



Synthèse



**Évolution de la Ressource et Monitoring
des Eaux de Surface et Souterraines
du Rhin supérieur avec
instrumentation innovante**

2022-2025

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Rhin Supérieur | Oberrhein



ERMES-ii-Rhin: le programme transfrontalier de suivi et d'exploration de la pollution de la nappe phréatique du Rhin supérieur le plus complet et innovant à ce jour.

- 2022-2026
- 6 régions associées
- 13 institutions partenaires
- 4,2 M€ de financement, dont 2,2 M€ du programme INTERREG VI Rhin supérieur
- 181 paramètres recherchés
- 1 497 points de mesure
- Environ 450 000 résultats d'analyse

Maître d'ouvrage: APRONA – Observatoire de la nappe d'Alsace, Colmar / **Rédaction:** APRONA, BRGM, LUBW, HLNUG, LfU, SGD-Süd, AUE-BS, AUE-BL
Source: rapport technique du projet ERMES-ii-Rhin / **Photos:** LHG - stock.adobe.com / **Illustrations:** Pierre Wisson - wisson.fr
Design graphique: Céline Emonet / **Impression:** Ott Imprimeurs

Le contenu rédactionnel de ce document est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0.
 Attribution requise; utilisation commerciale interdite; modification, adaptation ou transformation non autorisée. Exclusion: la mise en page, la charte graphique, la composition, les éléments de design et l'habillage visuel du document ne sont pas couverts par cette licence et restent tous droits réservés.



Avant-propos

Sous un territoire occupé par près de cinq millions de personnes, se dissimule la nappe phréatique du Rhin supérieur.

Transfrontalière par nature, sa qualité exige une vigilance partagée, traduite par des états des lieux réalisés depuis 1991.

Le projet ERMES-ii-Rhin franchit une nouvelle étape dans cette surveillance commune, avec une liste de micropolluants actualisée, des méthodes d'analyse innovantes et une meilleure compréhension des mécanismes de contaminations des eaux souterraines, dont notamment celles dues aux rejets de station de traitements des eaux usées dans les eaux de surface.

Ce travail de diagnostic de la qualité des eaux souterraines, basé sur un grand nombre d'analyses, a pour objectif de mieux connaître pour mieux protéger cette ressource essentielle.

Cette synthèse en présente les principaux résultats sur les micropolluants les plus préoccupants pour la qualité des eaux souterraines : les pesticides et leurs métabolites, famille la plus polluante ; les PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées), contaminants persistants et omniprésents ; les micropolluants issus de nos modes de vie quotidiens, que les stations de traitement des eaux usées actuelles ne permettent pas encore d'éliminer correctement avant rejet.

L'ensemble des résultats est disponible sur le site www.ermes-rhin.eu

! Avertissement

Les résultats d'analyses qualité présentés dans cette brochure concernent l'eau brute. Ils reflètent la qualité de la ressource en eau souterraine, avant tout traitement.

Pour évaluer les concentrations mesurées, des valeurs seuils communes ont été définies à partir de normes et de références européennes et nationales relatives à l'eau potable ou aux eaux souterraines. Ces valeurs peuvent différer des normes ou seuils utilisés dans chacun des pays partenaires du projet, ce qui peut influencer la lecture et l'interprétation des résultats au niveau national.

L'eau du robinet est contrôlée selon des normes strictes par les autorités sanitaires avant toute distribution et peut faire l'objet de traitements spécifiques.

La nappe du Rhin supérieur : un patrimoine commun à protéger

Chiffres clés

3 pays
Superficie: 9 237 km²
Épaisseur moyenne: 70 – 80 m
Volume: env. 150 Mds m³
entre Bâle et Worms
5 millions de consommateurs
d'eau potable

Sous nos pieds, entre Bâle et Mayence, se trouve l'une des plus importantes réserves d'eau souterraine d'Europe occidentale: la nappe phréatique du Rhin supérieur. Cette ressource aussi exceptionnelle que fragile s'étend sur 300 kilomètres de long, traverse trois pays et alimente en eau potable près de cinq millions de personnes.

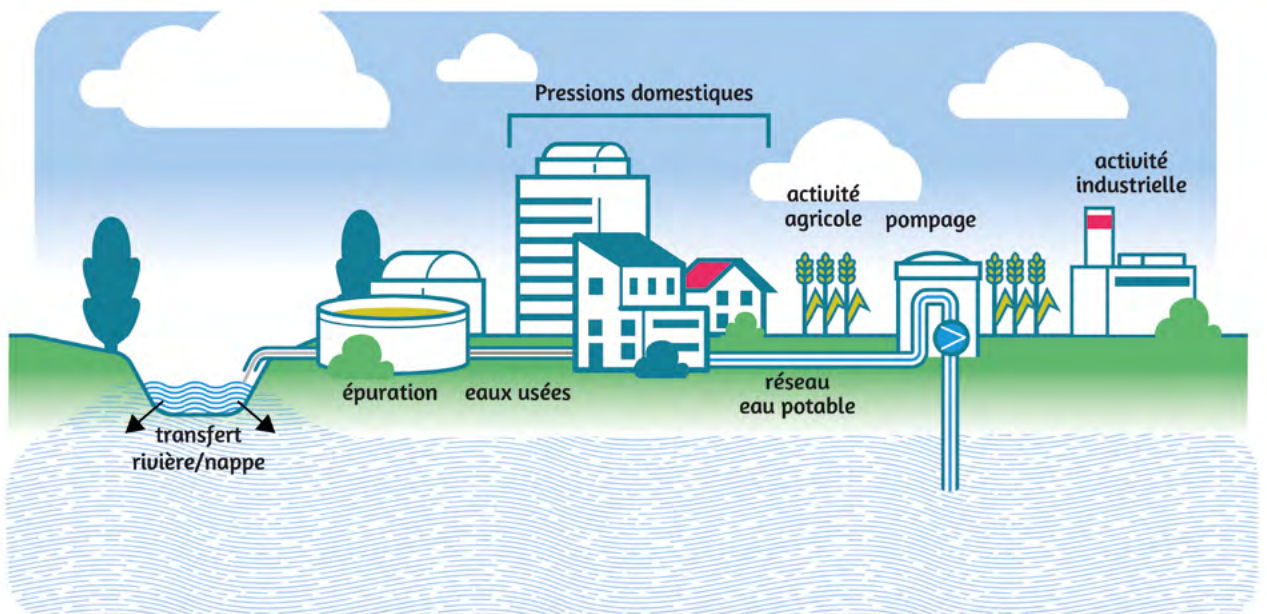
Sa disponibilité est aussi sa faiblesse. La nappe du Rhin supérieur est majoritairement peu profonde et perméable, ce qui l'expose aux influences extérieures: les eaux de pluie et des cours d'eau s'infiltrent rapidement depuis la surface, ce qui facilite l'entrée de polluants dans le sous-sol.

Les substances rejetées par les activités humaines se retrouvent ainsi dans les sols et les cours d'eau et peuvent atteindre la nappe, en quelques jours ou semaines.

Or la plaine rhénane est l'un des territoires les plus intensément occupés d'Europe de l'Ouest. Les pressions anthropiques sont multiples sur ce territoire, elles peuvent être diffuses, comme l'agriculture, mais aussi ponctuelles, liées aux zones urbaines, aux industries et aux nombreuses stations de traitement des eaux usées.

Ce que nous rejetons dans l'environnement ne disparaît pas.
Une grande partie finit par rejoindre la nappe
et potentiellement notre eau potable.

Les sources de pollution des eaux souterraines



Les micropolluants : invisibles mais bien présents

Un micropolluant est une substance qui provoque des effets toxiques sur la santé humaine et les écosystèmes à des concentrations infimes, de l'ordre du millionième ou du milliardième de gramme par litre, soit l'équivalent d'un sucre dissous dans une piscine olympique. Nombre de ces substances ne sont détectables en laboratoire que depuis récemment.

Pesticides, médicaments, produits industriels, additifs alimentaires, détergents...

les micropolluants sont innombrables. Ils sont issus d'usages très divers, reflet chimique de notre mode de vie : agriculture, activités industrielles, utilisation domestique, santé, etc.

Les micropolluants pénètrent dans les eaux souterraines, par infiltration diffuse dans le sol ou par des rejets directs, notamment ceux provenant des STEU dans des cours d'eau en interaction avec les eaux souterraines.

De nombreux micropolluants (pesticides, mais aussi médicaments, PFAS, etc.) se dégradent dans les sols et les cours d'eau en d'autres molécules, appelées métabolites. Ces molécules filles sont souvent aussi toxiques, plus mobiles et plus persistantes que leurs substances d'origines. Moins connues, elles ne font pas toujours l'objet de valeur limite réglementaire applicable à l'eau.

Les substances dites émergentes sont des molécules dont la toxicité et/ou la présence sont connues depuis peu, et peu ou pas encore réglementées.



Source : Agence de l'eau Adour-Garonne, 2022

Le projet ERMES-ii-Rhin

Le projet vise trois grands objectifs :

- établir un état des lieux de la qualité globale de la ressource en eau souterraine : 181 paramètres, dont 144 micropolluants organiques, ont été recherchés sur 1 497 points de mesure ;
- mieux comprendre les processus de contaminations dues aux rejets de STEU via les interactions rivière/nappe ;
- identifier des polluants de la nappe rhénane inconnus à ce jour grâce aux méthodes d'analyse innovantes.

Substances pharmaceutiques 28	Hydrocarbures aromatiques (HAM-HAP) 5	Édulcorants 4	Divers 4
	Éléments traces métalliques (ETM) et métalloïdes 16		Composés organiques halogénés volatils (COVH) 10
Pesticides 70	Paramètres physico-chimiques 20		
	Substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) (dont TFA) 24		

— Répartition des paramètres recherchés par famille

Les micropolluants, comme principal facteur de dégradation de la ressource

« L'effet cocktail »

Certaines substances, lorsqu'elles sont combinées, peuvent additionner ou amplifier leurs effets toxiques, même à faibles concentrations. Ces impacts sur la santé et l'environnement sont encore mal connus.

Sur 59 % des points de mesure, les valeurs seuils communes fondées sur des limites de potabilité sont dépassées pour au moins un des paramètres recherchés.

Les substances contribuant majoritairement à ce constat sont les micropolluants (principalement pesticides et métabolites, et PFAS) et les nitrates. En ne considérant que les micropolluants possédant une valeur seuil commune issue de limites de potabilité, 54 % des points de mesure présentent une pollution.

Les micropolluants d'origine anthropique sont très largement retrouvés dans les eaux souterraines.

Parmi les 144 micropolluants recherchés, 131 ont été détectés sur au moins un point du réseau. Les PFAS (TFA compris) et les métabolites de pesticides dominent cette empreinte chimique, suivis par les substances alimentaires et pharmaceutiques.

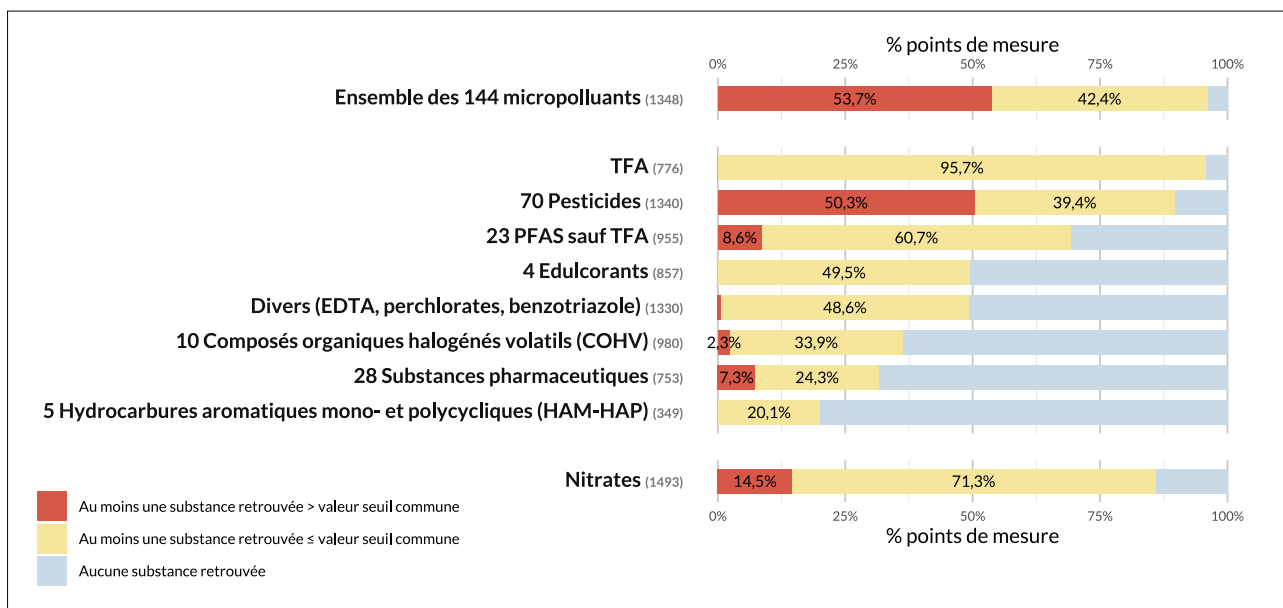
De nombreux points de mesure, notamment autour de Bâle et dans le sud de l'Alsace, présentent jusqu'à quarante substances différentes, d'origines et sources variées. Certains de ces micropolluants ne font pas encore l'objet de limites de potabilité (européenne ou nationale).

La contamination en micropolluants touche aussi bien les zones agricoles, urbaines que naturelles. Néanmoins, les secteurs à forte densité d'activités humaines concentrent non seulement plus de substances mais aussi une plus grande diversité de familles de polluants, signe que les sources de contamination y sont multiples.

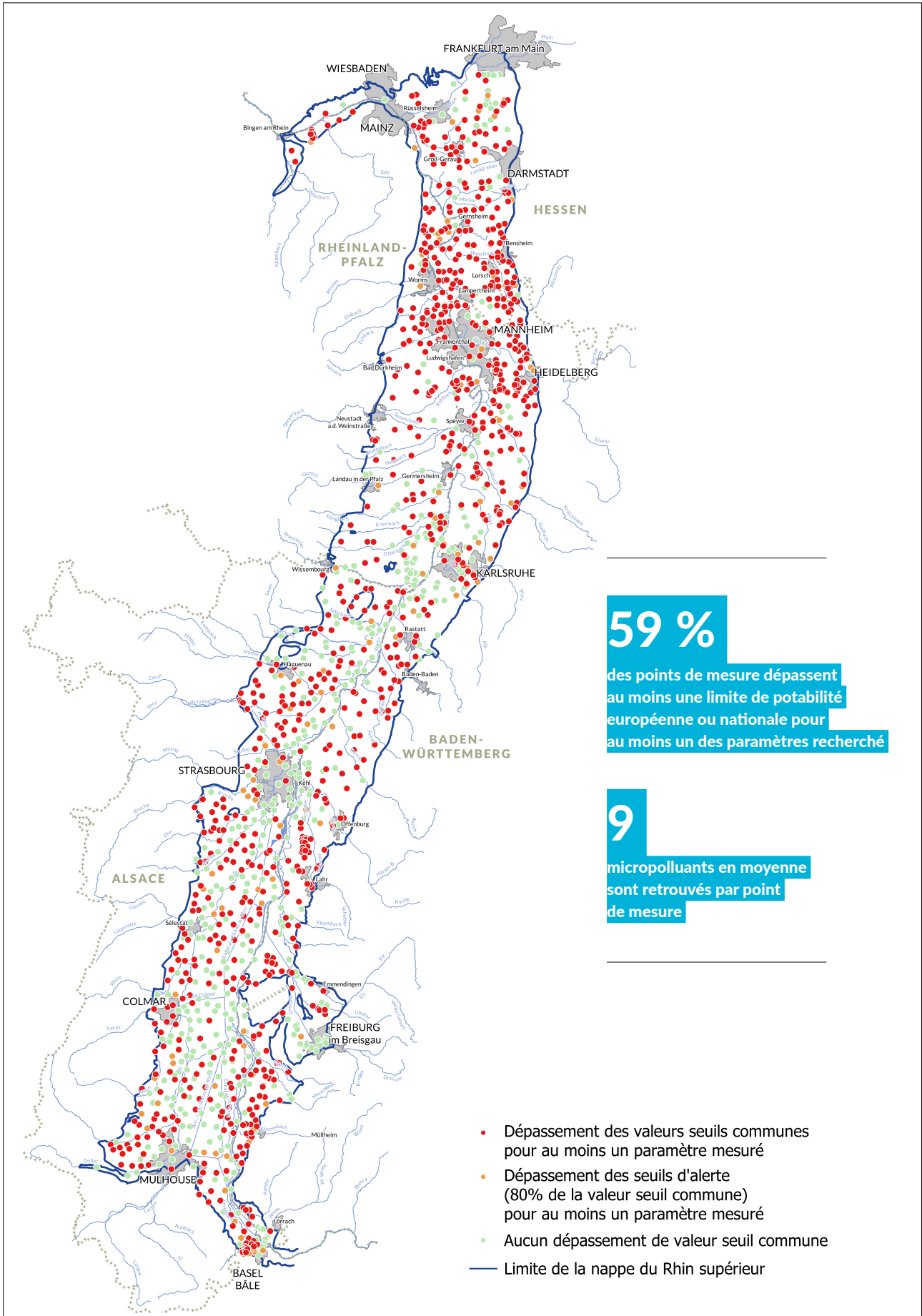
[N.B. : La présence diffuse de micropolluants sur l'ensemble de la nappe rhénane constitue la principale menace pour la qualité de la ressource en eau.]

96 %

des points de mesure présentent des micropolluants.



Taux de détection et de dépassement des valeurs seuils communes par famille de paramètres



59 %
des points de mesure dépassent au moins une limite de potabilité européenne ou nationale pour au moins un des paramètres recherchés

9
micropolluants en moyenne sont retrouvés par point de mesure

- Dépassement des valeurs seuils communes pour au moins un paramètre mesuré
- Dépassement des seuils d'alerte (80% de la valeur seuil commune) pour au moins un paramètre mesuré
- Aucun dépassement de valeur seuil commune
- Limite de la nappe du Rhin supérieur

Qualité globale de la ressource en eau au regard des valeurs seuils communes fondées sur des limites de potabilité

Les pesticides et leurs métabolites : une présence généralisée, des teneurs élevées

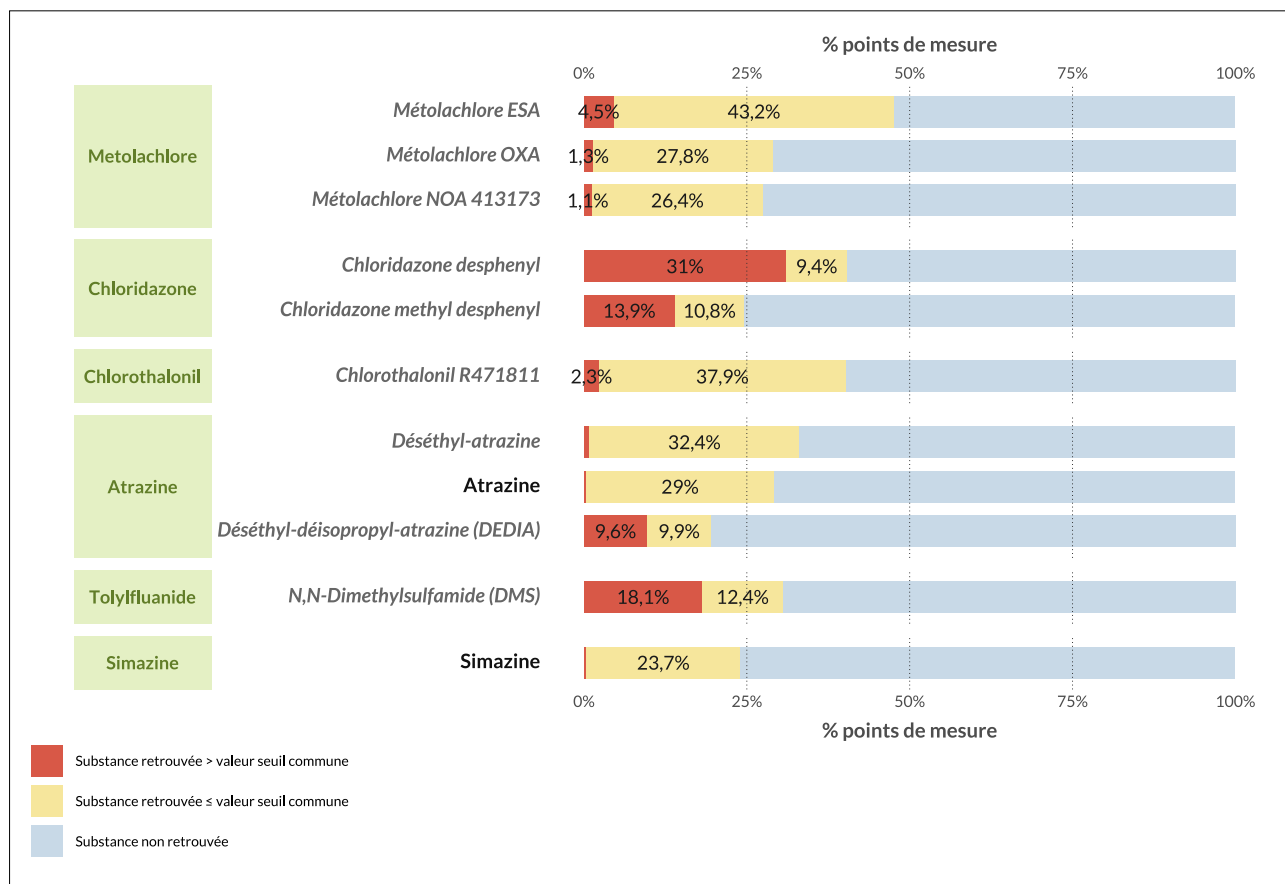
Les pesticides et leurs métabolites, retrouvés sur 90 % des points de mesure, engendrent une pollution diffuse et chronique sur l'ensemble de la nappe rhénane.

Parmi les 70 substances actives et métabolites analysés, 67 (95 %) ont été retrouvés au moins une fois.

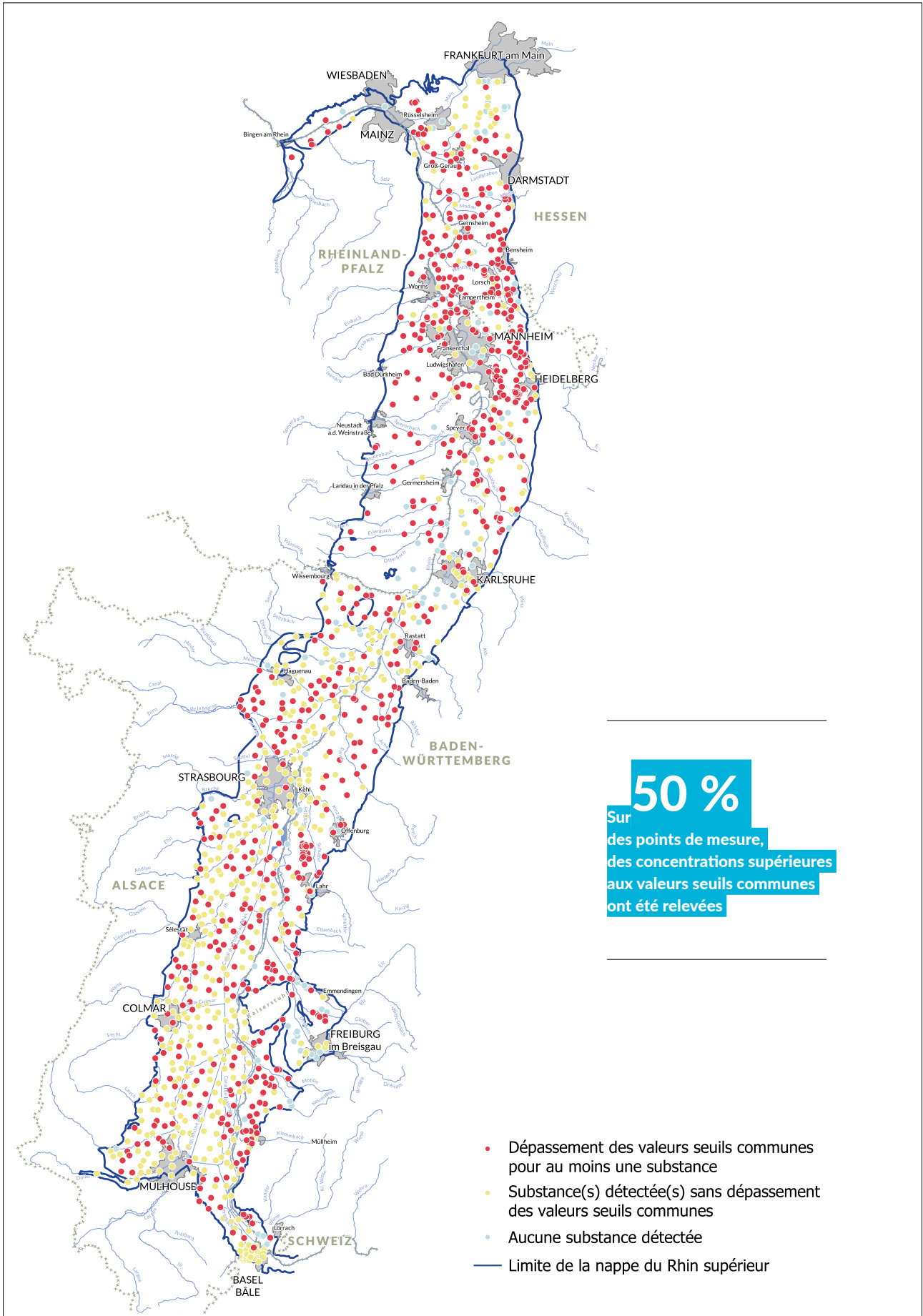
Les substances les plus présentes à des concentrations élevées sont majoritairement des métabolites d'herbicides (S-métolachlore, chloridazone, atrazine) et de fongicides (chlorothalonil, tolylfluanide). Ces molécules étaient majoritairement interdites au moment des mesures.

La pollution varie selon les territoires, illustrant l'influence du contexte agricole, des caractéristiques hydrogéologiques et des calendriers d'interdiction d'usage des produits phytopharmaceutiques. Ainsi, l'atrazine et ses métabolites apparaissent désormais quasi absents des Länder allemands (interdiction dès 1991), alors que les dépassements des valeurs seuils communes restent fréquents en Alsace et dans les cantons de Bâle, où les interdictions sont intervenues plus tardivement (France 2003, Suisse 2007).

Depuis 2016, une légère amélioration est observée, mais la forte présence des pesticides continue de détériorer durablement la qualité des eaux souterraines rhénanes.



— Taux de détection et de dépassement de la valeur seuil commune pour les pesticides et métabolites les plus retrouvés (> 10 %)



■ Détection et dépassement des valeurs seuils communes pour les 70 pesticides et métabolites recherchés

Les PFAS et le TFA : une omniprésence préoccupante

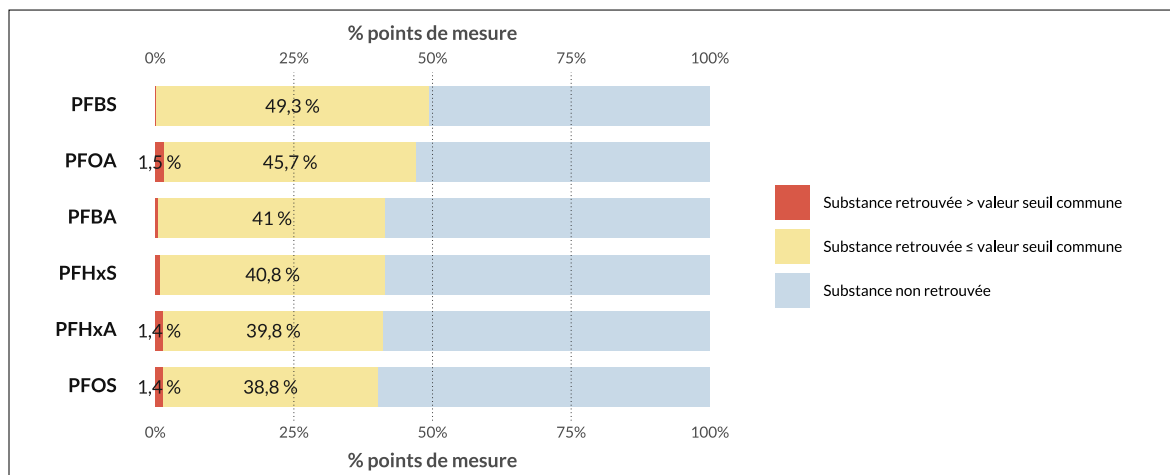
Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) forment une famille de composés chimiques artificiels caractérisés par la présence de liaisons carbone-fluor, la plus stable en chimie organique. Cette stabilité leur confère des propriétés recherchées dans de nombreuses applications industrielles, mais aussi une très forte résistance à la dégradation naturelle et une persistance de l'ordre de centaines voire de milliers d'années. C'est pourquoi ces substances sont également connues sous le nom de « produits chimiques éternels ».

Les PFAS (hors TFA) ont été retrouvés sur 69 % des points de mesure. Cette contamination est généralisée sur l'ensemble du territoire, avec des concentrations mesurées majoritairement inférieures aux seuils réglementaires.

Les dépassements de la valeur seuil commune concernent 9 % des points à l'échelle transfrontalière, localisés autour de Bâle-Saint-Louis, Thann-Cernay, Rastatt-Baden-Baden, Mayence-Francfort. Ils correspondent à des foyers de pollution connus : zones industrielles, sites d'utilisation de mousses anti-incendie, épandages de boues résiduelles.

Parmi les substances les plus fréquemment retrouvées figurent le PFOA et le PFOS, pourtant interdits depuis plusieurs années dans l'Union européenne en raison de leur toxicité reconnue.

Dans ces zones surveillées depuis plusieurs années, aucun changement notable n'a été constaté par rapport au projet précédent ERMES-Rhin 2016.



■ Taux de détection et de dépassement de la valeur seuil commune pour les six PFAS les plus retrouvés (présents sur plus de 40 % des points de mesure)

Le TFA, un PFAS hors catégorie

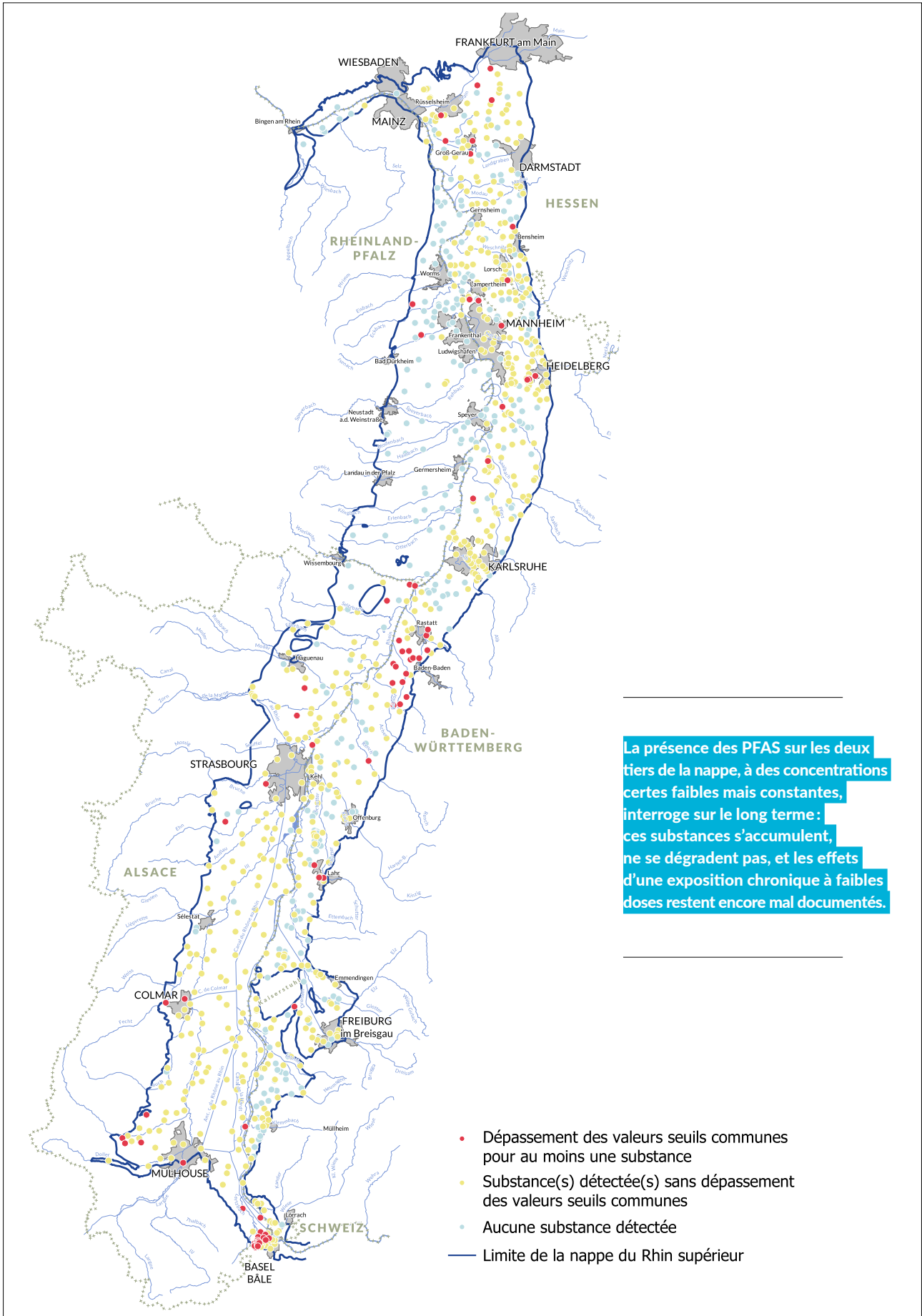
Autres
PFAS
4 %

TFA
96 %

L'acide trifluoroacétique (TFA) est le plus petit et le plus mobile des PFAS. Extrêmement persistant, le TFA ne se dégrade pratiquement pas dans l'environnement et s'accumule dans le cycle de l'eau. Il est le produit de dégradation final d'environ 2 000 précurseurs connus, dont des pesticides fluorés et des gaz réfrigérants.

En 2025, aucune norme européenne harmonisée n'existe pour suivre les concentrations en TFA dans l'eau potable. L'Allemagne a défini une valeur sanitaire de gestion pour l'eau potable de 60 µg/L, et une valeur guide à 10 µg/L pour les eaux souterraines. La France a repris la limite de 60 µg/L pour l'eau potable.

Le TFA a été retrouvé sur 96 % des points de mesure. Les concentrations mesurées dépassent les valeurs de 1 µg/L pour 41 % des points. Sa présence et les concentrations apparaissent largement supérieures à celles des 23 autres PFAS recherchés.



La présence des PFAS sur les deux tiers de la nappe, à des concentrations certes faibles mais constantes, interroge sur le long terme : ces substances s'accumulent, ne se dégradent pas, et les effets d'une exposition chronique à faibles doses restent encore mal documentés.

- Dépassement des valeurs seuils communes pour au moins une substance
- Substance(s) détectée(s) sans dépassement des valeurs seuils communes
- Aucune substance détectée
- Limite de la nappe du Rhin supérieur

■ Détection et dépassement de la valeur seuil commune pour la somme « 20 PFAS »

Des rejets de stations de traitement des eaux usées à la nappe phréatique : le parcours des micropolluants domestiques

Du médicament aux eaux usées

Lorsqu'une substance chimique est ingérée (médicament, adjuvant alimentaire, etc.), celle-ci n'est pas toujours dégradée par le corps et se retrouve dans les eaux usées.

Les cours d'eau et la nappe du Rhin supérieur interagissent et entretiennent des relations d'alimentation et de drainage en fonction des saisons et des niveaux d'eau qui fluctuent. Cette relation d'interdépendance est primordiale pour recharger la ressource, mais elle rend les eaux souterraines plus sensibles aux pollutions anthropiques, souvent apportées par les eaux de surface.

Parmi ces apports, ceux issus des stations de traitement des eaux usées (STEU) jouent un rôle particulier. En effet, ces installations traitent efficacement les macropolluants, mais ne traitent pas encore les micropolluants car le cadre juridique nécessaire faisait défaut jusqu'à présent ou n'a été modifié que récemment. Une partie de ces micropolluants se retrouve donc dans les cours d'eau via les rejets des stations d'épuration. De là, ils peuvent ensuite s'infiltrer dans les nappes phréatiques.

Les transferts de micropolluants des STEU vers les cours d'eau puis vers les eaux souterraines ont été étudiés sur six sites pilotes, situés sur le territoire de chacun des partenaires, à l'aide de méthodes d'analyse innovantes comme l'analyse non ciblée (voir partie suivante).

La sélection stratégique des sites pilotes, tenant compte des caractéristiques hydrogéologiques, a permis d'étudier les rejets de station d'épuration, les eaux de surface et les eaux souterraines afin d'observer la migration des micropolluants entre les trois milieux.

Des substances dites indicatrices d'eaux usées ont été analysées. Leur présence en aval des rejets de STEU peut également indiquer que d'autres polluants associés aux rejets sont potentiellement présents, même s'ils n'ont pas été recherchés.

Pourquoi certains médicaments résistent-ils au passage en STEU ?

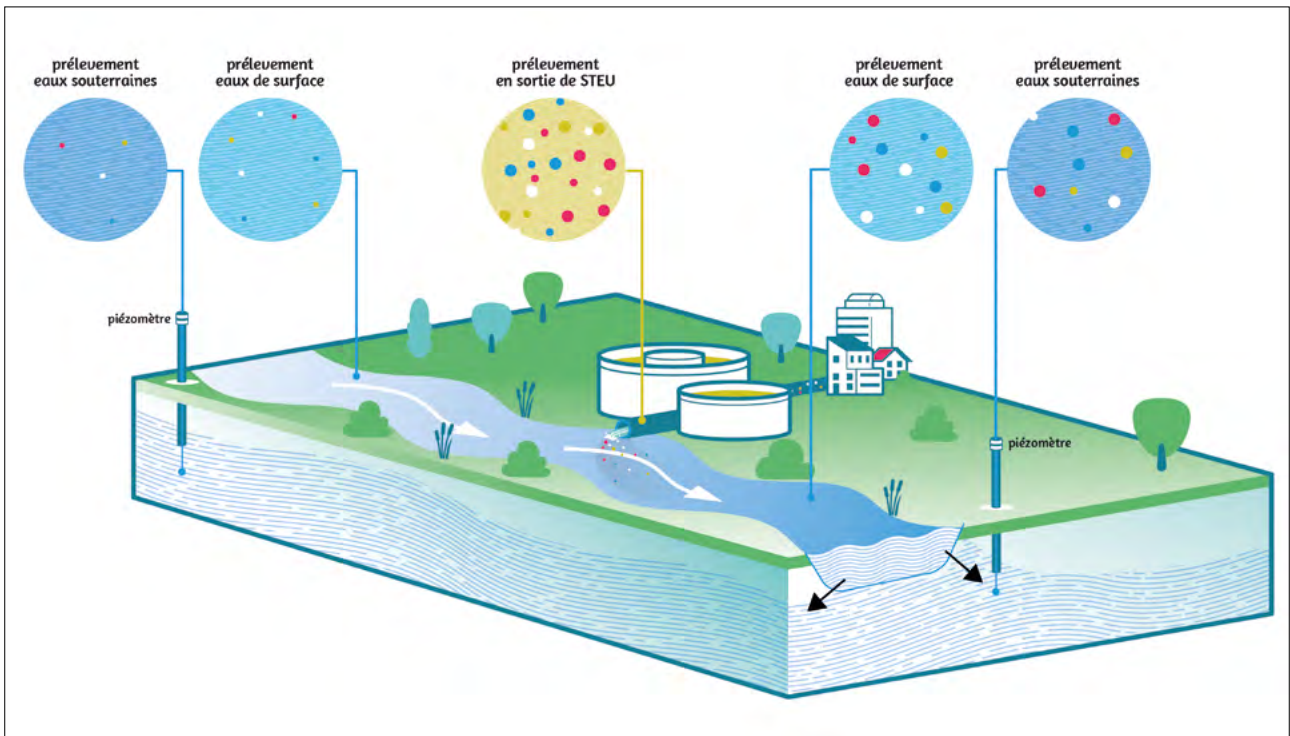
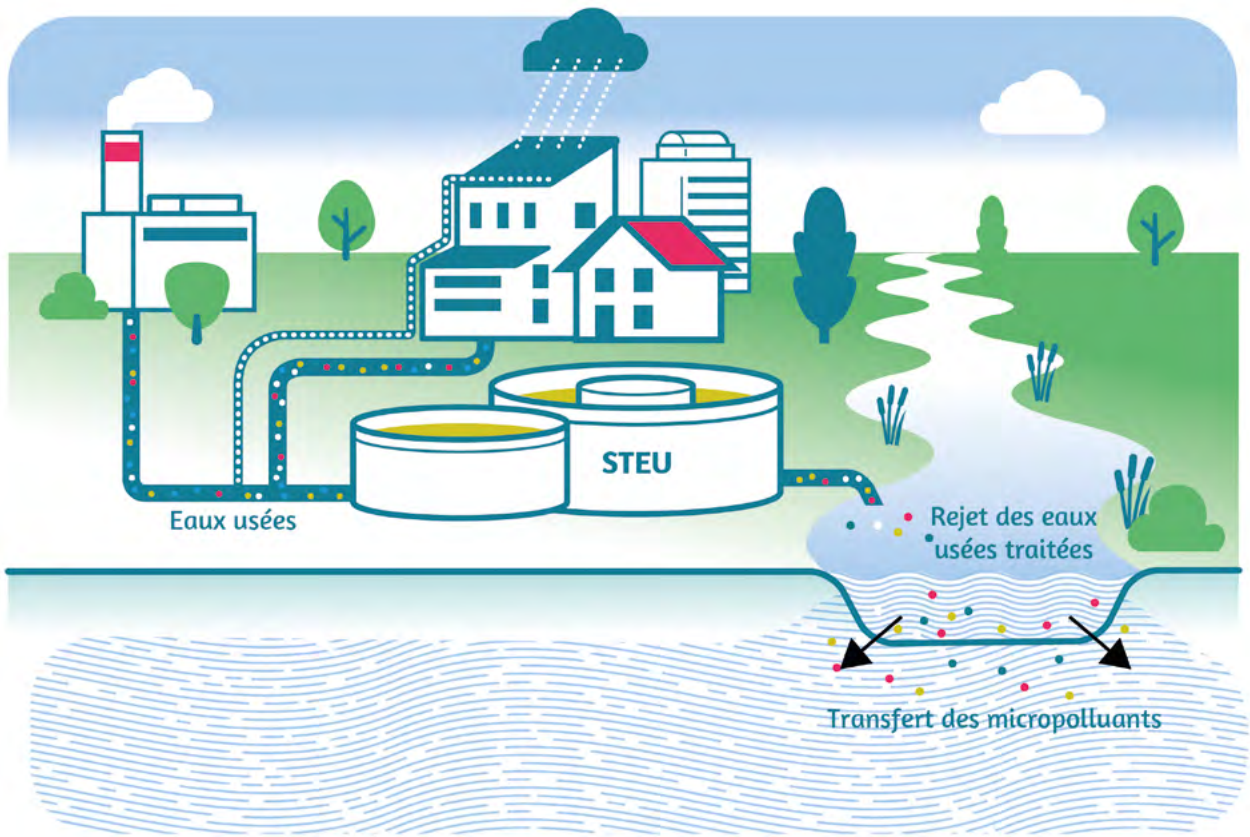
Conçus pour être stables dans l'organisme humain, ils traversent les STEU sans être entièrement dégradés. Les méthodes conventionnelles d'épuration ne sont pas (encore) conçues pour les éliminer. Ceux-ci pénètrent alors pratiquement sans entrave dans le cycle de l'eau.

Sur les sites pilotes, divers groupes de micropolluants ont été détectés dans les eaux souterraines, notamment ceux issus des usages domestiques, tels que les substances pharmaceutiques, les additifs alimentaires, les détergents, les plastifiants, certains pesticides et les PFAS. Dans l'ensemble, les concentrations mesurées en aval des rejets de STEU sont significativement supérieures à celles observées en amont, tant dans les eaux de surface que souterraines. Le cours d'eau joue le rôle de vecteur, la nappe celui de réceptacle.

Les substances pharmaceutiques et leurs résidus se distinguent par leur persistance et leur capacité à migrer dans les milieux aquatiques. Des composés comme le sulfaméthoxazole, la carbamazépine ou le tramadol présentent des concentrations nettement plus élevées dans la nappe en aval qu'en amont. Les cours d'eau servent ainsi de vecteur pour les micropolluants, qui peuvent pénétrer dans les eaux souterraines par le biais des échanges nappe / rivière, phénomène particulièrement important sur le périmètre de la nappe rhénane.

La carbamazépine est la substance pharmaceutique la plus retrouvée dans la nappe. Ce médicament est principalement utilisé dans le traitement de l'épilepsie et de la bipolarité.

Le transfert des eaux usées



— Évolution de la concentration et de la diversité en micropolluants en amont et en aval d'une STEU. Chaque point représente une substance, sa taille est proportionnelle à sa concentration.

Des méthodes analytiques innovantes pour améliorer nos connaissances

Les échantillonneurs passifs, l'innovation dans les prélèvements

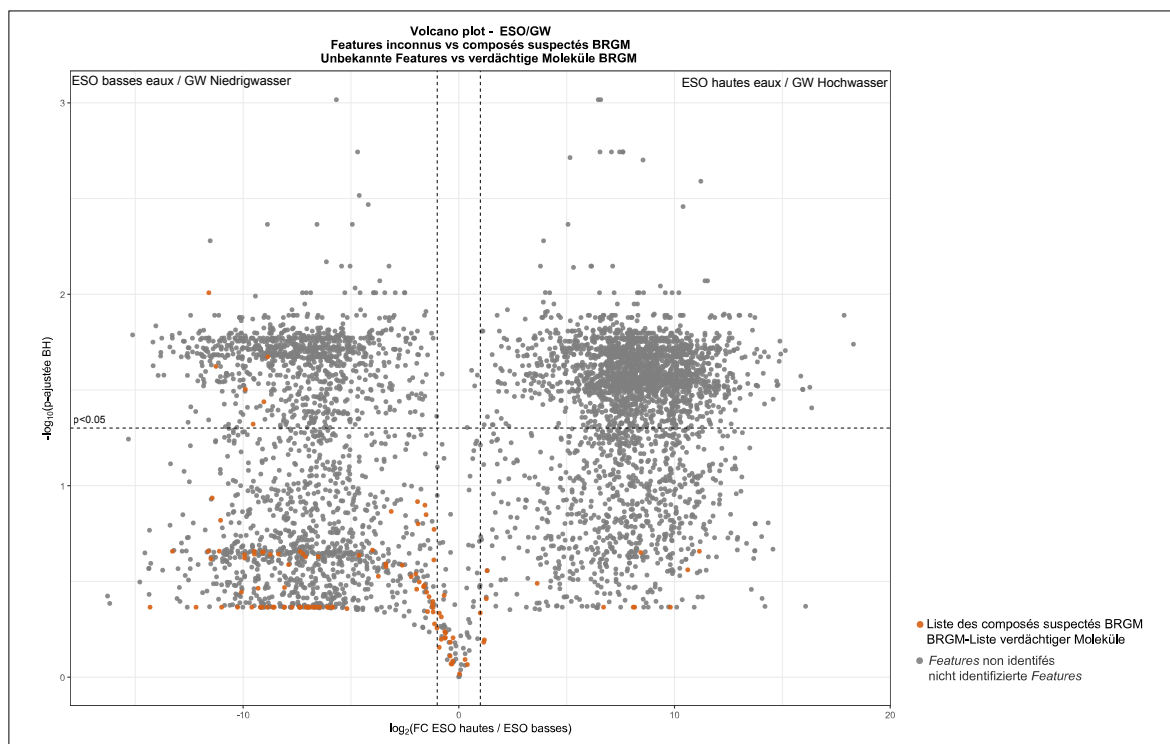
Un prélèvement ponctuel peut omettre des substances présentes de manière intermittente. Les échantillonneurs passifs de type POCIS répondent à cette limite : immergés plusieurs semaines, ils accumulent progressivement les substances présentes, même à de très faibles concentrations. Couplés au NTS, ils révèlent des médicaments (alprazolam, lorazépam, furosémide, bromazépam) indétectables par les méthodes classiques.

Lors des diagnostics précédents, les analyses s'appuyaient uniquement sur une liste prédéfinie de substances, dont la concentration était mesurée dans chaque échantillon. Bien que robuste et accessible, cette approche présente une limite : on ne trouve que ce qu'on cherche et les autres contaminants ne sont pas détectés.

Pour la première fois dans le cadre d'un état des lieux transfrontalier, ERMES-ii-Rhin a introduit une approche complémentaire : l'analyse non ciblée, ou NTS pour Non-Target Screening. Cette technique d'analyse enregistre l'ensemble des signaux chimiques (appelés « features ») présents dans un échantillon, puis les compare à des bases de données pour identifier les molécules auxquelles ils correspondent. L'ensemble de l'empreinte chimique de l'eau devient ainsi lisible.

Les résultats obtenus illustrent l'intérêt de cette démarche, qui a permis de détecter plusieurs milliers de signaux dans les échantillons de chaque site pilote. Entre 61 et 194 molécules ont été identifiées selon les sites et les types d'eau analysés, comprenant des substances non recherchées en analyse ciblée.

Au-delà de l'identification de nouvelles substances, la méthode NTS montre qu'il est possible de suivre et de relier les signatures chimiques entre les rejets de stations de traitement des eaux usées, les eaux de surface et les eaux souterraines, chacun présentant une empreinte distincte mais identifiable. L'un des principaux avantages de cette technique réside dans la disponibilité des empreintes acquises pour de futures investigations, sans qu'il soit nécessaire de conserver les échantillons. Les données peuvent ainsi être réanalysées a posteriori.



■ Signaux (features) obtenus par NTS pour le site pilote alsacien : en orange, les signaux dont la molécule a été identifiée par comparaison avec une base de données, en gris les signaux non identifiés

Une protection de la nappe à poursuivre et à renforcer

La contamination de la nappe du Rhin supérieur résulte de la multiplicité des sources et des usages de substances chimiques. Les pesticides et leurs métabolites, les PFAS, les résidus issus des eaux usées : autant de substances dont la réduction suppose des approches différentes, menées simultanément.

Réduire à la source

Limitier les apports avant qu'ils n'atteignent les sols et les eaux est une priorité. Cela suppose de réduire les usages agricoles, industriels et domestiques des substances les plus mobiles et les plus persistantes, et de surveiller attentivement les substances de substitution, qui reproduisent trop souvent les mêmes problèmes sous d'autres noms.

Mieux traiter

Les stations d'épuration actuelles ne sont pas conçues pour retenir les micropolluants. Une quatrième étape de traitement, déjà déployée en Suisse depuis 2016, permettra d'y remédier en grande partie. La Directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines de 2024 l'imposera progressivement en France et en Allemagne d'ici 2045.

Mieux surveiller

Protéger durablement la ressource suppose de continuer à la connaître. Cela passe par l'amélioration des connaissances issues des progrès analytiques, par exemple par le développement de l'analyse non ciblée, et l'intégration des échanges nappe/rivière dans les programmes de surveillance. En parallèle, l'amélioration des connaissances sur les effets combinés (« effets cocktails ») des substances présentes simultanément se doit d'évoluer.

Des initiatives déjà engagées de part et d'autre du Rhin témoignent d'une volonté réelle. Elle doit être encouragée, consolidée et renforcée. Les résultats d'ERMES-ii Rhin contribuent à ces efforts, pour garantir aux générations à venir l'accès à une eau potable sans traitements lourds.



La coopération transfrontalière, un atout décisif

Une nappe partagée entre trois pays appelle des réponses coordonnées et transfrontalières. La CIPR et l'IAWR fournissent le cadre institutionnel nécessaire à cet effet ; le projet ERMES-ii-Rhin a permis d'apporter des connaissances scientifiques nouvelles pour l'état des lieux communs, sur des méthodes harmonisées et sur des données comparables, qui pourront être utilisées pour les stratégies futures. C'est à cette échelle que les politiques de protection de la ressource peuvent être cohérentes et efficaces.

« La nappe du Rhin supérieur, un patrimoine
à protéger, une surveillance commune »



APRONA observatoire
de la nappe
d'Alsace

Observatoire de la nappe d'Alsace
Site du Biopôle / 28 rue de Herrlisheim 68000 Colmar
Tel: (+33)3 67 82 00 50
www.aprona.net

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Kofinanziert von
der Europäischen Union

Rhin Supérieur | Oberrhein

