

La lumière électronique : du tube cathodique aux écrans plats

D'après la conférence de Jean-Claude Bernier

Jean-Claude Bernier est professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur de l'École européenne de Chimie Polymères et Matériaux (ECPM) de Strasbourg, ancien directeur du département chimie du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

Avec comme fil rouge la lumière, nous allons faire un peu de chimie, de physique et d'électronique pour passer de la première télévision de nos parents (ou de nos grands-parents) à la dernière tablette ou télévision du salon.

1 La photoluminescence

Commençons par un rappel sur les états énergétiques de la molécule : à l'état fondamental¹, la molécule est stable, c'est

l'état fondamental S_0 ; suite à une excitation, soit par un photon, soit par un électron, elle absorbe de l'énergie et se retrouve dans un état quantique supérieur excité, S_1 ou S_2 . La durée de vie de cet état n'est pas très longue, et la molécule se désactive et retombe à l'état fondamental en pouvant émettre l'énergie sous forme d'un rayonnement. On distingue deux processus photophysiques : si la transition s'effectue entre états de même multiplicité de spin, S par exemple, c'est la fluorescence (transition f , en bleu sur la **Figure 1**), et si la transition s'effectue entre états de

1. État fondamental : état de plus basse énergie.

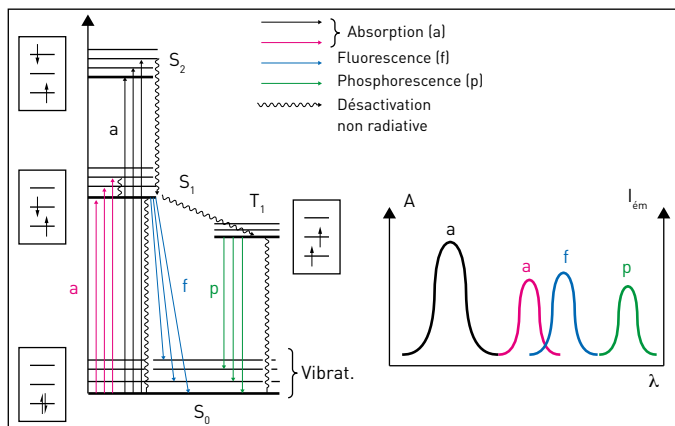


Figure 1

On distingue deux processus photophysiques selon les états qui sont mis en jeu lors de la désactivation radiative : la phosphorescence et la fluorescence.

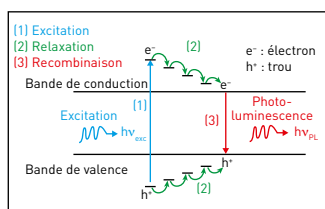


Figure 2

La combinaison possible d'un excès d'électrons avec la présence de trous dans la bande de valence donne lieu à l'émission d'un photon.

multiplicité différente, de T à S, c'est la phosphorescence (transitions p, en vert sur la Figure 1).

Dans tous les cas, l'énergie dissipée est plus faible que l'énergie absorbée, comme on le voit sur le diagramme de l'intensité en fonction des longueurs d'onde, les longueurs d'onde de l'absorption sont plus faibles que celles de l'émission des spectres de fluorescence et de phosphorescence, les raies f et p sont

décalées vers les plus grandes longueurs d'onde.

Pour un solide, on peut généraliser ces transitions à celles entre les deux bandes d'énergie : la bande de conduction et la bande de valence² (Figure 2). Si après excitation on a un excès d'électrons dans la bande de conduction et un trou dans la bande de valence, le solide peut se désactiver par recombinaison des électrons avec les trous et il y a émission d'un photon de photoluminescence de fréquence ν , telle que $h\nu^3$ est égal à la valeur du gap⁴ (Figure 2).

Selon la nature de l'excitation, on distingue différentes émissions de luminescence : la photoluminescence (avec la fluorescence (10^{-9} à 10^{-6} s) et la phosphorescence (10^{-3} à 10 s), l'électroluminescence, la cathodoluminescence (0,1 μ s), la bioluminescence, la thermoluminescence, la chimoluminescence, ou encore la sonoluminescence.

2 Un exemple d'électroluminescence : la LED

La LED (« Light Emitting Diode ») (Figure 3) est un exemple d'électroluminescence.



Figure 3

Les LED sont des dispositifs très utiles et très courants.

2. La théorie des bandes est une modélisation des valeurs d'énergie que peuvent prendre les électrons d'un solide à l'intérieur de celui-ci. La bande de valence est la dernière bande remplie d'électrons, et la bande de conduction est la première bande non remplie d'électrons.

3. La constante de Planck h vaut $6,62607004 \times 10^{-34}$ m².kg/s.

4. Le gap est la différence d'énergie entre la bande conduction et la bande de valence.

2.1. La diode et son principe

Les LED utilisent comme matériaux émetteurs des semi-conducteurs⁵ 3-5 ; on ne peut pas utiliser le silicium parce que son gap est trop grand, et il ne correspondrait donc pas à une émission de lumière. Les semi-conducteurs 3-5 sont des matériaux composés de plusieurs éléments de la colonne III et de la colonne V de la classification périodique, qui combinent par exemple le gallium et l'arsenic pour émettre dans le rouge ou l'infrarouge, pour le jaune il s'agit du mélange gallium-arsenic-phosphore, pour le vert c'est gallium-azote, et pour le bleu on utilise le mélange indium-gallium-azote (**Encart : « Composition des LED pour différentes couleurs d'émission »**).

Une diode est la jonction n-p d'un semi-conducteur avec un excès d'électrons avec un semi-conducteur avec un excès de trous qui, mise sous tension, conduit à un flux d'électrons. Pour mieux

5. Semi-conducteur : matériau dont les propriétés de conductibilité électrique sont intermédiaires entre celle des métaux et celle des isolants.

COMPOSITIONS DES LED POUR DIFFÉRENTES COULEURS D'ÉMISSION

Un cristal semi-conducteur de type III/V, soumis à un courant, émet un rayonnement dont la longueur d'onde se situe dans le visible.

- Rouge** avec GaAs
- Jaune** avec Ga AsP
- Vert** avec GaN
- Bleu** avec InGaN

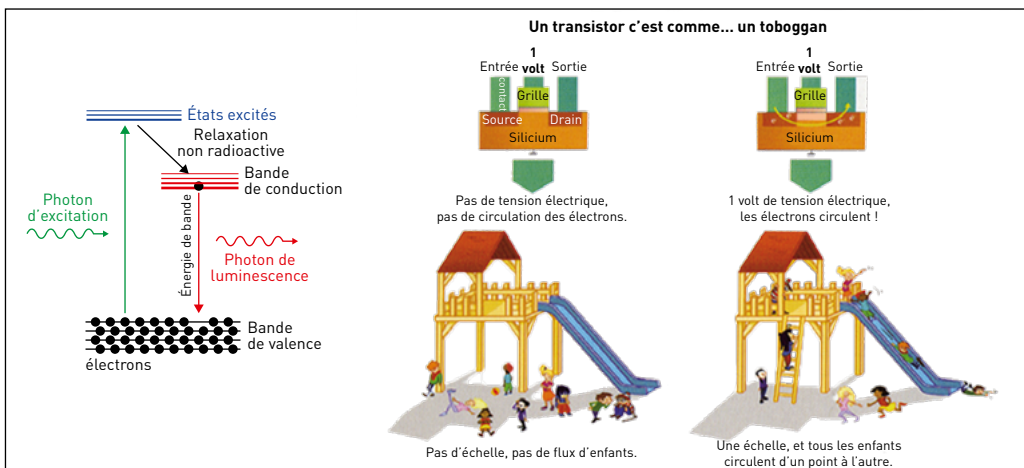
comprendre le fonctionnement d'une diode, on peut comparer le système à un jeu d'enfant, le toboggan (**Figure 4**) : s'il n'y a pas d'échelle, on n'aura pas de flux d'enfants, tandis que si on met une échelle il y aura un flux ; c'est la même chose dans le cas d'un semi-conducteur : si l'on n'applique pas de tension, il ne se passe rien ; si on a une tension de l'ordre d'1 volt, on a un flux d'électrons.

2.2. Le montage LED

Le semi-conducteur est monté sur une embase céramique, la jonction p-n est alimentée par un fil d'or très fin, et on place au-dessus un dôme, en général

Figure 4

Le potentiel d'une diode joue le rôle de l'échelle d'un toboggan : le flux d'enfants correspond au flux d'électrons.



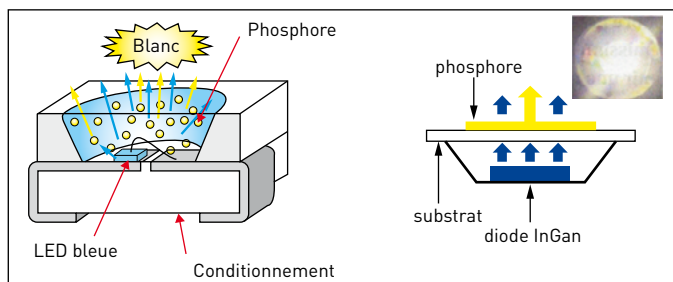


Figure 5

Les LED blanche pour l'éclairage : dispositif des LED lampes blanches et exemple de lumière offerte par du phosphore YAG Ce³⁺.

en silicone. La LED émet de la lumière lorsqu'elle est parcourue par un courant et le dôme est tapissé intérieurement de substances phosphorescentes. Les cristaux semi-conducteurs ont des dimensions de quelques millimètres pour les SMD (« *Surface Mounting Device* »), et on a des dimensions comprises entre 3 et 5 millimètres pour les COB (« *Chip On Board* »), avec un petit circuit intégré pour les lampes classiques qui sont utilisées actuellement, avec d'excellents rendements de l'ordre de 100 lumens par watt et avec une consommation qui est à peu près dix fois plus faible que celle des lampes thermiques à filament.

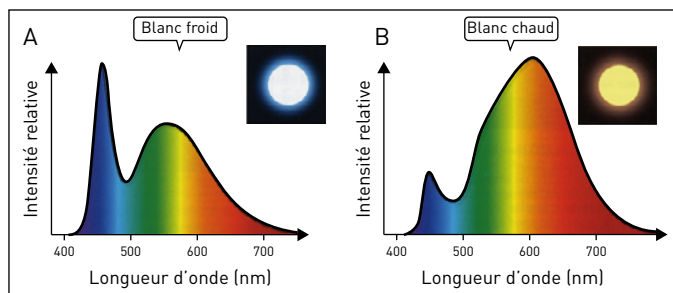


Figure 6

La composition spectrale des LED blanches est différente pour un blanc froid (A) et un blanc chaud (B).

Revenons sur le cas de la LED bleue. Depuis 1907, on savait que le carbure de silicium pouvait, lorsqu'il était parcouru par un courant, émettre une lumière bleue. Mais le carbure de silicium a une température de fusion très élevée, aux alentours de 1 780 °C, c'est donc un réfractaire trop difficile à utiliser pour faire des petits cristaux. Pendant trente ans, des chercheurs ont cherché à trouver le graal, le LED bleu. Ce sont des chercheurs japonais, Isamu Akasaki et Hiroshi Amano, qui en 1993 ont trouvé que le mélange indium-gallium-azote émettait dans le bleu, ce qui leur a valu le prix Nobel en 2014, car les applications commerciales de ce LED bleu sont fantastiques.

2.3. Applications des LED dans la vie quotidienne

Le marché est énorme pour les lampes LED blanches (Figure 5), avec lesquelles on peut avoir soit de la lumière blanche froide, soit de la lumière blanche chaude (Figure 6).

Quand il y a pas de phosphore (Figure 6A), le spectre d'émission n'est pas assez déplacé vers le jaune, donc on a un blanc froid, mais pour rappeler un peu plus la lumière des lampes à filament, on ajoute du phosphore, qui déplace le spectre d'émission vers le jaune (Figure 6B) et permet d'obtenir ce qu'on appelle un blanc chaud.

La seconde application importante est le laser bleu pour la lecture des DVD, et maintenant des blue-ray. Pour stocker des informations sur un CD, on

utilise des revêtements avec des petits traits d'aluminium qui réfléchissent la lumière, et avec d'autres qui ne la réfléchissent pas, ce qui correspond au stockage en écriture binaire : 1-0-1-0, etc. (Figure 7).

La lecture des CD a commencé avec l'utilisation des LED rouges, focalisées sur des surface aux alentours de 1,7 microns. Le passage au DVD a permis de lire un peu plus (environ 700 kilo-octets), et avec des LED rouges on réussissait à focaliser sur des surfaces de 0,74 microns (Figure 8A). L'utilisation de LED bleus, avec le bleu qui a une longueur d'onde plus faible, de 440 nanomètres (Figure 8B), permet de focaliser sur des surfaces beaucoup plus petites donc de lire beaucoup plus de données : jusqu'à 10 giga-octets, voire les 25 giga-octets qui seraient nécessaires pour lire des films à haute définition. Les applications commerciales sont donc très importantes.

3 La cathodoluminescence

3.1. La télévision noir et blanc

Le tube cathodique est une enceinte de verre sous vide ; à une extrémité se trouve un canon à électrons constitué par un filament contenant souvent des sels de baryum qui est chauffé et émet des électrons par effet thermique (Figure 9). Ces électrons sont accélérés par un champ électrique produit par une anode, puis ils peuvent être déviés par un champ magnétique produit par des bobines et vont s'écraser sur la dalle du tube cathodique, sur lequel on place des sulfures de calcium ou de zinc dopés pour produire un point lumineux.

Très vite, le principe du tube cathodique a été utilisé dans les laboratoires d'électronique pour fabriquer des oscilloscopes, puis on a eu l'idée de construire et commercialiser

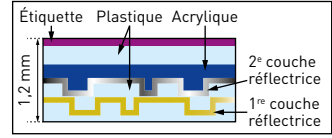


Figure 7

Constitution de la surface d'un DVD avec deux couches réfléchissantes ou pas.

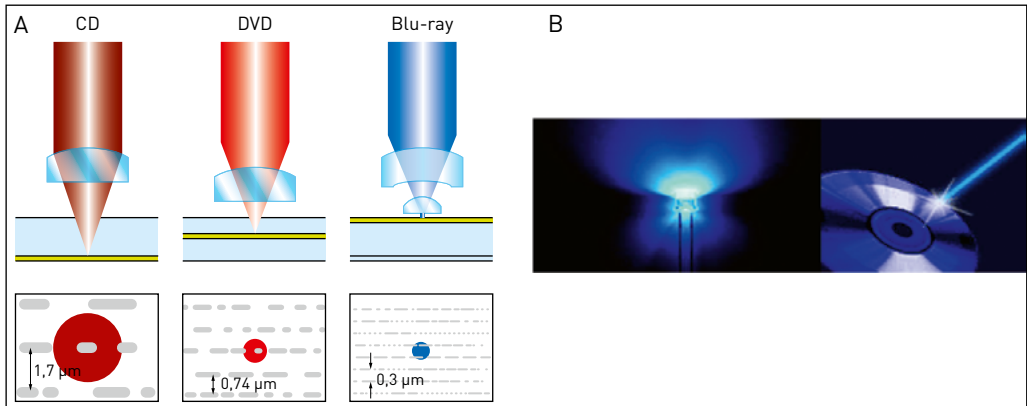


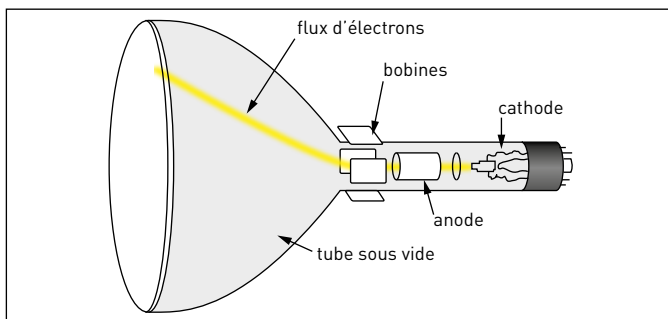
Figure 8

A) Focalisation (en micromètres) des lasers pour les différentes longueurs d'onde utilisées en lecture DVD, CD ou blu-ray ; B) lecture d'un blu-ray par utilisation d'un laser bleu à 440 nm et focalisation de 0,3 µm.

Source : A) d'après C. Ray et J.-C. Poizat. *La Physique par les objets quotidien*, Belin (Pour la science), p 93.

Figure 9

Le tube cathodique.



des tubes sous vide avec un système de balayage des points lumineux sur l'écran, commandé par des signaux analogiques transmis par des ondes électromagnétiques, un peu comme la TSF (Télégraphie Sans Fil), mais qui produisait à ce moment-là des images et non des sons. C'était la télévision en noir et blanc.

La première émission de télévision a été réalisée en 1935 sous l'impulsion à l'époque du ministre des PTT (Postes, Télégraphe, Téléphone), Georges Mandel : des émissions régulières d'une heure à partir de 1937 ont été émises par la Tour Eiffel, visibles seulement par les parisiens qui disposaient de cent postes ; mais la définition était médiocre, elle était de 60 lignes. Ce n'est qu'en 1950, et notamment pour le couronnement de la reine Elizabeth en 1952, que la télévision a

été regardée quasiment en direct, surtout en Angleterre, par des millions de téléspectateurs (Figure 10). Il faut noter que cela représentait déjà une performance technologique puisqu'il y avait 625 lignes composées de 720 points, donc l'image était constituée de 450 000 points renouvelés vingt-cinq fois par secondes (Figure 10B).

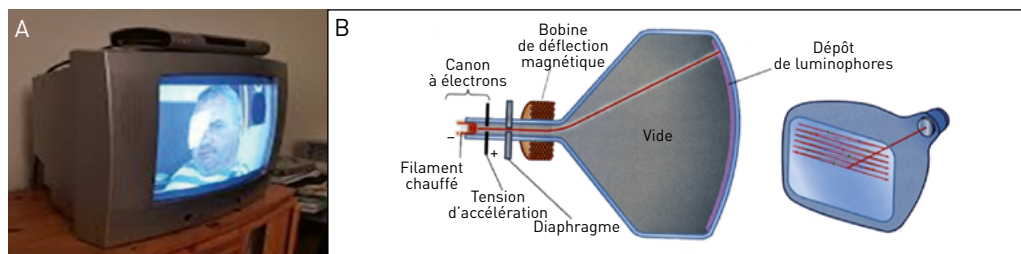
3.2. La télévision couleur

Dans les années 1960, la télévision couleur a fait son apparition aux États-Unis avec un système NTSC⁶ ; on utilisait à l'époque les trois couleurs de base : rouge, vert, bleu, et le jaune, magenta, cyan, obtenus par leur addition, et par addition ou soustraction on faisait

6. NTSC : « National Television System Committee », standard de codage analogique de la vidéo en couleurs lancée aux États-Unis en 1953.

Figure 10

Les images des premières télévisions noir et blanc (A) étaient constituées de lignes et de points à partir d'un tube cathodique (B).



apparaître le blanc ou le noir (Figure 11).

En France, la première émission couleur eu lieu en 1967, lancée sur la seconde chaîne, créée par l'ORTF en 1964, avec un système français qui à l'époque était le SECAM⁷ et qui aura beaucoup de difficulté à s'imposer devant le PAL (« Phase Alternating Line »), dérivé du système américain. À l'époque, il n'y avait que 1 500 téléviseurs couleurs pour 8 millions de noir et blanc.

3.3. Les tubes trinitrons

Un constructeur européen a aussi construit un appareil trinitron (Figure 12), avec trois canons à électrons qui visent, derrière une grille de focalisation en invar⁸, trois types de luminophores :

COMPOSITIONS DES LUMINOPHORES

Trois canons à électrons et les faisceaux électroniques à travers un masque atteignent trois types de luminophores :

- Rouge** : $Y_2O_2S + Eu^{3+}$
- Bleu** : $BaMgAl_{10}O_{17} + Eu^{2+}$
- Vert** : $YGdBO_3 + Tb^{3+}$

Notons que pour obtenir un balayage à 625 lignes et avec trois couleurs, il faut 11 350 luminophores de trois couleurs. La demande commerciale devient toujours plus grande pour des images plus grandes et avec une meilleure

définition. Dans les années 1990, il était très difficile de fabriquer des tubes cathodiques plus ou moins rectangulaires avec des dimensions au-delà de 65 cm de diamètre. De plus, les appareils fonctionnaient sous de la haute tension et sous vide, ce qui les rendait fragiles et ils pouvaient présenter une certaine dangerosité d'explosion et d'incendie, mais c'est surtout la demande de la très haute définition qui a sonné le glas des tubes classiques.

4 Les téléviseurs à écran plat

4.1. Principe de fonctionnement des cristaux liquides

Les écrans plats (Figure 13), qui ne nécessitent plus de canon à électrons avec des

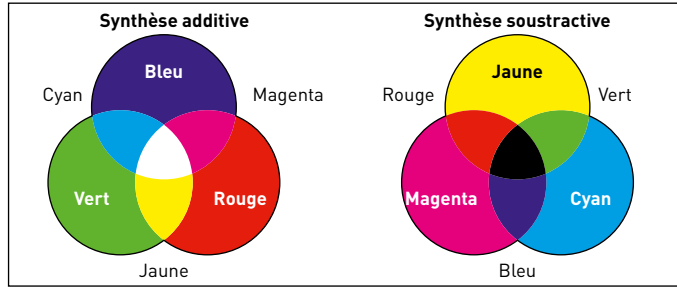


Figure 11

Les principes de la synthèse additive et soustractive des couleurs de base ont largement été utilisés pour la télévision couleur.

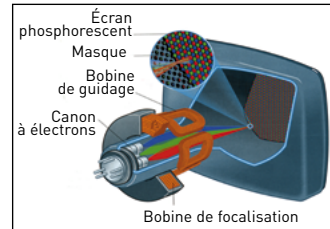


Figure 12

Les tubes trinitrons.



Figure 13

Les écrans LCD arrivent sur le marché pour remplacer les télévisions cathodiques.

7. SECAM : Séquentiel Couleur à Mémoire, désigne un mode standardisé de codage vidéo analogique en couleurs, inventé par Henri de France et commercialisé à partir de 1967.

8. Invar : alliage de fer (64 %) et de nickel (36 %) qui doit son nom à son très faible coefficient de dilatation, six à dix fois plus faible que celui des aciers courants.

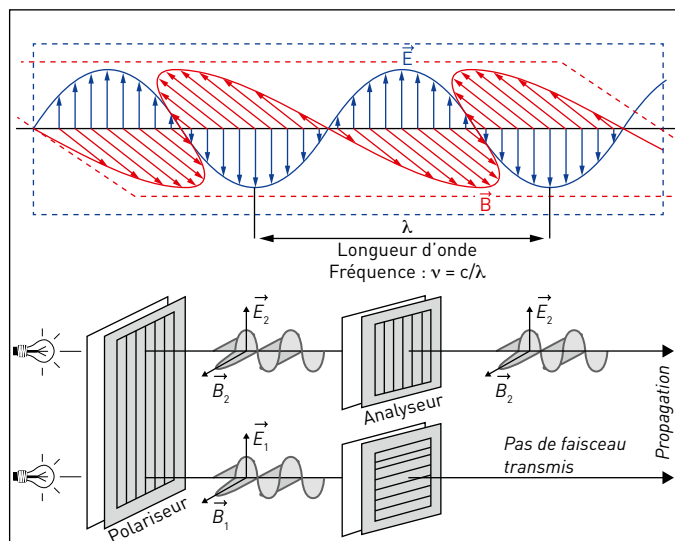


Figure 14

La lumière est une onde électromagnétique constituée d'un champ électrique oscillant perpendiculaire à un champ magnétique oscillant se propageant à la vitesse de 300 000 km/s et de longueur d'onde λ .

Par polarisation ou réflexion, on peut donner une orientation préférentielle aux vecteurs de champ électrique. Un analyseur parallèle au plan de polarisation permet le passage de la lumière, pas le plan perpendiculaire.

tensions de 10 000 V ni de tubes cathodiques sous vide qui peuvent implorer, apparaissent sur le marché avec le démarrage de la technologie plasma fonctionnant avec des pixels. L'électronique complexe et la technologie relativement lourde vont laisser la place aux systèmes LCD⁹, qui sont des concentrés de chimie.

Faisons un rappel de physique sur la nature ondulatoire de

9. LCD : « Liquid Cristal Display », écran à cristaux liquides.

la lumière (Figure 14). Le fait d'avoir un vecteur champ électrique E oscillant permet par réflexion ou au moyen de filtres polariseurs de polariser la lumière, c'est-à-dire d'imposer aux oscillations électriques (en bleu sur la Figure 14) une orientation préférentielle. Un analyseur parallèle au plan de polarisation permet le passage de la lumière, tandis que la lumière ne passe pas si l'analyseur est perpendiculaire.

Les chimistes avaient découvert des types de molécules allongées sous forme de bâtonnets à la limite du cristal et appelées cristaux liquides (Figure 15).

Pierre Gilles De Gennes a obtenu le prix Nobel de physique en 1991 pour avoir découvert que les méthodes développées pour l'étude des phénomènes d'ordre dans les systèmes simples peuvent être généralisées à des formes plus complexes de la matière, en particulier aux cristaux liquides et aux polymères. Au repos, ces molécules sont désordonnées ; si on applique un champ électrique, ces molécules peuvent s'aligner parallèlement à ce champ. Si la lumière polarisée a son champ

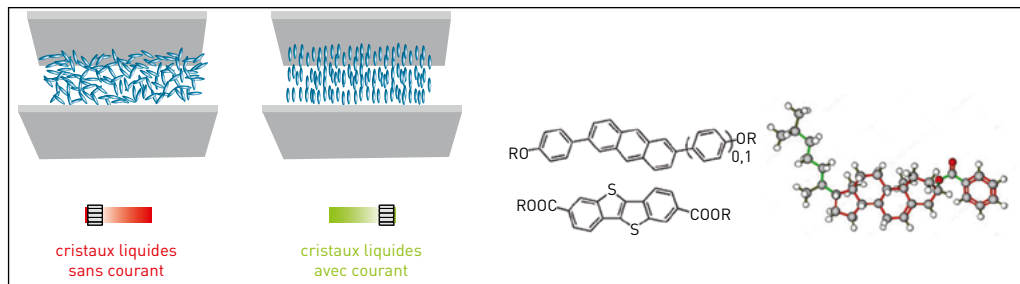


Figure 15

Les cristaux liquides sont des molécules en forme de bâtonnets et ils peuvent s'orienter sous l'influence d'un champ électrique. Si la lumière polarisée a son champ électrique parallèle à la direction des cristaux liquides, elle passe.

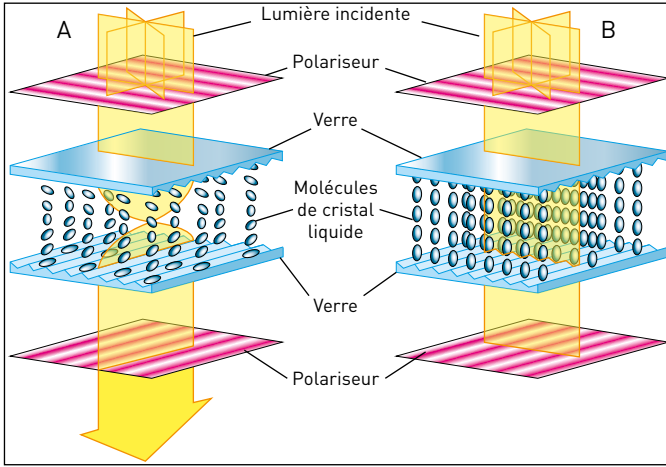


Figure 16

Le LCD (« Liquid Cristal Display ») : un interrupteur de lumière.
 A) Les cristaux liquides sont en position « twisted nematic » et la polarisation tourne de 90° entre les deux plaques polariseurs ;
 B) sous l'influence d'un champ électrique, les cristaux liquides s'orientent parallèlement au champ, la lumière est alors arrêtée par la seconde plaque polariseur.

électrique parallèle à la direction des cristaux liquides, elle passe, sinon elle ne passe pas, d'où l'application aux affichages à cristaux liquides LCD (« Liquid Cristal Display »).

Une surface de verre rayée peut forcer les molécules allongées à s'orienter parallèlement aux rayures. Dans les affichages à cristaux liquides (LCD), ceux-ci sont disposés entre deux surfaces de verre rayées orientées à 90° l'une de l'autre, de sorte que les molécules forment un quart d'hélice (Figure 16A). Dans le premier cas, la cellule est placée entre deux polariseurs croisés, la polarisation de la lumière incidente suit l'orientation des molécules et passe

dans le second polariseurs : c'est une zone claire. Dans le second cas (Figure 16B), un champ électrique de quelques volts est appliqué entre les deux surfaces de verre, les molécules s'alignent le long du champ, il n'y a plus d'hélice, la polarisation de la lumière ne tourne plus, le deuxième polariseur arrête la lumière : c'est une zone noire.

La Figure 17 présente l'application de ce système aux écrans de téléviseurs. Des transistors commandent le champ électrique entre les plaques de verre. La lumière est produite par un tube fluorescent et, après passage à travers le système LCD, elle arrive sur les filtres de couleurs, qui sont en

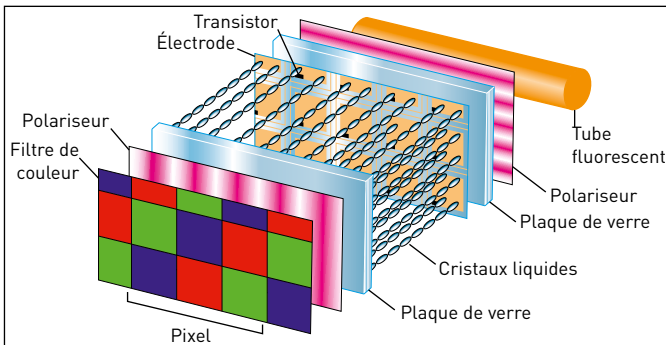


Figure 17

Application des LCD aux écrans de téléviseurs. Un écran avec des cristaux liquides comprend au moins sept couches : le verre de surface, un polariseur, les filtres colorés, la couche de cristaux liquides entre deux plaques de verre, les transistors de commande, un polariseur, le rétro-éclairage...

Figure 18

Les écrans full LED sont une amélioration de l'utilisation des LED.

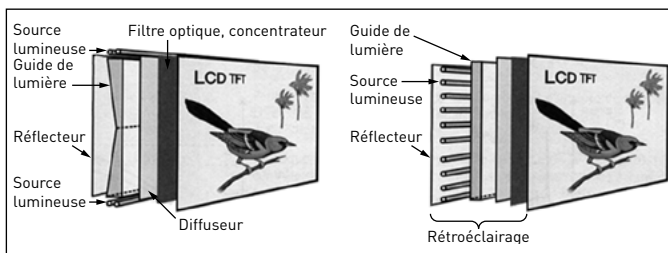
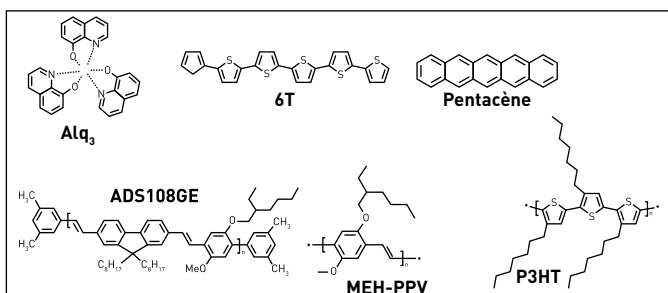


Figure 19

De nombreuses molécules organiques sont semi-conductrices. Elles sont caractérisées par des successions de liaisons C-C et C=C (dites π conjuguées).



réalité des pixels de couleurs. En fonction de l'alimentation des transistors, on peut aligner ou ne pas aligner les cristaux liquides, et faire passer ou ne pas faire passer la lumière sur un pixel rouge, sur un pixel jaune, sur un pixel vert...

par des LED blanches ou des mélanges LED bleus, rouges, verts. On peut ainsi mettre des milliers de LED, chacun d'eux pouvant être commandé individuellement pour obtenir des téléviseurs full LED.

Figure 20

Les molécules ont un comportement qui se rapproche des solides avec des bandes de valence et de conduction.

4.2. La source de lumière

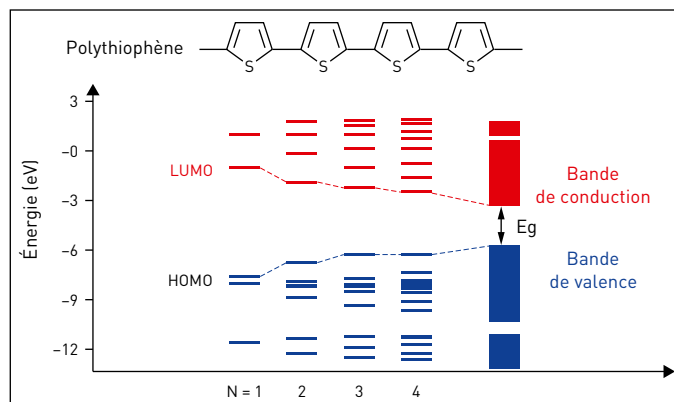
4.2.1. Utilisation des LED

Pour améliorer la qualité de la lumière, on peut remplacer le tube fluorescent de la **Figure 18**

4.2.2. Utilisation des OLED

Les chimistes en chimie organique ont réussi à synthétiser des molécules qui présentent une alternance de liaisons carbone-carbone simples et de liaisons carbone-carbone doubles, dites liaisons π conjuguées (**Figure 19**) : ce sont par exemple des molécules de la famille des thiophènes, qui peuvent conduire l'électricité grâce aux électrons π .

Les polymères semi-conducteurs présentent des niveaux d'orbitales atomiques avec deux niveaux d'énergie (**Figure 20**) : les orbitales liantes (HOMO, « Highest Occupied Molecular Orbital »), comparables à la bande de valence des solides



semi-conducteurs, et les orbitales anti-liantes (LUMO, « *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* »), assimilables à la bande de conduction. Lorsqu'une excitation électrique est appliquée, comme pour les bandes d'énergie des solides, les niveaux HOMO et LUMO sont perturbés.

Comme nous l'avons vu dans le cas de la **Figure 2**, l'excitation entraîne un excès d'électrons dans les LUMO et des trous dans les HOMO, et les électrons en excès se recombinent avec les trous, ce qui peut provoquer une émission de lumière.

Ce phénomène a rapidement conduit à concevoir les OLED, ou « *Organics Light Emetting Diode* ». Le dispositif est relativement simple : le polymère¹⁰, ou les molécules semi-conductrices, est déposé sous forme de gouttes entre deux électrodes (**Figure 21**). L'anode transparente est un verre ITO, sur lequel on a une couche d'oxyde TiO_2 dopé à In_2O_3 , qui est conductrice ; la cathode est métallique. Quand on applique quelques volts entre les deux électrodes, l'OLED s'allume, et, selon les molécules utilisées, on peut obtenir une émission verte, rouge ou bleue.

Les écrans OLED présentent de nombreux avantages. Les couches minces peuvent être réalisées industriellement par des dépôts de microgouttes, selon des procédés dérivés de ceux des imprimantes à jet d'encre. Les OLED constituent les pixels émetteurs des couleurs des écrans. Le temps de réponse de ces OLED est très

faible, de l'ordre de 0,1 milliseconde. La consommation électrique est faible et il n'y a plus besoin de rétroéclairage puisque les OLED sont leur propre émetteur de lumière.

Les OLED ont permis l'apparition de télévisions plus fines : la **Figure 22** montre la différence de nombre de couches entre un téléviseur avec OLED (en bas), pour lequel on a un polariseur, le verre, le filtre de couleurs, et un téléviseur plat classique avec LCD et LED. On a aussi des noirs plus profonds, une plus grande rapidité des commandes et une vision de côté améliorée avec les OLED.

5 Les Smartphones

Les applications des OLED ne sont évidemment pas limitées aux téléviseurs puisqu'elles ont démarré d'abord sur les petits écrans des Smartphones

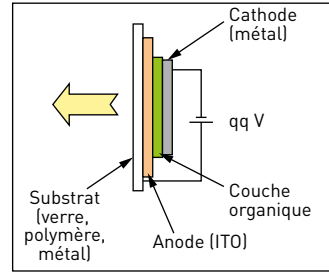


Figure 21

Schéma d'une OLED. Les polymères sont déposés sous forme de gouttes entre une cathode métallique et une anode transparente. Suivant la formule chimique, on a des émissions lumineuses bleues, vertes ou rouges. On a un gain en épaisseur et en rapidité de réponse.

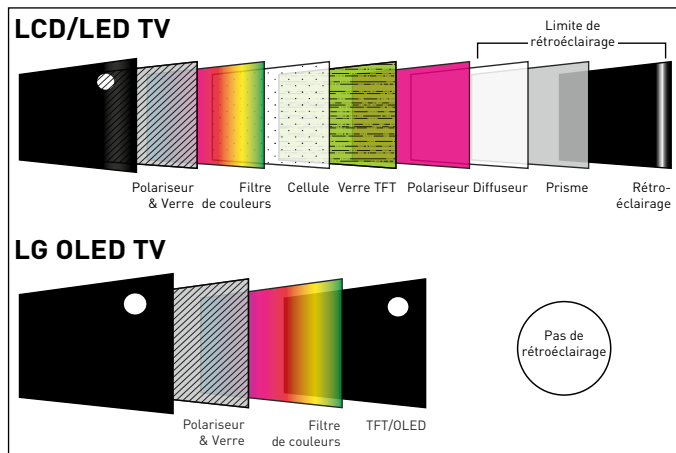


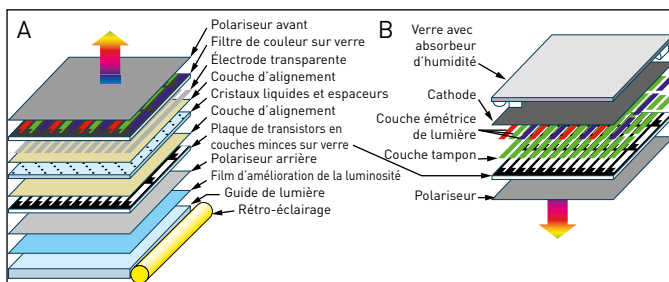
Figure 22

Les écrans OLED permettent l'apparition de télévisions plus fines et proposent une meilleure qualité d'image. On a des écrans minces sans LCD et rétroéclairage, des noirs profonds, une rapidité de commandes et une vision de côté.

10. Polymère : enchaînement d'une ou plusieurs molécules, unités de répétitions, dites monomères.

Figure 23

Une application des OLED est la réduction des épaisseurs des Smartphone : A) sans OLED ; B) avec OLED.



et des tablettes. On a gagné à la fois sur l'épaisseur des écrans, leur définition, mais également sur la durée de charge des batteries, puisqu'on consommait moins de courant.

On voit sur la **Figure 23B** l'exemple d'un Smartphone avec OLED pour lequel on a, sur quelques millimètres d'épaisseur, un véritable millefeuille de matériaux et de chimie. Cet ensemble peut même maintenant être flexible.

Les quantum dots

La nanochimie permet la préparation par chimie douce, à partir de précurseurs organo-métalliques et d'un réducteur doux, de suspensions colloïdales¹¹ de nanocristaux de semi-conducteurs comme le tellure de cadmium, le séléniure de cadmium, ou encore le séléniure de zinc. On arrive à arrêter la croissance des cristaux en dessous de 10 nanomètres, c'est-à-dire dix-mille fois plus petit que le diamètre d'un cheveu. Dans ces nanoparticules, les niveaux d'énergie des semi-conducteurs ne s'organisent plus en bandes séparés ; cela correspond à des fréquences particulières lorsqu'ils sont excités ou lorsqu'ils sont éclairés, et donc à des couleurs bien définies.

Ces nanocristaux de semi-conducteurs sont appelés des quantum dots. En fonction de leur taille, entre 2 et 6 nanomètres, quand ils sont éclairés par une LED bleue, ils émettent des fréquences qui vont du bleu au vert, au jaune et au rouge (**Figure 24**).

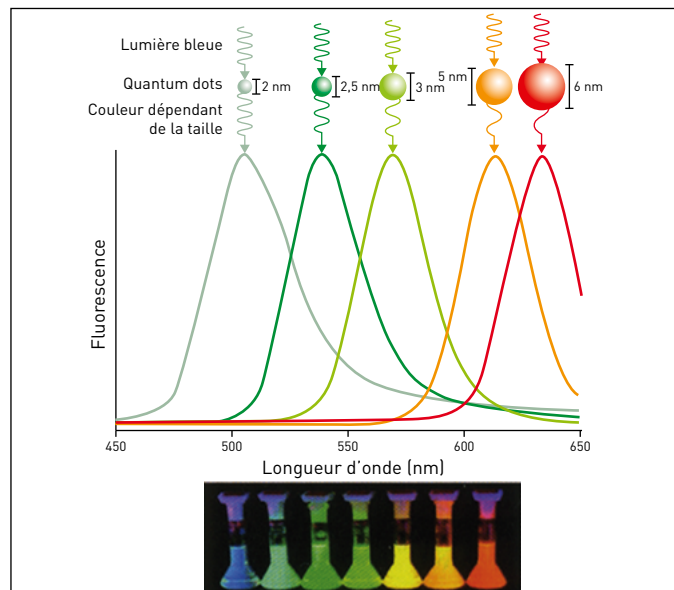


Figure 24

Les quantum dots sont des nanoparticules de semi-conducteurs qui, éclairées par une LED bleue, émettent une lumière dont la couleur dépend de la taille.

11. Suspension colloïdale : mélange d'un liquide et d'une suspension de particules solides de si petites tailles qu'elles se répartissent de façon homogène. Le mélange peut rester liquide ou prendre la consistance d'une pâte ou d'un gel.

Les quantum dots sont une nouvelle conquête de la nanotechnologie. Pour fabriquer des téléviseurs, non plus OLED mais QLED, un rétro-éclairage avec des LED bleues est nécessaire, et il faut aussi ajouter un filtre des quantum dots. Avec ces téléviseurs

QLED, on gagne en dimension, en intensité lumineuse, mais on ne gagne pas en épaisseur (Figure 25).

Avec les QLED, on peut obtenir une infinité de couleurs. La Figure 26 est une simulation sur écran 8K des 33 millions de pixels quantum dots.

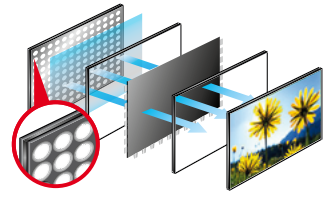


Figure 25

Les couches d'un téléviseur QLED permettent une nette amélioration en dimension et en intensité lumineuse.

Source : Samsung.

Les écrans du futur

La télévision du futur est associée à une course à la définition et à la taille de l'écran qui va avec. La HD TV s'accommode d'un écran de 43 pouces avec 1 million de pixels. La haute définition TV 2K double le nombre de pixels, les UHD, ultra haute définition 4K, multiplie par quatre les pixels, donc 8 millions, et l'ultra haute définition 8K a plus de 33 millions de pixels, qui pourront autoriser une dimension de l'ordre de 75 pouces, ce qui correspond à 1,90 mètres de diamètre (Figure 27). Mais il faut noter que les émissions 4K et les émissions 8K ne sont pas nombreuses.

Un autre aspect de la télévision du futur est l'apparition de boîtiers d'intelligence artificielle, qui ont appris par « *deep learning* » à analyser en temps réel les images et à les corriger. L'éclairage des LED est ajusté pour obtenir des noirs profonds, des contours plus nets. L'« *Upscaling Intelligence Artificielle* » analyse des millions de données d'images en ligne, il restaure les signaux qui ont été perdus, il accentue les contours, il supprime les traînées d'image, il est très utile pour les retransmissions de sports très rapides, et surtout pour les jeux électroniques.

La télévision du futur, c'est aussi la possibilité d'avoir la sortie en 2019 et la commercialisation en 2020, grâce aux OLED, des écrans souples

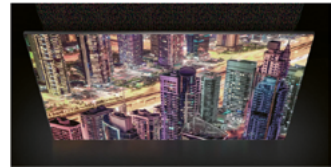


Figure 26

Télévision QLED (« Quantum Light-Emitting Diode »).

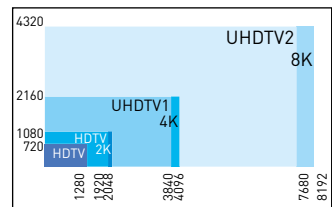


Figure 27

L'évolution des téléviseurs, tant en qualité qu'en taille, est le futur : une course à la haute définition.



Figure 28

Les nouveautés commerciales permises par les OLED sont impressionnantes et nombreuses.

Figure 29

Il ne faut pas non plus oublier les dangers que représentent les écrans.

et très fins et des premiers Smartphones pliables ; une électronique en caisson, avec les haut-parleurs, et la mécanique, permettent l'enroulement et le déroulement de l'écran des premiers téléviseurs déployables dans nos salons (**Figure 28**).

Ce panorama très bref a montré les progrès qui ont été permis par la chimie et la physico-chimie dans ces technologies de l'information et des loisirs (voir aussi l'ouvrage *Chimie et technologies de l'information*, EDP Sciences, 2014). Cependant, comme l'alcool, les écrans plats sont à consommer avec modération. Cette débauche de technologie et d'inventivité est formidable mais à condition qu'elle soit accompagnée de la qualité culturelle des émissions. De plus, des enquêtes ont montré que les écrans pouvaient être un danger pour les très jeunes enfants, mais également pour les adolescents, avec l'addiction pour les jeux électroniques (**Figure 29**).

