

Le défi environnemental des usines de médicaments pour éliminer les PFAS dans les eaux usées

Un médicament sur cinq dépend du fluor pour soigner... Face au durcissement des normes environnementales européennes, l'industrie pharmaceutique se retrouve prise au piège entre l'urgence médicale, le blocage réglementaire et les limites technologiques. Les explications du Dr Fajer Mushtaq, cofondatrice et CEO de la spin-off de l'ETH Zurich, Oxyle AG. H2o octobre 2026.

PFAS ET INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE

Le défi environnemental des usines de médicaments pour éliminer les PFAS dans les eaux usées

Dr Fajer MUSHTAQ

cofondatrice et CEO - Oxyle AG

H2o - octobre 2026

À

Un médicament sur cinq dépend du fluor pour soigner. Face au durcissement des normes environnementales européennes, l'industrie pharmaceutique se retrouve prise au piège entre urgence médicale, blocage réglementaire et limites technologiques.

Un dilemme sanitaire : des molécules indispensables mais sous haute surveillance

L'industrie pharmaceutique fait face à une équation d'une complexité inédite. D'un côté, la pression citoyenne et réglementaire s'accroît pour éliminer les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), surnommées "polluants éternels". De l'autre, la médecine moderne ne peut tout simplement pas se passer de la chimie du fluor à court ni moyen terme.

Un pilier thérapeutique majeur : environ 20 % des médicaments sur le marché contiennent au moins un atome de fluor. Cet élément chimique apporte des propriétés uniques : il stabilise la molécule dans l'organisme en renforçant sa stabilité métabolique, améliore sa lipophilie et sa biodisponibilité (son absorption par le corps) et optimise son affinité avec la cible thérapeutique. Sans fluor, de nombreux traitements perdent leur efficacité.

L'impasse de la substitution - Remplacer le fluor n'est pas un simple réglage technique. Dans la majorité des cas, il n'existe aucune alternative sans fluor techniquement ou thérapeutiquement réalisable sans compromettre l'efficacité ou les procédés de fabrication. Même lorsqu'un substitut potentiel est identifié, les délais de développement pharmaceutique compliquent cette transition : la recherche, le développement et la validation clinique d'un nouveau médicament dépassent généralement 10 ans. Interdire brusquement ces substances exposerait le système de santé à des pénuries majeures et à des ruptures de soins.

Pression réglementaire : l'Auton europe se resserre

Bien qu'un médicament fluoré ne soit pas systématiquement un PFAS, l'ensemble de la chaîne de production est concernée : principes actifs (API), intermédiaires de synthèse, excipients, mais aussi produits de dégradation et sous-produits issus du procédé de fabrication.

Le cas critique du TFA (ECHA) - Le comité d'évaluation des risques (RAC) de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) préconise le classement de l'acide trifluoroacétique (TFA) - un PFAS à chaîne ultra-courte - comme toxique pour la reproduction (catégorie 1B), mais aussi comme substance persistante, mobile et toxique (PMT) et très persistante et très mobile (vPvM).

Changement et normes sur l'eau - Révisée, la législation européenne intègre désormais le TFA dans les normes de l'environnementale pour les eaux de surface, imposant aux industriels des exigences de surveillance renforcées des missions d'ici décembre 2027.

Le casse-tête des CDMO - Pour les sous-traitants pharmaceutiques (CDMO) qui fabriquent la chaîne des molécules différentes pour de multiples clients, tracer l'origine exacte des PFAS et gérer la diversité de leurs profils de contamination dans les eaux usées relève du parcours du combattant.

L'illusion de la filtration : le piège du "détachement"

Face aux contraintes réglementaires, les industriels se tournent massivement vers les méthodes de séparation classiques (charbon actif granulé, résines d'échange d'ions, nanofiltration, osmose inverse). Si ces technologies permettent de réduire la concentration de PFAS dans l'eau rejetée, elles masquent un problème de fond :

Une simple capture physique - Les liaisons carbone-fluor restent intactes. Le polluant n'est jamais détruit, mais seulement extrait et concentré.

Un problème d'implacable vers les déchets - Les médias usagés saturés, les résines et les tentats d'osmose deviens des résidus concentrés hautement toxiques qu'il faut stocker, transporter comme matières dangereuses et éliminer par traitement thermique ou incinération à très haute température une option énergivore, coûteuse et complexe à gérer en termes d'émissions fluorées secondaires.

L'impasse face aux PFAS ultra-courts - Des molécules légères, ultra-solubles et mobiles comme le TFA échappent aux technologies de séparation conventionnelles efficaces sur les PFAS plus grands.

Des coûts énergétiques et opérationnels explosifs - Vouloir forcer le filtrage d'eaux usées chargées en solvants et en sels via des procédés physiques poussés entraîne une consommation d'énergie, des remplacements fréquents de médias et des coûts d'exploitation insoutenables.

L'urgence d'une approche intégrée : détruire plutôt que capturer

La réponse industrielle ne peut plus se limiter à une filtration passive en bout de tuyau. La véritable rupture technologique réside dans le déploiement de procédés de destruction avancés (comme la réduction photochimique), capables de casser définitivement les PFAS directement au cœur d'eaux usées complexes contenant des solvants organiques.

La preuve de la destruction réside dans la dégradation de la molécule mère et dans le bouclage du bilan massique du fluor : une conversion quasi intégrale du fluor organique en fluorures inoffensifs garantit l'absence de sous-produits fluorés persistants. Des études démontrent ainsi des taux de dégradation atteignant 99 % sur des effluents pharmaceutiques réels et 99,9 % en laboratoire, validant la destruction complète des chaînes ultra-courtes comme le TFA.

Pour maintenir leur activité tout en respectant les exigences environnementales, les sites de production doivent désormais maîtriser l'intégralité de la chaîne : 1. Cartographier précisément l'origine des flux contaminés dans le processus de fabrication ; 2. Combiner filtration ciblée et technologies de destruction chimique active sur site ; 3. Sécuriser le traitement ultime des flux résiduels sans transfert de charge vers l'environnement.

C'est à ces seules conditions que l'industrie pharmaceutique pourra concilier souveraineté sanitaire et transition écologique. —

À

À L'auteure

À l'issue de ses études en génie électrique à l'Université d'Aston (Royaume-Uni), Fajer Mushtaq a reçu le prix commémoratif H.E. Pulsford de l'IET dans la catégorie "Meilleur projet de licence" pour ses travaux sur l'électrofilage de nanofibres de polyacrylonitrile incrustées de nanodiamants en vue de la fabrication de nanotubes de carbone hybrides. Elle débute sa carrière comme ingénieure électricienne chez Visteon Engineering Services, tout en préparant un master en micro- et nanosystèmes à l'ETH Zurich. En 2014, elle rejoint le Multi-Scale Robotics Lab en tant que doctorante, où elle met au point des micro- et nanomatériaux intelligents destinés à des applications environnementales, notamment l'assainissement de l'eau par dégradation de micropolluants toxiques et l'élimination de métaux lourds cancérigènes. Ses travaux de thèse ont donné lieu à plusieurs publications et à un brevet permettant de traiter efficacement les eaux usées de manière écologique et économique. En 2019, elle a obtenu la bourse BRIDGE Proof-of-Concept du Fonds national suisse de la recherche scientifique afin de développer un nouveau réacteur pour le traitement des eaux usées basé sur son invention.

Oxyle - Fondée en 2020 à Zurich, Oxyle AG est une spin-off de l'ETH Zurich spécialisée dans le traitement de l'eau. Ses solutions modulaires sont conçues pour traiter de fortes concentrations de PFAS, y compris les chaînes courtes et ultra-courtes que les technologies conventionnelles ne parviennent pas à éliminer. De la séparation à l'élimination en passant par la surveillance en temps réel, Oxyle combine des technologies propriétaires pour proposer des systèmes sur mesure, garantissant à ses clients d'atteindre leurs objectifs de traitement des eaux usées.