

1 Activité documentaire – Les cristaux liquides

L'essentiel en trois phrases

- Habituellement, un corps pur solide devient liquide lorsque sa température dépasse la température de fusion. À contrario, un cristal liquide passe par une ou plusieurs **phases** intermédiaires, avant de rejoindre la phase liquide.
- Les cristaux liquides sont le plus souvent constitués de molécules organiques **allongées**.
- Ces molécules **s'orientent** le long de la direction du champ électrique appliqué (créé par l'application d'une tension électrique). Cette propriété est utilisée, par exemple, dans les systèmes d'affichage à cristaux liquides. Certains cristaux liquides s'orientent aussi différemment selon la température.

1.1 La polarisation de la lumière

La lumière « naturelle » (*non polarisée*) peut être décrite comme une onde qui vibre dans **toutes les directions**, perpendiculairement à sa direction de propagation (rappel : la lumière est donc une onde *transversale*).

À contrario, une lumière *polarisée rectilignement* ne vibre que dans **une seule direction** (toujours perpendiculaire à la direction de propagation, le caractère transversal de l'onde est conservé).

Ce type de lumière peut être obtenu grâce à un **polariseur**, ou filtre polarisant. Ainsi, un polariseur ne laisse passer la lumière que selon une certaine direction de vibration.

1.2 Un état particulier de la matière

Pour certains corps purs, on peut mettre en évidence des états particuliers, présentant les caractéristiques *macroscopiques* d'un **liquide**, par exemple l'écoulement, et les caractéristiques *microscopiques* d'un **solide**, à savoir le fort niveau d'organisation des molécules entre elles.

Ainsi, les cristaux liquides sont caractérisés par un état intermédiaire entre la phase cristalline, où règne un ordre périodique tridimensionnel, et la phase liquide où aucun ordre n'existe.

Cet état particulier, appelé **cristal liquide** par son découvreur Otto LEHMAN en 1888, se rencontre souvent pour des espèces chimiques ayant une forme allongée avec une partie rigide (souvent assurée par la présence de cycles) et une partie flexible (sous forme de longue chaîne carbonée). En général, les deux parties des molécules ont des propriétés différentes (par exemple, l'une est hydrophile et l'autre hydrophobe).

Ainsi, les molécules, globalement neutres, possèdent un moment dipolaire, ce qui permet de les assimiler à un dipôle électrique permanent.

Ci-dessous, la formule du benzoate de cholestéryle, un cristal liquide (on trouve également cet ester du cholestérol et de l'acide benzoïque dans les couleurs pour les cheveux, le maquillage et autres produits cosmétiques).

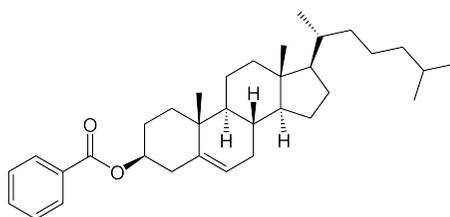


FIG. 1 – Le benzoate de cholestéryle, un cristal liquide.

a. Entourez le groupe caractéristique.

Mentionnons ici le physicien français Pierre-Gilles DE GENNES : ses contributions marquantes dans des domaines très variés (magnétisme, supraconductivité, cristaux liquides, polymères, mouillage, *et cetera*) lui ont valu le prix Nobel de physique en 1991.

1.3 Propriétés des cristaux liquides

Les cristaux liquides possèdent certaines propriétés optiques d'un solide, par exemple la diffusion de la lumière ou encore la biréfringence (littéralement, « double réfraction » : le fait que l'indice de réfraction $n = \frac{c}{v}$ dépend de la polarisation de la lumière).

Ainsi, les cristaux liquides possèdent les propriétés d'anisotropie des cristaux tout en ayant un aspect

fluide.

L'organisation des molécules, et donc l'état de cristal liquide, peut être *contrôlée*, par exemple par la température ou encore par la présence d'un champ électrique. Cette dernière particularité est exploitée dans les dispositifs d'affichage de notre vie quotidienne.

Les cristaux liquides ont la propriété de faire *varier la direction de polarisation* de la lumière, selon la façon dont ils sont eux-mêmes orientés. Autrement dit, ils changent le plan de polarisation de la lumière ! Entourés de polariseurs, ils peuvent donc laisser passer ou non la lumière.

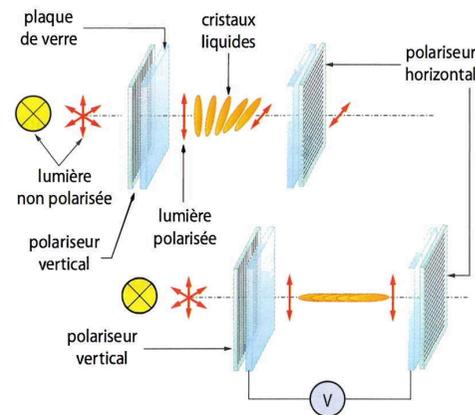


FIG. 2 – Schéma du haut, la lumière est transmise ; schéma du bas, elle n'est pas transmise.

Ainsi, on constate sur le schéma du haut de la figure ci-dessus que le plan de polarisation de la lumière est tourné à 90° par le cristal liquide inséré entre les deux lames de verre, ce qui permet à la lumière de traverser deux polariseurs croisés. Sur le schéma du bas, l'état du cristal liquide est modifié par l'application d'une tension, il n'y a plus d'effet sur le plan de polarisation de la lumière, qui ne peut donc plus traverser le deuxième polariseur.

1.4 Application aux écrans

Il fallut attendre 1968 pour que George HEILMEIER, alors chercheur au sein de la firme américaine RCA, s'intéresse à la possibilité de modifier l'état des cristaux liquides par un champ électrique. En utilisant du biphenyle encadré par des plaques de verre dotées d'électrodes transparentes, il montra qu'on pouvait faire apparaître des motifs, correspondant à la forme des électrodes, en appliquant à ces électrodes une tension électrique.

Après cinq années d'optimisation, la société japonaise Seiko fut la première à utiliser le procédé pour réaliser l'afficheur numérique d'une montre à quartz, suivie de près par la société Sharp pour une calculatrice. L'afficheur à cristaux liquides était né, et son succès fut immédiat. Sa structure, fondée sur des cristaux liquides encadrés d'électrodes transparentes portées par des plaques de verre, elles-mêmes entourées de polarisants, reste proche de celle des écrans actuels LCD. Cependant, il ne s'agissait encore que d'afficheurs numériques : les électrodes possédaient la forme de petits *segments* dont la disposition assurait l'affichage des chiffres, et non des minuscules « pixels » comme actuellement.



FIG. 3 – Afficheur à cristaux liquides « 7 segments ».

1.5 Écrans LCD couleur

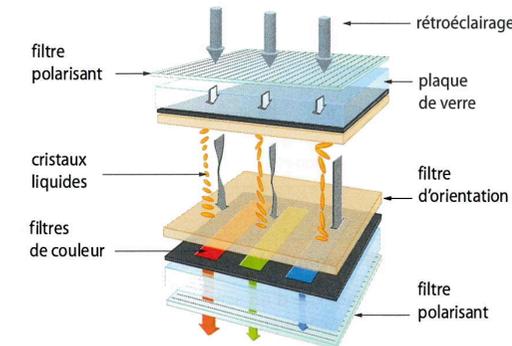


FIG. 4 – Constitution d'un pixel d'un écran LCD.

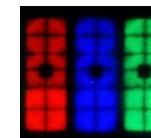


FIG. 5 – Forme des filtres de couleur d'un pixel de l'écran d'un téléviseur LCD récent (Panasonic).

Un écran LCD couleur est constitué de pixels, comportant chacun 3 zones, correspondant aux couleurs primaires du codage RVB. Chaque zone est comman-

dée par une tension. Dans chaque zone, selon la tension appliquée, les cristaux liquides laissent passer plus ou moins la lumière.

1.6 Les cristaux liquides – Sur le web

Les cristaux liquides sont un domaine qui a bousculé l'ancienne hiérarchie entre « solides amorphes » (verres et céramiques) et « milieux ordonnés » (les atomes sont « rangés » dans des *mailles cristallines* parfaitement régulières). Les cristaux liquides sont une sorte d'intermédiaire ! Wikipédia recèle le plus d'information sur le thème ; sa lecture est globalement très accessible, la présentation s'appuyant sur un historique très



FIG. 6 – Les différentes phases des cristaux liquides usuels. <http://cnx.org/content/m38343/latest/>.

(A) Phase smectique Elle possède un ordre de position à une seule dimension, le matériau étant stratifié en couches pouvant glisser les unes par rapport aux autres. Dans chacune des couches, les molécules possèdent la même orientation.

(B) Phase nématique Elle est caractérisée par l'absence d'ordre de position. Seul un ordre d'orientation est présent et une direction moyenne est définie. C'est la plus employée pour les applications en électronique.

(C) Phase cholestérique Elle rejoint la phase nématique, mais en plus, son vecteur directeur possède une orientation périodique hélicoïdale ce qui est très intéressant pour les applications en électronique, quant il s'agit d'obtenir de la couleur.

Pour illustrer les propriétés optiques des cristaux liquides de type nématique et cholestérique, on peut écouter avec attention une conférence déjà ancienne, mais toujours intéressante pour ses expériences filmées, disponible sur Canal-U :

complet.



http://fr.wikipedia.org/wiki/Cristal_liquide

1.7 Les trois familles

Il existe de nombreuses phases pour les cristaux liquides que l'on peut répertorier dans trois grandes « familles » : nématique, cholestérique et smectique.



https://www.canal-u.tv/video/cerimes/proprietes_optiques_des_cristaux_liquides_des_types_nematiques_et_cholesteriques.9437

1.8 Analyse & synthèse

b. Justifier l'origine du nom smectique.

c. Quel paramètre physique de la structure des cristaux cholestériques est à l'origine de leur changement de couleur dans les thermomètres à contact ?

d. Préciser les caractéristiques des cristaux nématiques et cholestériques à l'origine des applications citées.

2 TP – Synthèse des cristaux liquides

Activité expérimentale n° 1 pages 142 et 143.

(A) Synthèse

La synthèse proposée est celle d'une imine ayant un comportement de cristal liquide. Cette imine est obtenue par *condensation* d'un aldéhyde et d'une amine avec élimination d'eau. La réaction est accélérée en milieu acide.

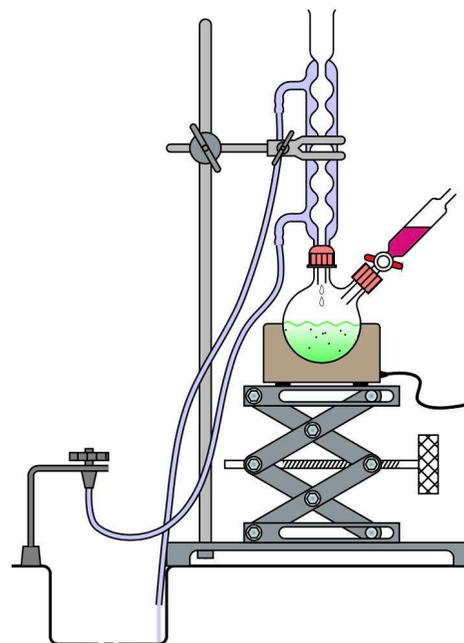


FIG. 7 – Montage à reflux (avec ballon bicol et ampoule de coulée, pour ajouter un réactif en cours de reflux).

L'imine est un composé organique caractérisé par une double liaison carbone-azote, l'azote étant aussi simplement lié à un autre carbone.

L'amine et l'aldéhyde utilisés sont solubles dans l'éthanol, quelle que soit la température, alors que l'imine préparée y est soluble à chaud, mais très peu à froid.

En mesurant précisément les volumes de réactif, on dispose d'un mélange stœchiométrique, et donc on n'aura plus aucun réactif à la fin ! Il ne restera que l'alcool et l'acide éthanoïque (et bien sûr les cristaux d'imine synthétisés, mais le fait que le produit soit solide diminue automatiquement la probabilité d'une ingestion accidentelle).

Légende d'un montage à reflux à réfrigérant à eau : support élévateur, chauffe-ballon, ballon à fond rond, ampoule de coulée, reflux des vapeurs, entrée d'eau, réfrigérant à boules, sortie d'eau.

(B) Purification de l'espèce synthétisée

Légende d'un montage de filtration sous vide : filtrat ; fiole à vide ; aspiration par la trompe à eau (vide partiel) ; joint conique en caoutchouc ; entonnoir büchner ; papier-filtre rond ; solide.

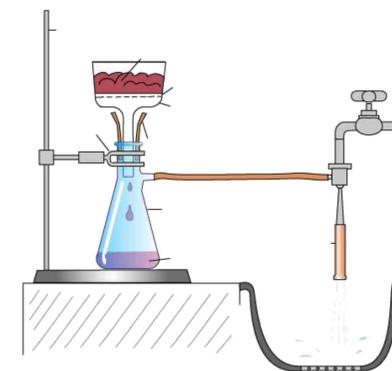


FIG. 8 – Montage de filtration sous vide.

Mode opératoire pour la filtration sur filtre Büchner ou filtration sous vide :

1. Placer un filtre rond, éventuellement l'humidifier (avec très peu d'éthanol froid) pour assurer l'étanchéité ;
2. Verser le mélange hétérogène dans le Büchner, sans aspiration ;
3. Connecter le tube à vide, lancer l'aspiration ;
4. Déconnecter le tube à vide, couper l'aspiration ;
5. Rincer ballon & cristaux tel qu'indiqué dans le protocole et reprendre l'aspiration ;
6. Déconnecter le tube à vide, couper l'aspiration, récupérer le solide & filtrat dans un flacon DTQD solvant.

© Propriétés de l'espèce synthétisée

Propriétés optiques

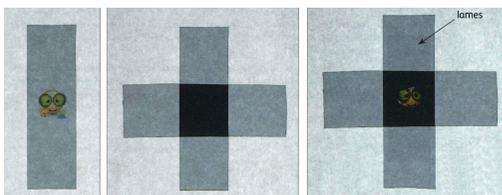


FIG. 9 – Observation d'un petit objet en cristal liquide.

Mesure du point de fusion Le banc Köfler est un appareil permettant de mesurer la température de fusion d'un produit chimique. Il s'agit d'une plaque chauffante présentant un gradient de température, sur laquelle on déplace un échantillon du produit chimique.



FIG. 10 – Banc Köfler et ses accessoires.

1. Plaque chauffante présentant le gradient de température ;
2. Interrupteur marche/arrêt ;
3. Règle des températures, de 50 °C à 250 °C ;
4. Curseur de mesure ;
5. Index de lecture de la température sur la règle ;
6. Pissette d'alcool à 95 °C pour nettoyer le banc après usage ;

7. Micro spatule pour déposer une très petite quantité de l'échantillon ;
8. Gamme d'échantillons de référence.

La mesure du point de fusion permet d'identifier rapidement un composé pur parmi d'autres, ou encore de vérifier le degré de pureté d'un échantillon connu, pour constater un mélange ou une addition intempestive ou frauduleuse.

- Placer quelques cristaux sur un banc Köfler et les déplacer lentement dans le sens des températures croissantes. Observer, si possible avec une loupe, l'évolution des cristaux et chercher à déterminer sa température de fusion.

Questions supplémentaires ;-)

11. Entourer et nommer les groupes caractéristiques dans les réactifs et les produits.

12. Quelle est l'utilité du support élévateur ?

13. Écrire l'équation de la réaction de la synthèse. À quelle catégorie appartient-elle ?

14. Vérifier que la formule brute de la 4-butylaniline est $C_{10}H_{15}N$ et que celle de la 4-heptoxybenzaldéhyde est $C_{14}H_{20}O_2$. Vérifier que les masses molaires valent respectivement $149,23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $220,31 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

15. Lors de la recristallisation, on peut utiliser un mélange glace-sel au lieu du bain de glace. Quel en est l'intérêt ?

Bilan – Les cristaux liquides

Cours du livre page 146.

Exercices pour la séance n° 25

25.1 6 p. 149 – Des vitres intelligentes

25.2 7 p. 149 – Afficheur à cristaux liquides

25.3 11 p. 151 – Les thermomètres frontaux à cristaux liquides