

L'utilisation des molécules amphiphiles (qui possèdent à la fois des groupements hydrophiles et lipophiles) remonte aux temps les plus reculés de l'antiquité. En effet, l'action d'un milieu alcalin sur la graisse donne du savon qui, de tout temps, a été un produit de première nécessité que l'on stocke en période d'incertitude au même titre que le sucre ou les féculents. Le savon est donc probablement le plus ancien produit chimique industriel. On s'est aperçu, depuis, que les savons appartiennent à une famille plus vaste de molécules, dites amphiphiles qui constituent notamment la base des organisations biologiques, et dont on peut faire varier la structure et les propriétés dans une large mesure.

L'industrie chimique utilise abondamment ces molécules qui ont des propriétés tensioactives dans pratiquement tous les domaines d'application. De la détergence aux spécialités chimiques en passant par les domaines phytosanitaire, agro-alimentaire, cosmétique et pharmaceutique, aucune application n'échappe à la nécessité d'utiliser ces molécules dont les propriétés permettent des formulations de plus en plus élaborées. C'est, en effet, dans ce domaine de la formulation que l'intérêt des molécules tensioactives apparaît le plus évident.

L'industrie chimique a vécu et vit encore des transformations profondes. Parmi ces évolutions notables, on peut citer l'importance grandissante des produits formulés par rapport aux matières brutes. L'évolution des habitudes des consommateurs, les efforts de commercialisation et les enjeux de protection industrielle vis-à-vis, entre autres, des pays où la production massive de produits chimiques de base se fait à un coût réduit, font prendre à la formulation un rôle de plus en plus prédominant dans la conception d'un produit fini.

Nous avons assisté, ces dernières années, à des évolutions qui, si elles paraissent banales pour le consommateur, posent des problèmes importants aux formateurs. Par exemple, l'apparition et le succès des lessives liquides a entraîné des modifications profondes des formules de détergent. Certaines améliorations techniques mises au point pour les poudres, par exemple l'addition d'enzymes, ne sont pas

compatibles avec la forme liquide. Citons aussi, dans un autre domaine, la suppression quasiment systématique des solvants organiques dans les peintures, les colles et même les bitumes ! De simples modifications d'emballage peuvent entraîner des problèmes complexes de formulation : l'apparition de formes concentrées pour les adoucissants textiles fait apparaître des problèmes de viscosité pas toujours faciles à maîtriser. Dans le domaine phytosanitaire, des molécules de plus en plus actives sont apparues mais leur solubilité et, dans une certaine mesure, leur biodisponibilité sont de plus en plus limitées. Enfin, on assiste à une transformation dans

## *Les molécules amphiphiles : la recherche de pointe est-elle la clé du développement industriel ?*

l'industrie pharmaceutique qui redonne une certaine noblesse à l'activité galénique par rapport à la synthèse de nouvelles molécules. En effet, ne vaut-il pas mieux reformuler des molécules actives connues en leur donnant une « seconde vie » plutôt que d'essayer de mettre sur le marché, avec les difficultés législatives que l'on connaît, des molécules nouvelles ? De plus, une formule élaborée et, par là-même, efficace n'est-elle pas un garant de la protection du savoir-faire d'une entreprise ? Dans tous les cas cités et dans bien d'autres, les molécules tensioactives sont des outils indispensables au formateur. Très souvent, c'est par elles et avec elles que des solutions élégantes sont trouvées. Compte tenu des enjeux économiques et des progrès scientifiques, on peut penser que la maîtrise de certains marchés repose sur les capacités d'une entreprise à formuler ses produits. Depuis une vingtaine d'années, la formulation bénéficie beaucoup d'un développement tant industriel que fondamental rapide. Une collaboration exemplaire entre les domaines industriels et fondamentaux reste cependant une des clés de ce développement.

Dans les deux dernières décennies, l'étude fondamentale des molécules amphiphiles a donné lieu à une mobilisation exceptionnelle d'équipes de scientifiques couvrant un domaine étendu de la chimie de synthèse à la physique théorique. On a assisté à un développement rapide de la compréhension des propriétés physico-chimiques de ces systèmes. De nouvelles molécules ont été synthétisées (tensioactifs fluorés, sucroesters, polysavons...), de nouvelles phases ont été décrites (phases microémulsions, phases lamellaires diluées, phases éponges, phases de micelles vermiculaires...), de nouvelles techniques ont été utilisées pour étudier ces phases et de nouveaux modèles théoriques développés.

Ce mouvement fondamental est un exemple, trop rare, de collaboration entre l'industrie et la recherche. Sous l'impulsion, dans les années 70, de l'industrie pétrolière qui avait en vue principalement la

récupération assistée du pétrole, des équipes de recherche aux spécialités complémentaires se sont regroupées et ont abordé le problème de la stabilité et de la structure des microémulsions. Ce mouvement a été particulièrement réussi en France et a permis de forger une communauté forte et structurée qui subsiste encore. Essentiellement axé sur la problématique posée par les microémulsions, l'intérêt scientifique de cette communauté s'est ensuite diversifié et généralisé à l'ensemble des propriétés des molécules tensioactives. L'un des acquis essentiels de ces travaux a été de montrer qu'une partie importante des propriétés de ces systèmes pouvait être décrite de façon relativement universelle par une compétition entre l'élasticité des films d'amphiphiles et l'entropie. Il faut ajouter une meilleure compréhension des interactions entre ces interfaces pour avoir une vision générale des phénomènes régissant la structure et la stabilité de ces phases. D'un point de vue microscopique, les propriétés élastiques des films amphiphiles peuvent être décrites à partir de la structure des molécules qui les constituent. Il est donc possible, en partant de la structure de la molécule, de remonter avec une relative fiabilité aux propriétés des phases de tensioactif. Si l'étude des structures qui résultent d'un équilibre thermodynamique de mélanges eau, huile et tensioactifs a permis de mieux comprendre les aspects fondamentaux régissant leurs propriétés, l'importance industrielle des émulsions a aussi suscité un intérêt fondamental pour ces systèmes métastables. Bien que plus récent, l'intérêt que leur a porté la communauté scientifique a permis de progresser rapidement dans la compréhension des processus mis en jeu dans l'émulsification, la stabilité colloïdale ou le vieillissement des émulsions. Il reste encore, dans ce domaine, des progrès à faire avant d'arriver à une description unifiée, en particulier des phénomènes de coalescence.

L'évolution naturelle des sujets de recherche fondamentale permet actuellement de définir deux directions principales pour le futur proche. Au niveau des études structurales et thermodynamiques, un intérêt grandissant se porte sur les systèmes mixtes. Dans ces milieux plus complexes, on ajoute à des mélanges eau-huile-tensioactifs des polymères ou des particules colloïdales. La compétition entre les structures formées par les molécules tensioactives, l'eau et l'huile et des particules supramoléculaires donne des propriétés intéressantes. L'augmentation importante de la viscosité obtenue dans les mélanges tensioactifs polymères en est un exemple bien connu. Ces systèmes présentent eux aussi un intérêt industriel car de nombreuses formulations mettent en jeu ce type de complexité. Une autre évolution voit se développer un intérêt pour les structures hors d'équilibre. Les relations entre microstructures et propriétés rhéologiques sont, dans une large mesure, mal comprises. Du fait des progrès réalisés dans la compréhension des structures à l'équilibre, on voit apparaître des techniques permettant d'analyser les structures de fluides en mouvement. La rhéophysique permet actuellement de donner un cadre microscopique aux analyses rhéologiques et l'on voit déjà émerger des résultats prometteurs.

Indépendamment des efforts théoriques, ces résultats ont été établis en développant des méthodes expérimentales d'analyse qui ont permis d'explorer les structures microscopiques de systèmes organisés localement ainsi que leurs propriétés thermodynamiques. Qu'il s'agisse de méthodes basées sur l'interaction rayonnement/matière ou sur l'étude des propriétés de transport, il a fallu développer des méthodologies nouvelles et performantes qui sont maintenant disponibles. L'ensemble des travaux fondamentaux a permis de jeter les bases des concepts qui, sans faire perdre à la formulation ce qu'elle a d'« artistique », permettent de réellement développer une théorie unifiée du comportement des tensioactifs en solution.

Nous sommes actuellement à la croisée des chemins, le développement des aspects fondamentaux allié aux enjeux économiques doit permettre d'avancer vite sur la voie de l'amélioration des connaissances en formulation. La France occupe une place privilégiée au niveau scientifique. En effet, elle bénéficie d'une recherche fondamentale dans ce domaine parmi les meilleures du monde. Cependant, si une partie des évolutions de la science fondamentale dans ce domaine a été intégrée dans certaines grandes entreprises, il n'en est pas de même pour les entreprises plus modestes qui, par ailleurs, participent en première ligne à la mise au point de produits innovants. Un meilleur accès aux connaissances et aux savoir-faire accumulés dans les laboratoires publics est indispensable si l'on veut voir les entreprises françaises bénéficier en premier lieu de la qualité de la recherche dans ce domaine.

**Didier Roux**

Centre de Recherche Paul Pascal, CNRS, Pessac