

COMMUNIQUÉ DE PRESSE

Paris-Saclay, le 21 avril 2026

Polluants éternels : un espoir pour lutter contre le TFA, l'un des plus tenaces d'entre eux

Dans la course au combat contre les polluants éternels, le “maillon faible” reste souvent le même : l'acide trifluoroacétique (TFA), le PFAS réputé comme étant quasiment indestructible. Une équipe franco-chinoise de chimistes, impliquant des scientifiques de l'Institut de Chimie Physique (ICP - Univ Paris-Saclay/CNRS), vient toutefois de bousculer les idées reçues puisqu'elle a réussi à identifier une stratégie oxydative/réductrice qui permettrait de rendre inactifs ces TFA en les minéralisant à température ambiante et sans l'ajout de catalyseur. Leurs travaux viennent d'être publiés dans *Nature Water*.

Les PFAS (pour substances per- et polyfluoroalkylées), aussi désignés sous le nom de « polluants éternels », font régulièrement la Une de l'actualité. Ces molécules, qui contiennent une chaîne plus ou moins longue d'atomes de carbone et de fluor, sont désormais omniprésentes dans tous les compartiments de l'environnement et y persistent durablement. Cette persistance environnementale tient principalement à l'extrême robustesse et stabilité de la liaison chimique carbone-fluor (C-F) des molécules, ce qui retarde leur décomposition naturelle et favorise leur accumulation et leur mobilité dans tous les milieux, et induit des expositions chroniques des personnes à ces substances. Au sein de ces « polluants éternels », qui comptent des milliers de composés différents, l'acide trifluoroacétique (TFA), PFAS à chaîne ultra-courte et largement utilisé en pharmacie, en chimie agrochimique et lors de l'analyse des peptides, comme solvant spécial, et lors de la catalyse de polymérisation, s'impose aujourd'hui comme l'un des composés les plus problématiques, tant par sa solubilité et sa très forte mobilité que par sa dégradation extrêmement lente. Il est désormais quasi omniprésent dans les sols, l'eau et les sédiments.

En France, le TFA est désormais détecté en forte quantité dans tous le milieu aquatique¹. Plus préoccupant encore, l'exposition des consommateurs et consommatrices ne se limite pas à l'eau de boisson. Dans l'environnement, la dégradation de certains pesticides fluorés conduit fréquemment au TFA, produit final stable. En 2024, PAN Europe, une ONG œuvrant pour la fin de la dépendance aux pesticides chimiques, a mis en évidence la présence de TFA dans environ 82 % des 66 produits céréaliers échantillonnés dans 16 pays européens. Les boissons ne sont pas épargnées : le TFA est également détecté dans des vins et des eaux embouteillées, et les concentrations mesurées dans les vins augmentent fortement depuis le début des années 2000, soulignant l'ampleur et la diffusion du phénomène.

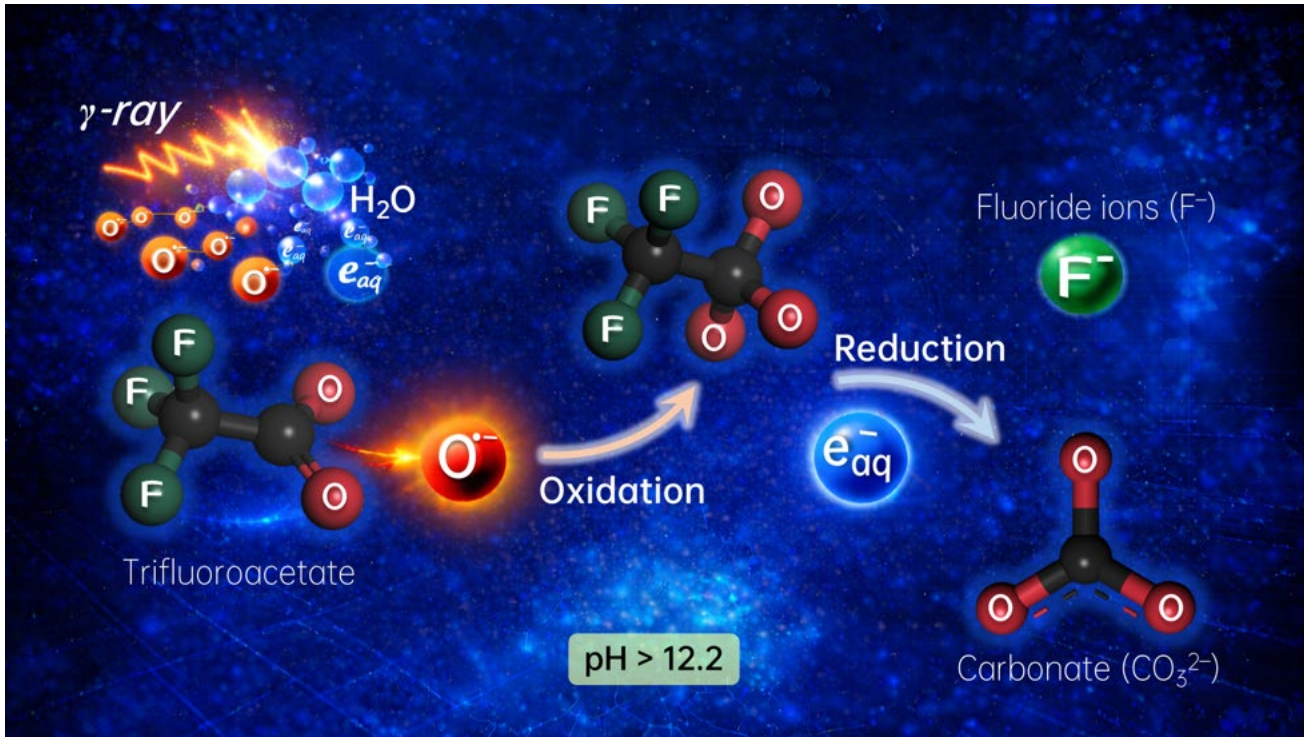
Face à ce constat, la communauté scientifique intensifie ses efforts. Néanmoins, comparé aux PFAS à longue chaîne, le TFA présente une résistance particulière aux voies de dégradation classiquement mobilisées (photochimie, électrochimie, thermochimie). Il est toutefois présumé sensible à la défluoruration par l'électron hydraté (e_{aq}^-). Mais les calculs théoriques indiquent que des barrières d'activation C-F élevées entravent fortement les processus de défluoruration réductrice par e_{aq}^- et la rupture subséquente de la liaison C-F. Il devient donc nécessaire d'identifier des itinéraires réactionnels alternatifs capables de lever, de manière créative, le verrou chimique propre au TFA.

Dans une étude parue dans la revue *Nature Water*, une équipe franco-chinoise de chimistes, impliquant

¹ Fin 2025, l'ANSES a rapporté une présence du TFA dans 92 % des échantillons analysés

des scientifiques de l'Institut de Chimie Physique (ICP - Univ Paris-Saclay/CNRS), en collaboration avec une équipe chinoise de l'Université des sciences et technologies de Chine, vient de déconstruire en profondeur les paradigmes existants concernant l'activation de C-F, en découvrant une stratégie inédite d'oxydoréduction qui permet de faire subir aux molécules de TFA, en présence d'eau ionisée, une minéralisation complète à température ambiante, sans ajout de catalyseurs, ce qui réduit les coûts et évite de puiser dans des réserves de métaux qui s'amenuisent.

Ce schéma s'explique par la hiérarchie temporelle des événements réactionnels, explicitée par des mesures de radiolyse pulsée en suivant les intermédiaires réactionnels dans le temps.



Les radicaux nucléophiles $\text{O}^{\bullet-}$ initient l'oxydation du TFA via une voie inaccessible aux radicaux OH^{\bullet} , avec une constante de vitesse nettement plus élevée ($5,1 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$), conduisant à la formation d'un intermédiaire critique, le radical $\text{CF}_3\text{CO}_3^{\bullet-}$. Les réactions ultérieures avec l'électron aqueux e_{aq}^- permettent une conversion complète en F^- et en CO_3^{2-} .

Au-delà du TFA, l'approche permet également la minéralisation d'acides perfluorés et perhalogénés et pourrait être étendue à des processus tandem radicalaires photo- ou photocatalytiques. Lors de la validation pré-pilote sous un faisceau d'électrons industriel, elle a atteint une vitesse record de défluoration de $0,27 \text{ M h}^{-1}$, démontrant sa compatibilité directe avec les technologies existantes de traitement de l'eau à haut débit.

Ces résultats obtenus grâce à la compréhension du mécanisme réactionnel constituent une avancée décisive pour remédier aux problèmes des PFAS, en remettant en cause l'idée admise de longue date selon laquelle l'activation des PFAS à chaîne courte serait inefficace.

Référence :

The $\text{O}^{\bullet-}$ /electron tandem path for complete mineralization of trifluoroacetate and perfluorocarboxylic acids
 Zhiwen Jiang, Pierre Archirel, Changjiang Hu, Jun Ma & Mehran Mostafavi
 Nature Water, 2026
<https://www.nature.com/articles/s44221-026-00632-x>

À PROPOS DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

Née de la volonté conjuguée d'universités, de grandes écoles et d'organismes de recherche, l'Université Paris-Saclay compte parmi les grandes universités européennes et mondiales, couvrant les secteurs des Sciences et Ingénierie, des Sciences de la Vie et Santé, et des Sciences Humaines et Sociales. Sa politique scientifique associe étroitement recherche et innovation, et s'exprime à la fois en sciences fondamentales et en sciences appliquées pour répondre aux grands enjeux sociétaux. Du premier cycle au doctorat, en passant par des programmes de grandes écoles, l'Université Paris-Saclay déploie une offre de formation sur un large spectre de disciplines, au service de la réussite étudiante et de l'insertion professionnelle. Elle prépare les étudiants à une société en pleine mutation, où l'esprit critique, l'agilité et la capacité à renouveler ses compétences sont clés. L'Université Paris-Saclay propose également un riche programme de formations tout au long de la vie. Située au sud de Paris sur un vaste territoire, l'Université Paris-Saclay bénéficie d'une position géographique favorisant à la fois sa visibilité internationale et des liens étroits avec ses partenaires socio-économiques - grands groupes industriels, PME, start-up, collectivités territoriales, associations...

www.universite-paris-saclay.fr

À PROPOS DU CNRS

Le Centre national de la recherche scientifique est une institution publique de recherche parmi les plus reconnues et renommées au monde. Depuis plus de 80 ans, il répond à une exigence d'excellence au niveau de ses recrutements et développe des recherches pluri et interdisciplinaires sur tout le territoire, en Europe et à l'international. Orienté vers le bien commun, il contribue au progrès scientifique, économique, social et culturel de la France. Le CNRS, c'est avant tout 33 000 femmes et hommes et 200 métiers. Ses 1000 laboratoires, pour la plupart communs avec des universités, des écoles et d'autres organismes de recherche, représentent plus de 120 000 personnes ; ils font progresser les connaissances en explorant le vivant, la matière, l'Univers et le fonctionnement des sociétés humaines. Le lien étroit qu'il tisse entre ses activités de recherche et leur transfert vers la société fait de lui aujourd'hui un acteur clé de l'innovation. Le partenariat avec les entreprises est le socle de sa politique de valorisation. Il se décline notamment via plus de 200 structures communes avec des acteurs industriels et par la création d'une centaine de start-up chaque année, témoignant du potentiel économique de ses travaux de recherche. Le CNRS rend accessible les travaux et les données de la recherche ; ce partage du savoir vise différents publics : communautés scientifiques, médias, décideurs, acteurs économiques et grand public. www.cnrs.fr

Contacts Presse :

Gaëlle Degrez
06 21 25 77 45
gaelle.degrez@universite-paris-saclay.fr

Bureau de presse du CNRS
Cnrs-presse@cnrs.fr