

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 6 (1924)

Artikel: Transparence et diffusion anisotropes des cristaux liquides orientés
Autor: Perrier, Albert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-741887>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 31.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TRANSPARENCE ET DIFFUSION ANISOTROPES

DES

CRISTAUX LIQUIDES ORIENTÉS¹

PAR

Albert PERRIER

La structure des liquides anisotropes, telle qu'on l'admet généralement aujourd'hui, consiste en une agglomération d'individus cristallins de dimensions microscopiques, de formes variées, mais ne laissant pas de vides entre eux, et dont les axes optiques ne présentent pas de directions privilégiées. Ce ne sont donc pas des suspensions, et on explique leur aspect trouble caractéristique, apparent déjà sous des épaisseurs de l'ordre du dixième de millimètre, en les envisageant comme des milieux « optiquement discontinus »².

On sait maintenant aussi que, par l'action suffisamment intense de champs magnétiques ou électriques, ou au contact de surfaces solides très propres, ou par d'autres moyens encore, les axes optiques des microcristaux s'orientent suffisamment pour rendre leur ensemble transparent sous des épaisseurs beaucoup plus considérables (quelques millimètres et davantage), de sorte que cet ensemble se comporte, ainsi qu'on l'exprime parfois simplement, *comme un seul cristal uniaxe*.

Cependant, si la simple observation directe d'une masse liquo-

¹ Communication présentée à la Société Suisse de Physique, dans sa séance du 24 mai 1924 à Lausanne.

² Sous cette forme abrupte, cette explication est partiellement erronée; je précise plus loin le sens qu'il faut y attacher.

crystalline chauffée entre les pôles d'un électroaimant accuse en effet une transparence très pure *longitudinalement* aux lignes de force du champ, l'apparence trouble persiste pour l'examen *transversal* aux lignes de force. Ce fait a été signalé par divers observateurs ¹ et il apparaît dans la bibliographie (à ma disposition) comme quelque chose de plutôt anormal et inattendu. M. Mauguin ² pense même qu'il doit être imputé simplement à une propriété insuffisante du verre des cuves utilisées. De fait, cet auteur a obtenu dans des cuvettes soigneusement nettoyées des préparations donnant les interférences caractéristiques des cristaux à un axe, à l'observation transversale au champ magnétique entre polariseur et analyseur à 45°. Cependant, une différence accentuée entre les deux directions d'observation s'est manifestée systématiquement à moi au cours d'expériences entreprises à d'autres fins, en dépit des lavages les plus méticuleux. Cela m'a conduit à examiner la question de plus près il y a plusieurs années déjà. Les conclusions de cet examen devaient trouver place dans l'exposé des recherches auxquelles j'ai fait allusion; comme elles sont momentanément interrompues, je résume dans cette note les considérations auxquelles j'étais arrivé.

Je me propose de montrer que *ces apparences différentes, données aux masses liquocristallines orientées (mais non complètement) par des lumières parallèle et perpendiculaire à la direction d'orientation (champ), loin d'être attribuables à un phénomène parasite, sont dans la nature des choses, qu'elles doivent se produire; et cela nous conduira à cette conception générale, non encore envisagée à ma connaissance, d'une diffusion anisotrope.*

Dans ce but, il nous suffira essentiellement de discuter, à l'aide des lois classiques de la double réfraction, les effets variés, sur la lumière, des surfaces de séparation de milieux biréfringents de propriétés spécifiques d'ailleurs identiques. Il est possible, et même probable avec ces substances si riches en phénomènes intéressants, que d'autres causes encore agissent que

¹ Voir notamment: E. BOSE, *Physik. Zeitschrift* XII, p. 60 (1911); H. V. WARTENBERG, *Physik. Zeitschrift* XII, p. 837 (1911).

² C. MAUGUIN, *C. R.*, CLII, p. 1680 (1911).

celle invoquée ici: je compte montrer simplement que celle-ci suffirait déjà à elle seule. Nous examinerons en premier lieu des masses liquocristallines à l'état naturel; puis nous aborderons notre sujet proprement dit, les masses liquocristallines à éléments plus ou moins orientés par une action extérieure.

* * *

Considérons donc un ensemble d'éléments biréfringents dont les axes ont des directions réparties uniformément dans l'espace. J'ai rappelé que les publications sur le sujet classent sans autre distinction ces ensembles dans les milieux optiquement discontinus, semblables à des entassements de fragments de cristaux ou même de verre, milieux essentiellement diffusants.

Or, il y a une différence essentielle: notre liqueur microcristalline, de densité *homogène* (éléments tous en contact), *constitue proprement un continu optique pour la lumière ordinaire*; ce genre de rayons ne peut subir de déviation d'aucune sorte à travers toute la masse. Pour rendre compte de la diffusion, de l'aspect trouble observé, il faut faire appel à la transformation d'une partie de la lumière ordinaire en extraordinaire et à la transformation inverse lors de la traversée des surfaces de séparation des éléments cristallins, à plus forte raison encore aux fractions demeurant extraordinaires.

Il s'en suit qu'un faisceau de direction définie pénétrant dans la masse n'est aucunement dévié, mais s'éteint rapidement par «prélèvements extraordinaires» réfractés ou réfléchis et qui, ensuite, sont éparpillés très rapidement dans toutes les directions.

Il convient de faire ressortir que cette différence de principe doit se traduire par une différence dans les phénomènes observables: à travers un ensemble, de densité non uniforme, de fragments (poudres habituelles d'une seule et même substance transparente), on ne peut *voir* exactement; même à travers une couche de faible épaisseur, les quelques fragments traversés déforment diversement les objets observés. A travers un ensemble homogène de cristaux liquides au contraire, les ondula-

tions ordinaires doivent permettre la *vision exacte* puisque le milieu est continu pour elles. Mais ce fait doit être d'une perception d'autant plus malaisée que l'épaisseur traversée est plus grande, à cause de l'affaiblissement de cette lumière d'une part, et de l'autre, parce que les fractions diffusées donnent au milieu une apparence plus lumineuse en proportion de leur importance, créant ainsi un fond sur lequel se détache d'autant moins l'image *nette* (ordinaire). L'essentiel de ce raisonnement va nous être utile pour l'examen des phénomènes plus compliqués des cristaux orientés.

* * *

Admettons donc qu'un agent quelconque (champ magnétique ou autre) impose aux axes optiques des cristaux élémentaires des orientations proches d'une direction fixe que nous appellerons, pour simplifier et généraliser le langage, l'« *axe d'orientation* », quelle que soit la nature de l'agent.

Si l'orientation de tous les axes cristallins était *rigoureusement la même*, il va de soi que le corps se comporterait comme un milieu optiquement continu, comme un seul individu cristallin uniaxe, et qu'il serait transparent dans toutes les directions; nous admettrons donc seulement que *les angles entre les axes cristallins individuels et l'axe d'orientation sont en moyenne faibles*, et d'autre part, que *les surfaces de séparation des éléments ne présentent pas de positions privilégiées*.

Notre problème se ramène essentiellement à la discussion comparative du passage de rayons dont les incidences sont d'abord parallèles (propagation « longitudinale »), puis perpendiculaires (propagation « transversale ») à l'axe d'orientation, à travers la surface de séparation de deux éléments cristallins. Les directions des axes optiques de ceux-ci sont quelconques, pourvu qu'elles soient voisines de celle de l'axe d'orientation; la surface de séparation peut prendre toutes les positions possibles.

Les phénomènes à ces surfaces de passage offrent quatre possibilités que nous désignerons dans la suite, pour abrégé, par les symboles entre parenthèses : ordinaire \rightarrow ordinaire (oo), ordinaire \rightarrow extraordinaire (oe), extraordinaire \rightarrow ordinaire (eo),

extraordinaire \rightarrow extraordinaire (ee). Le premier cas nous ramène exactement à ce que nous avons déjà rencontré à propos des systèmes non orientés: le milieu orienté se comporte pour ce passage (oo) comme un continu, soit longitudinalement soit transversalement; les autres cas entraînent des prélèvements successifs qui éteignent progressivement la lumière dans la direction incidente primitive. Dans ces trois derniers cas, il se produit, à chaque passage, changement de direction par réfraction et par réflexion; la fraction d'énergie réfléchie, perdue le plus complètement pour la direction primitive, étant d'autant plus considérable que le changement de direction par réfraction est plus accusé; ce changement peut aller d'ailleurs jusqu'à la réflexion totale.

Discuter ces prélèvements, c'est précisément chercher le degré de trouble du milieu. Nous allons voir que l'on peut baser les conclusions simplement sur la construction classique d'Huygens. Il est commode à cet effet de séparer les cristaux positifs et les cristaux négatifs.

Cristaux positifs. — Considérons d'abord de la lumière incidente parallèle à l'axe d'orientation (propagation «longitudinale»).

Soient: r un rayon incident, I son point d'incidence, π le plan tangent en I à la surface de passage. Construisons avec I comme centre une sphère σ d'onde ordinaire et un ellipsoïde (simultané) ϵ d'onde extraordinaire (pour le cristal au-delà du passage); ce dernier est de révolution et son axe forme, en vertu de la supposition, un angle faible φ avec l'axe d'orientation, c'est-à-dire ici aussi avec le rayon incident.

Pour obtenir la direction réfractée (oe), menons le plan tangent à σ en son point d'intersection T avec le prolongement de r , étendons ce plan jusqu'à son intersection avec π et construisons par cette droite le plan tangent à l'ellipsoïde; par le point de contact C passe le rayon réfracté extraordinaire que nous cherchons.

Pour la discussion, il nous faut généraliser en deux étapes. En premier lieu, conservant la même position de l'axe optique (φ invariable), envisageons toutes les positions possibles de la surface de séparation des deux cristaux, c'est-à-dire, faisons prendre au plan π toutes les positions possibles par I ; on verrait

sans grande difficulté que *toutes les directions réfractées correspondantes* (toujours pour la seule direction incidente r) *sont contenues dans un cône γ ayant I comme sommet et, comme directrice, la conique de contact du cône tangent mené à l'ellipsoïde par le sommet T.*

En second lieu, il nous reste maintenant à considérer toutes les positions de l'axe optique des cristaux réfringents: cela revient à donner à φ toutes les valeurs comprises entre zéro et une valeur limite (toujours faible) Φ . On en déduit sans plus de difficulté que *les directions de tous les rayons réfractés extraordinaires possibles (toujours du passage (oe)) sont comprises dans un cône de révolution, enveloppe de tous les cônes γ obtenus en faisant tourner un ellipsoïde correspondant à Φ autour de l'axe d'orientation.*

Ces figures de l'espace conduisent alors facilement à cette conclusion qui est essentielle: les angles φ étant tous faibles, tous ces cônes sont aussi de faible ouverture, et *l'ouverture du cône limite (cône-enveloppe) tend vers zéro en même temps que Φ .*

Ces conclusions ne s'appliquent jusqu'ici qu'aux réfractions (oe); on se rendrait compte sans peine, en procédant de la même façon que plus haut, qu'elles s'étendent aux réfractions (eo) et (ee), avec cette complication cependant qu'il y a, cette fois, des surfaces de séparation telles qu'elles produisent des réflexions totales; d'ailleurs, elles aussi disparaissent en même temps que Φ .

Reprenons le même examen *pour la lumière incidente perpendiculaire à l'axe d'orientation* (propagation « transversale »).

Nous conservons les mêmes symboles que précédemment. Mais ici, le point T a tourné de 90° sur la sphère et l'aspect des figures en est modifié profondément: *le cône enveloppe contenant toutes les directions extraordinaires possibles (pour réfractions (oe)) n'est plus de révolution, il a pour directrice la courbe de contact du cône tangent (de 4^{me} ordre) mené par T à la surface de révolution qui enveloppe les ellipsoïdes d'ondes extraordinaires dont les axes forment avec l'axe d'orientation l'angle Φ .*

De là découle une différence nette et essentielle avec les conditions précédentes (incidence longitudinale): pour les réfractions (oe), Φ tendant vers zéro, *l'ouverture de ces cônes limites ne*

devient nullement infiniment petite; avec les biréfringences considérables des liquides anisotropes, c'est-à-dire géométriquement avec des excentricités accentuées des ondes extraordinaires, *l'ouverture limite peut ne pas descendre au-dessous d'une centaine de degrés.*

Quant aux réfractions (eo), elles comportent la même conclusion avec la complication certaine — qui ne fait que renforcer cette conclusion — qu'une grande partie des faces des cristaux donnent des réflexions totales, et que ces dernières ne disparaissent pas non plus en même temps que Φ .

Les réfractions (ee) tendent, elles, de nouveau vers zéro avec Φ , mais ces réfractions sont cependant systématiquement plus accentuées que pour l'incidence longitudinale, et comportent en outre aussi une bonne part de réflexions totales.

Les propositions qui viennent d'être établies ont une forme très géométrique; il importe de bien mettre en évidence leur signification optique. Envisageons donc encore un faisceau lumineux longitudinal et un faisceau transversal. Par les passages successifs d'éléments à éléments cristallins, le premier s'atténue sans doute si l'on considère strictement la direction incidente, mais les directions des rayons extraordinaire et ordinaire diffèrent très peu à chaque partage; en sorte qu'après la traversée d'un nombre de cristaux pas trop élevé, le faisceau doit comporter encore la majeure partie de son intensité primitive dans la direction incidente, les directions divergentes le sont peu et peuvent encore contribuer à une *vision* nette; simultanément, d'ailleurs, l'effet diffusant peu prononcé ne peut donner à la liqueur qu'un *aspect peu trouble* pour l'observateur placé n'importe où. Le faisceau transversal, au contraire, est diminué, à chaque passage d'élément à élément, de rayons réfractés suivant des directions fortement divergentes, et ces rayons sont absolument inutilisables pour la *vision* directe. Ce qui peut subsister pour celle-ci est exclusivement le résidu ordinaire qui tend rapidement vers zéro. Corrélativement, le milieu doit prendre une apparence très trouble, à la suite des nombreuses réfractions et réflexions dans tous les sens.

Il convient de noter toutefois que, dans les passages transversaux, la composante d'amplitude d'ordinaire à extraor-

dinaire ou réciproquement est toujours minime, ce qui n'est en général pas le cas lors des réfractions longitudinales ; on s'en rendrait compte de façon très élémentaire. Ce fait implique une certaine correction aux conclusions précédentes sans les changer notablement, car, dans le cas du trajet longitudinal, si le pré-lèvement dévié est, relativement et en moyenne, plus considérable que dans l'autre cas, la partie déviée reste ou se retrouve en très grande partie utilisable pour la vision ; en outre, les fractions réfléchies — perdues celles-là — sont systématiquement très faibles comme conséquence des déviations très faibles.

Pour illustrer les conclusions par une image simple, on pourrait dire que, dans une certaine mesure, le trajet longitudinal donne naissance à des phénomènes comparables à ceux qui se produisent dans une suspension, en milieu liquide, de fragments solides de toutes formes mais de réfringence très voisine de celle du milieu, tandis que l'observation transversale se rapprocherait de celle d'un milieu avec des fragments suspendus de réfringence notablement différente. Il ne s'agit là que d'une simple analogie d'apparence : la continuité rigoureuse du milieu liquocristallin pour la lumière ordinaire, nonobstant les réductions successives de cette dernière, ne trouve déjà, bien entendu, aucun trait correspondant dans l'image invoquée.

Cette remarque nous sert d'introduction naturelle à une autre prévision qui découle encore de la théorie exposée :

La fraction de lumière, qui subsiste encore en n'ayant subi aucune déviation le long d'un trajet transversal dans la masse liquocristalline orientée, doit être polarisée, et ceci parallèlement à l'axe d'orientation, puisqu'elle ne peut être que lumière ordinaire.

Cristaux négatifs. — Par des constructions et raisonnements analogues, on serait conduit à des conclusions qualitativement semblables. On verrait sans peine que, transversalement, les cônes contenant les directions des rayons réfractés gardent des ouvertures finies du même ordre que précédemment, tandis que, pour les rayons longitudinaux, l'ouverture de ces cônes s'efface en même temps que les angles des axes optiques avec l'axe d'orientation, mais avec cette nuance toutefois que, pour les mêmes angles et le même ordre de biréfringence, les cônes sont plus ouverts que dans les cristaux positifs.

* * *

En résumé, nos considérations aboutissent, avec l'aide des seules lois classiques de la double réfraction, à la conclusion que *les masses liquocristallines non complètement orientées doivent être plus transparentes* (au sens propre du mot, elles permettent de voir) *et moins diffusantes pour les rayons parallèles à l'axe d'orientation que pour les rayons normaux.*

En outre, *la lumière transversale résiduelle (non diffusée) doit être polarisée parallèlement à l'axe d'orientation.*

Cela nous conduit ainsi à *introduire généralement des milieux à diffusion anisotrope*, dont la notion n'a pas été définie jusqu'ici, à ma connaissance, et qui ne doit nullement être confondue avec le pléochroïsme.

* * *

J'ai dit au début de cette étude qu'elle a été faite à la suite des résultats divergents obtenus par l'examen de la transparence dans le champ magnétique. Je voudrais ajouter quelques considérations expérimentales. Les expériences avec des quantités de matière dépassant sensiblement le millimètre cube deviennent vite fort délicates, et ce sont justement celles qui seraient les plus concluantes; sans doute faut-il imputer à ce fait une bonne part de l'incertitude qui a subsisté.

A propos de la conclusion divergente de M. Mauguin, on pourrait se demander comment il est possible qu'une propriété insuffisante puisse n'avoir pas d'effet sur la transparence longitudinale tandis qu'elle en aurait un si extrêmement accentué sur la transparence transversale, ceci pour la même préparation et dans le même champ.

Je pense d'autre part que les figures typiques d'interférence des cristaux uniaxes, obtenues sous un éclairage *transversal* par cet auteur, ne sont pas en opposition avec les conclusions exposées ici: il suffisait, pour les obtenir dans ces expériences, que les fractions de lumière, ayant traversé le liquide sans *ou avec très peu* de déviation, fussent encore assez intenses pour produire des interférences sensibles; il doit y avoir en effet

de la lumière extraordinaire dans le faisceau émergent global, et cette intensité émergente est simple affaire d'intensité incidente et, justement, de quantité de matière traversée.

D'ailleurs, on trouve dans les travaux de Vorländer¹ un argument excellent en faveur de nos conclusions : certaines lames liquocristallines orientées par deux faces-limites de verre n'accusent pas de diffusion des rayons à incidence normale, tandis qu'elles en manifestent nettement sous un éclairage oblique. Il ne saurait plus s'agir ici de questions de défaut de propreté puisque précisément l'orientation complète par des lames de verre n'est réalisable qu'avec des surfaces et des substances irréprochables.

Quant aux phénomènes prévus de polarisation de la lumière résiduelle transversale, ils s'accordent avec certaines observations empiriques, un peu vagues et déjà anciennes, de O. Lehmann² et avec des essais faits à Lausanne par M^{lle} T. Kousmine, essais qui sont trop fragmentaires encore pour être concluants. Il convient de noter ici qu'une grande difficulté d'observation résulte de la superposition inévitable d'une intense lumière diffusée aux phénomènes de polarisation ; les variations d'intensité accompagnant la rotation de l'analyseur en sont très affaiblies. J'espère pouvoir faire reprendre ces essais en même temps que d'autres.

Et je reviens en terminant à l'hypothèse de l'orientation *incomplète*, point de départ de toutes nos considérations. Je pense que, même avec des forces orientantes très intenses, cette condition doit demeurer réalisée ; nous avons exprimé en effet cette hypothèse sous forme statique pour simplifier l'exposé et, sous cette forme, rien n'empêcherait de se figurer tous les axes optiques devenus parallèles dans des champs suffisamment intenses. Mais ces axes ne sont nullement fixes, agités qu'ils sont par le *mouvement d'orientation brownien*, phénomène observable sur la généralité des substances mésomorphes, positives tout au moins. Toutes ces dernières doivent donc se comporter

¹ D. VORLÄNDER, *Ber. d. deutschen. chem. Ges.* XLI, p. 2048 (1908).

² O. LEHMANN, *Die Lehre von den flüssigen Krystallen* ; Bergmann, Wiesbaden, 1918, p. 371.

en moyenne comme incomplètement orientées. Il est d'ailleurs bien clair généralement que, dans des conditions égales, chaque substance présentera un degré d'orientation qui lui sera particulier.

Lausanne, laboratoire de physique de l'Université.
Mai 1924.

Appendice. — La présente étude s'applique essentiellement à des milieux biréfringents les uns et les autres, tandis que l'optique classique des cristaux s'est limitée presque exclusivement au cas d'un seul milieu de cette classe, en contact avec des milieux isotropes. Il n'est sans doute pas superflu de faire remarquer que c'est l'étude de phénomènes de *quadruple réfraction* qui est introduite ici. A une direction incidente quelconque dans l'un des cristaux correspondent, dans le cas général, quatre directions réfractées dont une seule est ordinaire, celle des rayons qui, ordinaires après réfraction, proviennent de vibrations qui étaient ordinaires avant elle.
