'axe, va nécessairement, en sortant de la lentille, passer par le foyer principal (73).

OBS. On nomme axe *secondaire*, la ligne droite qui joint un point placé hors de l'axe principal au point qui est son foyer conjugué. Tous les axes secondaires passent évidemment par le centre optique de la lentille.

Si l'axe secondaire faisait avec l'axe principal un angle plus grand que 10 ou 15 degrés, tous les rayons ne convergeraient plus exactement au même point, après avoir traversé la lentille, et il y aurait une aberration de sphéricité sensible .

78. Quand un objet est placé au delà du foyer d'une lentille, son image est de l'autre côté de la lentille, dans une position renversée. Cette image augmente et s'éloigne à mesure que l'objet se rapproche ; quand l'objet est au foyer des rayons parallèles , l'image passe à l'infini.

Ex. L'objet est ordinairement placé au delà du foyer, dans les lunettes astronomiques et les microscopes. On considère les corps comme des assemblages de points lumineux, afin de faciliter la construction des images (42).

79. Quand un objet est placé entre le foyer principal et la lentille, cette image

et l'objet ne sont plus renversés, l'un par rapport à l'autre; et ils se trouvent du même côté de la lentille. L'image, toujours plus grande que l'objet, est aussi plus éloignée de la lentille.

Ex. L'objet est ordinairement placé entre la lentille et son foyer principal, quand on se sert de la lentille comme loupe. On se sert des lentilles convergentes pour corriger le défaut de la vue appelé *presbytisme*.

Des Lentilles de divergence.

80. Quand un point rayonnant est à une distance *infinie* dans la direction de l'axe d'une lentille de divergence, ses rayons, en sortant de la lentille, divergent comme s'ils partaient d'un point situé sur l'axe et du même côté que le point rayonnant par rapport à la lentille.

Le point d'où les rayons semblent di-

verger, se nomme *foyer imaginaire* ou *foyer virtuel*, pour le distinguer du foyer *réel* des lentilles convergentes.

Ex. On détermine le foyer imaginaire des lentilles de divergence, à peu près de la même manière que le foyer principal des miroirs réflecteurs convexes (46). On couvre les lentilles d'une feuille de papier ou d'une lame de plomb percée de deux trous et on les expose ainsi au soleil; les directions des deux rayons réfractés vont passer par le foyer principal: la détermination mathématique s'obtient par une formule donnée plus haut (69).

81. Quand le point rayonnant est à une distance *finie* sur l'axe de la lentille, le foyer conjugué est aussi sur l'axe de cette lentille et du même côté que l'objet; il s'éloigne du verre en même temps que l'objet.

Obs. On a, pour déterminer le foyer conju-

gué, la relation mathématique — $\frac{l-1}{r}$ — $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$, qui, aux signes près, est la même que celle que nous avons déjà faite (74).

82. Quand le point rayonnant est hors de l'axe de la lentille, on détecte son foyer conjugué, comme pour les lentilles convergentes (77), en le cherchant comme l'intersection de deux rayons lumineux dont l'un passe par le foyer optique (75), et dont l'autre, parallèle à l'axe, suit en sortant de la lentille la direction qui passe par le foyer principal.

83. Quand des rayons lumineux frappent une lentille de divergence, ils divergent, comme s'ils partaient de points virtuels qui sont rapprochés et plus petits que les objets eux-mêmes ; de sorte que l'objet s'éloigne du

l'image apparente s'éloigne également, et la limite extrême à laquelle elle peut atteindre est le foyer virtuel ; c'est ce qui arrive quand l'objet est à une distance infinie (80).

Ex. On se sert de lentilles divergentes pour corriger le défaut de la vue nommé *myopisme*.

Des Lentilles en échelons et des Lentilles cylindriques et coniques.

§4. Les *lentilles en échelons* sont formées d'une lentille biconvexe et d'autres portions annulaires de lentilles de même espèce qui s'emboîtent les unes dans les autres, de manière que les foyers principaux coïncident tous en un même point.

Ces lentilles, qui sont ordinairement très-grandes, font les mêmes fonctions que les lentilles biconvexes, sans offrir

l'inconvénient d'avoir une extrême épaisseur.

OBS. Ces lentilles ont été imaginées par M. Fresnel pour l'éclairage des phares. Exposées au soleil, elles produisent la chaleur la plus intense et fondent presque au même instant le plomb ou percent des feuilles de tôle.

85. Les *lentilles cylindriques*, formées par deux portions de surfaces cylindriques dont les axes sont parallèles, servent dans plusieurs expériences d'optique et particulièrement dans celles des interférences (*voyez plus loin*).

OBS. La théorie de ces lentilles dépend de celle des lentilles biconvexes.

86. On montre aussi dans les cabinets de physique des lentilles *coniques* (la surface est un cône de révolution et la base est un plan); elles servent à met-

tre en évidence quelques résultats curieux de la réfraction.

Ex. L'œil étant placé dans le prolongement de l'axe du cône, et un point rayonnant étant appliqué contre la base et sur le même axe, on voit le point sous la forme d'un anneau.



DEUXIÈME SECTION.

DE L'ANALYSE DE LA LUMIÈRE, DE LA RÉFRACTION ET DES ANNEAUX COLORÉS.

CHAPITRE PREMIER.

ANALYSE DE LA LUMIÈRE.

*De la Décomposition de la Lumière
blanche.*

87. La lumière *blanche*, qui nous vient du soleil ou des autres corps lumineux est formée de sept couleurs principales qui sont le *rouge*, l'*orangé*, le *jaune*, le *vert*, le *bleu*, l'*indigo* et le *violet*.

OBS. La décomposition de la lumière fut aperçue d'abord par *Grimaldi* et démontrée ensuite par les belles expériences de *Newton*.

Quelques physiciens, et sir D. Brewster en particulier, n'admettent que trois couleurs élémentaires : le rouge, le jaune et le bleu.

88. La décomposition de la lumière se manifeste dans le phénomène de la réfraction ; on observe que les différentes parties d'un rayon blanc ne suivent pas, après s'être réfractées, le même rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction.

Ex. Si l'on observe, à travers un prisme, une épingle, un fil ou d'autres objets, les bords paraîtront colorés. L'image du soleil paraît dilatée dans le sens de la section principale du prisme (81); les rayons rouges sont le moins réfractés; les rayons bleus et violets le sont le plus; l'image colorée qui se projette sur une surface blanche se nomme *spectre solaire*. La réfraction a lieu de la manière suivante pour les différentes couleurs.

	Eau.	Crown glass.	Flint glass.
	Index de réfr.	Index de réfr.	Index de réfr.
Rouge	1,3310	1,5258	1,6277
Orangé. . . .	1,3317	1,5268	1,6297
Jaune	1,3336	1,5296	1,6350
Vert	1,3358	1,5330	1,6420
Bleu	1,3378	1,5360	1,6483
Indigo. . . .	1,3413	1,5417	1,6603
Violet. . . .	1,3443	1,5466	1,6711

89. L'inégale *réfrangibilité* des rayons n'est point accidentelle, mais c'est une propriété inhérente à leur nature, car chacun d'eux la conserve invariablement après une première et même après une seconde ou une troisième réfraction.

Ex. Un rayon blanc introduit dans une chambre obscure et qui traverse un prisme, se décompose en ses rayons élémentaires (87); ces derniers rayons, en traversant ensuite un nombre quelconque de prismes ou en se réfléchissant d'un nombre quelconque de manières, ne peuvent plus subir de nouvelles décomposi-

tions, mais ils conservent leur inégale réfrangibilité. Le rayon blanc reçoit le nom de lumière *composée* ou *hétérogène*, par opposition avec les couleurs *simples* ou *homogènes*. Voyez les belles expériences de *Newton* dans son *optique*.

Si un livre imprimé est éclairé par une lumière homogène, les caractères peuvent se lire parfaitement à travers un prisme, tandis qu'on ne pourrait les distinguer s'ils étaient éclairés par une lumière composée.

90. Les rayons ne diffèrent pas seulement en réfrangibilité, mais encore en *réflexibilité*; et l'on trouve que les plus réfrangibles sont aussi les plus susceptibles d'être réfléchis à l'intérieur des corps diaphanes (58).

Ex. Les rayons violets sont réfléchis dans l'intérieur du prisme sous des incidences auxquelles les autres rayons peuvent encore en sortir (57 et 58).

91. Dans toute lumière homogène, de

quelque couleur qu'elle soit, les corps paraissent uniquement de leur de cette lumière ; mais les réfléchissent plus abondamment autres.

Ex. Des mouches, des papillons, etc dans le spectre solaire, en prennent les rentes teintes, même lorsqu'ils sont vers le prisme. Du reste des rayons être rouges ou violets sans être homogènes ils sont alors susceptibles d'être décom

92. Les intervalles que les différentes couleurs occupent dans le spectre solaire, ne sont pas égaux entre eux

Ex. En supposant la hauteur du spectre solaire partagée en 360 parties égales, on a trouvé, pour le verre qu'il employait les suivantes :

Pour le violet.
L'indigo.
Le bleu.

Le vert.	60
Le jaune	48
L'orangé.	27
Le rouge.	45

On voit que les rayons verts occupent à peu près le milieu du spectre solaire ; on les a nommés pour ce motif, *rayons moyens* ; et l'indice de la réfraction qui leur est propre, *indice moyen* du prisme ; enfin l'angle de déviation de la direction primitive des rayons verts se nomme *réfraction moyenne*.

93. Le spectre solaire ne présente pas toujours les sept couleurs principales, parce que la lumière éprouve différentes altérations en traversant l'atmosphère.

Ex. A midi, quand le ciel est pur, le spectre est ordinairement complet. Mais le matin et le soir, ou par un temps brumeux, les rayons indigo et les violets peuvent manquer. Quelquefois aussi les rayons bleus, verts et même les jaunes manquent au spectre, quand le disque

solaire, près de l'horizon, a pris un rougeâtre. La lumière d'une chandelle rarement un spectre complet.

M. *Faraday* a observé que la flamme du *cogène*, vue à travers un prisme, forme un spectre divisé d'une manière particulière, différentes parties limitées par plusieurs bandes obscures. Sir *J. Herschel*, en faisant ces expériences semblables sur les *foux rouges* qu'on produit au théâtre en brûlant le nitrate de strontiane, trouva dans le spectre de nombreuses solutions de continuité et une ligne extrêmement brillante d'un bleu très-vif. La flamme du potassium qui brûle dans l'iode donne encore un spectre très-remarquable (Voyez dans ma *Corr. math.* une lettre de *J. Herschel* à ce sujet.)

94. Si l'on réunit en un faisceau, les sept couleurs principales du spectre, on recompose de la lumière blanche.

Ex. Qu'on sépare, au moyen du prisme, un rayon blanc en ses rayons simples et qu'on co

centre ensuite ces derniers rayons au foyer d'une lentille, on aura encore de la lumière blanche. *Newton* a remarqué aussi que le mélange de sept poudres différentes présentant les sept couleurs du spectre, formait un blanc-grisâtre : une roue sur laquelle on peint ces sept mêmes couleurs et que l'on fait mouvoir rapidement, offre une teinte semblable.

95. En réunissant une partie des couleurs du spectre, on obtient une certaine couleur mixte ; en réunissant aussi l'autre partie, on obtient une seconde couleur qui est dite *complémentaire* de la première. Les deux couleurs complémentaires formeraient ensemble de la lumière blanche.

Ex. Le jaune et le bleu formeraient du vert, et les autres couleurs du spectre formeraient la teinte complémentaire de ce vert. Ces deux teintes réunies au foyer d'une même lentille, reproduiraient du blanc.

Newton supposait la circonférence partagée de la manière suivante :

Parties.	Degrés corre
$\frac{1}{9}$	60°
$\frac{1}{16}$	34
$\frac{1}{10}$	54
$\frac{1}{9}$	60
$\frac{1}{10}$	54
$\frac{1}{16}$	34
$\frac{1}{9}$	60

Il déterminait ensuite les centres de gravité de chacun de ces arcs qui représentaient les couleurs principales du spectre, et pour chacun d'eux, un poids proportionnel à l'intensité des rayons représentés par l'arc correspondant. En prenant alors le centre de gravité commun de tous ces poids, on déterminait la teinte qui devait prévaloir. Ainsi quand le centre de gravité commun coïncide avec le centre du cercle, la couleur

nante est le blanc. Si la coïncidence n'a pas lieu, la direction des deux points indique sur la circonférence la teinte qui prédomine, et leur distance mesure la vivacité de cette teinte. Comme il n'existe pas deux centres de gravité partiels diamétralement opposés, il devient impossible de former du blanc en mêlant seulement deux couleurs simples.

96. *L'arc-en-ciel* est un des plus beaux phénomènes naturels dépendant de la décomposition de la lumière ; il suppose pour conditions essentielles : la présence du soleil sur l'horizon, la résolution d'un nuage en pluie, et, pour station de l'observateur, un lieu situé entre l'astre et le nuage.

Il est produit par les rayons lumineux qui arrivent à l'œil après avoir subi une décomposition dans les gouttes de pluie par deux réfractions (l'une à l'entrée et l'autre à la sortie), et après avoir subi de plus, dans l'intérieur de ces gouttes,

une ou deux ou plusieurs réflexions qui produit un ou plusieurs arcs-en-croix concentriques , mais d'une vivacité différente.

Ex. L'arc-en-ciel intérieur , dont les couleurs sont les plus vives , a une largeur apparente de $2^{\circ} 15'$; le 1^{er} arc-en-ciel extérieur a une largeur de $3^{\circ} 40'$; la distance entre les deux est de $8^{\circ} 27'$. Chacun des arcs présente les couleurs du spectre ; mais dans un ordre inverse : dans l'arc intérieur , le rouge est la couleur la plus élevée ; dans l'arc extérieur le violet. Quand un 3^e arc est visible , l'ordre des couleurs est le même que dans le premier et ainsi de suite. On voit aussi des arcs-en-ciel lunaires , mais dont les teintes sont très-faibles. Enfin le phénomène des arcs colorés se manifeste encore quand on se trouve entre le soleil et la rosée légère que projette un jet d'eau ou une cascade.

L'axe commun des deux cônes des rayons incidents et des rayons réfractés ou *efficaces* , est aussi l'axe de la vision , forme avec

rayons menés aux bords de l'arc intérieur, des angles de $40^{\circ} 2'$ et $42^{\circ} 17'$; et avec les rayons menés aux bords de l'arc extérieur, des angles de $50^{\circ} 44'$ et $54^{\circ} 24'$.

97. Le *halo* est une couronne de lumière blanche ou de rayons colorés, formée autour du soleil ou de la lune; le diamètre est généralement de 45° ; il s'en forme rarement un second, qui est alors concentrique au premier et d'une amplitude double: leur cause paraît due à une ou plusieurs réfractions qui s'opèrent dans de petits cristaux de glace répandus dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Obs. Le ciel prend ordinairement une teinte bleue très-sombre dans l'intérieur du halo. Hévélius a observé à Dantzick, en 1661, trois halos autour du soleil et trois couronnes lumineuses autour du zénith; il a observé en même temps six images du soleil dans des points où ces cercles se coupaient.

De la Dispersion de la Lumière

98. La *dispersion* de la lumière est mesurée par l'angle plus ou moins grand que forment les rayons rouges et violets qui servent de limites au spectre solaire ou bien encore c'est l'excès de la réfraction du rayon le plus réfrangible sur celle du rayon le moins réfrangible.

99. La *dispersion* n'est pas proportionnelle à la réfraction ; c'est-à-dire que les substances qui présentent une réfraction moyenne égale ne dispersent pas pour cela également la lumière.

Ex. Qu'on remplisse un prisme d'huile de cassia et qu'on ajuste l'angle réfringent de manière que les rayons verts tombent au même endroit où tomberaient les rayons verts du spectre formé par un prisme de verre, on trouvera que le spectre, dans le premier cas, est deux fois aussi long que dans le second.

Newton croyait que la dispersion est proportionnelle à la réfraction ; cette erreur a eu les conséquences les plus funestes , et a retardé assez de temps le perfectionnement des instrumens d'optique.

100. On estime le *pouvoir dispersif*, en divisant la différence des indices de réfraction, pour les deux rayons extrêmes du spectre, par la différence entre le sinus d'incidence et le sinus de réfraction du rayon moyen.

Ex. D'après le tableau donné précédemment (88), on a pour différence des indices de réfraction des rayons rouges et violets, produits par l'eau, $1,3442 - 1,3310$ ou $0,0132$, que l'on doit diviser par $1,3358 - 1$ ou $0,3358$, qui est la différence entre le sinus d'incidence et le sinus de réfraction. Le quotient $0,0361$ est le *pouvoir dispersif* de l'eau.

La table suivante montre le pouvoir dispersif de plusieurs substances , d'après *Brewster*. La seconde colonne fait connaître la dispersion de

la lumière pour ces mêmes substances ou l'excès de la réfraction du rayon le plus réfrangible sur celle du rayon le moins réfrangible. Il est évident que l'indice moyen de réfraction plus ou moins la moitié de cette dernière quantité, donne les indices de la réfraction pour les deux rayons extrêmes du spectre.

Table des Pouvoirs dispersifs.

Substances solides.	Pouvoir dispersif.	Dispersif
Chromate de plomb	0,400	0,770
Soufre après la fusion	0,130	0,14
Phosphore	0,128	0,15
Sel gemme	0,053	0,05
Flint glass	0,053	0,05
Diamant	0,038	0,0
Alun	0,036	0,0
Crown glass très-vert	0,036	0,
Crown glass.	0,033	0,
Cristal de roche	0,026	0
Tourmaline.	0,028	0
Émeraude	0,026	0

Substances solides.	Pouvoir dispersif.	Dispersion.
Soufre carburé.	0,115	0,077
Acide nitrique.	0,045	0,021
Acide muriatique.	0,043	0,016
Huile de térébenthine	0,042	0,020
Huile d'olive	0,038	0,018
Eau	0,035	0,012
Esprit-de-vin	0,032	0,012
Acide sulfurique	0,031	0,014
Alcool	0,029	0,011

101. Dans deux spectres différens, les espaces occupés par les mêmes couleurs ne sont pas proportionnels aux longueurs de ces spectres. Cette propriété se nomme *l'irrationalité* de la dispersion ou des espaces colorés du spectre solaire.

Ex. Que l'on forme deux spectres, l'un au moyen de l'huile de cassia et l'autre au moyen de l'acide sulfurique. Si ces deux spectres ont même étendue, on trouvera que le rouge, l'o-

rangé et le jaune occupent moins d'espace dans le premier spectre que dans le second : le contraire a lieu pour les rayons bleus , indigo et violets. Le Dr *Brewster* a rangé les substances suivantes d'après le degré auquel les espaces colorés par les rayons les moins réfrangibles (89), se trouvent contractés.

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1 Huile de cassia. | 11 Huile d'olive. |
| 2 Soufre. | 12 Sel gemme. |
| 3 Huile de sassafras. | 13 Huile d'amandes. |
| 4 Huile de térében. | 14 Crown glass. |
| 5 Ambre. | 15 Alcool. |
| 6 Diamant. | 16 Éther. |
| 7 Nitre. | 17 Acide nitrique. |
| 8 Huile de noix. | 18 Cristal de roche. |
| 9 Flint glass. | 19 Eau. |
| 10 Zircon. | 20 Acide sulfurique. |

De l'Achromatisme.

102. En faisant usage d'un prisme homogène, il est impossible de produire une réfraction, sans qu'elle soit accom-

pagnée d'une dispersion de couleurs.

Il est même impossible de produire la réfraction sans dispersion , à travers plusieurs prismes de même substance.

Ex. Les objets vus à travers les prismes sont toujours colorés. Il en est de même des objets vus à travers des lentilles simples , puisque les parties élémentaires peuvent être considérées comme des portions de prismes.

103. Quand des rayons blancs tombent sur une lentille , il se forme autant de caustiques qu'il y a de rayons colorés différens.

Ex. Les rayons violets qui sont les plus réfrangibles , ont leur foyer quelque part en un point a ; de même les rayons rouges qui sont les moins réfrangibles , ont leur foyer en un point b , et les autres rayons ont leurs foyers entre ces deux points a et b . On nomme *iris* les couleurs qui se forment autour des images qu'on voit au foyer des lentilles ; et le phénomène

prend le nom d'*aberration de réfrangibilité* qu'il ne faut pas confondre avec l'*aberration sphéricité* (72).

104. On peut construire deux prismes ou deux lentilles dont le système refracte les rayons lumineux de manière que la dispersion soit détruite pour deux espèces de rayons, les rouges et les violets par exemple.

Le calcul indique que ces prismes doivent avoir leurs angles en raison inverse des pouvoirs dispersifs.

Ex. On peut réfracter la lumière, et détruire les couleurs pour les deux rayons extrêmes, par le moyen de deux prismes, l'un de flint glass, l'autre de crown glass. Les pouvoirs dispersifs de ces verres sont à peu près dans le rapport de 3 à 2 (100). Cette destruction de couleurs se nomme *achromatisme*, et le prisme qui produit *prisme achromatique*. Il faut cependant observer que l'achromatisme ne peut avoir lieu pour les rayons intermédiaires, à cause d

rationalité de la dispersion (101); ces rayons se montrent néanmoins très-peu. C'est à *Dollond* que l'on doit la construction de la première lentille achromatique, que *Newton* avait cru impossible de réaliser.

105. Pour produire l'achromatisme complet de toutes les couleurs, il faudrait employer autant de lentilles qu'il y a de couleurs différentes.

Obs. On n'emploie ordinairement que deux ou trois lentilles. Le D^r *Blair*, d'Édimbourg, a cherché à produire, par une lentille supplémentaire remplie d'un liquide, l'achromatisme des rayons verts. Le professeur *Barlow*, de Wolwich, a construit aussi de fort belles lunettes achromatiques, avec une lentille remplie de sulfure de carbone qu'il place derrière l'objectif, au tiers de la lunette.

*Propriétés physiques et chimiques des
Rayons colorés.*

106. Parmi les différentes couleurs

du spectre, les rayons jaunes possèdent le *maximum* de clarté et partagent à peu près également cette propriété avec les rayons verts; à partir de ces rayons, l'intensité de la lumière diminue assez rapidement jusqu'aux deux extrémités du spectre.

Obs. Ces résultats ont été confirmés par les expériences d'*Herschel* et avaient déjà été remarqués par *Newton*. *Fraunhofer* a construit une courbe dont les ordonnées représentent les intensités de lumière correspondantes à différentes parties du spectre. En nommant a, b, c, d, e, f, g, h, i, les points entre lesquels sont comprises ces parties, on a pour valeurs des intensités de clarté :

a.	0,000
b.	0,032
c.	0,094
d.	0,64
e.	0,48
f.	0,17

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES.

g.	0,031
h.	0,0056
i.	0,000

On prend, pour unité, la plus grande ordonnée qui tombe dans la bande jaune et son pied m est entre d et e , de manière que $d m$ est à peu près $\frac{1}{3}$ de $d e$.

107. Si l'on observe les propriétés calorifiques des rayons du spectre solaire, formé par un prisme de verre, on trouve que la faculté d'échauffer augmente progressivement depuis les rayons violets jusqu'aux rayons rouges.

Ex. Sir H. Englefield a obtenu les résultats suivans :

<i>Rayons.</i>	<i>Température Fahr.</i>
Bleus.	56
Verts.	58
Jaunes.	62
Rouges.	72
Au delà du rouge.	79

Il paraît que *Rochon* indiqua, le premier, ces sortes de propriétés, qui furent étudiées avec soin par *Herschel*. C'est à ce grand astronome qu'on doit l'observation que le *maximum* de chaleur est un peu en dehors du spectre, du côté des rayons rouges, ce qui le porta à croire qu'il y a dans la lumière solaire des rayons invisibles qui produisent la chaleur et qui sont moins réfrangibles que les rayons rouges. Toutefois cette observation, qui a été confirmée par *H. Englefeld* et par sir *H. Dary*, ne s'accorde pas avec les expériences de *Bérard* et de *Leslie* sans doute parce que ces physiciens n'avaient point égard à la substance dont le prisme était composé (108). D'après *Rochon*, le rapport de la chaleur aux deux extrémités du spectre est celui de 8 : 1 ; d'après *Herschel*, de 7 : 2 ; d'après *Leslie*, de 16 : 1.

108. Le pouvoir échauffant des couleurs du spectre dépend de la substance dont est formé le prisme.

Ex. Le Dr *Seebeck*, de Berlin, a trouvé la propriété calorifique des couleurs du spectre varie de la manière suivante :

ver *la plus grande chal. réside*
au, dans le jaune.
acide sulfurique, — l'orangé.
crown glass, — le milieu du rouge.
flint glass, — au delà du rouge.

MM. Nobili et Melloni ont trouvé aussi que la
 ne de plus grande chaleur, pour un prisme
 sel gemme, se trouve dans l'espace obscur
 sur une bande éloignée du rouge, égale pour
 moins à la distance qui sépare en sens con-
 traire le bleu du rouge.

109. Les différentes couleurs du spec-
 tre ne possèdent pas au même degré la
 propriété d'exercer des actions *chimi-*
ques; cette propriété réside particulière-
 ment dans les rayons violets, et elle est
 son *maximum* un peu en dehors du
 spectre, du côté de ces derniers rayons.

Ex. M. Bérard a reconnu que du chlorure
 d'argent, tenu pendant deux heures dans la lu-
 mière rouge condensée, n'éprouvait aucune
 décoloration; tandis que, dans la lumière violette,

il se colorait en moins de cinq minutes. *Schœler* a reconnu le premier cette propriété, qui a été étudiée ensuite par *Ritter*, *Wollaston*, *Bochmann*, etc. La même propriété réside encore dans la lumière bleue, mais avec très-peu d'intensité. Le *Dr Seebeck* a reconnu que la couleur du chlorure d'argent varie selon les espaces colorés dans lesquels on l'expose.

110. Il paraît que les rayons violets jouissent aussi, plus que les autres rayons du spectre, de la faculté *magnétique*, c'est-à-dire de la faculté d'aimanter les aiguilles qu'on expose à leur influence.

OBS. Le professeur *Morichini*, de Rome, a le premier annoncé qu'on pouvait aimanter avec de la lumière, mais cette observation n'a pas été entièrement constatée par les expériences faites depuis. Cependant *Madame Somerville* est parvenue à aimanter, à Londres, des aiguilles dont la moitié était enveloppée, et dont l'autre moitié était exposée aux rayons violets, indigo, bleus, et même aux rayons verts du

spectre , ou bien encore à la lumière solaire sous une enveloppe de soie violette.

111. En observant avec soin le spectre solaire , on trouve que sa surface est couverte d'une infinité de raies ou lignes droites , obscures et colorées , parallèles entre elles et perpendiculaires à la hauteur du spectre.

Ex. Cette belle observation est due à *Wollaston* et a été étudiée avec soin par *Fraunhofer*, qui en a compté jusqu'à 590. Il faut employer des prismes parfaitement construits et d'un verre bien pur ; les raies dont il s'agit , doivent être observées avec un instrument grossissant , et la lumière doit former des angles égaux avec les deux faces du prisme , à son entrée et à sa sortie.

112. Les raies du spectre solaire ont , les unes par rapport aux autres , des distances qui sont invariables pour les mêmes substances , et qui changent pour des substances différentes.

Ex. *Fraunhofer* a trouvé les valeurs pour les indices de la réfraction des principales qui se trouvent dans les bandes colorées du spectre.

	Flint glass.	Crown glass.	
Rouge . . .	1,627749	1,525832	1
Orangé . . .	1,629681	1,526849	1
Jaune . . .	1,635036	1,529587	1
Vert . . .	1,642024	1,533005	1
Bleu . . .	1,648260	1,536052	1
Indigo . . .	1,660285	1,541657	1
Violet . . .	1,671062	1,546566	1

Dans ces expériences, l'angle du premier prisme de flint glass était de $26^{\circ} 24' 30''$, et la pesanteur spécifique, 3,723; pour le crown glass l'angle était de $39^{\circ} 20' 35''$, et la pesanteur spécifique, 2,52. L'angle du troisième prisme était de 58° .

Fraunhofer a déduit de là les rapports de la dispersion différente des différens rayons dans plusieurs paires de substances différentes. A chaque paire, la dispersion de la substance d'un moindre pouvoir dispersif est prise pour l'unité.

Intervalle.	Flint g. et eau.	Flint g. et crown. g. et eau.	Crown. g. et eau.
Du rouge à l'orangé .	2,562	1,900	1,349
De l'orangé au jaune.	2,871	1,956	1,468
Du jaune au vert. . .	3,073	2,044	1,503
Du vert au bleu . . .	3,193	2,047	1,560
Du bleu à l'indigo . .	3,480	2,145	1,613
De l'indigo au violet.	3,726	2,195	1,697

Fraunhofer a trouvé, dans le spectre produit par la lumière de Vénus, les mêmes raies que dans le spectre solaire : dans le spectre de la lumière de Sirius, il a vu trois raies larges, qui, d'après l'apparence, n'ont point de ressemblance avec celles de la lumière du soleil ; une d'elles se trouve dans le vert, deux dans le bleu. Les étoiles paraissent, par rapport à ces raies, être différentes entre elles.

La lumière électrique donne des raies brillantes, au lieu de raies noires.

La lumière d'une lampe donne aussi des raies brillantes, et il en est de même de la flamme de l'hydrogène et de celle de l'alcool.

Sir *D. Brewster* a trouvé plus de 1000 raies fixes dans le spectre formé par la lumière des

flammes ordinaires après son passage à travers le gaz acide nitrique. MM. *Miller* et *Davis* ont fait des observations semblables sur d'autres gaz colorés.

CHAPITRE II.

DES INTERFÉRENCES, DE LA DIFFRACTION ET ANNEAUX COLORÉS.

Des Interférences.

113. Si l'on fait tomber sur deux miroirs, très-faiblement inclinés entre eux, des rayons *homogènes* qui émanent d'un même point lumineux, les rayons réfléchis formeront deux faisceaux qui iront se rencontrer sous un angle très-petit, et l'on verra à l'endroit où ils croisent, une série de bandes alternativement brillantes et obscures.

Ex. On produit la réflexion sur deux miroirs métalliques, ou sur les deux faces d'un prisme

cristal fait exprès pour ces sortes d'expériences, parce qu'il est très-difficile de donner aux miroirs métalliques la petite inclinaison convenable. On prend des rayons homogènes du spectre ou des rayons solaires que l'on a fait passer d'abord par un verre coloré bien pur. L'expérience doit avoir lieu dans la chambre obscure.

On peut observer les bandes brillantes et obscures, en les recevant sur un écran, ou les observer directement à la loupe, comme le faisait *Fresnel*.

Grimaldi avait reconnu l'influence mutuelle des rayons lumineux, mais le Dr *Young* est le premier qui ait montré que la lumière ajoutée à de la lumière peut produire de l'obscurité, et qui ait donné une explication satisfaisante de ce phénomène, par son ingénieux principe des *interférences*, qui complète le système des onduations (1).

Selon ce système, l'intensité de la lumière dépend de l'amplitude des vibrations de l'éther; les vibrations se transmettent *sphériquement* autour du centre d'ébranlement. Les rayons sont les lignes droites menées de ce centre aux points de la surface sphérique.

Les particules de l'éther oscillent *perpendiculairement* à la direction des rayons ; et *oscillation lumineuse* se compose de l'aller du retour.

Le mouvement se propage , à partir du centre d'ébranlement avec une vitesse *très-grande* mais non pas infinie ; ainsi une particule d'éther pourra avoir terminé une oscillation que une autre particule commencera plus loin à mettre en vibration ; la distance qui sépare les particules est la *longueur d'ondulation*.

La *nature de la lumière* ou la sensation de couleur dépend de la longueur d'ondulation de la *durée des oscillations* , qui est toujours proportionnelle à cette longueur.

Une même particule d'éther peut faire partie d'une *infinité* de systèmes d'ébranlement , concourir ainsi à transmettre la lumière émane de différens points. Si deux oscillations provenant d'un même centre d'ébranlement également intenses ont lieu dans le même sens la particule vibre avec plus de force , et il y a *augmentation de lumière* ; dans le cas contraire les deux mouvemens s'entre-détruisent , et il y a *obscurité*. L'intensité de la lumière est me

fiée selon la destruction plus ou moins grande des mouvemens. C'est en cela que consiste le *principe des interférences*.

114. Si l'on représente par d la longueur d'une ondulation pour deux rayons homogènes, émanés d'une même source, et qui se rencontrent sous une très-petite obliquité, il y aura augmentation de lumière, quand la différence des chemins parcourus sera 0 , $\frac{2d}{2}$, $\frac{4d}{2}$, $\frac{6d}{2}$, c'est-à-dire un nombre *pair* de demi-valeurs de d ; au contraire, il y aura destruction de lumière, quand la différence des chemins parcourus sera $\frac{d}{2}$, $\frac{3d}{2}$, $\frac{5d}{2}$, c'est-à-dire un nombre *impair* de demi-valeurs de d .

115. La largeur des *franges* ou l'intervalle entre les milieux de deux franges, est en raison inverse de la grandeur de l'angle des deux faisceaux interférans; et l'intervalle des milieux de deux ban-

des obscures ou de deux bandes brillantes consécutives, est égal à la longueur d'ondulation, divisée par le sinus de l'angle sous lequel se croisent les rayons

Obs. On peut déduire de là la longueur d'ondulation pour une couleur donnée.

116. La longueur d'ondulation varie beaucoup d'une couleur à l'autre pour les rayons rouges extrêmes, par exemple, elle est une fois et demie ce des rayons violets situés à l'autre extrémité du spectre solaire.

Ex. D'après les observations de *Newt* *Fresnel* a calculé que la longueur d'ondulation d est pour les sept couleurs simples :

Couleurs.	Valeurs moyennes de d . mm.
Violet	0,000423-
Indigo	0,000449
Bleu.	0,000475

Couleurs.	Valeurs moyennes de d . mm.
Vert.	0,000512
Jaune.	0,000551
Orangé.	0,000583
Rouge.	0,000620

Fresnel a fait observer que le nombre des ondulations diverses ne doit pas se borner aux sept couleurs principales indiquées dans le tableau, et qu'il doit y en avoir une foule d'autres entre elles et au delà des rayons rouges et des rayons violets. Toutes les ondulations comprises entre les longueurs extrêmes $0,^{\text{mm}}000423$ et $^{\text{mm}}000620$, sont visibles, ajoute-t-il, c'est-à-dire capables de faire vibrer le nerf optique; les autres ne deviennent sensibles que par la chaleur ou les effets chimiques qu'elles déterminent (107 et 109).

Quand on produit le phénomène des interférences avec de la lumière blanche, les franges se dessinent plus aussi nettement; car, les couleurs formant des bandes de largeur différentes, il doit arriver que la bande brillante des rayons d'une couleur corresponde à la bande

obscurc des rayons d'une autre couleur

117. Les ondes lumineuses se propagent uniformément pour les différentes couleurs ; et le temps que le mouvement met à se propager d'une extrémité à l'autre d'une ondulation lumineuse, est égal au quotient de la longueur de cette ondulation , divisé par la vitesse de propagation de la lumière.

Ex. La vitesse de la lumière s'estime en divisant la distance au soleil par le temps que la lumière met à venir de cet astre jusqu'à nous (6). Il faut donc diviser par ce quotient les nombres obtenus précédemment.

118. Dans les substances transparentes et solides , les ondulations sont plus courtes que dans l'air ; et les longueurs d'ondulation sont proportionnelles aux indices de réfraction.

Obs. Il en résulte que le rapport des vitesses de la lumière dans deux milieux différens est aussi représenté par l'indice de réfraction ; car les ondulations s'accomplissent toujours dans le même temps, quels que soient les milieux qu'ils traversent, d'après le principe fondamental de la propagation des mouvemens vibratoires.

119. Si, sur le chemin d'un des rayons qui interfèrent, on place une lame de verre très-mince et à faces parallèles, on verra, suivant que cette lame est plus ou moins épaisse, les franges éprouver des modifications sensibles.

On obtient des effets semblables en mettant deux lames de verre de différentes épaisseurs, sur le chemin de chacun des deux rayons. Les modifications, alors, ont lieu en vertu de la différence d'épaisseur de ces lames.

Ex. Pour une certaine épaisseur de la lame

interposée , on peut déplacer tout le système des franges et le faire avancer d'un rang du côté où l'interposition a lieu , c'est-à-dire que la cinquième frange devienne la quatrième ; que la quatrième devienne la troisième , etc. Cette expérience fondamentale due à M. Arago , conduit à déterminer la vitesse de la lumière dans les différens milieux , en employant des lames de substances différentes.

De la Diffraction.

120. Si l'on introduit de la lumière blanche dans une chambre obscure , par une très-petite ouverture , on verra que les ombres des corps ne sont pas terminées nettement , mais qu'elles sont bordées de trois franges colorées bien distinctes , dont les largeurs sont inégales et vont en diminuant de la première à la troisième.

Ex. En partant de l'ombre , les couleurs se succèdent de la manière suivante.

1^{re} *Frangé* , violet , indigo , bleu pâle , vert , jaune et rouge ;

2^{me} *Frangé* , bleu , jaune , rouge ;

3^{me} *Frangé* , pâle bleu , pâle jaune , rouge.

On observe de plus : 1^o que les angles de déviation des rayons lumineux qui passent par une seule ouverture , sont en raison inverse de la largeur de cette ouverture ; 2^o que lorsqu'un rayon est diffracté en passant par une ouverture étroite , les distances des rayons rouges du milieu de la bande lumineuse , dans chaque spectre , forment , de part et d'autre du milieu de la bande , une progression arithmétique dont la différence est égale au premier terme (*Fraunhofer*).

Quand on emploie de la lumière homogène , les franges sont de la même couleur que cette lumière , et les intervalles sont noirs ; les franges sont le plus larges pour la lumière rouge et le moins larges pour le violet. Si l'on emploie de la lumière hétérogène , les franges sont colorées diversement.

Le Dr *Young* explique la formation des franges par l'interférence des rayons directs et des rayons réfléchis sur les bords. *Fresnel* , ayant

observé que la diffraction se fait sur le tranchant de la même manière que sur le dos d'un rasoir, a pensé que chaque point de l'onde lumineuse incidente est lui-même un centre d'ondulation.

121. Si les corps qui produisent la réfraction sont assez étroits, on voit des franges, même dans leur ombre qui paraît alors divisée par des bandes obscures et des bandes plus claires, placées à des distances égales les unes des autres. Ces franges sont nommées *intérieures*, pour les distinguer des autres, qu'on nomme *franges extérieures*.

Ex. Derrière une épingle, il se forme des franges intérieures et extérieures. Le centre de l'ombre surtout se distingue par une bande brillante. Cette observation avait échappé à *Newton*.

122. Le concours de deux faisceaux lumineux est nécessaire à la formation

des franges intérieures, qui sont le résultat de l'action que ces deux faisceaux exercent l'un sur l'autre.

Ex. Qu'on supprime, par un écran, la lumière qui vient d'un côté du corps étroit, et les franges intérieures disparaîtront complètement. Cette observation est due au Dr *Young*.

123. La nature et la forme du corps interposé dans le trajet des rayons qui se diffractent, n'ont aucune influence sur le phénomène.

Ex. Le fer, l'acier, l'ivoire, un corps qui présente un tranchant ou une surface arrondie, diffractent les rayons de la même manière. Cette observation est due à *Fresnel*.

M. *Dehaldat* a remarqué aussi que ni la chaleur, ni les courans électriques, ni le magnétisme n'apportent aucune modification aux phénomènes de diffraction.

124. Le foyer lumineux restant fixe,

les franges ne se prolongent pas en ligne droite derrière le corps qui diffracte, mais selon des hyperboles qui ont, pour foyers communs, le point rayonnant et le bord du corps opaque.

125. Les franges produites par deux fentes très-fines, sont toujours placées d'une manière symétrique, relativement au plan mené par le point lumineux et le milieu de l'intervalle compris entre les deux fentes, tant que les deux faisceaux de lumière qui interfèrent ont traversé le même milieu, l'air par exemple; mais il n'en est plus de même lorsqu'un des faisceaux n'ayant traversé qu' l'air, l'autre rencontre sur son passage un corps plus réfringent, tel qu'une lame de mica ou une feuille de verre soufflé; alors les franges sont déplacées et portées du côté du faisceau qui a traversé la lame transparente; et même

dès que celle-ci a un peu d'épaisseur, elles sortent de l'espace éclairé et disparaissent.

Obs. Le déplacement des franges, par l'interposition d'une lame mince, est une observation de *M. Arago*, dont il a déjà été fait mention (119) au sujet de l'interférence.

126. Lorsque l'écran qui diffracte est circulaire, le calcul conduit à ce résultat singulier que le centre de l'ombre projetée doit être aussi éclairé que si l'écran n'existait pas.

Le calcul montre encore qu'au milieu de la projection d'une petite ouverture circulaire, pratiquée dans un large écran, on doit voir alternativement un point brillant ou obscur, selon la distance à laquelle on reçoit l'ombre; et que les *minima* doivent être tout-à-fait nuls dans une lumière homogène.

Ex. Dans le premier cas , on forme un très-petit écran circulaire dont les bords sont nettement prononcés , et l'on colle l'écran sur un verre pour observer plus facilement. *Fresnel* a déduit les résultats précédens de ses formules et les a trouvés très-conformes à l'expérience.

127. Quand on regarde l'ouverture pratiquée dans le volet d'une chambre obscure à travers un très-grand nombre de fils , d'égale grosseur , bien parallèles et très-rapprochés l'un de l'autre , on la voit comme s'il n'y avait pas d'appareil interposé , et à quelque distance de cette ouverture , des deux côtés , on voit un grand nombre de spectres colorés , exactement pareils à ceux qu'on verrait à travers un bon prisme. Ils sont plus larges à mesure qu'ils s'éloignent davantage de l'axe optique et diminuent d'intensité dans la même proportion.

Ex. *Fraunhofer* a employé , pour cette singu-

lière expérience, 260 fils parallèles du diamètre de 0,002021 de pouce, chacun. Le bord d'un fil était éloigné du bord de l'autre de 0,003862 de pouce. L'observation se faisait avec la lunette d'un théodolite. *Fraunhofer* a nommé *spectres de seconde classe parfaits*, ceux produits par des réseaux à fils parallèles, pour les distinguer d'autres spectres produits par l'influence réciproque d'un plus petit nombre de rayons diffractés, dans lesquels on ne voit ni lignes ni bandes, qui présentent d'autres particularités encore, et qu'il a nommés *spectres de seconde classe imparfaits*.

128. La grandeur des spectres parfaits de seconde classe, produits par des réseaux à fils parallèles, ne dépend ni de la largeur des interstices, ni du diamètre des fils, mais de la somme des deux, c'est-à-dire, de la grandeur des distances, à compter du milieu d'un interstice à l'autre. Plus cette somme est petite, plus les spectres sont grands. La

matière des fils influe tout au les phénomènes.

Ex. Qu'on prenne des cheveux, gent, des fils d'or, l'effet est le même *hofer* a trouvé que, pour tous les faits de seconde classe, les distances rayons colorés de même nature spectres, forment une progression que, dont la différence est égale terme.

Des Anneaux colorés dans minces.

129. Les lames minces de substances solides, fluides mes, ont la propriété de décolorer la lumière qui tombe à leur surface les couleurs disparaissent que est trop mince ou trop épais

Ex. Les lames minces de mica, d

fatée, les bulles de savon, une goutte d'huile projetée sur une masse d'eau, une petite lame d'air interposée entre deux verres, ou logée dans les fissures de substances transparentes, etc.

130. Si l'on applique une lentille convexe contre un verre plan, on verra, en observant le système par réflexion, un point noir à l'endroit où se fait le contact; et, autour de ce point, différentes séries de teintes dont les anneaux circulaires vont en se rétrécissant.

On verra, en observant le système par réfraction, un point blanc à l'endroit où se fait le contact; et, autour de ce point, différentes teintes complémentaires des premières, mais plus faibles qu'elles, dont les anneaux circulaires vont aussi en se rétrécissant.

Ex. Dans le cas de la réflexion, les séries de

teintes sont les suivantes, en partant du point de contact :

- 1^{re} *Série*. Noir, bleu, blanc, jaune, rouge.
- 2^e. — Violet, bleu, vert, jaune, rouge.
- 3^e. — Pourpre, bleu, vert, jaune, rouge.
- 4^e. — Vert, rouge.
- 5^e. — Bleu-verdâtre, rouge.

Et pour la réfraction.

- 1^{re} *Série*. Blanc, rouge-jaunâtre, noir, violet, bleu.
- 2^e. — Blanc, jaune, rouge, violet, bleu.
- 3^e. — Vert, jaune, rouge, vert-bleuâtre.
- 4^e. — Rouge, vert-bleuâtre.
- 5^e. — Rouge.

Newton a employé de préférence une lentille convexe et un verre plan, parce que l'intervalle qui les sépare, croît comme les carrés des distances au point de contact, ce qui facilite la mesure de l'épaisseur des couches d'air interposées.

131. Quand on observe les anneaux colorés, au moyen d'un verre plan et d'une lentille convexe, les carrés des

diamètres des *anneaux colorés réfléchis*, sont comme les nombres 1, 3, 5, 7, etc.; et les carrés des diamètres des *anneaux colorés transmis* sont comme les nombres 2, 4, 6, 8, etc. ;

D'où il résulte (130) que les épaisseurs des lames d'air propres à laisser réfléchir une même couleur, suivent aussi la progression 1, 3, 5, 7, etc. ; et que les épaisseurs de celles qui sont propres à les transmettre, suivent la progression 2, 4, 6, 8, etc. ; série dans laquelle il faut comprendre l'épaisseur nulle du centre, parce qu'au point de contact la couleur est toujours transmise.

Obs. Le premier anneau obscur correspond, d'après les expériences de Newton, à une épaisseur d'air qui est la 88739^e partie d'un pouce anglais. Les largeurs des anneaux diminuent si rapidement qu'à une certaine distance du point de contact, ils échappent à l'œil. Voici la table

calculée par Newton pour les épaisseurs
quelles se forment les couleurs par des
d'air, exprimées en millionièmes du
anglais.

Couleurs réfléchies.	Épaisseur de l  d'air.
-------------------------	---

1^{re} Série.

Très-noir	0,50
Noir	1,00
Commencement du noir	2,00
Bleu (de ciel blanchâtre) . . .	2,40
Blanc (argent décapé)	5,25
Jaune (paille)	7,11
Orangé (écorce d'orange sèche).	8,00
Rouge (geranium sanguineum).	9,00

2^e Série.

Violet (vapeur d'iode)	11,17
Indigo	12,83

Couleurs éfilées.	Épaisseur de la lame	
	d'air.	d'eau.
de cobalt)	14,00	10,50
d'eau).	15,12	11,33
(citron)	16,29	12,20
é (orange fraîche) . .	17,22	13,00
éclatant	18,33	13,75
ponceau	19,67	14,75

3^e Série.

re (fleur de lin). . .	21,00	15,75
o.	22,10	16,57
de Prusse).	23,40	17,55
vert-pré vif).	25,20	18,90
(du bois blanc). . .	27,14	20,33
(des roses)	29,00	21,75
-bleuâtre	32,00	24,00

4^e Série.

bleuâtre	34,00	25,50
--------------------	-------	-------

Couleurs réfléchies.	Épaisseur de l' d'air.
Vert (émeraude)	35,29
Vert-jaunâtre.	36,00
Rouge (rose pâle).	40,33

5^e Série.

Bleu-verdâtre (vert d'eau)	46,00
Rouge (rose pâle)	52,50

6^e Série.

Bleu-verdâtre	58,75
Rouge (rose léger)	65,00

7^e Série.

Bleu-verdâtre	71,00
Blanc-rougeâtre (très-pâle).	77,00

Par la nature des teintes et au moyen de

table, on peut reconnaître l'épaisseur d'une petite lame d'eau ou d'air.

132. En général, l'ordre des anneaux et la nature de leurs teintes suivent toujours les mêmes lois dans tous les corps, et il n'y a de différence que dans la valeur absolue des épaisseurs auxquelles ils se forment.

Les épaisseurs comparatives de deux substances qui réfléchissent la même couleur, sont entre elles en raison inverse des indices de réfraction de ces substances.

Ex. *Newton* en substituant, entre les verres, de l'eau à de l'air, trouva que les diamètres des anneaux colorés diminuaient dans le rapport de 8 à 7, et que les épaisseurs des lames d'eau interposées diminuaient par conséquent comme 64 à 49, ou à très-peu près comme 4 à 3, ce qui est le rapport inverse des nombres qui représentent les indices de réfraction de l'eau et de l'air (80). On peut alors déduire de la table

précédente les épaisseurs auxquelles
ment les teintes dans les différentes
ces , et trouver par suite un moyen p
pour déterminer l'épaisseur de lames tr
ces d'une substance connue.

133. Quand on emploie de la li
homogène , on trouve que les ai
sont tous de la même couleur et s
par des anneaux obscurs. Les pi
sions pour les anneaux réfléchis e
mis, sont encore les mêmes que p
lumière blanche ; seulement la
deur absolue des anneaux varie p
différentes couleurs et diminue
sivement depuis le rouge extrêm
qu'au violet.

Ex. Si l'on regarde le système de ve
donne les anneaux colorés , à travers
rouge qui ne laisse passer que de la
simple , on ne verra plus , autour de
centrale , que des anneaux alternat
rouges et noirs.

En employant de la lumière blanche, les anneaux de différentes couleurs, ayant des diamètres inégaux, doivent anticiper les uns sur les autres et produisent ainsi les différentes séries de teintes.

134. Les anneaux colorés sont d'autant plus grands qu'on les observe plus obliquement, c'est-à-dire que l'œil s'écarte davantage de leur axe commun.

Ex. *Newton* a donné les mesures suivantes pour des anneaux formés par des lames d'air. *Optique*, 1^{re} partie, liv. 11.

Angle d'incidence sur l'air.		Angle de réfraction dans l'air.		Diamètre de l'anneau.	Épaisseur de l'air.
0°	0'	0°	0'	10	10
6	26	10	0	10 $\frac{1}{3}$	10 $\frac{2}{3}$
12	45	20	0	10 $\frac{1}{3}$	10 $\frac{2}{3}$
18	49	30	0	10 $\frac{3}{4}$	11 $\frac{1}{2}$
24	30	40	0	11 $\frac{2}{5}$	13
29	37	50	0	12 $\frac{1}{2}$	15 $\frac{1}{2}$
33	58	60	0	14	20

Angle d'incidence sur l'air.	Angle de réfraction dans l'air.	Diamètre de l'anneau.	Épaisseur de l'air.
35° 47'	65° 0'	15 $\frac{1}{4}$	23 $\frac{1}{4}$
37 19	70 0	16 $\frac{4}{5}$	26 $\frac{1}{4}$
38 33	75 0	19 $\frac{1}{4}$	37
39 37	80 0	22 $\frac{6}{7}$	53 $\frac{1}{4}$
40 0	85 0	29	84 $\frac{1}{10}$
40 11	90 0	35	123 $\frac{1}{2}$

Les deux premières colonnes font connaître les obliquités des rayons incidents et émergens à la lame d'air ; c'est-à-dire les angles d'incidence et de réfraction.

La troisième colonne exprime les diamètres successifs que prend un même anneau quelconque, vu sous les différentes obliquités, quand on représente son diamètre par 10, sous l'incidence perpendiculaire. Enfin la 4^e colonne exprime les épaisseurs successives de la lame d'air où se réfléchit ce même anneau, sous les différentes obliquités, en représentant par 10 l'épaisseur à laquelle il se réfléchit sous l'incidence perpendiculaire.

D'après ce qui précède, pour mieux voir les

anneaux colorés, on les observe sous une incidence oblique.

135. Les diamètres des anneaux colorés, formés par une lame d'eau, ne varient pas d'une manière sensible avec l'inclinaison des rayons qui les produisent ; tandis que les diamètres se dilatent très-sensiblement pour une lame d'air.

Ex. D'après *Newton*, l'accroissement des anneaux, pour des rayons incidens très-obliques, peut être pour l'eau jusqu'à vingt-quatre fois moindre que pour une lame d'air.

Obs. *Newton* supposait, pour rendre compte de la formation des anneaux colorés, que les particules lumineuses se trouvent successivement dans des dispositions propres à être réfléchies ou transmises dans des lames très-minces, ce qu'il nommait des *accès de facile réflexion et de facile transmission*.

Ainsi, *e* étant la plus petite épaisseur d'un corps capable de réfléchir le rayon jaune, ce rayon est dans un accès de facile réflexion

pour toutes les épaisseurs 3^e, 5^e, 7^e, etc. ; il est dans un accès de facile transmission pour les épaisseurs 2^e, 4^e, 6^e, etc. Quatre fois la quantité e forme ce que les partisans du système des ondulations nomment la longueur d'ondulation d (113).

Dans ce dernier système, la formation des anneaux colorés s'explique par les interférences des ondes directes avec les ondes réfléchies dans la petite lame : il faut admettre cependant avec le Dr *Young* que, selon qu'une onde est réfléchie en dedans ou en dehors d'un milieu plus dense, il y aura une demi-ondulation de différence dans les deux rayons réfléchis.

Selon *Newton*, les couleurs des lames minces ne sont produites que par la lumière réfléchie sur la seconde surface de la lame ; dans l'hypothèse des ondulations, par l'interférence de la lumière réfléchie sur la seconde surface avec celle réfléchie sur la première. M. *Airy* a fait récemment une observation décisive en faveur de la théorie des ondulations, c'est que les anneaux ne peuvent plus être produits quand on supprime la lumière réfléchie à la première surface de la lame mince.

Anneaux colorés dans les lames épaisses.

136. Si un faisceau de rayons lumineux, introduit dans une chambre obscure, se réfléchit sur un miroir de verre concave, et si, après sa réflexion, on l'observe près du centre de courbure du miroir, on trouve quatre à cinq anneaux colorés autour de l'axe du faisceau; en s'éloignant de cette position, on voit les anneaux s'effacer graduellement.

Ex. Par une ouverture de $\frac{1}{3}$ de pouce, *Newton* introduisait un faisceau lumineux qu'il faisait tomber sur un miroir concave en verre de $\frac{1}{2}$ de pouce d'épaisseur et de 6 pieds de rayon; il recevait les rayons réfléchis au centre, sur un papier percé d'un petit trou pour donner passage aux rayons incidens. Les couleurs des anneaux étaient les mêmes que celles qu'on voit par réfraction dans les lames minces (130); les carrés des diamètres aux endroits les plus brillans étaient comme les nombres 0, 1, 2, 3, 4, 5,

etc., et les carrés des diamètres aux endroits les plus obscurs, comme les nombres $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, etc.

Le phénomène qui vient d'être décrit, prend ordinairement le nom de *phénomène des plaques épaisses*.

137. Quand on emploie des miroirs d'inégale épaisseur, les diamètres des anneaux colorés sont réciproques aux racines carrées des épaisseurs.

Les diamètres sont aussi comme les racines carrées des longueurs d'ondulation pour les différentes couleurs homogènes.

Obs. Dans le système des ondulations, on explique ces phénomènes par les interférences des ondes lumineuses, réfléchies par les deux faces du miroir; dans le système de l'émission on les explique par la théorie des accès (135). Les anneaux ne se forment pas sur un miroir métallique; il faut nécessairement deux faces réfléchissantes; il n'est pas de rigueur que la fac

postérieure du miroir soit étamée ; mais si on y applique une goutte d'huile de térébenthine par exemple, on fait disparaître les couleurs dans la partie correspondante des anneaux.

Avec un miroir bien net, les anneaux sont toujours pâles ; pour leur donner de l'éclat, il faut ternir un peu la première surface du miroir, soit en soufflant dessus, soit en y projetant quelque poudre fine comme le faisait *Herschel* ; soit encore en couvrant le miroir d'un tissu transparent de gaze ou de mousseline, ou même en y laissant sécher une couche fort mince de lait, d'après l'observation du duc de *Chaulnes*.

Le duc de *Chaulnes* a remarqué encore qu'on peut substituer un miroir de métal au miroir de verre, mais il faut placer à quelque distance, au devant de sa surface, une lame parallèle, de verre par exemple, ou de mica ou de chaux sulfatée, en ayant soin de ternir avec du lait l'une ou l'autre de ses faces. L'épaisseur du miroir est ici la couche d'air comprise entre la lame transparente et la surface concave du réflecteur.

Enfin on réussit encore à produire les an-

neaux colorés , en disposant , devant le miroir concave de métal, un écran opaque percé d'une ouverture assez petite pour que ses bords rencontrent les rayons incidens et les rayons réfléchis. Cette observation est de *M. Pouillet*.

Dans ces diverses expériences , les anneaux sont produits par l'interférence des rayons réfléchis sur la surface concave du miroir et partiellement arrêtés , soit par la surface ternie, soit par le bord de l'écran qui se trouve au devant d'elle.

138. On peut produire les couleurs , par une lame diaphane épaisse et une surface plane réfléchissante.

Ex. Une lame de verre, ayant plusieurs millimètres d'épaisseur, est disposée au-dessus d'une lame polie de métal et à très-peu près parallèlement; ensuite, au travers de la lame, on regarde sur le miroir l'image réfléchie faite au volet d'une chambre noire et éclairée seulement par la lumière des nuées. On voit alors, d'après l'observation de *M. Pouillet*, une image plus ou

colorée, dans laquelle prédominent le
et le vert.

9. Si l'on observe un petit disque
rouge, à travers deux lames trans-
sées d'égale épaisseur et limitées par
aces planes et parallèles, qu'on a
sées de manière qu'elles forment
rès-petit angle, on voit le disque
tement et on le voit encore par la
tion opérée sur les faces des lames :
ge vue par réflexion est traversée
5 à 16 franges parallèles aux inter-
ons des surfaces planes ; et ces
ges intérieures et extérieures ont
êmes relations que celles produites
es lames minces.

Les lames doivent être coupées dans une
pièce de verre ; le Dr *Brewster* employait
lance de $\frac{1}{10}$ de pouce d'épaisseur. Ces savant
vé, par ses expériences, que les franges

dépendent à la fois de l'action des quatre faces des lames transparentes, et que leur épaisseur est réciproque à l'épaisseur des lames qu'ils produisent sous une inclinaison donnée. Quand l'inclinaison augmente, la longueur des franges diminue. Le Dr *Young* a démontré que l'inclinaison a pour effet de réduire l'épaisseur verticale de la lame en raison du cosinus de l'angle.

140. On observe encore, à travers des lames d'épaisseur inégale, des anneaux colorés qui sont analogues à ceux produits par des lames très-minces.

Ex. M. *Nicholson* a observé les anneaux en faisant usage des deux verres qui servent de miroirs dans un sextant. Le Dr *Young* pense que ces anneaux sont les mêmes que ceux qu'on observerait dans une lame très-mince dont l'épaisseur serait la différence des épaisseurs des deux lames données. M. *Amici* a observé son puissant microscope, des anneaux semblables sur les ailes superposées d'une espèce de papillon (*papilio idas*).

Des Couleurs produites par des substances très-divisées ou par des corps fibreux.

141. Si l'on observe le soleil ou une lumière à travers une lame transparente sur laquelle on a répandu une poudre très-fine ou des fibres très-déliées, on trouve que l'image est entourée d'anneaux colorés.

Ex. Le disque est terminé par un anneau rouge sombre, auquel succède le vert-bleuâtre, puis le rouge ; et ces deux dernières couleurs se reproduisent plusieurs fois dans le même ordre, quand les particules sont de même diamètre. A mesure que ces diamètres diminuent, les rayons des anneaux colorés augmentent. Le Dr Young a déduit de là les diamètres des particules d'un grand nombre de substances, au moyen de son *ériomètre*. Il a pris, pour unité, la 30,000^e partie du pouce anglais.

	Nombre d'unités de l'œil
Lait étendu d'eau.	1
Poussière de <i>Lycopoden Bovis</i>	3
Sang humain étendu d'eau.	7
Soie très-irrégulière.	12
Laine d'Angola.	14
Laine de vigogne.	14
Laine pour soballs.	18
Laine de mérinos.	20
Poussière de <i>Lycopodium</i>	24
Laine grossière.	24

Pour connaître les diamètres des parties de ces substances, il faut prendre la 30^e partie du pouce anglais autant de fois que indiquent les nombres du tableau.

La simple humidité de l'haleine, déposé du verre, donne aussi des lignes colorées, par réflexion, soit par transmission.

142. Si l'on observe par réflexion bougie sur une lame de nacre bien un on voit à la fois trois images situées ligne droite et à égale distance l'un

l'autre; la première est celle de la bougie, qu'on aperçoit par la réflexion ordinaire; la seconde qui est très-vive, présente un spectre coloré, dont les rayons violets sont du côté de la première image; la troisième est d'un rouge-cramoisi, qui passe au vert en inclinant la lame.

Si l'on polit avec soin la surface de la nacre, on voit se former encore une quatrième image sur la même ligne droite avec les précédentes. Mais cette quatrième se place du côté de la première, opposé à celui qu'occupent la seconde et la troisième.

Les mêmes phénomènes se reproduisent sur la face opposée de la nacre, mais dans un ordre inverse, c'est-à-dire que les images qui étaient à droite se reproduisent à gauche et *vice versâ*.

Si la lame est suffisamment mince, on

voit, à travers sa substance, les mêmes images que celles produites par la réflexion ; seulement les couleurs les plus vives dans un cas, le sont le moins dans l'autre.

On a vu que les couleurs proviennent des petites stries nombreuses dont la surface de la nacre est couverte. M. Brewster a montré qu'en peignant sur la nacre avec différentes substances, on les appliquait dans un état de fusion sur la nacre dont on conservait les stries. M. John Barton a reproduit aussi les couleurs irisées par des lignes parallèles très-fines, tracées sur l'acier et d'autres substances, à la distance d'un 2,000^e à 10,000^e de pouce anglais. Fraunhofer a tracé des lignes qui n'étaient distantes que d'un 32,000^e de pouce de Paris.

Des Couleurs des corps.

143. Les surfaces qui réfléchissent plus de lumière sont aussi celles qui s

parent les milieux dont les pouvoirs réfringens diffèrent le plus, et il ne se fait point de réflexion à la limite de deux milieux également réfringens.

Ex. Sur la surface limite de l'air et du sel gemme, la réflexion est plus forte que sur celle de l'air et de l'eau; plus forte encore sur celle de l'air et du verre ordinaire, ou du cristal, ou du diamant (55). La réflexion diminue sur les corps transparens qu'on plonge dans l'eau, et plus encore dans l'acide sulfurique ou l'esprit de térébenthine bien rectifiés. Si l'on sépare un corps transparent en deux parties par une surface imaginaire, la réflexion est nulle sur cette surface; elle est fort petite sur un morceau de glace qui flotte dans l'eau. (Voyez le *Traité d'optique de Newton*, livre II.)

144. Les plus petites parties de presque tous les corps naturels sont en quelque sorte transparentes; et l'opacité des corps vient de la multitude de ré-

flexions qui se font dans leurs parties intérieures.

Ex. Les pierres les plus opaques du passage à la lumière, quand on les rend minces ; l'or et l'argent réduits en feuille acquièrent la même propriété. Des solutions alcooliques sont aussi parfaitement transparentes.

145. Entre les parties des corps opaques et colorés , il y a plusieurs espaces vides ou remplis de milieux dont la densité est différente de celle des parties. Ainsi, entre les globules aqueux qui composent les nuées et les bruyards, il y a de l'air ; et, entre les parties des corps durs , il peut y avoir des espaces vides d'air et d'eau , mais ils ne sont pas entièrement remplis de toute autre substance.

Le degré de transparence dépend en général du plus ou moins d'homogénéité des corps.

Ex. L'hydrophante et le tabachir deviennent parfaitement translucides quand la première de ces substances a été plongée dans l'eau et la seconde dans l'huile. Il en est de même du papier, du linge, etc. Au contraire, la corne ratisée, le verre pulvérisé ou simplement fêlé, l'eau en vapeur, etc., deviennent opaques.

146. Pour que les corps soient opaques et colorés, il ne faut pas que leurs parties et leurs interstices passent en petitesse une certaine limite déterminée.

Ex. Les particules qui auraient une épaisseur moindre que la huit-millionième partie du pouce anglais, ne seraient pas susceptibles de réfléchir la lumière (131). La transparence de l'eau, du verre et des pierreries paraît due à ce que les pores de ces substances, ainsi que leurs particules, sont trop petits pour pouvoir produire des réflexions (Nous continuons à développer les idées de *Newton*.)

Quand les vapeurs s'élèvent dans l'atmosphère, elles ne troublent point sa transparence, parce qu'elles sont divisées en parties trop pe-

tites pour produire des réflexions ; mais elles se réunissent en globules pour former la pluie , elles réfléchissent la lumière et sont visibles.

147. Les parties transparentes des corps , selon leurs différentes grosseurs réfléchissent des rayons d'une certaine couleur , et laissent passer ceux d'une autre , par les mêmes raisons que les lames minces réfléchissent ou laissent passer ces mêmes rayons (131) ; de là que dépendent les différentes couleurs de leurs surfaces.

Ex. Une lame de mica qui réfléchit une certaine couleur , étant coupée en parties très-petites , continue à réfléchir la même couleur ; lorsque ses particules sont réunies en un corps doivent être considérés aussi comme un corps composé de particules très-petites , d'égal diamètre , et qui réfléchissent par conséquent la même teinte. Les plumes de certains oiseaux sont particulièrement celles du paon , pr

différentes couleurs , selon les positions de l'œil , de même que les lames minces.

148. Les parties des corps d'où dépendent leurs couleurs, sont plus denses que le milieu qui passe à travers leurs interstices.

Ex. Si les parties du corps étaient plus rares que le milieu ambiant, elles réfléchiraient, pour les différentes incidences, une si grande variété de couleurs, qu'il résulterait de leur ensemble une espèce de blanc-gris (94). Mais si les particules sont plus denses que le milieu ambiant, les couleurs changent si peu par le changement d'obliquité, que les rayons moins obliquement réfléchis prédominent sur tous les autres.

149. Par les couleurs des corps naturels, on peut conjecturer quelle est la grosseur des parties dont ils sont composés.

Obs. *Newton* déduit ce principe de la possibilité que les parties du corps produisent mêmes couleurs que les lames minces d'égale épaisseur, pourvu que le pouvoir régent soit le même des deux côtés.

CHAPITRE III.

DE LA STRUCTURE DE L'OEIL ET DES INSTRUMENTS
D'OPTIQUE.

De la Structure de l'œil et de la Vision.

180. Les principales parties dont compose l'œil humain sont :

1° Le *cristallin*, espèce de lentille transparente derrière laquelle les objets extérieurs forment leur image.

2° La *rétine*, membrane blanchâtre sur laquelle vient se peindre l'image (la rétine est appliquée sur la *choroïde* laquelle, par sa couleur sombre, absorbe la lumière qui nuirait à la net

de la vision); la choroïde elle-même est appliquée sur la *sclérotique* ou *cornée opaque* qui enveloppe l'œil et laisse sur le devant une ouverture circulaire fermée par la *cornée transparente*.

3° *L'iris*, espèce de diaphragme qui, placé entre la cornée transparente et le cristallin, présente une ouverture circulaire, laquelle peut se contracter ou se dilater, et diminuer ou augmenter ainsi la quantité de lumière qui tombe sur le cristallin. (*L'iris* et la *couronne ciliaire* qui s'appuie sur le cristallin, se rattachent à la choroïde vers l'endroit où la cornée opaque s'unit à la cornée transparente.)

4° *L'humeur aqueuse*, qui remplit l'espace compris entre la cornée transparente et le cristallin.

5° *L'humeur vitrée*, qui est contenue dans un tissu cellulaire (*hyaloïde*) et

remplit l'espace entre le cristallin et la rétine.

On. D'après *Brewster*, les rapports entre les sinus d'incidence et les sinus de réfraction sont, pour le passage de la lumière de l'air

l'humour aqueux	1,
l'humour vitré	1,
l'enveloppe extérieure du cristallin.	1,
le centre du cristallin.	1,

Dans un endroit obscur, la prunelle est dilatée ; le contraire a lieu dans un endroit très-éclairé ; de là, en partie, la sensation agréable qu'on éprouve en passant brusquement de l'obscurité à la lumière.

181. L'œil peut être considéré comme une réunion de plusieurs lentilles, et l'effet est de faire concourir sur la rétine les rayons divergens qui arrivent du même point d'un objet.

La ligne, suivant laquelle l'œil dirige pour voir nettement les objets, se nomme l'*axe optique*.

Ex. On place une bougie allumée devant un œil de lapin albinos ou devant un œil de bœuf, dont on a aminci la cornée opaque, et l'image renversée de cette bougie se peint au fond de l'œil. L'instrument appelé *l'œil artificiel*, rend sensible le même phénomène. La *chambre obscure* qu'emploient les dessinateurs, offre aussi une structure analogue à celle de l'œil. On croit que la sensation a lieu sur la rétine qui est formée par l'expansion du nerf optique.

152. Il existe, pour chaque individu, une distance déterminée à laquelle la vision est le plus nette; cette distance est celle à laquelle l'image tombe exactement sur la rétine.

La vision peut cependant encore être nette, quoique l'image ne soit pas précisément sur la rétine.

Ex. Les objets, quoique placés à des distances très-différentes, se peignent assez distinctement dans la chambre obscure et dans l'œil artificiel, à cause de la facilité que l'on a de

rapprocher ou d'éloigner la lentille de sur lequel elle forme les images.

Les physiiciens, pour expliquer comment la vision se fait nettement à différentes distances, ont cru ou que l'œil jouissait de la faculté de s'allonger, ou que le cristallin pouvait varier sa courbure, ou que l'iris, par sa contraction, pouvait laisser entrer les rayons plus ou moins convergens.

La *Mire* a fait observer à ce sujet qu'en plaçant un corps très-près de l'œil, on ne le voit confusément dès qu'on le regarde à travers un trou percé dans une carte.

MM. Pelletan et Vallée cherchent à expliquer le phénomène dans l'humeur vitrée. Ce physiicien pense que les rayons finissent par devenir parallèles à l'axe optique. *M. L.* prétend avoir observé qu'ils en divergent, et pense que les images se forment dans l'humeur vitrée, de sorte qu'elles auraient des dimensions différentes. Cette partie de la physique n'a pas été suffisamment éclaircie.

153. Quelquefois le cristallin, en se plaçant devant de la cornée est trop conv

les images se forment trop en devant de la rétine ; quelquefois le contraire a lieu, et les images ne pourraient se former que derrière elle ; on emploie alors, pour reporter les images sur la rétine , des verres concaves ou convexes, qui diminuent ou augmentent la convergence des rayons réfractés dans l'intérieur de l'œil.

Ex. Le premier défaut de la vue se remarque plus particulièrement chez les jeunes gens et se nomme *myopisme* ; le second se remarque chez les vieillards et se nomme *presbytisme*. Les lanettes *périscopiques* de l'invention du D^r *Wollaston*, remédient à ce défaut de la vue, et causent moins de fatigue à l'œil que les lunettes ordinaires.

154. La présence du cristallin n'est pas une condition rigoureusement nécessaire pour la vision.

Ex. Dans l'opération de la cataracté, le cris-

tallin disparaît sans que la vision soit détruite.

155. Les objets ne nous paraissent point doubles, quoique les deux yeux en reçoivent chacun une image en même temps. On croit cependant que pour que les deux impressions qui en résultent, soient uniformes et ne produisent qu'une seule sensation, il faut que les rayons tombent sur des points correspondans des deux rétines.

Ex. En pressant un des deux yeux pendant qu'on regarde un objet, cet objet paraît double. Le même phénomène a lieu quand l'homme n'est plus capable de diriger ses yeux, par l'ivresse ou par des accès de fureur.

156. La rétine ne paraît pas être également sensible dans toute son étendue, et sa sensibilité s'émousse par la durée et par la répétition d'une même sensation.

ix. *Mariotte* a observé que, si l'on place deux objets à deux pieds de distance, et qu'on s'en approche ensuite peu à peu, en dirigeant l'œil sur l'objet qui est à gauche, on cessera de voir l'autre objet à la distance de 9 pieds et on reverra en continuant à s'éloigner. Après avoir tourné quelques instans les yeux vers le ciel, l'endroit de la rétine où s'est peinte l'image de l'astre perd momentanément la faculté de sentir. Si l'on fixe long-temps la vue sur une couleur éclatante, le rouge par exemple, et si l'on regarde ensuite un carton blanc, on verra une teinte verdâtre. En général, la couleur qu'on aperçoit est *complémentaire* de celle qu'on a regardée d'abord; nous reviendrons sur ce phénomène, en parlant des *couleurs accidentelles*, et nous verrons que la sensation produite sur la rétine, n'est pas instantanée.

157. On peut, en introduisant convenablement de la lumière dans l'œil, rendre visibles, pour soi-même, les vaisseaux sanguins qui se trouvent au-devant de la rétine.

Ex. L'expérience doit être faite dans une chambre noire. On ferme un œil et on éclaire le blanc de l'autre, en y faisant tomber latéralement de la lumière, par exemple la lumière d'une bougie qu'on tient à environ deux décimètres de distance de l'œil ouvert et dans une direction formant à peu près un angle de 60 à 80 degrés avec le rayon visuel dirigé en avant de soi vers un fond sombre. Pour faire réussir l'expérience, il faut donner à la chandelle un mouvement d'oscillation, en l'élevant et l'abaissant alternativement; ou mieux en faisant tomber, au moyen d'une lentille, l'image de la flamme d'une bougie sur le blanc de l'œil et en lui donnant ainsi un mouvement d'oscillation. On voit alors se former, dans des dimensions agrandies, l'image des vaisseaux sanguins avec toutes leurs ramifications telles qu'elles ont été figurées par *Sœmmering*.

L'idée de cette expérience appartient à *M. Purkinje*. *M^c Griffiths* cite un phénomène très-curieux qui se rapporte également à la visibilité de l'intérieur de l'œil. Si, après avoir reposé pendant un temps assez long, dans une chambre noire, on vient à être frappé subite-

est par une lumière vive qui pénètre dans l'œil fermé, à travers la paupière; on aperçoit un fond éclairé, partagé par un réseau de lignes colorées; ces lignes se coupent à angles droits; présentent les apparences d'un filet d'un rouge brique tendu sur un fond jaunâtre; mais bientôt après l'inverse a lieu, et le filet devient jaune tandis que le fond prend une couleur rougeâtre.

188. Les effets de la vision se trouvent modifiés par le toucher et l'habitude, ainsi que par l'angle que forment les deux axes optiques dirigés vers les mêmes objets.

Ex. Les aveugles de naissance qu'on opère de cataracte, croient voir tous les objets à la même distance, et il leur faut un certain temps pour apprendre à corriger leurs jugemens. On apprécie mal les distances en n'employant qu'un œil; on ne parvient ainsi que difficilement à enfiler un anneau, suspendu de manière qu'on n'en voit pas l'ouverture.

159. On appelle *grandeur apparente* d'un objet, l'*angle visuel* ou l'angle sous lequel cet objet est aperçu.

Il paraît que nous jugeons de la grandeur réelle des corps par leur grandeur apparente, et par la distance que nous leur attribuons en les comparant à d'autres corps de dimension connue.

Ex. Quand nous observons un objet éloigné, nous nous faisons une idée de sa grandeur en le comparant à des objets connus qui l'entourent ou qui se trouvent dans sa direction; quand ces moyens nous manquent, la grandeur apparente seule peut égarer notre jugement: ainsi sur le bord de la mer les objets nous semblent généralement plus petits; le soleil et la lune, à une certaine hauteur dans le ciel, nous semblent aussi plus petits que vers l'horizon.

*De l'Irradiation et de la Persistance
des impressions sur la rétine.*

160. Lorsqu'on regarde, d'une cer-

ne distance, un objet de couleur claire placé sur un fond sombre, cet objet paraît plus grand qu'il ne l'est réellement, et le contraire a lieu pour un objet de couleur sombre placé sur un fond clair. On nomme ce phénomène *irradiation*. Il paraît dépendre de ce que l'impression produite au fond de l'œil s'étend, jusqu'à une petite distance, et s'étend plus étendue à la portion de l'organe que frappe directement la lumière.

x. L'irradiation se fait surtout remarquer en astronomie, parce que les astres sont très-petits relativement à l'espace qui les entoure, et l'on a observé qu'une éclipse peut commencer, sans qu'on s'en aperçoive. M. *Bouvard* et *Arago* ont montré que de petites échancrures faites dans un disque peint sur un fond noir, ne sont pas visibles à une certaine distance. Quand on peint sur un fond blanc des lettres noires très-larges, ces lettres, vues à une assez grande distance, paraissent d'une épaisseur médiocre.

161. La sensation produite par la lumière sur la rétine, subsiste encore pendant quelque temps, après que la lumière a cessé d'agir.

Ex. Qu'on fasse tourner rapidement un bâton enflammé, on verra tout un cerole lumineux. La pluie et la grêle présentent, pendant leur chute, l'aspect de lignes parallèles. Si l'on dessine une image sur chacune des faces d'un carton, par exemple un oiseau et une cage, et si l'on fait tourner rapidement ce carton autour de la droite qui le partage symétriquement, l'œil percevra en même temps les deux images: ainsi, dans notre exemple, l'oiseau paraîtra dans la cage. Cet instrument se nomme le *Théomatrope*. C'est encore à la persistance des impressions qu'il faut rapporter l'effet du *Fantascope* ou *Phénakisticope*, effet consistant à faire paraître animées et mouvantes des figures peintes sur un disque de carton.

Enfin, si l'on se couvre subitement les yeux, après avoir regardé un objet d'un éclat suffisant, tel qu'une fenêtre, on verra en général

l'image de cet objet persister pendant quelque temps.

D'Arcy a trouvé que l'impression produite par un charbon ardent, vu dans l'obscurité, dure environ 8 tierces, ou 0'',13. Ce résultat paraît être trop petit, ce qui tient à l'imperfection de la méthode employée. *M. Plateau*, en modifiant légèrement cette méthode, a essayé de déterminer la durée des impressions produites par des papiers peints de différentes couleurs, et éclairés par la lumière du jour. Il a obtenu ainsi pour le blanc, le jaune, le rouge et le bleu, des durées sensiblement égales, et dont la moyenne est 0'',34; mais il ne donne encore ce résultat que comme une approximation.

162. La durée de la sensation paraît être d'autant plus grande, que l'objet qui l'a produite était plus éclatant.

Ex. L'impression produite par le soleil couchant, subsiste quelquefois, dans les yeux fermés et couverts, pendant plusieurs minutes.

163. On observe 1° que la durée to-

tale de l'impression paraît être d'autant plus grande qu'on a regardé l'objet pendant un temps plus court, pourvu que ce temps soit suffisant pour développer une impression complète (165).

2° Que l'impression qui persiste sur la rétine, s'efface graduellement, et non d'une manière brusque.

3° Que le temps pendant lequel elle conserve sensiblement son intensité primitive, est d'autant plus long que cette intensité est moindre.

4° Que dans les applications que l'on a faites de la persistance des impressions, l'effet ne dépend pas de la durée totale du phénomène ; mais seulement du petit intervalle de temps pendant lequel l'impression se maintient sans perte sensible.

Ex. Dans le thaumatrope et le fantascopé, chacune des images successives doit se présen-

er à l'œil avant que l'image précédente ait diminué notablement d'intensité, et pour obtenir ce résultat, il faut faire tourner l'instrument avec d'autant plus de rapidité qu'il est plus vivement éclairé.

Les observations énoncées dans ce paragraphe, résultent encore des recherches de *. Plateau* ; de même que l'énoncé suivant, qui n'est du reste qu'une conséquence de la persistance des impressions sur la rétine.

Si l'on suppose deux courbes brillantes quelconques, tournant d'un mouvement uniforme, mais avec une grande vitesse, dans des plans parallèles, autour d'un axe commun ou de deux axes différens, l'œil placé devant le système verra l'image immobile d'une troisième courbe plus sombre que le fond sur lequel elle se dessine. Cette image curviligne est le lieu des points d'intersection successifs des deux courbes en mouvement.

Il ne s'agit évidemment ici que de points d'intersection apparens, puisque les courbes tournant dans des plans différens, ne peuvent se couper ; aussi l'image fixe change de position du spectateur. Il faut re-

marquer que les deux vitesses doivent être entre elles dans un rapport simple.

On peut rapporter à cette classe de phénomènes, les apparences que présente une roue qui roule derrière une série de lignes droites parallèles comme les barreaux d'une grille.

164. On a fait de la persistance des impressions plusieurs applications utiles.

Ex. Le kaléidophone, instrument au moyen duquel M. *Wheatstone* rend sensible à l'œil le mode de vibration transversale d'une verge d'acier fixée par l'une de ses extrémités. Les procédés par lesquels le même physicien prouve l'instantanéité de certains phénomènes lumineux tels que l'étincelle électrique. L'appareil de M. *Savart* pour déterminer la forme réelle d'une veine fluide, etc.

165. Les impressions exigent aussi un certain temps pour se développer sur la rétine.

x. Un objet qui passe très-rapidement devant l'œil, une flèche par exemple, ne s'aperçoit pas ou se distingue à peine.

Des Couleurs Accidentelles.

66. Si l'on regarde fixement, pendant quelque temps, un objet coloré; qu'on porte ensuite les yeux sur une surface blanche, on verra paraître une image semblable à l'objet quant à la forme, mais dont la couleur sera complémentaire de celle de ce dernier (95), dont les dimensions sembleront d'autant plus grandes que la surface blanche est plus éloignée de l'œil. On a donné à ces images le nom de *couleurs accidentelles*.

ix. Voici un tableau des couleurs accidentelles produites par le blanc, le noir et les couleurs principales.

Couleur naturelle.	Couleurs accidentelles.
Blanc . . .	Noir.
Noir . . .	Blanc.
Rouge . . .	Vert bleuâtre.
Orangé . . .	Bleu.
Jaune . . .	Violet.
Vert . . .	Rouge tirant sur le pourpre.
Bleu . . .	Orangé.
Indigo . . .	Orangé jaunâtre.
Violet . . .	Jaune.

Pour expliquer ces faits, on admet généralement que la rétine perd de sa sensibilité pour une couleur qui a long-temps agi sur elle; de sorte que, si l'on jette alors les yeux sur une surface blanche, les rayons dont l'ensemble forme la couleur complémentaire produiront une sensation dominante.

167. Les couleurs accidentelles se montrent encore lorsqu'après avoir regardé assez long-temps l'objet coloré, on ferme subitement les yeux, en les

couvrant de manière à empêcher totalement le passage de la lumière.

168. L'image accidentelle disparaît et reparait ordinairement plusieurs fois avant de s'évanouir complètement. Quelquefois on voit reparaître l'impression primitive, et l'on peut même faire en sorte que les deux impressions se reproduisent alternativement jusqu'à quatre fois.

Obs. La seconde observation énoncée dans ce paragraphe a été faite par M. *Plateau*.

169. Lorsqu'on observe, dans les yeux fermés et couverts, la continuation de l'impression primitive (161), si l'on ouvre tout à coup les yeux, en les portant sur une surface blanche, il arrive ordinairement que cette impression primitive se change en image acci-

jetée sur une surface éclairée par une lumière colorée : ainsi les ombres paraissent bleues et quelquefois vertes sur un mur blanc éclairé par le soleil couchant, parce qu'alors la lumière qui nous arrive de cet astre est orangée ou rougeâtre. M. *Chevreul* a montré que lorsqu'on voit simultanément deux objets de couleurs différentes, placés dans le voisinage l'un de l'autre, leurs couleurs semblent se modifier mutuellement, de telle manière qu'à chacune d'entre elles s'ajoute la complémentaire de l'autre. Dans ce cas, le noir et le blanc, la clarté et l'obscurité jouent le rôle de couleurs complémentaires.

Tous ces effets ont été en général attribués au *contrasté*.

La connaissance de ces effets est très-utile dans les arts où il s'agit d'assortir des couleurs. M. *Chevreul* indique les applications nombreuses qu'on peut en faire à l'art du tapissier, à l'impression des dessins sur papier ou étoffe, à l'arrangement des fleurs dans les jardins, etc.

Oss. M. *Plateau* a proposé récemment une théorie générale comprenant la persistance des impressions, l'irradiation et les couleurs

accidentelles qui se montrent pendant et après la contemplation des objets colorés.

Suivant cette théorie, lorsque la rétine, après avoir été écartée de son état normal par présence d'un objet coloré, est subitement abandonnée à elle-même, elle regagne d'abord rapidement le point de repos; mais entraînée par cette espèce de mouvement, elle dépasse ce point et se constitue dans un état oscillatoire plus ou moins prolongé, d'où résulte la succession de deux sensations opposées; savoir: celle de la couleur primitive et celle de la couleur complémentaire (166 et 168). La première demi-oscillation constitue la *persistance de l'impression primitive*. D'un autre côté, pendant qu'une portion de la rétine est soumise à l'action de la lumière, les parties voisines participent à cette excitation jusqu'à une très-petite distance, et donnent ainsi lieu au phénomène de l'irradiation (160); mais, en vertu de la même loi de continuité, au delà de cette limite se manifeste un état opposé, d'où résulte la sensation de la teinte complémentaire qui modifie la couleur des objets voisins; *Plateau* a montré que, plus loin encore,

se retrouve quelquefois une légère nuance de la couleur primitive. Ainsi l'on a, d'un côté, relativement à *l'espace*, les mêmes phénomènes oscillatoires qui se produisent, de l'autre, relativement *au temps* : tous dépendent d'une même loi de continuité.

172. Une pression exercée sur la rétine, fait naître aussi la sensation de la lumière et des couleurs.

Ex. En pressant le globe de l'œil, on produit des couleurs ou l'on modifie celle des objets extérieurs. Dans des affections particulières de l'estomac, des phénomènes semblables ont lieu par la pression de petits vaisseaux sanguins sur la partie postérieure de l'œil.

Ces faits ont été signalés par *Newton* et sir *D. Brewster* qui ne paraissent s'être occupés du reste que des phénomènes produits par la pression exercée sur un seul œil; mais, quand la pression s'exerce à la fois symétriquement sur les deux yeux, j'ai remarqué des apparences lumineuses qui deviennent très-curieuses; et,

ce qu'il y a de particulier, c'est qu'elles affectent une forme régulière qui paraît être la même chez tous les individus.

Si l'on exerce, par exemple, simultanément une pression sur les deux yeux, dans des directions opposées et qui tendent à séparer les deux globes ou à les rapprocher, on apercevra d'abord une lumière rouge-bleuâtre; puis, au bout de quelques instans, une lumière d'un blanc-jaunâtre: presque en même temps cette lumière se séparera comme en petits lozanges qui se distribueront régulièrement sur un faisceau de droites qui concourent vers un même centre, et qui ne paraissent pas s'écarter de plus de 45° de chaque côté de la perpendiculaire à la droite, qui passe par les centres des deux yeux. Ce faisceau de droites ne se montre qu'un instant très-court et paraît dégénérer en hyperboles ayant toutes, pour axe commun, la perpendiculaire dont nous avons parlé, et des foyers communs où viennent se placer deux taches informes et rougeâtres; ces foyers s'écartent ensuite et le fond de ce tableau brillant devient très-onduleux. Des ondes éblouissantes semblent jaillir à tout instant de divers points

et particulièrement de celui qui servait de point central au faisceau de droites et aux hyperboles.

Dès que la pression a cessé ou vient à se ralentir, on n'aperçoit plus qu'une tache noire, entourée d'une lumière jaunâtre, et couverte de petits filamens rouges et jaunes qui s'agitent avec une rapidité très-grande. Quand on continue à tenir les yeux couverts, cette tache et le cercle qui l'entoure, finissent par prendre une teinte rougeâtre uniforme, qui persiste encore très-long-temps et puis qui s'éteint graduellement.

On voit rarement le phénomène avec toutes les circonstances que nous venons de décrire, parce qu'il faut quelque habitude pour le produire, et que la pression sur les yeux, qui est assez douloureuse, doit être suffisamment forte. Même, lorsque la pression n'est pas très-régulière, le phénomène se modifie assez sensiblement; du reste, il est toujours très-facile d'en saisir les principales circonstances.

173. Dans certaines circonstances, les deux yeux n'aperçoivent pas les mè-

mes couleurs, si l'un d'eux reçoit latéralement une lumière vive contre laquelle l'autre est protégé par un écran.

Ex. On tient une feuille de papier blanc à un pied devant soi, et on regarde un objet placé plus loin, mais de manière à voir encore le papier qui paraît double. On approche ensuite latéralement d'un des yeux la flamme d'une bougie et par un écran on l'empêche d'agir sur l'œil opposé; le papier paraît alors *rouge* pour le dernier œil et *vert* pour le premier; il est blanc aux endroits où les deux images empiètent l'une sur l'autre. En portant rapidement la lumière du côté opposé, on voit les phénomènes se reproduire dans un sens inverse: ce qui était rouge devient insensiblement vert, et réciproquement.

174. On remarque des personnes dont les yeux sont insensibles à certaines couleurs et particulièrement au rouge et aux teintes dans lesquelles entre le rouge.

Ex. MM. Dalton et Stewart, en Angleterre, ne distinguent pas le rouge du vert ou du bleu. On a parlé du cordonnier Harris, dans le Cumberland, qui ne distinguait que le blanc et le noir. Un tailleur écossais, qui vit encore, ne peut distinguer que le blanc, le jaune et le gris; on dit qu'il appliqua un jour à des culottes de soie noire, une pièce écarlate.

Des principaux Instrumens d'Optique.

175. Les instrumens d'optique sont de trois espèces : 1^o instrumens *catoptriques*, fondés sur la seule réflexion de la lumière; 2^o instrumens *dioptriques*, fondés sur la seule réfraction; 3^o instrumens *catadioptriques*, fondés sur la réflexion et la réfraction.

Ex. Les télescopes réflecteurs, les lunettes astronomiques, le microscope simple ou composé, le microscope solaire, le mégascope, la chambre noire, le micromètre, etc.

170. La *loupe*, comme le *microscope simple*, est une lentille convergente qui permet de voir les objets placés à une petite distance, et qui de plus les agrandit sensiblement, dans le rapport de sa distance focale principale à la distance à laquelle l'œil aperçoit nettement les objets.

Quand le microscope simple est employé, dans les instrumens composés, pour observer les *images* des objets, il prend le nom d'*oculaire*.

Ex. Le microscope simple est d'un grand secours aux physiciens, aux naturalistes, et en général à tous les observateurs. On met l'œil derrière la lentille, et l'objet qu'on veut voir, à peu près au foyer principal; l'image se place à une distance du microscope un peu moindre que celle de la vision distincte (23 centimètres). Une goutte d'eau ou de vernis transparent, un globule de verre sont des microscopes qu'on peut se procurer très-facilement.

177. Si dans le volet d'une chambre où la lumière du jour ne peut pénétrer, on perce une petite ouverture circulaire, les objets extérieurs iront se peindre sur les murs opposés, mais dans une position renversée; ils se peindront plus nettement sur un écran, si l'on place devant l'ouverture une lentille qui fasse converger les rayons vers cet écran.

Obs. On peut reproduire les mêmes effets sous des formes moins grandes, dans une boîte portative par exemple, qui prend alors plus spécialement le nom de *Chambre obscure*. On rend ordinairement l'image horizontale, au moyen d'une réflexion sur un miroir plan. L'œil est aussi une chambre obscure, mais sous de très-petites dimensions (151).

Si l'on place, hors de la chambre obscure et un peu au delà du foyer principal de la lentille convergente, l'objet qu'on veut observer, et qu'on l'éclaire au moyen de miroirs réflecteurs,

L'image viendra se peindre encore à l'intérieur, d'une manière renversée, et sera d'autant plus grande que l'objet approchera davantage du foyer principal. Cet instrument est le *mégascope*.

En général, si l'objet qu'on veut observer est très-petit, on le place, comme précédemment, près du foyer d'une petite lentille, et on l'éclaire par réflexion s'il est opaque; s'il est transparent, on fait tomber sur lui une grande quantité de lumière solaire, qu'on réfléchit au moyen d'un miroir plan sur une lentille qui la concentre vers l'endroit où est l'objet. Cet instrument est le *microscope solaire*.

La *lanterne magique* diffère peu des instrumens précédens; les objets sont des figures peintes sur des lames de verre et éclairées par derrière, au moyen d'une lampe et d'un réflecteur.

La *fantasmagorie* ne diffère guère de la lanterne magique, qu'en ce que les spectateurs sont placés derrière une toile transparente sur laquelle viennent se peindre les figures, et que ces figures se détachent sur un fond noir. On éloigne et on rapproche l'objet de la lentille convergente, de manière à faire varier la gran-

deur de l'image. La grandeur et la distance des images se calculent comme pour les lentilles de convergence (69).

178. Les *télescopes*, soit réflecteurs soit dioptriques, destinés à observer les objets éloignés, se composent en général de deux parties principales : 1° ou d'un miroir concave ou d'une lentille convergente (*objectif*), qui produisent une image très-vive des objets extérieurs ; 2° d'un *oculaire* pour observer cette image (176).

Ces instrumens font voir les objets renversés.

Ex. Le *télescope dioptrique*, composé d'un objectif et d'un oculaire, prend aussi le nom de *lunette astronomique*. Si l'oculaire au lieu d'être biconvexe est biconcave, on a la *lunette de Galilée* ou lorgnette d'opéra ; elle fait voir les objets dans leur situation naturelle. Le *télescope d'Herschel* se compose d'un miroir con-

cave et d'un oculaire. Pour détruire l'*aberration de sphéricité* (72), on se sert ordinairement de *diaphragmes* qui interceptent les rayons venant des bords de l'objectif. Pour détruire l'*aberration de réfrangibilité* (103), on se sert d'objectifs *achromatiques* (104).

179. Dans la lunette astronomique , ainsi que dans la lunette de Galilée et le télescope d'Herschel , la grandeur de l'objet , vu à l'œil nu , est à la grandeur de l'objet vu dans l'instrument , comme la distance focale de l'oculaire est à la distance focale de l'objectif.

Obs. Plus la distance focale de l'oculaire est petite , plus le grossissement est fort ; mais les images deviennent moins brillantes. Le grossissement a donc des limites. Quand l'oculaire est placé pour une bonne vue , il faut le rapprocher de l'objectif pour un myope , et l'en éloigner pour un presbyte. Les lunettes astronomiques ont ordinairement à leur foyer (le foyer de l'objectif) plusieurs fils verticaux et parallèles ,

ainsi qu'un fil horizontal qui coupe diamétralement le *champ* de la lunette. On place encore au foyer un fil qui se meut parallèlement à ce dernier, au moyen d'une vis, afin de mesurer par leur écart le diamètre apparent des astres. Cet appareil se nomme *micromètre*.

La *lunette terrestre*, avec un oculaire biconvexe, montre les objets dans leur situation naturelle comme la lunette de *Galilée*; mais il faut employer deux verres de plus. Elle a l'inconvénient d'absorber plus de lumière, d'avoir un champ moins grand et de ne pas supporter de grossissement aussi fort.

Dans le télescope d'*Herschel*, on observe immédiatement l'image formée par le miroir concave; dans les télescopes de *Newton*, de *Cassegrain* et de *Grégori*, on l'observe après avoir fait subir aux rayons une réflexion sur un second miroir plan, convexe ou concave.

180. Le *microscope composé*, destiné à observer les petits objets très-rapprochés, est formé comme les télescopes, d'un objectif et d'un oculaire; mais

l'objectif doit avoir ici un foyer très-court, et il est de très-petite dimension.

Le grossissement se calcule comme pour la lunette astronomique (179).

Obs. Ce microscope est généralement composé de trois tuyaux ; le *porte-oculaire* et le *porte-objectif* glissent à frottement dans un troisième tube. On éclaire les objets qu'on observe, par des réflecteurs qu'on place au-dessus ou au-dessous d'eux, selon qu'ils sont opaques ou transparents. On forme aussi des microscopes de trois, de quatre, ou d'un plus grand nombre de lentilles.

Le nouveau microscope *catadioptrique* d'*Amici* repose sur les mêmes principes que le télescope de *Newton*. L'objet qu'on veut observer étant fortement éclairé, ses rayons vont se réfléchir sur un petit miroir plan et de là sur un miroir elliptique. L'effet de la première réflexion est de faire arriver les rayons sur le miroir elliptique dans la direction de l'axe de cette surface, et comme s'ils partaient d'un des foyers ; par la seconde ré-

flexion, ces rayons convergent et vont une petite image au second foyer; c'est e cond foyer qu'on observe l'image de avec un microscope d'un grossissem fort. (*Amici* emploie un grossissem 1,000,000 de fois). Les rayons, avant le mière incidence, sont perpendiculaires rection des foyers du miroir elliptique, au fond d'un grand tube de cuivre; l'o est à l'autre extrémité.

TROISIÈME SECTION.

LA DOUBLE RÉFRACTION ET DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA DOUBLE RÉFRACTION.

Notions préliminaires.

81. Les corps cristallisés diaphanes et la forme primitive n'est ni un cube, ni un octaèdre, présentent généralement le phénomène de la *double réfraction*, c'est-à-dire qu'ils ont la propriété de partager le rayon réfracté en deux parties égales et distinctes; en général, l'une obéit aux lois connues de la réfraction, et reçoit le nom de *rayon*

ordinaire, l'autre se nomme *rayon extraordinaire*, et suit une marche beaucoup plus compliquée.

Ex. Les objets paraissent doubles, vus à travers le carbonate de chaux limpide, qu'on nomme vulgairement *spath d'Islande*. Cette substance se divise naturellement en rhomboèdres de $105^{\circ} 5'$ et $74^{\circ} 55'$; elle a servi à étudier, pour la première fois, la double réfraction à Érasme Bartholin, qui vivait dans le 17^e siècle. Chacun des rhomboèdres a six angles aigus et deux obtus. On nomme *axe* la petite diagonale qui joint les deux angles trièdres obtus, et *coupe* ou *section principale*, le plan qui passe par l'axe et par les deux diagonales menées dans chaque base par les sommets des angles obtus : cette section principale est perpendiculaire à deux faces opposées.

L'axe d'un cristal n'est pas une ligne unique; on peut concevoir autant d'axes que de lignes parallèles à cette direction.

182. Si l'on taille un rhomboèdre de

nate de chaux limpide , selon deux *perpendiculaires* à l'axe , les objets vront simples , tant que les rayons vront à l'œil dans des directions ndiculaires aux faces que l'on a à découvert.

On aperçoit les objets sous une in- ce oblique , la séparation des ima- lieu , et leur degré d'écartement onstant pour une même inclinai- quel que soit le plan d'incidence.

Des Cristaux à un axe.

b. On nomme *cristaux à un axe* , istaux doués de la double réfrac- qui , comme la chaux carbonatée , résentent qu'une seule direction laquelle ils peuvent être traversés n rayon de lumière sans qu'il se ge en deux faisceaux , et autour de

laquelle tout se passe d'une manière symétrique.

Obs. Sir D. *Brewster* a reconnu que dans les cristaux à un axe, l'axe optique se confond toujours avec l'axe cristallographique.

Dans les cristaux à un axe, la section principale est le plan mené par l'axe, perpendiculairement à une face quelconque naturelle ou artificielle.

184. Si l'on taille un rhomboèdre de chaux carbonatée, selon deux plans parallèles entre eux et *parallèles* à l'axe du cristal, les objets paraîtront simples tant que les rayons arriveront à l'œil dans des directions perpendiculaires à ces plans.

Si l'on aperçoit les objets sous une incidence oblique, la séparation des images a lieu, mais leur degré d'écartement n'est plus constant pour des incidences égales, comme cela s'observe pour les rayons qui ont traversé deux

es perpendiculaires à l'axe (182).
 Si l'angle d'incidence varie dans un
 même plan perpendiculaire à l'axe, on
 verra qu'il existe, pour le rayon ex-
 traordinaire comme pour le rayon ordi-
 naire, un rapport constant entre les
 sinus des angles d'incidence et de réfrac-
 tion. Ce rapport est ce que l'on appelle
l'indice de réfraction extraordinaire.

183. *Malus*, pour déterminer le degré d'écar-
 tement des images, construisait un petit trian-
 gulaire dont la base était beaucoup plus
 longue que les deux autres côtés, qu'il parta-
 geait en parties égales par des parallèles à
 sa base. En regardant ensuite ce triangle à
 travers le cristal, il estimait le degré d'écar-
 tement des images par la distance à laquelle se
 faisait l'intersection des côtés divisés.

185. Quand on regarde une ligne
 blanche à travers un rhomboïdre naturel
 de carbonate de chaux, le *maximum*

d'écartement des images a lieu quand cette ligne est parallèle à la grande diagonale du rhomboèdre ; en faisant tourner le cristal , on voit les images se rapprocher successivement et se confondre lorsque la ligne est devenue parallèle à la petite diagonale. Les rayons ordinaires et les rayons extraordinaires se trouvent alors dans la section principale.

Obs. Dans le phénomène de la double réfraction , tout se passe , aux yeux des partisans du système de l'émission , comme si l'axe du cristal possédait une force capable de faire dévier de leur route une partie des molécules lumineuses. Pour certaines substances , le rayon extraordinaire s'éloigne de l'axe de double réfraction , comme si cet axe avait une force *répulsive* ; dans d'autres , il s'en rapproche comme s'il obéissait à une force *attractive*.

La tourmaline , le phosphate de chaux , l'émeraude , etc. , ont , comme le carbonate de

baux, un axe répulsif, tandis que dans le cristal de roche, la topaze, etc., on remarque le contraire.

Au lieu des dénominations *cristaux attractifs* et *cristaux répulsifs*, les partisans du système des ondulations disent *cristaux positifs* et *cristaux négatifs*.

186. La vitesse de propagation, pour les rayons ordinaires, est la même dans toutes les directions; et elle varie pour les rayons extraordinaires, selon l'angle qu'ils font avec l'axe. La différence entre les carrés des vitesses de propagation des rayons ordinaires et extraordinaires, est proportionnelle au carré du sinus de l'angle que la direction de ceux-ci fait avec l'axe.

Ex. La différence des vitesses est nulle dans la direction de l'axe, et elle est à son *maximum* dans une direction perpendiculaire à l'axe. Dans l'hypothèse des ondulations, la différence

entre les carrés des vitesses de propagation proportionnelle à l'unité divisée par le cosinus de l'angle avec l'axe. Cette belle loi due au génie de *Huyghens*.

Comment on détermine les directions des rayons ordinaire et extraordinaire dans les cristaux à un axe.

* 187. Dans un cristal qui n'a qu'un axe de double réfraction, on détermine de la manière suivante les directions du rayon ordinaire et du rayon extraordinaire, en observant que toute la construction doit se faire dans le plan d'incidence. Si la réfraction a lieu dans un plan *perpendiculaire à l'axe* : si l'axe est droite, qui est l'intersection du plan d'incidence et de la surface du cristal, on construira un triangle rectangle dont l'hypothénuse ab se confondra avec cette intersection, et dont un

de l'angle droit c sera perpendiculaire au rayon incident ; l'autre côté $c b$ lui sera évidemment parallèle. Cela posé , du sommet b on mènera deux tangentes aux deux circonférences décrites du point d'incidence a , comme centre , avec des rayons égaux aux rapports constans de réfraction pour les rayons ordinaire et extraordinaire , la droite $c b$ étant prise pour unité. Les deux points de contact sont les points par lesquels passent le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire.

Obs. Cette construction a été indiquée par *Huyghens*.

* 188. Quand le rayon incident se trouve dans un plan *parallèle à l'axe* , la construction est la même que la précédente ; seulement les deux points de contact , au lieu d'être sur deux circon-

férences concentriques, sont sur une circonférence et sur une ellipse ; la circonférence se rapporte au rayon réfracté ordinairement et est la même que dans le cas précédent ; l'ellipse se rapporte au rayon extraordinaire, et ses deux axes rectangulaires sont égaux aux deux diamètres des circonférences de l'exemple précédent ; en sorte que la circonférence et l'ellipse, dans le cas actuel, s'appuient sur un diamètre commun.

* 189. Quand la direction du rayon incident est *quelconque*, on mène par ce rayon un plan perpendiculaire à la face du cristal, et dans ce plan on construit le triangle rectangle $a b c$, comme dans les deux cas précédens ; par le sommet b , on mène alors perpendiculairement au plan d'incidence, deux plans tangens à une sphère et à un ellipsoïde qu'on détermine ainsi qu'il suit : on

mène par le point d'incidence une droite parallèle à l'axe du cristal ; autour de cette droite on décrit un ellipsoïde de révolution , dont le demi-axe des pôles est égal au rapport constant pour la réfraction ordinaire , et dont le demi-axe de l'équateur est égal au rapport de la réfraction extraordinaire ; la sphère a même centre que l'ellipsoïde , et son rayon est égal au demi-axe des pôles. Les deux points de contact déterminent les directions des deux rayons ordinairement et extraordinairement réfractés.

Des Cristaux à deux axes.

190. Il existe des substances qui possèdent *deux axes de double réfraction* , disposés symétriquement par rapport aux formes cristallines ; c'est-à-dire deux directions pour lesquelles les cho-

ses se passent comme nous l'avons reconnu autour de l'axe unique du carbonate de chaux. Dans de pareilles substances, il n'y a pas de rayon ordinaire proprement dit, et aucune portion de la lumière qui les traverse, ne suit les lois de la réfraction simple.

Ex. Le mica, la topaze, les sulfates de baryte, de chaux, de strontiane, présentent deux axes de double réfraction. Dans quelques substances, les deux axes produisent une double réfraction attractive; et dans d'autres, une double réfraction répulsive. M. *Fresnel* a montré, de deux manières, que dans les cristaux à deux axes, il n'y a pas de rayon ordinaire proprement dit : 1° des prismes de même angle taillés dans une topaze et dans différens sens, ne réfractent pas également les rayons ordinaires; 2° deux lames parallèles et égales en épaisseur, prises dans une même topaze, mais dans des sens différens, placées de manière à recevoir des rayons qui forment des franges par leur interférence, déplacent ces franges inégalement. MM. *Biot* et *Herschel* ont fait aussi

de très-belles recherches sur les cristaux à deux axes.

Obs. Les deux axes de double réfraction ont aussi le nom d'*axes optiques*, selon *Fresnel*, ou d'*axes de non polarisation*, d'après sir *D. Brewster* pour des propriétés dont il sera parlé plus loin.

191. On nomme *ligne moyenne* ou *ligne intermédiaire*, celle qui partage en deux parties égales l'angle que forment les deux axes du cristal ; et *ligne supplémentaire* celle qui lui est perpendiculaire dans le plan des deux axes.

Le plan perpendiculaire à la ligne moyenne, donne dans le cristal une section pour laquelle l'un des deux rayons se conforme aux lois générales de la réfraction.

Le plan perpendiculaire à la ligne supplémentaire détermine, dans le cristal, une section pour laquelle l'autre des deux rayons se conforme aux lois générales de la réfraction.

On détermine, au moyen de ces deux coupes, les indices de réfraction des deux rayons qui sont analogues au rayon ordinaire et au rayon extraordinaire des cristaux à un axe.

* 192. On peut déterminer, par une construction semblable à celle employée pour les cristaux à un axe, les vitesses respectives des rayons ordinaire et extraordinaire qui se meuvent suivant une direction unique dans un cristal à deux axes. Pour cela, il faut considérer un point quelconque de cette direction comme le centre d'un ellipsoïde à trois axes inégaux, et mener ensuite par ce centre un plan perpendiculaire à la direction commune des deux rayons; les moitiés du grand et du petit axes de la section elliptique, faite par le plan dans la surface, représentent les deux vitesses de propagation, si l'on adopte le

système des ondes ; et l'unité divisée par les mêmes vitesses, dans le système de l'émission (186).

193. Les substances non cristallisées et celles qui se rapportent au système cristallin cubique , ne produisent qu'une réfraction simple ; les substances dont la forme cristalline peut être rapportée à un rhomboèdre ou à un prisme à bases carrées (I , 34), ne possèdent qu'un axe de double réfraction ; celles dont la forme se rapporte à un autre système de cristallisation , à l'exception du système cubique (qui comprend l'octaèdre , le tétraèdre , le dodécaèdre rhomboïdal , etc.), possèdent deux axes de double réfraction.

De quelques particularités de la double réfraction.

194. En comprimant une combinai-

son de prismes de verre , on peut leur faire produire les phénomènes de la double réfraction ; et le verre comprimé se conduit comme un cristal dont l'axe coïnciderait avec la direction de la compression.

Ex. On prend plusieurs prismes de verre dont l'angle réfringent soit de 90° , et on les place les uns à côté des autres, de manière que les arêtes des angles réfringens soient parallèles et équidistantes ; on exerce alors la compression dans le sens perpendiculaire aux arêtes ; il faut avoir soin de remplir les vides laissés entre les prismes par d'autres prismes égaux aux précédens , mais moins longs, afin que la compression ne s'exerce pas sur eux , et il faut coller la série de prismes avec de l'essence de térébenthine dont le pouvoir réfringent diffère peu de celui du verre. Il faut encore placer aux extrémités de l'appareil deux demi-prismes destinés à former avec les autres prismes un parallélipipède. Un faisceau de lumière qui entre alors perpendiculairement à l'une des

faces extrêmes donne deux images qui, à un mètre de distance, ne sont écartées que d'un millimètre et demi environ. Cette expérience est due à M. *Fresnel*, à qui on doit aussi la construction indiquée plus haut (192).

195. Un cristal de spath d'Islande, soumis à l'action de la chaleur, se dilate dans le sens de son axe, et se contracte perpendiculairement à cette direction.

OBS. Cette remarque a été faite par M. *Mitscherlich*.

196. Les substances douées de la double réfraction, réfléchissent la lumière à leur première surface comme les autres corps; mais il n'en est pas de même à la seconde surface, et chaque rayon subit généralement une nouvelle bifurcation; de sorte qu'il en résulte quatre rayons.

Obs. Les propriétés de la double réfraction ont reçu une application fort ingénieuse dans le micromètre de *Rochon*, qui sert surtout à déterminer les diamètres apparens des objets.

197. Si l'on taille une aiguille de tourmaline, de manière à en former un prisme dont les arêtes soient parallèles à son axe, et si l'on regarde un objet très-étroit à travers ce prisme achromatisé, on observe que la partie la plus mince de la tourmaline transmet deux images réfractées de l'objet; mais l'une des deux images s'affaiblit graduellement et finit par s'évanouir en ramenant le rayon visuel vers la partie la plus épaisse du cristal. Ainsi la tourmaline exerce la réfraction double quand elle est mince et la réfraction simple quand elle est épaisse.

Obs. Cette observation est due à M. *Biot*.

CHAPITRE II.

DE LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE.

De la Polarisation en général.

198. Lorsque la lumière a été réfléchie sous certaines incidences par des surfaces polies, ou réfractée par ces surfaces, ou enfin transmise à travers des corps doués de la double réfraction, elle acquiert une propriété particulière; elle n'est plus susceptible, par exemple, d'être réfléchie ou réfractée par une seconde surface sous une inclinaison déterminée, ni généralement de se partager en deux rayons également intenses quand elle pénètre dans un cristal doué de la double réfraction. Cette propriété a reçu le nom de *polarisation*.

Obs. Le mot *polarisation* vient de ce que les partisans du système de l'émission supposent que les particules lumineuses s'arrangent dans des positions respectives particulières, telles que leurs pôles se tournent vers certains côtés de l'espace. Cet arrangement ne se fait pas subitement, mais par une espèce d'oscillation; elles tournent alternativement leurs axes de part et d'autre des plans dans lesquels elles doivent se fixer définitivement: de là, les dénominations de *polarisation fixe* et de *polarisation mobile*. La découverte de la polarisation est moderne; elle est due à *Malus*.

199. La polarisation a pour effet de modifier l'*intensité* de la lumière et non sa *direction*; ainsi la direction que suit un rayon de lumière polarisé, ou les directions que suivent les parties dans lesquelles il se divise par des réflexions, des réfractions ou d'autres circonstances, peuvent toujours se déterminer par les mêmes principes qui ont été po-

sés pour la lumière non polarisée ; mais il n'en est pas de même pour l'appréciation de leurs intensités. »

*De la Polarisation complète par
Réflexion.*

200. Quand un rayon solaire fait un angle de $35^{\circ} 25'$ avec un verre poli et non étamé, sur lequel il se réfléchit, il se trouve *complètement polarisé*; de sorte que si on le reçoit dans un point quelconque de son trajet sur un autre plan de verre qui soit également poli et non étamé; il y subira encore, en général, une seconde réflexion partielle; mais cette réflexion sera *nulle*, si l'angle formé avec le second verre, est aussi de $35^{\circ} 25'$, et si de plus les plans dans lesquels se sont effectuées les deux réflexions successives sont *perpendiculaires* l'un à l'autre.

On nomme *angle de polarisation*, l'angle de $54^{\circ}35'$ que forme le rayon polarisé avec la normale à la surface réfléchissante.

Et. En disposant les verres comme nous venons de l'indiquer, on se trouve surpris de ne pas apercevoir l'image du soleil qui, malgré les deux réflexions successives, devrait avoir encore une extrême vivacité, comme on peut s'en assurer, si l'on conservait les mêmes incidences pour les rayons réfléchis, mais en faisant coïncider les deux plans dans lesquels s'opèrent les réflexions. On nomme *plan de polarisation* le plan dans lequel s'opère la première réflexion qui donne au rayon la propriété qui le caractérise.

On nomme *axe de translation* des particules lumineuses, dans le système de l'émission celui qui est dirigé dans le sens du mouvement de translation du rayon polarisé dont ces particules font partie; et, *axe de polarisation* l'axe situé, dans le plan de réflexion perpendiculairement à l'axe actuel de translation.

201. Toutes les surfaces réfléchissantes sont susceptibles de polariser la lumière par réflexion, mais chacune sous une incidence déterminée qui lui est particulière.

Ex. Le verre, le bois et le marbre polis, les différens liquides, etc., polarisent fort bien la lumière; mais les substances métalliques, et celles qui ont un pouvoir réfringent très-prononcé ne le font qu'imparfaitement, comme on pourra le voir bientôt.

202. La tangente de l'angle de polarisation pour un milieu quelconque, est égale à l'indice de réfraction qui appartient au même milieu.

Ex. Les indices de réfraction pour l'eau, le crown glass et le diamant étant respectivement 1,336; 1,535 et 2,487; les angles de polarisation seront $53^{\circ} 11'$; $56^{\circ} 55'$; $68^{\circ} 6'$. Cependant, pour le diamant et les corps dont le pouvoir réfringent est très-prononcé, il faut prendre

comme angle de polarisation, l'angle quel les rayons réfléchis approchent d'avoir le caractère d'une polarisation. Cette corrélation donne le moyen de l'indice de réfraction par l'angle de réflexion, quand les moyens ordinaires ne sont applicables. Ainsi l'on trouve que l'angle de polarisation surpasse 71° pour l'acier et 70° pour le mercure, d'où on déduit les indices de réfraction respectifs 2,85 et 4,16.

203. Quand un rayon tombe sur une surface transparente de manière que la portion réfléchie soit complètement polarisée, la portion réfléchie et la portion réfractée du rayon se coupent à angle droit.

Obs. Cette loi est une conséquence de la loi précédente.

204. Quand un rayon de lumière ordinaire rencontre une lame transp

à faces parallèles, sous un angle qui est celui requis pour la polarisation complète, non-seulement la portion réfléchie à la première surface, mais encore celle qui se réfléchit dans l'intérieur de la lame sur la seconde surface, et les rayons composés qui naissent de leur mélange, ont tous les caractères de la polarisation.

Ex. Si l'on superpose des lames à faces parallèles, de manière à en former une pile, les rayons réfléchis par les différentes faces ont un plan commun de polarisation (200); c'est un moyen de rendre plus intense un faisceau de rayons polarisés.

205. Un même milieu ne polarise pas les rayons colorés sous la même incidence; la disparition complète des rayons polarisés ne peut conséquemment avoir lieu par une seconde réflexion qu'au-

tant que ces rayons étaient primitivement homogènes.

Obs. Ceci est une conséquence de la loi précédente qu'on doit à sir *D. Brewster*.

206. Quand un rayon, polarisé de manière quelconque, tombe sur une surface susceptible de polariser complètement la lumière, et qu'il fait avec cette surface l'angle requis pour la polarisation complète (202), la réflexion est entièrement *nulle*, si le plan dans lequel elle devrait s'opérer, est de plus perpendiculaire au plan de polarisation du rayon que l'on considère.

Obs. Nous avons déjà parlé d'un cas particulier de ce principe général (200).

207. En général, quand un rayon polarisé rencontre une surface sous l'ang

cessaire pour la polarisation, la réflexion est *nulle* pour deux positions particulières de cette surface, et elle est à son *maximum* pour deux autres positions dont les directions sont perpendiculaires à celles des premières : la lumière réfléchie a son *maximum* d'intensité quand la réflexion se fait dans un plan qui est celui de la polarisation ; elle diminue à mesure que l'angle de ces deux plans augmente ; et l'on peut considérer qu'elle décroît comme le carré du cosinus de cet angle.

Obs. Cette dernière loi a été donnée empiriquement par *Malus* ; elle s'accorde très-bien avec les résultats de l'expérience, comme *M. Arago* s'en est assuré.

Une conséquence remarquable de cette loi, c'est que la lumière ordinaire ou non polarisée que l'on nomme encore *lumière neutre*, doit être considérée comme se composant de deux parties polarisées, égales en intensité, et

ayant leurs plans de polarisation respectivement perpendiculaires l'un à l'autre : cette circonstance fait que la lumière ordinaire ne subit pas les mêmes alternatives d'intensité que la lumière polarisée.

208. Quand un rayon polarisé rencontre une surface sous un angle *qui n'est pas celui de la polarisation*, la loi qui détermine son intensité est généralement compliquée, et l'on trouve qu'il existe des alternatives dans l'intensité de la lumière réfléchie, comme dans l'expérience citée précédemment (207).

Obs. *Fresnel* a donné une formule dont les résultats sont d'accord avec ceux de l'expérience.

209. Quand un rayon de lumière polarisée se réfléchit sur une surface polie sous différentes obliquités; la portion réfléchie se trouve encore polarisée;

is, généralement, son plan de polarisation a changé de direction.

Ce changement de direction se nomme *movement du plan de polarisation*.

x. Supposons que le plan de polarisation de lumière incidente fasse un angle de 45° avec le plan de réflexion, il pourra arriver que le plan de polarisation de la lumière réfléchie ne fasse plus avec le même plan de réflexion qu'un angle le moindre ou même tout-à-fait nul.

Cela qui précède conduit à des conséquences assez curieuses sur la manière dont on peut concevoir que la lumière ordinaire se polarise. Si, supposons un faisceau de lumière incidente, d'une intensité égale à l'unité; et les deux faisceaux partiels, d'une intensité égale $\frac{1}{2}$, dont il se compose, disposés de manière que leurs plans respectifs de polarisation, qui tombent à angle droit, tombent symétriquement de chaque côté du plan d'incidence. Cela posé, près une formule de *Fresnel* que paraît confirmer l'expérience, il faut concevoir que, sous incidence perpendiculaire, le faisceau réflé-

chi est sans polarisation comme le rayon incident, et qu'il se trouve encore composé de lui de deux faisceaux d'égale intensité et polarisés à angle droit. A mesure que l'incidence augmente, les plans de polarisation se rapprochent graduellement, et finissent par se confondre avec le plan de réflexion, quand l'incidence est celle requise pour la polarisation complète; au delà de cette limite et pour toutes les incidences plus grandes, les plans de polarisation continuent leur mouvement dans le même sens, celui de droit à gauche du plan d'incidence, et de gauche passant à droite; et enfin, leur mouvement allant toujours croissant, les deux plans de polarisation pour l'incidence de 90° se trouvent encore perpendiculaires entre eux, chacun ayant repris un azimut de 45° de l'autre côté du plan d'incidence.

De la Polarisation partielle par Réflexion

210. Si un rayon est réfléchi sous un angle plus ou moins grand que l'angle de polarisation,

de polarisation, il se trouve *polarisé partiellement*; c'est-à-dire qu'il ne disparaît plus par une seconde réflexion, quoique la surface réfléchissante forme avec lui l'angle nécessaire pour la polarisation. Si de plus on fait tourner cette surface sans altérer l'angle d'incidence, on voit passer le rayon réfléchi par des alternatives d'intensité et présenter des états de maxima et de minima de lumière.

Dans le cas de la polarisation partielle, la plupart des physiciens conçoivent la lumière comme composée de deux faisceaux, l'un ayant conservé son état naturel et l'autre ayant été polarisé dans le plan d'incidence. Selon sir D. Brewster, tout le faisceau serait polarisé. Il conçoit pour cela qu'un rayon ordinaire qui se réfléchit, présente au plan réfléchissant les deux faisceaux polarisés à angle droit, dont se il compose, de manière que les deux plans de polarisation fassent un angle de 45° avec le

plan de réflexion, l'un à droite, l'autre à gauche de ce plan. Il arrive alors qu'après réflexion, comme précédemment, toute la lumière est polarisée, mais les plans de polarisation des faisceaux forment un angle plus ou moins grand qui dépend de l'angle d'incidence.

211. Si un rayon est polarisé par réflexion, sa polarisation devient plus complète par une seconde réflexion dans le même plan (200); à-dire que le rapport de la lumière polarisée à la lumière non polarisée augmente; et, par des réflexions multiples le rayon peut même se polariser complètement, quoique la réflexion ne soit pas opérée une seule fois sous l'angle de polarisation.

Ex. Ainsi, sir D. Brewster a trouvé que pour le verre, une seule réflexion sous une incidence avec la normale de $56^{\circ} 45'$, ou deux réflexions sous des incidences de $62^{\circ} 30'$ et $50^{\circ} 20'$

féremment ; ou trois sous des incidences de $65^{\circ}33'$ et $46^{\circ}30'$; ou quatre sous des incidences de $67^{\circ}33'$ et $43^{\circ}51'$; et ainsi de suite , produisent également la polarisation complète du rayon finalement réfléchi. En employant des angles plus grands que 82° ou plus petits que 18 , il faut plus de 100 réflexions pour rendre la polarisation complète.

Il faut concevoir ici que le rayon , après la première réflexion , se compose de deux faisceaux d'égale intensité , ayant leur plan de polarisation , l'un à droite , l'autre à gauche du plan d'incidence , à une distance moindre que 45° . Cet angle ou azimut d'incidence diminue ensuite après chaque réflexion subséquente. Voici les résultats que donne , pour le verre , la formule que sir D. Brewster a proposée pour ces calculs.

	Lumière		
	Azimut. non polarisée.		
Première réflexion à 70°	20°	0'	0,23392
Deuxième —	7	35	0,03432
Troisième —	2	45	0,00460
Quatrième —	1	0	0,00060
Cinquième —	0	22	0,00008

212. La réfraction peut, comme la réflexion, faire changer ou tourner le plan de polarisation. On remarque ici que le plan de polarisation s'éloigne de plus en plus du plan d'incidence, et tend à lui devenir perpendiculaire.

Obs. C'est à sir D. *Brewster* que l'on doit encore l'analyse de ces phénomènes et la formule qui les représente. On peut déjà concevoir qu'en faisant traverser à un rayon plusieurs lames diaphanes parallèles, on finit par le polariser complètement, puisque à chaque nouvelle réfraction les plans de polarisation des deux faisceaux partiels, tournent d'une nouvelle quantité et tendent à se mettre dans un seul et même plan perpendiculaire au plan d'incidence.

213. Quand le ciel est serein, la lumière qu'il nous envoie est généralement plus ou moins polarisée selon le plan qui passe par le soleil et le lieu d'où nous viennent les rayons; la quantité de lu-

nière polarisée qui nous vient dans la direction du soleil doit être considérée comme nulle; elle atteint un maximum et décroît ensuite en se rapprochant du pôle opposé, jusque vers une limite où la quantité de lumière polarisée devient nulle; et par delà cette limite, la polarisation se reproduit encore, mais dans un sens opposé. On a remarqué aussi que cette limite, ou point neutre, ne correspond pas toujours au plan vertical passant par le soleil, mais est rejetée à droite ou à gauche quand le ciel est partiellement couvert de nuages.

OBS. J'avais remarqué, il y a près de dix ans, que le maximum de polarisation a lieu dans un cercle placé à 90° environ du soleil; selon sir D. Brewster, ce maximum se trouverait à 78° du soleil. M. Arago a confirmé par ses expériences que le maximum se trouve effectivement vers 90° du soleil; de plus, il a remarqué

l'existence des points neutres, et présente l'énoncé général du phénomène. Le même auteur s'est assuré que la lumière de la lune contient une assez grande proportion de lumière polarisée. Selon lui, le renversement de la polarisation paraît dépendre des réflexions multiples de la lumière par l'air.

De la Polarisation simple par la Réflexion.

214. Quand un rayon de lumière ordinaire traverse une lame de verre sous une incidence perpendiculaire, il ne donne à sa sortie aucune marque de polarisation.

215. Quand un rayon de lumière ordinaire est en partie réfléchi et en partie réfracté par une surface diaphane (qu'il y ait absorption), les faisceaux réfléchi et réfracté contiennent des quantités égales de lumière polarisée,

plans de polarisation sont respectivement perpendiculaires l'un à l'autre.

Obs. Cette belle loi qui est due à *M. Arago*, et elle de sir *D. Brewster* (202) sont d'une grande importance dans les phénomènes de la polarisation. Il en résulte que la lumière réfractée présente, comme la lumière réfléchie, des alternatives d'intensité selon la manière dont elle se trouve réfléchie (207); de plus le rayon transmis contient le maximum de lumière polarisée, lorsque la lumière incidente tombe sous un angle égal à celui de polarisation du milieu; et ce maximum est la quantité de lumière que la surface peut polariser complètement par réflexion. Or, cette quantité étant généralement moindre que la moitié de la lumière incidente, la quantité de lumière polarisée qui se trouve dans un rayon réfracté par un milieu quelconque est aussi toujours moindre que la moitié de la lumière incidente. Ainsi la lumière réfractée ne peut jamais être entièrement polarisée par une seule transmission. *M. Arago* pense que la partie de la lumière réfractée qui n'a

point été polarisée se trouve absolument dans son état naturel; M. *Brewster* pense au contraire qu'elle a subi un changement physique qui la rend plus propre à se polariser par des transmissions subséquentes faites sous le même angle (209).

216. Aux rayons réfractés qui traversent une lame transparente, se mêlent des rayons qui ont subi deux réflexions dans l'intérieur de la lame; et qui, étant polarisés dans un plan opposé (215), détruisent en partie la polarisation.

217. Si l'on forme une pile de plusieurs lames de verre parallèles séparées les unes des autres par des intervalles d'air, et que l'on présente obliquement cette pile à un *rayon de lumière naturelle*, la lumière transmise sera polarisée en tout ou en partie. Si les lames sont assez nombreuses, comparativement à l'in-

intensité du rayon incident, il arrive un terme où toute la lumière transmise est polarisée dans un seul sens; et, ce terme une fois atteint, la même propriété subsiste pour toutes les obliquités des rayons incidens.

Ex. Dix lames de verre suffisent pour polariser la lumière du soleil couchant et deux feuilles d'or battu produisent le même phénomène à toutes les hauteurs du soleil. Ces feuilles et ces lames doivent être placées parallèlement et à égales distances. La quantité de lames nécessaires pour obtenir la polarisation complète dépend de l'intensité de la lumière incidente et de la nature de la substance dont les lames sont formées. Ces phénomènes ont été indiqués pour la première fois par *Malus* et *Biot*.

218. Si une pile de lames de verre parallèles se trouve exposée à un rayon polarisé sous l'incidence nécessaire pour la polarisation; et si l'on fait tourner la

pile autour du rayon sans altérer l'intensité, on observe :

1° Que, quand le plan d'incidence est perpendiculaire au plan de polarisation, la lumière polarisée se trouve transmise en totalité ; et que, de plus, sa nature n'est nullement altérée.

2° Que, pendant que la pile tourne, la lumière transmise diminue, et celle qui est réfléchie augmente au contraire ; que de plus la lumière est totalement réfléchie, et que par conséquent la transmission cesse quand la pile a fait un quart de révolution ; c'est-à-dire quand le plan d'incidence coïncide avec le plan de polarisation.

Si la pile forme avec le rayon incident un angle plus ou moins grand que celui qui est nécessaire pour la polarisation, les effets précédens sont insensibles et montrent que la réfrac-

joue ici, à l'égard des rayons polarisés, le même rôle que la réflexion (207 et 208).

219. Les corps lamelleux tels que les agathes, polarisent aussi la lumière qui les traverse suivant le sens de leurs couches; et peuvent servir à l'analyse de la lumière polarisée.

Ex. Sir *D. Brewster* a trouvé que si l'on taille une plaque d'agate perpendiculairement à ses couches, elle polarise complètement la lumière dans une direction parallèle à leurs faces, quand elle est suffisamment épaisse ou quand le rayon n'est pas trop intense. Si l'on expose la plaque à un rayon polarisé perpendiculairement à la direction de ses veines, elle l'intercepte en totalité; si le plan de polarisation est au contraire parallèle aux veines, elle le transmet. Quand on tourne l'agate de manière à passer d'une de ces positions à l'autre, l'intensité de la lumière transmise diminue graduellement.

Dans tout ce qui précède, nous avons fait abstraction de la lumière perdue par l'absorption,

par la réflexion rayonnante et par les réflexions intérieures.

De la Polarisation simple par la double Réfraction.

220. Quand un rayon de lumière ordinaire a été partagé, par la double réfraction d'un cristal, en deux parties distinctes et susceptibles d'être analysées séparément, on trouve que chacune des parties est polarisée complètement et que leurs plans de polarisation respectifs sont perpendiculaires l'un à l'autre. Le rayon ordinaire est polarisé dans un plan qui passe par l'axe du cristal, et le rayon extraordinaire dans un plan perpendiculaire à cet axe.

Ex. Si l'on reçoit les deux rayons qui ont été séparés par le cristal, sur une surface polie et sous l'angle nécessaire pour la polarisation,

on voit, en faisant tourner cette surface autour des rayons incidens, les images qu'ils forment subir diverses alternatives d'intensité et disparaître tour à tour à 90° de distance (207).

221. Quand un rayon de lumière polarisée traverse perpendiculairement une plaque cristallisée dont la section principale fait un angle quelconque avec le plan de polarisation du rayon incident, la quantité de cette lumière qui passe à l'état de rayon ordinaire est proportionnelle au carré du cosinus de l'angle que fait la section principale du cristal avec le plan de polarisation du rayon ; le reste forme le rayon extraordinaire.

Ex. Le rayon de lumière polarisée, en traversant le cristal, se partage généralement en deux parties *inégaux* et distinctes (181) : si l'on fait tourner ce cristal autour de la direction du rayon incident, les deux parties du rayon va-

rieront continuellement en intensité, et pendant que l'une tendra vers un *maximum*, l'autre passera vers un *minimum* et réciproquement.

Le principe précédemment énoncé vient, cause de son importance, d'être vérifié avec le plus grand soin par M. *Arago* qui s'en est servi comme moyen photométrique.

222. On sait que si l'on réunit deux faisceaux de lumière d'égale intensité, et polarisés dans deux plans à angle droit, la lumière ainsi obtenue est complètement analogue à la lumière neutre. Cela pose on peut toujours, d'après le principe énoncé précédemment, dépolariser un faisceau de lumière.

Ex. Si l'on fait traverser à ce faisceau un cristal biréfringent dont la section principale fasse un angle de 45° avec son plan de polarisation, il se résout en deux faisceaux d'égale intensité et comme l'expérience montre que les deux faisceaux de la double réfraction sont polarisés complètement, et que de plus leurs pla-

de polarisation sont à angle droit , il s'en suit que la lumière polarisée en deux faisceaux égaux et polarisés à angle droit , sera analogue à la lumière neutre ou complètement dépolarisée; le même procédé est applicable à la lumière partiellement polarisée.

223. Si les deux faisceaux dans lesquels un rayon de lumière s'est partagé par son passage dans un cristal doué de la double réfraction , tombent perpendiculairement sur un second cristal dont toutes les faces sont parallèles à celles du premier , on ne remarque aucune nouvelle division. Lorsque les sections principales de ces deux cristaux que nous supposons de même nature , sont à angle droit, le faisceau qui provient de la réfraction ordinaire du premier cristal est réfracté extraordinairement par le second , et réciproquement; on ne remarquera que deux images comme dans

le premier cas. Mais pour toutes les autres positions que les deux sections principales peuvent prendre l'une à l'égard de l'autre, chaque faisceau se subdivise en deux nouvelles parties dans le second cristal. Les deux parties produites par le faisceau ordinaire sont d'égalles intensités, quand les sections principales des cristaux forment un angle de 45° ; pour toutes les autres positions, les intensités sont inégales; l'une d'elles disparaît même quand les sections principales sont parallèles, c'est l'image extraordinaire; et l'image ordinaire paraît alors à son maximum d'éclat: le contraire a lieu quand les sections principales sont perpendiculaires. Tous les mêmes phénomènes se reproduisent mais dans un ordre inverse, pour les deux parties dans lesquelles se partage le faisceau extraordinaire.

Obs. On emploie avec succès les cristaux doués de la double réfraction pour reconnaître la lumière polarisée et le sens de la polarisation. On préfère assez souvent une tourmaline dont on a poli deux faces opposées, de manière à en former une plaque à faces parallèles d'un vingtième de pouce d'épaisseur. Les faces doivent être parallèles à l'axe du cristal. Lorsqu'on présente une pareille plaque à un rayon polarisé, dont le plan de polarisation est perpendiculaire à l'axe, elle le transmet; mais si ce plan est parallèle à l'axe, elle empêche la transmission. La plaque de tourmaline polarise donc la lumière transmise dans un sens perpendiculaire à l'axe.

De la Polarisation colorée produite par des rayons parallèles.

224. Quand un faisceau de rayons *parallèles* et polarisés passe au travers d'un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale est *parallèle*

plan de polarisation, on sait que l'image extraordinaire s'évanouit : elle reparait quand on place devant le rhomboïde une plaque cristallisée douée de la double réfraction et dont la section principale n'est ni parallèle ni perpendiculaire au plan primitif de polarisation ; son intensité devient même égale à celle de l'image ordinaire, lorsque cette section principale fait un angle de 45° avec le plan primitif. Dans ce cas, comme dans les autres, les deux images sont *blanches*, si la plaque interposée est assez épaisse, si elle a, par exemple, au moins un demi-millimètre, pour le cristal de roche et le sulfate de chaux.

Mais quand elle est plus mince, les deux images *se colorent de teintes complémentaires* qui changent de nature avec l'épaisseur de la lame, et varient seulement d'intensité, quand on la fait tourner

dans son plan, en la laissant toujours perpendiculaire aux rayons incidens.

Les deux images complémentaires prennent leur éclat le plus vif quand la section principale de la lame fait un angle de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ ou $\frac{7}{2}$ quadrans avec la section principale du prisme. Quand la section principale de la lame coïncide avec la section principale du prisme ou lui est perpendiculaire, il n'y a qu'une seule image qui est blanche : dans le premier cas, c'est l'image ordinaire; et, dans le second, c'est l'image extraordinaire.

Ces phénomènes ont été désignés sous le nom de phénomènes de la *polarisation colorée*.

Ex. On emploie, pour ces sortes d'expériences, des lames de cristal de roche ou de chaux carbonatée; ou, mieux encore, des lames de cristaux à deux axes, tels que le mica, la chaux sulfatée, etc. Dans les cristaux à deux

axes la *section principale*, analogue à la section principale des cristaux à un axe, passe par la ligne intermédiaire (191) perpendiculairement aux faces de la lame. Ce qui rend les cristaux à un axe incommodes pour l'observation de la polarisation colorée, c'est qu'il faut les réduire à des lames extrêmement minces et qui deviennent très-fragiles. M. Biot a trouvé par exemple, qu'une lame de chaux carbonatée parallèle à l'axe doit être dix-huit fois plus mince qu'une lame de cristal de roche pour produire la même teinte. Il faut, pour pouvoir la travailler, la coller sur du verre.

225. Quand, dans l'expérience indiquée au paragraphe précédent, la section principale du prisme est *perpendiculaire* au plan primitif de polarisation, on observe des phénomènes analogues; mais l'image ordinaire prend la place de l'image extraordinaire et *vice versa*.

Enfin, on observe encore les mêmes phénomènes, quand la section princi-

pale du prisme n'est *ni parallèle ni perpendiculaire* au plan de polarisation primitive. Ainsi, une image est nulle et l'autre blanche, quand les deux sections principales du prisme et de la lame sont perpendiculaires ou parallèles entre elles; et le maximum d'éclat dans les couleurs a lieu, quand les sections font un angle mesuré par un nombre impair de demi-quadrans; et toujours on observe les mêmes nuances plus ou moins affaiblies dans toutes les positions intermédiaires.

Obs. Des phénomènes analogues s'observent quand on reçoit sur une surface réfléchissante le rayon polarisé qui a traversé une lame mince; ainsi, quand le rayon polarisé traverse perpendiculairement une lame de mica, avant de se réfléchir, la réflexion ne sera plus *nulle* quand son plan sera perpendiculaire à celui de polarisation du rayon; mais la lumière réfléchie aura une teinte particulière. Si l'on fait tour-

ner la lame de mica en la conservant *perpendiculaire* au rayon polarisé, la teinte, sans *changer de nature*, changera d'intensité; et elle sera nulle quand l'axe de double réfraction de la lame sera parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation primitive : le maximum d'intensité aura lieu quand l'axe et le plan feront un angle de 45° .

226. Les couleurs des lames cristallisées suivent, à l'égard de leurs épaisseurs, des lois analogues à celles des anneaux colorés, c'est-à-dire que les épaisseurs de deux lames cristallisées de même nature qui donnent deux teintes quelconques, sont entre elles comme les épaisseurs des lames d'air qui réfléchissent des teintes semblables dans les anneaux colorés.

Ex. On pose plusieurs petites lames minces de différentes épaisseurs sur une étoffe noire, de manière qu'elles réfléchissent la lumière

sous un angle de 35° environ avec la lame. Une partie est réfléchiée et polarisée à la première surface, une seconde partie pénètre dans les lames et se trouve réfléchiée à la seconde surface. Si, au moyen d'un cristal ou d'une surface réfléchissante, on observe alors les deux faisceaux de lumière, de manière que le premier disparaisse complètement, le second présentera les couleurs les plus vives, et les teintes seront nuancées selon les épaisseurs des lames.

Le phénomène de la polarisation colorée a été découvert par M. *Arago*; et l'analogie entre les teintes et celles des anneaux colorés a été observée par M. *Biot*. M. *Young* a remarqué que la différence de marche entre les faisceaux ordinaire et extraordinaire qui sortent d'une lame cristallisée, est précisément égale à celle des rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air qui donne la même teinte, et que cette identité numérique se soutient pour toutes les inclinaisons des rayons relativement à l'axe du cristal. La plupart des détails précédens sont empruntés à *Fresnel*.

On désigne quelquefois sous le nom de *depolarisation mobile* les phénomènes dont nous venons de parler , à cause du mouvement oscillatoire qu'on suppose aux particules lumineuses (198).

227. Quand un rayon polarisé traverse deux lames qui exercent toutes deux des actions répulsives ou attractives(185), il produit des teintes qui sont précisément la somme des teintes partielles , si les axes sont parallèles; ou la différence, si les axes sont à angle droit.

228. Quand un rayon polarisé traverse deux lames qui exercent des actions l'une attractive et l'autre répulsive produit des teintes qui sont précisément la différence des teintes partielles si les axes sont parallèles ; ou la somme si les axes sont à angle droit.

Ex. M. *Biot* a développé des couleurs des morceaux de cristal de roche cr

angle droit, qui avaient plus de quatre centimètres d'épaisseur. On peut, d'après ce qui précède, observer facilement le phénomène de la polarisation colorée, au moyen de lames épaisses, et déterminer si ces cristaux sont répulsifs ou attractifs.

Les procédés exposés dans les deux paragraphes qui précèdent, reçoivent le nom de *duplication parallèle* ou de *duplication croisée*, selon la position respective des axes des deux lames superposées.

229. Si une lame est traversée *obliquement* par un rayon polarisé, de manière que son axe soit perpendiculaire à ce rayon, tout se passera comme si la lame avait seulement une épaisseur plus grande. Mais si l'axe lui-même est oblique au rayon, il y aura deux effets : l'un dû à l'accroissement de trajet, qui tend à faire descendre les couleurs dans l'ordre des anneaux ; l'autre dû à l'inclinaison de l'axe, qui, en affaiblissant

sa force, tend à faire monter les couleurs. En vertu de ces deux effets, la lame agit généralement comme si elle était plus mince. Lorsque, par l'inclinaison, l'axe est arrivé dans le sens même du rayon, l'effet est au *minimum*; il n'y a plus de couleurs, c'est-à-dire que le rayon conserve en entier sa polarisation primitive.

Ex. On peut par là déterminer l'axe d'un cristal : on présente une plaque à un rayon polarisé, de manière que la section principale et le plan de polarisation primitive fassent un angle de 45° ; on incline ensuite graduellement la plaque jusqu'à ce que la coloration soit nulle, et alors le rayon traverse le cristal selon son axe.

Obs. M. Arago a fondé sur les propriétés de la lumière polarisée, un nouveau photomètre extrêmement sensible et précis ; en établissant la comparaison de deux lumières données, il s'est proposé : 1^o de fractionner la lumière la

plus intense d'une quantité bien connue pour la rendre égale à la plus faible ; 2^o de s'assurer, par un procédé exempt d'erreur et assez sensible, de l'égalité établie. Or, au moyen de la non coloration d'une lame de quartz, on s'assure de l'égalité des deux faisceaux mélangés polarisés à angle droit, d'une part ; et de l'autre, on conclut la fraction de l'un des deux faisceaux qui a été employé à neutraliser le second, par la loi du carré du cosinus de l'angle dans un cristal doué de la double réfraction.

On peut encore employer le fractionnement comme moyen photométrique, sans recourir à la polarisation chromatique. Il suffit en effet de dépolariser le rayon fractionné par la double réfraction, en lui faisant traverser une lame biréfringente assez mince pour ne point le diviser en deux faisceaux distincts ; on lui rend ainsi les propriétés de la lumière ordinaire, et on peut le comparer à une autre lumière homogène. Ainsi, pour comparer la lumière des étoiles, avant ou après avoir ramené le spectre des astres dans deux parties voisines du champ de la lunette, on fractionnera la lumière de

(préalablement polarisée) d'une quantité connue qui la rende égale à l'étoile la plus faible.

De la Polarisation colorée, produite par des rayons convergens.

230. Si l'on polarise un faisceau de rayons *convergens*, et si, après lui avoir fait traverser une lame cristallisée, on place l'œil au sommet de ce cône, en l'armant d'un prisme de spath d'Islande achromatisé ou d'une tourmaline, pour analyser la polarisation de la lumière transmise, on trouve que les teintes produites par les divers pinceaux de cette lumière ne sont plus uniformes comme pour un faisceau de rayons *parallèles*, mais qu'elles diffèrent entre elles et dans leur composition et dans leur intensité; à cause de l'inégalité des incidences sous lesquelles les pinceaux tra-

versent la lame cristallisée et de la différence des directions de polarisation relativement à la section principale de la même lame.

Ces phénomènes sont surtout remarquables quand l'axe de la lame cristallisée coïncide avec l'axe du cône lumineux.

Ex. Quand l'axe de la lame cristallisée coïncide avec l'axe du cône lumineux, en analysant la lumière transmise, on aperçoit, au lieu d'une teinte uniforme (224), une suite d'anneaux colorés concentriques qui se dessinent autour de cet axe. Ces anneaux sont séparés en quatre quadrans par une grande croix noire dont les branches vont en s'élargissant à mesure qu'elles s'éloignent du centre; ils ont été aperçus pour la première fois dans le cristal de roche par M. Arago; sir D. Brewster les a observés dans la topaze, et M. Wollaston dans le spath d'Islande.

231. Quand on se sert d'une lame cris-

tallisée à un axe et à faces parallèles, les teintes des anneaux colorés offrent précisément les mêmes successions de couleurs que la table de Newton indiquée pour les anneaux ordinaires, et les épaisseurs qui donnent ces teintes, sont par conséquent proportionnelles aux carrés des diamètres de ces anneaux (131).

232. La grandeur des anneaux est variable avec la distance de l'œil à la lame cristallisée, et elle augmente en même temps que cette distance; mais ni la grandeur ni la nature des anneaux colorés ne subissent de variation tant que l'œil demeure à égale distance de la plaque que nous supposons d'une structure parfaitement homogène.

OBS. Ce qui précède est applicable à tous les cristaux à un seul axe, excepté l'apophyllite. Les anneaux, dans ce minéral, au lieu de la coloration ordinaire, sont alternativement

et d'un violet très-foncé. M. *Herschel*, fait cette observation, a remarqué aussi dans l'apophyllite, les longueurs d'ondulation pour tous les rayons simples (135) sont lement égales.

3. Quand on se sert d'une lame biconvexe à deux axes, les anneaux concentriques peuvent se développer suivant deux directions différentes, qui sont les deux axes; et ces anneaux diffèrent de ceux développés dans les cristaux à un axe, parce qu'ils sont traversés par une ligne noire unique, au lieu de l'être par deux lignes qui se croisent à angles droits.

Pour obtenir des anneaux *circulaires*, il faut tailler le cristal perpendiculairement à l'un de ses axes: les valeurs numériques des diamètres sont simplement proportionnelles aux diamètres des anneaux, au lieu d'être proportionnelles aux carrés de ces mêmes diamètres,

comme dans les cristaux à un seul axe (231)

Quand on prend des lames quelconques, se développe des lignes de différentes formes. Pour le mica de Sibérie et des lames naturelles de topaze qui ont leurs faces également inclinées sur les deux axes, les anneaux ont forme d'*ellipses*, dont le grand axe est dans le plan des axes du cristal; pour le nitrate de potasse et l'arragonite taillés perpendiculairement à la ligne moyenne des deux axes, les anneaux, selon l'observation d'*Herschel*, ont la forme d'une *lemniscate*. Il est remarquable du reste que la conformation irrégulière des anneaux indique presque toujours une irrégularité de structure dans le cristal.

De la Polarisation circulaire.

234. Si, dans l'expérience citée au paragraphe 230, on fait usage d'une plaque de cristal de roche perpendiculaire à l'axe de réfraction, on verra encore des anneaux se développer à

tour de l'axe, mais la partie centrale de la croix noire aura complètement disparu et se trouvera remplacée par une tache d'une teinte uniforme, qui varie en couleur et en étendue avec l'épaisseur de la plaque.

Si l'on fait tourner la plaque sur son propre plan, le phénomène ne se trouve nullement modifié; mais si l'on fait tourner le prisme qui sert à l'analyse de la lumière polarisée, les teintes varient selon une progression qui dépend de leur degré de réfrangibilité.

235. Quand la lumière dont on fait usage est homogène, on trouve que les plaques tirées d'un même morceau de cristal de roche, détournent le rayon de sa polarisation primitive dans un même sens, et d'un angle proportionnel à leur épaisseur; la déviation croît avec la réfrangibilité des rayons, et elle

est réciproquement proportionnel
longueurs de leurs accès.

Ex. M. *Biot*, en faisant usage d'une
d'un millimètre d'épaisseur, a trouvé
arcs de rotation avaient les valeurs su
pour les différens rayons :

Rouge extrême.	17°,
Limite du rouge et de l'orangé.	20 ,
» de l'orangé et du jaune.	22 ,
» du jaune et du vert. . .	25 ,
» du vert et du bleu. . .	30 ,
» du bleu et de l'indigo. .	34 ,
» de l'indigo et du violet.	37 ,
» du violet extrême. . . .	44 ,

Quand on se sert de lumière blanche,
rayon éprouve dans le sens de sa polari
le changement angulaire qui lui co
Quand la plaque de cristal de roche es
épaisse, les rayons des diverses couleurs
vent à peu près uniformément dispers
une grande partie de la circonférence
confondent dans cette étendue.

236. Les plaques tirées d'un même cristal de roche, détournent, dans un même sens, le rayon de sa polarisation primitive; mais ce sens n'est pas le même pour tous les cristaux, quoique la déviation soit constante pour une même épaisseur.

Quand un même rayon simple traverse successivement deux plaques à rotations contraires, la déviation définitive de sa polarisation est la différence des effets produits par les deux plaques.

Ex. Si le rayon traverse deux plaques à rotations contraires d'inégale épaisseur, les effets sont les mêmes que s'il n'avait traversé qu'une seule plaque d'une épaisseur égale à la différence des deux plaques données. Si ces dernières plaques étaient d'épaisseur égale, tout se passerait comme si elles n'existaient pas.

On a proposé de nommer *dextrogyres* et *lévogyres* les cristaux qui détournent les rayons polarisés de leur plan primitif de polarisation vers la droite ou vers la gauche.

237. Plusieurs substances non cristallisées, telles que les huiles essentielles de térébenthine, de citron; le sirop de sucre, les dissolutions de camphre dans l'alcool, etc., exercent sur les rayons polarisés des effets rotatoires analogues à ceux du cristal de roche taillé perpendiculairement à son axe; mais les déviations ne se font pas dans le même sens pour toutes les substances.

La condensation et la vaporisation même n'ôtent pas aux liquides cette propriété dont l'effet demeure le même pour un même nombre de particules actives distribuées sur le trajet du rayon lumineux.

Les fluides doués de pouvoirs contraires ne perdent rien de leur action propre quand on les mélange, et leur effet est le même que s'ils agissaient successivement sur le rayon transmis. Les combi-

naisons chimiques les plus fortes ne font pas exception à cette règle.

Ex. La déviation produite par l'essence de térébenthine est à celle produite par le cristal de roche comme 1 est à 68,55; et à celle produite par l'huile essentielle de citron, comme 38 à 66. On peut former des mélanges et des combinaisons de liquides doués du pouvoir rotatoire, tels que leurs actions soient *neutres*. Nous empruntons ces détails aux ouvrages de M. *Biot*.

En nommant, pour les substances organiques, *pouvoir rotatoire moléculaire*, la déviation qu'une substance imprimerait au plan de polarisation d'un rayon rouge si elle avait une épaisseur d'un millimètre et la même densité que l'eau, M. *Biot* a trouvé récemment que tous les sucres cristallisables, tels que ceux de cannes, de betteraves, de pannais, de navets, de carottes, détournent le plan dans le même sens, vers la droite et selon une graduation dont le 1^{er} rang est occupé par le sucre de cannes; au contraire, la gomme tourne ce plan à gauche; et les jus de plusieurs sortes de fruits, tels que les poires, les pommes, les raisins, les gro-

seilles dont on ne tire qu'un sucre incristallisable, produisent le même effet dans tous les états par lesquels on les fait passer jusqu'à la solidification. C'est depuis ce point seulement que par un changement brusque, ils peuvent réfléchir à droite. Les sucres de l'autre série au contraire font dévier toujours dans le même sens.

238. La lumière polarisée *circulairement* ressemble à la lumière directe, quant à la manière dont elle se comporte lorsqu'on l'analyse avec un prisme de spath d'Islande. Elle diffère de la lumière ordinaire ou directe, en ce qu'elle développe dans les lames minces cristallisées des couleurs aussi vives que celles qu'on obtient avec la lumière qui a reçu la polarisation rectiligne; mais ce ne sont plus les mêmes teintes: elle répondent sur le cercle chromatique de *Newton* (95), à des points également éloignés des deux couleurs

complémentaires que la lumière qui a reçu la polarisation rectiligne développe dans les mêmes lames cristallisées.

La lumière polarisée circulairement diffère encore de la lumière directe, en ce qu'elle reprend tous les caractères de la polarisation rectiligne quand on lui fait éprouver successivement deux réflexions totales dans l'intérieur du verre, sous l'incidence de $54^{\circ} 30'$ environ. Ces deux réflexions ne changent aucunement les propriétés apparentes de la lumière directe, et impriment tous les caractères de la polarisation circulaire à la lumière affectée de la polarisation rectiligne qui les subit dans un azimuth de 45° relativement à son plan primitif de polarisation.

OBS. C'est ainsi que *Fresnel* avait obtenu d'abord cette singulière modification de la lumière, dont il a calculé tous les effets en la re-

présentant par la réunion de deux séries d'ondes polarisées suivant des directions rectangulaires, et différant dans leur marche d'un quart d'ondulation. Les deux faisceaux distincts résultant de la double réfraction dont il s'agit, après avoir éprouvé les deux réflexions totales, sont polarisés à 45° du plan de réflexion, l'un à droite et l'autre à gauche de ce plan; ces deux faisceaux jouissent donc des mêmes propriétés mais l'un se comporte de droite à gauche comme l'autre de gauche à droite, et l'on peut désigner les modifications qu'ils ont reçues par le nom de *polarisation circulaire de gauche à droite* ou de *droite à gauche*. Enfin chacun de ces deux faisceaux ne peut plus donner dans un second prisme de cristal de roche, qu'il traverse parallèlement à l'axe, que l'espèce de réfraction qu'il a déjà subie dans le premier ainsi lorsqu'on fait traverser à la lumière un nombre quelconque de prismes semblables, on n'obtient jamais que deux images; ce qui distingue encore cette double réfraction particulière de celle qu'il avait étudiée précédemment (Rapport des travaux de l'Institut de France

CHAPITRE III.

DE DIFFÉRENTES PARTICULARITÉS QUE PRÉSENTE LA
LUMIÈRE POLARISÉE.

Des Interférences des rayons polarisés.

239. Deux rayons polarisés dans un seul et même plan agissent réciproquement l'un sur l'autre ou interfèrent comme le feraient des rayons ordinaires, de sorte que les phénomènes des interférences sont identiquement les mêmes dans l'un et l'autre cas.

240. Des rayons polarisés n'exercent plus d'influence les uns sur les autres quand leurs plans de polarisations sont perpendiculaires entre eux ; c'est-à-dire qu'ils ne peuvent plus produire de franges, quoique toutes les conditions nécessaires à leur apparition, dans le cas

ordinaire, soient scrupuleusement réfléchies.

Ex. Aux deux faisceaux émanant d'un même point lumineux et introduits par deux fentes parallèles, on fait traverser deux piles de lames transparentes très-minces, telles que celles de mica ou de verre soufflé qu'on incline assés l'une et l'autre pour polariser presque complètement chacun des deux faisceaux, en ayant soin que les deux plans suivant lesquels on les incline soient perpendiculaires entre eux. Les franges disparaissent alors entièrement. On peut aussi faire traverser aux deux faisceaux, de rhomboédres de spath calcaire d'égale épaisseur, placés l'un derrière l'autre et ayant leurs sections principales à angle droit. Ces expériences sont dues à MM. *Arago et Fresnel*.

241. Une fois que des rayons ont été polarisés suivant des directions rectangulaires, il ne suffit plus qu'ils soient ramenés à un plan commun de polarisation pour qu'ils puissent donner d

signes apparens de leur influence mutuelle.

242. On ne peut obtenir de franges qu'autant que les rayons ont été polarisés suivant un même plan, avant d'être divisés en deux faisceaux polarisés à angle droit.

De l'Absorption de la Lumière dans les milieux cristallisés.

243. Les milieux cristallisés, doués de la double réfraction, absorbent inégalement les rayons de différentes couleurs, selon leurs plans de polarisation et l'inclinaison de ces plans par rapport à l'axe du cristal.

Ex. Quand de la lumière naturelle tombe sur une tourmaline verte, elle se sépare en deux faisceaux polarisés, l'un selon le plan de la section principale et l'autre dans une direction

perpendiculaire : le premier faisceau est absorbé dans sa marche par l'action du cristal et la *partie* verte de l'autre sort avec les caractères de la polarisation perpendiculairement à l'axe. L'absorption est progressive, car si la tourmaline est suffisamment mince, on distingue encore les deux faisceaux.

Sir *D. Brewster* a montré que les cristaux doués de la double réfraction possèdent tous plus ou moins cette propriété, et qu'ils ont deux *échelles* différentes d'absorption pour les deux pinceaux colorés (219).

244. Les deux images vues à travers une plaque de tourmaline très-mince (243), ne sont pas de même couleur. L'image ordinaire qui disparaîtrait si la plaque était plus épaisse, est d'un vert-jaunâtre; et l'extraordinaire qui doit persister est sensiblement blanche. Les rayons violets et bleus qui manquent les premiers dans l'image ordinaire, sont plus facilement absorbés par la tour-

maline, lorsqu'ils sont polarisés parallèlement à l'axe que lorsqu'ils le sont perpendiculairement.

Ex. Si l'on expose une tourmaline très-mince perpendiculairement à un rayon blanc, polarisé dans un seul sens, la portion de ce rayon qui passera à travers la plaque variera de couleur à mesure qu'on la tournera dans son plan, c'est-à-dire selon que le faisceau transmis sera composé de rayons ordinaires ou extraordinaires, ou présentera un mélange de ces rayons. Cette diversité de teintes ou ce *dychroïsme* se fait remarquer dans un grand nombre de cristaux colorés doués de la double réfraction, tels que le béryl, le corindon, l'émeraude, la topaze jaune, etc.

245. Le dychroïsme est un signe certain de la double réfraction. Le dychroïsme ou la similitude des teintes transmises dans des sens divers, peut même servir à juger du nombre et de la position des axes.

Ex. On voit de cette manière que les aiguilles de tourmaline n'ont qu'un axe unique et parallèle à leur longueur. Car la couleur qu'elles transmettent transversalement est de même nature tout autour de chaque aiguille, l'épaisseur restant la même. Au contraire, on voit que les aiguilles d'épidote ont deux axes, parce que la couleur qu'elles transmettent transversalement, change à mesure qu'on les fait tourner. (*Biot.*)

246. Le dychroïsme dans les cristaux se trouve modifié d'une manière durable par l'action de la chaleur, qui tantôt le développe et tantôt le fait disparaître.

Cette observation est due à sir *D. Brewster*.

Des Modifications que la chaleur et la compression font subir aux phénomènes de la lumière.

247. Si l'on analyse avec un prisme

rhomboïdal, un rayon polarisé qui a traversé sous certaines incidences des lames minces de substances organiques telles que l'ivoire, la corne, etc., on observe qu'il se trouve absorbé en partie comme si ces lames présentaient des axes; on voit même se développer des teintes diverses comme dans la polarisation colorée.

Ex. Sir D. *Brewster* a reconnu que, quand on presse entre deux verres, à la chaleur de la main, un mélange de cire et de résine à parties égales, la couche de matière est presque entièrement transparente par la lumière transmise, quoiqu'elle présente un blanc laiteux pas la lumière réfléchi. Elle ne polarise pas la lumière, sous une incidence perpendiculaire; mais elle jouit à un haut degré de cette propriété quand la lumière est oblique, et présente des segmens d'anneaux colorés.

248. Des plaques de verre chauffées

au rouge et refroidies brusquement, étant exposées sur le passage d'un rayon polarisé, présentent, quand on analyse la lumière transmise, des teintes colorées qui affectent des dispositions régulières, dépendantes du mode de refroidissement et de la forme des plaques.

Ex. Une plaque carrée produit à ses quatre angles de petites figures circulaires, séparées par une grande croix noire : ces petites figures circulaires se trouvent encore aux angles d'une lame rectangulaire, mais la croix est remplacée par des bandes colorées, parallèles aux grands côtés du rectangle. Pour une plaque ronde, l'on a des anneaux colorés concentriques et traversés par une grande croix comme dans l'expérience du paragraphe 230. Les figures produites ainsi ont été nommées *figures époptiques*. M. Erman a fait remarquer que l'arragonite produit des figures époptiques sans polarisation préalable.

249. Si l'on modifie la forme des

plaques de verre qui ont subi des refroidissemens brusques, on modifie en même temps la forme des lignes colorées qu'elles produisaient.

Ex. Si l'on use par les bords une plaque carrée de manière à lui donner une forme ronde, les lignes colorées prendront les dispositions qui conviennent à cette dernière figure (248). Si l'on use la plaque une seconde fois, de manière à lui rendre sa forme carrée primitive, on verra les lignes colorées reprendre aussi leurs directions primitives. Ces phénomènes ont été découverts par M. *Seebeck* de Berlin et développés par sir *D. Brewster*.

250. On peut encore produire des lignes colorées dans les plaques de verre, traversées par des rayons polarisés, en faisant subir à ces plaques une forte compression. Les couleurs sont variables en même temps que la pression, et disparaissent avec elle.

251. Enfin, des lignes colorées peuvent aussi être produites dans des lames de verre que l'on met en vibration. Les couleurs varient en même temps que le mode et l'intensité du mouvement vibratoire ; et chaque friction sur un verre noir placé de manière à éteindre les rayons qui conservent leur polarisation primitive.

De la Polarisation à la surface métallique.

252. Quand un rayon de lumière tombe sur une surface métallique, la réflexion *spéculaire*, sous une certaine incidence, en polarise une partie dans le sens du plan de réflexion ; la réflexion *rayonnante*, en dirigeant la lumière de tous côtés, une autre partie per-

parallèlement à la surface de ces corps et perpendiculairement au plan d'émergence.

Ex. On fait tomber, dans la chambre obscure, un rayon de lumière blanche sur un corps métallique ; et , en se plaçant hors de la direction de la réflexion spéculaire , on analyse avec une tourmaline, la lumière qui se dissémine dans tous les sens par la réflexion rayonnante. On doit l'observation précédente à M. Arago.

Obs. Il paraît que la *réflexion spéculaire* a lieu hors de la substance du corps réfléchissant ; et la *réflexion rayonnante* à l'intérieur, de sorte qu'il y a véritablement émergence.

253. Une autre portion de la lumière réfléchie par les corps métalliques, a les caractères de la polarisation colorée ; et elle se trouve modifiée exactement comme dans les cristaux doués de la double réfraction , le nombre des réflexions successives répondant à des

épaisseurs plus ou moins grandes du cristal.

Ex. sir *D. Brewster* a observé que quand on analyse, avec un rhomboèdre de spath d'Irlande, un rayon de lumière primitivement polarisé et qui a subi ensuite plusieurs réflexions successives sur des lames d'or ou d'argent, il se divise en deux faisceaux colorés différemment. La préparation de la surface métallique influe sur les résultats. Pour les surfaces qui ont reçu un poli spéculaire, la plus grande partie de la lumière réfléchie est polarisée d'une manière *simple* dans le plan d'incidence, une autre partie très-faible reçoit la polarisation *colorée* autour du même plan.

De la Polarisation rectiligne, circulaire et elliptique dans la théorie des ondulations.

On admet, dans la théorie des ondulations:
1° que les vibrations lumineuses ont lieu dans le

sens même de la surface des ondes et perpendiculairement à la direction des rayons (113); 2^o que ces vibrations, pour un faisceau polarisé, ont toujours une même direction qui est perpendiculaire au plan de polarisation.

Cela posé, si deux systèmes d'ondes d'égale intensité et polarisés rectangulairement, diffèrent dans leur marche d'un quart d'ondulation, le mouvement composé qu'ils imprimeront à chaque molécule, au lieu d'être *rectiligne* comme dans les deux faisceaux considérés séparément, sera *circulaire* et s'exécutera avec une vitesse uniforme : les molécules tourneront de droite à gauche, lorsque le système d'ondes en avant aura son plan de polarisation à droite de celui du système d'ondes en arrière d'un quart d'ondulation ; et elles tourneront de gauche à droite, lorsque le premier plan sera à gauche du second, ou lorsque, les plans de polarisation restant disposés comme dans le premier cas, la différence de marche sera égale à trois quarts d'ondulation. Si la différence de marche, au lieu d'être un nombre pair ou impair de quarts d'ondulation, était un nombre fractionnaire, les mouvemens vibratoires ne seraient

ni rectilignes ni circulaires, mais elliptiques.

On conçoit que, dans cette rotation générale des molécules autour de leur position d'équilibre, elles n'occupent pas au même instant les mêmes points des circonférences qu'elles décrivent, vu le mouvement progressif des ondes. Pour se représenter leurs positions relatives, il faut concevoir que celles qui étaient sur une même droite parallèle au rayon, dans l'état d'équilibre, se trouvent maintenant placées sur une hélice très-étroite, décrite autour de cette ligne droite comme axe, et dont le pas est égal à la longueur d'une ondulation. Si l'on fait tourner maintenant cette hélice autour de son axe d'un mouvement uniforme, de manière qu'elle décrive une circonférence dans l'intervalle de temps pendant lequel s'accomplit une ondulation lumineuse, et que l'on conçoive d'ailleurs que, dans chaque tranche infiniment mince perpendiculaire au rayon, toutes les molécules exécutent les mêmes mouvemens et conservent les mêmes situations respectives, on aura une idée exacte du genre de vibration qui constitue la polarisation circulaire.

Mais il résulte aussi de la théorie mécanique des interférences, qu'un système d'ondes polarisé *rectilignement* peut être remplacé par deux autres systèmes polarisés à angle droit entre eux et coïncidens dans leur marche.

En plus, chacun de ceux-ci peut être remplacé par deux autres systèmes polarisés dans le même plan, ayant sur lui, l'un une avance d'un huitième et l'autre un retard d'un huitième d'ondulation, et par conséquent séparés entre eux par un quart d'ondulation; ce qui donne quatre systèmes d'ondes d'égale intensité, dont deux polarisés, à angle droit, sont en arrière d'un quart d'ondulation des deux autres, polarisés aussi à angle droit. Si maintenant on prend les systèmes pour les combiner en *croix*, c'est-à-dire chacun de ceux qui est en arrière avec celui qui est en avant, polarisé à angle droit avec lui, on voit que l'un aura précisément deux faisceaux égaux, d'accord entre eux, et polarisés circulairement, l'un de droite à gauche, et l'autre de gauche à droite.

Donc, en définitive, tout faisceau d'une intensité égale à 1 et polarisé *rectilignement*,

peut toujours être remplacé par deux faisceaux polarisés *circulairement* d'accord entre eux, ayant chacun une intensité $1/2$, et tournant l'un de gauche à droite, et l'autre de droite à gauche. Réciproquement, un système de deux faisceaux polarisés *circulairement* reproduit toujours un faisceau polarisé *rectilignement* dans un plan unique, mais avec cette condition indiquée par la théorie, que, si les deux faisceaux polarisés *circulairement* acquièrent dans leur trajet quelque différence de marche, le plan de polarisation du faisceau polarisé *rectilignement* qui peut les remplacer, aura tourné de droite à gauche, ou de gauche à droite, d'un angle proportionnel à la différence de marche. La rotation aura lieu de droite à gauche ou de gauche à droite, suivant que le faisceau polarisé *circulairement* de gauche à droite aura gagné de l'avance ou éprouvé du retard.

Il est évident, d'après ces notions, que, s'il se rencontre dans la nature quelque substance qui jouisse de la singulière propriété de transmettre, avec des vitesses différentes, les faisceaux polarisés *circulairement* de droite à gauche et ceux qui sont polarisés de gauche à

droite, tout faisceau polarisé rectilignement devra, en traversant ces substances, éprouver un mouvement de rotation dans son plan de polarisation; ce mouvement s'accomplira dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'un des systèmes aura gagné de l'avance ou éprouvé du retard; il sera proportionnel à l'épaisseur de la substance traversée, et enfin il dépendra, suivant certaines lois, de la longueur des ondulations de la lumière. (Cette exposition des idées de *Fresnel* sur les différens genres de polarisation est empruntée aux élémens de physique de *M. Pouillet*).

Fresnel avait appliqué sa théorie à l'examen de la polarisation circulaire que manifestent les deux rayons polarisés qui traversent un cristal de quartz dans la direction de son axe; mais on n'avait pas essayé d'expliquer comment cette propriété n'avait lieu que pour les rayons qui passent dans le voisinage de l'axe du cristal, ni de fixer la limite où finit la polarisation circulaire pour faire place à la polarisation rectiligne. *M. Airy* a entrepris cette recherche avec succès, et il a fait voir qu'au lieu de regarder les deux rayons dans le quartz comme

ayant la polarisation rectiligne, il faut les considérer comme ayant la polarisation elliptique; le plus grand axe de l'ellipse pour l'un des rayons, est dans le plan principal du cristal, et le plus grand axe de l'autre est perpendiculaire à ce plan. Il trouva aussi que l'un des rayons est polarisé elliptiquement de gauche à droite, et que l'autre est polarisé elliptiquement de droite à gauche. Le rapport des axes pour le rayon ordinaire s'approche plus de l'unité que pour le rayon extraordinaire; ce rapport devient l'unité quand la direction du rayon coïncide avec l'axe; et ses termes diffèrent d'autant plus que la direction du rayon devient plus oblique.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME TROISIÈME.

PREMIÈRE SECTION.

DE LA LUMIÈRE NON POLARISÉE.

CHAPITRE PREMIER. *De la lumière en général* (Optique).

	Pages.
De la propagation de la lumière	4
De la photométrie	6
Modifications de la lumière	13

CHAP. II. *De la réflexion de la lumière* (Catoptrique).

Des lois de la réflexion et des miroirs plans.	18
--	----

Des miroirs courbes et des caustiques. . .	24
De la formation des images par les miroirs concaves	30
De la formation des images par les miroirs convexes	36
Des miroirs coniques et cylindriques, et des anamorphoses	39

CHAP. III. *De la réfraction régulière
de la lumière dans les milieux non
cristallisés (Dioptrique).*

De la réfraction de la lumière homogène pour des surfaces planes	40
De la réfraction ordinaire de la lumière à travers un système de surfaces planes.	51
De la réfraction ordinaire pour des sur- faces courbes, et des caustiques par réfraction	55
Des lentilles en général	60
Des lentilles de convergence	63
Des lentilles de divergence	68
Des lentilles en échelons, et des lentilles cylindriques et coniques	71

DEUXIÈME SECTION.

DE L'ANALYSE DE LA LUMIÈRE, DE LA DIFFRACTION
ET DES ANNEAUX COLORÉS.CHAPITRE PREMIER. *Analyse de la lumière.*

De la décomposition et de la recomposition de la lumière blanche	74
De la dispersion de la lumière	86
De l'achromatisme	90
Des propriétés physiques et chimiques des rayons colorés	93

CHAP. II. *Des interférences, de la diffraction et des anneaux colorés.*

Des interférences	102
De la diffraction	110
Des anneaux colorés dans les lames minces	118
Des anneaux colorés dans les lames épaisses	131
Des couleurs produites par des substances très-divisées ou par des corps fibreux.	137

Des couleurs des corps 140

CHAP. III. *De la structure de l'œil et
des instrumens d'optique.*

De la structure de l'œil et de la vision. . . 146

De l'Irradiation et de la Persistance des
impressions sur la rétine 156

Des couleurs accidentelles 163

Des principaux instrumens d'optique . . 174

TROISIÈME SECTION.

DE LA DOUBLE RÉFRACTION ET DE LA POLARISATION
DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER. *De la double réfraction.*

Notions préliminaires 183

Des cristaux à un axe 186

Comment on détermine les directions des
rayons ordinaire et extraordinaire dans
les cristaux à un axe 190

Des cristaux à deux axes 193

De quelques particularités de la double
réfraction 197

CHAP. II. *De la polarisation de la lumière.*

De la polarisation en général	201
De la polarisation complète par réflexion.	203
De la polarisation partielle par réflexion.	212
De la polarisation simple par la réfraction	218
De la polarisation simple par la double réfraction	224
De la polarisation colorée produite par des rayons parallèles	229
De la polarisation colorée produite par des rayons convergens.	240
De la polarisation circulaire.	244

CHAP. III. *De différentes particularités que présente la lumière polarisée.*

Des interférences des rayons polarisés	243
De l'absorption de la lumière dans les milieux cristallisés.	255
Des modifications que la chaleur et la compression font éprouver à la lumière	258
De la polarisation à la surface des métaux.	262

De la polarisation rectiligne, circulaire et elliptique dans la théorie des ondu- lations	264
---	-----

FIN DE LA TABLE DU TROISIÈME VOLUME.

7

15







