

De l'art du feu à la chimie douce

Jacques Livage

Chimie

Pendant plus de deux millions d'années, l'homme a taillé le silex pour fabriquer ses outils, mais ce n'est qu'avec la découverte du feu qu'il a pu cuire l'argile pour façonner des poteries ou fondre le sable pour faire du verre. Le développement de l'humanité, marqué par les âges du cuivre, du bronze puis du fer, est ainsi lié à la maîtrise du feu. Aujourd'hui encore, le four reste le partenaire indispensable des industries du verre et de la céramique et nos artisans verriers ou céramistes sont devenus des maîtres dans l'art du feu.

L'élaboration de nos matériaux nécessite des températures dépassant souvent les mille degrés. Les lois de la cinétique et de la thermodynamique nous l'imposent, mais est-ce une fatalité ? Je ne le pense pas, car l'observation de la nature nous montre que le vivant a su développer des stratégies qui lui permettent d'élaborer ses propres matériaux dans des conditions beaucoup plus douces. Ces biomatériaux, dont les performances sont bien souvent supérieures à celles de nos matériaux les plus modernes sont un défi pour le chimiste du solide. Serons nous capable de concurrencer des micro-organismes tels que les diatomées que l'on trouve dans le plancton marin ? Ces protistes produisent chaque année plus de verre que l'ensemble de nos industries verrières. Ils élaborent des architectures de silice dont la beauté et la diversité dépassent celles des nos constructions les plus audacieuses ?

Ce défi a été relevé depuis une vingtaine d'années avec le développement de la chimie douce qui s'inspire des processus biologiques pour élaborer des verres et des céramiques dans des conditions proches de l'ambiante. Cette aventure, à laquelle nous avons participé, a été initiée par des chimistes français et l'expression "chimie douce" est maintenant utilisée en français dans le monde entier, même par nos collègues anglo-saxons.

Pour développer cette nouvelle chimie du solide, nous avons simplement étendu au monde minéral, les techniques de polymérisation organique utilisées pour la fabrication des matières plastiques. Le réseau solide se forme par condensation de précurseurs moléculaires en solution et non plus par chauffage d'un mélange de solides pulvérulents. Ces nouveaux procédés, connus sous le nom de "procédés sol-gel" permettent d'élaborer nos matériaux directement à partir d'un bécher à température ambiante et non plus dans un creuset à 1000°C. Une nouvelle science de la "matière condensée" est née dont les retombées industrielles sont déjà importantes ; revêtements d'oxyde de titane pour vitrages antireflet, fibres d'alumine pour les tuiles de la navette Columbia, microsphères de silice pour la réalisation de membranes d'ultrafiltration.

Plus intéressant encore, la chimie douce permet de réconcilier la chimie organique et la chimie minérale en synthétisant des hybrides organo-minéraux. Ces matériaux totalement originaux, sont de véritables nanocomposites dans lesquels les composantes organique et minérale sont mélangées à l'échelle moléculaire. Ils couvrent toute la gamme allant du verre

cassant au polymère plastique. Parfaitement transparents, ils présentent des propriétés optiques remarquables qui associent la fragilité des pigments organiques à la dureté du verre. On les retrouve aujourd'hui dans de nombreux dispositifs optiques : lasers à colorants, écrans luminescents, vernis photochromes et même dans la restauration des mosaïques de la cathédrale de Prague.

Mais, pour revenir au vivant, la chimie douce nous a permis d'immobiliser des objets aussi fragiles que des enzymes, des anticorps et même des cellules vivantes au sein de matrices de silice. Ils sont alors protégés par la cage de verre, leur activité biologique est conservée. Elle peut même être optimisée en jouant sur la nature chimique de la matrice. Et, à l'exemple des diatomées, des bactéries peuvent rester viables pendant plusieurs semaines dans un environnement de silice purement minéral. Les techniques d'immobilisation jouent un rôle primordial dans les biotechnologies. La chimie douce ouvre de nouveaux horizons et des enzymes fixées sur des silices sol-gel ont déjà été commercialisées !

Les processus de biominéralisation constituent pour le chimiste des matériaux une nouvelle source d'inspiration. Les micro-organismes ont mis des millions d'années pour améliorer leurs techniques et trouver la meilleure façon d'élaborer des matériaux performants. L'aventure de la chimie douce n'en est encore qu'à ses débuts mais nous pouvons espérer que quelques décennies nous suffiront et que bientôt l'imagination du chimiste remplacera la force du feu.