

Chimie de l'environnement : perspectives

Olivier Donard et Philippe Garrigues

La chimie de l'environnement a longtemps été mal comprise et assimilée car elle fait appel à un large spectre de disciplines connexes à la chimie. Elle trouve ses fondements dans la chimie et les notions de réactivité chimique pour décrire la nature des réactions qui se déroulent dans le milieu naturel. Le terme « chimie » dans la chimie de l'environnement s'appuie sur un domaine de connaissances et de savoir établi, structuré, étudiant des systèmes aux frontières bien définies qui permet d'anticiper sur le devenir des espèces étudiées. C'est particulièrement important car la chimie de l'environnement s'adresse à des systèmes complexes souvent polydispersés et multiphasiques et dont les structures chimiques sont peu ou mal identifiées. Le chimiste de l'environnement s'intéresse à définir et rationaliser au maximum le milieu qu'il étudie. Cet exercice est d'autant plus difficile que le vaste « ballon » environnemental contient des organismes dont le métabolisme est en étroite interaction avec le milieu naturel. Chimie de l'environnement, microbiologie et biologie sont effectivement étroitement imbriquées. La biotransformation par les bactéries provoquera des réactions dont les énergies d'activation basées sur les lois de la chimie paraîtraient improbables ou impossibles. C'était d'ailleurs une explication pour le chimiste de l'environnement qui s'aperçoit que le système qu'il étudie ne fonctionne pas comme il le prévoyait. « *Ce doit être les bactéries !* ». Nous n'en sommes maintenant plus là car les avancées de la chimie et de la microbiologie sont telles que l'on peut à présent comprendre et contrôler les mécanismes de biotransformation au niveau de l'ingénierie moléculaire et utiliser ces interactions délicates pour la gestion des milieux.

Tous ces concepts ne peuvent avancer que parce qu'ils sont découverts et soutenus par une chimie analytique performante. Les avancées majeures en chimie de l'environnement seront toujours étroitement liées au progrès de la chimie analytique. Le concept de développement durable, appliqué à la chimie de l'environnement, nous amène à devoir mieux connaître et discriminer les cycles des éléments naturels et ceux des contaminants qui sont introduits dans le milieu. En effet, les transferts et transformations des produits chimiques dans le milieu naturel, et particulièrement au niveau des organismes, se font par des voies de biotransformation qui vont modifier leurs structures chimiques et donc leurs propriétés. La chimie de l'environnement et la chimie analytique apparaissent comme deux composantes indispensables pour pouvoir contribuer à réellement mettre en place cette notion de développement durable. Connaître dans leur globalité les cycles des composés chimiques dans le milieu font partie des priorités pour assurer une bonne gestion des milieux naturels. La notion de gestion raisonnée des écosystèmes ne pourra se faire que dans le contexte d'une information globale, précise et fiable. En ce sens, les

réponses apportées par la chimie analytique et de l'environnement deviendront de plus en plus importantes pour les prises de décision.

Il y a de nombreux chantiers à considérer. On ne peut pas les citer tous, certains ont été abordés dans le cadre de ce numéro thématique. Le développement de la chimie analytique constitue certainement la pierre de base de la chimie de l'environnement moderne. De nombreuses questions existent sur la présence des espèces chimiques dans les milieux, leurs voies de transformation biotiques et abiotiques. Le développement constant des techniques analytiques de séparation et de caractérisation fines permet de suivre et de répondre à ces questions, notamment en ouvrant de nouvelles portes aux interfaces chimie-biologie-géologie. Ces développements et la gestion des milieux ne pourront se faire sans la mise en place d'une métrologie « *in situ* » qui apportera les techniques du laboratoire sur le terrain pour un diagnostic le plus rapide et le plus fiable possible. Le domaine des capteurs est un domaine très important, porteur de nombreuses attentes, mais parfois le fruit de déceptions dans le cas d'applications directes aux milieux naturels. Il faut très certainement surmonter ces difficultés pour avoir une métrologie et une lisibilité fiable et continue des milieux. A ce titre, la nouvelle directive cadre européenne sur l'eau (DCE) va fortement aider au développement de ce secteur.

Néanmoins, de nombreuses questions restent en suspens pour améliorer et décrire l'évolution de l'environnement. Chaque année, de nouvelles classes de molécules organiques sont introduites dans l'environnement et l'on ne peut pas toujours prédire leurs impacts spécifiques sur telle ou telle espèce vivante ou leur devenir en se basant sur des résultats de modélisation. Le devenir des produits pharmaceutiques, vétérinaires et d'hygiène de soin corporel devient une question d'actualité pour la qualité des eaux. On peut aussi mentionner l'exemple des questions liées aux « métaux lourds ». Le terme « métaux lourds », couramment utilisé pour évoquer une contamination métallique, est un terme chimique impropre qui désigne, indépendamment de leur concentration dans les matériaux considérés, aussi bien des métaux (plomb, zinc, cuivre, mercure, cadmium, fer, aluminium...) que des métalloïdes (sélénium, arsenic, fluor...). Anciennement, les chimistes nommaient « métaux lourds » les métaux dont les sulfures précipitaient et dont le précipité était déterminé par gravimétrie. Nous savons maintenant que les métaux sont présents dans l'environnement sous différentes formes chimiques (ions, complexes inorganiques-organiques, organométalliques, associés à des complexes organiques (acides humiques et fulviques...)) et qu'ils ont pour une grande majorité des structures chimiques bien établies. Ces structures chimiques leur confèrent des

propriétés physico-chimiques (de réactivité, stabilité, toxicité) différentes et qui conditionnent leurs partitions et transferts dans les différents compartiments de l'environnement, voire dans les différents organes des êtres vivants. Actuellement, l'approche des questions d'environnement ne se base trop souvent que sur la détermination du contenu total des éléments métalliques, sans que leur spéciation chimique (état d'oxydation, formes moléculaires) ne soit prise en considération. Cette approche ne pourra plus perdurer dans le contexte de développement durable où la notion d'information moléculaire est essentielle pour une connaissance et une gestion raisonnée des milieux.

L'étude des processus réactionnels constitue également l'un des secteurs de développement important qui permet de suivre le transfert et le devenir des molécules dans le milieu. Il est essentiel de rattacher les propriétés de ces composés à des constantes qui permettront de suivre leur dispersion dans le milieu. La réactivité et les propriétés des contaminants aux interfaces (solide-liquide, solide-gaz) sont des questions importantes pour anticiper le transport et le devenir des contaminants dans les eaux, les sédiments et les sols. Si en règle générale, beaucoup d'études portent sur les apports atmosphériques aux milieux, il existe en comparaison peu d'études portant sur les mécanismes de transfert eau-air ou sol-air. Enfin, la contribution de la photochimie en général est souvent méconnue ou sous-estimée. Ainsi, en chimie de l'environnement, nous aurons souvent besoin de déterminer les paramètres suivants pour mieux connaître le devenir des espèces chimiques : H (constante de Henry), Kow (coefficient de partage octanol/eau), Kb et Ksorb (facteur de bioconcentration et coefficient de partage solide/liquide), durée de demi-vies. Leur intégration dans les modèles (par exemple les modèles de fugacité de McKay) est essentielle et le facteur température deviendra rapidement un paramètre majeur avec le réchauffement climatique annoncé qui modifiera les cinétiques de réaction, et ainsi le devenir et le transfert des espèces chimiques entre les différents compartiments des systèmes étudiés.

L'un des enjeux importants de la chimie de l'environnement est également le nécessaire changement d'échelle. On peut toujours décrire un processus réactionnel au niveau du laboratoire aussi intéressant soit-il, mais ces études n'auront de sens et de portée que si ces processus ont un impact à l'échelle globale. Le chimiste de l'environnement doit donc prendre en compte ce changement d'échelle et définir des critères de prépondérance dans la multitude de réactions possibles que lui offre la « soupe de l'environnement ». C'est un art difficile.

Au-delà de l'intérêt des chemins de transfert et d'accumulation des contaminants, le concept de la biodisponibilité des espèces chimiques et leurs impacts biologiques méritent également une réévaluation à l'aune des outils analytiques dont nous disposons actuellement. Les techniques nouvelles de la biologie moléculaire, associées aux techniques de spectrométries de masse, nous permettent d'avoir accès aux protéines et aux gènes qui vont être spécifiquement exprimés sous l'action de contaminants spécifiques. Reste que la multiplicité des agents chimiques de stress s'ajoute aux contraintes physiques du milieu (paramètres physico-chimiques, nutriments) et aux caractéristiques génotypiques des populations observées. Des efforts importants sont à faire pour affiner la nature des réponses des organismes au stress du milieu.

Enfin, un secteur qui manque actuellement cruellement de développement est celui de la réhabilitation des milieux, qui peut être évoqué comme faisant partie de l'ingénierie écologique. En effet, nous savons assez bien décrire et comprendre le transfert et l'impact des éléments et des contaminants dans le milieu, mais actuellement sans pouvoir mettre en place de solutions efficaces. Nous sommes dans la situation du médecin au chevet de son patient, capable de faire un diagnostic précis et détaillé, mais sans pouvoir prescrire de remède. Il s'agit encore d'un enjeu majeur des recherches environnementales pour les prochaines décennies.

La chimie de l'environnement est transdisciplinaire par essence et son enseignement doit commencer très tôt. Certains cursus universitaires, notamment dans les nouveaux parcours LMD, ont mis en place des enseignements spécifiques. Le rôle de l'enseignement est très important et il y a fort à prévoir que les générations futures l'intégreront plus vite que nous en fonction de la façon dont nous allons le leur présenter. Nous avons ici un rôle important à jouer.

Toutes les voies de recherche et développement concernant la chimie de l'environnement ne sont bien sûr pas détaillées. Néanmoins, ce numéro spécial de *L'Actualité Chimique* permet de présenter certaines des grandes questions d'actualité sur la chimie de l'environnement en France. A l'heure où la terminologie « développement durable » est sur toutes les lèvres et dans tous les textes, il paraît plus que jamais nécessaire de renforcer et structurer la chimie de l'environnement comme étant une discipline importante et qui porte en elle l'une des clés de notre avenir. Il paraît d'autant plus important de faire cette remarque à l'heure où certaines questions se posent directement, à tort, sur l'avenir même de la chimie et sa reconnaissance quant à son utilité sociale !

Olivier Donard et Philippe Garrigues

Co-présidents du groupe Environnement de la SFC



O. Donard

Olivier Donard

est directeur de recherche au CNRS et directeur du Laboratoire de Chimie Analytique Bioinorganique et Environnement*. Il est vice-président de la division de Chimie analytique et responsable du groupe Environnement de la SFC.



P. Garrigues

Philippe Garrigues

est directeur de recherche CNRS et directeur du Laboratoire de physico-toxicochimie (LPTC) à l'Université de Bordeaux 1**. Il est l'actuel président (2003-2005) de la division Chimie et environnement de la Federation of European Chemical Societies (FECS).

* Laboratoire de chimie analytique, bio-inorganique et environnement, UMR CNRS 5034, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 64000 Pau.
Courriel : olivier.donard@univ-pau.fr

** LPTC, UMR 5472 CNRS, Université de Bordeaux 1, 33405 Talence.
Tél. : 05 40 00 63 05. Fax : 05 40 00 22 67.
Courriel : p.garrigues@lptc.u-bordeaux1.fr