

PFAS : GRÂCE À LA CHIMIE, DES POLLUANTS PLUS SI ÉTERNELS ?

Arthur Baudin & Noé Megel

Ces dernières années, les études et les recherches sur l'élimination des PFAS se sont multipliées, variant les façons de briser la liaison carbone-fluor la plus stable de la chimie organique. Si ces méthodes sont encore loin de pouvoir s'appliquer à grande échelle, la chimie permet d'espérer rendre ces « polluants éternels » éphémères.



Crédits photo : Daniel Kunz, daniekunzphoto, Adliswil CH.

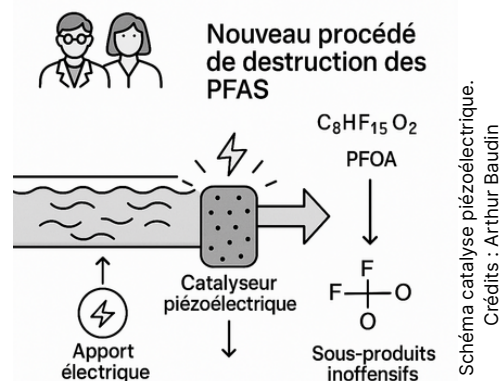
« L'eau a toujours été importante pour moi. » De son enfance à Delhi, en Inde, Fajer Mushtaq se souvient de l'angoisse qui montait en elle à chaque fois qu'elle ouvrait le robinet. Des années plus tard, elle fonde en 2020 Oxyle, une start-up Zurichoise - en Suisse alémanique -, avec une technique chimique dont la promesse est pour le moins ambitieuse : éliminer 98 % des PFAS dans les eaux industrielles.

CASSER LA LIAISON CARBONE-FLUOR

Cette technique est celle de la catalyse piézoélectrique. Concrètement, une pompe met de l'eau en mouvement et la projette contre des matériaux nanoporeux, des sortes d'éponges de l'infiniment petit. Lorsque l'eau passe dans les trous, des micro-réactions ciblées vont venir casser la liaison carbone-fluor. La même qui est particulièrement stable chez les PFAS, et qui les rend donc particulièrement persistants. Sur le papier, l'innovation paraît salvatrice tant les PFAS sont suspectées, même si nos connaissances sont encore parcellaires, d'être la cause de nombreuses pathologies comme des cancer du rein, de liaisons au foie, de maladies thyroïdiennes ou encore de haut taux de cholestérol. Des enquêtes journalistiques de premier plan, comme celle pilotée par le quotidien « Le Monde » - qui estime que dépolluer les eaux et les sols européens des polluants éternels coûterait au moins 95 milliards d'euros sur 20 ans dans les conditions les plus favorables - le film « Dark Waters » (réalisé par Todd Haynes, 2019) ou plus récemment l'interdiction d'une partie des PFAS dans certains produits d'ici 2026 en France ont contribué à la reconnaissance des polluants éternels par le grand public, au point de les surnommer parfois « le nouvel amiante » ou de « scandale sanitaire du siècle ».

Actuellement, les usines d'eau potable françaises traitent leurs eaux plus ou moins chargées en PFAS avec plusieurs techniques, dont le charbon actif qui absorbe les substances polluantes, PFAS inclus. L'idée est donc de déplacer les PFAS de l'EDCH (eaux destinées à la consommation humaine) pour que la limite de 0,10 µg/L (microgramme par litre) pour une somme de 20 PFAS ne soit pas dépassée.

Cette solution présente néanmoins des limites. « Le charbon ne peut pas éliminer tous les PFAS, notamment ceux à chaîne plus courte, il s'use relativement vite et génère des déchets solides qu'il faut ensuite incinérer à des températures très élevées » témoigne Khalil Hanna, professeur à l'Ecole nationale supérieure de chimie de Rennes (ENSCR), spécialiste de la dégradation des PFAS. D'autres techniques sont aussi utilisées comme la filtration membranaire ou l'osmose inverse, mais présentent le même désavantage, elles ne font que déplacer le problème.



« En chimie, rien n'est éternel »

Bruno Chaudret, directeur de recherche au CNRS et co-auteur d'un rapport sur les PFAS pour l'Académie des sciences

EMULATION SCIENTIFIQUE

Face à ces limites, la chimie s'est emparée du sujet et de nombreuses recherches portant sur l'élimination et la dégradation des PFAS - à l'instar d'Oxyle et sa fameuse catalyse piézoélectrique - ont vu le jour. Parmi elles, il est possible de citer les travaux de Véronique Gouverneur, publié dans la revue « Nature », qui cherche à démontrer que les sels de phosphate peuvent attaquer les Pfas ou encore la technique de l'entreprise belge Haemers technologie qui consiste à chauffer les sols contaminés au PFAS avec une flamme à 1 400 degrés pour faire s'évaporer, puis brûler, les polluants.

Une émulsion scientifique palpable pour Bruno Chaudret, directeur de recherche au CNRS et co-auteur d'un rapport sur les PFAS pour l'Académie des sciences. *« Il y a une forte accélération de la recherche sur le sujet ces deux dernières années, confirme le chimiste. Il y avait déjà une recherche plus classique sur le nettoyage des eaux usées, mais elle porte surtout maintenant sur la dégradation des PFAS. Cela concerne même des formes rudimentaires de chimie comme faire bouillir de l'eau avec de la soude pour éliminer le PFOA, l'un des PFAS emblématique. »*

Cette évolution, l'expert l'explique par leur apparition récente dans l'environnement, après une utilisation massive dans les années 1950, et par conséquent une réalisation de l'envahissement de ces polluants dans les années 1990-2000. La chimie analytique commence à s'intéresser aux PFAS dans cette même décennie pour n'arriver qu'à cartographier le phénomène en 2020-2025. *« C'est un peu comme le réchauffement climatique, on a pris du temps avant de s'en rendre compte, puis de trouver des parades »* synthétise Mehran Mostafavi, chercheur de chimie-physique et vice-président recherche de l'Université Paris-Saclay.

ABUS DE LANGAGE

Toutes ces recherches, aussi prometteuses soit-elles, présentent évidemment des limites. Pour celles liées à la dégradation des PFAS dans l'eau par exemple, elles doivent pouvoir se réaliser à grande échelle et sur des eaux de consommation. Mehran Mostafavi, qui travaille sur la radiolyse de l'eau soit l'exposition des PFAS aux rayons X, alerte sur la possibilité de création d'autres molécules pendant les manipulations, dont il faut aussi s'assurer de l'inoffensivité.

En somme, la recherche avance (bien). Et même s'il est difficile, voire imprudent, de donner des dates précises de mise en service à l'échelle d'une région ou d'un pays en production industrielle, il semble bien que ce ne soit qu'une question de temps avant que cette réalité n'arrive. 15 ans ? 10 ? 5 ? *« Impossible à dire »* tranche Bruno Chaudret. *« Il y a des méthodes qui fonctionnent, mais de là à les pratiquer pour l'ensemble de la pollution, ça prendra du temps. »*

Peut-on pour autant avancer que ces fameux polluants éternels ne le sont pas tant que ça, éternels ? *« Un des messages du rapport de l'académie des sciences, c'est que rien n'est éternel »* sourit le co-rapporteur dudit rapport qui rappelle que les PFAS doivent cette appellation de « polluants éternels » à leur liaison carbone-fluor extrêmement stable, la plus stable en chimie organique. Un abus de langage donc ? *« Il y a évidemment un effet médiatique, mais c'est pour rendre la notion compréhensive. Mais elle est un peu sensationnaliste. »*

Ainsi, la recherche sur la dégradation des PFAS par la chimie continue de progresser. Mais, de l'avis des experts du milieu, ce n'est évidemment pas le seul secteur qui a un rôle à jouer. Bruno Chaudret met l'accent sur le rôle des politiques qui doivent couper le robinet à PFAS quand ce n'est pas nécessaire, comprendre tout ce qui n'est pas lié à lutte pour le changement climatique, et par l'ensemble de la communauté scientifique des physiciens aux biologistes, en passant même par les sciences humaines et sociales. Mehran Mostafavi, lui, insiste sur l'importance de nouvelles études sur l'impact des PFAS sur la santé, levier important pour un mouvement de fonds. Une chose est sûre, la chimie aura son rôle à jouer.

Mais c'est quoi les PFAS ?

Les PFAS sont une famille de substance de per- et polyfluoroalkyl ées. On en dénombre environ 1400. Pour leur propriétés particulières (imperméabilisantes, adhésives, résistantes à la chaleur...), ils ont été utilisés dans de nombreux produits depuis les années 1950. Dans les vêtements de sport, les médicaments, les poêles, les mousses anti-incendies ou encore dans l'agriculture, les PFAS sont partout. Leur liaison carbone-fluor particulièrement stable les rend très persistantes dans l'environnement. D'où leur surnom de « polluants éternels ».

En France, la loi du 27 janvier 2025 interdit la fabrication, l'importation et l'exportation des cosmétiques, des farts et vêtements/chaussures et leurs imperméabilisants contenant des PFAS. Elle sera étendue au 1^{er} janvier 2030 à tous les textiles.