

Un exemple : des résines époxy à base de vanilline

Les résines époxy, une classe importante de polymères thermodurcissables, sont utilisées en tant que revêtements, peintures, vernis, adhésifs, dans de nombreux secteurs tels que l'électronique, les matériaux ou l'aérospatial.

En raison de leurs propriétés mécaniques et électriques, de résistance chimique, d'adhérence et de leur retrait minimal après durcissement, elles interviennent dans nombre de structures. La plupart de ces polymères sont fabriqués à partir de bisphénol A, un composé qui contient des cycles aromatiques, particulièrement adaptés, car ils confèrent leur résistance thermique et chimique aux résines époxy. Mais le bisphénol A est un perturbateur endocrinien, dont l'impact négatif sur la santé humaine et l'environnement a conduit à son interdiction dans

de nombreux matériaux en France et en Europe. C'est pourquoi des composés de substitution moins dangereux sont nécessaires.

Ainsi, l'industrie chimique montre un intérêt croissant pour des composés aromatiques non nocifs permettant la synthèse de résines époxy thermodurcissables sans bisphénol A. Par ailleurs, avec la limitation et le coût élevé des ressources fossiles, des ressources renouvelables constitueraient un avantage. Mais si de nombreux réactifs issus de ressources renouvelables sont disponibles pour élaborer des matériaux,

notamment à partir de dérivés d'huiles végétales et d'amidon, la plupart ne contiennent pas de cycles aromatiques (les composés aromatiques de la biomasse sont peu disponibles pour la chimie).

Notre équipe s'intéresse à la substitution de composés dangereux et d'origine fossile par des composés moins dangereux et d'origine renouvelable (l'un n'impliquant pas forcément l'autre). Nous étudions notamment la substitution du bisphénol A dans les résines époxy par des composés aromatiques d'origine renouvelable, produits à partir de tanins de différentes espèces d'arbres. Les tanins sont des phénols naturels contenant des cycles aromatiques, présents dans les écorces des arbres. Cependant, ils sont peu abondants et souvent trop réactifs (ils s'oxydent facilement).

Parmi ceux que nous étudions, l'huile de noix de cajou contient trop peu de cycles aromatiques et sa production est limitée. La lignine, le polymère naturel de structure des végétaux le plus abondant, contient une grande concentration de composés aromatiques, mais on ne sait pas encore la dépolymériser. La vanilline est plus prometteuse. Issue de la lignine et produite à l'échelle industrielle, elle permet d'obtenir un composé non dangereux selon les critères de la réglementation européenne. Récemment, nous avons proposé un procédé pour fabriquer des composés de vanilline époxydés qui pourraient remplacer le bisphénol A dans les résines époxy.

- Sylvain Caillol
Directeur adjoint de l'Institut
Carnot Chimie Balard,
à Montpellier

et sans bisphénol A – un perturbateur endocrinien en passe d'être interdit en France (voir l'encadré ci-dessus).

Si ces exemples sont encourageants, ces préoccupations restent encore marginales. Aux États-Unis comme en France, les communautés des chimistes de synthèse et des toxicologues n'ont pas l'habitude de travailler ensemble. De plus, les outils de toxicologie prédictive prêts à l'emploi pour les chimistes sont aujourd'hui hors de portée. Un des enjeux est de savoir s'ils le seront un jour et dans quel délai. La toxicologie et l'écotoxicologie ne sont toujours pas enseignées aux chimistes, à l'exception de rares cas de formations de l'enseignement supérieur qui fournissent aux chimistes des connaissances sur les impacts sanitaires et environnementaux de la chimie (par exemple, à l'École nationale supérieure de chimie de Paris ou à l'Université de Californie à Berkeley).

En France, deux autres raisons s'ajoutent. D'abord, l'État a sous-investi dans la recherche en toxicologie et, plus largement, sur les questions de santé environnementale. Parce que la toxicologie a toujours été associée au contrôle réglementaire des risques chimiques, elle a pu être considérée comme une discipline contre-économique et « moins noble » selon les critères de la science.

De même, le règlement européen REACH (Enregistrement, évaluation, autorisation et restrictions des substances chimiques) n'a qu'une faible résonance sur la recherche académique. L'objectif de ce règlement n'est pas d'interdire des substances dangereuses, mais de les identifier pour mieux permettre leur remplacement par des alternatives plus sûres. On aurait donc pu s'attendre à une explosion des recherches visant à développer des substituts aux molécules dangereuses aujourd'hui en usage. Pour-

tant, ce n'est pas le cas, et la lenteur dans l'application du règlement y est probablement pour quelque chose.

Ce court historique de la chimie verte montre que les avancées dans ce domaine dépendront de l'orientation donnée aux financements publics de la recherche et de l'efficacité des politiques environnementales qui, comme REACH, visent à caractériser les risques chimiques. Si la volonté et la motivation de la communauté des chimistes sont claires, le futur de la chimie verte dépendra beaucoup des politiques publiques. ■

Laura MAXIM est chargée de recherche au CNRS, à l'Institut des sciences de la communication, à Paris.

L. Maxim (dir.), *La chimie durable, au-delà des promesses*, CNRS Éditions, 2011.

P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxf. Univ. Press, 1998.