

Rapport de synthèse du | 2018  
projet METORG 3000 | 2022

# Evolution tendancielle des micropolluants dans les sédiments du bassin Loire-Bretagne

## Partenaires :





## Editorial

Depuis des millénaires l'activité humaine est de plus en plus prégnante sur notre environnement et ce à l'échelle planétaire. Les géologues en sont venus à proposer la définition d'une nouvelle époque géologique : l'Anthropocène.

Ce travail, réalisé à la demande de l'agence de l'eau Loire-Bretagne, par le consortium constitué du bureau d'étude Antroposed et des universités de Tours et de Poitiers, permet de mieux appréhender les effets de nos activités. Il nous est ainsi permis de remonter dans le temps jusqu'à l'ère pré-industrielle et ainsi de visiter les différentes étapes des pollutions historiques de l'Anthropocène.

L'accumulation de sédiments fins représente un formidable support d'enregistrement de toutes les évolutions des activités humaines dans les bassins versants.

Aussi, avec des techniques de pointe d'analyse des contaminants, mais aussi sur la base d'un travail minutieux et précieux d'enquêtes sur les activités humaines il a été possible de mettre en regard les niveaux de contamination avec les différentes sources d'émissions importantes.

Les datations des strates sédimentaires sont possibles grâce aux retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl.

Force est de constater que les « Trentes glorieuses » ont nettement marqué les sédiments par de fortes contaminations, mais globalement la situation s'améliore depuis les années 1980 à des exceptions près. Toutefois il faut attendre au minimum les années 1990 pour que ces diminution se traduise par une réduction du potentiel écotoxicologique.

Ces investigations précises nous permettent de répondre à une exigence de la directive cadre sur l'eau à savoir d'être capable de « fournir des données suffisantes à une analyse de tendance fiable à long terme des substances prioritaires qui tendent à s'accumuler dans les sédiments ».

Ce travail nous ouvre la voie vers des investigations et des diagnostics précis qui devront guider nos actions aussi bien pour la réduction des émissions de polluants toxiques que de la gestion des stocks sédimentaires

**Xavier Bourrain**

## Sommaire

<b>Objectifs.....</b>	<b>p.3</b>
<b>Methodologie mise en oeuvre.....</b>	<b>p.4</b>
<b>Principaux résultats.....</b>	<b>p.7</b>
Evolution temporelle des contaminations sédimentaires.....	p.7
Spatialisation des contaminations sédimentaires.....	p.11
Sources historiques de contamination.....	p.15
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>p.17</b>
<b>Références.....</b>	<b>p.19</b>

## Objectifs

Depuis 2009, plusieurs programmes de recherches réalisés dans les universités de Tours et de Poitiers ont eu pour objectif de **reconstituer la trajectoire des contaminants enregistrés dans les sédiments** du bassin de la Loire. Ce document est focalisé sur le projet **MetOrg 3000** qui inclut la Loire dans ses parties amont, moyenne et aval, ses principaux affluents, l'Arroux, la Bourbince, l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne, la Creuse, le Loir, la Sarthe, la Mayenne, l'Erdre, ainsi que la Vilaine. Comparativement aux études précédentes, la gamme des micropolluants étudiés a été étendue, incluant de nouveaux contaminants organiques.

La démarche scientifique de tous ces projets a ainsi permis **d'améliorer la compréhension des contaminations actuelles en les contextualisant au regard de l'histoire des**

### **pollutions dans les différents sous-bassins.**

L'ensemble des données offre un regard nouveau sur l'ampleur des contaminations et leur histoire, ainsi que l'emprise spatiale et temporelle des sources historiques de contaminants à l'échelle du bassin. Une analyse des effets écotoxicologiques potentiels vient aussi éclairer les conséquences possibles de ces contaminations pour l'écosystème aquatique.

Ce travail prouve aussi **l'importance de l'utilisation et la préservation des archives sédimentaires pour le suivi à long terme de la qualité des cours d'eau.**

En résumé, ce projet concerne :

## **5 familles de contaminants historiques**

analysées dans les archives sédimentaires du bassin Loire-Bretagne. Il s'agit des contaminants dits «historiques», car en grande partie hérités des activités du XX<sup>ème</sup> s., bien que pour certaines familles, les sources actuelles restent toujours importantes :

- **Les Eléments Traces**, dit «Métaux lourds» comme le cadmium ou le mercure, sont naturellement présents dans les sédiments, mais enrichis par les activités humaines.
- **Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)**, sont des composés organiques entrant dans la composition du charbon et du pétrole ou issus de leurs combustion incomplète.
- **Les PolyChloroBiphényles (PCB)**, sont des composés organiques chlorés dont les

usages multiples sont interdits depuis les réglementations de 1979 et 1987.

- **Les PolyBromoDiphénylEther (PBDE)**, sont également des composés organiques mais bromés. Ils ont largement été utilisés comme retardateurs de flamme dans les matériaux plastiques et textiles jusqu'à leur réglementation au début des années 2000.
- **Les phtalates** et en particulier le Di(2-ethylhexyl) phtalate (DEHP), sont des composés organiques utilisés comme plastifiant et entrant dans la composition des PVC. Le DEHP est lui aussi soumis à une réglementation européenne depuis 2007.

Ces substances peuvent être toxiques pour les êtres humains (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques ou perturbateurs endocriniens) et pour les organismes aquatiques.

## Méthodologie mise en oeuvre

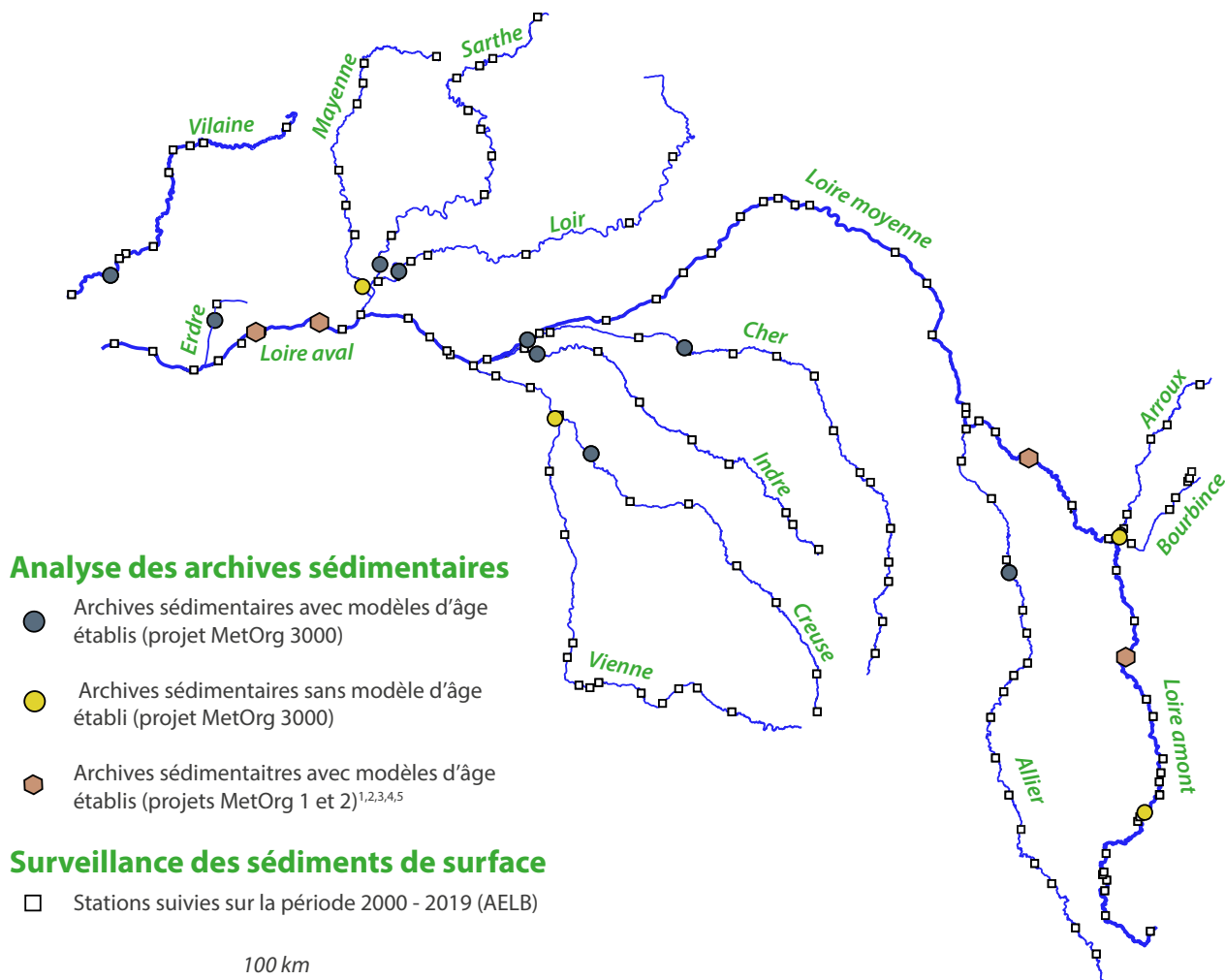
L'analyse de l'évolution spatiale et temporelle des contaminants a été réalisée en intégrant deux types de matrices sédimentaires.

**Les archives sédimentaires** renseignent de l'histoire des pollutions. Au cours du temps, les sédiments contenant potentiellement des contaminants s'accumulent de sorte que la colonne sédimentaire enregistre de façon chronologique des événements de pollution. L'élaboration de modèle d'âge consiste à donner un âge aux niveaux sédimentaires en fonction de leur profondeur. Cette datation

repose sur la recherche de bornes temporelles associées à des marqueurs radioactifs ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) et à des transitions sédimentaires remarquables associées à des événements hydrologiques importants et/ou à des modifications du transport sédimentaire. L'étude des archives sédimentaires permet de couvrir des plages temporelles de plusieurs décennies. La comparaison des niveaux sédimentaires peut se faire :

- au sein d'une même archive afin d'étudier les variations temporelles des pollutions à l'échelle du sous-bassin,

### Localisation des stations de carottage et de suivi de la qualité chimique des sédiments de surfaces





## Chiffres clés :

**15** sous-bassins étudiés, correspondant au corridor ligérien (Loire amont, moyenne et aval), aux principaux affluents du fleuve, ainsi que la Vilaine (le principal fleuve breton).

**19** archives sédimentaires analysées afin de reconstituer les trajectoires temporelles des contaminants dans les sous-bassins.

**14** modèles d'âge validés afin de transformer les niveaux sédimentaires en dates calendaires.

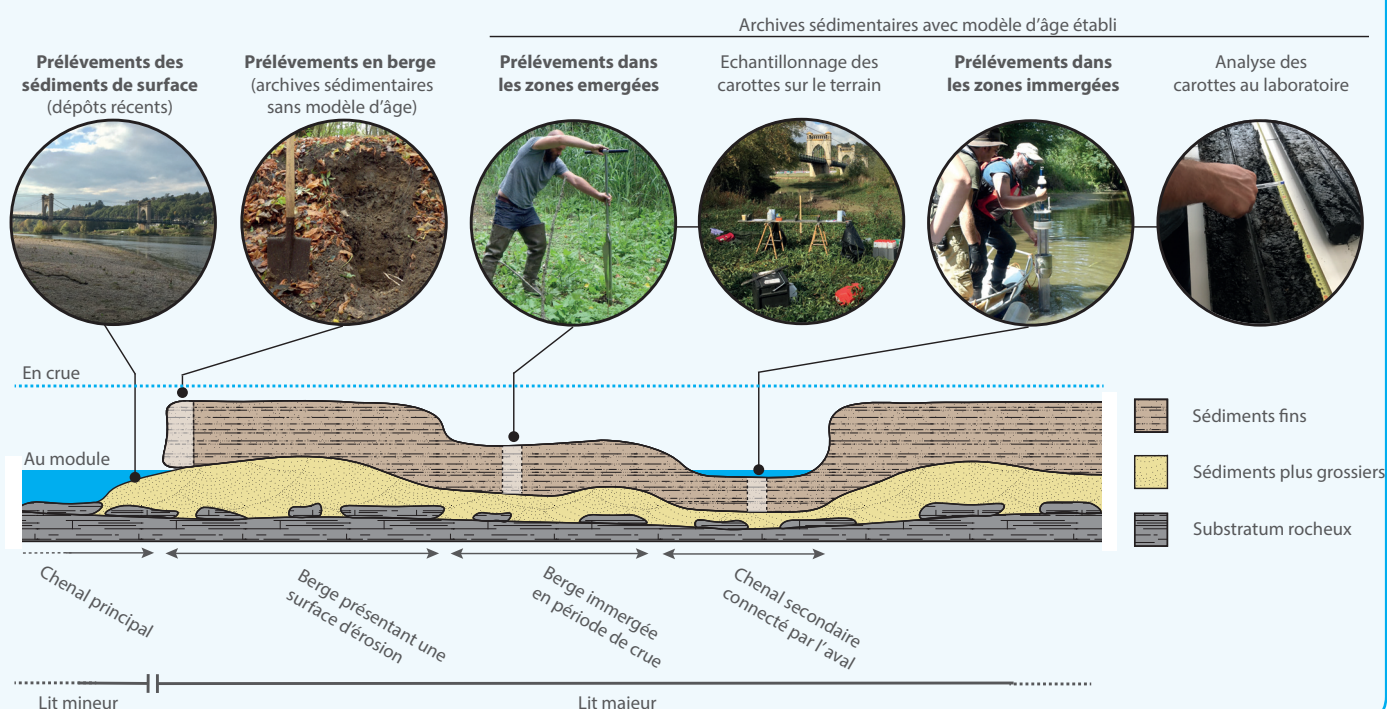
**726** niveaux sédimentaires analysés dans les archives du bassin Loire-Bretagne.

**20 276** données de qualité générées sur l'ensemble des archives sédimentaires étudiés

**157** stations de surveillance des sédiments de surface intégrées à l'analyse spatio-temporelle des teneurs en contaminants afin de préciser leurs trajectoires spatiales le long des linéaires.

**3 421** échantillons de sédiments de surface analysés dans le cadre de la surveillance de contrôle de l'Agence de l'Eau.

### Archives sédimentaires et sédiments de surface : les deux types de matrices sédimentaires intégrées à l'étude





**Illustration des étapes de carottage (photographies de gauche) et d'échantillonnage des niveaux sédimentaires (photographies de droite)**



- entre les archives sédimentaires afin de confronter les niveaux de contamination entre les sous-bassins sur les mêmes plages temporelles.

**Les sédiments de surface** sont surveillés par l'Agence de l'eau depuis 1981. Actuellement 797 stations sont suivies, réparties pour couvrir le bassin. En revanche, la fréquence de suivi a varié fortement entre les décennies et également en fonction de la position géographique des stations. La diversité des contaminants suivis a également évolué au cours

de la période 1981-2019, ainsi que les performances analytiques. Par conséquent, pour une comparaison avec les contaminations enregistrées dans les archives sédimentaires, un traitement de validation et d'homogénéisation de l'ensemble des données bancaisées a été nécessaire. Les décennies 2000 et 2010 ont été privilégiées, car elles étaient mieux renseignées que les décennies précédentes -1980 et 1990-. Cela a permis de focaliser l'analyse sur la période la plus récente des pollutions sédimentaires.



## Principaux résultats

### — Evolution temporelle des contaminations sédimentaires

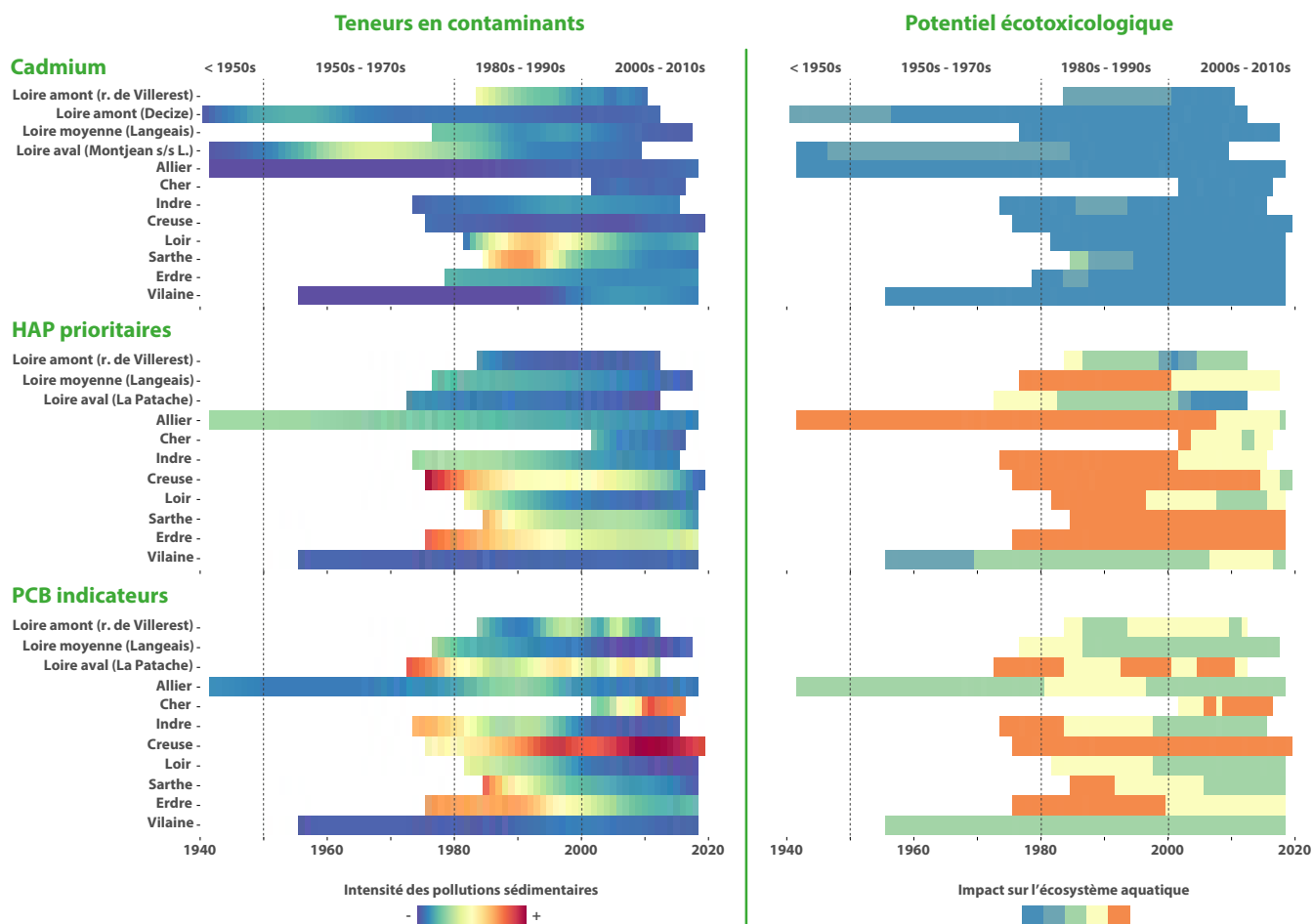
#### De fortes teneurs en contaminants métalliques, HAP et PCB

ont été retrouvées dans les archives sédimentaires du bassin Loire-Bretagne. Les plus forts niveaux de contaminations enregistrés sont proches de maximas historiques relevés dans d'autres bassins européens (ex. : la Seine en aval de la conurbation parisienne dans les années 1940-1960). Cette analyse

concerne le corridor ligérien mais aussi ses principaux affluents. L'archive de la Vilaine a, quant à elle, enregistré de moindres niveaux de contamination.

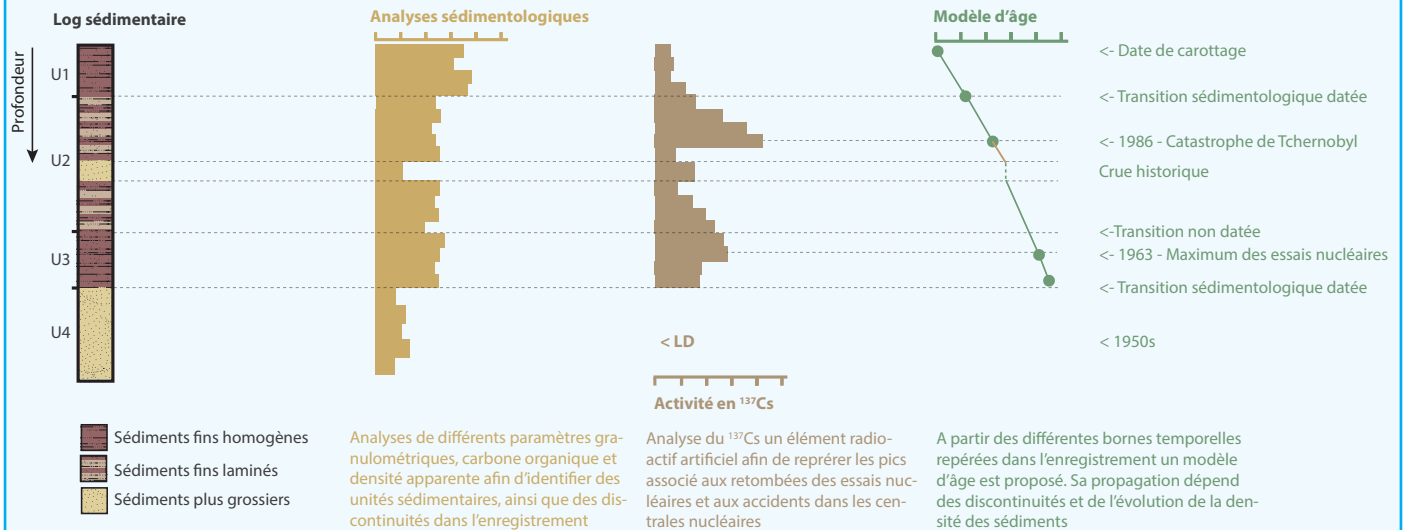
Pour les autres familles de polluants étudiés, PBDE et phtalates, leurs concentrations sont relativement ubiquitaires, c'est-à-dire comprises dans des gammes communément observées à distance de sources de pollution (cf. [rapport technique](#) pour plus de détails).

**Evolution temporelle des niveaux de contamination enregistrés dans les archives sédimentaires des différents sous-bassins, ainsi que du potentiel écotoxicologique associé aux contaminations sédimentaires**





## Elaboration des modèles d'âge pour les archives sédimentaires : transformer les profondeurs des niveaux sédimentaires en âges calendaires



L'élaboration du modèle d'âge a pour objectif de proposer un âge aux niveaux sédimentaires en fonction de leur profondeur. Ces analyses sont basées sur une description sédimentologique des archives qui vise à repérer les unités sédimentaires et les discontinuités dans l'enregistrement (comme des niveaux de crues). Suite à cela l'analyse des

radionucléides comme le <sup>137</sup>Cs permet de repérer des marqueurs temporels au sein de la carotte. Certaines transitions sédimentaires et les niveaux de crues peuvent être associées à des événements connus dans l'évolution de la station et son hydrologie. Ils apportent des bornes temporelles supplémentaires entre lesquelles le modèle d'âge peut être calculé.

**4 grandes périodes** peuvent être définies en fonction de l'évolution des contaminations.

- **La période antérieure aux années 1950** est accessible dans les archives de la Loire à Decize, l'Allier et l'Erdre. Ces enregistrements font état de contaminations locales, de fortes intensités, mais impliquant seulement quelques substances (ex. le mercure dans la Loire, l'antimoine et les HAP dans l'Allier) en lien avec les activités les plus polluantes de l'époque (ex : mines de houilles et de métaux, tanneries, industries métallurgiques ...).
- **La période des années 1950-1970** est accessible dans la plupart des archives sédimentaires étudiées. Les niveaux de

contamination les plus forts sont généralement atteints dans cette plage temporelle. Les pollutions concernent la plupart des substances étudiées et elles sont généralisées sur l'ensemble du territoire. Cette période correspond à l'époque des «Trente Glorieuses» au cours de laquelle la croissance économique était forte, l'activité industrielle et minière importante et les moyens de maîtrise des pollutions peu répandus et/ou peu efficaces.

- **La période des années 1980-1990** se caractérise par une diminution généralisée des niveaux de contamination. Cependant, des phases de pollutions plus tardives affectent encore quelques sous-bassins au cours de cette période (ex. : le cadmium, le chrome et l'étain dans l'ar-

chive de la Sarthe, le cadmium dans celle du Loir). L'amélioration de la qualité des sédiments s'inscrit dans un contexte de ralentissement progressif des activités minières et des industries les plus polluantes sur le territoire. De plus, à cette époque, des systèmes de traitement des effluents se généralisent en parallèle de l'instauration de réglementations limitant ou interdisant l'usage de certaines substances (ex : les PCB en 1979 et 1987).

- **La période des années 2000-2010** voit une stabilisation générale des niveaux de contamination. Des exceptions sont encore enregistrées dans certains sous-bassins en lien avec des sources actuelles, locales et ponctuelles ou anciennes et réactivées (ex : les PCB dans les archives du Cher et de la Creuse). Il est à noter qu'à cette époque un grand nombre d'activités industrielles et minières ont cessé leurs activités suite à plusieurs décennies de désindustrialisation. De même, les traite-

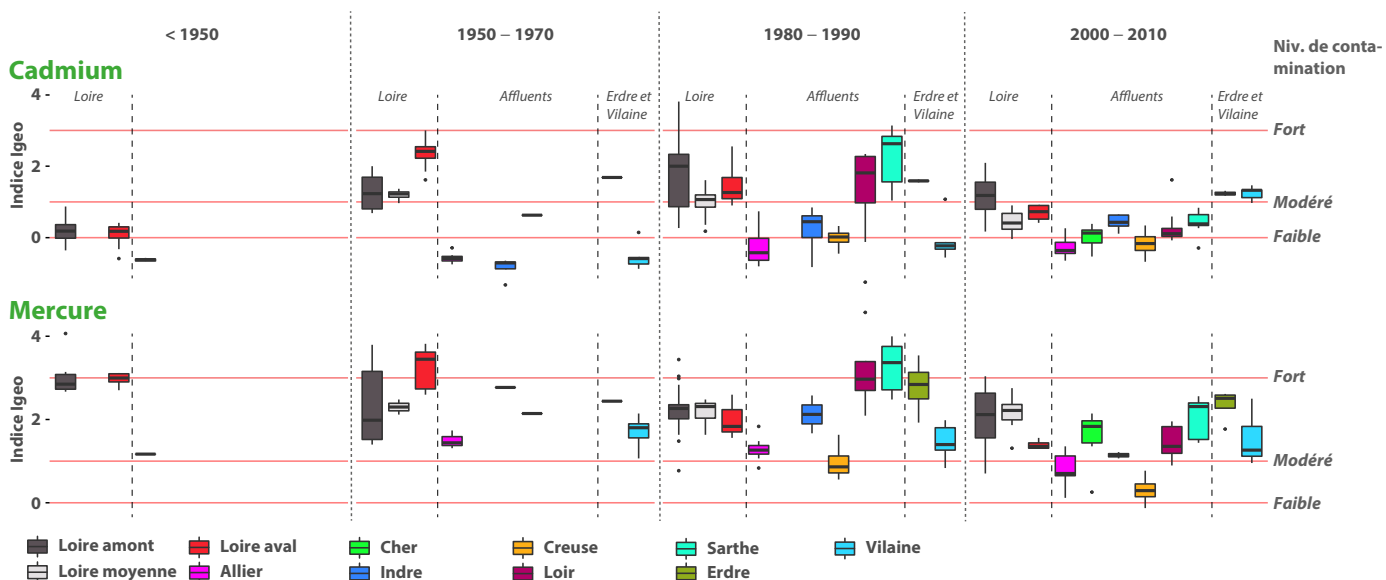
ments des rejets urbains et agricoles se sont également améliorés. En parallèle, l'application de la Directive Cadre européenne sur l'Eau de 2000 a mis en place une politique qui s'accompagne d'une réglementation des usages et des rejets de substances prioritaires.

Les niveaux de contamination résiduelle observés ces dernières années établissent alors **un nouveau référentiel post-industriel** en lien avec l'imprégnation générale des bassins. Dans ce contexte, le déstockage des pollutions héritées du passé peut constituer une importante source de contamination, aggravée par des modifications du transport sédimentaires et des changements hydroclimatiques.

**Des potentiels écotoxicologiques élevés** peuvent être questionnés en raison des teneurs en polluants retrouvées dans les archives sédimentaires.

### Comparaison des niveaux de contaminations en éléments traces entre les sous-bassins selon les périodes définies dans cette étude

Les niveaux de contamination sont exprimés selon l'indice Igeo<sup>6</sup> qui permet de calculer des enrichissements comparativement aux teneurs préindustrielles propres aux sédiments du bassins (cf. rapport technique pour plus de détails).







Cette évaluation se base sur l'analyse de l'indice HQc<sup>8</sup> permettant de calculer des niveaux de risques potentiels *via* la comparaison des concentrations sédimentaires d'un ensemble de contaminants et les seuils écotoxicologiques établis de manière consensuelle<sup>9</sup>. Dans le cadre de cette étude, l'analyse a été réalisée pour l'ensemble des niveaux sédimentaires.

**Les plus forts potentiels concernent les niveaux sédimentaires datant des années 1950-1970.** A cette époque, des niveaux de risques modérés à sévères concernent les HAP et PCB dans la plupart des sous-bassins. Les risques sont plus faibles pour les contaminants métalliques.

La période de diminution des contaminations enregistrée dans **les années 1980-1990 se**

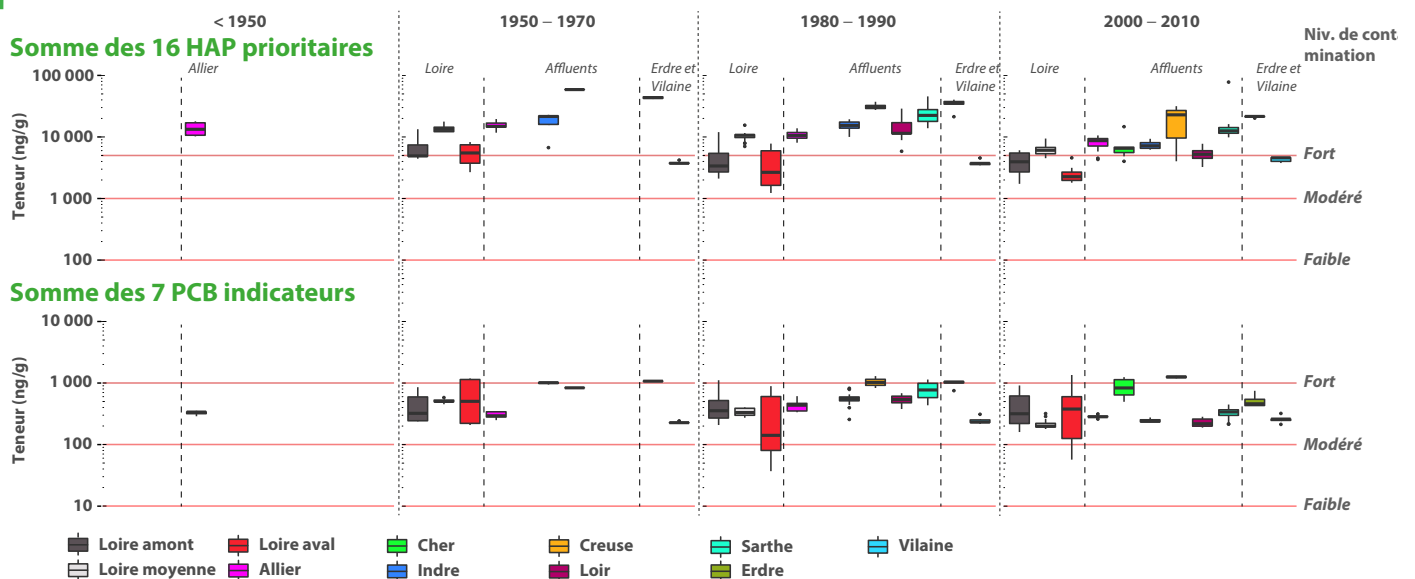
**traduit généralement par une amélioration significative des niveaux de risques.** Malgré tout, dans certains sous-bassins, des teneurs très élevées maintiennent des impacts potentiels toujours forts.

Les sédiments des **années 2000-2010 montrent encore des potentiels modérés à forts pour les HAP et les PCB dans la majorité des sous-bassins.** En revanche, ils sont négligeables en ce qui concerne tous les contaminants métalliques étudiés.

Aussi, la stabilisation récente des contaminations s'établit à un niveau potentiellement impactant pour les organismes aquatiques. Ces résultats témoignent de la **persistance à long terme des pressions toxiques engendrées par les activités humaines passées** (cf. [rapport technique](#) pour plus de détails).

## Comparaison des niveaux de contaminations en HAP et PCB entre les sous-bassins selon les périodes définies dans cette étude

L'évaluation des niveaux de contamination se base sur le référentiel de Baumard<sup>7</sup> pour les HAP, en ce qui concerne les PCB il a été défini à partir des teneurs décrites dans la littérature scientifique.



## Spatialisation des contaminations sédimentaires

**Quant aux sédiments de surface sur la période 2000 - 2019, les plus forts niveaux de contaminations concernent la Loire amont**, entre l'agglomération de St Etienne et la retenue de Villerest. D'autres hotspots de contamination ont également été identifiés au niveau des principaux foyers industriels, miniers et/ou urbains, mais leur emprise spatiale vers l'aval est généralement plus limitée.

La distribution spatiale des teneurs en contaminants ne peut pas s'expliquer uniquement par l'intensité des sources actuelles de contamination. D'autres facteurs ont vraisemblablement un rôle :

**La géologie du substratum rocheux** peut influencer l'emprise des contaminations. En effet, la partie amont de la Loire et de ses principaux affluents est positionnée sur des roches ignées et basaltiques naturellement riches en éléments traces, alors que la Loire moyenne et la partie aval des affluents (sauf la Mayenne) drainent les roches sédimentaires du bassin parisien, contenant moins de ces éléments. L'érosion de celles-ci induit de surcroît des apports en mesure d'atténuer les niveaux de contamination provenant de l'amont.

**La morphologie fluviale est également un élément structurant de l'emprise spatiale des contaminations.** En effet, Son influence est complémentaire à la géologie. Les linéaires des cours d'eau peuvent être subdivisés en trois grands secteurs en fonction de la dynamique hydrosédimentaire à large échelle.

- **Les zones de production sédimentaire**

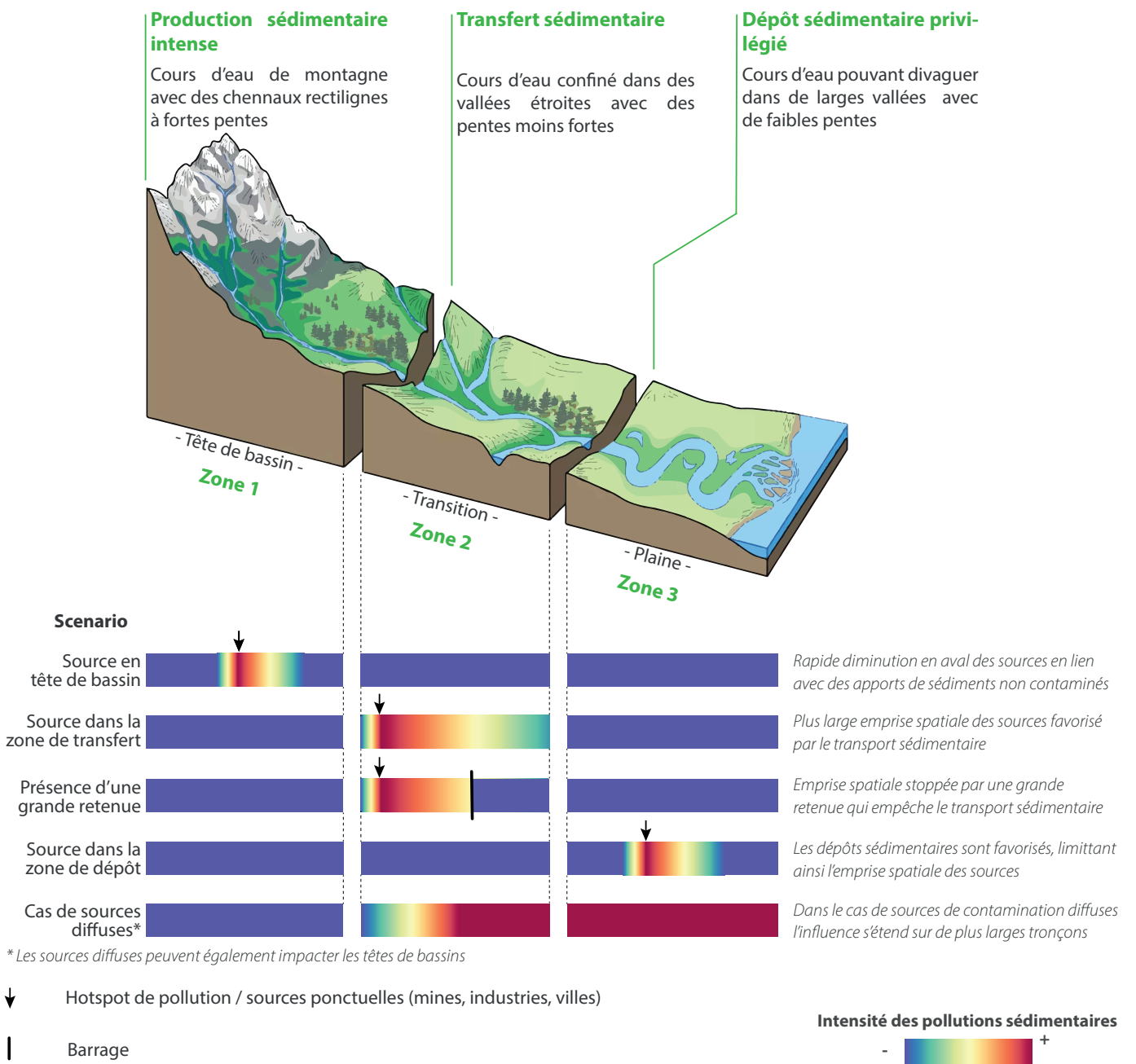
sont principalement en têtes de bassins. Ainsi pour des hotspots de contaminations situés dans ces zones amont (ex. les mines de métaux), les teneurs peuvent être rapidement atténuées vers l'aval du fait de l'apport supplémentaire et massif de sédiments non contaminés.

- **La zone de transfert sédimentaire** s'étend dans la partie où le cours d'eau est confiné au fond d'une vallée avec des pentes relativement fortes. Dans cette section, l'intensité du transport sédimentaire favorise la dispersion des contaminants vers l'aval. Cette partie est souvent mise à profit pour l'implantation de grandes retenues (comme celle de Villerest) qui représentent alors des zones d'accumulation pour les sédiments, notamment pour la fraction fine qui a le plus d'affinité avec les contaminants. Ces retenues constituent ainsi des barrières à la propagation des sédiments et contaminants associés.
- **La zone de dépôts sédimentaires** correspond au cours d'eau de plaine. Dans cette zone fluviale aval, les faibles pentes limitent le transport sédimentaire et la dispersion des contaminants associés. Lors de crues, les sédiments fins venant de l'ensemble de la partie amont du bassin peuvent se déposer sur la plaine d'inondation et dans les annexes fluviales. Les archives sédimentaires qui ont été analysées pour cette étude ont été prélevées dans ce type d'environnement.

**L'héritage des sources de contamination historiques** est également un élément d'explication. En effet, le bassin de St Etienne a constitué l'un des principaux foyers de la révolution industrielle, basé sur l'exploitation

## Schema conceptuel montrant l'emprise spatiale des contaminations en fonction de la position des sources le long des linéaires, de la morphologie fluviale et des aménagements comme les barrages

Morphologie fluviale modifiée d'après Thornberry-Ehrlich, 2019



de la houille et son utilisation locale dans l'industrie lourde. Ces activités ont engendré l'accumulation d'importants stocks de contaminants, mobilisés au gré du lessivage et épisodes érosifs des sols et des sédiments comme cela est visible par l'analyse des archives sédimentaires

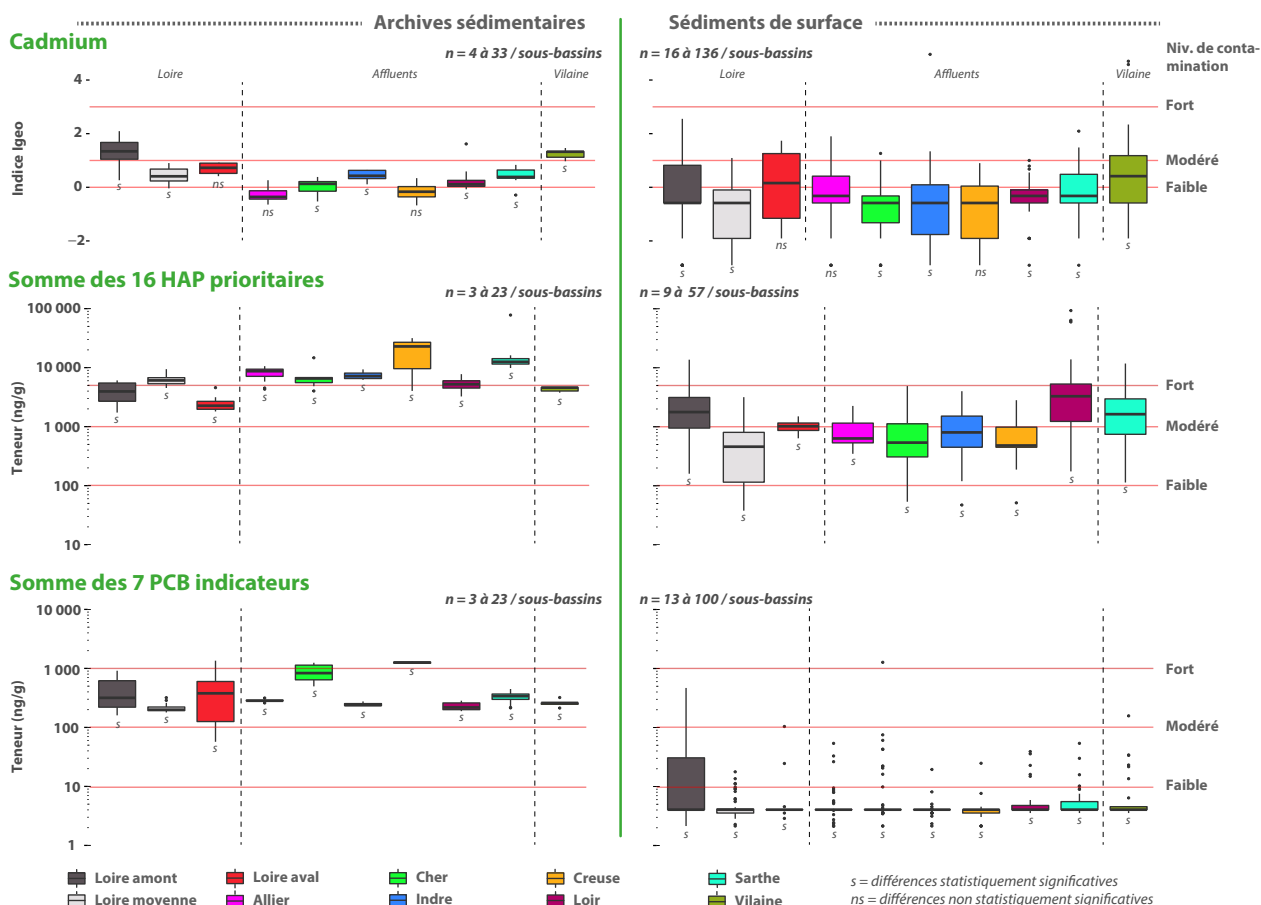
**Sur la période 2000-2019, des niveaux de contamination plus élevés ont été mis en évidence dans les archives sédimentaires comparativement au sédiment de surface.** Cette différence est plus marquée pour les contaminants organiques que pour les contaminants métalliques (selon l'indice Igeo). La variabilité

naturelle des teneurs en contaminants est également plus forte dans les sédiments de surface que les sédiments archivés. Pour les PCB, hormis dans la Loire amont, la majorité des analyses dans les sédiments de surface sont faibles ou inférieures aux limites de quantification.

Ces différences peuvent être reliées à **la dynamique de la fraction fine qui est présente en proportion variable dans les sédiments du lit** (souvent faible de surcroît), alors qu'elle est dominante dans les environnements de dépôts ciblés pour les carottages. Sa proportion exerce une influence sur les niveaux de contamination et l'évaluation des impacts écotoxicologiques potentiels.

De manière générale, ces résultats illustrent la complémentarité des approches archives sédimentaires *versus* sédiments de surface, les

### Comparaison des niveaux de contaminations dans les archives sédimentaires et les sédiments de surface par sous-bassins sur la même période 2000-2019





deux ayant des intérêts spécifiques :

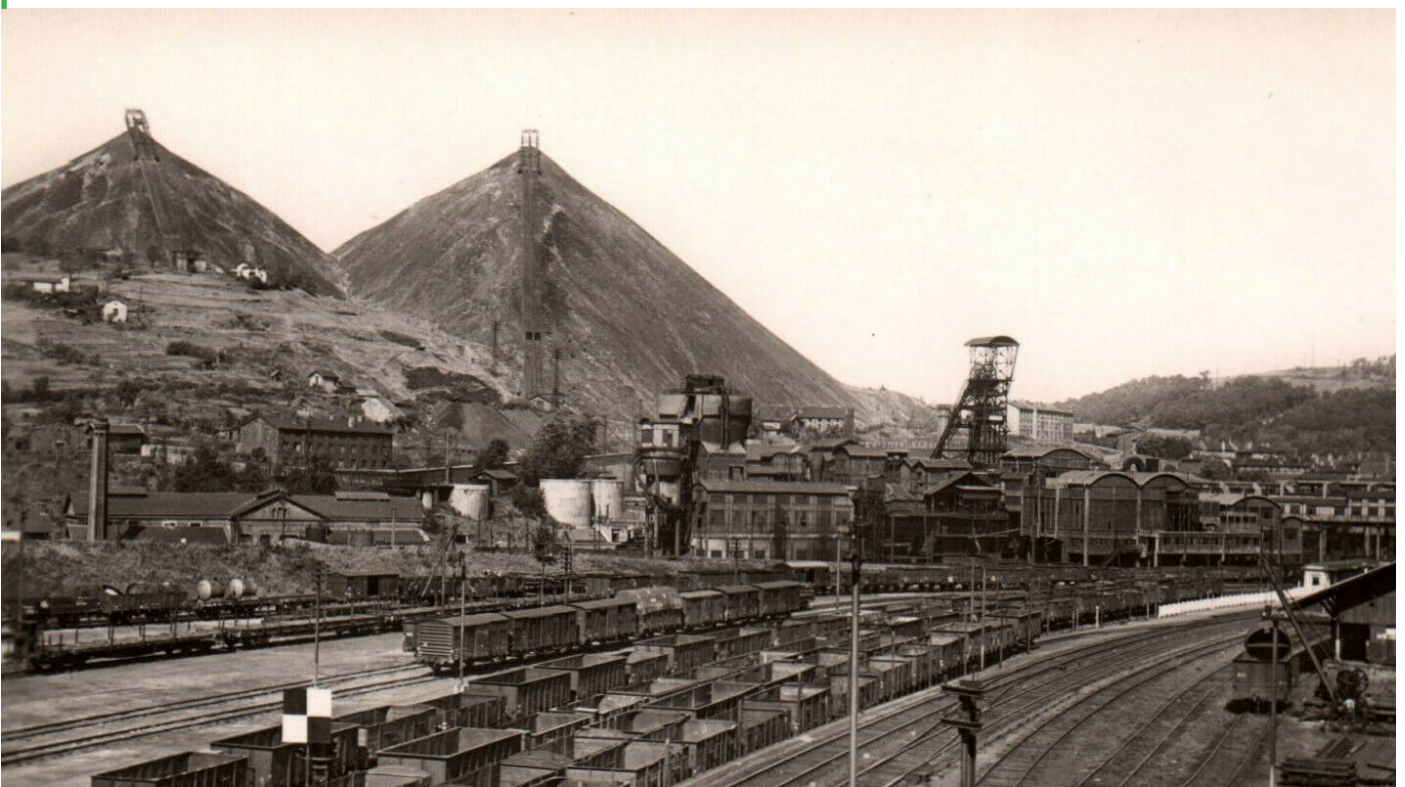
- **Les archives sédimentaires permettent de comparer les niveaux de contamination dans le temps et entre les sous-bassins suivant des conditions d'enregistrement relativement similaires**, notamment l'archivage des sédiments fins. Les environnements de dépôt favorables à l'archivage des contaminants sur le long terme sont cependant difficiles à trouver et dans les contextes fluviaux. De plus, dans les bassins les plus impactés par les aménagements, le transport des sédiments et contaminants associés peut

être limité en aval des sources. Ceci peut influencer les enregistrements sédimentaires dans la partie aval des cours d'eau.

- **Le suivi des sédiments de surface le long du linéaire renseigne sur l'emprise spatiale des contaminations au niveau du lit mineur** et sur les différents facteurs qui les contrôlent. En revanche, ce type de sédiment limite les comparaisons interannuelles ou avec des valeurs guides (indicatrices de la qualité des sédiments) en raison de conditions de sédimentation souvent variables.

(cf. [rapport technique](#) pour plus de détails)

**Photographie ancienne illustrant l'ampleur de l'exploitation industrielle de la houille dans le bassin minier de St Etienne dans les années 1950**





## Sources historiques de contamination

**Les sources historiques de contamination ont été recherchées à partir des données en contaminants enregistrées dans les archives sédimentaires.** Cette analyse a été réalisée pour les contaminants métalliques, les HAP et les PCB. Les sources des PBDE et des phtalates sont variées et réparties dans l'ensemble du bassin.

### **Sources en contaminants métalliques :**

Différentes sources de contaminants métalliques peuvent être mise en évidence à partir des relations inter-élémentaires.

**L'extraction de la houille et sa combustion** constitue une importante source de contamination au mercure depuis la seconde moitié du XIXème. Elle a été enregistrée dans les sous-bassins drainant les principales houillères (la Loire amont en particulier avec les districts de St Etienne, Blanzy-Montceau-les-Mines-Le Creusot, La Machine...).

**L'exploitation des mines d'antimoine** a également constitué des sources de contamination anciennes localisées dans les sous-bassins de l'Allier et de la Mayenne (districts miniers de Brioude-Massiac et La Lucette). Leur influence sur la composition géochimique des sédiments se fait toujours ressentir sur les dernières décennies.

**Au cours du XIXème et la première partie du XXème certaines industries ont constitué des sources ponctuelles de fortes intensités.** Ces contaminations concernent généralement quelques éléments utilisés dans les process industriels de l'époque (ex. le mercure dans le traitement des peaux et

la fabrication des amalgames, l'étain dans la confection du fer blanc et la verrerie). Ces contaminations anciennes ont été enregistrées dans les archives de la Loire amont et aval. Elles permettent de remonter assez loin dans le temps pour couvrir cette période.

**A partir des années 1950 et jusque dans les années 1970 des contaminations polymétalliques, généralisées à l'ensemble du territoire** sont enregistrées. Elles accompagnent le **developpement d'une industrie lourdes** et diversifiée (métallurgie, verrerie, céramique, ...). La déprise industrielle des années 1980 et 1990 et les efforts consentis font diminuer ces contaminations.

Au cours de cette période (1980-1990), dans certains sous-bassins comme la Sarthe, le Loir, le Cher, l'Erdre et la Vilaine, **les traitements de surface peuvent être responsables de contaminations spécifiques** (cadmium, chrome, étain et zinc).

### **Sources en HAP :**

Grâce à des rapports spécifiques entre congénères, **la différenciation des sources de HAP a montré que l'exploitation de la houille et son utilisation généralisée** constituent la source la plus ancienne de pollution (<1950). Cette source a essentiellement été enregistrée dans les sédiments de la Loire amont et aval, ainsi que l'Erdre. Ces archives ont été prélevées dans des environnements favorisant la sédimentation des particules de houille et dérivés (réservoirs et estuaire). Dans les archives de la Loire, l'abandon progressif du charbonnage à partir des années 1980 s'est traduit par une forte diminution des teneurs en HAP. L'abandon des mines remonte aux années 1950 dans l'Erdre.

**L'imprégnation généralisée du bassin par les HAP provenant des hydrocarbures** constitue une autre source de forte intensité. Son évolution est en lien avec celle de la consommation en produits pétroliers.

### Sources en PCB :

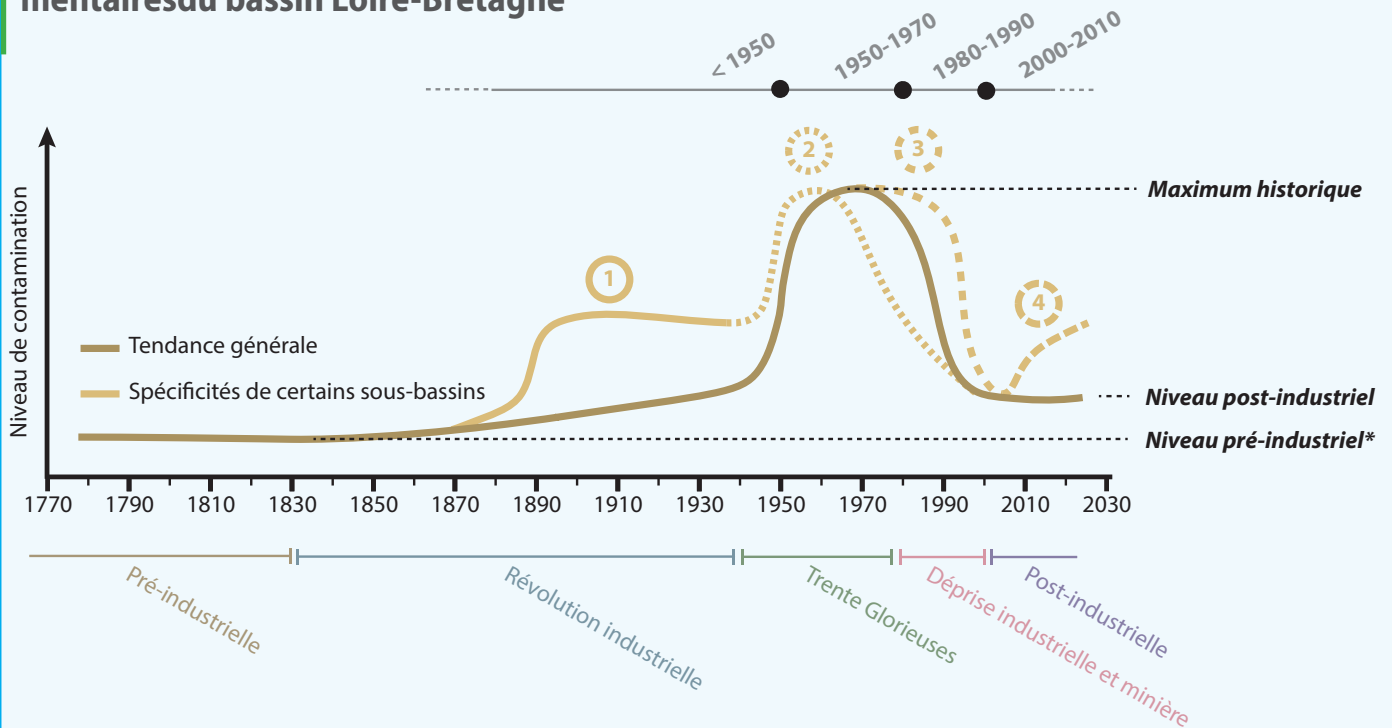
**L'identification des sources en PCB a également été recherchée** à partir de rapports entre congénères. La proportion élevée de certains congénères caractéristiques (PCB dioxine-like) semble indiquer que la **combustion de substances contenant des PCB** a constitué une source de contamination im-

portante, s'additionnant au déversement des mélanges commerciaux.

Les fortes contaminations affectant le Cher et la Creuse ces dernières décennies peuvent être rapprochées de sources localisées. Au niveau du corridor ligérien et dans les affluents les plus longs, l'évolution des ratios entre les congénères les plus légers et les plus lourds indique que les apports distants (venant de l'amont) s'additionnent à ceux plus locaux, en compléments des apports atmosphériques à plus grande échelle.

(cf. [rapport technique](#) pour plus de détails)

## Reconstitution schématique des niveaux de contamination à partir des archives sédimentaires du bassin Loire-Bretagne



- ① Plus fortes contaminations en éléments traces et/ou HAP dans la Loire amont et l'Allier en lien avec les extractions minières (houille, antimoine) et des activités industrielles anciennes (textile, métallurgie, verrerie, ...)
- ② Pic de contamination plus précoce dans la Loire amont en lien avec l'importante activité industrielle et minière pendant la seconde guerre mondiale et la diminution de l'exploitation de la houille depuis le début de années 1960
- ③ Pic de contamination plus tardif en éléments traces et/ou PCB dans certains sous-bassins en lien avec des sources locales et ponctuelles
- ④ Contamination en PCB dans le Cher et la Creuse en lien avec des sources locales et ponctuelles

\*pour les substances de synthèse, les teneurs sont nulles jusqu'à leur introduction dans l'environnement dans les années 1930 pour les PCB, les années 1950 à 1970 pour les PBDE et les phthalates



## Conclusion et perspectives

**Le projet MetOrg 3000 synthétise plus de 10 ans de recherches concernant l'évolution temporelle et spatiale des contaminants métalliques et organiques dans les sédiments du bassin Loire-Bretagne.** Au cours de cette période, 19 archives sédimentaires ont été analysées, permettant de reconstituer l'histoire des pollutions dans 15 sous-bassins. De manière complémentaire, les résultats des programmes de surveillance de la qualité des sédiments de surface sur la période 1981-2019 ont été intégrés et comparés à cette étude.

**Ces recherches ont permis de mieux comprendre les niveaux de contaminations actuels en les contextualisant au regard du fonctionnement général du bassin à l'échelle de plusieurs décennies**

Les archives sédimentaires documentent ainsi quatre grandes périodes compte tenu de l'évolution temporelle des contaminations.

- **Les plus forts niveaux de contamination concernent les années 1950-1970** dans l'ensemble du bassin, même si des pollutions plus localisées ont affecté certains sous-bassins avant les années 1950 (ex. la Loire amont, l'Allier, l'Erdre).
- **Au cours des années 1980-1990, les teneurs en contaminants métalliques et organiques diminuent de manière**

**généralisée** en association avec une importante réduction des activités les plus polluantes (mines, industries lourdes) et une amélioration du traitement des rejets industriels et urbains.

- **Les niveaux de contamination se stabilisent au cours des années 2000-2010**, matérialisant un niveau post-industriel. Dans certains sous-bassins, des sources locales ou l'héritage d'anciennes pollutions de forte intensité induisent toujours des niveaux de contamination élevés.

L'évaluation des impacts écologiques des contaminations sédimentaires nous informe de **potentiels écotoxicologiques sévères, maximum pour les sédiments datant des années 1950-1970**. La diminution généralisée des contaminations s'est traduite par une amélioration significative du potentiel écotoxicologique. Pour autant, **les contaminations résiduelles dans les décennies les plus récentes sont toujours en mesure d'imposer des potentiels écotoxicologiques non négligeables**.

L'analyse spatialisée des contaminations dans les sédiments de surface des cours d'eau a permis de mettre en évidence **l'existence de hotspots et d'une importante variabilité dans l'emprise des contaminations en aval de ces sources**. Différents facteurs contrôlant cette emprise ont été identifiés. **La morphologie fluviale en association avec la géologie semblent être des facteurs struc-**

**turants.** En effet, les linéaires des cours d'eau peuvent être divisés en trois secteurs.

- Lorsque la source ponctuelle se trouve au niveau **des têtes de bassin**, l'emprise spatiale de la contamination est limitée par l'apport massif de sédiments non contaminés.
- Dans la **zone de transfert sédimentaire**, le transport des sédiments et des contaminants associés est facilité par de fortes pentes. A ce niveau, comme dans les têtes de bassin, les retenues peuvent constituer des zones d'accumulation, empêchant la propagation des contaminants vers l'aval.
- En plaine, la **zone de dépôt sédimentaire** se caractérise par une mobilité sédimentaire limitée par les faibles pentes. A ce niveau, l'altération des versants et substratum non impactés peut également engendrer des apports venant atténuer les pollutions en aval des hotspots situés dans cette zone.

Certaines activités ont particulièrement contribué aux contaminations sédimentaires.

**Pour les contaminants métalliques, les activités minières et l'industries lourdes ont été les principales sources de contaminations** jusque dans les années 1970. A partir des années 1980, la diminution de ces activités polluantes induit une amélioration significative des niveaux de contaminations. dans certains sous-bassins, **les activités de traitements de surface ont également constitué des sources de contaminations importantes** dans les années 1980-1990.

**L'exploitation et l'utilisation de la houille constituent une source majeure en HAP** jusque dans les années 1970 également. Elle a principalement impacté le corridor ligérien

et les affluents drainant les principales houillères. **La pollution par le pétrole et dérivés a également été une source de HAP généralisée à l'ensemble du bassin.** Celle-ci est toujours forte de nos jours.

**La combustion des substances contenant des PCB** constitue l'une des principale source de contamination identifiée dans les différents sous-bassins. Elle s'additionne au déversements de mélanges commerciaux et des apports atmosphériques à plus large échelles.

**Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux caractériser ces sources anciennes et leur influence sur les contaminations actuelles.** Cela passe notamment par des analyses de sédiments archivés à proximité des activités polluantes de l'époque.

Cette étude met ainsi en évidence **une importante imprégnation du bassin par les contaminants métalliques et organiques, conséquente à une longue période d'intenses émissions par les activités polluantes.** Des stocks de contaminants se retrouvent au niveau des sols et des sédiments, dont la remobilisation explique en grande partie les contaminations résiduelles des dernières décennies.

En perspective à ce travail, il s'agirait **d'évaluer l'ampleur de ces stocks et de mieux comprendre les dynamiques de relargage à large échelle** (par l'érosion des versants et des berges). A plus fine échelle, il serait également nécessaire **de mieux caractériser les facteurs de contrôle qui permettent les transferts vers les eaux de ces contaminants stockés dans le réservoir sédimentaire et l'écotoxicité des niveaux sédimentaires anciens** dans l'objectif d'évaluer les risques en cas de remobilisation.



Photographie illustrant les campagnes de carottages réalisées pour le projet MetOrg 3000, il s'agit ici de la station de la Loire Moyenne à Langeais



## Références

- 1 - Grosbois, C., Meybeck, M., Lestel, L., Lefèvre, I., & Moatar, F. (2012). Severe and contrasted polymetallic contamination patterns (1900–2009) in the Loire River sediments (France). *Science of the total environment*, 435, 290-305.
- 2 - Dhivert, E., Grosbois, C., Coynel, A., Lefèvre, I., & Desmet, M. (2015a). Influences of major flood sediment inputs on sedimentary and geochemical signals archived in a reservoir core (Upper Loire Basin, France). *Catena*, 126, 75-85.
- 3 - Dhivert, E., Grosbois, C., Rodrigues, S., & Desmet, M. (2015b). Influence of fluvial environments on sediment archiving processes and temporal pollutant dynamics (Upper Loire River, France). *Science of the total Environment*, 505, 121-136.
- 4 - Bertrand, O., Mondamert, L., Grosbois, C., Dhivert, E., Bourrain, X., Labanowski, J., Desmet, M., 2015. Storage and source of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments downstream of a major coal district in France. *Environmental pollution*, 207, 329-340.
- 5 - Dendievel, A. M., Mourier, B., Coynel, A., Evrard, O., Labadie, P., Ayrault, S., ... & Desmet, M. (2020a). Spatio-temporal assessment of the polychlorinated biphenyl (PCB) sediment contamination in four major French river corridors (1945–2018). *Earth System Science Data*, 12(2), 1153-1170.
- 6 - Müller, G., Dominik, J., Schröder, H. G., & Schneider, J. (1979). Zur Chronologie anthropogener Schwermetalle in den Sedimenten des Attersees (Österreich). *Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen*, 31(3), 193-206.
- 7 - Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P., Sorbe, J. C., Burgeot, T., & Bellocq, J. (1998). Concentrations of PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) in various marine organisms in relation to those in sediments and to trophic level. *Marine Pollution Bulletin*, 36(12), 951-960.
- 8 - Piva, F., Ciaprini, F., Onorati, F., Benedetti, M., Fattorini, D., Ausili, A., & Regoli, F. (2011). Assessing sediment hazard through a weight of evidence approach with bioindicator organisms: a practical model to elaborate data from sediment chemistry, bioavailability, biomarkers and ecotoxicological bioassays. *Chemosphere*, 83(4), 475-485.
- 9 - de Deckere, E., De Cooman, W., Leloup, V., Meire, P., Schmitt, C., & Peter, C. (2011). Development of sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Journal of soils and sediments*, 11(3), 504-517.





Ce document rapporte les principaux enseignements de l'étude concernant les évolutions spatiales et temporelles des contaminants métalliques et organiques enregistrées dans les sédiments du bassin Loire-Bretagne (projet MetOrg 3000). Ce projet - financé par l'Agence de l'eau - a été réalisé sur la période 2018-2022 par un

consortium regroupant le bureau d'études **Anthroposed** (coopérative Coopétic-recherche), le **laboratoire GéoHydrosystèmes Continentaux** (EA 6293, Université de Tours) et le **laboratoire IC2MP** (UMR CNRS 7285, Université de Poitiers). Le rapport technique complet est disponible au téléchargement : XXXXX.

## Auteurs et contacts

- **Elie Dhivert** - Bureau d'études Anthroposed (coopérative Coopétic-recherche) - [www.anthroposed.com](http://www.anthroposed.com) - [elie.dhivert@gmail.com](mailto:elie.dhivert@gmail.com)
- **Cécile Grosbois** - Laboratoire GéoHydrosystèmes Continentaux (EA 6293, Université de Tours) - [www.geosciences.univ-tours.fr](http://www.geosciences.univ-tours.fr) - [cecile.grosbois@univ-tours.fr](mailto:cecile.grosbois@univ-tours.fr)
- **Jérôme Labanowski et Leslie Mondamert** - Laboratoire IC2MP (UMR CNRS 7285, Université de Poitiers) – [www.ic2mp.labo.univ-poitiers.fr](http://www.ic2mp.labo.univ-poitiers.fr) - [jerome.labanowski@univ-poitiers.fr](mailto:jerome.labanowski@univ-poitiers.fr) - [leslie.mondamert@univ-poitiers.fr](mailto:leslie.mondamert@univ-poitiers.fr)

## Crédits

Tous les schémas et photographies sont réalisés par les auteurs sauf :

p. 6 - carottage UWITEC - Xavier Bourrain

p. 11 - schéma de la morphologie fluviale modifié d'après Trista L. Thorberry-Ehrlich, Colorado State University.

p. 14 - Puit Couriot - Musée de la Mine de St Etienne

