



HAL
open science

Gestion de la pollution chimique des eaux de surface françaises : Quels enseignements tirer de la première décennie de surveillance au titre de la directive cadre sur l'eau (2009-2020) ?

Pierre-François Staub, Morgane Salomon, Azziz Assoumani, Adeline Blard-Zakar

► To cite this version:

Pierre-François Staub, Morgane Salomon, Azziz Assoumani, Adeline Blard-Zakar. Gestion de la pollution chimique des eaux de surface françaises : Quels enseignements tirer de la première décennie de surveillance au titre de la directive cadre sur l'eau (2009-2020) ?. Office Francais de la Biodiversité; Ineris. 2025. <hal-05335171>

HAL Id: hal-05335171

<https://ofb.hal.science/hal-05335171v1>

Submitted on 28 Oct 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

Gestion de la pollution chimique des eaux de surface françaises :

Quels enseignements tirer de la première décennie de surveillance au titre de la directive cadre sur l'eau (2009-2020) ?

Synthèse en français de l'étude

« Multiyear and seasonal wide-scale indicators for French surface waters
contamination by WFD substances »

parue dans Environmental Science and Pollution Research

<https://doi.org/10.1007/s11356-024-35511-z>

Pierre-François Staub¹ · Morgane Salomon² · Azziz Assoumani² · Adeline Blard-Zakar¹

✉ Pierre-François Staub

pierre-francois.staub@ofb.gouv.fr

¹Office Français de la Biodiversité (OFB), 5 Allée Felix
Nadar, 94300 Vincennes, France

² Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS),
Parc Technologique Alata - BP 2 -
F - 60550, Verneuil-en-Halatte, France

TABLE DES MATIERES

Résumé	4
Introduction	6
Motivations de l'étude	6
Principaux éléments de méthodes	7
Identification des facteurs socio-environnementaux qui influencent la contamination des eaux de surface françaises par les substances de la DCE	9
Des opportunités saisies pour évaluer l'évolution des pressions polluantes en France entre 2009 et 2020	11
Quelques spécificités notables observées pour 6 grands bassins hydrographiques hexagonaux	16
Focus sur les pesticides	19
Focus sur les métaux et l'arsenic	26
Conclusions principales de l'étude	27
DES Recommandations générales émises pour améliorer la gestion et la surveillance des substances de la DCE	30
Annexe 1 : Hétérogénéité de la richesse informationnelle dans l'ensemble des données	31
Annexe 2 : Mise en évidence du problème du biais dû à l'amélioration continue des limites de quantification	33
Annexe 3 : Méthodes utilisées pour évaluer les tendances de contamination	34
Annexe 4 : Méthode utilisée pour corriger le biais des données de surveillance de la qualité de l'eau en appliquant une méthodologie originale pour constituer un nouvel ensemble de données non biaisées	36
Annexe 5 : La qualité de la surveillance chimique de la DCE en France s'est-elle maintenue ou améliorée au cours de la période étudiée (2009-2020) ?	37
Annexe 6 : Tendances interannuelles	38
Annexe 7 : Herbicides	40
Annexe 8 : Fongicides	42
Annexe 9 : Insecticides	43

L'étude ici synthétisée, originellement intitulée « Multiyear and seasonal wide-scale indicators for French surface waters contamination by WFD substances », et parue début 2025 dans la revue *Environmental Science and Pollution Research* (<https://doi.org/10.1007/s11356-024-35511-z>), a porté sur les informations qu'il est possible d'extraire à partir de la surveillance chimique de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE) en France hexagonale, concernant les pressions anthropiques polluantes et les facteurs environnementaux ayant influencé la contamination des eaux de surface sur la période récente (2009-2020).

101 substances ont été considérées, incluant des métaux, des polluants organiques persistants (POP), des produits phytopharmaceutiques (PPP), des biocides, et des résidus de combustion, mesurés mensuellement sur 4000 sites répartis dans 6 principaux bassins fluviaux continentaux. Ces substances sont celles considérées au sein des grands districts hydrographiques de l'hexagone lors de l'évaluation de l'état chimique et écologique des masses d'eau de surface. Parmi elles, 69 sont des substances prioritaires ou dangereuses prioritaires définissant l'état chimique des eaux. La surveillance inclut également des polluants spécifiques aux bassins hydrographiques, qui contribuent à la définition de l'état écologique.

Des indicateurs mensuels de contamination ont été développés pour rendre les données comparables, en éliminant les biais dus à l'hétérogénéité des performances des laboratoires. Les données sont utilisées pour analyser les tendances saisonnières et interannuelles des concentrations des substances. L'étude a ainsi pu examiner l'efficacité des politiques de restriction et d'interdiction des substances en analysant les tendances des concentrations dans les eaux. Elle évalue comment la qualité chimique des cours d'eau réagit aux mesures de réduction des émissions. Des tendances à la baisse ou à la hausse de la contamination sont observées selon les substances et les régions, reflétant à la fois les politiques mises en œuvre et les sources de pollution.

Les activités agricoles, notamment l'utilisation de pesticides et d'engrais, sont identifiées comme une source majeure de pollution diffuse. Les PPP, incluant les herbicides (comme le glyphosate), les insecticides, et les fongicides, sont examinés. Les données de vente de tonnages de PPP sont comparées aux indicateurs de contamination des eaux pour évaluer les transferts des bassins vers les rivières. L'étude a aussi évalué l'impact de certaines pratiques agricoles, comme la fertilisation phosphorée.

Des coefficients de contamination ont en outre été établis pour quantifier le transfert des substances actives de produit phytopharmaceutiques (PPP) depuis les bassins versants vers les rivières, en fonction de leurs propriétés moléculaires et des tonnages vendus. Des perspectives opérationnelles sont proposées pour prédire et prioriser les substances actives de PPP en France hexagonale.

Les rejets industriels sont une source de contamination par des métaux et des composés organiques. Les composés industriels comprennent des composés organiques volatils (COV), des retardateurs de flamme bromés (BFR), des alkylphénols, des phtalates, et des composés fluorés.

Les zones urbaines et les activités domestiques contribuent également à la pollution des eaux, via les eaux usées et les eaux pluviales. L'utilisation de produits biocides (comme le diuron), de détergents, et de solvants dans les zones urbaines est une source de contamination. Le lessivage des surfaces imperméables urbaines et des infrastructures peut également augmenter les niveaux de contamination. La déposition atmosphérique de polluants, notamment les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), contribue à la contamination des eaux de surface. Les émissions liées au chauffage domestique au bois et au trafic routier sont identifiées comme sources de HAP.

Les variations de température, de pH, et de concentration en matières organiques dissoutes influencent la spéciation et la partition des métaux entre les phases dissoute et particulaire. L'activité biologique saisonnière dans les rivières induit des variations de pH ou d'oxygénation, affectant la précipitation et la désorption de certains métaux, et contribuent aux signaux de contamination observés.

Le ruissellement, la dilution fluviale, et les apports des eaux souterraines influencent aussi les concentrations de polluants. Les périodes de fortes précipitations (saisons humides) augmentent le transfert de pesticides et de métaux des champs vers

les rivières. La dilution variable des apports par les cours d'eau affecte la concentration de certains contaminants d'origine souterraine.

Les sols peuvent pour leur part retenir ou relâcher des substances selon leurs caractéristiques et les conditions environnementales. La composition du sol, notamment la teneur en phosphore, influence le transfert du glyphosate et de l'AMPA vers les eaux de surface. La nature géologique des sols et les activités industrielles historiques ont un impact sur la composition des eaux de ruissellement.

Les capacités analytiques limitées ont toutefois empêché de dériver des tendances pour de nombreux composés industriels, POPs et métaux. La surveillance par la DCE pourrait être améliorée pour mieux tenir compte de l'impact des insecticides et des POPs, tels les PFAS ou les retardateurs de flamme.

L'étude conclut sur l'importance de mettre à jour les listes de substances surveillées et d'intégrer de nouvelles méthodes de surveillance.

INTRODUCTION

Ce document constitue une introduction aux résultats d'une étude approfondie sur la contamination des eaux de surface françaises par 101 substances surveillées en vue d'évaluer l'état DCE (Directive Cadre sur l'Eau), entre 2009 et 2020, parue en 2025 dans la revue *Environmental Science and Pollution Research* (<https://doi.org/10.1007/s11356-024-35511-z>). L'étude identifie plusieurs sources de contamination, notamment l'agriculture (pesticides et engrais), les activités urbaines et industrielles (rejets d'eaux usées et ruissellement), les activités domestiques (biocides et produits ménagers) et des sources historiques (pollution passée). Elle utilise des méthodes statistiques robustes pour analyser les tendances de contamination et des indicateurs spécifiques (taux de dépassement de seuil, coefficient de contamination bassin-rivière) pour quantifier l'impact des différentes sources. L'étude explore la saisonnalité de la contamination, l'efficacité des politiques de gestion, et contribue à l'état des lieux DCE pour la France métropolitaine. Elle couvre notamment la question des résidus de pesticides, et propose un modèle prédictif pour en apprécier les risques aux échelles des grands bassins et nationale (cf. Fig.A ci-dessous). Enfin, elle formule des recommandations pour améliorer la gestion et la surveillance des substances en question, en insistant sur l'importance d'une approche intégrée tenant compte des facteurs socio-environnementaux.

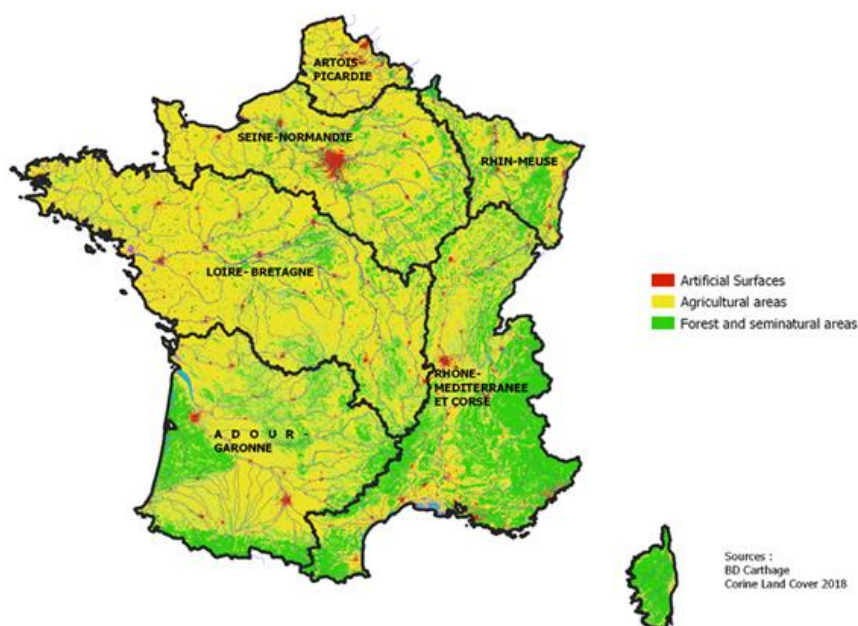


Figure A (figure 1a de l'article) : Les 6 grands bassins hydrographiques de l'hexagone considérés, et la répartition de l'occupation de leurs territoires.

L'article original détaille en profondeur l'analyse des données de surveillance effectuée, en poursuivant une vingtaine d'objectifs de connaissance distincts. Il propose près de 150 visualisations de résultats, en s'appuyant pour les interprétations sur une centaine de références scientifiques. Ne sont donc mentionnées ci-après que quelques aspects représentatifs de l'étude. Le présent document reprend dans ses annexes quelques illustrations de l'article original, et renvoie à ses différents objectifs tels que numérotés dans cet article.

Le lecteur intéressé est bien entendu invité à consulter l'article original pour des analyses plus diverses et plus approfondies.

MOTIVATIONS DE L'ETUDE

L'étude présentée a été motivée par plusieurs facteurs clés, qui mettent en évidence le besoin d'une analyse approfondie de la contamination des eaux de surface françaises par les substances chimiques de la DCE.

En premier lieu, le système actuel de la DCE, basé sur le principe de l'élément déclassant (one-out-all-out) et sur des bilans évaluatifs de la qualité des eaux avec une fréquence de 6 ans, masque les progrès potentiels sur des substances individuelles et ne permet pas de suivre finement l'évolution de la contamination. Il est donc nécessaire de disposer d'indicateurs plus fins pour démontrer l'efficacité des mesures de réduction des émissions de substances chimiques mises en place dans le cadre de la DCE et pour répondre aux besoins de la société en matière de transparence et de justification des ressources financières investies.

Par ailleurs, la France dispose d'un jeu de données très conséquent sur la qualité des eaux de surface, collectées à une fréquence mensuelle par les réseaux de surveillance de la DCE. Ces données, bien qu'abondantes, ne sont pas toujours directement exploitables pour l'analyse des tendances de contamination, en raison de l'hétérogénéité des performances analytiques des laboratoires, qui peuvent présenter des limites de quantification (LQs) insuffisantes, nuisant à la qualité statistique des données. L'[Annexe 1](#) détaille, en première approche, les implications de ces insuffisances statistiques pour les différents groupes de substances considérés.

En outre, l'amélioration progressive des LQs au cours du temps constitue un autre obstacle à la comparabilité des données sur le temps long. L'[Annexe 2](#) fournit un éclairage introductif sur les problèmes engendrés par ces évolutions de LQs, tels que révélés par l'étude.

Dans ce contexte, l'étude ici résumée s'est donnée pour méthode de proposer de nouveaux indicateurs globaux, applicables à l'ensemble des substances de la DCE, et permettant de comparer les six principaux bassins hydrographiques français de manière objective et cohérente. Ces indicateurs doivent permettre d'identifier les spécificités régionales (à l'échelle des grands bassins) en matière de contamination, de mettre en évidence les tendances temporelles. L'[Annexe 3](#) fournit un premier niveau de description des méthodes numériques mises en œuvre pour évaluer ces tendances.

L'étude visait également à améliorer la compréhension du lien entre les usages des substances chimiques et leur impact sur la qualité des eaux de surface, ainsi que de l'influence des facteurs environnementaux.

Pour finir, une attention particulière a été accordée aux substances actives des PPP, qui représentent une source importante de contamination des eaux de surface. L'étude utilise les données de vente de pesticides (BNV-D) pour quantifier le lien entre les tonnages utilisés et la contamination des eaux, et pour explorer la prédictibilité de la contamination en fonction des propriétés physico-chimiques des substances.

PRINCIPAUX ELEMENTS DE METHODES

L'analyse effectuée a mobilisé les réseaux de mesure de la DCE pour construire des indicateurs de contamination robustes et représentatifs de l'état des eaux de surface françaises.

L'étude s'est appuyée sur les données de concentration des substances chimiques produites par les agences de l'eau et collectées sur les réseaux de surveillance de la DCE. Ces réseaux, répartis sur l'ensemble du territoire français, fournissent un large jeu de données de concentrations mesurées à une fréquence mensuelle. Notamment :

- Le réseau de surveillance (RCS) : Ce réseau permanent vise à évaluer l'état général des eaux de surface. Il est conçu pour être représentatif de la diversité des caractéristiques naturelles et des pressions anthropiques des bassins.
- Le réseau de surveillance opérationnel (RCO) : Ce réseau temporaire est destiné à évaluer l'état des masses d'eau risquant de ne pas atteindre les objectifs environnementaux et à suivre leur évolution en réponse aux programmes de mesures.

L'étude combine les données des réseaux RCS et RCO pour maximiser la richesse de l'information et obtenir une vision plus complète de la contamination des eaux de surface.

L'étude est par ailleurs partie du constat que les variations des limites de quantification (LQ) des laboratoires au cours du temps peuvent introduire un biais dans l'analyse des tendances de contamination (cf. [Annexe 2](#)). Pour corriger ce biais, un seuil de coupure (τ) est appliqué aux données de concentration. Seules les mesures faites avec une $LQ \leq \tau$ sont prises en compte, et celles dont la concentration mesurée est inférieure à τ sont réaffectées à la valeur $\tau/2$. La valeur de τ est déterminée pour chaque substance en fonction des caractéristiques de son jeu de données de mesure. Cette approche, décrite succinctement en [Annexe 4](#), permet de garantir la comparabilité des données dans le temps et l'espace.

L'étude a ensuite agrégé les données de concentration des sites de surveillance de la DCE pour construire des indicateurs à l'échelle de la France entière et des six principaux bassins hydrographiques. Y sont distingués d'une part des indicateurs de contamination nationaux qui reflètent le niveau général de contamination des eaux de surface françaises, et d'autre part des indicateurs par bassin qui permettent d'identifier les spécificités régionales en matière de contamination et d'évaluer l'efficacité des politiques de gestion des substances à l'échelle des bassins versants.

DE NOUVEAUX INDICATEURS PROPOSES, APPLIQUES AUX DONNEES DE SURVEILLANCE DE LA DCE COLLECTEES ENTRE 2009 ET 2020 EN FRANCE CONTINENTALE

UN INDICATEUR D'EXPOSITION MOYENNE (χ)

Cet indicateur représente la concentration moyenne d'une substance dans les eaux de surface d'un territoire donné (France entière ou un des 6 bassins principaux). Il est calculé en agrégeant les données de concentration de tous les sites de surveillance du territoire après avoir appliqué un seuil de coupure (τ) pour éliminer le biais lié aux variations des limites de quantification (LQ) des laboratoires au cours du temps. Conceptuellement, χ est similaire à l'indicateur proposé précédemment par Gauroy et al. (2011)¹ pour les pesticides, mais appliqué à toutes les substances de la DCE. Il permet d'évaluer l'exposition moyenne des eaux de surface à une substance donnée sur une période donnée.

UN INDICATEUR DE DEPASSEMENT DE SEUIL (ρ)

Cet indicateur représente le taux de dépassement du seuil de coupure (τ) pour une substance donnée. Il constitue également un bon proxy du pourcentage de sites de surveillance où la concentration de la substance dépasse le seuil τ . ρ permet donc de suivre l'étendue spatiale de la contamination au cours du temps.

En combinant ces deux indicateurs χ et ρ , l'étude a pu décrire à la fois les niveaux de contamination et l'étendue spatiale de la contamination pour chaque substance de la DCE.

De plus, l'étude a développé **deux indicateurs intégrés sur plusieurs années** pour comparer les grands bassins fluviaux et identifier les spécificités régionales :

- Un indicateur du niveau de contamination intégré dans le temps (X_c), qui rassemble l'information sur le taux de dépassement du seuil (ρ) pour une substance donnée dans un bassin donné sur une période de plusieurs années.
- Un indicateur de risque intégré dans le temps (X_r), similaire à X_c , mais qui intègre également l'information sur la toxicité de la substance via le rapport entre χ et la norme de qualité environnementale NQE (cette norme représente la valeur

¹ Gauroy C and Carlier N (2011). Interpretation of data on pesticide residues in surface water in France, by grouping data within homogeneous spatial units. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems <https://doi.org/10.1051/kmae/2010037>

réglementaire de concentration à ne pas dépasser au risque d'induire des effets sur les organismes aquatiques ou sur la potabilisation des eaux).

Ces indicateurs multi-annuels permettent d'avoir une vision globale de la contamination et des risques associés pour chaque substance dans chaque bassin, facilitant leur comparaison et la priorisation des substances.

Enfin, pour les substances actives des produits phytopharmaceutiques (PPP), l'étude a introduit un **coefficient de contamination bassin-rivière (γ')** pour quantifier le transfert de la substance du bassin vers les eaux de surface. Conceptuellement, ce coefficient est défini par le quotient entre l'indicateur de concentration moyenne annuelle χ dans la colonne d'eau et la quantité annuelle moyenne de pesticide appliquée par unité de surface.

Ces indicateurs, combinés à l'analyse des tendances interannuelles, ont permis à l'étude de dresser un tableau complet de la contamination des eaux de surface françaises par les substances de la DCE, d'identifier les facteurs influençant cette contamination, et de formuler des recommandations pour améliorer la surveillance et la gestion de la qualité de l'eau.

IDENTIFICATION DES FACTEURS SOCIO-ENVIRONNEMENTAUX QUI INFLUENCENT LA CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE FRANÇAISES PAR LES SUBSTANCES DE LA DCE

L'AGRICULTURE

Les herbicides, fongicides et insecticides utilisés en agriculture sont une source majeure de contamination, notamment pour les substances comme le glyphosate, le métaldéhyde, le chlortoluron, le diflufenicanil, le nicosulfuron, le métazachlor et le cyperméthrine. Par ailleurs, l'épandage d'engrais peut entraîner une contamination par des métaux comme le zinc et le cadmium. La teneur en phosphore des sols et des eaux favorise par ailleurs la contamination des cours d'eaux par le glyphosate et son produit de dégradation AMPA.

LES ACTIVITES URBAINES ET INDUSTRIELLES

Les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, même après traitement, ont pu contenir des contaminants comme le diéthylhexylphtalate (DEHP), le 4-nonylphénol (4-NP) (alkylphénol) et des résidus de pesticides. Le ruissellement des surfaces imperméables en milieu urbain (routes, parkings) peut pour sa part transporter des contaminants comme les HAP, les métaux et les biocides vers les cours d'eau. L'utilisation de biocides pour le désherbage des jardins, des trottoirs et des voies de circulation, progressivement interdits pendant la période étudiée, a initialement contribué à la contamination des eaux de surface par des substances comme le glyphosate, le diflufenicanil ou l'aminotriazole.

Enfin certaines industries, comme la production de plastiques, de produits chimiques tels les perfluorés, de textiles et de métaux, peuvent rejeter dans l'environnement des contaminants spécifiques suivis par la DCE.

LES ACTIVITES DOMESTIQUES

Les produits d'entretien et de nettoyage ménagers peuvent contenir des phosphonates qui se dégradent en AMPA (acide aminométhylphosphonique), contaminant les eaux de surface. Les substances présentes dans médicaments vétérinaires utilisés pour traiter les animaux de compagnie, comme l'imidaclopride, peuvent se retrouver dans les eaux de surface via les excréments et les rejets d'eaux usées.

LES ACTIVITES ECONOMIQUES HISTORIQUES

Les sites industriels et miniers abandonnés peuvent continuer de contribuer au flux aquatique de contaminants comme les métaux lourds, les HAP dans l'environnement, longtemps après la fin de leur exploitation. En outre, des pesticides persistants, comme l'atrazine et la simazine, interdits depuis de nombreuses années, peuvent continuer à contaminer les eaux de surface.

L'[Annexe 7](#) propose, à titre illustratif, une déclinaison des diagnostics réalisés dans l'étude, concernant les usages de certaines substances emblématiques.

D'autres facteurs reflètent la complexité des interactions entre les activités humaines, les caractéristiques des bassins versants et le comportement des substances chimiques dans l'environnement :

- L'influence de la présence de substances dans l'atmosphère pour les composés volatils (HAP notamment, mais également le DEHP).

- La composition chimique des sols des bassins versants :
 - Pour les substances actives de pesticides (PPP), les valeurs totales de tonnages vendus par unité de surface de chaque bassin (fournies par la BNV-D) fournissent une approximation des pressions chimiques différenciées par bassin exercées sur les eaux de surface.

 - Pour les éléments traces, il s'est avéré que les cartes chimiques nationales des sols fournies par le réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) montraient généralement des schémas spatiaux qualitativement cohérents avec les indicateurs de contamination de l'eau proposés ici, soulignant l'importance des substrats géologiques régionaux et des activités industrielles historiques (impactant la qualité des sols) comme facteurs déterminants de la composition du ruissellement de l'eau vers les rivières.

L'hétérogénéité des activités humaines à travers les six principaux bassins fluviaux de France continentale se traduit par des profils de contamination spécifiques à chaque bassin. Par exemple, l'étude a révélé des niveaux de contamination plus élevés pour certains composés dans les bassins caractérisés par une agriculture intensive, tandis que d'autres bassins, avec une plus grande proportion de zones urbanisées, ont montré des concentrations plus élevées de substances liées aux activités domestiques et industrielles.

Outre ces facteurs anthropiques, des facteurs environnementaux tels que les conditions météorologiques et hydrologiques jouent un rôle important dans la contamination des eaux de surface. Les précipitations, le ruissellement et les débits des rivières influencent le transport, la dilution et la persistance des substances chimiques dans l'environnement. L'étude a démontré que les saisons humides, caractérisées par des précipitations et un ruissellement accru, sont souvent associées à des pics de contamination pour de nombreuses substances, en particulier les herbicides et les métaux. Les variations saisonnières de température de l'eau, de pH et des conditions Redox affectent sensiblement les niveaux de contamination observés, en particulier pour les éléments traces.

DES OPPORTUNITES SAISIES POUR EVALUER L'EVOLUTION DES PRESSIONS POLLUANTES EN FRANCE ENTRE 2009 ET 2020

L'étude aura révélé des tendances inter-annuelle significatives pour un grand nombre de substances, permettant d'évaluer l'efficacité des politiques de gestion des produits chimiques et de mieux comprendre la dynamique de la contamination.

LES POINTS FORTS DE L'ETUDE POUR REVELER L'EVOLUTION DES PRESSIONS POLLUANTES

- Un jeu très abondant de données de concentration de haute qualité. La mobilisation des indicateurs non biaisés développés dans ce travail a de surcroît permis de mettre en évidence le fait que sur la période étudiée 2009-2020, la qualité globale de la surveillance chimique DCE (échantillonnage et analyse) s'est améliorée, gage d'une interprétabilité fiabilisée des chroniques de données. L'[Annexe 5](#) précise cet aspect de l'étude.
- Une analyse de tendances à long terme : L'étude couvre une période de 12 ans, permettant de détecter des tendances interannuelles significatives pour 75 substances sur les 101 étudiées. Cette approche à long terme permet de discerner des changements progressifs dans la contamination, au-delà des fluctuations annuelles.
- Des indicateurs robustes : L'étude utilise des indicateurs de contamination (χ) et de dépassement de seuil (ρ) spécifiquement conçus pour surmonter les biais liés aux variations des limites de quantification des laboratoires. Ces indicateurs offrent une vision plus fiable de l'évolution réelle de la contamination.
- Une couverture géographique étendue : L'étude porte sur les six principaux bassins hydrographiques de la France continentale, permettant une analyse comparative des pressions polluantes à l'échelle nationale et régionale.
- Une prise en compte des facteurs influençant la contamination : L'étude intègre des informations sur les interdictions de substances, les changements d'usage, les conditions hydroclimatiques et les mesures d'atténuation pour interpréter les tendances observées.

LE RECOURS A L'ANALYSE TEMPORELLE

L'étude analyse les tendances temporelles des indicateurs de contamination pour évaluer l'évolution de la contamination des eaux de surface au cours du temps. En particulier :

- Dérivation de tendances : L'étude utilise des méthodes statistiques non paramétriques, comme la méthode de Mann-Kendall et la méthode de Theil-Sen, pour analyser les tendances temporelles des indicateurs de contamination. Cf. [Annexe 3](#) pour plus de détails.
- Identification des périodes de pointe de contamination : L'étude analyse la [saisonnalité](#) des indicateurs de contamination pour identifier les périodes de l'année où la contamination est la plus importante.

Au global, le taux de dépassement non biaisé ρ , moyenné pour les 101 substances contribuant à l'état de la DCE, a diminué d'environ un facteur 2 entre 2009 et 2020, ce qui témoigne du succès de la réduction de leurs émissions globales dans les masses d'eau de surface françaises.

En ce qui concerne les résultats par substance et par bassin, des tendances pluriannuelles significatives jusqu'en 2020 ont pu être diagnostiquées pour 32 % des combinaisons bassin/composé, se répartissant en 25 % de tendances à la baisse (réduction de la pollution) et 7 % à la hausse. Dans 90 % des cas, il a été possible de faire remonter le démarrage des tendances qui étaient encore en cours en 2020 à des années du premier cycle de la DCE (2009-2015).

QUELQUES OBSERVATIONS CLES CONCERNANT LES TENDANCES DE CONTAMINATION A LONG TERME DE GROUPES DE SUBSTANCES SPECIFIQUES

- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Des tendances à la baisse significatives ont été observées pour trois des quatre HAP étudiés. (Cf. Fig.B ci-dessous) La diminution des émissions des véhicules explique probablement en bonne part cette tendance.

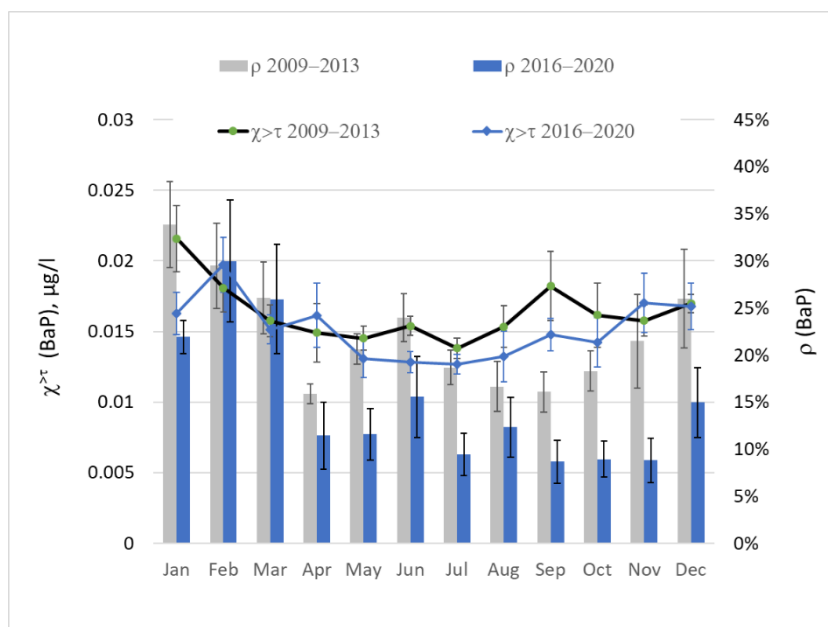


Fig. B (fig. 12 de l'article) : Variations saisonnières des taux de dépassement ρ et des concentrations moyennes $\chi > \tau$ à l'échelle nationale sur les sites présentant des dépassements du seuil τ , pour le HAP Benzo-a-pyrène (BaP ; $\tau = 0,005 \mu\text{g/L}$), en intégrant séparément les mesures des périodes 2009-2013 et 2016-2020. Hors période hivernale où les émissions sont majoritairement dues aux systèmes de chauffage, les indicateurs mensuels de contamination de la période 2016-2020 sont nettement en deçà des précédents.

- Les métaux et l'arsenic : Des tendances à la hausse ont été observées pour 7 des 8 éléments traces, dont 5 avec des tendances à la hausse très significatives. Cela semble remettre en question l'efficacité globale du contrôle des émissions anthropiques récentes de métaux en France.
- Herbicides : Sur les 15 herbicides de la DCE ayant reçu des utilisations autorisées au cours de la période d'étude, 8 présentent des comportements de diminution à l'échelle nationale, tandis qu'un seul (pendiméthaline) présente une augmentation significative.
- Les substances actives des biocides : Le diuron, utilisé jusqu'en 2007 comme herbicide, puis désormais essentiellement comme biocide pour les revêtements des constructions, a présenté une tendance à la baisse continue depuis 2009, au moins jusqu'en 2015. Son niveau s'est stabilisé depuis.
- Composés industriels et polluants organiques persistants (POP) : Des tendances non définies ont été fréquemment rencontrées pour de nombreux composés industriels de type composés organiques volatils (COV) et benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX), ainsi que pour la plupart des POP historiques, en bonne part en raison de leurs faibles concentrations qui mettent à l'épreuve les capacités analytiques des laboratoires de surveillance.
- Polluants historiques : La persistance très élevée des résidus de triazines dans l'environnement est confirmée par un déclin très lent au cours de la période d'étude 2009-2020. Cette diminution a toutefois pu être confirmée par des statistiques robustes pour l'atrazine dans presque tous les bassins (à l'exception de Rhin-Meuse) et à l'échelle nationale.

DES LIMITES A L'ETUDE

Seules 75 substances sur les 101 étudiées ont permis de calculer des tendances interannuelles, en raison de limitations analytiques et du manque de données pour certaines substances. Sur les 525 combinaisons « bassin x composé » considérées, seules 168 ont permis d'établir des tendances interannuelles, et seulement 130 de façon statistiquement très robuste.

EN CONCLUSION, SUR CET ASPECT TENDANCE DE L'ETUDE

L'étude a démontré la capacité de la surveillance chimique de la DCE à révéler les réductions des apports de nombreux contaminants affectant la qualité des eaux de surface françaises depuis 2009. Une proportion importante des améliorations indiquées par les tendances observées est attribuable aux interdictions de substances ou aux restrictions du marché. **Il est important de noter que la vision globalement positive fournie par ces résultats ne s'applique qu'aux substances de la DCE sélectionnées. Les composés de substitution, qui sont très susceptibles d'avoir également un impact sur le système aquatique, ne sont le plus souvent pas surveillés pour l'évaluation de la DCE, ou ne sont même pas connus.** Il est donc essentiel de mettre à jour les listes de surveillance des substances de la DCE en fonction des connaissances acquises sur les nouvelles utilisations des substances et d'intégrer de nouvelles méthodes de surveillance, basées sur le criblage non ciblé.

L'étude aura donc permis de dresser un bilan encourageant des efforts de réduction des émissions de polluants dans les eaux de surface françaises, mais elle a également mis en lumière la nécessité de poursuivre les efforts de surveillance et d'adaptation des politiques de gestion des produits chimiques.

L'[Annexe 6](#) apporte des éclairages complémentaires sur les tendances observées pour certains bassins et certaines substances emblématiques.

DES INFORMATIONS APPORTEES SUR LA SAISONNALITE DES CONTAMINATIONS DES EAUX DE SURFACE FRANÇAISES PAR LES SUBSTANCES DE LA DCE

La fréquence d'échantillonnage mensuelle de la surveillance de la DCE, associée à la richesse statistique de l'intégration pluriannuelle, a permis d'extraire des caractéristiques temporelles avec une bonne résolution, qui peuvent à leur tour être liées à la dynamique des sources de pollution, c'est-à-dire aux utilisations les plus importantes des produits ou aux principaux processus ou sources d'émission des produits chimiques.

L'identification des périodes de pointe de contamination pour de nombreux composés de la DCE a permis d'identifier les fenêtres temporelles dans lesquelles les gestionnaires de la qualité de l'eau devraient intensifier ou réduire les efforts de surveillance.

Voici quelques observations clés concernant la saisonnalité de la contamination pour différents groupes de substances :

SUBSTANCES D'ORIGINE AGRICOLE

La contamination des rivières par les substances actives des PPP est directement liée aux périodes d'application des produits dans les champs. Cela dépend de facteurs tels que les types de cultures ou les conditions climatiques. Comme attendu d'après les pratiques agronomiques principales, mai-juin, suivis de novembre-décembre, ont été identifiés comme les périodes de contamination les plus fréquentes par les PPP, avec des nuances saisonnières selon les bassins. Certaines substances comme le glyphosate, le métazachlore, le boscalid ou le métaldéhyde ont toutefois présenté des occurrences généralisées élevées, à la fois dans l'espace et dans le temps.

L'étude a mis en évidence l'influence des saisons humides sur la contamination des eaux de surface. Les saisons humides ont été identifiées comme un facteur important expliquant l'occurrence de contaminations aquatiques accrues liées à l'effet de l'épandage dans les champs d'herbicides comme le glyphosate, ou de métaux associés aux matières fertilisantes, comme le zinc ou le cadmium.

Elle aura également révélé des changements significatifs dans les profils saisonniers de contamination de certains PPP au fil des ans. Par exemple, la pendiméthaline a progressivement reçu de nouvelles utilisations au cours de la période étudiée, avec un passage à des utilisations hivernales plus poussées ces dernières années.

BIOCIDES

Les agents de conservation des matériaux de construction et des surfaces, comme le diuron et la terbutryne, ont montré des profils très similaires, consistant en une distribution bimodale des fréquences de dépassement du seuil, avec un large pic atteignant son maximum en été, suivi d'un deuxième pic en octobre. Le maximum estival de la fréquence de contamination suggère un effet de dilution réduit des rivières induit par les faibles débits, tandis que le pic d'octobre est probablement imputable au lessivage des surfaces urbaines au début de la saison humide. En général, la large distribution des indicateurs de contamination est conforme à ce qui a déjà été observé dans des études antérieures, à savoir que le transfert de biocides urbains vers les rivières se produit tout au long de l'année, contrairement aux situations résultant généralement de l'utilisation de pesticides agricoles, où elle se produit plus souvent dans des fenêtres de temps limitées.

HAP

Des profils saisonniers très marqués ont été révélés pour les HAP, caractérisés par des pics de contamination élevés des rivières en hiver. Cela est probablement dû aux émissions des systèmes de chauffage domestique et des centrales thermiques (notamment allemandes), ainsi qu'aux activités de transport. Le benzo(a)pyrène (BaP) et le fluoranthène ont tous deux présenté des profils très similaires, tant en termes de distributions saisonnières, interannuelles ou régionales, ce qui suggère fortement des sources d'émission principales communes.

En comparant différentes périodes le long de la chronique 2009-2020, il a été possible de découpler certaines composantes hivernales stables dans les profils de contamination du BaP et du fluoranthène dans les rivières, correspondant à la contribution du système de chauffage, et une autre composante le reste de l'année et régressant au fil des ans, reflétant probablement les améliorations apportées par la réduction continue des émissions due au renouvellement du parc de véhicules.

METAUX ET ARSENIC

Pour la plupart des éléments traces métalliques, les indicateurs de contamination dissoute étaient généralement plus élevés pendant les saisons humides. Pour l'arsenic, en revanche, les indicateurs augmentent pendant les saisons chaudes/sèches, ce qui pourrait être lié, en partie, à l'activation thermique de la désorption réductive bactérienne de sa forme la plus soluble (l'arsénite), et/ou à la réduction de la dilution par les faibles débits (cf. Figure C ci-dessous).

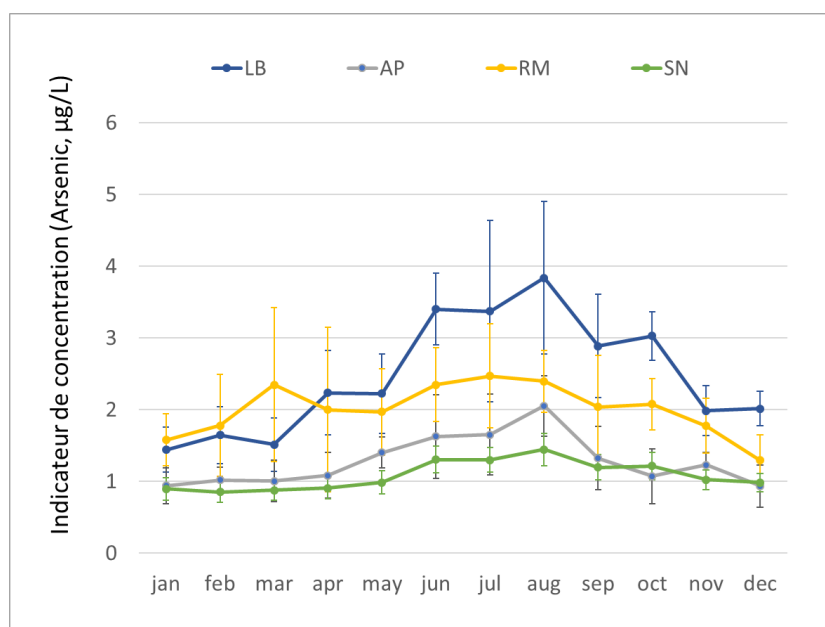


Figure C (figure 9 de l'article) : Exemple de comparaison entre les profils saisonniers moyens de concentration en arsenic (NQE=4.2 µg/L) des cours d'eau de différents grands bassins hydrographiques métropolitains, mettant en évidence à la fois les différences géochimiques entre les substrats rocheux de ces grandes régions, ainsi que l'influence de la température sur les processus biochimiques de mise en solution de l'arsenic.

COMPOSES INDUSTRIELS ET POP

Des caractéristiques distinctes ont été observées pour certains composés industriels en fonction des bassins fluviaux considérés (par exemple, le dichlorométhane dans le bassin Seine-Normandie (SN), le biphenyle dans les bassins SN et Rhin-Meuse (RM), l'hexachlorobutadiène (HCB) ou le pentachlorobenzène dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse (RMC), liées aux activités industrielles spécifiques qui y sont menées.

LE BASSIN ARTOIS-PICARDIE (AP)

Le bassin Artois-Picardie (AP) se caractérise par des pressions anthropiques importantes, notamment liées à l'agriculture intensive et à la forte densité de population, ce qui se reflète dans les contaminations, les tendances observées et les indicateurs intégrés. L'agriculture intensive pratiquée dans le bassin AP, avec une forte proportion de grandes cultures, explique les niveaux élevés de contamination par les pesticides. De plus, la forte densité de population du bassin avec une urbanisation importante, influence la contamination par les substances utilisées en milieu urbain, comme certains biocides herbicides ou de protection des surfaces construites. Enfin, le bassin a été marqué par une importante activité industrielle, ce qui explique la présence de certains polluants historiques dans les eaux de surface.

Les sols du bassin l'AP présentent des concentrations élevées en cadmium, attribuables à l'utilisation d'engrais phosphatés contaminés par ce métal et à la pollution industrielle historique. La contamination phosphatée des sols et des eaux induit en outre des effets négatifs au niveau du transfert de composés comme le glyphosate et l'AMPA.

Le bassin AP enregistre le taux le plus élevé de réduction de la pollution parmi les six bassins étudiés. Ceci indique que les efforts de gestion de la qualité de l'eau dans ce bassin portent leurs fruits.

Toutefois, c'est aussi le bassin pour lequel le plus grand nombre de tendances n'ont pas pu être calculées, du fait de données de surveillance moins abondantes (bassin de petite taille).

PESTICIDES

Le bassin Artois-Picardie est particulièrement touché par la contamination aux pesticides, en raison de l'agriculture intensive qui y est pratiquée. C'est le bassin ayant les plus forts taux de dépassement des seuils de coupure (τ) pour la plupart des substances actives de pesticides. Cette contamination peut être relié à la grande proportion de terres agricoles dans le bassin et à une consommation de pesticides par unité de surface plus élevée.

Les indicateurs de risque (X_r) pour plusieurs herbicides, notamment le diflufenicanil, le chlortoluron, le métazachlore et la pendiméthaline, sont particulièrement élevés dans le bassin AP, tout comme le fongicide cyprodinil. Le glyphosate, bien qu'en diminution d'utilisation dans les zones non agricoles, présente toujours une contamination importante, probablement en raison de son utilisation accrue en période humide. L'atrazine, un herbicide interdit depuis 2003, persiste dans les eaux du bassin, illustrant la persistance de certains pesticides dans l'environnement.

Malgré une tendance générale à la baisse de la contamination par les pesticides dans ce bassin, la pendiméthaline montre pour sa part une augmentation de la contamination continue depuis 2010. Cette augmentation est attribuée à un passage à des pratiques plus défavorables, notamment une utilisation accrue en conditions humides favorisant le transfert des pesticides vers les cours d'eau.

L'utilisation importante de glyphosate en contexte non agricole, avant l'interdiction de 2017, a contribué à la contamination du bassin. L'aminotriazole, également utilisé en milieu urbain avant son interdiction en 2016, a aussi eu un impact significatif sur la qualité de l'eau du bassin AP, malgré des tonnages de vente relativement faibles.

Enfin, bien que le TBT, un biocide anti-fouling interdit, soit en diminution, le bassin AP affiche un indicateur de risque (X_r) élevé pour cette substance, probablement en lien avec l'intensité historique de la navigation fluviale dans ce bassin.

METAUX ET HAP

Les indicateurs de contamination intégrés (X_c) pour les métaux sont généralement élevés dans le bassin AP, notamment pour le cadmium (Cd), reflétant possiblement l'utilisation intensive d'engrais phosphatés contaminés et la pollution industrielle historique. Le bassin AP montre toutefois des progrès pour certains métaux, tels le cadmium, le zinc et le plomb.

Le bassin AP, comme les bassins RM et SN, présente aussi des indicateurs de risque (Xr) élevés pour le benzo(a)pyrène et le fluoranthène, deux HAP.

En conclusion, le bassin Artois-Picardie présente des enjeux particulièrement importants en matière de contamination par les pesticides, les métaux et les substances industrielles. La surveillance continue de ces contaminants, la mise en œuvre de mesures de réduction des émissions adaptées aux spécificités du territoire, ainsi que l'optimisation des efforts de surveillance, y apparaissent cruciales pour améliorer la qualité des eaux de surface et protéger les écosystèmes aquatiques.

LE BASSIN LOIRE-BRETAGNE (LB)

Les indicateurs Xc et Xr intégrés sur la période 2016-2020 indiquent que le bassin LB se caractérise par une forte influence de son contexte géologique sur les niveaux de contamination de certains éléments traces, notamment l'arsenic (As), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). La présence de roches cristallines et volcaniques, de basaltes et de roches ultrabasiques, ainsi que de nombreux sites miniers historiques, explique en partie ces observations. LB présente les niveaux de contamination à l'arsenic les plus élevés parmi tous les bassins, probablement en raison de sa géologie et des processus de minéralisation se produisant dans la région du Massif central. Le mercure affiche également des niveaux de contamination élevés dans le bassin LB, attribuables en partie à la présence de roches volcaniques et d'anciennes activités minières aurifères.

Le nombre de sites de surveillance en LB a considérablement augmenté en 2018. Cette modification a eu un impact notable sur les indicateurs de contamination au niveau national, en particulier pour les éléments traces dont les concentrations de fonds géologiques varient fortement d'un bassin à l'autre.

En ce qui concerne le volet agricole, une augmentation continue des occurrences de dépassement du seuil de coupure τ pour l'herbicide bentazone a été détectée en LB depuis 2009. LB affiche un coefficient de contamination bassin-rivière (γ') particulièrement élevé pour l'herbicide oxadiazon, suggérant un transfert important de cette substance vers les eaux de surface lorsqu'il était autorisé (jusqu'en 2018). LB fait également partie des bassins où les points chauds de contamination à l'insecticide cyperméthrine montrent les indicateurs de risque les plus importants.

LB est par ailleurs l'un des bassins les plus touchés par la contamination au perfluorooctane sulfonate (PFOS), un polluant organique persistant.

LE BASSIN ADOUR-GARONNE (AG)

Le bassin Adour-Garonne (AG) se distingue des autres bassins français par des spécificités notables en termes de contamination des eaux de surface et d'indicateurs intégrés.

Les indicateurs Xc intégrés sur la période 2016-2020 font état du fait que le bassin AG se caractérise par une faible contamination globale pour la plupart des pesticides, témoignant d'une contamination moins prononcée que d'autres bassins. De façon cohérente avec l'observation précédente, AG se caractérise par des coefficients γ' généralement faibles, indiquant une meilleure rétention des pesticides dans ses sols. Cette particularité pourrait être liée aux types de sols, aux pratiques agricoles ou aux conditions environnementales spécifiques du bassin. L'influence de la configuration du réseau de surveillance de ce bassin pourrait sans doute aussi être investiguée comme facteur explicatif.

De fait, malgré des tonnages de glyphosate par unité de surface proches de la moyenne nationale, la contamination par ce pesticide et son métabolite, l'AMPA, est significativement plus faible dans le bassin AG que dans d'autres bassins. Cette observation suggère que la relativement faible teneur en phosphore des sols dans ce bassin facilite la rétention du glyphosate et préserve les cours d'eau. Une densité de population moindre peut également expliquer des rejets de glyphosate urbain et d'AMPA d'origine lessivielle plus limités.

Toutefois, malgré la faible contamination globale, AG présente des valeurs de l'indicateur risque Xr élevées pour certaines substances, comme le métaldéhyde, molluscicide utilisé contre les limaces et escargots, l'insecticide cyperméthrine, et l'arsenic, potentiellement issu en partie de l'utilisation passée de pesticides arsenicaux. C'est aussi le cas pour le cadmium. En effet, AG présente des zones de sols contaminés au cadmium, provenant des engrais minéraux utilisés dans les cultures

céréalières et de l'altération des roches calcaires. Cette contamination des sols représente un risque potentiel pour les eaux de surface, nécessitant une surveillance attentive des niveaux de cadmium, en particulier dans les zones agricoles.

Une augmentation continue depuis 2009 jusque 2020 des occurrences de dépassement du seuil de coupure pour le fongicide azoxystrobine a par ailleurs été observée en AG, possiblement en lien avec les activités viticoles.

LE BASSIN SEINE-NORMANDIE (SN)

Le bassin SN a été historiquement touché par la contamination aux HAP, notamment dans la région parisienne.

La forte densité de population du bassin SN exerce une pression importante sur les ressources en eau et contribue à la contamination par divers polluants. L'étude aura toutefois montré que ce bassin affiche un des taux de réduction de la pollution les plus significatifs, comparable à celui du bassin AP. Il aura aussi fortement bénéficié de l'application de la loi Labbé de 2014 interdisant l'utilisation des pesticides dans les espaces publics, contribuant à la réduction de la contamination par certaines substances.

On y observe aussi une diminution significative de la contamination par l'atrazine, un herbicide interdit depuis 2003, mais l'indicateur correspondant de contamination sur la période 2016-2020 est le plus élevé des six bassins. Ceci souligne l'importance de la surveillance des composés interdits, même après leur retrait du marché.

Mais malgré la tendance générale à l'amélioration, le bassin SN enregistre une augmentation de la contamination pour 5 des 8 éléments traces considérés, avec 4 tendances haussières significatives : Arsenic, Cadmium, Cuivre et Chrome.

Les indicateurs intégrés sur la période 2016-2020 indiquent pour leur part une contamination et un risque élevés pour le chlortoluron et le diflufenicanil, herbicides largement utilisés sur les cultures céréalières. Le bassin SN fait aussi partie des bassins où le risque lié à la cyperméthrine, un insecticide, est le plus élevé.

Il se distingue aussi par des contaminations d'origine industrielle relativement importantes au PFOS, au solvant Trichlorométhane, et au DEHP. L'indicateur de risque (Xr) y est le plus élevé des 6 bassins pour le chrome.

LE BASSIN RHIN-MEUSE (RM)

Comme les autres bassins, bassin RM bénéficie d'une tendance générale à la réduction de la pollution, avec davantage de tendances à la baisse qu'à la hausse.

Il se caractérise par une forte densité de population et une importante activité industrielle, exerçant une pression significative sur la qualité des eaux de surface. A cet égard il enregistre, comme la plupart des autres bassins, une augmentation de la contamination pour la majorité des éléments traces, quoique faiblement significative, sauf pour le cadmium avec un accroissement davantage consolidé. Le biocide urbain diuron y affiche également un niveau de contamination relativement élevé. En revanche on y observe une diminution avérée des composés industriels 4-NP et Trichlorométhane.

L'agriculture intensive pratiquée dans le bassin RM contribue à la contamination par les pesticides. Le bassin affiche toutefois une diminution notable de la contamination par de nombreux herbicides encore autorisés, comme la bentazone, l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4D) ou l'acide 4-chloro-2-méthyl phénoxyacétique (2,4MCPA), mais d'aucun fongicide, ni insecticide, ni biocide.

RM présente des indicateurs de risque (Xr) intégrés sur la période 2016-2020 élevés pour le métazachlore, le nicosulfuron et la pendiméthaline, herbicides largement utilisés. Cela dit, et contrairement aux bassins SN et AP, le bassin RM présente une faible contamination par l'atrazine, un herbicide interdit depuis 2003.

Le bassin RM, avec le bassin LB, affiche les valeurs les plus élevées pour l'indicateur de contamination (Xc) à l'arsenic. Avec le bassin AP, RM présente aussi les valeurs les plus élevées pour l'indicateur de risque (Xr) lié au benzo(a)pyrène et au fluoranthène, deux HAP. La géologie du bassin, et la composition des sols influencée par d'anciennes activités minières et industrielles, peuvent contribuer à expliquer les niveaux relativement élevés de plomb (concentrations parfois élevées) et d'arsenic (proportion de sites concernés).

LE BASSIN RHONE MEDITERRANEE ET CORSE (RMC)

Le bassin RMC affiche une tendance générale à la réduction de la contamination, similaire aux autres bassins, mais avec un nombre de tendances à la baisse parmi les plus élevés.

La présence d'un secteur pétrochimique développé dans la vallée du Rhône influence la contamination par certaines substances industrielles, comme les trichlorobenzènes (TCB). Des pics de concentration pour l'hexachlorobutadiène (HCBD) et le pentachlorobenzène ont également été observés sur quelques sites en automne/hiver dans ce bassin. Des tendances à la baisse sont enregistrées pour les composés industriels trichloroéthylène et tributylphosphate.

A l'exception du nickel, le bassin RMC est le bassin affichant le moins de hausses pour les métaux, avec par ailleurs une baisse sensible pour le chrome.

Les pratiques agricoles diversifiées dans le bassin RMC, avec des cultures spécifiques comme la vigne et les fruitiers, influencent les types de pesticides utilisés (usage du glyphosate, en substitution de l'aminotriazole) et les niveaux de contamination. On y observe toutefois beaucoup de baisses sensibles pour les herbicides, et particulièrement notables pour le glyphosate et le diflufenicanil, en lien probable avec la Loi Labbé, également pour les triazines atrazine et simazine, et des baisses très significatives pour les fongicides boscalid et tébuconazole (usages sur les fruitiers & vignes), ou encore l'insecticide imidaclopride.

Les signaux apportés par les indicateurs intégrés sur la période 2016-2020 correspondent globalement à des niveaux de contamination et de risque modérés pour la plupart des herbicides, fongicides et insecticides suivis actuellement pour l'état DCE. Les indicateurs de contamination (Xc) sont cependant relativement élevés pour certains herbicides, notamment le métazachlore. Le bassin RMC se distingue également par des coefficients de transfert bassin-rivière plus élevés pour certaines substances, comme le chlorpyrifos-éthyl, le tébuconazole et l'imidaclopride.

RMC, qui n'est pas une zone céréalière de premier plan, affiche une faible contamination par l'atrazine, un herbicide interdit depuis 2003.

Les indicateurs de risque (Xr) y sont élevés pour les deux HAP, benzo(a)pyrène et le fluoranthène, mais ces niveaux sont inférieurs à ceux observés dans les bassins du nord de la France (RM, AP et SN). Le naphthalène est par contre rencontré avec une fréquence spatiale comparable aux bassins nordiques, possiblement en lien avec les feux de forêt ou le chauffage au bois des régions alpines.

Le cadmium est le seul métal pour lequel RMC présente un indicateur de risque Xr relativement élevé en comparaison des autres bassins.

FOCUS SUR LES PESTICIDES

QUELQUES QUESTIONS CLES ABORDEES CONCERNANT LES PESTICIDES ET LEUR IMPACT SUR LES EAUX DE SURFACE EN FRANCE.

L'étude a cherché à déterminer si le suivi de la DCE peut être utilisé pour évaluer l'efficacité des politiques de réduction des émissions de pesticides et l'atteinte des objectifs de la DCE en la matière. Elle a examiné comment les interdictions, restrictions et substitutions de substances se reflètent dans les données de contamination des eaux de surface. L'analyse des tendances temporelles des indicateurs de contamination, comme le taux de dépassement de seuil (ρ) et la concentration moyenne (χ), ont permis d'évaluer l'impact qualitatif sur la qualité de l'eau de certaines mesures de gestion. L'analyse saisonnière aura elle identifié les périodes de pointe de contamination pour optimiser les efforts de surveillance et d'échantillonnage des pesticides.

L'étude a par ailleurs analysé les variations spatio-temporelles de la contamination par les pesticides, en tenant compte des usages agricoles, des caractéristiques des bassins versants et des spécificités des réseaux de surveillance. Elle aura aussi exploré l'impact des usages non agricoles des pesticides, notamment en milieu urbain, sur la contamination par certaines substances. Elle met en évidence l'influence des périodes d'application, des conditions climatiques (saisons humides ou sèches) et des processus de transfert (ruissellement, drainage) sur la contamination des eaux de surface.

Le travail mené à également conduit à proposer un modèle pour prédire la contamination des eaux de surface par les pesticides en fonction des tonnages vendus (BNV-D) et des propriétés physico-chimiques des substances, en particulier le coefficient de partition Koc. Ce modèle utilise une détermination empirique du coefficient de contamination bassin-rivière (γ') pour quantifier le transfert de la substance du bassin vers les cours d'eau. En rapportant de surcroît l'indicateur de concentration χ aux seuils écotoxiques (PNEC) des pesticides concernés, l'étude a permis de graduer un niveau de risques pour les écosystèmes aquatiques. L'étude encourage notamment l'utilisation du modèle prédictif et des indicateurs de contamination proposés pour prioriser les substances à surveiller et évaluer l'impact de différents scénarios de gestion des pesticides.

Ce travail aura aussi souligné l'importance de développer des méthodes analytiques plus sensibles et d'utiliser des techniques d'échantillonnage intégratif pour améliorer la surveillance des pesticides dans les eaux de surface.

REVELATION D'ÉVOLUTIONS SIGNIFICATIVES DANS LES USAGES DE PLUSIEURS SUBSTANCES PESTICIDES AU COURS DE LA PERIODE 2009-2020

Un objectif important de l'étude était d'évaluer l'utilité des séries chronologiques des indicateurs de contamination pour déduire des informations sur les stratégies des agriculteurs concernant le stockage et l'utilisation résiduelle des produits phytopharmaceutiques (PPP), ainsi que l'incidence de la persistance des substances dans les sols, en particulier suite au retrait du marché de certaines d'entre elles.

Les analyses de tendances révèlent des diminutions significatives de la contamination pour plusieurs substances interdites, notamment des pesticides comme l'aminotriazole, l'isoproturon et le chlorpyrifos-éthyl. Ces résultats confirment l'efficacité des mesures réglementaires pour réduire les pressions polluantes.

L'étude a notamment permis de mettre en évidence plusieurs résultats clés en lien avec cet objectif :

- Déclin lent de la contamination après un retrait du marché : Pour certaines substances interdites, comme l'atrazine et la simazine, l'étude a révélé un déclin très lent des niveaux de contamination dans les eaux de surface, même après plusieurs années suivant leur interdiction. Ce phénomène suggère une persistance significative de ces substances dans l'environnement, probablement due à leur accumulation dans les sols et à leur libération progressive dans les eaux de surface.
- Influence des pratiques des agriculteurs : Le déclin lent observé pour certaines substances interdites pourrait également s'expliquer par les pratiques de stockage et d'utilisation résiduelle des produits par les agriculteurs. L'étude évoque l'hypothèse que certains agriculteurs pourraient avoir conservé des stocks de produits interdits et les avoir utilisés même après leur interdiction, sachant néanmoins que des délais de grâce après arrêt des ventes ont aussi pu s'appliquer.
- Difficulté d'évaluer l'impact de la persistance : L'étude reconnaît la difficulté de distinguer clairement l'impact de la persistance de certaines substances dans les sols de celui des pratiques d'utilisation résiduelle par les agriculteurs. Les deux facteurs contribuent au déclin lent observé, mais il est dans certains cas complexe d'isoler leurs contributions respectives (cas du Chlorpyrifos-éthyl).

L'analyse des profils saisonniers de contamination s'est avérée cruciale pour comprendre la dynamique de la contamination après l'interdiction d'une substance. Dans le cas de l'isoproturon, par exemple, l'étude a montré que le profil saisonnier de contamination n'a pas complètement disparu après l'interdiction de la substance en 2017, mais a été maintenu avec une intensité moindre. Cela suggère que la contamination par l'isoproturon après 2017 pourrait être due à une utilisation de stocks résiduels par les agriculteurs. Pour l'imidaclopride, le profil saisonnier de contamination a persisté après l'arrêt de ses ventes en 2018, mais avec une forme modifiée. La contamination est plus étalée dans l'année, avec une disparition du pic de contamination en novembre-décembre. Cela suggère que la contamination par l'imidaclopride après 2018 est due à la libération progressive de la substance stockée dans les sols, et non à une utilisation directe comme pesticide. Cependant, il est important de noter que l'imidaclopride est toujours autorisé comme insecticide vétérinaire. Cet usage résiduel pourrait contribuer à la contamination observée, notamment pendant les mois d'été où l'utilisation de produits vétérinaires anti-puces et anti-tiques est plus fréquente.

D'autres évolutions notables qui ont pu être reliées à des changements d'usage concernent les substances suivantes :

PENDIMETHALINE

L'analyse des données de surveillance révèle un changement progressif dans l'utilisation de la pendiméthaline, avec un passage à des usages hivernaux plus importants au cours des dernières années de l'étude. Cette évolution est probablement due à la capacité de la pendiméthaline à remplacer l'isoproturon, un herbicide utilisé pour les céréales d'hiver, retiré du marché en 2017. Ce changement d'usage vers les saisons humides s'est traduit par une augmentation du coefficient de contamination bassin-rivière (γ'), indiquant au fil des années une propension croissante de la pendiméthaline à contaminer les eaux de surface.

NICOSULFURON

L'analyse des profils de contamination saisonniers révèle une forte régression de l'utilisation du nicosulfuron en automne-hiver au cours de la période étudiée, limitant son usage récent au seul début de l'été. Malgré une augmentation des ventes de nicosulfuron en début de période, cette modification des pratiques a eu un effet positif sur la qualité des eaux de surface, se traduisant par une diminution du coefficient de contamination γ' .

DIFLUFENICANIL

L'étude a mis en évidence une diminution progressive de l'utilisation du diflufenicanil en milieux non agricoles, en lien avec l'interdiction de son usage en zones urbaines. Cette évolution s'est traduite par une baisse du coefficient de contamination γ' , indiquant une amélioration de la qualité des eaux de surface dans les périodes chaudes (printemps-été), les usages non agricoles étant associés à un fort taux de fuite vers les milieux aquatiques de surface.

GLYPHOSATE

L'analyse des données a démontré une diminution progressive de l'utilisation du glyphosate en milieux non agricoles, notamment en zones urbaines, en lien avec les initiatives zéro-phytos et avec la législation française interdisant en 2017 son usage dans les espaces publics et les jardins amateurs. Malgré cette évolution positive, le coefficient γ' du glyphosate a augmenté au cours de la période étudiée, suggérant que son usage en milieux agricoles s'est intensifié en saisons humides, favorisant le transfert vers les eaux de surface.

L'étude suggère également que l'interdiction de l'aminotriazole en 2015 a conduit à une augmentation de l'utilisation du glyphosate en substitution, notamment dans certaines régions viticoles et arboricoles. Cette substitution aurait eu un impact notable sur la contamination des eaux de surface par le glyphosate.

Les Annexes 7, 8, et 9 proposent des zooms sur certains autres résultats représentatifs, respectivement pour les [herbicides](#), [fongicides](#) et [insecticides](#).

DES RELATIONS STATISTIQUEMENT ROBUSTES ENTRE TONNAGES VENDUS ET CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE PAR LES PESTICIDES.

Un autre objectif spécifique de l'étude était de comparer et de relier de façon statistiquement robuste les chiffres de tonnage vendu avec les indicateurs de contamination des eaux de surface. L'étude s'est intéressée également à l'interprétation des différents niveaux de corrélation observés. Il y a été constaté une corrélation positive significative entre le tonnage de substances actives de PPP vendu et les indicateurs de contamination des eaux de surface pour un nombre important de

substances. Cette corrélation confirme à large échelle l'impact direct des applications de PPP sur la qualité des eaux de surface.

Un exemple de corrélation positive concerne la pendiméthaline. On observe une augmentation de la contamination (exprimée par les indicateurs χ et ρ) avec l'augmentation du tonnage vendu. NB : Cette corrélation positive ne se manifeste pour cette substance que si l'on corrige les données du biais relatif à l'amélioration des LQs décrit en [Annexe 4](#).

Pour quantifier la force de la relation entre le tonnage et la contamination, l'étude a calculé les coefficients de corrélation linéaire R^2 pour 25 substances actives autorisées pendant la période d'étude. La fraction de substances présentant une corrélation positive significative varie selon la substance et le bassin versant considéré. Certains bassins, comme Rhin-Meuse, présentent des corrélations positives significatives pour une plus grande proportion de substances que d'autres, tel Loire-Bretagne.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la force de la corrélation entre le tonnage vendu et la contamination des eaux de surface. En effet si l'usage d'une substance change au cours du temps (nouvelles cultures, nouvelles pratiques agricoles), la relation entre tonnage et contamination peut être perturbée. Les variations des conditions hydroclimatiques (précipitations, débit des cours d'eau) peuvent aussi influencer le transfert des substances vers les eaux de surface, modifiant la relation avec le tonnage. Le fait que le transfert de substances actives et la dilution dans les cours d'eau varient ensemble dans le même sens selon la pluviométrie atténuée toutefois l'impact de ce facteur hydrique. Enfin, la mise en place de mesures de mitigation (bandes enherbées, zones tampons, ...) peut réduire le transfert des substances vers les eaux de surface, affectant la relation avec le tonnage.

EVALUATION, ET EVOLUTIONS DU TAUX DE TRANSFERT BASSIN-RIVIERE AU FIL DES ANS, EN FONCTION DES SUBSTANCES ACTIVES DE PESTICIDES ETUDIEES

Sur la base des corrélations observées entre tonnages et contamination des eaux de surface, l'étude a mis en œuvre une quantification empirique du coefficient de transfert γ' , à partir de l'indicateur de concentration χ et de données de tonnage de la BNV-D. Une disparité importante du coefficient γ' entre les différentes substances y a été mise en lumière, en lien avec leur propriétés physico-chimiques, et entre les six bassins hydrographiques étudiés, du fait des différences dans les types de cultures, les conditions pédo-hydro-climatiques, les pratiques agricoles, ainsi que les spécificités des réseaux de surveillance.

Cette analyse a montré que le coefficient de contamination bassin-rivière γ' est un indicateur pertinent pour suivre l'évolution de la contamination des eaux de surface par les pesticides. Son suivi au cours du temps permet d'évaluer l'efficacité des politiques de gestion des pesticides et d'identifier les substances nécessitant une attention particulière. Parmi les constats faits, on peut noter que pour certaines substances, comme l'herbicide 2,4 MCPA, le coefficient γ' est resté relativement stable au cours de la période étudiée, malgré des variations significatives des tonnages vendus. Cela suggère que les conditions de transfert et les pratiques agricoles n'ont pas significativement évolué pour ces substances.

Pour d'autres substances, le coefficient γ' a augmenté, indiquant une augmentation du transfert de la substance vers les eaux de surface. Cette augmentation, qui peut être attribuée au passage à des usages en saisons humides, favorisant le ruissellement et le lessivage, a pu aggraver la contamination des eaux de surface par certaines substances, comme la pendiméthaline, l'aclofène et le métazachlore. Pour d'autres substances encore, comme le diflufenicanil et le nicosulfuron, le coefficient γ' a diminué au cours de la période étudiée. Cette diminution a pu être attribuée à la diminution progressive des usages non agricoles du diflufenicanil, lesquels étaient caractérisés par un fort transfert vers les eaux. Cela en lien avec l'interdiction de son utilisation en zones urbaines par la Loi Labbé. Le passage à des usages en périodes moins sensibles au ruissellement a pu aussi contribuer à la diminution de la contamination des eaux de surface par certaines substances purement agricoles, comme le nicosulfuron.

L'étude a proposé d'utiliser le rapport entre la valeur moyenne de γ' pour la période 2015-2020 et celle de la période de référence historique 2009-2014 comme indicateur de l'évolution de la transférabilité (ou propension à être transférée) de la substance vers les eaux de surface :

- Un rapport supérieur à 1 indique une augmentation de la propension à être transférée, suggérant une dégradation de la gestion de la substance au regard des risques de transfert vers les eaux de surface.

- Un rapport inférieur à 1 en indique au contraire une diminution, suggérant des usages agricoles moins polluants pour les eaux de surface, ou des mesures d'atténuation des transferts efficaces.

Ce système de ratio pourrait être mobilisé à l'avenir pour le suivi de l'efficacité des politiques publiques, en matière de gestion du transfert des phytos vers les eaux de surface.

LES PROPRIETES DES SUBSTANCES, NOTAMMENT LEUR MOBILITE DANS LES SOLS, JOUENT UN ROLE CRUCIAL DANS LEUR TRANSFERT DES BASSINS VERS LES SYSTEMES AQUATIQUES

Le coefficient de partage entre l'eau et le carbone organique (Koc) est un paramètre clé qui décrit la mobilité des substances dans les bassins versants. Une valeur de Koc élevée indique une forte adsorption de la substance sur les particules du sol, ce qui limite sa migration vers les eaux de surface. À l'inverse, une faible valeur de Koc suggère une plus grande mobilité et une propension accrue au transfert vers les rivières.

L'étude aura montré que le coefficient de contamination bassin-rivière (γ') peut être assez bien prédit en connaissant le coefficient Koc, grâce à une simple régression log-linéaire. La prédiction de γ' à partir de Koc est encore améliorée en excluant les substances actives ayant des applications non agricoles significatives, telles que l'aminotriazole, le glyphosate et l'oxadiazon. L'exclusion de ces substances est justifiée car l'adsorption sur les particules du sol est moins pertinente dans les contextes non perméables, typiques des usages urbains.

Le travail mené a pu valider la relation empirique entre γ' et Koc en utilisant un jeu de données indépendant de concentrations mesurées pour 8 autres substances actives de PPP. Les prédictions de tonnage vendu, basées sur cette relation et les valeurs de Koc, concordent de manière satisfaisante avec les données enregistrées dans la base de données BNV-D pour la plupart de ces substances. Ce résultat confirme la pertinence de la relation empirique proposée.

En conclusion, l'étude a démontré qu'il est possible de prédire le coefficient de contamination γ' d'une substance à partir du coefficient de partition Koc. Cette découverte a des implications importantes pour la gestion des PPP et la prédiction de leur impact sur la qualité des eaux de surface. Elle permet d'évaluer le risque de contamination pour des substances non encore surveillées et d'orienter les efforts de surveillance vers les substances les plus susceptibles de contaminer les eaux.

PROPOSITION D'UN MODELE PREDICTIF OFFRANT PLUSIEURS POSSIBILITES INTERESSANTES POUR LA GESTION DE LA CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE PAR LES PESTICIDES

Sur la base de la relation empirique précédente, l'article propose un modèle permettant l'évaluation de la pression de contamination et du risque écotoxique des substances actives de PPP autorisées. Le modèle utilise le coefficient de contamination bassin-rivière (γ'), qui peut être prédit à partir du coefficient de partition Koc de la substance. Ce coefficient permet de quantifier le transfert de la substance du bassin vers les cours d'eau. En combinant γ' avec les données de tonnage des substances vendues (BNV-D), le modèle permet d'estimer une valeur théorique pour l'indicateur de concentration moyenne annuelle (χ' Th) de la substance dans les eaux de surface. Par surcroît, en intégrant la concentration sans effet prévisible (PNEC) de la substance, le modèle permet également d'évaluer un quotient de risque (RQ) associé à cette contamination théorique.

Cet indicateur théorique peut être utilisé pour simuler l'impact de différents scénarios d'utilisation des pesticides sur la qualité des eaux de surface. En faisant varier les hypothèses sur les tonnages vendus, en considérant des types de cultures et des pratiques agricoles, il est possible d'évaluer l'impact potentiel de différents choix de gestion sur la contamination des cours d'eau.

Ces indicateurs de pression de contamination et de risque pour un grand nombre de substances actives de PPP, **y compris celles qui ne sont pas encore surveillées**. Ils peuvent donc être utilisés pour prioriser les substances nécessitant une surveillance accrue, en fonction de leur potentiel de contamination et du risque écotoxique associé.

Ces indicateurs pourraient aussi être utilisés de manière rétrospective pour analyser l'impact historique des PPP sur les eaux de surface, ou de manière prospective pour évaluer les effets environnementaux de divers scénarios agronomiques, y compris ceux impliquant des substances actives non encore surveillées. L'article souligne que ces indicateurs prédictifs ne remplacent pas la surveillance, mais peuvent aider à l'optimiser en orientant les efforts vers les substances les plus susceptibles de présenter un risque pour l'environnement.

En conclusion, ces indicateurs pourraient potentiellement constituer des outils précieux pour la gestion des PPP et la protection de l'environnement à large échelle, en permettant d'anticiper les risques et d'orienter les efforts de surveillance et de mitigation.

DES INFORMATIONS PARTICULIERES APORTEES CONCERNANT LA PRESENCE ET LE COMPORTEMENT DU GLYPHOSATE ET DE SON PRINCIPAL PRODUIT DE DEGRADATION, L'AMPA, DANS LES EAUX DE SURFACE FRANÇAISES

Ces informations, issues d'un suivi à grande échelle sur une période de 12 ans, mettent en lumière l'influence des usages du glyphosate, les facteurs environnementaux affectant sa dégradation et son transfert, et l'intérêt de la surveillance concomitante du glyphosate et de l'AMPA.

En premier lieu, l'analyse des données de surveillance révèle une forte corrélation entre les concentrations de glyphosate et d'AMPA dans les eaux de surface, renforçant l'hypothèse que le glyphosate est une source majeure de contamination des eaux de surface par l'AMPA. Cette observation est corroborée par les variations interannuelles similaires des indicateurs de concentration des deux composés, indiquant une filiation étroite entre l'utilisation du glyphosate et la présence d'AMPA dans les cours d'eau (cf. Figure D ci-dessous).

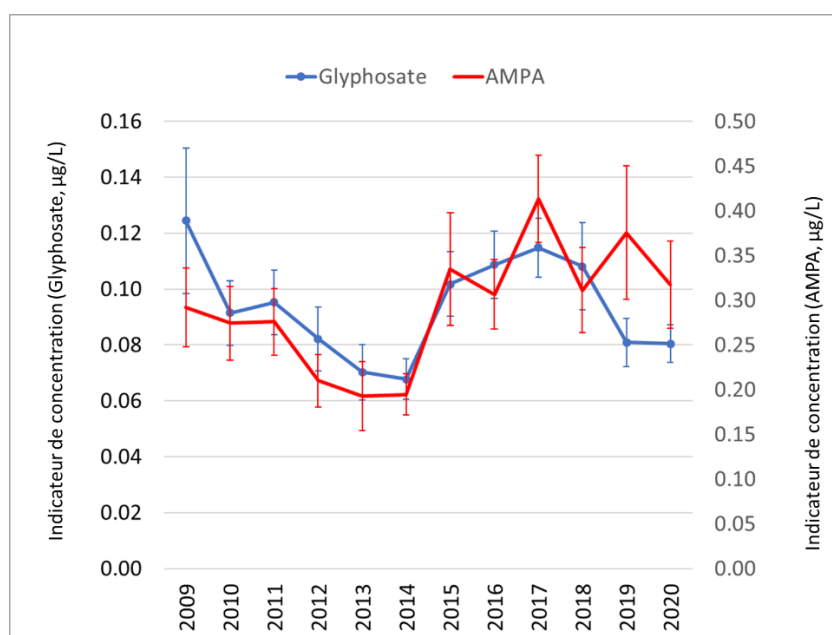


Figure D (figure 29 de l'article): Confrontation des indicateurs de concentration moyenne nationale du glyphosate et de l'AMPA dans les eaux de surface métropolitaine. Le partage observé des variations annuelles corrobore la filiation glyphosate->AMPA à grande échelle. Le sursaut observé en 2015 a été analysé finement dans l'étude comme plausiblement imputable à un accroissement des usages agricoles en périodes humides (destruction des intercultures, notamment), et le décrochage en 2019 à l'arrêt de l'usage du glyphosate en contexte urbain.

L'étude met notamment en évidence l'importance qu'ont eu des usages non agricoles du glyphosate, en particulier en milieu urbain, dans la contamination des eaux de surface. Les applications sur les surfaces imperméables entraînent en effet un transfert plus important vers les cours d'eau par rapport aux applications sur les sols agricoles. La diminution progressive du ratio des niveaux contamination glyphosate/AMPA (G/A) observée au cours de la période d'étude s'est avérée bien refléter

réduction des usages urbains du glyphosate, en lien avec la législation française interdisant son utilisation dans les espaces publics et les jardins amateurs.

L'évolution des pratiques agricoles influence également la contamination par le glyphosate. La forte augmentation de la contamination observée entre 2014 et 2016 pourrait ainsi être liée à l'interdiction de l'aminotriazole, un herbicide souvent remplacé par le glyphosate, ainsi qu'à la promotion des cultures intermédiaires dans le cadre de la politique d'agriculture commune (PAC). Ces changements de pratiques ont en effet probablement entraîné, au moins temporairement, une augmentation des applications de glyphosate en fin d'automne et en début d'hiver, périodes propices au transfert vers les cours d'eau.

Il est par ailleurs connu que la teneur en phosphore des sols joue un rôle important dans le transfert du glyphosate vers les eaux de surface. Des teneurs élevées en phosphore réduisent l'adsorption du glyphosate sur les particules du sol, favorisant ainsi son transfert vers les cours d'eau. Cette observation explique en partie les disparités de contamination entre les bassins restitués par l'étude, le bassin Artois-Picardie, caractérisé par des sols riches en phosphore, présentant les niveaux de contamination les plus élevés.

La teneur en phosphore des eaux influence également la dégradation du glyphosate et l'accumulation d'AMPA. Une eutrophisation par le phosphore favorise une dégradation incomplète du glyphosate, conduisant à une accumulation d'AMPA dans les cours d'eau (cf. Figure E ci-dessous). Ce phénomène contribue au pic de concentration d'AMPA observé en été, période de faible dilution des eaux et potentiellement d'eutrophisation accrue.

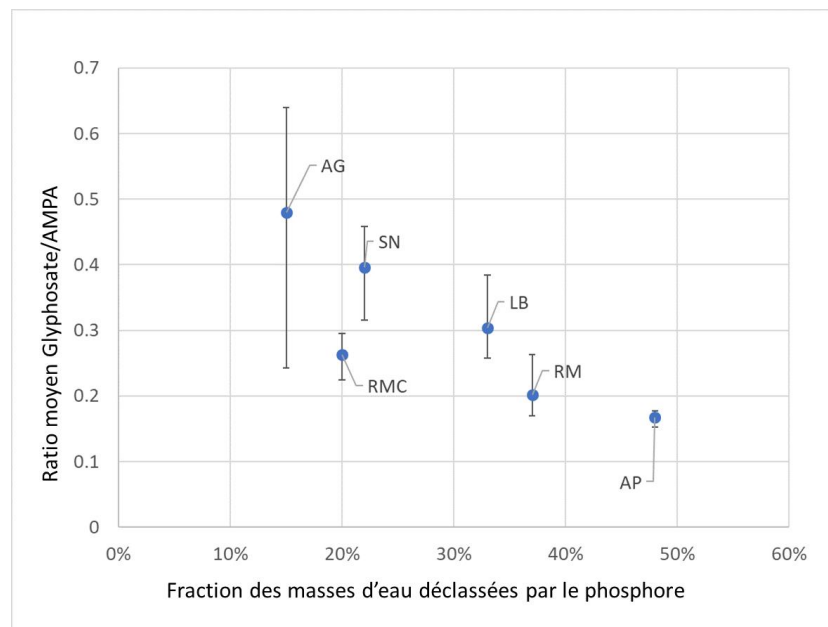


Figure E (figure 32 de l'article): Confirmation à grande échelle de l'influence du phosphore dissous sur le mécanisme de dégradation du glyphosate : la présence de phosphore dans l'eau (qui présente un gradient très marqué parmi les grands bassins métropolitains, cf. axe x) inhibe la dégradation de l'AMPA, provoquant son accumulation dans les eaux, et de ce fait la diminution observée du ratio Glyphosate/AMPA (axe y).

Fort de ces apports de connaissances, l'étude souligne l'importance de surveiller conjointement le glyphosate et l'AMPA pour une évaluation complète de l'impact de l'utilisation du glyphosate sur les écosystèmes aquatiques. Le suivi du ratio G/A permet de mieux comprendre l'origine de la contamination (usages agricoles vs. urbains) et d'évaluer l'efficacité des mesures de réduction des émissions.

L'étude a examiné les tendances temporelles des concentrations de métaux et d'arsenic dans les eaux de surface afin de déterminer si les efforts de réduction des émissions anthropiques ont eu un impact positif. De fait, la surveillance des métaux dans les eaux de surface françaises met en évidence une situation préoccupante : malgré les efforts déployés pour réduire les émissions anthropiques, la contamination sous forme dissoute par les métaux tend à augmenter ces dernières années. Les données de surveillance de la qualité de l'eau révèlent que la majorité des éléments traces métalliques, tels que l'arsenic, le plomb, le chrome, le zinc et le cadmium, affichent des tendances à la hausse dans la plupart des bassins hydrographiques, notamment les bassins Rhin-Meuse, Seine-Normandie (SN) et Loire-Bretagne. L'augmentation de l'imperméabilisation des sols en France pourrait contribuer à expliquer cette augmentation de la contamination par les métaux, en favorisant le ruissellement des eaux de surface chargées en polluants vers les cours d'eau.

L'étude a par ailleurs analysé les variations saisonnières des concentrations de métaux dissous et exploré l'influence de facteurs environnementaux. Les analyses mettent en évidence des schémas saisonniers distincts pour différents éléments, reflétant vraisemblablement l'influence des processus biogéochimiques sur la solubilité et la mobilité des métaux. Par exemple, la contamination par le zinc, le plomb, le chrome et le cuivre est généralement plus répandue en saison humide, tandis que l'arsenic présente un pic de contaminations en été. Les variations saisonnières des conditions physico-chimiques des cours d'eau, comme la température, l'activité biologique et trophique, le pH, le potentiel Redox et la matière organique dissoute, influencent la spéciation des métaux et leur distribution entre les phases dissoute et particulaire. D'un point de vue qualitatif et de façon notable, les variations des niveaux de contamination métalliques des sites DCE considérés dans l'étude se sont avérés conformes aux prédictions de la bibliographie scientifique en la matière.

L'étude prend également en compte le rôle des apports naturels d'éléments provenant des substrats géologiques et des activités minières historiques. Les indicateurs de contamination développés dans l'étude sont comparés aux cartes géochimiques des sols français, fournies par le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS), pour apprécier l'influence plausible du fond géochimique sur la composition chimique des eaux de surface. Les résultats montrent que les bassins présentant des substrats géologiques/pédologiques riches en certains métaux présentent souvent des niveaux de contamination plus élevés dans les eaux de surface, soulignant l'importance des sources géogéniques.

Pour certains métaux, tels que le cadmium (Cd) et le mercure (Hg), les concentrations dans l'eau sont toutefois souvent très faibles, ce qui pose des défis analytiques en termes de détection et de quantification.

CONCLUSIONS PRINCIPALES DE L'ETUDE

- ✓ **L'étude confirme que la qualité métrologique (qualité des mesures) du suivi de la DCE en France s'est globalement améliorée au cours de la période 2009-2020, grâce à la politique volontariste des agences de l'eau, aux progrès des laboratoires prestataires, et avec le concours du laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques, Aquaref.** Les éléments de constat qui sont ressortis de l'étude à ce propos concernent l'amélioration de la sensibilité des techniques d'analyse (limites de quantification) et la diminution de la variabilité relative des concentrations mesurées, et ce malgré la diminution globale au cours des années des teneurs des contaminants suivis.

- ✓ **D'une façon générale, la fréquence d'échantillonnage mensuelle de la surveillance DCE, associée à la richesse statistique de l'intégration pluriannuelle, a permis d'extraire des caractéristiques temporelles bien résolues des contaminations, qui peuvent être mises en relation avec la dynamique des activités à l'origine de ces pollutions.**

- ✓ Les indicateurs originaux développés dans l'étude, **combinés à l'analyse des tendances interannuelles**, ont permis de dresser un **tableau large de la contamination des eaux de surface de la métropole par les substances suivies dans le cadre de la DCE**, d'identifier les facteurs influençant cette contamination, et de formuler des recommandations pour améliorer la surveillance (nouvelles molécules, nouvelles techniques, et calendrier de suivi) et la gestion de la qualité de l'eau.

- ✓ **Les tendances à la baisse des contaminations enregistrées sur la période 2009-2020 ont été notablement plus nombreuses que celles à la hausse** dans l'ensemble des six grands bassins métropolitains considérés, du fait de la combinaison d'interdictions de certaines substances et des politiques de gestion menées à l'échelle des bassins et des territoires, notamment dans le cadre DCE (cf. Figure 2 de l'article, ci-dessous reportée). En outre, des tendances n'ont pas pu être établies pour une majorité de substances. Cela peut être dû à l'absence d'évolution significative des pressions associées, ou bien au fait que les concentrations sont trop faibles et les quantifications trop rares pour renseigner des évaluations statistiques tendancielle satisfaisantes.

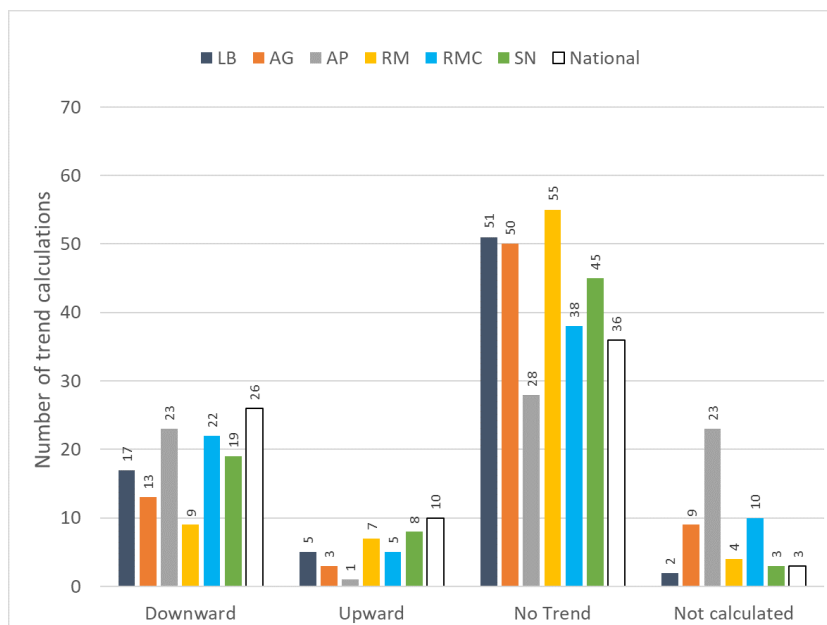


Figure 2 de l'article : Nombre de tendances de contamination établies à partir des données DCE 2009-2020, respectivement à la baisse (Downward), à la hausse (Upward), indéfinies (No Trend) et non calculables, pour les 101 molécules étudiées, dans les 6 grands bassins métropolitains (LB : Loire-Bretagne ; AG : Adour-Garonne ; AP : Artois-Picardie ; RM : Rhin-Meuse ; RMC : Rhône Méditerranée et Corse, SN : Seine-Normandie), et à l'échelle nationale.

- ✓ L'étude insiste toutefois, pour bénéficier d'une évaluation objective des progrès accomplis, **sur l'importance de la mise à jour des listes de substances de la DCE à surveiller** en fonction des connaissances acquises sur leurs nouvelles utilisations, ainsi que de l'intégration de nouvelles méthodes de surveillance, comme le criblage chimique non ciblé.

- ✓ Concernant certains groupes de polluants particuliers :
 - **Les métaux DCE (cadmium, plomb, mercure, cuivre, zinc, cobalt, nickel) et l'arsenic** constituent un groupe chimique justifiant un niveau de préoccupation élevé pour la qualité chimique des eaux de surface, en raison de la combinaison de leurs tendances (le plus souvent en augmentation ou non définies), associées à des concentrations qui se rapprochent des normes de qualité environnementales²(NQE). Les analyses mettent en évidence des schémas saisonniers distincts pour ces différents éléments, reflétant l'influence des processus biogéochimiques sur la solubilité et la mobilité des métaux.

 - **S'agissant des pollutions par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**, dont les concentrations excèdent très souvent leurs NQE, l'étude a objectivé une diminution assez généralisée des concentrations dans les eaux de surface au cours de la période d'étude (le taux de dépassement de la valeur 10 ng/L ayant baissé de plus de 60% depuis entre 2010 et 2020 pour certains de ces composés). Cette diminution est notamment attribuable à la réduction des émissions provenant du trafic routier (grâce au renouvellement du parc automobile) et des systèmes de chauffage.

² Il s'agit de valeurs de concentration réglementaires à ne pas dépasser au risque d'induire des effets sur les organismes aquatiques ou sur la potabilisation des eaux.

- **S'agissant des composés industriels et des polluants organiques persistants**, les tendances temporelles varient considérablement selon les substances. Certaines montrent des diminutions significatives (cas des alkylphénols utilisés dans les produits nettoyants industriels), tandis que d'autres persistent (cas de solvants chlorés industriels) ou présentent même des augmentations (tels les isomères du Lindane). Toutefois, pour beaucoup de ces substances, la sensibilité des méthodes de mesure reste insuffisante pour dériver des tendances statistiquement fiables.

- **S'agissant des pesticides :**
 - L'étude a permis d'attester que **les politiques d'interdiction de certaines molécules ont un effet atténuateur marqué sur les contaminations correspondantes**, avec cependant des nuances liées à la diversité des usages en vigueur pour ces substances pendant la période étudiée.

 - Par ailleurs, pour les **substances utilisées pour la protection des cultures**, les usages aux mois de **mai et juin se sont avérés être les mois les plus impactants pour la contamination des eaux de surface en France, suivis de novembre**. Ces résultats pourraient être utilisés pour optimiser les efforts de surveillance nationaux et régionaux, en les adaptant aux principales périodes de pointe de contamination. En outre, le lessivage vers les rivières de **biocides urbains**, tels que les agents de conservation des matériaux de construction et des surfaces (diuron, par exemple), se produit pour sa part tout au long de l'année.

 - **L'étude révèle aussi que les politiques « zéro-phyto » et la loi Labbé de 2014 (qui proscrit l'utilisation des pesticides dans les environnements urbains), ont eu un effet bénéfique sur la qualité de l'eau de surface dans les périodes de traitement de la végétation spontanée**. Cet effet est plus marqué dans les régions où les cultures céréalières sont moins répandues.

 - L'étude a fourni des informations précieuses sur la co-occurrence du glyphosate et de son produit de dégradation, l'AMPA. Les variations interannuelles étroitement liées de leurs indicateurs de contamination ont en effet montré que, à grande échelle, la teneur annuelle des rivières en AMPA est principalement générée par le glyphosate transféré aux eaux la même année, et que le phosphore présent dans les sols (tel que préalablement mesuré au travers du réseau national de mesure de la qualité des sols, RMQS) et présent dans les eaux (mesuré via la DCE) joue un rôle important dans la contamination des rivières par ces molécules.

 - **Un modèle conceptuel simple a par ailleurs été élaboré et testé pour rendre compte du transfert des substances actives des pesticides agricoles du bassin vers la rivière, par l'intermédiaire d'un coefficient de contamination**. Ce nouveau coefficient, qui s'est avéré pouvoir être raisonnablement prédit à partir du facteur « Koc » propre à chaque molécule (lequel caractérise la rétention de la molécule par les particules du sol), pourrait être utilisé pour apprécier la contamination des cours d'eau à l'échelle du bassin, en fonction des usages de ces pesticides, y compris pour des substances non encore surveillées.

DES RECOMMANDATIONS GENERALES EMISES POUR AMELIORER LA GESTION ET LA SURVEILLANCE DES SUBSTANCES DE LA DCE

Ces recommandations visent à optimiser les efforts de surveillance, à renforcer les politiques de réduction des émissions et à mieux comprendre les facteurs influençant la contamination.

OPTIMISATION DES EFFORTS DE SURVEILLANCE

- Adapter la fréquence de surveillance en fonction des substances et des périodes de l'année. Pour les substances interdites ou présentant un faible risque, une surveillance moins fréquente pourrait être envisagée. En revanche, pour les substances préoccupantes, comme certains pesticides, une augmentation de la fréquence de surveillance est recommandée, notamment pendant les périodes de pics de contamination (mai-juin et novembre).
- Étendre la surveillance à de nouvelles substances émergentes, en particulier celles appartenant aux familles chimiques des PFAS et des pyréthroides.
- Importance d'une prolongation de la surveillance : La continuation du suivi de ces polluants est essentielle pour évaluer l'efficacité des politiques de gestion et détecter de nouvelles menaces.
- Amélioration des techniques analytiques : Des techniques analytiques plus sensibles sont nécessaires pour détecter les substances présentes à de faibles concentrations et mieux caractériser les risques. Envisager l'utilisation d'échantillonneurs passifs intégratifs pour améliorer la détection des substances présentes à faible concentration, et la représentativité de ces mesures, notamment s'agissant des substances hydrophobes.
- Approches intégrées de surveillance : L'adoption d'approches de surveillance combinant des données chimiques et biologiques permettrait une meilleure évaluation des risques liés aux mélanges de polluants.

RENFORCEMENT DES POLITIQUES DE REDUCTION DES EMISSIONS

- Mettre en œuvre des mesures de gestion spécifiques pour les substances, à commencer par celles dont la contamination augmente, comme la pendiméthaline et le métazachlore, en optimisant les pratiques agricoles pendant les saisons humides.
- Promouvoir des pratiques agricoles plus durables pour réduire l'utilisation des pesticides, en encourageant l'adoption de techniques alternatives et en renforçant la sensibilisation aux impacts environnementaux des pesticides.
- Investiguer les causes de l'accroissement généralisé des contaminations métalliques.

AMELIORATION DE LA COMPREHENSION DES FACTEURS INFLUENÇANT LA CONTAMINATION

- Mener des études plus approfondies à l'échelle locale pour confirmer les hypothèses formulées à l'échelle nationale et identifier les sources de contamination spécifiques à chaque bassin versant.
- Intégrer les données de surveillance de la DCE avec d'autres sources d'information, comme les données sur l'utilisation des sols, les pratiques agricoles et les rejets industriels, pour mieux comprendre les interactions complexes entre les activités humaines et la contamination des eaux de surface.
- Exploiter et tester à l'échelle des bassins (ou à des échelles supras ou infras) les capacités prédictives de certaines approches, telles que celle proposée dans l'étude pour estimer la contamination et les risques pour les eaux de surface liés aux pesticides, en utilisant des données sur les ventes, les coefficients de partition Koc et les seuils écotoxicologiques.

ANNEXE 1 : HETEROGENEITE DE LA RICHESSE INFORMATIONNELLE DANS L'ENSEMBLE DES DONNEES

Un objectif intermédiaire de l'étude était de mettre en évidence le problème lié à l'hétérogénéité de la richesse informationnelle qui existe dans l'ensemble des données de surveillance chimique DCE française, et aux limites des capacités analytiques, qui affectent, notamment pour certains groupes de composés, la qualité statistique requise pour les évaluations de tendances de contamination à grande échelle souhaitées.

Voici les principaux résultats de l'étude à cet égard :

- L'étude a révélé une hétérogénéité significative de la richesse informationnelle dans l'ensemble des données de surveillance de la DCE française. Cette hétérogénéité est due à un certain nombre de facteurs, notamment :
 - Le nombre variable de sites de surveillance dans les différents bassins hydrographiques. La figure S10 (disponible dans les informations supplémentaires à l'article principal) montre la distribution des sites de surveillance dans les six bassins, et il est clair qu'il existe une variation significative du nombre de sites entre les bassins.
 - La fréquence variable de surveillance sur les différents sites. Certaines substances sont surveillées plus fréquemment que d'autres, et la fréquence de surveillance peut également varier d'un site à l'autre.
 - Les différentes capacités analytiques des laboratoires. Les laboratoires ont des limites de quantification (LQ) différentes pour les différentes substances, ce qui signifie qu'à niveaux de contamination comparables certaines substances peuvent être détectées à des concentrations plus faibles que d'autres, et de ce fait bénéficier de davantage de mesures quantifiées et exploitables pour dériver des tendances. Par exemple, comme illustré Fig. 6 ci-dessous, de nombreuses substances industrielles, les POP historiques et les substances actives des PPP historiques étaient souvent présentes à des concentrations inférieures aux LQ des laboratoires, ce qui a entraîné des taux de quantification faibles et une incapacité à dériver des tendances significatives pour ces substances.

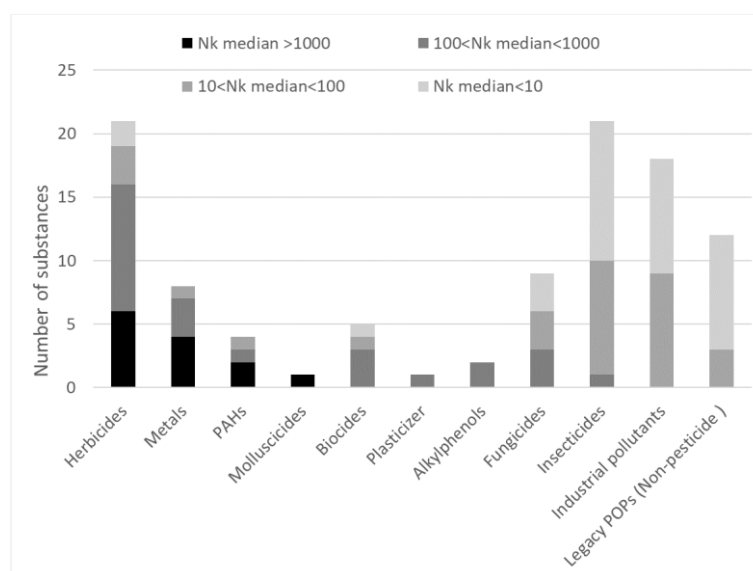


Fig. 6 de l'article : Distribution, pour les 101 substances considérées, des valeurs médianes des nombres annuels 2009-2020 des données de concentration (notées « Nk »), classées en fonction de leurs plages de valeurs (>1000, >100 & <1000, >10 & <100, <10) et de leurs groupes chimiques.

● Par surcroît, l'application de la procédure de seuillage (τ) pour corriger le biais introduit par l'amélioration des LQ entraîne une réduction supplémentaire du nombre de données disponibles pour l'analyse des tendances. Cela est dû au fait que la procédure de seuillage exclut toutes les données quantifiées avec une LQ en dessous du seuil τ . La figure S20 dans les informations supplémentaires, restituée ci-dessous, montre la variation interannuelle du nombre cumulé de données de concentration disponibles après le traitement du seuil de coupure.

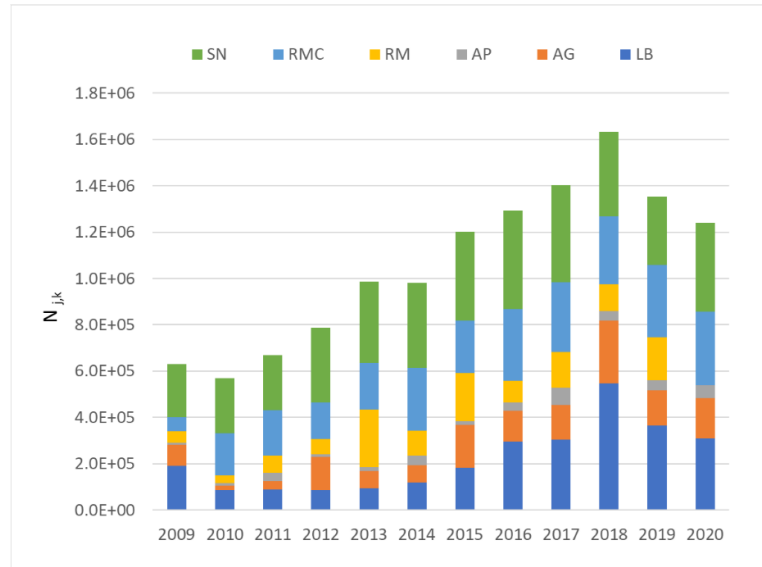


Fig. S20 du Supplementary material de l'article : Variations interannuelles des nombres cumulés annuels de données de concentration disponibles après le traitement du seuil de coupure, dans les 6 bassins, 2009-2020

En résumé, l'étude a montré que l'hétérogénéité de la richesse informationnelle et les limites des capacités analytiques constituaient des défis importants pour l'évaluation des tendances de la contamination, même à grande échelle.

ANNEXE 2 : MISE EN EVIDENCE DU PROBLEME DU BIAIS DU A L'AMELIORATION CONTINUE DES LIMITES DE QUANTIFICATION

Un objectif initial de l'étude était de mettre en évidence le problème dû à l'incidence biaisée de l'amélioration continue des limites de quantification (LQ), que les laboratoires de surveillance ont réalisée en France au cours de la période 2009-2020.

Voici les principaux résultats de l'étude à cet égard :

- L'étude a révélé que les LQ moyennes pour les 101 substances chimiques considérées se sont améliorées au fil du temps (2009-2020). Cela signifie que les laboratoires sont devenus plus performants pour détecter et mesurer de faibles concentrations de ces substances dans l'eau. Cette amélioration est illustrée par les figures S11 et S12 (dans les informations supplémentaires de l'article principal), qui montrent une diminution des LQ moyennes annuelles et un resserrement de la distribution des LQ au fil du temps.
- L'étude a également mis en évidence que l'amélioration des LQ introduit un biais significatif sur les taux de quantification moyens (QR). Les QR sont le pourcentage d'échantillons dans lesquels une substance est détectée à une concentration supérieure à sa LQ. À mesure que les LQ s'améliorent, les QR ont tendance à augmenter, même si la concentration moyenne réelle de la substance dans l'eau n'a pas changé. Ce biais est illustré par la figure S13 dans les informations supplémentaires, qui montre une augmentation du QR moyen annuel pour l'atrazine, une substance pourtant interdite en France depuis 2003, parallèlement à une diminution de sa LQ moyenne annuelle.
- L'étude a également conclu que l'amélioration des LQ introduit un biais significatif sur les concentrations moyennes calculées. Conformément aux règles DCE, les concentrations moyennes sont calculées en utilisant la valeur LQ/2 pour les échantillons dans lesquels une substance n'est pas détectée. À mesure que les LQ s'améliorent, la valeur LQ/2 diminue, ce qui entraîne une diminution des concentrations moyennes calculées, même si la concentration moyenne réelle de la substance dans l'eau n'a pas changé. Ce biais est illustré par la figure S16 dans les informations supplémentaires, qui montre une relation entre les concentrations moyennes annuelles et les LQ moyennes annuelles pour différentes substances.

En résumé, l'étude a montré que l'amélioration continue des LQ au fil du temps introduit un biais conséquent dans les données de surveillance chimique. Ce biais peut donner l'impression erronée d'une diminution de la contamination, alors qu'en réalité, il ne reflète que l'amélioration des capacités analytiques.

Méthode de Mann-Kendall

Cette méthode permet de vérifier l'existence d'une tendance monotone (croissante ou décroissante) dans une série chronologique de données, sans supposer de distribution particulière des données. Elle est basée sur le calcul d'une statistique S qui mesure la différence entre le nombre de paires de valeurs dans la série où la valeur ultérieure est supérieure à la valeur antérieure et le nombre de paires où la valeur ultérieure est inférieure à la valeur antérieure.

Méthode de Theil-Sen

Cette méthode est utilisée pour estimer la pente de la tendance linéaire. Elle calcule la médiane de toutes les pentes possibles entre chaque paire de points dans la série chronologique, ce qui la rend robuste aux valeurs aberrantes.

Décomposition saisonnière (STL)

Lorsque des variations saisonnières sont détectées dans les séries chronologiques, la méthode STL (Seasonal Trend decomposition using Locally estimated scatterplot smoothing) est appliquée pour éliminer leur influence sur l'estimation de la tendance.

Signification statistique

La signification statistique de chaque estimation de tendance est vérifiée en utilisant la valeur de la probabilité critique p . Un seuil de signification de 0,05 est généralement utilisé pour déterminer si la tendance observée est significativement différente d'une absence de tendance.

En résumé, l'évaluation des tendances de contamination dans l'étude se fait en plusieurs étapes :

1. Calcul de l'indicateur de contamination : L'indicateur de contamination utilisé est le taux de dépassement du seuil de coupure (ρ), qui représente la proportion de mesures de concentration dépassant le seuil défini pour chaque substance.
2. Application de la méthode de Mann-Kendall : Cette méthode est appliquée pour déterminer s'il existe une tendance monotone significative dans la série chronologique de ρ .
3. Estimation de la pente de la tendance avec la méthode de Theil-Sen : Si une tendance significative est détectée, la méthode de Theil-Sen est utilisée pour estimer la pente Q de la droite de tendance.
4. Décomposition saisonnière (STL) si nécessaire : Si des variations saisonnières sont présentes, la méthode STL est appliquée pour les éliminer avant d'estimer la tendance.
5. Évaluation de la signification statistique de la tendance : La valeur p est utilisée pour déterminer la signification statistique de la tendance estimée.

La Figure S 26 ci-dessous illustre le résultat de ce processus.

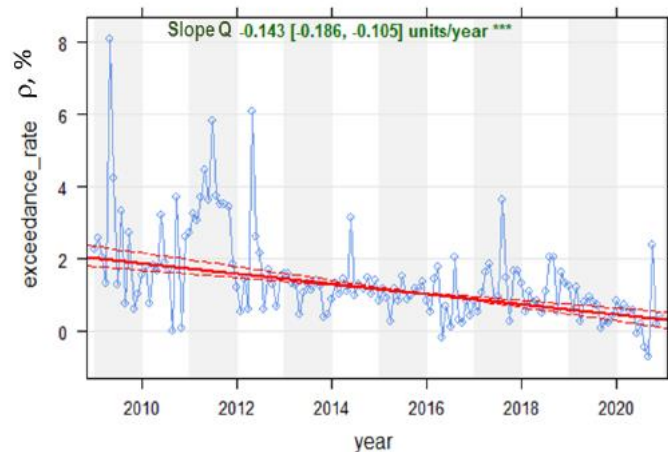


Fig. S 26 du Supplementary material de l'article : Illustration des processus de dérivation des tendances pluriannuelles pour les valeurs mensuelles ρ moyennées à l'échelle du bassin AG (points bleus), pour l'herbicide Atrazine $\tau = 0,02 \mu\text{g/L}$. La ligne rouge continue indique la valeur médiane Q des pentes calculées, les lignes en pointillés les pentes inférieures et supérieures en considérant un intervalle de confiance de 95%. Le symbole « *** » indique la haute signification des pentes négatives dérivées, c'est-à-dire la tendance à la baisse.

Cette combinaison de méthodes permet une analyse rigoureuse et robuste des tendances de contamination, prenant en compte les variations saisonnières et la présence potentielle de valeurs aberrantes dans les données.

ANNEXE 4 : METHODE UTILISEE POUR CORRIGER LE BIAIS DES DONNEES DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'EAU EN APPLIQUANT UNE METHODOLOGIE ORIGINALE POUR CONSTITUER UN NOUVEL ENSEMBLE DE DONNEES NON BIAISEES

Ce biais est principalement dû aux variations temporelles et spatiales des limites de quantification (LQ) atteintes progressivement par les différents laboratoires de surveillance de la DCE.

Voici les étapes clés de la procédure de correction du biais :

- Définition d'un seuil de coupure : Pour chaque substance, un seuil de coupure (τ) est défini, qui reste constant quel(le) que soit l'année ou le bassin.
- Exclusion des données avec une LQ supérieure au seuil : Si la LQ est supérieure à τ , la donnée de concentration est rejetée.
- Parmi les données conservées après l'application de la procédure de seuillage :
 - Réaffectation des données inférieures au seuil : si la concentration mesurée (C) est inférieure ou égale à τ , la valeur $\tau/2$ est utilisée à la place de la valeur originale de C .
 - Conservation des données supérieures au seuil : Si C est supérieure à τ , la valeur de C est conservée telle quelle.

Ce processus, illustré par la figure 4 ci-dessous, garantit que seules les données quantifiées au-dessus d'un seuil commun sont utilisées pour l'analyse des tendances, éliminant ainsi le biais introduit par les variations des LQ.

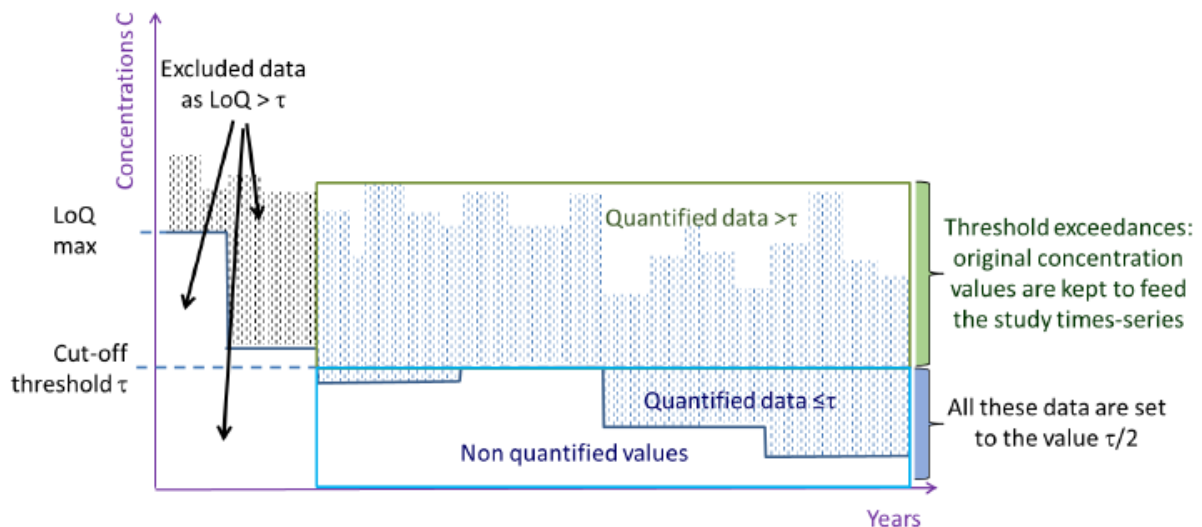


Fig. 4 de l'article : Schéma de la mise en œuvre du processus de seuil de coupure sur une série temporelle de concentrations théoriques illustrant les situations d'exclusion de données ($LQ > \tau$), de réaffectation des valeurs de concentration à $\tau/2$ (données quantifiées ou non quantifiées mesurées $\leq \tau$) et de conservation des valeurs de concentration (données quantifiées $> \tau$).

L'étude reconnaît que cette méthode de substitution des données non quantifiées par un seuil fixe peut introduire un certain biais lors de l'estimation de la distribution réelle des concentrations. Cependant, l'objectif principal de l'étude étant la dérivation de tendances pluriannuelles, l'approche de substitution simplifiée est considérée comme adéquate car elle garantit que le biais affecte les indicateurs de contamination de la même manière quel(le) que soit le lieu ou la date des mesures.

ANNEXE 5 : LA QUALITE DE LA SURVEILLANCE CHIMIQUE DE LA DCE EN FRANCE S'EST-ELLE MAINTENUE OU AMELIOREE AU COURS DE LA PERIODE ETUDIEE (2009-2020) ?

Un objectif intermédiaire de l'étude visait à déterminer si la qualité de la surveillance chimique de la DCE en France s'est maintenue ou a été améliorée au cours de la période étudiée (2009-2020). Il est essentiel de le savoir car c'est une condition préalable à l'obtention de tendances fiables en matière de contamination.

L'amélioration des limites de quantification (LQ) mise en évidence par l'étude est un signe que les laboratoires de surveillance ont amélioré leur processus. Cependant, l'amélioration des LQ n'est qu'un aspect de la qualité des mesures, qui ne tient pas compte de la qualité de l'échantillonnage ou d'autres facteurs qui pourraient affecter la comparabilité des résultats de différents laboratoires.

L'étude a utilisé des estimations successives de la variabilité annuelle de l'indicateur de concentration non biaisé χ , au travers de l'écart type de sa distribution, pour évaluer les changements dans la qualité des mesures de surveillance au fil du temps.

L'étude a révélé une diminution de l'écart type relatif des données de surveillance au fil du temps (cf. figure S 27), ce qui suggère une variabilité décroissante, c'est-à-dire moins de valeurs aberrantes, et ce en dépit de concentrations de plus en plus faibles, signant une amélioration de la qualité des mesures.

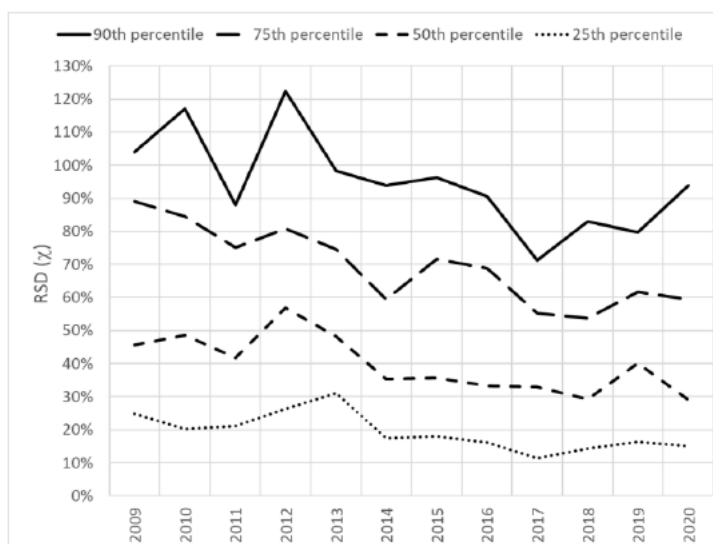


Fig. S 27 du Supplementary material de l'article : Variation interannuelle de la distribution des écarts-types relatifs (RSD) des valeurs annuelles de χ à l'échelle nationale, en considérant les 41 substances présentant des nombres annuels moyens de dépassements du seuil > 100. Les distributions annuelles sont caractérisées par les 25e, 50e, 75e et 90e percentiles des RSD parmi les 41 paramètres

Les résultats de l'étude montrent donc que les variations internes des nouveaux indicateurs développés peuvent refléter la tendance générale de la qualité des mesures de surveillance en France.

L'objectif central de l'étude était d'aider à évaluer l'impact des objectifs de réduction des émissions de la DCE et, plus généralement, l'efficacité des politiques d'interdiction des produits chimiques ou d'atténuation de la pollution. Cet objectif se divisait en deux sous-objectifs :

- Objectif 2.2a : Calculer les tendances interannuelles des indicateurs de contamination développés pour toutes les substances.
- Objectif 2.2b : Afficher et commenter, pour certaines substances représentatives des différents groupes de composés de la DCE considérés, les tendances interannuelles des indicateurs de contamination développés et identifier les facteurs limitants qui pourraient compliquer ou empêcher la dérivation de ces tendances.

Résultats pour l'Objectif 2.2a :

- L'étude a pu appliquer le processus de calcul des tendances dans au moins un bassin pour 75 des 101 composés étudiés, grâce au grand nombre de mesures de concentration produites par les agences de l'eau. Les 26 composés restants présentaient trop peu de données pour pouvoir même démarrer le processus de dérivation des tendances.
- Des tendances significatives ont pu être diagnostiquées pour 32 % des 525 combinaisons « bassin x composé » considérées, se répartissant en 25 % de tendances à la baisse (réduction de la pollution) et 7 % de tendances à la hausse.
- Les tendances obtenues à l'échelle nationale ont été les plus nombreuses. Les bassins enregistrant les taux de réduction de la pollution les plus élevés ont été Artois-Picardie, Rhône Méditerranée et Corse, et Seine-Normandie. Les situations d'aggravation, bien que peu nombreuses, se sont produites plus souvent dans les bassins Seine-Normandie et Rhin-Meuse.
- Les meilleurs résultats de réduction ont été observés pour les HAP (3 composés), les alkylphénols (2 composés soumis à des interdictions et des restrictions), les herbicides (14 composés, dont 5 interdits au cours de la période) et les fongicides (4 composés, dont un interdit au cours de la période).
- Pour les pesticides, toutes les substances actives des PPP incluses, des tendances à la baisse ont été détectées dans 44 % des 280 combinaisons « bassin x composé », une partie de ces diminutions étant imputable à l'abandon des usages non agricoles. Des diminutions à l'échelle nationale ont été enregistrées pour 3 fongicides encore autorisés et 4 herbicides encore autorisés, dont le glyphosate. Des tendances à la hausse ont été constatées dans 6 % des situations.
- A l'inverse, les principales dégradations ont été observées pour les éléments traces métalliques (pour 7 des 8 éléments, dont 5 avec des tendances à la hausse hautement significatives) et l'herbicide pendiméthaline.

Exemples de résultats pour l'Objectif 2.2b :

Pesticides :

- Atrazine : Interdite en France depuis 2003, l'atrazine montre une augmentation de la fréquence de quantification au fil du temps, ce qui reflète le biais lié à l'amélioration progressive des limites de quantification (LQ), et ce alors que les concentrations réelles ont baissé.
- Isoproturon : Interdit en France en 2009, l'isoproturon affiche une diminution rapide et significative des taux de dépassement du seuil (ρ) après son interdiction.
- Pendiméthaline : L'étude révèle une augmentation continue et significative des taux de dépassement du seuil (ρ) pour la pendiméthaline au cours de la période d'étude, associées à de nouveaux usages agricoles de cette molécule lors des saisons humides.

- Chlorpyrifos-éthyl : Le chlorpyrifos-éthyl a été interdit pour la plupart des usages agricoles en France en 2019. L'étude a montré une diminution des taux de dépassement du seuil (p) pour le chlorpyrifos-éthyl avant son interdiction, mais les données de surveillance après l'interdiction n'étaient pas encore disponibles pour évaluer l'impact total de la mesure.

HAP :

- Diminution générale des HAP : Les résultats de l'étude indiquent une diminution générale des HAP dans les eaux de surface au cours de la période étudiée. Cette diminution a été principalement attribuée à la réduction des émissions des véhicules à moteur.

- Naphtalène : Le naphtalène a montré des contrastes saisonniers importants, probablement liés à son lien étroit avec l'augmentation du ruissellement pendant les saisons humides et à sa volatilité exacerbée dans des conditions chaudes.

Métaux et métalloïdes :

- Arsenic : L'arsenic a montré une tendance à la hausse significative dans la plupart des bassins fluviaux, ce qui a été attribué à des sources naturelles et anthropiques.

- Cadmium : Des tendances à la hausse ont été observées pour le cadmium, en particulier dans le bassin Seine-Normandie, le rôle des engrais phosphatés étant une piste d'explication.

Autres polluants :

- 4-Nonylphénol : Le 4-nonylphénol (4-NP), utilisé comme tensioactif et présent dans certains plastiques, est un perturbateur endocrinien. L'étude a montré une diminution des concentrations de 4-NP dans les eaux de surface, ce qui a été attribué à l'interdiction progressive de leur utilisation dans les produits industriels et de consommation.

L'évolution entre 2009 et 2020 de l'utilisation des substances actives herbicides suivies pour l'évaluation DCE en France s'est caractérisée par une diminution générale des tonnages vendus, reflétant l'impact des décisions européennes de non ré-approbation de certains pesticides, et des changements dans les pratiques agricoles. Cependant, cette évolution est nuancée, certaines substances connaissant des changements dans leurs profils d'utilisation.

TENDANCES GENERALES

- Diminution des tonnages : Globalement, les tonnages d'herbicides DCE vendus en France ont diminué entre 2009 et 2020, en particulier après 2017. Cette tendance s'explique par :

- Les interdictions de certaines substances, comme l'aminotriazole et l'isoproturon, qui ont entraîné une baisse significative des ventes.
- La mise en place de mesures incitatives pour réduire l'utilisation des pesticides, notamment le plan Ecophyto.
- L'évolution des pratiques agricoles, avec un recours accru aux techniques alternatives de désherbage.

- Changements dans les profils d'utilisation : L'analyse des données de surveillance des rivières révèle des changements importants dans les profils d'utilisation de certains herbicides :

- Diminution de l'utilisation en contexte urbain : La mise en place de la loi Labbé en 2014, interdisant l'utilisation des pesticides en zones urbaines, a entraîné une réduction significative des applications d'herbicides comme le glyphosate et le diflufénicanil pendant les saisons chaudes (printemps et été) : cf. Figure S83 ci-dessous
- Augmentation de l'utilisation en automne-hiver : Certains herbicides, comme la pendiméthaline et le diflufénicanil, ont vu leurs applications augmenter en automne-hiver, notamment pour remplacer l'isoproturon interdit.

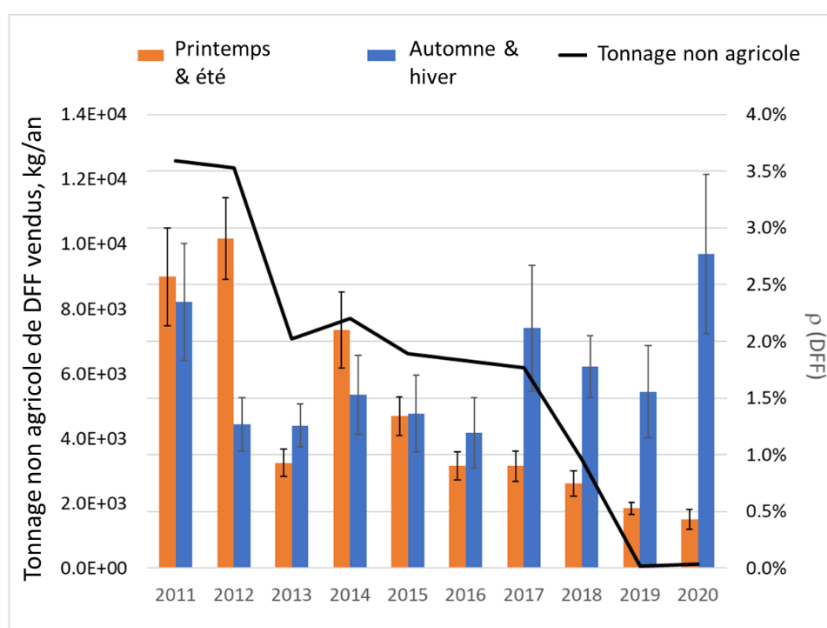


Figure S83 de l'article : Illustration de l'effet des politiques zéro-phyto en agglomérations pour le cas de l'herbicide diflufénicanil (DFF) : en même temps que diminuaient les ventes pour usages non agricoles (urbains notamment, cf. courbe noire, axe y de gauche), la proportion

ρ de cours d'eau contaminés pendant les périodes de végétation spontanée urbaine diminuait également (histogrammes orangés, axe y de droite). A l'inverse les usages automne-hiver, essentiellement agricoles, ont augmenté (le DFF étant dans l'intervalle devenue une molécule de substitution à l'isoproturon, interdite en 2017, utilisée jusque-là sur les céréales d'hiver), provoquant un accroissement des contaminations au DFF lors de ces saisons froides (histogrammes bleus).

EXEMPLES SPECIFIQUES

- Glyphosate : Le glyphosate, herbicide le plus utilisé en France, a connu une diminution de ses ventes en contexte urbain. Cependant, son utilisation en agriculture a pu augmenter, notamment en automne-hiver pour la destruction des cultures intermédiaires.
- Pendiméthaline : Les ventes de pendiméthaline ont augmenté, avec un glissement vers des usages en hiver, notamment pour remplacer l'isoproturon.
- Diflufénicanil : Les ventes globales de diflufénicanil ont augmenté, mais son utilisation en contexte urbain a diminué, entraînant globalement une baisse des contaminations.
- Nicosulfuron : Les indicateurs de contamination indiquent que l'utilisation de nicosulfuron a diminué, en particulier en automne-hiver, probablement en lien avec sa capacité à promouvoir la résistance des adventices.

Conséquences pour la contamination des eaux de surface :

- La diminution générale des tonnages d'herbicides DCE a contribué à une amélioration de la qualité des eaux de surface au regard de ces molécules particulières.
- Cependant, les changements dans les profils d'utilisation de certains herbicides, notamment l'augmentation des applications en automne-hiver, peuvent avoir des impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques.

CONCLUSION

L'évolution de l'utilisation des herbicides en France entre 2009 et 2020 s'est avérée complexe à décrire, marquée par des tendances contrastées. La diminution globale des tonnages des molécules DCE est encourageante, mais les changements dans les profils d'utilisation nécessitent une surveillance attentive pour garantir la protection des écosystèmes aquatiques, en n'omettant pas par ailleurs de suivre les molécules de substitution promues par le marché pour compenser les interdictions successives.

ANNEXE 8 : FONGICIDES

Les fongicides, largement utilisés pour protéger les cultures contre les maladies fongiques, constituent une source de contamination préoccupante pour les eaux de surface. L'étude a fourni une analyse approfondie de la présence et de l'évolution des fongicides dans les six principaux bassins fluviaux français entre 2009 et 2020.

CONTAMINATION ET TENDANCES GENERALES

- Sur les 7 fongicides autorisés et surveillés dans le cadre de la DCE, 4 présentent une diminution des dépassements de seuil à l'échelle nationale, au moins au cours des cinq dernières années de la période étudiée.
- Pour le tébuconazole et le boscalid, cette tendance à la baisse est généralement observée dans la plupart des bassins, suggérant des changements de pratiques similaires sur l'ensemble du territoire français.
- Le boscalid, un fongicide utilisé notamment pour le traitement des semences de céréales, présente toutefois des profils de contamination saisonniers variables selon les bassins.
- Le tébuconazole, utilisé à la fois comme fongicide agricole et comme biocide pour la préservation du bois, présente un pic de contamination marqué en mai-juin, suggérant une influence dominante de son utilisation agricole, notamment dans la viticulture.
- L'azoxystrobine montre des tendances contrastées selon les bassins, avec une augmentation des dépassements de seuil dans des bassins viticoles Rhin-Meuse et Adour-Garonne.
- L'iprodione et le quinoxifène, deux fongicides interdits au cours de la période étudiée, ont vu leurs ventes et leur présence dans les rivières disparaître rapidement.

IMPACT DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA DILUTION

- Bien que l'utilisation des fongicides soit connue pour être fortement dépendante de la pluviométrie, l'étude n'a pas pu identifier de signal spécifique des années les plus humides (2013, 2014 et 2018), ni en termes de dépassements de seuil, ni en termes de concentrations.
- Cette observation est probablement due au fait qu'à grande échelle spatiale, les concentrations de fongicides sont contrebalancées par la dilution accrue des cours d'eau en période de fortes précipitations.

ANNEXE 9 : INSECTICIDES

L'utilisation et la contamination des eaux de surface par les insecticides en France entre 2009 et 2020 ont été marquées par des changements réglementaires importants, des tendances d'utilisation contrastées et des défis en matière de surveillance.

TENDANCES GENERALES

- Interdictions et restrictions d'utilisation : Plusieurs insecticides DCE ont été interdits ou ont vu leurs usages agricoles restreints au cours de la période étudiée.
 - L'imidaclopride a été interdit en plein champ en 2018, limitant son utilisation aux cultures sous serre.
 - Le chlorpyrifos-éthyl a été interdit en 2019, sauf pour la culture des épinards.
 - De nombreux insecticides historiques, comme l'endosulfan, le lindane et le DDT, ont été interdits avant 2009.
- Difficultés de surveillance : La surveillance des insecticides dans les eaux de surface est complexe en raison des faibles niveaux de concentration et de la complexité analytique associées à ces molécules, souvent hydrophobes.

Cela rend difficile l'identification de tendances fiables pour certains composés, en particulier les insecticides historiques.

EXEMPLES SPECIFIQUES

- Imidaclopride : Malgré l'interdiction en plein champ en 2018, l'imidaclopride présente une contamination résiduelle significative dans les eaux de surface, en particulier dans les bassins Loire-Bretagne et Rhin-Meuse. Cette contamination pourrait être liée à son utilisation persistante comme biocide vétérinaire pour le contrôle des puces et des tiques chez les animaux de compagnie.
- Chlorpyrifos-éthyl : Les données de surveillance montrent une diminution notable de la contamination au chlorpyrifos-éthyl après 2014, coïncidant avec les restrictions d'utilisation.
- Cyperméthrine : La cyperméthrine est l'un des rares insecticides autorisés dont l'utilisation a augmenté au cours de la période étudiée. L'étude met en évidence des indicateurs de risque élevés, en particulier dans les bassins Seine-Normandie, Adour-Garonne et Loire-Bretagne.