

## QUESTIONS OUVERTES

# Qu'est-ce que la chimie verte ?

*Le concept est apparu dans les années 1990 pour promouvoir une chimie plus soucieuse de l'environnement et de la santé. Il nécessite de prévoir les propriétés potentiellement toxiques des nouvelles molécules, ce que l'on ne sait pas encore bien faire.*

Laura MAXIM

**C**himie verte, chimie durable, chimie biosourcée, propre, environnementale... Depuis quelques années, tant dans les médias que dans les appels à projets de recherche, la chimie se retrouve associée à de multiples qualificatifs très en vogue par ailleurs dans les discours politiques. Qu'entend-on par chimie verte ? Comment ce concept est-il apparu et quels en sont les enjeux ? La chimie verte est-elle vraiment verte ? C'est ce que nous allons examiner ici.

La chimie verte est née d'une prise de conscience : les chimistes peuvent influencer sur la pollution que produisent les substances synthétisées. Dans la chaîne qui relie le chercheur, l'industriel, le consommateur et le politique, la recherche en laboratoire – susceptible d'aboutir à des innovations et à des produits commercialisés – doit se préoccuper très en amont des effets sanitaires et environnementaux de la chimie. Comment ? En multipliant les collaborations avec d'autres disciplines en prise directe avec ces questions, telles que les sciences de l'environnement et la toxicologie.

Les premières références au terme « chimie verte » sont américaines et remontent aux années 1990. Cette époque est caractérisée par un changement dans les politiques environnementales aux États-Unis. L'industrie est appelée à remplacer le traitement des déchets en aval par la prévention de la pollution à la source : dans un contexte de controverses, vives et nombreuses, autour des effets toxiques

des déchets et, plus généralement, de la chimie, une loi, le *Pollution Prevention Act*, impose la démarche de prévention de la pollution au niveau fédéral. Le mauvais contexte économique de l'époque a joué un rôle important dans l'adoption de cette loi en 1990, sous la présidence de George Bush : les coûts du contrôle de la pollution étaient tels que les industriels y ont vite vu leur intérêt.

En 1991, en réponse à cette loi, l'Agence américaine pour la protection de l'environne-

## LA CHIMIE VERTE SERAIT AINSI le serment d'Hippocrate du chimiste : avant tout, ne pas nuire.

ment (EPA) lance un programme de « chimie verte », notion qu'elle définit ainsi : « La chimie verte a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses. » Le danger est ici pris au sens large : physique (substance inflammable, explosive...), toxicologique (cancérogène, mutagène...) ou global (destruction de la couche d'ozone, pollution environnementale...).

À ses débuts, le concept de chimie verte est interchangeable avec ceux de chimie environnementale, chimie propre et chimie bénigne par conception. La chimie environnementale était déjà un domaine installé dans le paysage scientifique des années 1980, mais elle se focalisait sur l'étude de la pollution, pour mesurer et contrôler les émissions.

L'un des premiers chimistes à avoir promu le terme de chimie verte, sans le définir avec précision, est un ancien directeur de la division chimie de la Fondation américaine pour la science (NSF), Kenneth Hancock. Il a donné son nom à un prix américain décerné aux étudiants qui se distinguent par leurs travaux en chimie verte. En 1993, il expliquait dans la revue *Science* : « Dès que vous parlez de marées noires, de déchets, de trou dans la couche d'ozone... ou de tout autre problème environnemental inconnu auparavant... c'est la chimie qui est tenue pour responsable. » Mais, poursuivait-il, les chimistes peuvent remédier aux problèmes qu'ils ont contribué à créer : « Toute solution que vous imaginerez viendra de la chimie. »

Il concrétise ces déclarations en lançant des programmes de financement des recherches en chimie verte à la NSF, le premier en 1992, de l'ordre de 950 000 dollars, suivi en 1993 d'un cofinancement en partenariat avec l'EPA. Il s'agit d'encourager des projets de synthèse chimique qui accordent une attention particulière à l'impact sur la santé et sur l'environnement.

C'est d'ailleurs un chimiste de l'EPA qui est le père reconnu de la chimie verte. Paul Anastas – coauteur d'un des premiers livres sur le sujet en 1994 – a d'abord proposé le terme de « chimie bénigne par conception ». Dès cet ouvrage, le ton est donné. Pour P. Anastas, la prévention de la pollution n'est plus une préoccupation d'une communauté minoritaire en chimie – celle de la chimie analytique et atmosphérique –, mais une

question qui concerne une des branches les plus nobles et les plus représentatives de la discipline, celle qui s'intéresse à la synthèse. Jusqu'alors, la réflexion des chimistes de synthèse était guidée par deux critères : les fonctions que les substances synthétisées vont accomplir et le coût de production industrielle de ces substances. Avec la chimie verte, un troisième critère s'ajoute : les effets sur la santé et sur l'environnement. Ces effets peuvent être pris en compte dès la phase de conception des molécules et redéfinissent l'idée même d'« élégance » d'une réaction, chère aux chimistes. La chimie verte serait ainsi le serment d'Hippocrate du chimiste : avant tout, ne pas nuire.

Dès 1996, le terme chimie verte s'impose par rapport aux autres terminologies, notamment le terme « bénin par conception », qui s'était révélé trop restrictif. Le concept est renforcé par la création aux États-Unis, en 1995, du Prix présidentiel pour les défis en chimie verte. À partir de 1997, des conférences annuelles sur la chimie verte ont lieu, la Société américaine de chimie diffuse des matériaux pédagogiques pour l'université et le lycée, des masters et des thèses de doctorat sont soutenus.

### Un début chaotique en Europe

La diffusion du terme est renforcée par le succès du livre *Green chemistry: theory and practice*, publié en 1998 par P. Anastas et John Warner. S'il a tant de succès, c'est parce qu'il définit la chimie verte en 12 principes pragmatiques, devenus depuis la marque de ce domaine (voir l'encadré page 16). Plusieurs de ces principes (amélioration du rendement, chimie catalytique) constituent déjà des champs de recherche en chimie, mais il s'agit désormais de les rassembler avec un même objectif : construire une chimie soucieuse de la santé et de l'environnement.

En Europe, ce concept s'est développé de façon plus chaotique. Dès 1999, les industriels allemands de la chimie ont réagi défavorablement au terme « chimie verte » qui, pour eux, laissait présager des changements en accord avec les positions du Parti des Verts. Le terme a fini par s'imposer et, en

même temps, le terme « chimie durable » a été de plus en plus utilisé comme équivalent.

Le concept de chimie verte n'a vraiment émergé en France que récemment, dans les années 2007-2008, dix ans après son essor aux États-Unis. Cette émergence coïncide avec le premier programme de financement de l'Agence nationale de la recherche intitulé *Chimie et procédés pour le développement durable*, et avec les débuts du programme interdisciplinaire du CNRS, *Chimie pour le développement durable*.

### En France, une chimie avant tout « biosourcée »

Dans la lignée d'un ouvrage intitulé *La chimie verte* dirigé par Paul Colonna, chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique, en 2005, la chimie verte a d'abord été vue comme une chimie biosourcée – une chimie qui s'appuie sur des matières premières dérivées de ressources végétales plutôt que du pétrole. Les recherches françaises sur les biocarburants et la chimie végétale étaient déjà engagées depuis de nombreuses années, et le terme « chimie verte » a permis de leur donner un nouveau souffle. Des produits aujourd'hui issus majoritairement du pétrole, tels que des peintures, encres, adhésifs, enrobages de médicaments, couches, emballages, sacs poubelle, couverts pour la restauration rapide et autres plastiques, peuvent à présent être produits à partir de végétaux tels que des oléagineux ou des algues. Certains de ces produits sont même biodégradables et produisent moins de déchets.

Puis, avec l'augmentation du nombre de chercheurs français intéressés par ce domaine, les frontières sémantiques ont évolué, et la chimie biosourcée est redevenue une catégorie de la chimie verte, nommée « chimie du carbone renouvelable », ou « chimie du végétal ». La définition de la chimie verte s'est élargie, incluant par exemple les méthodes qui permettent de réduire la consommation d'énergie ou la catalyse pour limiter les quantités de réactifs utilisés. La chimie verte comporte aussi de nouveaux schémas de synthèse imaginés pour remplacer des réactifs dangereux ; il



© Shutterstock.com/Africa Studio