

Les cristaux liquides

Les cristaux liquides ont été découverts en 1888 par le botaniste autrichien Friedrich Reinitzer (1857-1927). Au cours de ces quarante dernières années, ils sont passés du stade de simple curiosité de laboratoire à celui de matériau clé pour la réalisation d'écrans plats.

Les matériaux mésomorphes thermotropes

Lorsqu'ils sont chauffés, plus de 25 000 composés organiques passent par un ou plusieurs états intermédiaires fluides et biréfringents (figure 1) appelés mésophases ou plus communément *cristal liquide*.

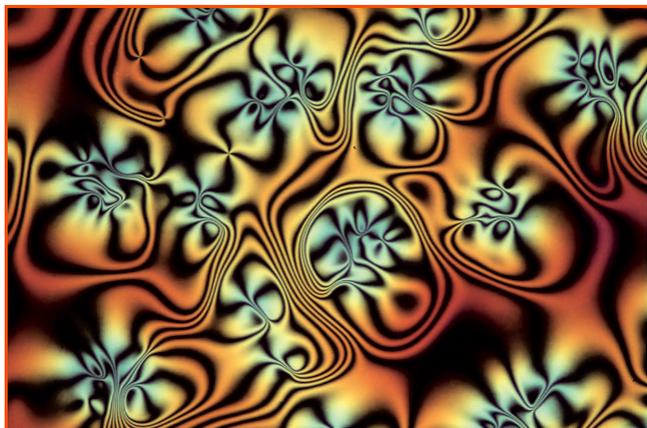


Figure 1 - Observation au microscope optique (x300) d'une phase nématique (Dr. Oleg Lavrentovich, Liquid Crystal Institute, Kent, États-Unis, www.nikonsmallworld.com, © 2011 Nikon Instruments Inc.).

Les mésophases calamitiques, composées de molécules ayant une forme de bâtonnet, sont de loin les plus étudiées. Elles sont caractérisées par le fait que les molécules sont en moyenne parallèles à une direction donnée \vec{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). On dénombre un peu plus d'une dizaine de phases smectiques. 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

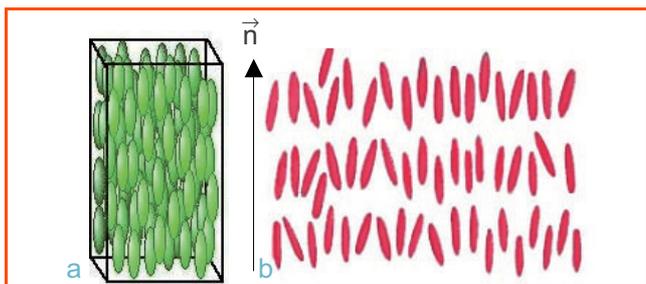


Figure 2 - a) Phase nématique N, b) représentation schématique des phases smectiques S.

N une structure hélicoïdale notée N^* , appelée cholestérique. Seule la phase nématique s'est imposée en visualisation.

Structure chimique des calamitiques

Le trait commun des molécules calamitiques est 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 (figure 3).

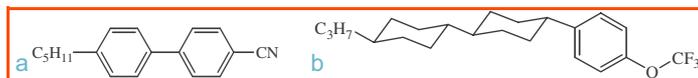


Figure 3 - Exemples de molécules calamitiques : a) une des premières molécules stables, ayant une phase N proche de la température ambiante ; b) exemple de molécule utilisée dans la formulation de mélanges N actuellement commercialisés par Merck pour les afficheurs N en hélice à matrice active.

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 0,25, 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, et la déformation en flexion.

À chacune de ces déformations est associée une constante élastique K (respectivement K_{11} , K_{22} et 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.

Applications des cristaux liquides

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 ;
- 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. Plusieurs effets électro-optiques sont aujourd'hui exploités comme l'« effet nématique en hélice », la « commutation dans le plan » (IPS pour « in plane switching »), le « mode verticalement aligné ».

L'effet nématique en hélice

Principe

Le principe de fonctionnement d'une cellule nématique en hélice est schématisé sur la *figure 4*. 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 D₁ et D₂ 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 lumière ne passe plus. 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.

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.

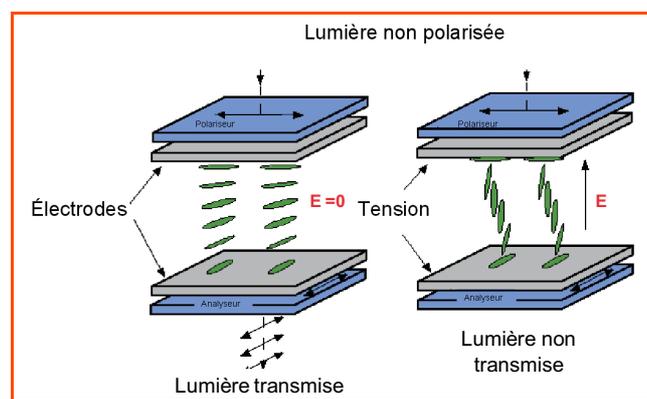


Figure 4 - Principe de fonctionnement d'une cellule nématique en hélice.

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 est simple à mettre en œuvre, mais 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.

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 la plus employée actuellement 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.

Conclusions

Grace aux progrès de la microélectronique et à la mise au point de mélanges de cristaux liquides bien adaptés aux besoins des écrans plats haute définition, les écrans à cristaux liquides font partie de notre vie quotidienne. Aujourd'hui, des écrans couleurs haute définition ayant une diagonale supérieure à 1 m sont commercialisés à un prix « accessible ». L'utilisation des LED pour le rétroéclairage a permis de diminuer encore l'épaisseur des écrans. La prochaine étape sera l'avènement de l'image 3D de qualité et peu onéreuse.

Pour aller plus loin

- Cet article résume et actualise une première version parue dans le numéro spécial « Les matériaux : du fondamental aux applications », *L'Act. Chim.*, mars 2002, p. 95.
- de Gennes P.-G., Prost J., *The Physics of Liquid Crystals*, 2^d ed., Clarendon Press, 1993.
- *Handbook of Liquid Crystals* (4 vol.), D. Demus, J. Goodby, G.W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill (eds), Wiley-VCH, 1998.
- Mitov M., *Les cristaux liquides*, Collection Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, 2000.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal

Cette fiche a été préparée par **Pierre Le Barny**, Thales Research and Technology France, 1 avenue Augustin Fresnel, Campus Polytechnique, F-91767 Palaiseau Cedex. Courriel : pierre.lebarny@thalesgroup.com
 Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon, Véronique Nardello-Rataj et Michel Quarton. Cette nouvelle rubrique, lancée dans le cadre de l'Année internationale de la chimie, a pour but de mieux faire comprendre l'apport de la chimie dans notre vie quotidienne (hygiène, habitat, confort, santé...) grâce à des fiches courtes, utilisables notamment par les professeurs de l'enseignement secondaire. N'hésitez pas à proposer votre contribution (contact : bleneau@lactualitechimique.org) !

