

## POLLUANTS ÉTERNELS

# PFAS : le coût vertigineux de la dépollution de l'Europe

Cent milliards d'euros par an : alors que l'ampleur de l'empoisonnement par les polluants éternels apparaît peu à peu, « Le Monde » et dix-sept médias ont pu, pour la première fois, calculer le prix qu'atteindrait la décontamination

Depuis les années 1940, le robinet industriel déverse sur l'Europe des substances chimiques dangereuses qui se sont disséminées dans les moindres recoins de l'environnement. Si leur appellation scientifique – substances per- et polyfluoroalkyles (PFAS) – est peu évocatrice, leur surnom parle de lui-même : « polluants éternels ». Les propriétés chimiques exceptionnelles des PFAS – antiadhésives, déperlantes, antitaches, etc. –, qui les rendent si populaires auprès des industriels, sont les mêmes qui empêchent leur dégradation naturelle. D'une mobilité et d'une persistance remarquables, les PFAS s'accumulent partout : dans l'eau, la terre, les déchets... et aussi les êtres vivants.

Leur élimination apparaît pourtant comme une priorité de santé publique. Car la concentration des PFAS dans l'environnement fait d'eux un danger pour le vivant : cancers, infertilité, toxicité pour le rein, le foie ou encore le système immunitaire, la liste des maladies reliées à une exposition aux PFAS ne cesse de s'allonger.

Mais le chantier que doit entreprendre l'Europe pour les détruire est pharaonique. Le continent abrite à lui seul au moins 23 000 sites pollués, et presque autant de sites fortement suspects, identifiés en 2023 dans une enquête collaborative, le Forever Pollution Project, menée par *Le Monde* avec 17 médias partenaires.

Une question brûle donc les lèvres de tous ceux qui, conscients de cette crise environnementale majeure, cherchent des solutions : combien cela va-t-il coûter ? Avec le Forever Lobbying Project, la suite de l'enquête parue en 2023, *Le Monde* et ses 29 partenaires sont parvenus pour la première fois à une estimation du prix de la dépollution : entre 95 milliards d'euros et 2 000 milliards d'euros sur vingt ans. La fourchette haute est fort probablement la plus réaliste. Cette estimation, déjà impressionnante, n'inclut ni l'impact des PFAS sur nos systèmes de santé, ni une myriade d'externalités négatives trop difficiles à quantifier.

Pour aboutir à ce chiffre inédit – jusqu'à présent, seuls des calculs très partiels existaient dans la littérature académique –, les journalistes du projet ont combiné les rares informations scientifiques et économiques disponibles avec des données locales collectées auprès de pionniers de la dépollution. Un effort de longue haleine, issu d'une collaboration avec les chercheurs Ali Ling (université de St. Thomas, Minnesota, États-Unis) et Hans Peter Arp (université norvégienne de sciences et de technologie, Trondheim).

D'abord, l'estimation minimale : 95 milliards d'euros sur vingt ans, donc, dans un scénario réaliste où toutes les émissions de PFAS cesseraient dès demain et où les exigences fixées par la loi resteraient figées. Il s'agirait de traiter uniquement les sites les plus prioritaires – les décharges, les sols très contaminés et quelques unités de production d'eau potable –, en se concentrant sur l'élimination des PFAS aujourd'hui réglementés,

notamment les chaînes « longues » (de 6 à 14 atomes de carbone), utilisées historiquement par les industriels.

Or, d'autres polluants éternels attirent aujourd'hui l'attention des autorités : les PFAS à chaîne courte et ultracourte. Introduits progressivement sur le marché par les entreprises pour anticiper réglementations et procès depuis le début des années 2000, ces PFAS « émergents » sont d'excellents fugitifs. Plus habiles encore que leurs congénères, ils échappent à tout système de traitement traditionnel.

Dans leur grande fratrie, le plus soumois est aussi le plus petit. Son nom aurait pu être Ioe Dalton, mais les scientifiques qui ont préféré « acide trifluoroacétique » (TFA). Et un sobriquet : « le PFAS ultime ». Issu de la dégradation de pesticides, de gaz réfrigérants ou même d'autres PFAS, longtemps resté dans l'angle mort des campagnes de surveillance, le TFA suscite des inquiétudes grandissantes.

D'abord à cause de l'augmentation « sans précédent » de sa concentration dans l'environnement : le plus minuscule des PFAS « est devenu, de loin, le plus abondant et le plus répandu », écrit le chimiste de l'environnement Hans Peter Arp, qui l'a qualifié, avec ses collègues, de « menace pour les limites planétaires ». Les travaux de l'Organisation mondiale de la santé pour déterminer des valeurs limites sanitaires, attendus en 2026, devraient aiguiller les régulateurs.

## DÉFI TECHNOLOGIQUE ET LOGISTIQUE

S'attaquer au TFA et aux autres PFAS émergents, en leur fixant une valeur limite autorisée dans l'eau, nécessiterait pour l'Europe le déploiement de moyens de décontamination bien plus importants que ceux qui ont déjà été envisagés pour les PFAS dits « historiques », selon nos calculs, la facture grimperait à 2 000 milliards d'euros sur vingt ans. Et encore... Ces 100 milliards d'euros par an, qui représentent plus de la moitié du budget annuel de l'Union européenne, seront à déboursier « à perpétuité », « du moins tant que les PFAS ne font pas l'objet d'une restriction généralisée, à partir de laquelle leurs concentrations commenceraient à baisser si nous les traitons activement », précise Hans Peter Arp, coordinateur du projet de recherche européen Zer0PM.

Au-delà des coûts, la décontamination pose un immense défi technologique et logistique à la société. Aux Pays-Bas, en Belgique, en Suède ou en Norvège, les premiers chantiers sont lancés. Mais, faute de plan coordonné à l'échelle européenne, chaque pays improvise ses propres recommandations, ou ignore simplement le problème.

En première ligne, les services publics locaux et les filières de traitement des eaux et des déchets interrogés par *Le Monde* sont abasourdis face à l'ampleur de la tâche. Dans les usines de potabilisation de l'eau, l'élimination des PFAS requiert des procédés spécifiques. Le charbon actif, déjà utilisé dans certaines unités de traitement des eaux, « est une solution efficace sur les PFAS "historiques" et sur une partie des chaînes courtes,



**CES 100 MILLIARDS D'EUROS PAR AN SERONT À DÉBOURSER « À PERPÉTUITÉ », « DU MOINS TANT QUE LES PFAS NE FONT PAS L'OBJET D'UNE RESTRICTION GÉNÉRALISÉE »**

HANS PETER ARP  
coordinateur du projet de recherche européen Zer0PM

explique l'ingénieur en environnement américaine Ali Ling. Mais il doit être purgé et changé très fréquemment. Or, ce n'est généralement pas fait dans les usines qui s'en sont déjà équipées pour traiter d'autres micropolluants », comme les pesticides.

Surtout, le minuscule TFA et sa chaîne ultracourte font fi du charbon actif. Seule l'« osmose inverse basse pression », une technique de filtration radicale, gourmande en eau et en énergie, est capable de l'isoler... à des coûts prohibitifs pour la plupart des structures modestes, en particulier les petites et moyennes collectivités. Si la réglementation exigeait de limiter le TFA à 100 ou même 500 nanogrammes par litre d'eau, « les fournisseurs prennent les mesures nécessaires, mais cela signifierait la fin du secteur de l'eau potable tel que nous le connaissons », avance Oliver Loebe, secrétaire général d'Europe, l'organisation européenne qui représente les prestataires des services des eaux, des régions municipales aux firmes comme Veolia et Suez. « À ce stade, vouloir retirer tout le TFA de l'eau potable, ce serait comme vouloir dessaler les océans », renchérit le chercheur Hans Peter Arp.

Avec son projet de filtration haute performance, lancé dès 2015 afin de lutter contre les micropolluants, le Syndicat des eaux d'Île-de-France nous en donne un avant-goût. Pour intégrer l'osmose inverse à ses procédés de traitement d'ici à 2032, il lui faudra construire une ligne à haute tension spécifique, dont le coût représentera 20 % du budget total du chantier, estimé à 1 milliard d'euros.

Bien qu'efficace, l'osmose inverse laisse par ailleurs derrière elle un volume important de liquide concentré en PFAS, dont les usines ne savent que faire. « Aujourd'hui, la plupart des usines rejettent ces concentrats dans les rivières ou les océans », déplore Hans Peter Arp. « Il est coûteux mais essentiel de détruire les PFAS retenus, plutôt que de les libérer dans l'environnement, où ils posent à nouveau problème », soutient Ali Ling, qui a réalisé une évaluation des coûts et technologies de dépollution pour le Minnesota.

La propriété la plus recherchée chez les PFAS – leur résistance extrême – se révèle être aussi leur plus grand défaut dès lors qu'il est question de les détruire. À ce jour, seuls les incinérateurs en sont capables à grande échelle. À condition d'« atteindre des températures supérieures à 1050 °C voire 1100 °C », précise Dorte Herze, scientifique à l'Institut norvégien de recherche sur l'air. Les incinérateurs conventionnels, qui

traitent les ordures ménagères ou une partie des boues d'épuration, sont incapables de produire une telle chaleur. Ils ne peuvent donc pas « garantir une [destruction] complète de tous les PFAS », conclut une étude récente de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques. Pire, des températures trop basses dans ces incinérateurs déplacent le problème, en dégradant les PFAS à chaîne longue en agents chimiques à chaînes plus courtes.

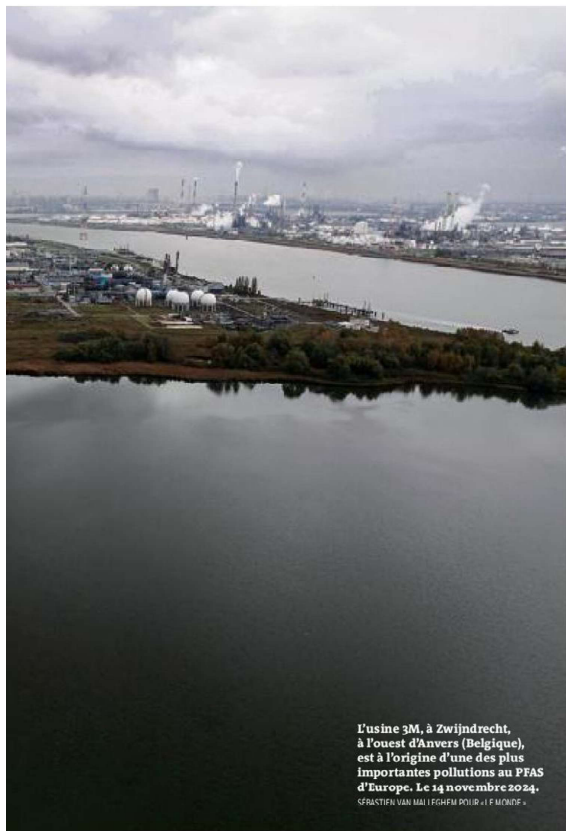
Pour éviter ces effets indésirables et trouver des méthodes de traitement moins voraces en argent et en énergie, la recherche bouillonne. « Certaines techniques montrent des effets prometteurs », affirme la scientifique Ali Ling. Mais il faudra plusieurs années avant que ces infrastructures puissent être déployées à une échelle suffisante.

D'autant qu'un autre vecteur de pollution pourrait démultiplier les besoins en incinération, et donc les coûts : les boues. Les résidus solides issus de certaines stations d'épuration urbaines contiennent en effet de fortes concentrations de PFAS. Or, ces engrais à bas prix ont depuis longtemps trouvé un débouché dans nos champs. Aux États-Unis et en Suisse, la fertilisation par des boues d'épuration est suspectée d'avoir contaminé des hectares de terres agricoles ainsi que le bétail qui s'y trouvait. D'après nos calculs, brûler ces boues au lieu de les épandre coûterait au bas mot 20 milliards d'euros par an en Europe, sans compter les pertes pour le secteur agricole.

## « NETTOYER LES SOLS AU PLUS VITE »

En bout de chaîne, les stations d'épuration sont aussi encombrées par leurs déchets liquides. Pour Ali Ling, « le traitement du TFA n'est pas vraiment envisageable dans ces sites, car trop onéreux ». Les techniques les moins prohibitives financièrement élimineraient les PFAS à chaîne longue mais seulement une partie des PFAS à chaîne courte. Leur mise en place dans les grandes et moyennes stations d'épuration d'Europe nécessiterait au moins 45 milliards d'euros par an.

Ces sommes vertigineuses appellent donc à faire des choix. Pour les PFAS déjà disséminés dans l'environnement, Ali Ling pense qu'il faudra « concentrer nos fonds limités sur les sites présentant des risques réels pour la santé humaine ». Nos analyses montrent que le traitement des écoulements des décharges, très concentrés en PFAS, est un investissement stratégique d'un point de vue



L'usine 3M, à Zwijndrecht, à l'ouest d'Anvers (Belgique), est à l'origine d'une des plus importantes pollutions au PFAS d'Europe. Le 14 novembre 2024. SRUSTIEN VAN MAM / LEFHEM DOUW / J. F. MONDÉ

économique et environnemental : 1 kg de PFAS peut y être éliminé pour un million d'euros « seulement », contre une dizaine de millions d'euros dans les effluents de station d'épuration.

Autre poste prioritaire : l'assainissement des sols les plus contaminés. Selon les calculs de Hans Peter Arp, nettoyer les terres d'une sélection même très restreinte d'environ 1 800 sites à dépolluer en priorité en Europe (aéroports, bases militaires, usines utilisatrices ou émettrices de PFAS) coûtera au moins 3 milliards d'euros par an dans le scénario le moins onéreux. Il faudra compter un autre milliard pour les fabricants d'emballages enduits de PFAS, associés aux épandages de déchets industriels.

« Il est préférable de nettoyer ou de confiner les sols au plus vite, avant que les PFAS se répandent dans toutes les ressources en eau », insiste Hans Peter Arp. Parfois, il est déjà trop tard. Aux Pays-Bas, près de la ville d'Utrecht, les PFAS disséminés dans le sol près d'une ancienne caserne ont contaminé une nappe phréatique. Les autorités vont consacrer dix ans et 22 millions d'euros à la dépollution des sols et des eaux souterraines pour éviter que le panache de polluants n'atteigne les puits d'eau potable.

A quelle adresse faudra-t-il envoyer la facture de cette entreprise de dépollution sans précédent ? « Si le principe du pollueur-payeur n'est pas appliqué, la charge financière du traitement supplémentaire de l'eau potable nécessaire sera répercutée sur le consommateur », prévient Oliver Loebel, d'EurEau. Faute de contribution des firmes à l'origine des pollutions, chaque foyer européen devrait déboursier 480 euros par an pour écopier le TFA de leur environnement proche, d'après nos estimations. Avec d'importantes variations locales, selon l'ampleur des dégâts – loin d'être toujours identifiés.

En Belgique, aux Pays-Bas, en Italie, en Suède et même en France, les actions en justice contre les pollueurs se multiplient. Des services publics demandent le remboursement des frais d'assainissement, des collectifs citoyens réclament des dommages et intérêts... Mais ces procès mettront des années à aboutir : les entreprises coupables sont parfois difficiles à identifier, quand elles n'ont pas quitté le pays – comme Miteni, qui a fermé son usine de Trissino (Italie) pour rouvrir en Inde.

« Il n'y a pas assez d'argent sur terre pour régler les PFAS de l'environnement aussi vite

## CE QU'IL FAUT SAVOIR

**Pollution** « Le Monde » et ses 29 médias partenaires poursuivent l'enquête sur les PFAS commencée en 2023 dans le Forever Pollution Project, qui révélait l'ampleur de la contamination de l'Europe par ces composés chimiques ultratoxiques et presque indestructibles.

**Coût** Dans ce deuxième volet, nous révélons pour la première fois une estimation du coût de cette dépollution illégitime, qui pourrait atteindre 2000 milliards d'euros sur vingt ans, dont 12 milliards d'euros par an pour la France, en posant d'immenses défis technologiques.

**Lobbying** Déterminés à empêcher ou à limiter l'interdiction des PFAS, à l'étude dans l'Union européenne, les industriels déploient un intense lobbying et une vaste campagne de désinformation, dont « Le Monde » et ses partenaires révèlent les coulisses et décryptent les contre-vérités.

que nous les y émettons actuellement », affirme Ali Ling. Restreindre les émissions de PFAS pour arrêter de faire grimper l'addition s'impose dès lors comme une urgence. « Il n'y a aucun espoir de voir la bagnoire tant que nous n'aurons pas fermé le robinet », ajoute la chercheuse, du même avis qu'Oliver Loebel, d'EurEau, pour qui « le contrôle des PFAS à leur source est la priorité absolue ». « Ce qu'il est essentiel d'avoir en tête, c'est qu'il nous reviendra toujours moins cher de cesser d'émettre des PFAS que de décontaminer », résume Hans Peter Arp. C'est aussi à cette conclusion que sont parvenus l'Allemagne, le Danemark, les Pays-Bas, la Suède et la Norvège. En février 2023, ces cinq États ont proposé à l'Europe une interdiction de toute la famille des PFAS. Le projet est sévèrement menacé, visé depuis des mois par une intense campagne de lobbying et de désinformation orchestrée par... les pollueurs, qui n'ont jusqu'ici presque rien payé. ■

RAPHAËLLE AUBERT ET STÉPHANE HOREL

# En France, une facture largement sous-estimée

## L'élimination des PFAS pourrait coûter 12 milliards d'euros par an. Les collectivités sont désarmées

Anne Grosperin est « très préoccupée par cette découverte ». Depuis la fin de l'année 2024, la vice-présidente du Grand Lyon chargée du cycle de l'eau sait que « le champ captant qui alimente 98 % de la population en eau potable est contaminé au TFA ».

Le TFA, c'est l'acide trifluoroacétique. Dans la famille des PFAS (substances per et polyfluoroalkylées), vous avez demandé le pétifils. Le plus microscopique des polluants éternels, chouchou de la chimie agricole et médicale, se faufile à toute allure dans l'eau, l'air et les sols. Produit de dégradation de pesticides et d'autres PFAS, il est indestructible dans la nature.

Premier épitente de pollution aux PFAS connu en France, le sud de Lyon fait figure de laboratoire à ciel ouvert pour le reste du pays. Une fenêtre sur le futur de la décontamination des polluants éternels, démonstration par l'exemple des coûts de nettoyage colossaux calculés par *Le Monde* et ses partenaires dans le cadre de l'enquête Forever Lobbying Project. Les sommes mobilisées, déjà importantes, risquent d'exploser.

Avant ce nouveau coup de massue, les services publics rhodaniens se mettaient à peine en ordre de bataille contre d'autres PFAS : PFOA, PFNA, PFHxLA... Derrière ces noms peu évocateurs, des substances synthétisées et utilisées – aujourd'hui encore pour certaines – par les industriels de la vallée de la chimie pendant des décennies. Ces composés ultratoxiques baignent dans les milieux aquatiques et terrestres autour des usines qu'ils ont émis.

Pour assurer la distribution d'une eau conforme, les élus évaluent déjà à 15 millions d'euros leur projet d'« interconnexions avec les réseaux voisins ». Comprendre : relier les sources pour mélanger les eaux de différentes qualités et diluer les polluants pour redescendre en deçà des concentrations maximales autorisées par la réglementation.

A cela s'ajoutent 5 millions d'euros pour équiper une usine avec du charbon actif – un matériau poreux qui permet d'adsorber une partie des PFAS – et 600 000 euros annuels pour les frais de fonctionnement, de renouvellement et de régénération des charbons, mais aussi des recrutements et comités spécifiques aux PFAS, des campagnes d'analyse, des projets de recherche... La métropole, la région et le syndicat Rhône-Sud ont chiffré leurs dépenses minimales à plus de 9 millions d'euros pour la seule période 2023-2027.

« Et ça, c'était avant que l'on apprenne cette contamination au TFA dans nos ressources considérées de très bonne qualité », s'inquiète Anne Grosperin. Si ses effets sur la santé demeurent mé-

connus, de premières études sur les mammifères pointent une toxicité du TFA pour le foie et des effets sur la reproduction. L'Allemagne a d'ailleurs demandé à l'Agence européenne des produits chimiques de classer le plus petit des PFAS comme toxique pour la reproduction humaine. La Commission européenne a souligné, en décembre, sa « toxicité préoccupante », et l'Organisation mondiale de la santé devrait elle-même se prononcer en 2026 sur les risques sanitaires qu'il pose.

Le cas de Lyon est loin d'être isolé. La contamination de notre environnement au TFA semble généralisée : dans les eaux minérales en bouteille, dans les points de prélèvement d'eau en Ile-de-France, dans l'alimentation végétale, la terre, l'air, la pluie, il est mesuré à des concentrations bien plus importantes que les autres PFAS. « Dans chaque milieu, les concentrations de TFA sont au moins dix fois plus élevées qu'elles ne l'étaient avant 2010 », affirme Hans Peter Arp, professeur à l'université norvégienne de science et de technologie, à Trondheim. « Et cela ne fera qu'augmenter » en raison de sa persistance extrême et des émissions continues, prédit ce chercheur en chimie environnementale, associé au travail d'estimation des coûts de dépollution mené par le Forever Lobbying Project. Travail qui a permis de calculer que la France devra consacrer 12 milliards d'euros par an à la dépollution des PFAS si le TFA doit être traité – et un minimum de 700 millions d'euros annuels rien que pour traiter les émissions passées.

### « Phase d'état des lieux »

Contrairement à une vingtaine de congénères, le TFA ne fait l'objet, à ce stade, d'aucune réglementation spécifique dans l'eau en France. Il est absent de la liste des 20 PFAS « préoccupants » dont la concentration dans l'eau sera obligatoirement surveillée à partir de 2026. Mais « si l'y est ajouté – et je pense que c'est le sens de l'histoire –, de très nombreux services publics ne pourront plus distribuer de l'eau potable conforme », se désespère Anne Grosperin. Car le traitement par charbon actif, prévu dans le plan d'action de la métropole, ne permet pas de retenir le TFA. Seule la technologie dite « de l'osmose inverse basse pression » parvient à isoler ces molécules ; mais ce système de filtration est extrêmement énergivore.

« Il est assez consternant, en tant qu'élu écologiste, de savoir que la seule solution existante va à l'encontre de toute logique de transition écologique, qui exige plutôt d'interdire la production de ces polluants », regrette la vice-présidente. A l'encontre également de la cure d'austérité recommandée aux collectivités territoriales dans le contexte de disette budgétaire : « On a regardé le coût d'une usine de traitement par osmose inverse, c'est plus de 200 millions d'euros », énonce-t-elle, effarée. Soit dix fois plus que pour l'équipement en charbon actif et l'interconnexion.

Onéreux pour une métropole comme Lyon, un tel investissement est tout simplement hors de portée pour la plupart des collectivités de taille plus modeste, pourtant touchées, elles

**« LES ÉLUS SONT SOUVENT CONTACTÉS PAR DES VENDEURS DE MIRACLES, SANS ÊTRE FORCÉMENT ÉPAULÉS PAR DES TECHNICIENS »**

DELPHINE FAVRE  
délégue générale de l'Amaris

aussi, par la pollution au TFA. La commune de Salindres (Gard), où est installée l'une des cinq usines de PFAS en France, appartenant au groupe belge Solvay, ne compte que 3 500 âmes. « Techniquement, on peut faire de l'eau potable avec n'importe quoi. La question c'est à quel prix du mètre cube ? », s'interroge Régis Taisne, chef du département cycle de l'eau à la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies.

Si les efforts actuels se concentrent surtout sur la dépollution de l'eau à destination de la consommation humaine, tout le reste de la filière de traitement des déchets devra s'équiper. Les calculs du *Monde* et de ses partenaires mettent en évidence l'intérêt de traiter les PFAS contenus dans les écoulements des décharges et dans les sols fortement contaminés, pour limiter une dilution dans l'environnement qui pourrait en fine renchérir la facture de la dépollution.

Devant ce chantier herculéen, les collectivités se sentent démunies. « Certaines n'en sont qu'à la phase d'état des lieux », rapporte Delphine Favre, déléguée générale de l'Association des collectivités pour la maîtrise des pollutions et risques industriels (Amaris). La dépollution est un marché qui s'ouvre, et les élus sont souvent contactés par des vendeurs de miracles, sans être forcément épaulés par des techniciens formés sur la question des PFAS.

Tout en assurant venir en appui « des actions entreprises par les acteurs locaux aux fins de réduire les émissions et les contaminations par les PFAS », le ministère de l'écologie, interrogé par *Le Monde*, le reconnaît : « A l'heure actuelle, considérant les connaissances techniques et scientifiques limitées disponibles, il n'a pas été établi de consignes fixées en matière de remédiation ou de décontamination. » Le plan interministériel sur les PFAS, lancé en 2023, porte surtout sur le recensement des sites pollués.

Une chose est sûre, selon Régis Taisne : « Les coûts vont, à la fin, être répercutés sur les consommateurs et les usagers professionnels. » Avec, à la clé, un important problème d'équité, notamment pour le milieu rural, qui devra payer beaucoup plus cher par habitant, car les économies d'échelle y sont moindres », souligne-t-il.

Certaines collectivités font donc le choix de se retourner contre les industriels pour les contraindre à réparer leurs dommages au nom du principe « pollueur-payeur », à l'image de la métropole de Lyon, qui a assigné les firmes Arkema et Dalkin devant le tribunal judiciaire. ■

J. A.U. ET S. H.O.

LA COMMISSION EUROPEENNE A SOULIGNÉ LA « TOXICITÉ PRÉOCCUPANTE » DU TFA, LE PLUS PETIT DES PFAS