

## ENVIRONNEMENT

## L'héritage des polluants éternels

Une enquête européenne a révélé l'ampleur de la pollution aux composés perfluorés, ou polluants éternels. En Alsace, ils ont été repérés en 2016 et ont surpris par l'ampleur de leur dissémination. Des recherches sont lancées pour évaluer l'évolution de ce phénomène invisible, mais jugé non alarmant.

Saurons-nous un jour nous passer de poêles antiadhésives ? De vêtements imperméables ? De tapis antitaches, de fartage pour nos skis, d'emballages de frites, de mousses anti-incendies ? Saurons-nous faire sans papier toilette, désormais estampillé mauvais pour nous et la planète ? La présence de molécules très embarrassantes vient en effet d'être confirmée dans certains papiers hygiéniques. Embarrassantes car tenaces et indestructibles : ces molécules de fluor et de carbone sont autant de polluants émergents qui suscitent une inquiétude croissante, parce que cette présence ne régressera pas et qu'ils ne peuvent que s'accumuler, risquant de provoquer des effets cocktail dont on ne sait encore rien.

## Éternels, difficiles à déceler et très nombreux

Substances per et polyfluoroalkylées, composés perfluorés, PFC, PFAS, ils sont une vaste tribu de milliers de composés différents, voire de plusieurs millions, tous des cadeaux de la chimie du XX<sup>e</sup> siècle, développés car ils étaient la meilleure réponse technique et financière aux processus industriels de l'épo-



Un florilège de produits et objets du quotidien supposés contenir des substances perfluoroalkylées, connues sous le nom de polluants éternels. Photo L'Alsace/Jean-Marc LOOS

que. Ils sont difficilement décelables jusqu'à récemment car requérant des outils de recherche très pointus et étant noyés dans une masse de composés moléculaires, de toutes vertus...

La présence de ces PFAS en Alsace a été confirmée en 2019 par des analyses inédites de l'Aprona, l'observatoire de la nappe phréatique, effectuées en 2016, relayées et englobées aujourd'hui dans une enquête réalisée par un consortium de médias européens. Elles confirment la surprenante et inquiétante diffusion de ces composés jusque dans la pluie et dans nos cellules. En 2016, une vingtaine d'entre eux avaient été recherchés dans 200 points de mesures répartis dans toute la nappe phréatique. Cent soi-

xante d'entre eux se sont avérés positifs, dont 31 captages d'eau potable, qui présentaient toutefois une teneur très faible.

## Les plus fortes teneurs à Vieux-Thann et dans le Rhin

Ici et là, partout, les PFAS s'accumulent depuis des décennies. Trente prélèvements présentent une teneur supérieure à 100 nanogrammes par litre (ng/l), considérée comme dangereuse pour la santé. Les plus élevés : la ZI nord de Colmar (525 ng/l), le campus Novartis près de Huningue (569 ng/l) et la ZI de Vieux-Thann/Cernay (941 ng/l), qui présente un nombre record de molécules : 18PFC, à quelques centaines de mètres en aval d'une in-

dustrie chimique séculaire. À la hauteur de Volgelsheim, les sédiments du Rhin présentent une teneur de 1728 ng/l.

Cela reste peu comparé aux teneurs observées outre-Rhin, notamment à Rastatt où des boues de décantation polluées provenant d'une usine de papier ont été épanchées : on a relevé des teneurs de 1 340 000 ng/kg dans le sol. Mais le plus étonnant demeure la facilité avec laquelle cette pollution s'imisce partout : « Deux tiers des cours d'eau vosgiens en contiennent. Il y en a aussi bien en aval qu'à la proximité des sources », s'étonne Miguel Nicolai, expert de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse. C'est ainsi le cas à Sewen, dans le lit de la Doller naissante.

## La bactérie anti-PFAS existe-t-elle ?

Les polluants éternels sollicitent les neurones des chercheurs alsaciens. À Strasbourg, deux équipes du CNRS et de l'université, pilotées par le biochimiste Mickaël Ryckelynck et le microbiologiste Stéphane Vuilleumier, se sont lancées un défi inédit dans le cadre d'un projet financé par l'Agence nationale de recherche : trouver l'aiguille dans la botte de foin, c'est-à-dire dénicher LA bactérie, LE micro-organisme capable de digérer les molécules de PFAS et donc de dépolluer sols ou nappes contaminés.

## ■ Une super-bactérie qui dégrade le fluor

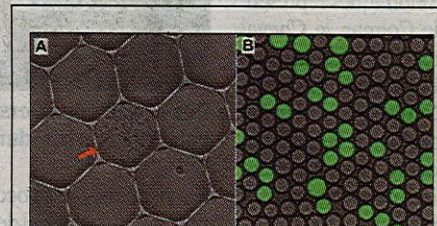
« Nous nous intéressons à la dégradation des PFAS par les micro-organismes », indique Stéphane Vuilleumier. « Certains d'entre eux pourraient casser les liaisons carbone-fluor de ces molécules. » La rareté d'une telle fonction de dégradation nécessite, pour être localisée, toute l'expertise développée par les équipes strasbourgeoises. « Nous pensons qu'il existe de tels organismes car nombre de travaux récents ont décelé des traces de dégradation partielle de ces PFAS. Comme les méthodes de dépollution physiques et chimiques sont coûteuses et lourdes à mettre en œuvre, surtout en cas de pollution diffuse, la biodégradation microbienne mérite qu'on s'y intéresse de près. »

## ■ La recherche miniaturisée à l'extrême

Les chercheurs strasbourgeois, en particulier les deux doctorants recrutés dans le projet, disposent d'échantillons contaminés par les PFAS prélevés en Europe. Ils utilisent une technique de

miniaturisation pour y identifier la présence de bactéries croqueuses de polluants fluorés, qui se distinguent en devenant fluorescentes après avoir ingéré un atome de fluor. « Nous menons nos observations dans des volumes de la taille d'une cellule et nous travaillons sur plusieurs millions de cellules à la fois », présente Mickaël Ryckelynck.

La super-bactérie anti-PFAS existe-t-elle vraiment ? « Dans un seul gramme de sol, il peut y



Cette illustration représente la technologie microfluidique développée à Strasbourg pour rechercher des bactéries susceptibles de dépolluer les PFAS. Chaque alvéole est remplie d'huile en quantité infinitésimale (un milliardième de millilitre) et accueille une petite gouttelette d'eau contenant des bactéries (indiquées par une flèche sur le cliché A à gauche). Lorsqu'elles parviennent à réaliser la réaction de défluoruration recherchée, les gouttelettes deviennent fluorescentes (en vert sur la photo B, à droite), les rendant faciles à identifier et à isoler.

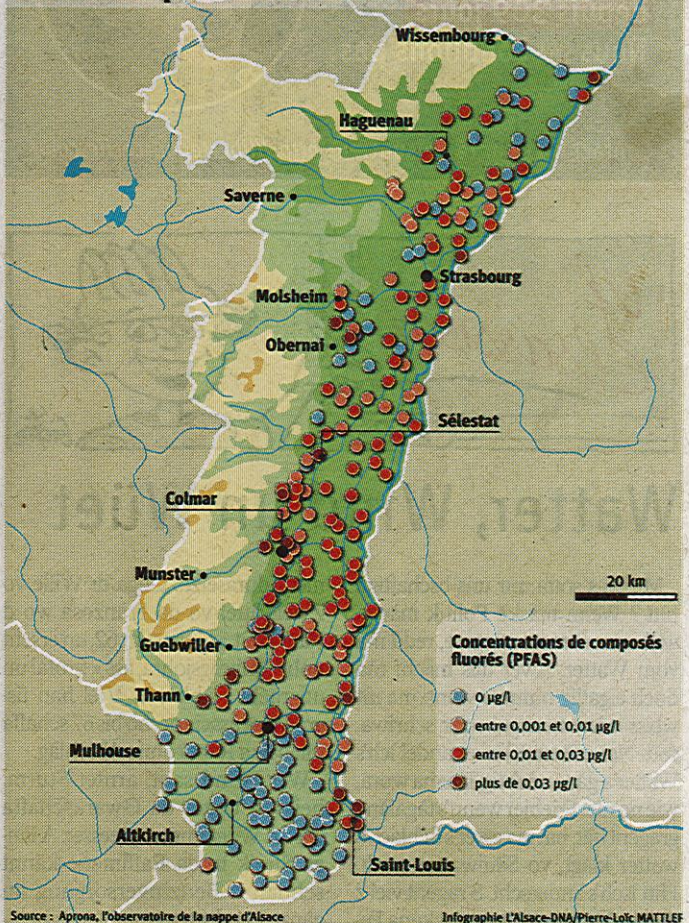
Photos Emilie GEERSENS et Michael RY

avoir des milliards de bactéries. Certaines d'entre elles vont répondre à la présence de PFAS, notamment en s'adaptant à leur toxicité via la dégradation de ces molécules. Si nous ne trouvons pas ces organismes, une alternative existe : l'évolution dirigée qui permet de faire évoluer des enzymes en laboratoire pour les doter du pouvoir de dégrader les composés fluorés. » Les technologies actuelles sont assez puissantes, non seulement pour repérer ces micro-organismes et ces enzymes, mais aussi pour les isoler en vue d'une application future en dépollution.

## ■ Les transferts, une étude inédite

À l'université de Haute-Alsace, le laboratoire de gestion des risques et environnement s'est de son côté saisi d'une autre problématique suscitée par les PFAS. « Le but de la thèse que nous lançons actuellement est de comprendre les transferts de ces contaminants émergents depuis les sols pollués jusqu'aux eaux souterraines et d'y étudier leur évolution », expose Gwenaëlle Trouvé, professeure des universités et responsable du programme. « Concernant les PFAS, tout ou presque reste à faire », analyse-t-elle. « On les connaît depuis longtemps. Et depuis les années 2000, de nombreuses recherches ont été lancées, mais rien n'a été fait concernant ces transferts, alors qu'ils ont été rendus visibles. Or l'Ineris [Institut national de l'environnement et des risques] veut imposer à l'Europe de travailler sur cet aspect au titre des conséquences sur la santé humaine. » Car ces polluants éternels colonisent également nos tissus...

## Pfas dans la nappe phréatique : 80 % des points de mesure contaminés



## ■ Une traçabilité inexistante

D'où viennent ces polluants ? De partout, de la grande industrie au petit sachet de pop-corn passé au micro-ondes, ou de certaines boues d'épandage issues de stations d'épurations qui ne peuvent les traiter. À Colmar, l'Inrae étudie d'ailleurs leur diffusion. Les analyses n'ont pas déterminé les sources d'émissions, ce n'était pas leur but. « Leur traçabilité est inexistante en Alsace. La Dreal du Grand Est entame un chantier pour les détecter, conformément au plan ministériel qui vient d'être lancé dans ce but », confirme Miguel Nicolai.

Faut-il s'inquiéter de cette pollution globale ? À Kehl, des PFAS à des teneurs supérieures à 100 ng/l viennent d'être découverts dans deux puits de réserve, mais leur fermeture ne semble pas avoir été envisagée. En l'absence de valeurs limites officielles et d'un cadre réglementaire qui n'entrera pas en vigueur avant 2026 en Europe, rien n'est imposé. Alors qu'aux États-Unis, la limite de tolérance est désormais proche du zéro... Les PFAS sont un continent à explorer, un huitième continent encore moins recommandable que le septième, le continent de plastiques.

Jean-François OTT

## Pourquoi la plaine alsacienne est... rouge

On ne voit quasiment qu'elle. Pourquoi, sur cette carte publiée par plusieurs médias européens le 23 février, la plaine rhénane apparaît-elle autant constellée de repères rouge figurant les prélèvements positifs ? Parce qu'on a plus cherché en Alsace qu'ailleurs. On doit essentiellement cette carte aux résultats d'Ermes, l'inventaire des pollutions de l'eau aux micropolluants (uniquement dans la nappe phréatique) achevé par l'Aprona en 2016. « Nous nous sommes basés sur une démarche presque unique en France », confirme Baptiste Rey, chargé d'études à l'Aprona.

« L'obligation de surveiller les composés perfluorés remonte à 2018. Mais nous l'avions anticipé en demandant à l'observatoire de la nappe de les inclure dans ses recherches », complète Miguel Nicolai, expert en substances toxiques à l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Pourquoi pas plus tôt ? « Pour une question de capacité : les plus grands laboratoires français ne peuvent déceler qu'une faible partie de ces polluants. Avec une réglementation inexistante, on ne savait pas quoi rechercher, sachant que 100 000 polluants émergents sont recensés en Europe. » Qui plus est, organiser une recherche systématique, dans les captages d'eau potable, par exemple, s'avère extrêmement coûteux. L'Aprona débute cette année un nouvel inventaire, Ermes II, qui s'appuiera sur un plus grand nombre de prélèvements et de molécules recherchées. D'autres surprises sont donc à attendre à l'issue de ce chantier, en 2025.