

IDÉES DE PHYSIQUE

Des valves à lumière dans les écrans

Comment fonctionnent les écrans à cristaux liquides, ou LCD ?

Le principe consiste à contrôler la polarisation de la lumière, au moyen d'un champ électrique appliqué aux cristaux.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Chaussez des lunettes polarisantes et regardez votre écran de télévision, de tablette ou de téléphone mobile : l'écran s'assombrit. Pourquoi ? Parce que, comme nous allons le voir, la lumière qui émerge des pixels actifs de l'écran est elle-même polarisée, mais dans une direction différente de celle des lunettes.

En fait, les pixels des écrans actuels constituent des « valves » qui bloquent ou laissent passer de la lumière émise en permanence à l'arrière de l'écran. Ces valves fonctionnent grâce à un champ électrique qui établit un lien entre deux propriétés *a priori* bien éloignées : la polarisation de la lumière et l'orientation des molécules organiques dont sont constitués les « cristaux liquides ». Quel est ce lien ?

Des molécules orientables à volonté

Commençons par les cristaux liquides, plus précisément ceux qualifiés de nématiques. Ces liquides sont composés de molécules organiques allongées, sans ordre dans leurs positions, mais avec la même orientation (comme des allumettes dans une boîte). Leurs propriétés physiques, et notamment électriques et optiques, dépendent donc de la direction considérée par rapport à cette orientation privilégiée, comme dans un solide cristallin.

Au début du XX^e siècle, le physicien français Charles-Victor Mauguin a découvert qu'il

était possible de contrôler mécaniquement cette orientation. En effet, quand les molécules du cristal liquide sont au contact d'une surface striée, elles s'alignent dans la direction des stries. Les forces intermoléculaires ont alors pour résultat d'orienter l'ensemble des molécules du liquide parallèlement aux molécules en contact avec la surface.

Plus subtilement, si l'on coince une couche de cristal nématique entre deux surfaces, l'une striée dans une direction, l'autre striée dans la direction perpendiculaire, on obtient un cristal nématique dit



LES ÉCRANS D'AFFICHAGE à cristaux liquides comportent deux films polarisants. La lumière qui en émerge est de polarisation rectiligne. Si l'on retire le film polarisant externe d'un écran allumé, la partie découverte apparaît uniformément éclairée.

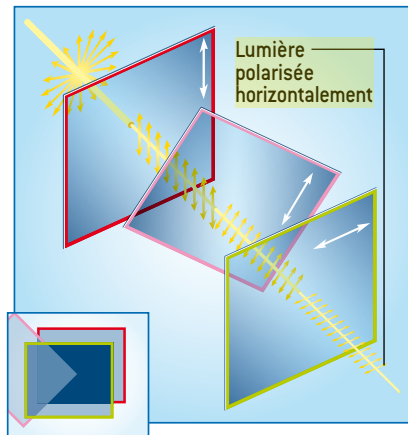
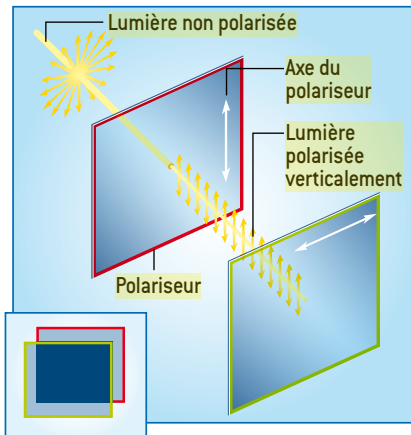
torsadé : l'orientation des molécules varie continuellement le long de l'épaisseur de la couche, en adoptant la structure d'une hélice qui fait un quart de tour. Nous verrons que cette structure joue un rôle crucial dans les dispositifs d'affichage.

Intéressons-nous maintenant à la lumière, et plus précisément à sa polarisation. Comme toutes les ondes électromagnétiques, une onde lumineuse est formée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui oscillent de concert en se propageant. Les deux champs sont perpendiculaires entre eux et à l'axe de propagation. Par définition, la polarisation caractérise la direction du champ électrique.

Pour la plupart des lumières (naturelle ou d'une lampe à filament), cette direction est aléatoire et varie sans cesse au cours du temps. On parle de lumière non polarisée.

Dans certaines situations, en revanche, la direction de polarisation est fixe. On parle alors de polarisation rectiligne. Le moyen le plus simple d'obtenir une polarisation rectiligne est d'utiliser un filtre polarisant (à base de matériaux cristallins). Ce polariseur laisse intégralement passer la lumière lorsque le champ électrique de cette dernière est parallèle à une direction donnée (l'axe du polariseur) et l'absorbe totalement si le champ est porté par l'axe perpendiculaire. Ainsi, lorsque de la lumière non polarisée traverse un polariseur, elle se polarise selon l'axe de ce dernier.

Comment changer la direction de polarisation de cette lumière ? Si l'on place un



LA LUMIÈRE NATURELLE ou émise par une ampoule n'est pas polarisée. Un filtre polarisant ne laisse passer que les composantes de la lumière dont la polarisation est de même direction que l'axe du polariseur. La lumière qui traverse deux polariseurs dont les axes sont orthogonaux est ainsi totalement bloquée (à gauche). Mais si l'on intercale un troisième polariseur dont l'axe fait 45° avec les deux autres, une partie (25 %) de l'intensité lumineuse est transmise (à droite).

second polariseur dont l'axe fait un angle α avec celui du premier, on récupère à la sortie uniquement la partie du champ électrique alignée avec ce second axe. L'amplitude du champ est donc réduite d'un facteur $\cos \alpha$, et la puissance lumineuse (proportionnelle au carré de cette amplitude) d'un facteur $\cos^2 \alpha$.

Faire tourner la polarisation

Il est impossible d'obtenir de cette façon une polarisation ayant tourné d'un quart de tour ($\alpha = 90^\circ$), car les deux polariseurs croisés constituent un système opaque (comme $\cos 90^\circ = 0$, l'intensité sortante est nulle). Mais tout n'est pas perdu ! Intercalons entre ces polariseurs un troisième, dont l'axe est la bissectrice des deux autres (donc à 45°). Après son passage à travers le premier film, la polarisation de la lumière n'est pas orthogonale à l'axe du polariseur intermédiaire ; une partie de la lumière est donc transmise. Et on a le même effet entre le polariseur intermédiaire et le dernier polariseur.

Ainsi, grâce à l'ajout du polariseur intermédiaire, on est passé de l'opacité à une transmission partielle d'une lumière (un quart de l'intensité lumineuse) dont la polarisation a tourné de 90°. Avec cinq polariseurs d'axes orientés à 0°, 22,5°, 45°, 67,5° et 90°, l'intensité transmise atteindrait 53 %. Et si l'on augmente le nombre de polariseurs dont les axes sont régulièrement décalés, on s'approchera d'une transmission totale d'une lumière dont l'axe de polarisation

tourne continûment au fur et à mesure de sa propagation.

C'est ce que réalise naturellement une couche mince de cristal nématique torsadé. Pour comprendre pourquoi, il faut d'abord savoir que les propriétés optiques d'un nématique non torsadé, notamment son indice de réfraction, diffèrent beaucoup selon que la lumière qui le traverse est polarisée parallèlement ou perpendiculairement à l'orientation de ses molécules.

Considérons une lumière dont la polarisation a la même orientation que les premières molécules rencontrées. Que se passe-t-il lorsqu'elle se propage ensuite dans une couche de cristal nématique où les molécules ont légèrement tourné ? Le champ électrique comporte une composante principale selon la nouvelle orientation et une petite composante perpendiculaire. Or, à cause de la forte différence d'indice de réfraction, cette petite composante n'est plus en phase avec la première. Quand la lumière traverse plusieurs couches de molécules dont l'orientation tourne peu à peu, on montre que la petite composante du champ est détruite par les interférences avec les contributions des couches précédentes. On retrouve ainsi une rotation de la polarisation avec transmission parfaite.

Nous sommes désormais prêts à réaliser l'écran LCD (*Liquid Crystal Display*, « affichage à cristaux liquides »). Plaçons une couche mince, de quelques micromètres d'épaisseur, d'un cristal nématique torsadé d'un quart de tour entre deux polariseurs perpendiculaires et éclairons cette « dalle » par derrière. Le premier polariseur confère à la lumière une polarisation rectiligne ; la couche de cristal liquide fait tourner la polarisation d'un quart de tour pour l'aligner avec le second polariseur, qui transmet donc toute la lumière.

Disposons ensuite un ensemble d'électrodes transparentes de part et d'autre du cristal liquide afin d'y définir une matrice de pixels. Appliquons une tension suffisante sur un pixel donné : ses molécules nématiques s'alignent selon la direction du champ électrique externe, c'est-à-dire perpendiculairement à la couche, comme l'avait montré dans la première moitié du XX^e siècle le

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTUY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'université Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.
Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr