

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