

## EnLEDissez-vous !



Téléviseur LED incurvé. © Sony.

2015, année de la lumière... Si en France, le XVIII<sup>e</sup> siècle a été celui des Lumières, rappelons-nous qu'il s'est terminé par la Révolution. Toute comparaison est exclue, car en 2015, la lumière (artificielle) a déjà fait sa révolution. Sans remonter à l'invention de la bougie il y a 2 500 ans, en 1790, à l'époque où en France on guillotinaient allègrement, naît en Angleterre la lampe à gaz qui, un peu partout, fit pousser les réverbères. Il fallu attendre presque cent ans pour qu'en 1879, après de multiples essais, Edison invente la lampe à incandescence. Dès lors, l'électricité permettait de diversifier les sources de lumière, à décharge, aux vapeurs de mercure ou de sodium. Ce n'est que quarante-huit ans plus tard que le Russe Oleg Vladimirovitch Losev remarque que les diodes des récepteurs radio comportant de l'oxyde de zinc (ZnO) ou du carbure de silicium (SiC) émettent de la lumière lorsqu'un courant les traverse. Le brevet, déposé en 1929, marque le début de la révolution des LED (« light emitting diode ») ou diode électroluminescente.

### Les LED

Les matériaux des LED<sup>(1)</sup> sont des semi-conducteurs caractérisés par une bande de valence et une bande de conduction séparés par un « gap » d'énergie. Lorsqu'un courant électrique active le semi-conducteur, un déséquilibre se crée dans les deux bandes, des électrons et des trous évoluent, et en se recombinant, émettent des photons dont la fréquence est liée à la valeur du gap. Les premières LED, à base d'arséniure de gallium (AsGa ou AlGaAs), émettaient d'abord dans l'infrarouge puis dans le rouge ; en ajoutant du phosphore (GaAsP), l'émission est dans le jaune, et avec le nitrure de gallium (GaN), dans le vert.

On savait que le carbure de silicium pouvait émettre dans le bleu, mais ce composé réfractaire est difficile à synthétiser à haute température, et chimistes et physiciens se sont cassé les dents durant trente ans sur la couleur bleue. Pourtant, les enjeux économiques étaient importants : étaient en jeu la lumière blanche (combinaison rouge + vert + bleu) et la mise au point d'un laser bleu émettant

vers 480 nm, augmentant la possibilité de stockage des supports optiques pour passer du CD au DVD. En 1993, trois chimistes des matériaux – Isami Akasaki, Hiroshi Amano et Shuji Nakamura – réussirent à préparer une combinaison de nitrure de gallium et d'indium (InGaN) qui émet dans le bleu. Dès 1995, les LED bleues furent commercialisées, et en 2014, le trio reçut la consécration du prix Nobel. En 2015, la miniaturisation de ces composants semi-conducteurs et leur faible consommation d'énergie leur ouvrent plusieurs champs d'applications : l'éclairage domestique et public, la télécommande infrarouge, le rétroéclairage des écrans plats d'ordinateur ou de téléviseur, les lasers des platines lecteurs des disques « Blu-ray ».

Les progrès en microélectronique et dans l'encapsulation des puces LED et la production de masse, notamment au Japon et en Corée, ont développé l'utilisation des LED qui présentent plusieurs avantages :

- une grande durée de vie : 40 000 heures contre 2 000 pour les halogènes ;

- l'efficacité énergétique : les lampes commerciales ont un rendement de 60 à 100 lumens par watt, alors que les lampes à incandescence et les fluocompactes dispersent 70 à 90 % de l'énergie en chaleur ;
- l'émission se fait dans une direction spécifique, qui n'exige donc pas de réflecteur diffusant la lumière ;
- des cycles d'allumage et d'extinction fréquents, l'émission du flux lumineux étant instantanée, sans montée en régime progressive.

L'Union européenne, et donc la France, ont interdit depuis fin 2012 la mise sur le marché des ampoules à incandescence. Un lobby croissant vise les lampes halogènes et les fluocompactes mises en cause par le mercure. Si bien que les experts pensent que, vers 2020, les LED vont représenter la plus grande part de l'éclairage. Déjà, de grandes entreprises comme Coca-Cola, General Electric, Sysco sont passées à l'éclairage LED généralisé, avec un seuil de rentabilité de deux à trois ans. Vous-même, si vous avez remplacé la vieille guirlande du sapin de Noël par la nouvelle à LED, cela vous a coûté durant un mois 0,22 € au lieu de 2 € ! Les LED ont envahi également les écrans de téléviseur et d'ordinateur pour le rétroéclairage. Mais elles sont concurrencées par une nouvelle innovation de la chimie des matériaux : les OLED.

### Les OLED

Les OLED, ou diodes électroluminescentes organiques, utilisent les propriétés des semi-conducteurs organiques, soit de petites molécules, soit de polymères caractérisés par l'alternance de simples et doubles liaisons carbone-carbone dites  $\pi$ -conjuguées. Les orbitales moléculaires formées ont deux niveaux : la plus basse est dite liante (HOMO, pour « highest occupied molecular orbital »), et la plus haute anti-liante (LUMO, pour « lowest unoccupied molecular orbital »), qui s'assimilent aux bandes

de valence et bandes de conduction des semi-conducteurs métalliques. Lorsqu'un courant électrique est appliqué, les peuplements des niveaux HOMO et LUMO sont perturbés, et des électrons et trous se forment qui, en se recombinant, provoquent l'émission de lumière.

Le dispositif est relativement simple dans son principe et peut même faire l'objet d'une manipulation en école de chimie<sup>(2)</sup>. Le polymère est déposé en couche mince sur un verre conducteur ITO (couche d'oxyde Sn/In) ; on lui adjoint une cathode métallique par vaporisation d'aluminium ou de calcium. Lorsqu'une différence de potentiel est appliquée entre le verre ITO et la cathode, le dispositif s'éclaire par recombinaison des paires électron-trou. Les polymères les plus utilisés sont des polymères conjugués vinyliques ou des poly(méthoxy phénylène vinyliène), ou encore des poly(éthylène dioxythiophène) dopés au poly(styrène sulfonate). Ils sont dissous dans un solvant organique et les couches minces peuvent être faites par spin coating ou industriellement par dépôts de microgouttes suivant la technique des imprimantes à jet d'encre, qui constitueront les pixels émetteurs de couleurs pour les écrans.

De très grands progrès ont été faits quant à leur durée de vie et elles remplacent progressivement les dispositifs complexes des écrans couleurs qui ont besoin de filtres, de cristaux liquides et de rétroéclairage par les LED. Étant leur propre émetteur de couleur, les dispositifs sont plus simples, plus fins et peuvent même être déposés sur la surface d'un support souple polymère conducteur.

Les avantages des OLED sont multiples :

- leur consommation d'énergie est encore plus faible, et elles ne nécessitent plus des éléments qui peuvent devenir rares, comme l'indium ou le gallium ;

- elles donnent la possibilité d'avoir des écrans de télévision, d'ordinateur, de smartphone très fins ;
- les écrans peuvent être courbes ou même souples (l'écran que l'on plie et qu'on met dans la poche) ;
- il n'y a plus de rétroéclairage, donc les noirs sont plus profonds ; une OLED éteinte n'émet aucune lumière de diffusion ;
- les temps de réponse sont inférieurs à 0,1 ms, et les images sont plus nettes et plus fluides ;
- l'angle de vision est plus large car il n'y a plus de filtres à cristaux liquides. Pour l'instant, les OLED sont plus coûteuses, mais leur facilité de mise en œuvre et leur percée dans les écrans des smartphones vont réduire leur prix et les généraliser pour les écrans d'ici quelques années.

Voilà des applications remarquables de la chimie des matériaux, de la chimie organique et des macromolécules, avec des marchés mondiaux qui se chiffrent en centaines de milliards d'euros pour les années à venir. Dans les applications haute technologie de la chimie, que de matière grise, d'imagination, d'innovations technologiques ! On est parfois saisi de vertige devant les résultats du bout de la chaîne, du smartphone ou de la télé réalité indigente de la télévision. Soyons cependant optimistes et OLEDissons-nous, c'est moins dangereux que de bronzer en cabine UV !



**Jean-Claude Bernier,**  
Février 2015

(1) Voir « le produit du jour » sur le site de la SCF : [www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/leds.html](http://www.societechimiquedefrance.fr/produit-du-jour/leds.html)

(2) Organic Electronics Group, IMS-ENSCBP-IPB, UMR CNRS 5218, Université de Bordeaux ([www.enscbp.fr/ims-elorga/IMS\\_Lab\\_-\\_ELORGA\\_Group/Home.html](http://www.enscbp.fr/ims-elorga/IMS_Lab_-_ELORGA_Group/Home.html)).

### Index des annonceurs

Chemistry Views	p. 37	ICSN	p. 3
EDIF	p. 7	Institut Galien Paris-Sud	p. 22
ICMCB	p. 43	UdPPC	2 <sup>e</sup> de couv.
ICMR	p. 28		



Régie publicitaire : EDIF, Le Clemenceau, 102 avenue Georges Clemenceau, 94700 Maisons-Alfort  
Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00 - [edition@edif.fr](mailto:edition@edif.fr) - <http://www.edif.fr>