

# Les multiples contributions de la chimie dans la conception des tablettes et des Smartphones

Jean-Charles Flores est spécialiste de l'électronique organique au sein de la société BASF (Figure 1).



Figure 1

*De nouvelles technologies de l'information sont en essor : où se trouve la chimie ?*

Source : BASF.

L'information est partout : dans les bibliothèques, les journaux, les laboratoires, les musées... et même dans notre cerveau<sup>2</sup>. De l'intérêt de faire transiter ces informations en des endroits de plus en plus éloignés à des vitesses toujours plus grandes, de l'intérêt de traiter un nombre croissant de données de plus en plus complexes, sont nées les technologies de l'information.

1. [www.basf.com](http://www.basf.com)

2. Ce point est abordé dans le Chapitre d'A. Lécuyer dans l'ouvrage *Chimie et technologies de l'information*, coordonné par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny, EDP Sciences, 2014.



Figure 2

Une tablette et ses constituants.  
Source : BASF.

Quelle est la contribution d'un leader mondial de l'industrie chimique comme BASF<sup>3</sup> au développement des technologies de l'information ? Pour répondre à la question, prenons l'exemple d'une tablette tactile, symbole des technologies de l'information (Figure 2), et examinons ses principaux constituants :

- l'écran, interface entre l'utilisateur et l'information ;
- les batteries, qui permettent d'avoir l'information, où que nous soyons ;
- les contrôleurs et les bobines, indispensables au bon fonctionnement de ces machines ;
- les circuits intégrés qui traitent les informations.

Où est la chimie dans une tablette ? Nous allons voir que la chimie est présente à chaque étape de leur longue et complexe fabrication.

3. Le groupe BASF, dont le siège social est basé à Ludwigshafen, en Allemagne, emploie plus de cent dix mille personnes dans tous les domaines de la chimie, de la chimie de base issue du pétrole à la chimie fine.

## 1 Le circuit intégré : des produits ultra-purs pour des composants ultra-petits

Le circuit intégré présent à l'intérieur de la tablette (Figure 3A) est à base de silicium. Bien qu'il soit le second élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène, la forme sous laquelle on le trouve est absolument impropre à son utilisation pour l'électronique. Il faut le raffiner et le purifier. Ce sont des procédés chimiques de purification extrêmement complexes qui permettent d'obtenir les plaquettes de silicium ultra-pures à partir desquelles sont fabriqués les circuits intégrés.

Via des procédés toujours aussi complexes, ces plaquettes sont ensuite recouvertes de résines photo-polymérisables, placées sous un masque et exposées à des rayons ultraviolets. Seules les parties éclairées au travers du masque polymérisent et demeurent sur la plaquette après nettoyage<sup>4</sup>. Sur la partie qui n'est plus recouverte par ces résines, on peut alors réaliser des traitements chimiques nécessaires pour parvenir à ces assemblages extrêmement complexes de circuits intégrés qui font quelques dizaines de nanomètres (Figure 3B). À cette échelle de taille, la moindre particule se déposant sur les plaquettes lors du procédé, même de la taille d'un virus, peut anéantir

4. De plus amples explications concernant ces procédés sont fournies dans le *Chapitre de I. Cayrefourcq* dans *Chimie et technologies de l'information*, EDP Sciences, 2014.



Figure 3

A) L'intérieur d'une tablette ;  
 B) schéma du dispositif  
 d'impression d'un circuit imprimé  
 sur une plaquette de silicium, avec  
 zoom sur la plaquette imprimée.

Source : BASF.

le bon fonctionnement du circuit intégré. Il faut donc les fabriquer dans des salles blanches, expurgées de toutes ces particules et n'utiliser que des produits chimiques ultra-purs (solvants, gaz, réactifs...) (Figure 4).

Dans ce cadre, BASF, comme beaucoup d'industries chimiques<sup>5</sup>, est un grand producteur de produits ultra-purs tels que :

- des gaz (chlorure d'hydrogène, ammoniac...);
- des agents nettoyants pour les plaquettes de silicium tels que des oxydants (eau oxygé-

née, eau de Javel...), des acides (acide sulfurique, acide phosphorique, acide nitrique...) et des solvants (acétone, hexaméthylsilazane, N-méthyl-2-pyrrolidone et autres acétates et alcools).

Pour réaliser le circuit intégré, il faut pouvoir graver différents types de matériaux. Ce sont des composés tels que



Figure 4

Les manipulations se font dans des salles blanches avec le soin le plus extrême pour éviter la moindre impureté dans les circuits intégrés.

Source : BASF.

5. Voir aussi le **Chapitre de V. Thulliez** de *Chimie et technologies de l'information*, coordonné par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny, EDP Sciences, 2014.



Figure 5

Plaquettes où seront gravés les circuits intégrés. Elles sont nettoyées avec des solvants ultra-purs, gravées avec des produits chimiques, et polies au nanomètre près grâce à des agents de polissage mécaniques et chimiques.

Source : BASF.

Figure 6

Dans les bobines des téléphones portables, un noyau de fer est ajouté pour stabiliser le courant (A). Ce noyau de fer est préparé à partir de poudre (B) de morphologie parfaitement contrôlée (C : vue microscopique) pour supporter les hautes fréquences.

Source : BASF.

l'acide chlorhydrique, l'acide fluorhydrique, l'ammoniac, le fluorure d'ammonium que l'on utilise pour graver le silicium. On utilise également d'autres produits pour graver l'aluminium, le cuivre, le chrome, le molybdène, le nickel, ainsi que l'oxyde d'indium et d'étain qui sont couramment employés dans l'industrie de l'électronique.

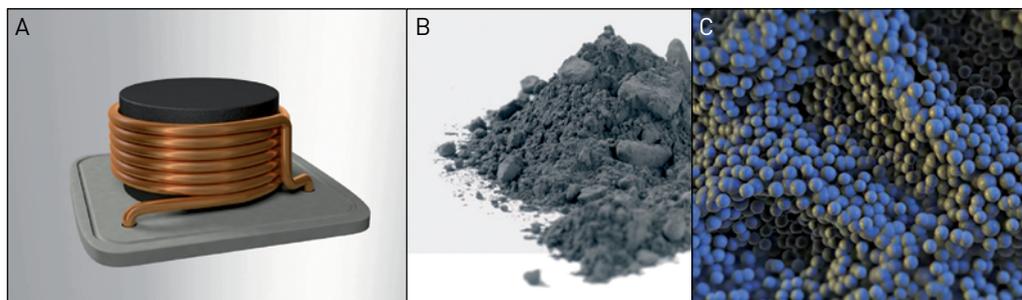
Enfin, il faut aussi que ces plaquettes obtenues soient parfaitement plates : la variation d'épaisseur d'un bout de la plaquette à l'autre ne doit pas dépasser un ou deux nanomètres, ce qui, à l'échelle d'un terrain de football, représenterait une variation d'épaisseur plus petite qu'un cheveu. Le polissage est donc contrôlé au nanomètre près grâce à des agents de polissage mécaniques et chimiques (Figure 5).

## 2 Les bobines : une poudre de fer carbonyle pour des composants électriques

Les différents composants d'une tablette tactile (circuits intégrés, disques durs...) travaillent à différents voltages, et, pour adapter la tension d'un élément à un autre, on utilise des bobines. Le défaut majeur

de ce dispositif qui fonctionne à très autre fréquence est de délivrer une tension pouvant fluctuer au cours du temps. Ce défaut peut-être compensé par l'ajout d'un noyau de fer à l'intérieur de la bobine qui stabilise la tension par effet inductif.

La pureté du fer présent dans ces bobines doit être la plus grande possible, et sa morphologie doit être parfaitement contrôlée. BASF développe depuis plus de quatre-vingts ans un procédé où de la poudre de fer, chauffée en présence de monoxyde de carbone dans des conditions de très hautes températures et pressions, est convertie en un complexe de fer-pentacarbonyle. C'est une huile d'aspect jaunâtre qui peut être purifiée par distillation pour atteindre un très haut degré de pureté. Ce complexe est ensuite chauffé et se décompose, d'un côté, en fer de haute pureté, et de l'autre, en monoxyde de carbone qui est recyclé au début du procédé. La morphologie du fer obtenue est parfaitement contrôlée : ce sont des sphères de cinq micromètres de diamètre qui sont enduites d'un mélange isolant de phosphate de fer. Plus leur forme est ronde et régulière, plus



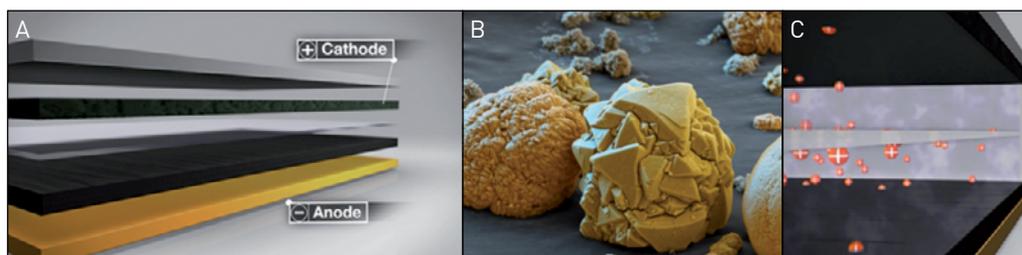


Figure 7

Vue éclatée d'une batterie plate (A) ; vue au microscope d'une anode (B) ; schéma représentant le déplacement des ions au travers d'une membrane dans une batterie lithium-ion (C).

Source : BASF.

il est facile de les recouvrir d'isolant et meilleurs seront leurs effets pour réduire les pertes d'énergie qui ont lieu dans les bobines (Figure 6).

Ce fer de haute pureté et à morphologie contrôlée est non seulement utilisé dans les bobines mais aussi dans certaines parties plastiques des appareils électroniques pour protéger les différents composants des interférences provoquées par les radiations électromagnétiques.

### 3 Des batteries performantes pour des applications exigeantes

Du fait d'une plus grande mobilité, nous avons besoin d'avoir des batteries toujours plus performantes pour des applications plus gourmandes en énergie. Ces dernières années, la demande de batteries de technologie lithium-ion pour les téléphones portables et les tablettes a augmenté de 10 % par an. Le cœur du problème est de les produire à des coûts toujours plus maîtrisés tout en améliorant leur autonomie et leur sécurité. BASF, ainsi que d'autres industries chimiques, s'est engagé dans cette bataille pour produire des matériaux plus performants nécessaires à l'élaboration de ces

nouvelles batteries (Figure 7). Très actif dans le domaine des matériaux pour les cathodes, les électrolytes, les membranes et les liants, le groupe travaille en collaboration avec de nombreuses universités et de petites compagnies sur les nouvelles technologies de batteries : lithium-soufre, lithium-air<sup>6</sup>.

## 4 Des écrans lumineux pour des utilisateurs radieux

### 4.1. La technologie LCD

La plupart des écrans de télévisions ou d'ordinateurs actuels fonctionnent grâce à la technologie LCD (« *Liquid Cristal Display* »)<sup>7</sup>. En effectuant un agrandissement de l'écran, on peut alors voir qu'il est composé d'une multitude de petits pixels rouges, verts et bleus (Figure 8). C'est la lumière traversant ces pixels contrôlés par des transistors qui prend leur couleur.

6. Au sujet des batteries lithium-air, voir l'ouvrage *Chimie et Transports*, Chapitre de D. Larcher et F Darchis, coordonné par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny, EDP Sciences, 2014.

7. Cette technologie est également décrite dans le **Chapitre de V. Thulliez** dans *Chimie et technologies de l'information*.

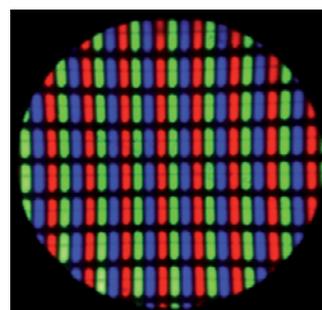


Figure 8

Le zoom sur un écran fait apparaître des pixels.

Source : BASF.

### QU'EST-CE QUE LA LUMIÈRE POLARISÉE ?

La lumière est une onde électromagnétique dont les oscillations se font transversalement par rapport au sens de propagation. Ainsi, ces oscillations appartiennent au plan perpendiculaire à la direction de propagation, appelé plan de polarisation. Elles peuvent donc être dans de très nombreuses directions. Une polarisation est définie par une ou la superposition de plusieurs directions de polarisation.

Un polariseur est un filtre de lumière qui ne laisse passer que la lumière possédant une certaine direction de polarisation.

La **Figure 9** montre la vue éclatée des différents constituants d'un pixel.

Le dispositif de rétroéclairage fournit une lumière blanche non polarisée (voir l'**Encart « Qu'est-ce que la lumière polarisée ? »**) qui traverse le premier polariseur du pixel, se polarisant selon le plan de polarisation de celui-ci, comme figuré en blanc sur la **Figure 9A**. L'onde électromagnétique traverse ensuite la couche de cristaux liquides<sup>8</sup> qui, du fait de leur morphologie intrinsèque, dévie le plan de polarisation de la lumière de 90°. Elle traverse également un filtre de couleur, le rouge par exemple, prenant la couleur de celui-ci. Elle arrive enfin sur un second polariseur dont le plan de polarisation est parallèle au sien ; elle peut donc le traverser, et l'utilisateur voit sur son écran le pixel rouge allumé.

Quand les cristaux liquides sont soumis à une différence de potentiel entre les deux couches

d'alignement (**Figure 9B**), leur morphologie est modifiée, et dans ce cas, le plan de polarisation de la lumière n'est plus dévié lors de leur traversée. La lumière prend la couleur rouge à la traversée du filtre de couleur, mais son plan de polarisation est dans ce cas perpendiculaire à celui du deuxième polariseur et elle ne peut plus le traverser. L'utilisateur voit alors sur son écran le pixel rouge éteint.

Si le principe de fonctionnement semble simple, il reste néanmoins de nombreux problèmes à résoudre dont les solutions feront appel à la chimie. En effet, lorsque la lumière polarisée traverse le filtre de couleur, les pigments qui le composent ont une certaine taille de grain qui est voisine de la longueur d'onde de la lumière. Cela conduit à des effets de diffusion donnant lieu à une dispersion du plan de polarisation de la lumière dans tous les sens. Le deuxième polariseur voit alors son rôle de filtre amoindri car une partie de cette lumière arrive à traverser le dernier filtre polariseur. Le

8. Un cristal liquide est intermédiaire entre un liquide et un solide cristallisé.

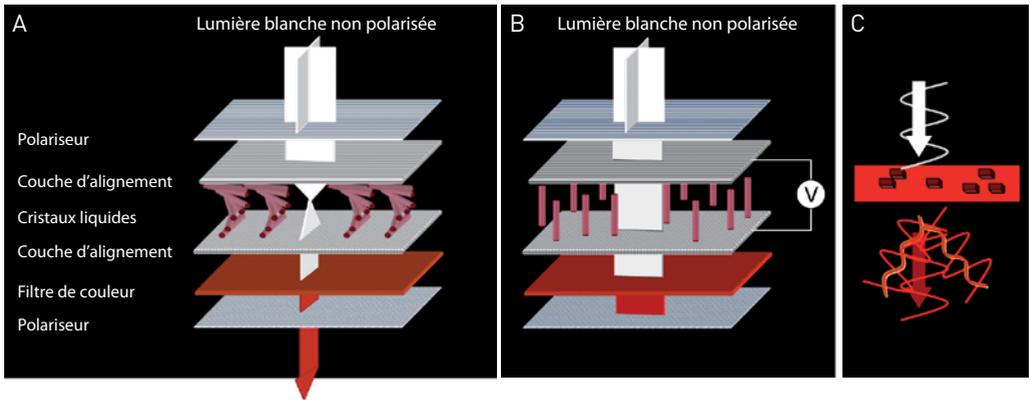


Figure 9

Schéma du trajet d'une lumière blanche non polarisée à travers les différents constituants du pixel : sans voltage (A), avec voltage (B) appliqué sur les cristaux liquides ; lumière blanche traversant le filtre de couleur possédant des pigments peu performants (C).

Source : BASF.

contraste de l'écran est diminué (Figure 9C). Il faut donc rendre ces pigments plus performants afin d'augmenter ce contraste.

4.2. Amélioration des performances des filtres de couleur

Il faut d'abord microniser les pigments bruts afin d'atteindre des tailles de grains extrêmement petites, de l'ordre 50-70 nanomètres. C'est un procédé extrêmement complexe

pour lequel BASF a acquis une compétence unique, en particulier pour le pigment rouge. Après des traitements de surface de grains, le pigment est mélangé à des dispersants pour être mis en solution. On ajoute alors à cette solution des photo-initiateurs et des monomères qui permettent de fixer la résine lorsqu'elle sera appliquée sur les plaques de verre utilisées comme substrat pour les écrans (Figure 10).

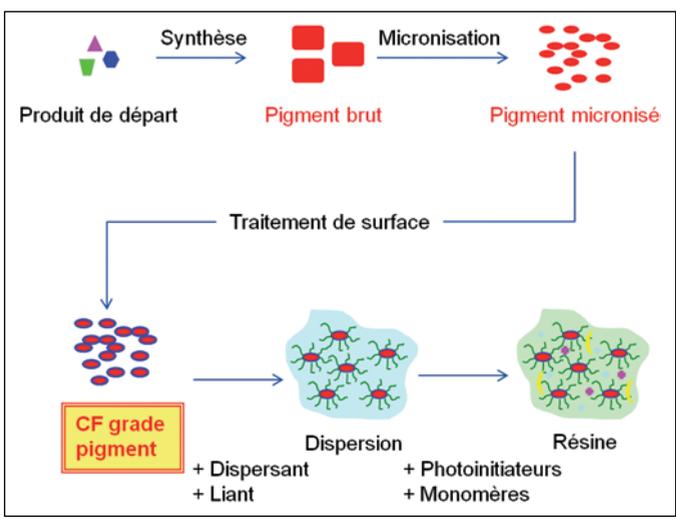


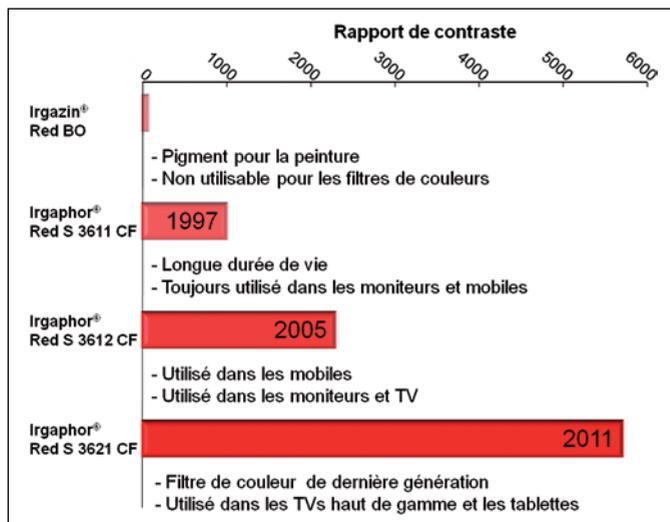
Figure 10

Schéma des différentes étapes de synthèse de la résine pour filtre coloré.

Source : BASF.

Figure 11

L'amélioration des contrastes par les filtres de couleurs BASF au cours des années.



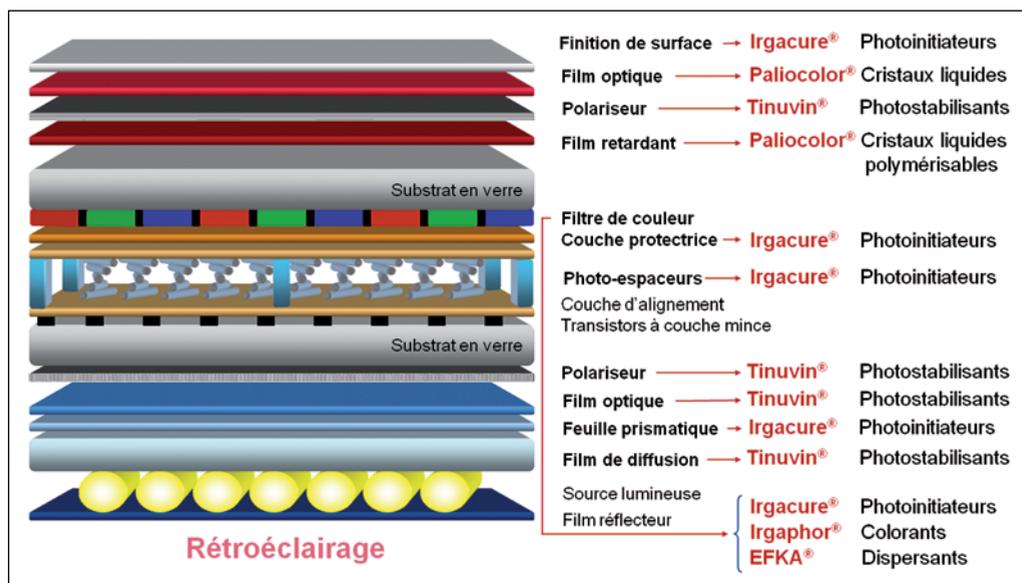
La chimie intervient de manière importante dans chacune des étapes de la fabrication d'une résine colorée performante : chaque dispersant, chaque liant, chaque photo-initiateur a nécessité une mise au point.

La **Figure 11** résume l'histoire des recherches menées par BASF pour fabriquer des filtres colorés performants. Les recherches, commencées dans le milieu des années 1990<sup>9</sup>, ont permis la sortie en 1997 d'un premier filtre de couleur rouge très performant et de longue durée de vie. Ce pigment rouge est toujours utilisé dans les téléphones et les moniteurs bas de gamme. En 2005 une deuxième génération de filtres de couleur rouge est sortie des laboratoires de BASF dans lequel le rapport de contraste est doublé. Elle est

abondamment utilisée dans les mobiles, ordinateurs portables et les télévisions. Enfin, il y a deux ans, le groupe a sorti un nouveau pigment : ce filtre de couleur de dernière génération, dont l'étape cruciale de micronisation est effectuée en France, est utilisé dans quasiment toutes les télévisions haut-de-gamme et dans les tablettes.

La chimie au service de l'amélioration des performances des écrans LCD ne se limite pas aux filtres colorés. D'autres composés chimiques interviennent dans la fabrication des constituants d'un écran LCD comme on le voit sur la **Figure 12**. Pour réaliser les différentes couches, différents types de produits sont utilisés : des photo-initiateurs, des photo-stabilisants (pour éviter l'altération des matériaux des composants sous l'impact de la lumière), des cristaux liquides polymérisables, des colorants et des dispersants.

9. Ces recherches ont été entreprises dans les laboratoires de CIBA qui fait partie intégrante du groupe BASF depuis 2009.



### 4.3. La technologie OLED

Les objectifs et avantages de la technologie OLED (« *Organic Light-Emitting Diode* »),<sup>10</sup> sont de remplacer les filtres de couleur par des émetteurs de couleur, c'est-à-dire de faire émettre aux petits pixels leur propre lumière pour supprimer le rétroéclairage. Dans ce cas, les cristaux liquides ne sont plus nécessaires, ni les polarisants, ni les transistors, et l'on économise ainsi beaucoup de place.

Cette technologie existe déjà et elle est utilisée dans les téléphones Samsung Galaxy, ainsi que dans les dernières générations de télévisions géantes, encore très coûteuses, mais qui seront d'ici quelque temps beaucoup plus abordables. Il faut rappeler également que la technologie

OLED est aussi en passe d'être largement utilisée pour l'éclairage. Elle offre véritablement beaucoup de nouvelles possibilités (la **Figure 13** permet d'en comprendre le principe de fonctionnement).

Sur un substrat transparent (qui peut être flexible) est déposée une couche anodique transparente, qui est généralement de l'oxyde d'indium et d'étain. On ajoute alors la couche émettrice de couleur et une couche métallique qui sert de cathode. Quand

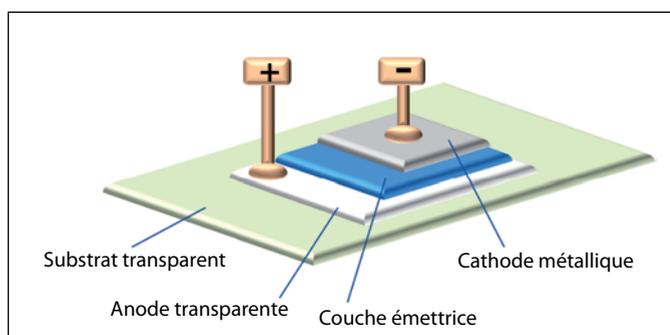
Figure 12

*Vue éclatée des différentes couches d'un écran et les différents produits de BASF.*

Source : BASF.

Figure 13

*Schéma d'un pixel OLED.*



10. Voir à ce sujet le **Chapitre de I. Cayrefourcq** dans *Chimie et technologies de l'information*.

on établit une différence de potentiel entre les deux électrodes, la couche émettrice crée de la lumière. BASF et beaucoup d'autres entreprises chimiques travaillent énormément à l'amélioration des performances de cette couche émettrice. L'industrie chimique est un réel moteur de cette technologie innovante dans laquelle sont investis des efforts financiers importants en recherche.

## **Les technologies de l'information et de la communication aiment la chimie !**

La contribution de la chimie aux technologies de l'information, bien que cachée, leur est pourtant essentielle et participe activement à leur essor. La chimie est intimement liée à l'industrie de l'électronique et aux nouvelles technologies. Toute l'industrie chimique s'attache à élaborer des produits toujours plus purs, toujours plus robustes, toujours plus performants et toujours plus innovants pour des applications qui sont toujours plus exigeantes.