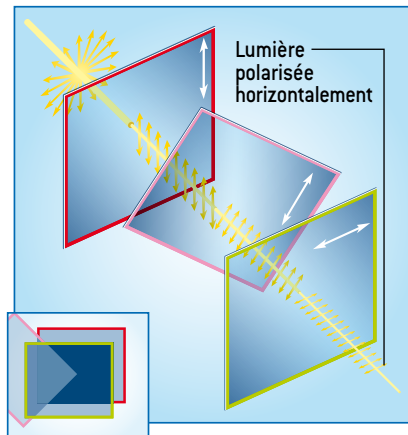
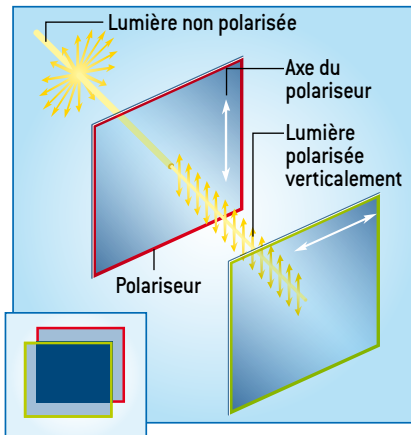




LA LUMIÈRE NATURELLE ou émise par une ampoule n'est pas polarisée. Un filtre polarisant ne laisse passer que les composantes de la lumière dont la polarisation est de même direction que l'axe du polariseur. La lumière qui traverse deux polariseurs dont les axes sont orthogonaux est ainsi totalement bloquée (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

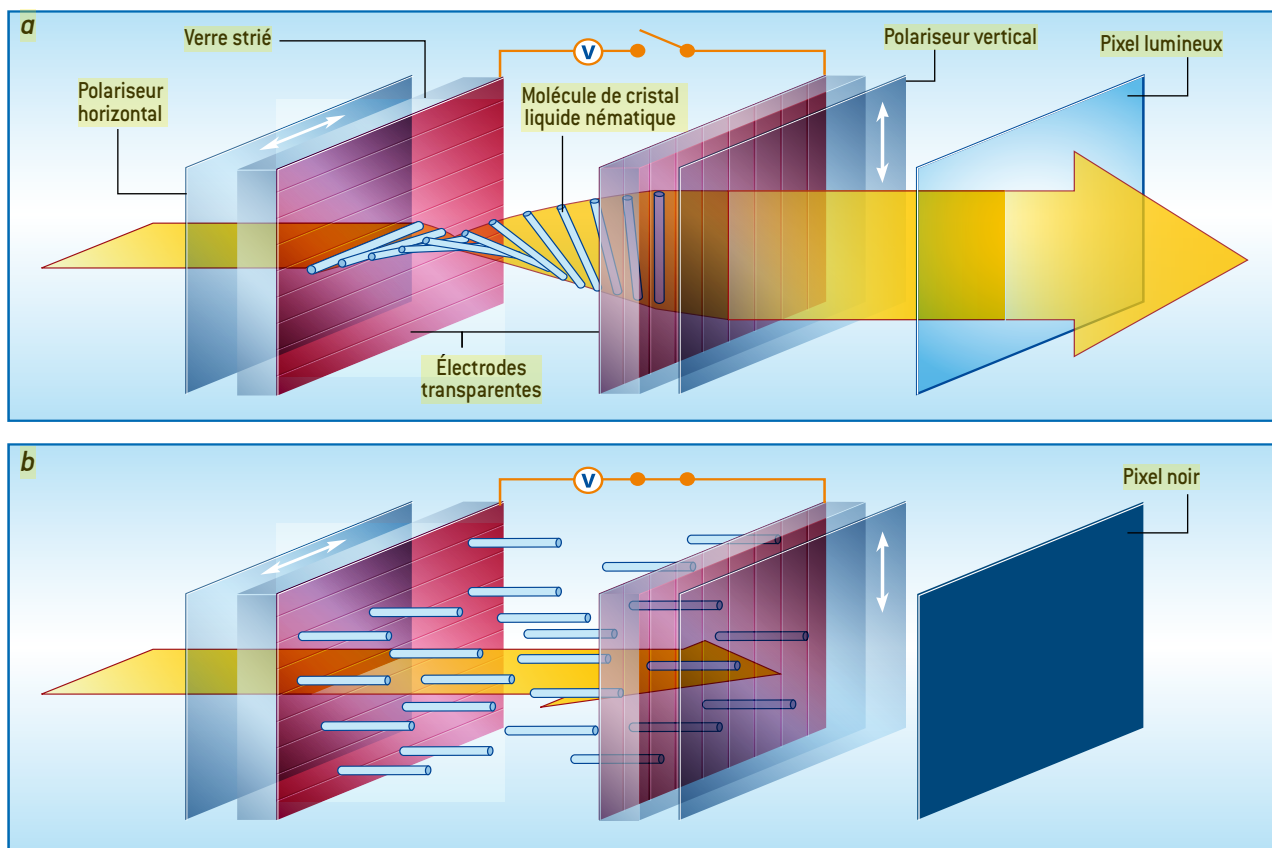
LES AUTEURS



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



physicien russe Vsevolod Frederiks. Dans cette géométrie, les molécules n'agissent plus sur la polarisation lumineuse. Celle-ci ne tourne plus, et le second polariseur bloque la lumière : on a réalisé une valve à lumière.

Quand on annule la tension, les molécules se réalignent dans les stries, les forces internes reconstituent l'hélice et le pixel redevient lumineux. Le second film polariseur est donc essentiel : si on l'enlève, la dalle restera lumineuse en permanence pour l'œil, qui n'est pas sensible à la polarisation.

Que se passe-t-il si l'on regarde à travers des lunettes polarisantes la dalle dépourvue de ce second film ? En orientant convenablement la tête (pour rendre orthogonaux les axes de polarisation des lunettes et du film arrière de l'écran), on obtient l'image originale. En la tournant ensuite de 90° (pour rendre ces axes parallèles), on reçoit uniquement de la lumière des pixels soumis à une tension : le blanc devient noir et le noir blanc. Autrement dit, on voit le négatif. À 45° ,

on a une égale proportion de l'image originale et de son négatif, et tout est blanc.

En pratique, chaque pixel est composé de trois éléments à cristaux liquides avec des filtres colorés pour réaliser la trichromie : en tournant la tête, on passera donc de l'image originale en couleurs à un écran blanc, jusqu'à obtenir de nouveau l'image... mais dans les couleurs complémentaires.

Notons que la plupart des afficheurs ont un axe de polarisation oblique, orienté à 45° par rapport à la verticale. Pourquoi ? Pour éviter que, vu à travers des lunettes polarisantes dont l'axe est généralement vertical, l'écran apparaisse entièrement noir là où il devrait être lumineux ! Ainsi, à travers des lunettes polarisantes (en gardant la tête droite), l'écran apparaît deux fois moins brillant – c'est l'assombrissement que nous évoquions au début. En penchant la tête d'un côté, on assombrit encore plus l'image, jusqu'à l'éteindre ; en l'inclinant de l'autre côté, l'image devient plus lumineuse. ■

QUAND LA TENSION APPLIQUÉE à un élément de l'écran est nulle (a), la lumière traverse les deux polariseurs croisés, car sa polarisation tourne de 90° grâce à l'ordre moléculaire en hélice adopté par le cristal liquide. Lorsque l'élément d'affichage est sous tension (b), les molécules du cristal liquide s'alignent avec le champ électrique créé par la tension. Elles n'agissent alors plus sur la polarisation de la lumière, et celle-ci ne peut franchir le second polariseur : le pixel est noir.

■ BIBLIOGRAPHIE

D. Dunmur et T. Sluckin, *Soap, Science, and Flat-Screen TVs - A History of Liquid Crystals*, Oxford University Press, 2010.