

Les «mélangeurs statiques» sont bien adaptés aux problèmes de mélange des fluides complexes et visqueux : ils ne contiennent pas de pièces mobiles et ne sont en fait que des tuyaux à l'intérieur desquels sont disposés un ensemble de lamelles d'orientations variées (voir la figure 5). Deux écoulements de fluide différents, injectés côte à côte sont divisés et déviés par les lamelles, ce qui finit par les entremêler de plus en plus finement, jusqu'à ce que le mélange soit bon : ce processus ressemble à la dispersion transverse, où les filets de fluide sont divisés et entremêlés au fur et à mesure des passages d'un pore à un autre. Évidemment l'espacement entre les lamelles sera pris bien supérieur à la taille des pores dans une roche : sinon la dissipation d'énergie dans l'écoulement serait excessive, surtout dans le cas de fluides visqueux. On fait d'ailleurs une pierre deux coups, car on augmente simultanément la dispersion longitudinale et la dispersion transverse, et la largeur de la zone mélangée croît beaucoup plus rapidement.

Ces mélangeurs servent aussi à mélanger des suspensions de grains solides. En général, les méthodes de mélange des liquides s'appliquent mal aux mélanges granulaires secs et provoquent plutôt des ségrégations. En mettant les grains en suspension dans des liquides, on réalise des pâtes auxquelles on applique des techniques de mélange classique, quitte à sécher ensuite le mélange.

Séparation dans un poreux

Nous avons annoncé que les milieux poreux séparent parfois, au lieu de mélanger. C'est le cas en filtration, en microfiltration ou en ultrafiltration, où l'on bloque respectivement le transport de petites particules, de grosses molécules ou de virus. De façon générale, les milieux poreux sont utilisés chaque fois que l'on veut séparer des molécules différentes, en chimie et en biologie.

Ainsi, le chimiste qui effectue une séparation de molécules par chromatographie en phase liquide réalise en apparence une expérience de dispersion : il injecte un petit volume de mélange à séparer à l'entrée d'un milieu poreux (la colonne de chromatographie) où il établit un écoulement régulier d'un fluide porteur

(l'éluant). Comme pour la dispersion, un détecteur placé en fin de colonne analyse les variations des concentrations en divers composés dissous : on observe une succession de pics, souvent étroits, qui correspondent chacun à un composé du mélange.

Qu'est devenue la dispersion ? Elle est toujours là, mais c'est un parasite qu'on cherche à minimiser en réduisant la longueur des pas de la marche au hasard pour les composés du mélange dans le solide poreux. Les résultats précédents montrent que, à cette fin, le poreux doit être aussi homogène que possible, il doit présenter aucune strate, ni aucun chemin préférentiel, ce qui pose de difficiles problèmes techniques ; en outre, il doit être composé de grains très petits (quelques micromètres de diamètre). Des canaux aussi fins présentent une forte résistance à l'écoulement : on doit parfois appliquer des pressions de quelques centaines d'atmosphères pour obtenir une vitesse d'écoulement notable. Une vitesse d'écoulement trop faible finirait par rendre sensible l'influence de la diffusion moléculaire et conduirait à des temps de mesure prohibitifs. Une vitesse excessive augmenterait la dispersion.

Ainsi, dès qu'on regarde l'écoulement dans une colonne chromatographique à une échelle un peu plus grande que la taille des grains microscopiques qui emplissent la colonne, on constate qu'il est parfaitement uniforme sur toute la section de la colonne, et non parabolique, comme dans un tuyau simple.

La chromatographie hydrodynamique permet de séparer des particules de tailles variables en suspension dans un liquide que l'on fait circuler dans un milieu poreux dont les canaux sont plus larges que la taille des particules. Ce sont paradoxalement les plus grosses particules qui arrivent en tête, parce qu'elles doivent emprunter les canaux les plus larges où la vitesse est grande ; les plus petits objets «perdent du temps» dans les canaux étroits ou dans les zones de faible vitesse, près des parois.

Mélangeurs statiques industriels et colonnes de séparation chromatographique ne sont donc pas si différents, malgré leurs objectifs opposés : ils diffèrent surtout par la taille des pores, la façon dont les fluides sont injectés et l'interaction des composants en écoulement et des parois solides.

Le désordre «figé» d'un milieu poreux ou d'un mélangeur statique peut donc assurer le mélange tout comme le désordre perpétuellement changeant d'un écoulement turbulent. Pour mieux comprendre la différence de fonctionnement entre ces deux situations, revenons à l'exemple du mélange que crée la petite cuiller dans le bol de café au lait, et qui est bien adaptée aux fluides peu visqueux. Ce mélange turbulent fait intervenir de multiples échelles de tailles caractéristiques, allant de la taille globale de l'écoulement (celle du bol) à celle des plus petits tourbillons. Pour obtenir un bon mélange, on doit veiller à ce que cette interpénétration soit réalisée jusqu'aux plus petites échelles, où la diffusion assure le mélange.

C'est la combinaison de ces mouvements désordonnés qui conduit à un mélange efficace. Dans un milieu poreux homogène, le mélange est dominé par la seule taille caractéristique des grains et sera peu efficace, ce qui permettra d'obtenir de bonnes séparations en jouant sur l'interaction variable des espèces à séparer et des grains du milieu. En revanche, dans les solides poreux usuels, il existe des hétérogénéités à des échelles de tailles supérieures à celle des grains, qui réalisent une interpénétration des fluides sur une échelle supérieure, ce que font également les écoulements turbulents.

Bien que l'on soit encore loin d'un modèle universel du mélange, que nous avons nommé GUM (pour «grande unification du mélange»), dans un congrès international de notre discipline, certaines caractéristiques communes applicables à des systèmes très différents permettent de mieux comprendre et d'améliorer les opérations de mélange... et de séparation.

Étienne GUYON est directeur de l'École normale supérieure, à Paris. Jean-Pierre HULIN est directeur de recherche au CNRS ; il travaille au Laboratoire Fast de l'Université Paris Sud, à Orsay.

Étienne GUYON et Jean-Pierre HULIN, *Granites et fumées, un peu d'ordre dans le mélange*, Éditions Odile Jacob, 1998.

U. OXAAL, E.G. FLEKKOY et J. FEDER, *Irreversible Dispersion at a Stagnation Point : Experiments and Lattice Boltzmann Simulations*, in *Physical Review Letters*, vol. 75, p. 3514, 1994.

Les écrans plats

ALAN SOBEL

Après des décennies de perfectionnements, les écrans à plasma sont devenus lumineux, de grande taille et si plats qu'on peut les accrocher au mur. Les ingénieurs cherchent maintenant à réduire leur prix.

Le téléviseur est probablement l'appareil électronique le plus répandu au monde. Dans les pays industrialisés, presque tous les foyers ont un poste, et, dans beaucoup de pays, les téléviseurs sont plus nombreux que les téléphones.

Pourtant ces appareils restent très imparfaits : ils sont encombrants, lourds et fragiles. Pis encore, les écrans sont petits : les tubes cathodiques dont la diagonale mesure plus d'un mètre sont onéreux, très lourds (plusieurs centaines de kilogrammes) et si encombrants qu'ils ne passent plus par les portes. De ce fait, les plus grands écrans actuels utilisent des systèmes de projection moins lumineux et dont les angles de vue sont inférieurs à ceux des tubes cathodiques.

Avec l'arrivée imminente de la télévision en haute définition (TVHD), la mise au point de grands écrans devient une urgence industrielle. La nouvelle technique de diffusion, disponible au Japon et présente en Europe et aux États-Unis, permet la réception d'images plus précise que celle des systèmes classiques. Toutefois les images ne seront appréciées des téléspectateurs que si elles apparaissent sur des écrans dont la diagonale est au moins égale à un mètre : de grands écrans permettront d'apprécier tous les détails et captiveront le spectateur comme le fait un écran de cinéma.

Afin de fabriquer ces grands écrans plats, des sociétés de plusieurs pays améliorent des techniques inventées il y a quelques années déjà. De toutes ces techniques, la seule qui soit proche de la viabilité commerciale est celle des écrans à plasma, aussi nommés écrans à décharge gazeuse : les ingénieurs de la Société NEC viennent de présenter un écran de 1,27 mètre de

diagonale pour la TVHD, au format 16/9. Les Sociétés Fujitsu, Mitsubishi, Toshiba et Plasmaco ont également présenté des écrans allant jusqu'à 1,056 mètre (42 pouces) de diagonale, au format 4/3 de la télévision habituelle comme au format 16/9 de la TVHD (dans le format 4/3 des téléviseurs classiques, la longueur de l'image est égale à 4/3 fois sa largeur ; le format 16/9 est plus proche du format du cinéma).

Réduire les prix

En juin 1998, un moniteur (sans récepteur ni haut-parleur) Fujitsu de 1,056 mètre de diagonale coûtait 100 000 francs : ils n'étaient achetés que par des sociétés. La Bourse de New York, par exemple, a installé un millier de ces écrans pour l'affichage des cours. Ces écrans apparaissent également dans les manifestations commerciales où l'image de marque est importante. Ils ne se démocratiseront toutefois que si la production augmente : s'ils sont produits en grande série, ces écrans coûteront moins de 6 000 francs.

Les industriels évaluent le marché potentiel de ces écrans à plusieurs centaines de millions d'unités, soit plusieurs centaines de milliards de francs. Aussi les entreprises japonaises mentionnées précédemment ont-elles investi près de six milliards de francs dans l'adaptation de leurs usines et dans la construction de nouvelles unités de production, tandis qu'elles s'alliaient à des sociétés américaines spécialisées dans la télévision. D'autres

1. LES ÉCRANS À PLASMA, minces et légers, ont une résolution suffisante pour afficher les images de haute définition qui seront produites selon les nouvelles normes.



Chris Burke, Questada/Burke Photography



Avec l'aimable autorisation de QFTV, Inc.

sociétés élaborent aussi des panneaux à plasma de grande taille, mais elles n'ont pas encore construit d'écran de diagonale supérieure à un mètre : les Sociétés *Philips* et *Thomson Tubes Électroniques*, par exemple, portent leur effort sur des écrans plus petits, de haute résolution.

Non seulement les écrans à plasma utilisent à plein les performances des nouvelles normes de télévision, mais ils concrétisent un vieux rêve des ingénieurs : plats et légers, ils s'accrocheront au mur comme un tableau. Au cours des années, plusieurs dispositifs plats de visualisation sont apparus, et quelques-uns, notamment les écrans à cristaux liquides, se sont imposés : dans les ordinateurs portables, dans les tableaux de bord d'avions et dans divers matériels électroniques. Cependant, seule la technique des écrans à plasma autorise la production d'écrans suffisamment grands pour l'affichage d'images très précises et changeant rapidement.

Le fonctionnement

Par de nombreux aspects, les écrans plats sont supérieurs aux tubes cathodiques, ainsi qu'aux systèmes de projection grand format (*voir les encadrés des pages suivantes*). Beaucoup moins lourds et moins encombrants, ils ont une résolution et une luminosité uniformes sur toute la surface d'affichage, tandis que les tubes cathodiques et les projecteurs ont une résolution moins bonne et sont moins lumineux sur les bords et dans les coins. Les écrans plats sont plus efficaces (la quantité de lumière produite pour une puissance donnée est supérieure) que des dispositifs de projection de même taille et ils consomment moins d'énergie qu'eux, mais ils demeurent moins efficaces que les tubes cathodiques.

Le principe des écrans plats qui semblent le mieux fonctionner ressemble à celui des tubes fluorescents : un gaz traversé par un courant électrique est ionisé, c'est-à-dire que ses atomes et ses molécules perdent des électrons (un gaz ionisé est nommé plasma). Dans les écrans à plasma, le gaz est généralement un mélange d'hélium et de xénon. Le gaz ionisé émet un rayonnement ultraviolet qui excite un luminophore déposé sur la paroi interne du dispositif. En se désexcitant, ce dernier émet de la lumière visible.

Cette émission de lumière se produit dans chacun des millions d'éléments d'image (les pixels) qui constituent la surface de l'écran. Chaque pixel est composé de trois cellules, et chaque cellule contient des électrodes ainsi que des composés photo-émissifs peints sur les parois, sur le fond et, parfois, à l'avant de la cellule.

Chaque cellule fonctionne comme un tube fluorescent dont la couleur rouge, bleue ou verte dépend du type de luminophore. Ces luminophores sont le plus souvent des oxydes dopés. Pour le rouge, on utilise, par exemple, un oxyde d'yttrium dopé avec de l'euporium. Le vert peut être émis par un oxyde de zinc et de silicium dopé avec du manganèse. Enfin, le bleu s'obtient avec un oxyde de baryum, d'aluminium et de manganèse, dopé avec de l'euporium.

Cette brève description ne montre pas pourquoi la mise au point des écrans à plasma est si difficile. L'ionisation des gaz, tout d'abord, pose des problèmes. Lorsque l'on crée une différence de potentiel entre deux électrodes placées dans un gaz, aucun courant ne circule tant qu'il n'y pas de particules chargées (ion ou électron) pour le transporter. Dès sa création, la première particule chargée se déplace dans le gaz sous l'action de la force engendrée par la différence de potentiel ; elle rencontre alors d'autres atomes et molécules, qu'elle ionise et qui, à leur tour, ionisent d'autres atomes. Ainsi augmente le courant transporté entre les électrodes. Lorsque les ions positifs du gaz captent des électrons, ils émettent de la lumière ultraviolette, visible et infrarouge.

Pour obtenir des écrans efficaces, on doit à la fois faciliter la création d'ions primaires et limiter le courant qui circule entre les électrodes. Pour fournir les premières particules chargées, les systèmes à plasma utilisent une décharge auxiliaire, de sorte que la commutation puisse avoir lieu plusieurs fois par seconde.

D'autre part, les cellules doivent être conçues de manière que le courant qui circule entre leurs électrodes n'augmente pas excessivement. Sans une limitation de courant, le gaz s'ioniserait totalement, sa résistance électrique diminuerait et la décharge se transformerait en un arc électrique qui détruirait la cellule.

Les signaux organisés

Les industriels fabriquent deux types d'écrans à plasma : les écrans à courant alternatif et les écrans à courant continu. Dans les écrans à courant alternatif, les plus répandus, le courant est limité grâce à la conception même des cellules : les deux électrodes situées dans chaque cellule sont séparées du gaz par une mince couche de matériau électriquement isolant, qui, comme un condensateur, ne peut être traversée que par un courant alternatif. En outre, ce condensateur limite le débit de courant et empêche la décharge de se transformer en arc.

Un écran à plasma ne se réduit pas à une série d'éléments lumineux : les ingénieurs doivent organiser la manière dont les signaux électriques commandent les cellules pour former des images. Comme pour tous les écrans plats, les cellules d'un panneau à plasma sont disposées selon un quadrillage. Les conducteurs électriques menant aux électrodes sont les lignes et les colonnes de ce quadrillage, dont chaque intersection comporte une cellule photo-émissive. Chaque conducteur est commandé par un circuit électronique qui émet le courant de commande.

Tous les écrans actuels étant des descendants des tubes cathodiques, de nombreuses techniques utilisées aujourd'hui pour la commande des écrans à plasma sont issues de leur vénérable ancêtre. Dans un tube cathodique, un faisceau d'électrons balaie l'écran. Le faisceau commence en haut à gauche, balaie une ligne vers la droite, pixel après pixel, descend d'un cran, puis balaie une nouvelle ligne, et ainsi de suite jusqu'à la ligne du bas, après laquelle il repart en haut de l'écran. Une image complète forme une trame, et le tube affiche 25 trames par seconde (30 en Amérique du Nord). Les écrans d'ordinateur, eux, sont «rafraîchis» 50 fois par seconde (60 fois aux États-Unis), que l'image soit modifiée ou non.

Avec leur arrangement matriciel et leurs cellules qui réagissent lentement, les écrans plats ne peuvent utiliser la technique de balayage des tubes cathodiques. Le signal commande l'affichage simultané de toutes les cellules d'une ligne, et une trame est obtenue par l'affichage de lignes successives.

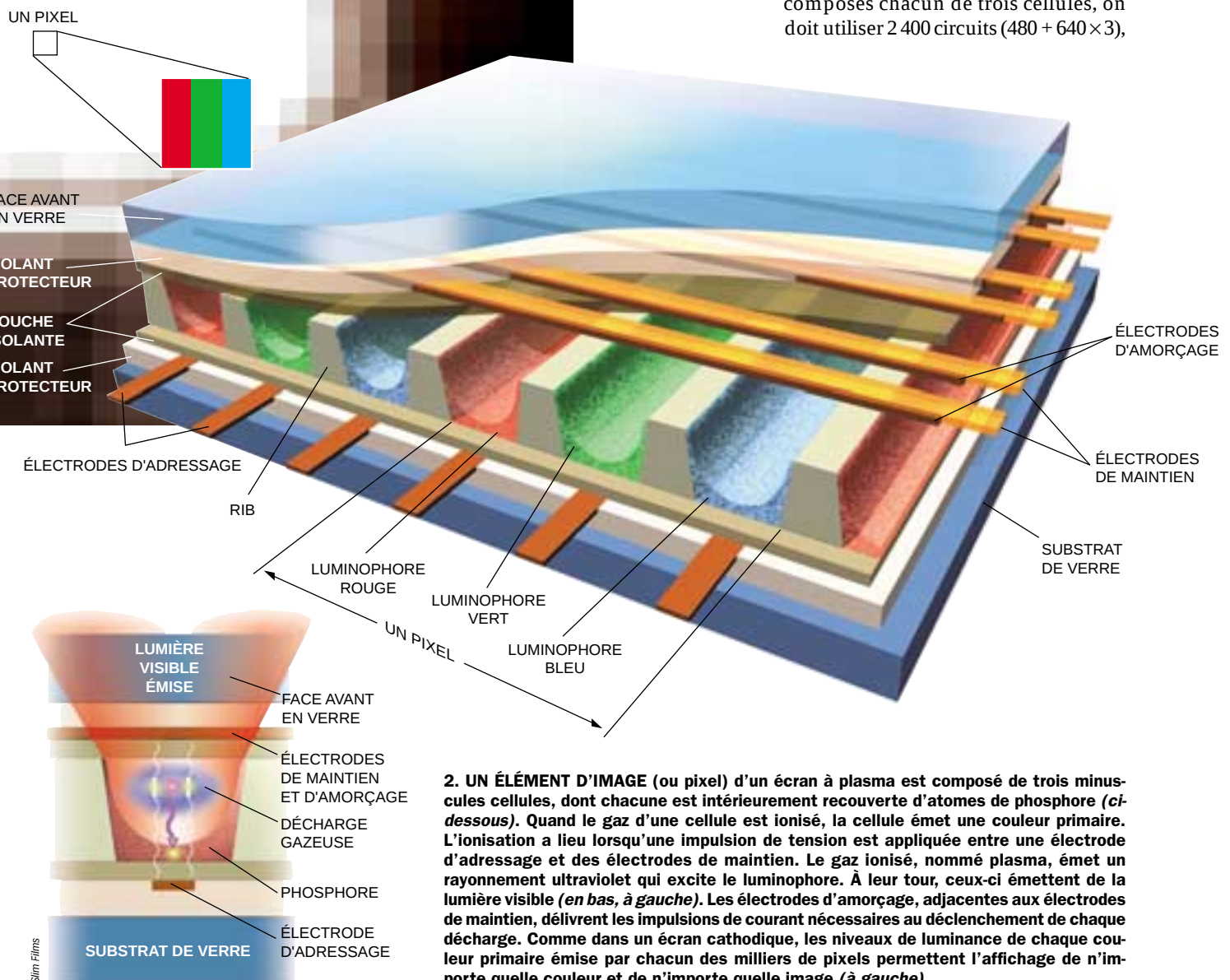
Dans un écran à plasma à courant alternatif, on applique des séries d'im-

pulsions de tension trop faibles pour déclencher une décharge. Cette tension est nommée «tension de maintien». Pour allumer une cellule particulière, on ajoute une tension (d'«excitation») à la ligne et à la colonne correspondante. Le courant qui circule charge alors le

condensateur de la cellule ; puis l'accumulation de charges produit une tension de sens contraire à la tension d'excitation, la décharge s'arrête ainsi que l'émission de lumière. Lors de l'impulsion suivante, de polarité opposée, l'effet de la charge résiduelle

s'ajoute à celui de la tension de maintien, et la cellule s'allume de nouveau. Elle reste allumée aussi longtemps que cette tension de maintien est appliquée. Chaque décharge ne dure qu'une microseconde environ et n'émet qu'une faible quantité de lumière, mais comme le nombre d'impulsions par seconde atteint 50 000, la quantité totale de lumière émise peut être notable.

On éteint une cellule en appliquant une tension qui réduit la charge électrique déposée sur les condensateurs. D'autre part, on règle la brillance des cellules en commandant le temps pendant lequel elles restent allumées. Ce système a un inconvénient, commun aux écrans plats : on doit disposer de très nombreux circuits de commande autour de l'écran. Ainsi, pour un écran classique d'ordinateur, avec ses 480 lignes et ses 640 colonnes de pixels, composés chacun de trois cellules, on doit utiliser 2 400 circuits ($480 + 640 \times 3$),



2. UN ÉLÉMENT D'IMAGE (ou pixel) d'un écran à plasma est composé de trois minuscules cellules, dont chacune est intérieurement recouverte d'atomes de phosphore (ci-dessous). Quand le gaz d'une cellule est ionisé, la cellule émet une couleur primaire. L'ionisation a lieu lorsqu'une impulsion de tension est appliquée entre une électrode d'adressage et des électrodes de maintien. Le gaz ionisé, nommé plasma, émet un rayonnement ultraviolet qui excite le luminophore. À leur tour, ceux-ci émettent de la lumière visible (*en bas, à gauche*). Les électrodes d'amorçage, adjacentes aux électrodes de maintien, délivrent les impulsions de courant nécessaires au déclenchement de chaque décharge. Comme dans un écran cathodique, les niveaux de luminance de chaque couleur primaire émise par chacun des milliers de pixels permettent l'affichage de n'importe quelle couleur et de n'importe quelle image (*à gauche*).

quelle que soit la taille matérielle de l'écran (en comparaison, un tube cathodique n'a que deux circuits pour commander les déviations horizontales et verticales du faisceau, et trois circuits de modulation, un pour chaque couleur). Même avec la diminution du coût des circuits intégrés, ceux-ci sont si nombreux que les écrans à plasma restent chers.

Dans les écrans à plasma à courant continu, le courant est également appliqué par impulsion, mais les impulsions ont toutes la même polarité. Différents systèmes sont testés, mais, aujourd'hui, le seul grand écran à courant continu a été mis au point par les Laboratoires NHK (le centre public japonais de recherches en télé-

communication). Ces derniers ont présenté un écran de 1,056 mètre de diagonale, avec une bonne luminance et un bon contraste, mais ce système demeure lourd et moins efficace que les écrans à courant alternatif. De plus, il chauffe de manière excessive, et sa structure complexe le rend coûteux à fabriquer.

Un autre problème concerne la durée de vie. L'électrode négative (la cathode) s'use : soumis à un bombardement continu, les atomes sont éjectés de la cathode et se redéposent partout sur l'intérieur de la cellule. Le problème est plus gênant avec les écrans à courant continu, car le matériau pulvérisé est un métal et non un isolant, de sorte que des courts-

circuits peuvent se produire. À la longue, la cellule s'assombrit et l'écran devient moins lumineux.

Un groupe de Saint-Petersbourg a présenté un autre dispositif à courant continu, qui semble prometteur : cet écran est constitué d'un assemblage de morceaux de 20 centimètres carrés de côté, comportant chacun 64×64 pixels. Les raccords, très fins, sont quasi invisibles. Chaque morceau étant piloté de façon indépendante, la luminance de l'écran est indépendante de sa taille, ce qui n'est pas le cas pour l'écran japonais, où la luminance est inversement proportionnelle au nombre de lignes. Cette structure composite ouvre la voie aux écrans de très grande dimension.

Grands, lumineux et organiques

Parmi les nombreuses structures d'écrans plats, celle des écrans électroluminescents organiques semble particulièrement prometteuse : les molécules photoémissives sont ici des molécules organiques, c'est-à-dire composées d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Avec leurs couches actives 1 000 fois plus minces qu'un cheveu, ces dispositifs ont été présentés pour la première fois il y a juste dix ans. Les meilleurs d'entre eux, beaucoup plus brillants que les tubes cathodiques des téléviseurs actuels, fonctionnent sous une tension inférieure à dix volts durant des dizaines de milliers d'heures. Suffisamment rapides pour afficher des films vidéo, les matériaux organiques sont des composants de choix pour les écrans d'ordinateurs et de télévision de demain.

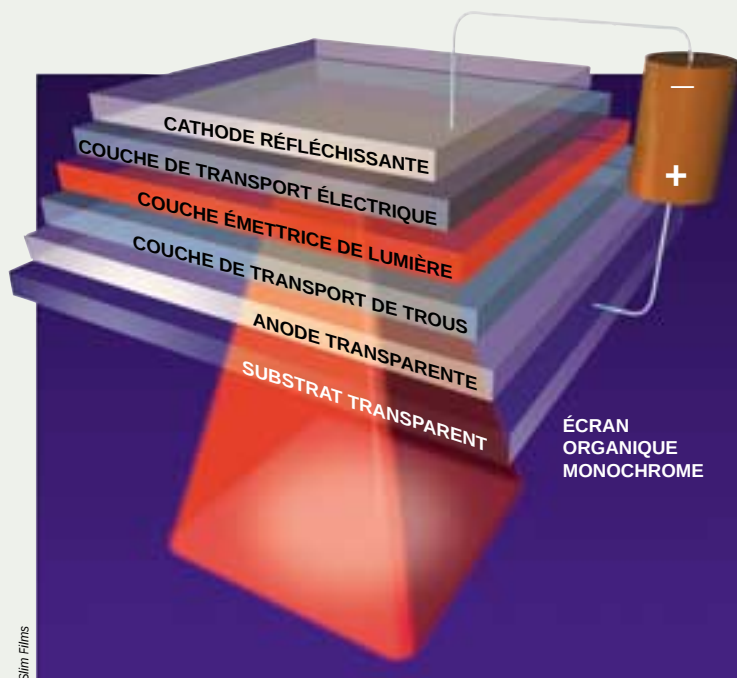
Ces appareils ont des caractéristiques étonnantes. Notamment les faibles liaisons qui s'exercent entre les molécules organiques permettent de les déposer sur des substrats plastiques minces et flexibles. Les écrans peuvent ainsi être roulés ou moulés sur des contours variés. Les couches actives et leurs supports plastiques sont si légers que le poids d'un écran d'ordinateur portable pourrait, en théorie, être réduit à une centaine de grammes.

Pour l'instant, l'écran le plus grand mesure 12,5 centimètres de diagonale, mais, en raison du faible coût des matériaux utilisés, on imagine un mur recouvert d'un écran organique géant. Les potentialités de ces matériaux intéressent des Sociétés comme *Eastman Kodak* ou *Motorola*, qui ont investi des milliards de francs dans des programmes de recherche appliquée, mais aussi de petites sociétés spécialisées.

De la lumière, naturellement

La plupart des écrans organiques comportent trois couches de semi-conducteurs organiques : la couche de transport électronique, la couche émettrice de lumière et la couche de transport de trous. Ces couches sont entou-

rées par une cathode et une anode (voir la figure ci-dessous). Les particules négativement chargées (les électrons) et les porteurs de charges positives (les trous, qui correspondent à l'absence d'un électron) sont émis respectivement par la cathode et par l'anode sous l'action du champ électrique. Ils passent alors dans la région émettrice de lumière, où ils se recombinent, formant ce que l'on nomme des excitons. Ces derniers, électriquement neutres, sautent d'une molécule à l'autre et se dés excitent en quelques milliardièmes de seconde, émettant un photon dont l'énergie détermine la couleur. En choisissant une molécule adéquate pour la couche émettrice, on obtient de la lumière rouge, verte ou bleue. Selon la configuration des



Encore des difficultés

Nous l'avons vu, l'obstacle principal à la réalisation des écrans matriciels est le grand nombre de circuits de commande nécessaire : un pour chaque ligne et pour chaque colonne, plus un autre pour activer les électrodes au bon moment. Pour les écrans à plasma, ce problème est aggravé par les tensions élevées (de l'ordre de 100 volts) que doivent supporter les circuits intégrés. De surcroît, ces circuits doivent résister à l'intense impulsion de courant qui circule au début de chaque décharge. Pour cette raison, les systèmes électroniques de ces écrans coûtent plus cher que ceux des systèmes de visualisation concurrents. Ce coût

diminuera cependant avec le volume de production.

Un autre problème récurrent des écrans à plasma est l'usure : le bombardement ionique détruit progressivement le revêtement luminescent, ce qui réduit son efficacité lumineuse. Naguère, ce phénomène limitait la durée de vie des appareils à 10 000 heures, mais aujourd'hui certains constructeurs annoncent des durées de vie de 30 000 heures, analogues à celles des tubes cathodiques ; après cette période, la luminance est inférieure à la moitié de la luminance initiale. Pour allonger la durée de vie des écrans, les constructeurs maintiennent la décharge éloignée des luminophores.

L'efficacité et la luminance des panneaux à plasma à courant alternatif s'amélioreront. Aujourd'hui, l'efficacité est de un lumen par watt environ, et elle augmente. La luminance est en train de dépasser 100 candelas par mètre carré, et un constructeur a annoncé 300 candelas par mètre carré, valeur peu inférieure aux 350 candelas par mètre carré habituels dans les écrans de télévision à tube cathodique. Les écrans de télévision doivent être plus lumineux que les écrans d'ordinateurs, parce qu'ils sont plus loin de l'utilisateur et qu'ils doivent apparaître lumineux, même dans des pièces éclairées.

La luminance des écrans à plasma, qu'ils utilisent du courant alternatif

couches, la cathode ou l'anode doit être transparente pour que la lumière atteigne l'observateur.

Avec les deux électrodes transparentes (en oxyde d'étain et d'indium, par exemple), on peut imaginer des applications nouvelles, comme des vitres écrans où l'image serait visible des deux côtés de l'écran.

Les composés organiques peuvent aussi être des polymères, c'est-à-dire de longues chaînes composées de nombreuses sous-unités identiques (parfois plus de 100 000). Les écrans à polymères mis au point par cette méthode sont presque aussi lumineux que leurs cousins qui utilisent de petites molécules déposées sous vide, mais leur durée de vie est dix fois inférieure, en partie parce qu'on les purifie moins bien.

Applications commerciales

De tous les écrans organiques, le plus avancé émet une lumière verte. Son efficacité et sa durée de vie sont

supérieurs à ceux des appareils qui émettent dans le rouge ou dans le bleu. Son efficacité lumineuse est de 18 lumens par watt, soit cinq à dix fois supérieure à celle d'un afficheur à cristaux liquides, mais quatre fois inférieure à celle d'un tube cathodique. Protégé hermétiquement de la vapeur d'eau, un écran organique conserve pendant des dizaines de milliers d'heures une luminance supérieure à 50 pour cent de la luminance initiale. La principale difficulté concerne la surchauffe, mais on devrait bientôt disposer de matériaux émettant efficacement dans le rouge et dans le bleu sans chauffer trop.

Les écrans organiques monochromes émettant dans le vert commencent à être commercialisés. La Société Pioneer vend aussi un écran organique monochrome de 2,5 centimètres de hauteur et de 10 centimètres de large, qui affichera des informations de navigation dans les automobiles.

Ces écrans monochromes préfigurent les écrans organiques du futur. En empilant trois couches organiques transparentes, chacune émettant une couleur particulière, rouge, bleue et verte, nous avons produit n'importe quelle combinaison de ces trois couleurs (voir le schéma, à gauche). Ces couches organiques empilées pourraient remplacer les architectures classiques d'écrans couleur, où les pixels (éléments d'image) rouges, verts et bleus sont juxtaposés sur une seule couche.

Dans la configuration empilée, la définition est bien meilleure qu'avec les tubes cathodiques ou même qu'avec les écrans à plasma, où trois pixels, un bleu, un rouge et un vert, sont nécessaires pour chaque point d'image. Dans la structure empilée, chaque pixel peut émettre n'importe quelle couleur : on triple ainsi la résolution du dispositif, tout en éliminant des zones sombres inutiles entre les pixels. De surcroît, cet empilement de couleurs donne un affichage en couleurs quelle que soit la distance à l'écran, parce que l'œil n'a pas à résoudre de problèmes de proximité de pixels.

Paul BURROWS et Stephen FORREST, Université Princeton,
Mark THOMPSON, Université de Californie du Sud



Les concurrents

Aujourd'hui, les écrans à plasma dominent le marché des grands écrans, mais plusieurs autres techniques s'améliorent parallèlement.



Panasonic Consumer Electronics

Les projecteurs. Les systèmes de projection ne sont pas des écrans que l'on accroche au mur, mais ils affichent de très grandes images. L'image projetée provient soit d'une tête constituée de trois tubes cathodiques monochromes mesurant 180 à 230 millimètres de diamètre, soit d'une source qui émet une lumière intense à travers trois «valves optiques» (des projecteurs de diapositives électroniques).

Plus massifs que des panneaux à plasma, les projecteurs ont une résolution si médiocre qu'on n'envisage pas leur utilisation pour la télévision en haute définition.

Les tubes cathodiques. Gros, lourds et gourmands en énergie, les tubes cathodiques modernes résultent de 50 ans de perfectionnements. Leurs principaux défauts sont leur taille limitée (la diagonale est inférieure à 90 centimètres) et leur encombrement.

Les cristaux liquides. Ces écrans se sont imposés avec les ordinateurs portables. Pour satisfaire une demande croissante, l'industrie améliore sans cesse la résolution, les angles de vue, la couleur et l'efficacité de ces écrans. Les meilleurs d'entre eux, ceux à matrice active, sont composés de cellules commandées chacune par un commutateur électronique (un transistor en couches minces). Cette configuration augmente le coût, mais améliore les performances. De grands écrans sont à l'étude. Par exemple, la Société Sharp a présenté un écran couleur de 1,015 mètre de diagonale, mais le coût augmente considérablement avec la taille. En outre, les cristaux liquides sont peu appropriés pour la télévision, parce que leurs cellules réagissent lentement.

Les cristaux liquides adressés par plasma sont des hybrides intéressants. Inventés par la Société Tektronix, ils sont aujourd'hui perfectionnés par les Sociétés Sony, Sharp et Philips. On allume une

ligne en ionisant de minces canaux remplis de gaz (moins onéreux que des transistors). Comme dans la plupart des écrans à cristaux liquides classiques, on commande les cellules individuelles en commandant la tension des électrodes de colonnes. Cette approche est particulièrement intéressante pour les grands écrans. Des panneaux de 1,065 mètre ont déjà été présentés lors de salons. La luminance est excellente, mais, malheureusement, l'affichage d'images animées souffre des problèmes inhérents aux cristaux liquides et l'angle de vue est un peu inférieur à celui qu'on obtient sur certains autres écrans à cristaux liquides.



Stanley

Les diodes électroluminescentes. Ce sont des composants semi-conducteurs où les électrons et les trous (une absence d'électron) sont injectés dans une région où ils se recombinaient en émettant de la

lumière (et un peu de chaleur). Après des années de recherches, on sait construire des diodes bleues et l'on peut concevoir des écrans en couleur à diodes. Ces écrans sont constitués de plusieurs milliers de pixels, chacun comportant une diode rouge, une diode verte et une diode bleue. Ces écrans peuvent mesurer plusieurs mètres de large et sont suffisamment lumineux pour être vus en plein jour. Leur prix élevé restreint toutefois leur utilisation aux grandes manifestations.



Planar

Les panneaux électroluminescents. Dans ces écrans, une mince couche d'atomes photo-émisifs est en sandwich entre deux couches isolantes. Une différence de potentiel entre les deux couches externes crée des électrons entre l'isolant et le phosphore ; ces électrons émettent de la lumière comme les électrons des tubes cathodiques. Les écrans à couches minces



Fujitsu Microelectronics

3. CET ÉCRAN À PLASMA MESURE 1,056 mètre de diagonale et coûte environ 100 000 francs. Avec une épaisseur inférieure à 15 centimètres et une masse de 40 kilogrammes, cet écran, affiche 16,7 millions de couleurs et préfigure la télévision de demain.

ou du courant continu, est suffisante pour beaucoup d'applications, mais elle demeure inférieure à celle des tubes cathodiques. Comment l'augmenter ? Si l'on augmente la puissance, on se heurte à des augmentations rédhibitoires du prix des circuits de commande et des alimentations. Aujourd'hui, les ingénieurs explorent deux directions : ils cherchent à augmenter le nombre de photons produits à chaque décharge et à améliorer l'efficacité de conversion des photons ultraviolets en photons visibles.

Comme pour tout produit technique, le succès commercial d'un écran tient autant à l'invention proprement dite qu'à l'amélioration des techniques de production. Un appareil révolutionnaire, mais trop cher pour être compétitif ne peut réussir : les bonnes idées périssent, sauf quand

électroluminescentes sont robustes, possèdent de grands angles de vue et une longue durée de vie. S'ils demeurent chers, petits et monochromes, ils se sont néanmoins imposés pour plusieurs applications.



Les écrans à émission de champ. Il y a 20 ans, des chercheurs de l'Université Stanford ont montré que de faibles tensions électriques appliquées à des pointes de molybdène ou d'autres métaux réfractaires créent des champs électriques suffisamment intenses pour extraire des électrons du métal à la température ambiante. Cette émission électronique «de cathode froide» est aujourd'hui le fondement d'un dispositif de visualisation sans tube qui utilise plusieurs cathodes par pixel.

À l'époque où l'émission de pointe fut découverte, on ignorait comment réaliser industriellement ces cathodes. Les progrès de la micro-électronique et de la physique des matériaux ont résolu le problème. La Société française *PixTech* commercialise les premiers écrans à émission de champ ; des sociétés américaines la suivent.

La Société *Canon* vient d'annoncer un autre type de cathode, qui faciliterait la fabrication de ces écrans. On évite de sculpter des pointes microscopiques sur du silicium monocristallin en créant une mince bande isolante entre deux zones métalliques (qui servent d'électrodes) déposées sur du verre. Si ce dispositif fonctionne comme prévu, des cathodes de n'importe quelle taille pourraient être réalisées par des systèmes bon marché analogues aux imprimantes à jets d'encre.

Si de nombreux problèmes demeurent, les écrans à émission de champ sont de sérieux concurrents des écrans à cristaux liquides, pour les écrans de petites dimensions. Pour ce qui concerne les grandes dimensions, ce seront peut-être même des concurrents des écrans à plasma.



Les écrans fluorescents. Ces écrans, qui s'inspirent d'une idée ancienne, sont des sortes de tubes cathodiques plats fonctionnant à basse tension. Les électrons émis par des filaments cathodiques froids sont dirigés vers des atomes qui émettent de la lumière avec un bon rendement malgré la basse tension. Les pixels peuvent être sélectionnés et allumés par un réseau de grilles métalliques situées entre les cathodes et les phosphores. Ces dispositifs fluorescents sous vide sont souvent utilisés pour les horloges de voitures, dans les affichages de fours et, aussi, pour les magnétoscopes. Par cette technique, les ingénieurs n'ont, pour l'instant, réalisé que de petits affichages.

elles sont soutenues par des entreprises qui disposent de fonds importants et qui jouissent d'un soutien d'État.

Les entreprises japonaises bénéficient aujourd'hui de leur volonté et des investissements effectués depuis 30 ans. Elles doivent aussi beaucoup à l'inventivité de leurs ingénieurs et de leurs ouvriers, qui ont assidûment perfectionné les techniques de production. Pour ces raisons, les usines d'écrans de visualisation sont pour la plupart en Asie.

L'amélioration de ces écrans est un travail motivant, source d'idées novatrices. De nouvelles techniques apparaissent, alors même que les anciennes s'améliorent. Ces écrans, qu'ils soient à plasma ou issus d'une autre technique, sont des éléments primordiaux de l'interaction entre les humains et les machines de demain.

Alan SOBEL, consultant à Evanston (Illinois), travaille depuis 35 ans dans le domaine de l'affichage électronique.

Flat-Panel Displays and CRTs, sous la direction de Lawrence E. Tannas, Jr., Van Nostrand Reinhold, 1985.

Electro-optical Displays, sous la direction de M. Karim, Marcel Dekker, 1992.

T. MAKINO et al., *Improvement of Video Image Quality in AC-Plasma Display Panels by Suppressing the Unfavorable Coloration Effects with Sufficient Gray Shades Capability*, in *Asia Display*, 1995.

Display Systems: Design and Applications, sous la direction de Lindsay W. MacDonald et Anthony C. Lowes, Wiley SID series in display technology, published in association with the Society for Information Display, John Wiley & Sons, 1997.

Display Systems: Design and Applications, sous la direction d'A. Lowe, John Wiley & Sons, 1997.

