

Les cristaux liquides

Pierre Le Barny

Summary

Liquid crystals

This article begins with a short review of the basics of liquid crystal including the structure of the nematic and smectic phases and some chemical aspects of liquid crystals. The unique physical properties of the nematic phase are then presented as well as the principle of operation of the twisted nematic displays. Finally, some information concerning the liquid crystal display market and its trends are given.

Mots-clés

Cristaux liquides, propriétés physiques, nématique en hélice, matrice active, état de l'art.

Key-words

Liquid crystals, physical properties, twisted nematic, active matrix, state of the art.

Les cristaux liquides ont été découverts en 1888 par le botaniste autrichien Reinitzer. Au cours de ces trente dernières années, ils sont passés du stade de simple curiosité de laboratoire à celui de matériau clef pour la réalisation d'écrans plats.

Les matériaux mésomorphes thermotropes

Lorsqu'ils sont chauffés, environ 1 % des composés organiques passent par un ou plusieurs états intermédiaires fluides et biréfringents (*figure 1*) avant de donner un liquide isotrope. Ces phases intermédiaires ont reçu en 1900 le nom de cristal liquide, puis en 1922, celui de mésophases (G. Friedel). Les mésophases calamitiques, c'est-à-dire celles pour lesquelles les molécules qui les composent ont une forme de bâtonnet, sont de loin les plus étudiées.

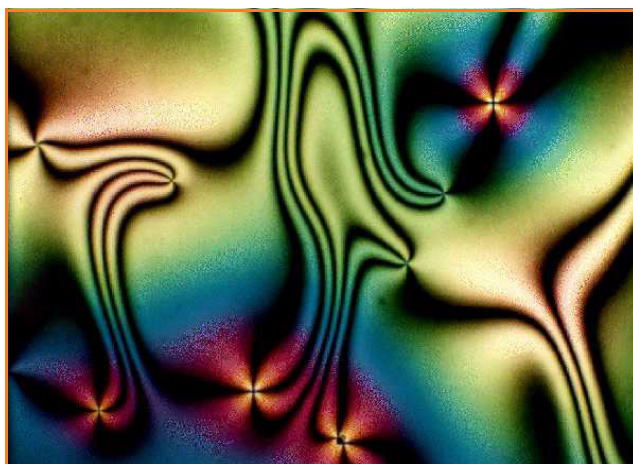


Figure 1 - Observation au microscope optique entre analyseur et polariseur croisés de la phase nématique (texture Schlieren).

Les mésophases calamitiques, à l'exception de la phase smectique D, sont caractérisées par le fait que les molécules sont en moyenne parallèles à une direction donnée n , appelée directeur. Dans la phase nématique notée N, le centre de masse des molécules ne présente pas d'ordre de position. La répartition des centres de masse en couches parallèles conduit aux phases smectiques S (*figure 2*).

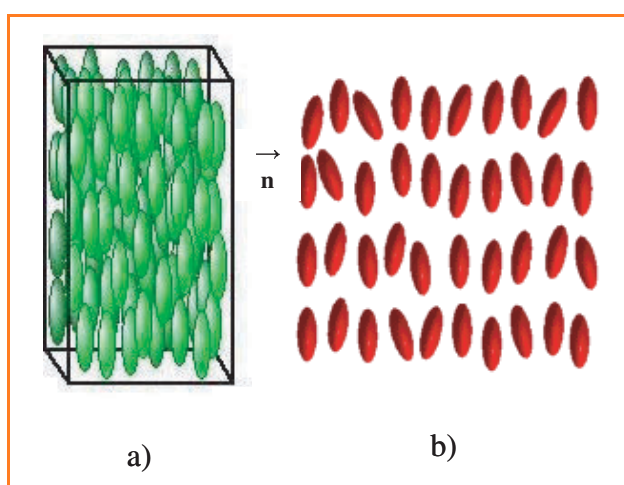


Figure 2 - a) phase nématique N ; b) représentation schématique des phases smectiques S.

Selon l'orientation moyenne du grand axe des molécules par rapport à la normale aux couches, selon la répartition des centres de masse à l'intérieur des couches et enfin selon l'épaisseur des couches, on dénombre un peu plus d'une dizaine de phases smectiques. Elles sont notées par la lettre S avec une lettre majuscule en indice. L'introduction d'un centre asymétrique dans une molécule mésomorphe provoque une torsion de la phase lorsque la symétrie de celle-ci le permet. En particulier, la chiralité confère à la mésophase N une structure hélicoïdale notée N^* , appelée cholestérique. Seule la phase nématique s'est imposée en visualisation.

Structure chimique des calamitiques

Malgré le grand nombre de molécules calamitiques étudiées à ce jour, il reste difficile d'établir et de généraliser des relations entre la structure moléculaire et les propriétés mésomorphes des cristaux liquides. Il apparaît toutefois que le trait commun à ces molécules soit leur forte anisotropie géométrique combinée à une certaine rigidité. Schématiquement, la plupart des mésogènes calamitiques possède un cœur mésogène rigide et deux chaînes latérales dont l'une au moins est souple. La *figure 3* donne deux exemples de structures chimiques de calamitiques.

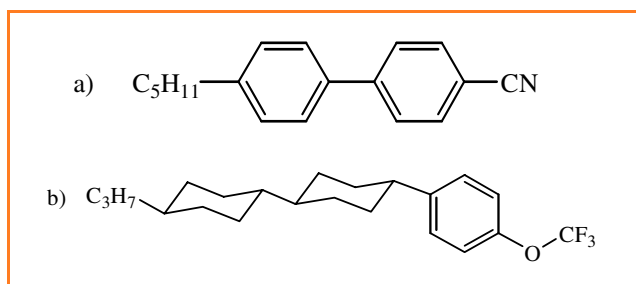


Figure 3 - Structure chimique de quelques molécules calamitiques. a) une des premières molécules stables, ayant une phase N proche de la température ambiante ; b) exemple de molécule utilisée dans la formulation de mélanges N actuellement commercialisés par Merck pour les afficheurs N en hélice à matrice active.

Propriétés physiques des cristaux liquides nématiques

Les cristaux liquides possèdent un ensemble de propriétés uniques qui sont à l'origine de leur utilisation en optique et en visualisation. Dans ce qui suit, nous nous limiterons au rappel des principales propriétés des cristaux liquides nématiques.

Biréfringence et anisotropie diélectrique

La phase nématique est un milieu uniaxe caractérisé par sa biréfringence Δn et son anisotropie diélectrique $\Delta \epsilon$. Selon la structure chimique de la molécule, la biréfringence $\Delta n = n_{//} - n_{\perp}$ peut varier de 0,05 à 0,46, et l'anisotropie diélectrique $\Delta \epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}$ peut être positive ou négative. C'est grâce à l'existence d'une anisotropie diélectrique non nulle que les cristaux liquides peuvent s'orienter sous champ électrique.

Propriétés élastiques

Toute déformation élastique d'une phase nématique peut se décomposer en trois déformations fondamentales :

- la déformation en éventail,
- la déformation en torsion,
- la déformation en flexion.

A chacune de ces déformations est associée une constante élastique K (respectivement K_{11} , K_{22} , K_{33}) qui est remarquablement faible (de l'ordre de quelques 10^{-12} N). Il est donc facile de déformer un cristal liquide.

Action de champs extérieurs

Les cristaux liquides ont la faculté de s'orienter aisément sous l'action d'un champ magnétique ou d'un champ électrique extérieurs. De plus, des interactions complexes entre le cristal liquide et les surfaces solides qui limitent la phase sont capables d'imposer une orientation « à longue distance » des molécules qui la constituent. On distingue deux types principaux d'orientation :

- celui pour lequel les molécules de cristal liquide sont perpendiculaires aux parois (ancrage homéotrope),
- et celui pour lequel les molécules de cristal liquide sont très légèrement inclinées par rapport aux surfaces (ancrage planaire).

Applications des cristaux liquides

Généralités

Grâce à leurs propriétés originales, les matériaux mésomorphes ont trouvé des applications dans des domaines aussi différents que :

- Les capteurs de température basés par exemple sur la forte variation du pas d'hélice de la phase N^* avec la température (certains thermomètres bon marché).
- Les arts décoratifs, mettant à profit les propriétés optiques spécifiques des cristaux liquides. La réflexion sélective de la lumière sur des lames de N^* en texture de Granjean et l'évolution des propriétés optiques en fonction de l'angle de vue étant les effets les plus exploités dans ce domaine (c'est le cas de certaines peintures pour carrosserie automobile).
- L'optique non linéaire quadratique et cubique.
- Les composants optiques.
- La visualisation, allant des petits afficheurs utilisés dans les montres et les calculettes jusqu'aux écrans de télévision haute définition. C'est bien entendu dans le domaine de la visualisation que les efforts de recherche et de développement sont les plus intenses. Parmi tous les effets électro-optiques proposés depuis un peu plus de trente ans, l'effet nématique en hélice s'est imposé par sa simplicité et sa très faible tension seuil.

L'effet nématique en hélice

Principe

La figure 4 schématise le principe de fonctionnement d'une cellule nématique en hélice.

Un film mince (typiquement 5-6 μm) de cristaux liquides N d'anisotropie diélectrique positive est inséré entre deux lames de verre recouvertes d'un conducteur transparent (oxyde d'indium et d'étain - ITO) et traitées de manière à induire un ancrage planaire non dégénéré. Les deux directions d'alignement D_1 et D_2 sont tournées de 90° . Afin de remplir les conditions aux limites, le directeur de la phase cristal liquide tourne d'un quart d'hélice. En simplifiant, on peut dire qu'une telle structure fait tourner de 90° la direction de polarisation d'une lumière incidente linéairement polarisée. Dans la configuration de la figure 4, la cellule non adressée transmet la lumière. Lorsqu'on applique une tension supérieure à la tension seuil, les molécules de cristal liquide s'orientent parallèlement au champ électrique et la

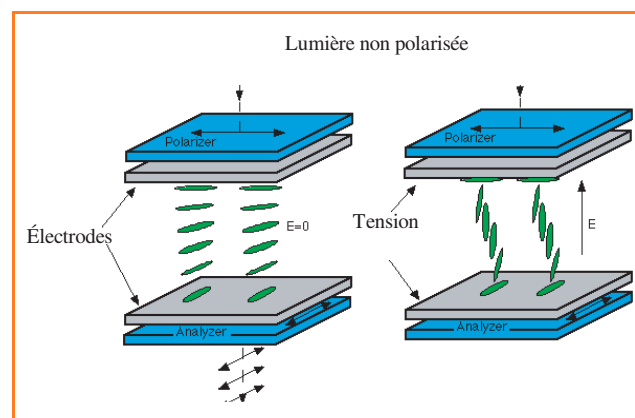


Figure 4 - Principe de fonctionnement d'une cellule nématique en hélice.

lumière ne passe plus. C'est le mode d'affichage dit « blanc » : l'écran est clair lorsqu'il n'est pas activé. Si l'analyseur est disposé parallèlement au polariseur, on obtient le mode d'affichage noir, caractérisé par l'état sombre de l'écran lorsqu'il n'est pas adressé. Les écrans à cristaux liquides (LCD pour liquid crystal display) sont donc des systèmes passifs qui ne font que moduler l'intensité lumineuse. Dans de nombreuses applications, un rétroéclairage est donc nécessaire pour visualiser l'image que l'on désire générer.

L'orientation planaire non dégénérée est obtenue industriellement en frottant de manière unidirectionnelle un film mince de polyimide déposé sur les substrats.

Pour obtenir la couleur, on ajoute des filtres colorés qui sont en général des pigments rouges, verts et bleus incorporés dans un film de polymère (gélatine par exemple).

L'adressage

Quelle que soit la complexité de l'écran considéré, celui-ci est toujours composé de points élémentaires (ou pixels) qu'il faut amener à l'état de transparence désiré en appliquant la tension adéquate afin de restituer l'information à visualiser. Aujourd'hui, deux techniques d'adressage sont couramment utilisées : le multiplexage direct et la matrice active. Dans les deux approches, l'écran est converti en un système matriciel composé de deux réseaux orthogonaux d'électrodes (N lignes et M colonnes) dont les croisements définissent les pixels. L'adressage multiplexé direct consiste à effectuer un balayage séquentiel des lignes tout en appliquant simultanément les tensions appropriées sur les colonnes. Cette technique relativement simple, donc de faible coût, voit le contraste de l'image diminuer lorsque le nombre de lignes augmente. En pratique, on se limite à un taux de multiplexage de 100 pour les afficheurs N en hélice. On peut accroître le taux de multiplexage jusqu'à 400 en augmentant l'angle de torsion de la phase nématique de 90° à environ 210° (afficheurs nématiques super-torsadés STN). Mais les temps de réponse élevés, liés à cet effet, limitent l'application des STN au domaine de la bureautique.

Le seul moyen d'obtenir des écrans à haute densité d'information est de commander chaque pixel par un transistor (matrice active/AM-LCD). La technologie actuellement la plus employée est celle qui consiste à déposer les transistors en couche mince sur un substrat de verre (TFT pour thin film transistor). La majorité des TFT utilise le silicium amorphe (a-Si:H) comme semi-conducteur. Cette technologie reste encore très onéreuse. Certains fabricants coréens d'écrans cristaux liquides commencent à utiliser le silicium polycristallin basse température (p-Si) qui possède une plus grande mobilité que le a-Si:H pour réaliser la matrice active. Le p-Si ouvre la voie à l'intégration des drivers sur le substrat de verre.

Perspectives

Les écrans à cristaux liquides font aujourd'hui partie de notre vie de tous les jours. Le mauvais angle de vue n'est plus



Figure 5 - Moniteur NEC de 18,1" Multisync LCD1800. Résolution 1280x1024, luminance 200cd/m².

réellement un problème, grâce à la mise au point par Fuji de films de compensation biréfringents à base de cristaux liquides discotiques. Deux milliards de LCD ont ainsi été produits en 1999 dans le monde dont la moitié était des petits écrans monochromes pour les montres et les jeux vidéo, ce qui correspond à une production mondiale de cristaux liquides nématiques de 55 tonnes. Le marché des moniteurs LCD pour micro-ordinateurs devrait croître ces prochaines années et remplacer à terme les tubes cathodiques lourds et encombrants. La taille idéale de ces écrans serait entre 15" et 18" de diagonale (figure 5). L'évolution des téléphones cellulaires vers l'intégration de nouvelles fonctions, va requérir l'utilisation de petits afficheurs plats couleurs de haute définition. Ce besoin sera au moins

partiellement comblé par les écrans LCD à matrice active. Enfin, l'augmentation constante de la taille des écrans LCD permet d'envisager leur utilisation dans les téléviseurs. Ainsi, Samsung a récemment publié un écran de 24" de diagonale avec une résolution de 1 920 x 1 200 pixels.

Les challenges pour les prochaines années se situent dans la réduction des coûts de production des AM-LCD ainsi que dans la réduction de la puissance électrique consommée par le rétroéclairage. Il est probable que de nouveaux effets électro-optiques comme ceux mettant en jeu des nématiques bistables conduiront à des afficheurs peu coûteux à fort taux de multiplexage utilisables dans les livres électroniques, les assistants numériques personnels, les organisateurs...

Pierre Le Barny

est ingénieur au groupe « Composants Optiques, Visualisation et Sécurité » de Thales Research and Technology* et Professeur associé à l'École Normale Supérieure de Cachan**.



* Domaine de Corbeville, 91404 Orsay.
Tél. : 01 69 33 07 69. Fax : 01 69 33 07 55.
E-mail : pierre.lebarny@thalesgroup.com

** 61 avenue du Président Wilson, 94235 Cachan Cedex.

Pour en savoir plus

- De Gennes P.G., Prost J., *The Physics of Liquid crystals*, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford, **1993**.
- Demus D., Goodby J., Gray G.W., Spiess H.-W., Vill V. (éd.), *Handbook of Liquid Crystals*, Wiley-VCH, **1998**.
- Mitov M., Les cristaux liquides, *Que sais-je ?*, Presses Universitaires de France, **2000**.
- <http://dbers.kent.edu/alcomed/dhtml1.html/>
- <http://www.webcom.com/sr/>