



Les archives sédimentaires : une mémoire des pollutions dans le bassin de la Seine

Avec 30 % de la population française qui y habite et une très forte concentration d'activités industrielles, agricoles et urbaines, le bassin versant de la Seine est soumis à de très nombreuses sources de contamination de ses masses d'eau. L'un des principaux enjeux pour les gestionnaires de l'eau réside donc dans la compréhension des dynamiques de contamination des masses d'eau et de leur évolution dans le temps.

Car si depuis les années 80 d'importants efforts réglementaires et des améliorations de traitements des eaux usées ont permis d'améliorer la gestion des sources ponctuelles, les milieux aquatiques continuent de subir des pressions liées aux pollutions diffuses (zones agricoles, urbaines, rejets intermittents), ainsi que l'apparition de contaminants émergents tels que les PFAS, les antibiotiques ou encore les microplastiques. La protection, voire la reconquête, de ces masses d'eau nécessite des outils d'évaluation robustes, capables de mesurer la réponse à la régulation et d'anticiper les menaces contemporaines et futures.

À ce titre, les archives sédimentaires semblent être un outil parfait pour répondre à ces questions. En effet, elles constituent des témoins inestimables de l'histoire environnementale d'un bassin versant. Dans le cadre du programme PIREN-Seine, ces archives naturelles ont été exploitées pour retracer l'évolution de la qualité de l'eau, en particulier en ce qui concerne les contaminants chimiques tels que les métaux traces, les polluants organiques persistants et les antibiotiques. Les carottes de sédiments prélevées dans des sites stratégiques du bassin de la Seine, tels que Bouafles, Muids, Troyes et Chauny, ont permis de reconstituer l'histoire de la contamination sur plusieurs décennies, offrant ainsi une perspective temporelle précieuse pour les gestionnaires de l'eau.

De plus, l'étude des archives sédimentaires offre une approche rétrospective unique, complétant les données actuelles de surveillance de la qualité de l'eau. Elle permet de détecter des tendances à long terme, d'identifier des événements ponctuels de contamination et de mieux comprendre les processus de transport et de dépôt des contaminants. Ces informations sont cruciales pour évaluer l'efficacité des mesures de gestion mises en place et pour orienter les actions futures en matière de protection de la ressource en eau.



La phase 9 du PIREN-Seine

Depuis le 1^{er} janvier 2025, le PIREN-Seine est entré dans sa phase 9, qui s'achèvera le 31 décembre 2028. Pour répondre aux enjeux environnementaux du bassin de la Seine, le programme s'est organisé en 5 axes de recherche, qui ont chacun pour objectif de répondre aux attentes des acteurs de la gestion de l'eau face aux défis du changement climatique, de la transition écologique de la société et de l'avenir de la ressource. Un sixième axe se consacre aux transferts de connaissances et aux données. Les archives sédimentaires sont étudiées depuis les années 2000 par le PIREN-Seine, notamment lors de sa phase 8 dans une action de recherche dédiée à cette thématique.

AXE 1 : Vulnérabilités des territoires face au changement climatique

AXE 2 : Les flux de matières et d'énergie dans les filières et leurs impacts territoriaux

AXE 3 : Histoire, paysage, territoires et restauration écologique

AXE 4 : Effets des contaminants sur la santé et les écosystèmes

AXE 5 : Dynamique des contaminants : de la compréhension des processus au métabolisme territorial

AXE 6 : Transfert des connaissances et gestion des données



Comprendre la dynamique temporelle des contaminants...

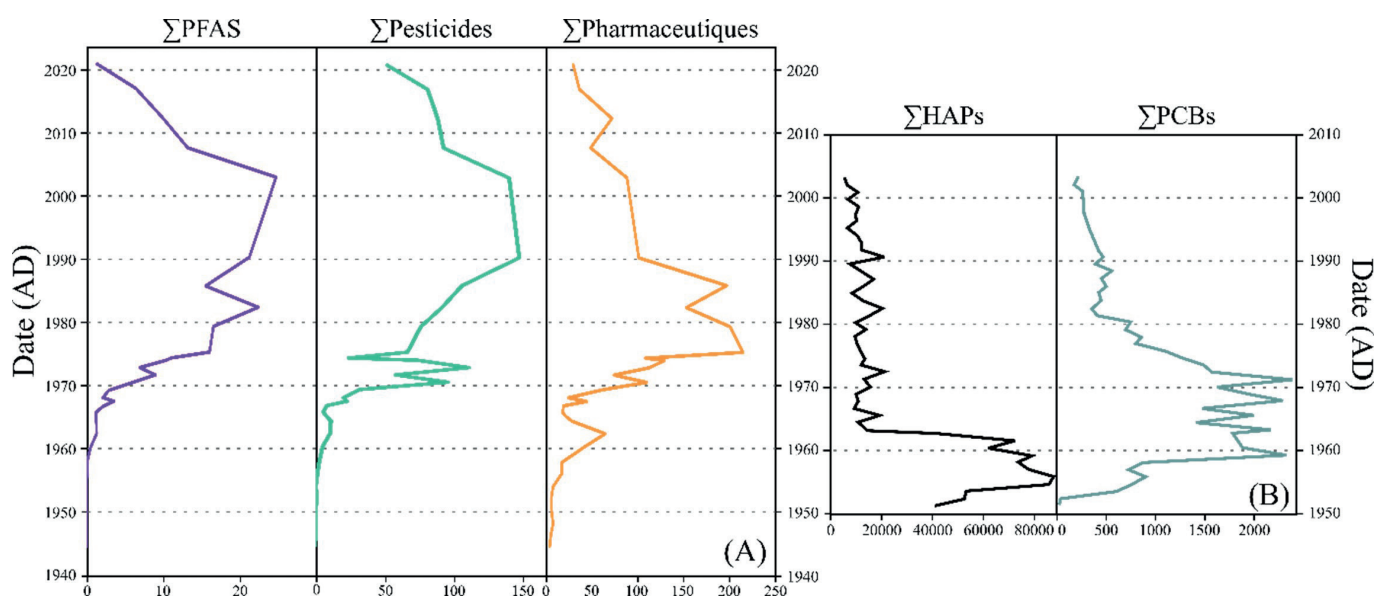
Depuis les années 2000, le PIREN-Seine mobilise les archives sédimentaires pour reconstituer l'histoire de la contamination chimique du bassin. En effet, à partir de l'analyse des différentes couches d'une carotte sédimentaire, il est possible de retracer l'apparition des contaminations en lien avec les usages, de dater les pics de contamination et d'observer les effets des politiques publiques de régulation sur la qualité des milieux. Cette approche a progressivement été intégrée aux travaux interdisciplinaires du programme, afin d'apporter une lecture de long terme aux dynamiques de contamination.

Les sites de Bouafles et Vernon, tous deux situés dans le département de l'Eure (27), en aval de l'agglomération parisienne, ont été sélectionnés pour leur position stratégique dans le bassin de la Seine et pour la qualité des dépôts sédimentaires qu'ils contiennent. À Bouafles, le site se trouve dans une plaine d'inondation, dans une portion du fleuve sensible aux apports diffus et à ceux de l'agglomération parisienne. Malgré un enregistrement partiellement perturbé, il offre une bonne lisibilité de l'historique des contaminants historiques et émergents. Vernon, en revanche, présente une séquence sédimentaire plus continue et mieux conservée prélevée dans un bras secondaire de la Seine. Ce site constitue une référence pour l'aval du bassin, en intégrant les apports issus de la métropole parisienne, les influences industrielles et les retombées atmosphériques. Ensemble, ces deux sites permettent de croiser les lectures géographiques et temporelles, et de mieux comprendre l'évolution globale de la contamination du fleuve.

Retracer les usages passés et leurs trajectoires

L'analyse des couches profondes des carottes prélevées, datant du milieu du XX^e siècle, révèle des concentrations relativement faibles en métaux et en polluants organiques, correspondant à une période où les apports anthropiques étaient plus faibles et où une majorité des polluants organiques recherchés aujourd'hui n'étaient pas encore mis sur le marché. À partir des années 1950, on observe une augmentation progressive et marquée des teneurs en métaux lourds comme le plomb, zinc, cadmium, de même que celles des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB). Cette élévation des concentrations est fortement corrélée à la montée en puissance de l'industrialisation, l'urbanisation rapide de l'Île-de-France, l'essor de la pétrochimie et le développement des engrais et pesticides organiques.

Des pics de contamination sont observés à des périodes différentes en fonction des contaminants visés. Les teneurs maximales en HAP sont atteintes au début des années 1960, celles en PCB, au début des années 1970, notamment dans les sédiments de Bouafles. L'analyse isotopique du plomb dans ces couches confirme l'influence des émissions liées à l'usage de l'essence plombée, dont la signature est bien identifiable. Ce pic coïncide également avec les limites historiques connues : absence de traitement généralisé des eaux usées, forte intensité industrielle en vallée de Seine, et usage encore peu réglementé de nombreuses substances rémanentes dans les milieux aquatiques. C'est également, après des prémices durant les années 1960, une période de premières autorisations de mises sur le marché pour de nombreuses



Teneurs sédimentaires (en ng/g) en aval de l'agglomération parisienne en somme de PFAS, pesticides et produits pharmaceutiques pour l'archive de Vernon (A) et en somme de HAPs et PCBs, pour l'archive de Bouafles (B).

molécules, pesticides, produits pharmaceutiques et PFAS, générant une grande diversification des contaminations sédimentaires en comparaison aux décennies précédentes, illustrant l'évolution des usages industriels, agricoles et domestiques. On remarque à cette période une tendance à l'augmentation en concentration cumulées et individuelles des polluants et contaminants organiques en cohérence avec l'augmentation des usages.

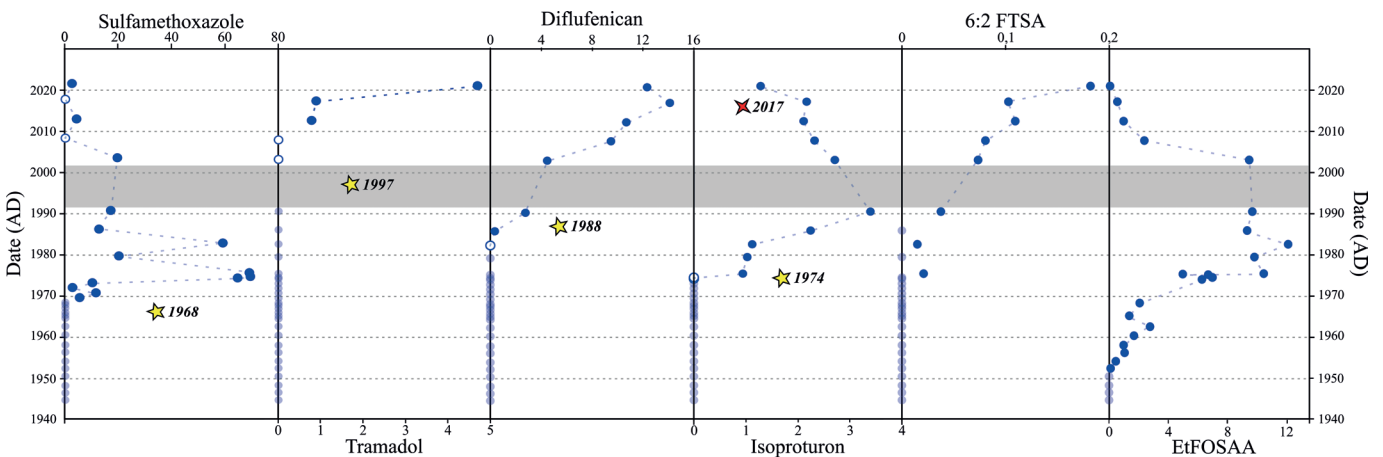
À partir des années 1990, les profils chimiques indiquent une décroissance régulière des polluants provenant de sources ponctuelles malgré des usages que l'on identifie en forte hausse. Cette tendance et cette décorrélation entre les usages et les niveaux de contamination observés témoignent de l'effet des politiques environnementales mises en œuvre dès la fin des années 1980 : amélioration du traitement des eaux résiduaires, interdiction progressive des PCB, retrait du plomb dans les carburants, réduction des émissions industrielles. Les couches plus récentes, correspondant aux années 2000-2020, présentent des niveaux significativement plus bas en PCB, en HAP et en métaux, même si certaines substances comme le cuivre ou le zinc restent relativement stables en raison de leur usage persistant.

Les carottes livrent aussi une information précieuse sur les contaminants émergents. Dans les couches les plus superficielles à partir des années 1960, on détecte la présence de PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées), de résidus pharmaceutiques, ainsi que de microplastiques. Ces polluants, souvent absents des réglementations actuelles, reflètent les évolutions récentes des activités industrielles, des modes de vie et des consommations, et traduisent une transformation des pressions exercées sur le fleuve. Leur présence dans les sédiments souligne la nécessité d'actualiser les dispositifs de surveillance pour mieux prendre en compte ces nouvelles formes de contamination.

Un effet-retard entre les pressions et leur empreinte sédimentaire

L'analyse des carottes sédimentaires met également en évidence un décalage temporel entre l'introduction d'un polluant dans l'environnement et sa traduction mesurable dans les sédiments, phénomène connu sous le nom d'effet-retard. Ce décalage peut s'expliquer par plusieurs mécanismes : la durée de transit du polluant dans le bassin versant, l'atteinte de seuil de contamination en fonction de l'affinité de la molécule pour les sédiments permettant sa détection, ou encore la lenteur des processus de transport sédimentaire jusqu'aux zones de dépôt. Par ailleurs, certains contaminants peuvent rester stockés temporairement dans les sols, les zones humides ou les berges, avant d'être remobilisés et transférés vers le lit majeur du fleuve lors de crues ou de travaux, notamment ceux issus des pressions diffuses. Ainsi, même après l'interdiction ou la réduction d'usage d'une substance, sa signature chimique peut encore apparaître dans les couches plus récentes, voire superficielles, des sédiments, comme c'est le cas pour l'atrazine, interdite en 2001. Ce phénomène complique la lecture directe des effets des politiques publiques, mais rappelle que les milieux aquatiques gardent la mémoire des pollutions passées sur le long terme.

Ces résultats montrent que, quels que soient les groupes de composés considérés, la tendance globale est à l'amélioration de la qualité de l'eau sur les années les plus récentes. Toutefois, pour plusieurs molécules, on remarque une augmentation récente dans les archives sédimentaires, due à une massification des usages agricoles, comme pour le diflufenican, utilisé en substitution de nombreuses molécules désormais interdites, ainsi que des usages domestiques et industriels comme pour le tramadol et un PFAS substitut au PFOS, le 6:2 FTSA. Il faut donc modérer ce signal optimiste, et de manière générale, on note que la diversité des molécules détectées est, quant à elle, de plus en plus grande au fil du temps.



Teneurs en ng/g de sédiments secs pour six molécules (deux produits pharmaceutiques, le sulfaméthoxazole et le tramadol, deux pesticides, le diflufenican et l'isoproturon, et deux PFAS, le 6:2 FTSA et l'EtFOSAA), l'étoile représente la date de mise sur le marché quand cette dernière est connue, la zone grise marque le hiatus sédimentaire.

Un outil puissant, mais avec ses limites

Une sensibilité dépendante des conditions environnementales

L'exploitation des archives sédimentaires constitue aujourd'hui un levier précieux pour comprendre l'évolution des pollutions dans le bassin de la Seine. Toutefois, l'approche par carotte sédimentaire n'est pas exempte de limites. Les conditions de dépôt, les phénomènes de remobilisation, comme une crue, ou de bioturbation peuvent perturber la lecture chronologique des couches, rendant parfois délicate leur interprétation. Ainsi, les événements hydrologiques marquants laissent une empreinte dans les carottes : couches remaniées, discontinuités, pics de concentration. Les crues peuvent alors agir comme des révélateurs, mais aussi comme des amplificateurs du transfert de polluants. Le site de Bouafles, plus remobilisé que celui de Vernon, illustre bien ces dynamiques de perturbation. Par ailleurs, toutes ces modifications rendent encore plus complexe la datation des couches de sédiments et donc la reconstitution chronologique des contaminations.

Une sensibilité physicochimique variable

Autre paramètre à prendre en compte, tous les contaminants n'ont pas la même affinité pour les particules, ce qui peut induire des sous-estimations pour certains composés hydrophiles ou volatils qui ne se fixeront pas ou peu sur les sédiments. C'est le cas notamment du glyphosate ou d'autres molécules largement

utilisées pour les activités humaines, mais qui sont rarement détectées par cette approche. Enfin, l'analyse de micropolluants émergents reste techniquement complexe, et nécessite des approches analytiques avancées, parfois encore en développement.

Vers des améliorations méthodologiques

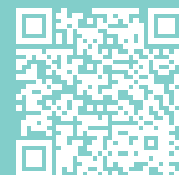
Malgré ces limites, les carottes sédimentaires demeurent un outil d'aide à la décision complémentaire, en particulier pour documenter les tendances de fond, évaluer l'inertie des milieux et anticiper les effets cumulatifs à long terme. Leur intérêt est renforcé dans un contexte où la reconquête de la qualité des eaux repose autant sur la connaissance des pressions passées que sur la vigilance face aux contaminants émergents.

Lors de la phase 9 du PIREN-Seine, des travaux de recherche vont être menés notamment pour compléter la liste des contaminants, pour l'instant non exhaustive, via des techniques d'analyse non ciblée permettant de détecter la présence de contaminants potentiellement sous-documentés et non réglementés. Une autre étape sera d'évaluer la contribution des apports atmosphériques à la contamination des sédiments. Enfin, poursuivre ces travaux sur d'autres sites du bassin, diversifier les contextes — urbains, agricoles, naturels — et croiser les analyses chimiques avec des indicateurs biologiques ou isotopiques pourrait permettre d'affiner encore les diagnostics et de mieux accompagner les choix de gestion à venir.



Pour plus d'informations, rendez-vous sur www.piren-seine.fr

Contact : francois.mercier@arceau-idf.fr



Crédits photos : bandeau couverture : Tristan Nitot, autres photos : PIREN-Seine

Edition : ARCEAU-IDF 2025 - www.arceau-idf.fr

Création graphique : id bleue (Sablé) www.idbleue.com

ISSN : 2610-0916

Sources bibliographiques : https://piren-seine.fr/publications/fiches_4_pages/les_archives_sedimentaires_une_memoire_des_pollutions_dans_le_bassin_de

Le **PIREN-Seine** est un programme de recherche interdisciplinaire dont l'objectif est de développer une vision d'ensemble du fonctionnement du bassin versant de la Seine et de la société humaine qui l'investit, pour permettre une meilleure gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

Cette fiche est éditée par la *Cellule transfert* du PIREN-Seine, animée par l'association ARCEAU-IDF.

Les partenaires opérationnels de la phase 9 du PIREN-Seine



Les partenaires scientifiques de la phase 9 du PIREN-Seine

