

PiREN
Seine



Les effets de la crue de juin 2016 sur la qualité de l'eau du bassin de la Seine

Les effets de la crue de juin 2016 sur la qualité de l'eau du bassin de la Seine

Ouvrage collectif

Sous la direction de Nicolas Flipo, Jean-Marie Mouchel et Cédric Fisson

Auteurs :

Nicolas Flipo^[1], Jean-Marie Mouchel^[2], Cédric Fisson^[3], Shuaitao Wang^[1], Marion Le Gall^[4], Sophie Ayrault^[4], Pierre Labadie^[5], Johnny Gasperi^[7], Sophie Guillon^[1], Hélène Budzinski^[5], Olivier Evrard^[4], Thomas Romary^[1], Emilie Chautru^[1], Déborah Abhervé^[8], Gaëlle Chevillotte^[8], Jean-Baptiste Narcy^[8], Aline Cattan^[6], Michel Meybeck^[2].



Sommaire

CHAPITRE 1 : Description de l'évènement**10**

- 1. De fortes précipitations 12
- 2. Des débits exceptionnels 14
- 3. L'évènement dans l'estuaire de la Seine 17

CHAPITRE 2 : Bilan des données**22**

- 1. Une mutualisation exceptionnelle des données 24
- 2. La sélection des variables d'intérêt 25
- 3. La disponibilité des mesures aux stations 25
 - Les variables physico-chimiques 26
 - Les éléments majeurs 26
 - Les métaux dissous 26
 - Les contaminants organiques persistants 26
 - Les produits pesticides 26
 - Les produits pharmaceutiques 26
 - La contamination fécale 26
- 4. L'analyse des laisses de crue 26
- 5. La méthodologie et le traitement des données de la colonne d'eau 28

CHAPITRE 3 : Résultats sur la qualité de l'eau**30**

- 1. Les variables physico-chimiques 32
- 2. Les éléments majeurs 39
- 3. Les métaux dissous 39
- 4. Les contaminants organiques persistants 46
- 5. Les produits pesticides 52
- 6. Les produits pharmaceutiques 54
- 7. La contamination fécale 56

CONCLUSIONS GÉNÉRALES 62**Références 64****Glossaire 66****Sigles 69**



Introduction

La Seine francilienne a connu en 2016 une crue significative, atteignant plus de six mètres à Paris le 3 juin, et dont les répercussions ont été observées jusqu'en estuaire. Sur le Loing, l'Yerres, l'Essonne, l'Yonne aval, l'Orge ou encore le Grand Morin, la saturation en eau des sols et une pluviométrie très élevée ont occasionné des inondations exceptionnelles. De plus, cet évènement est particulièrement remarquable si l'on considère la période à laquelle il s'est produit, les crues de la Seine ayant majoritairement lieu en hiver.

L'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) et la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie (DRIEE) ont été sollicitées par le préfet coordonnateur de bassin, mandaté par la ministre chargée de l'Environnement, pour éclairer les instances de bassin sur l'impact de la crue de mai/juin 2016 sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques.

Une démarche collégiale a ainsi été initiée au mois de juillet 2016 avec les partenaires du bassin concernés par la crue, pour établir un retour d'expérience sur celle-ci. Près de 25 structures productrices de données, collectivités, syndicats, laboratoires de recherche, producteurs d'eau potable ou gestionnaires d'assainissement, ont contribué aux travaux de ce groupe. Il s'agit donc d'un travail collectif, mené sur deux ans, dans l'intérêt du bassin.

Cette démarche s'est avérée être une opportunité pour la mise en commun des données de surveillance du milieu produites pendant la crue sur les secteurs impactés (eau et laisses de crue), condition nécessaire à l'établissement

d'un bilan de l'effet de la crue sur la qualité des eaux, aucun jeu de données seul n'étant suffisant pour le permettre.

Le PIREN-Seine et le GIP Seine-Aval ont pris en charge le bilan et l'exploitation des données physico-chimiques issus de l'ensemble des analyses disponibles sur l'eau et des analyses de sédiments provenant de laisses de crue collectées dès la décrue sur des sites répartis sur les zones impactées.

Ce fascicule présente les principaux résultats marquants de ce travail d'analyse de données, soit par leur généralité, soit par leur caractère exceptionnel. Il fait le point sur l'évènement hydrologique de mai-juin 2016, puis l'ensemble des données disponibles y sont décrites.

Enfin, il réunit les observations qui ont été recueillies auprès des gestionnaires riverains, éclairant les sources de contamination et les préoccupations des habitants confrontés à l'évènement.

Des sinistrés préoccupés par la qualité de l'eau et les impacts sanitaires

« La personne voulait savoir si elle pouvait boire des bouteilles qui avaient flotté dans l'eau. Bonne question... »

« Les gens, déjà bien angoissés par l'inondation de leur maison, se sont retrouvés en plus encerclés par de fortes odeurs ou des nappes d'hydrocarbures... certains ont été beaucoup plus touchés par cela car c'est resté après. »

« C'était surprenant, quand trois jours après la baisse des eaux, ils racontaient comment, avec de l'eau jusqu'à la poitrine, ils avaient traversé des nappes d'hydrocarbures et que cela sentait très fort – ils ne parlaient pas trop de leur maison et de tout le mobilier qui était là, sorti dans la rue, à jeter. »

« Il y avait des gens très énervés, qui ont fait des prélèvements et saisi l'ARS. »

La manifestation la plus spectaculaire et la plus tangible d'une crue telle que celle de juin 2016 est bien sûr de nature hydrologique : ce qui est perçu, c'est d'abord que l'eau déborde et inonde. À tel point que l'on pouvait craindre qu'il soit difficile, voire même délicat, de recueillir des retours d'expériences sur cette crue quant à ses effets observés sur la qualité de l'eau : cette dimension n'allait-elle pas être totalement occultée par l'ampleur du phénomène hydrologique, et rendue franchement dérisoire eu égard aux dommages subis par les sinistrés ? Il ressort pourtant que les effets sur la qualité de l'eau d'une telle crue ne sont pas nécessairement secondaires, y compris aux yeux des sinistrés. C'est en tous cas ce que l'on observe lorsque ces effets se manifestent concrètement et que des risques sanitaires peuvent alors être suspectés. Ainsi, la présence d'hydrocarbures dans les jardins, les pâturages, les cultures, les inondations de caves ou de toilettes par les eaux usées, ou encore les proliférations de moustiques, suscitent de réelles inquiétudes qui parfois même prennent le pas sur les dommages directement causés par l'inondation.

Cette inquiétude débouche fréquemment sur diverses formes d'interpellations des pouvoirs publics. Les cellules de crise reçoivent de nombreux appels de la part d'administrés s'interrogeant sur d'éventuels impacts sanitaires sur les biens de consommation, leurs jardins, leurs animaux en pâture, certains réagissant avec une certaine véhémence. Face à ces interpellations, si les institutions familières de ces enjeux sanitaires, telles que l'ARS ou le Cedre, savent réagir, les syndicats de rivières ou d'assainissement, au contact du terrain, s'avouent généralement moins préparés et souvent surpris d'une telle prégnance de ce type de préoccupations chez les sinistrés.





Cet ouvrage regroupe les résultats de plusieurs études :

- > Une étude confiée au Centre de Géosciences, laboratoire commun MINES ParisTech/ARMINES (Etude de l'Evolution de la qualité des eaux de surface lors de la crue de juin 2016) consacrée aux données acquises dans l'eau des rivières.
- > Deux études sur la qualité des laisses de crue. L'une confiée au laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LCSE - CEA/CNRS/UVSQ) consacrée aux laisses de crue des séries S1 et S3 (14 échantillons), pour les analyses de radionucléides, de métaux, de HAP, de PCB, d'alkylphénols et de phtalates. L'autre confiée à l'UMR Métis (Sorbonne Université/CNRS/EPHE) portant sur la qualité des laisses de crue de la série S2 (21 échantillons) pour toutes les analyses réalisées, et sur les analyses de PBDE, de composés fluorés et des paramètres complémentaires (carbone, azote, granulométrie...) pour les échantillons des séries S1 et S3.
- > Une étude confiée au GIP Seine-Aval (Impact de la crue de juin 2016 sur l'estuaire de Seine, 2017), portant sur les conséquences de la crue sur l'estuaire de Seine, tant sur les aspects hydro-morpho-sédimentaires que sur la qualité de l'eau et la biologie.
- > Enfin, au cours des différentes étapes de cette vaste étude à l'échelle du bassin, il est apparu nécessaire de demander aux acteurs locaux des retours d'expérience concernant cet évènement, et leurs observations personnelles de l'impact de la crue sur la qualité de l'eau et des milieux. La mission de recueillir, traiter et rapporter le regard de ces acteurs de terrain a été confiée au bureau d'étude ASca, et les résultats de cette enquête sont inclus dans ce fascicule. Pour faciliter les entretiens et garantir des témoignages reflétant au mieux l'expérience des acteurs, le choix a été fait d'anonymiser les citations. Ces retours, ainsi que les enseignements que les acteurs tirent de cette crue, sont présentés sous forme d'encarts tout au long de l'ouvrage, afin de mettre en regard l'analyse scientifique d'un phénomène et les observations et le vécu des opérationnels présents sur le terrain, au contact direct des habitants.

Au-delà de la connaissance tirée de cet exercice unique en son genre, les synergies entre gestionnaires de bassin et les équipes scientifiques ont également permis de développer des méthodologies de suivi et d'analyse mobilisables lors d'évènements extrêmes. L'appropriation rapide de ces enseignements par l'ensemble des acteurs a d'ailleurs pu être mise à profit lors de la crue de janvier 2018, pour laquelle les analyses sont actuellement en cours.

Structures ayant contribué à ce travail collectif

- > Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN)
- > Agence française pour la biodiversité (AFB)
- > AQUi'Brie
- > ASca
- > Cellule de transfert des connaissances du PIREN-Seine (Association ARCEAU-IdF)
- > Conseil départemental de l'Yonne (CD89)
- > Conseil départemental du Val-de-Marne (CD94)
- > Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE Île-de-France)
- > Eau de Paris
- > GIP Seine-Aval
- > Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (Cedre)
- > Mairie de Paris
- > Syndicat des eaux d'Île-de-France (SEDIF)
- > Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (SIAAP)
- > Suez - Agences d'Île-de-France
- > Syndicat de l'Orge Aval (SIVOA)
- > Syndicat Intercommunal d'Aménagement, de Réseaux et de Cours d'Eau (SIARCE)
- > Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement Hydraulique de la Vallée de l'Yvette (SIAHVV)
- > Syndicat mixte du bassin supérieur de l'Orge (SIBSO)
- > Syndicat mixte pour l'assainissement et la gestion des eaux du bassin versant de l'Yerres (SyAGE)
- > Union des fédérations de pêche du bassin Seine-Normandie (UFBSN)
- > PIREN-Seine :
 - UMR 7619 METIS, CNRS/Sorbonne Université/EPHE
 - Centre de Géosciences, MINES ParisTech, PSL Research University
 - LSCE, CNRS/CEA/UVSQ
 - LEESU, UPEC/ENPC
 - UMR 5808 EPOC, CNRS/Université de Bordeaux/EPHE
 - IRSTEA







CHAPITRE 1

Description de l'évènement



1. De fortes précipitations

Le caractère exceptionnel de la crue de mai-juin 2016 est avant tout une conséquence des fortes précipitations qui se sont abattues sur le bassin de la Seine pendant le mois de mai. Les ré-analyses SAFRAN (Quintana-Seguí *et al.* 2009), fournies par Météo France depuis 1970, permettent de reconstituer l'épisode de crue de mai-juin 2016. Plus précisément, cette crue a été provoquée par une pluviométrie exceptionnelle sur le bassin-versant du Loing. L'épisode pluvieux a été marqué par deux événements successifs : le premier, les 22 et 23 mai, a fourni 50 mm en amont du Loing, et le second, le plus important, du 29 mai au 2 juin, a été caractérisé par un cumul de précipitations

sur le Loing de 125 mm (Figures 1, 2 et 3). Toujours sur le Loing et la Juine, le maximum local de pluie journalière a atteint 65 mm le 30 mai 2016. De très fortes précipitations journalières ont aussi touché ce jour-là les bassins de l'Yerres et des Petit et Grand Morin (Figure 2). Au final, pour l'amont du Loing, le cumul des précipitations a atteint 300 mm en 2 mois, sur la période mai-juin 2016 (Figure 1). En se focalisant sur une période plus large, du 29 mai au 12 juin 2016, il apparaît très clairement que les bassins ayant subi les précipitations les plus intenses sont les bassins du Loing et de l'Yonne, essentiellement dans sa partie la plus aval (Figure 3). En revanche, l'Aube, la Marne amont, ainsi que la Seine en amont de sa confluence avec l'Yonne ont été épargnées par cet évènement.

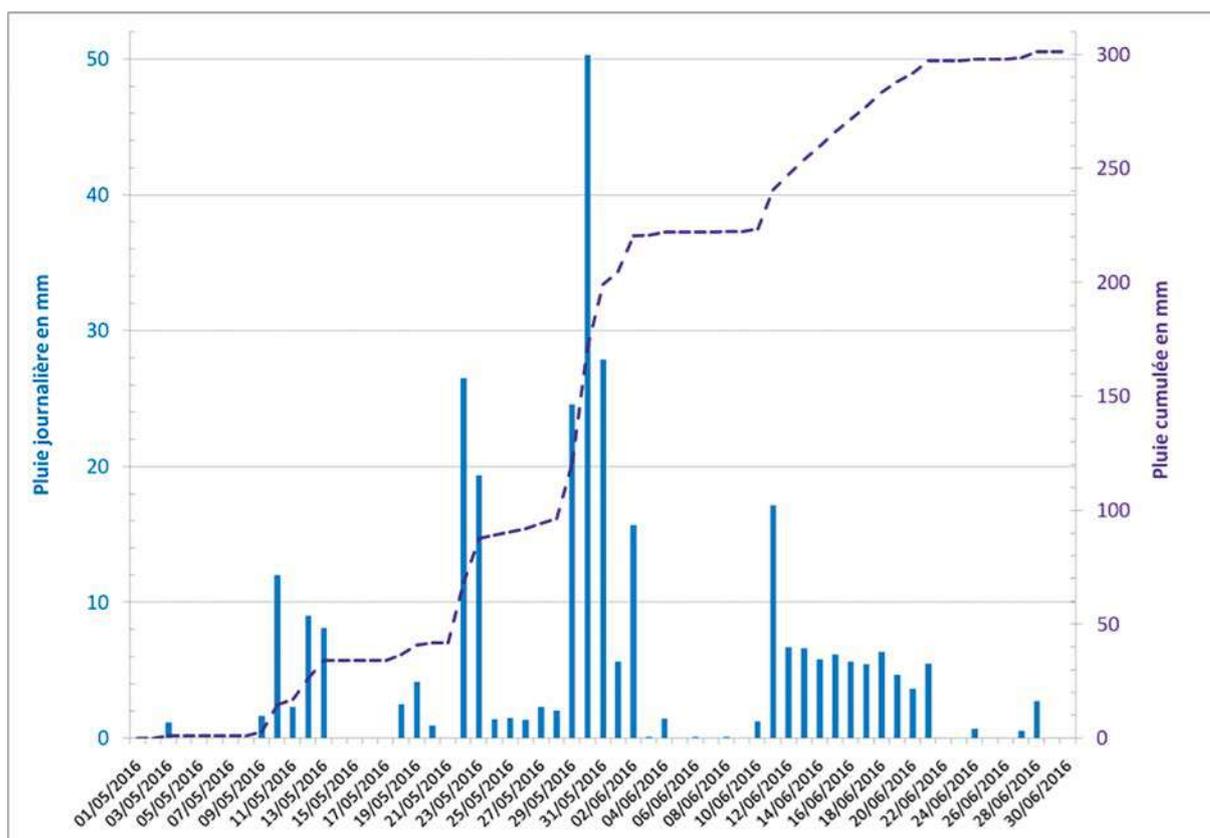


Figure 1 : Précipitations en amont du Loing du 1^{er} mai au 30 juin 2016. (D'après SAFRAN)

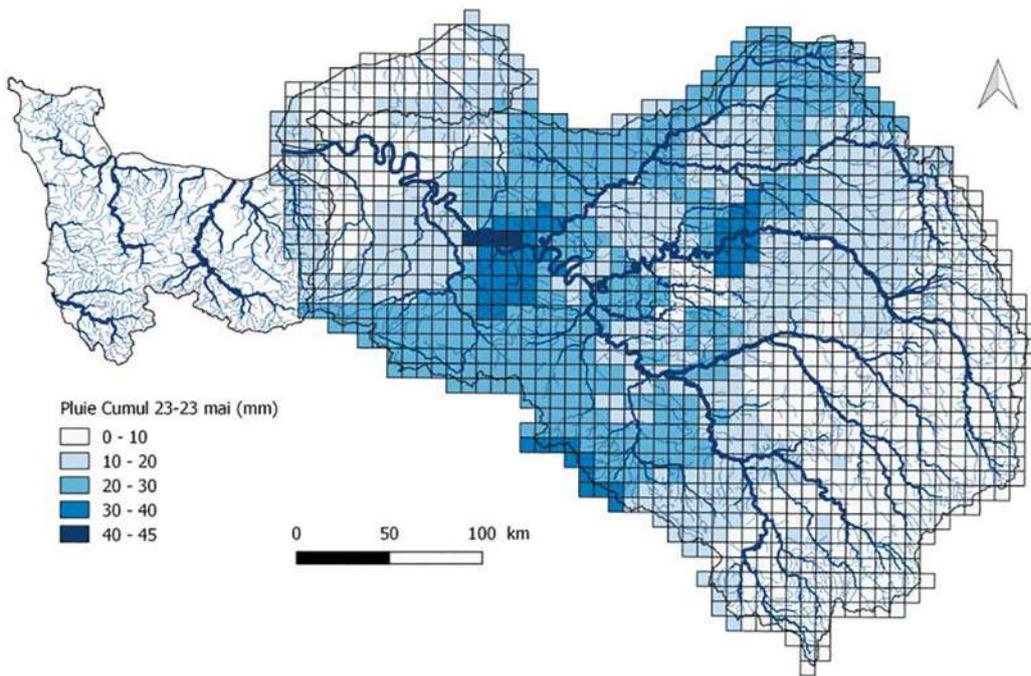


Figure 2 : Champ de pluie cumulée des 22 et 23 mai 2016. (D'après SAFRAN)

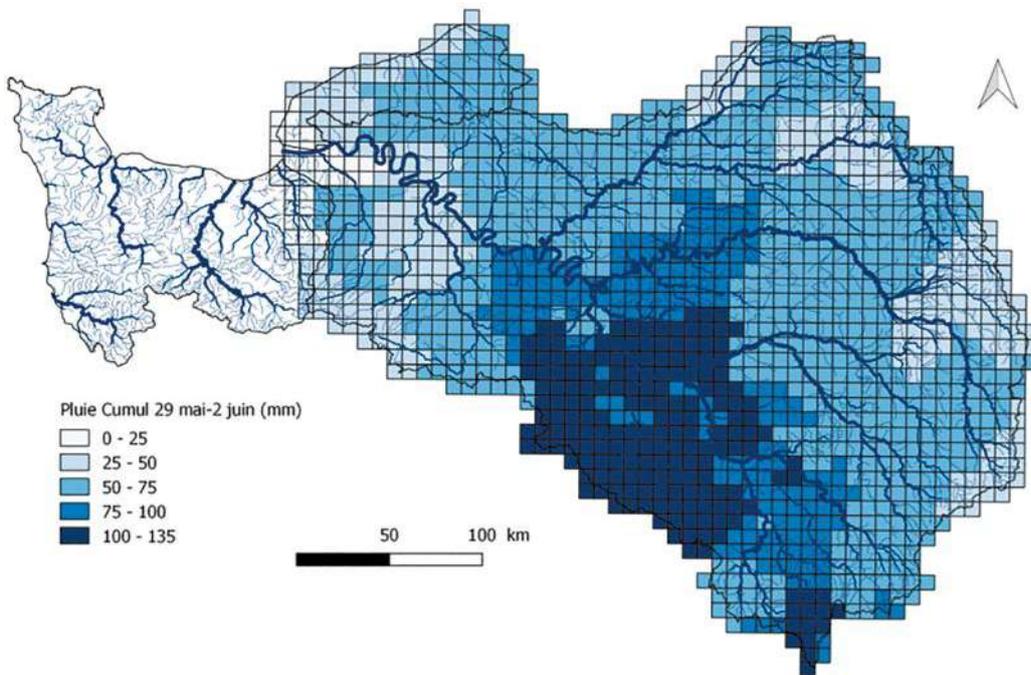


Figure 3 : Champ de pluie cumulée du 29 mai au 2 juin 2016. (D'après SAFRAN)

2. Des débits exceptionnels

Les données disponibles sur la banque Hydro permettent de décrire la propagation de l'évènement dans le réseau hydrographique (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>). La propagation de l'évènement dans le réseau hydrographique a ainsi été étudiée en se basant sur les débits des principaux affluents de la Seine (Figure 4) : Yonne, Loing, Essonne, Orge, Yerres, Marne, et Oise. Pour la Seine, les stations de Bazoches (dans la Bassée), Saint Fargeau (aval des confluences avec l'Yonne et le Loing), Austerlitz (aval des confluences avec l'Essonne, l'Orge, l'Yerres et la Marne), et Vernon (aval de la confluence Oise et amont de Poses) ont été considérées. Afin de bénéficier des dernières estimations de débit, ces dernières ont été téléchargées depuis la banque Hydro début mars 2017.

Les très fortes pluies du 30 mai 2016 ont généré, quatre jours plus tard, le 4 juin, un maximum de débit de $1750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à la station de Paris Austerlitz. Il aura ainsi fallu deux jours supplémentaires pour que le débit maximal du Loing, observé le 2 juin 2016 à la station d'Episy, se propage, combiné aux forts débits de l'Yonne, jusqu'à la capitale. Le maximum de débit en Seine à la station de Saint Fargeau, $1300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, très proche de la confluence avec le Loing, a quant à lui été observé le 3 juin. De manière très exceptionnelle, le Loing a été, après l'Yonne,

le plus gros contributeur au pic de débit (Figure 5). Cette contribution a atteint $542 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Finalement, en Seine à la station aval de Vernon, le pic de débit a atteint $2010 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 5 juin. Les plus grands contributeurs au débit en Seine ont été, par ordre d'importance, l'Yonne, le Loing, la Marne, l'Oise, et l'Yerres. Tous ces affluents ont contribué à plus de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ chacun. Cependant, les intensités de réponse de chacun de ces bassins sont très hétérogènes (Figure 6 et Tableau 1). En effet, le bassin ayant répondu le plus intensément à l'évènement de pluie est le Loing, qui a atteint un débit spécifique de $139 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$. L'Yerres présente aussi une réponse extrêmement intense à l'évènement pluvieux puisque son débit spécifique a atteint $82.5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$. Ces deux bassins ont ainsi été les plus touchés par cet évènement, ce qui est cohérent avec la distribution des champs de pluie (Figures 2 et 3). L'Yonne et l'Orge ont aussi réagi fortement à l'évènement pluvieux, présentant des débits spécifiques atteignant respectivement 57 et $43 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$. En revanche, les deux grands affluents que sont la Marne et l'Oise, ainsi que la Seine en amont de sa confluence avec l'Yonne, n'ont pas autant réagi que ces quatre bassins de tailles plus modestes. Il convient aussi de noter que le bassin de l'Essonne, de par la présence de nombreuses zones humides, a pu amortir les fortes pluies en favorisant une infiltration directe vers les aquifères d'accompagnement de ses rivières. En Seine, le plus fort débit spécifique a été observé à Saint Fargeau, atteignant quasiment $50 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$.

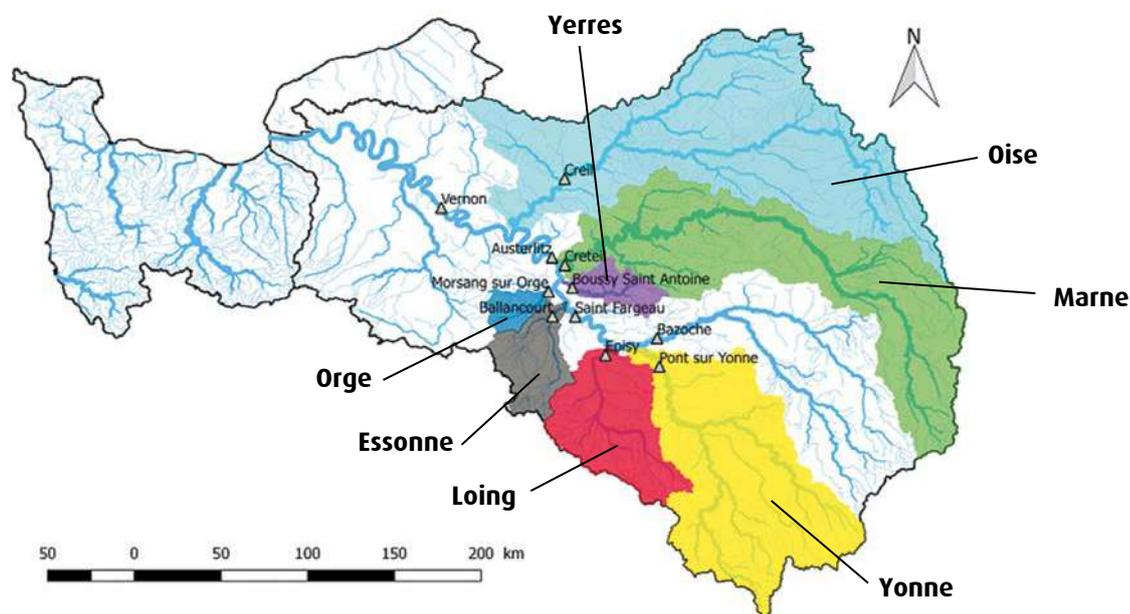


Figure 4 : Localisation des stations de débit étudiées et découpage du bassin en sous-bassins d'intérêt.

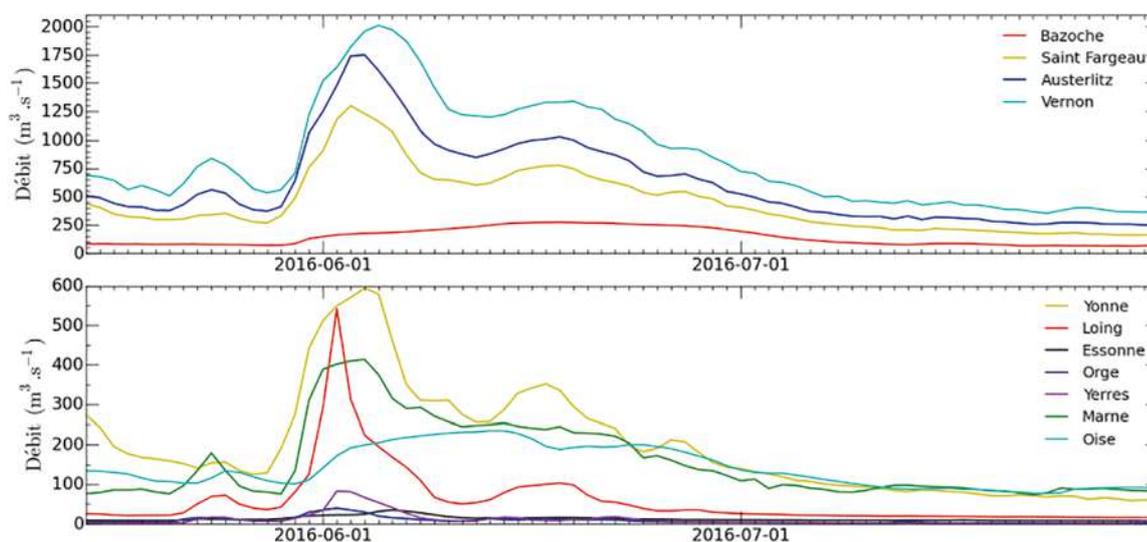


Figure 5 : Hydrogrammes de crue de la Seine (haut) et de ses principaux affluents (bas) du 15 mai au 31 juillet 2016.

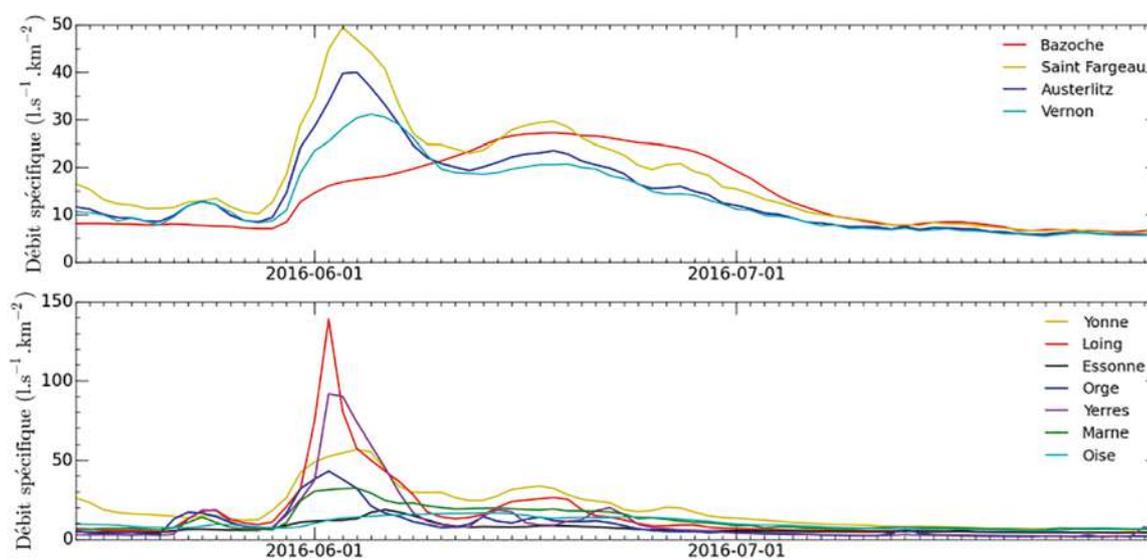


Figure 6 : Débits spécifiques de la Seine (haut) et de ses affluents (bas) du 15 mai au 30 juin 2016.

Pour finir, les débits moyens ont été calculés sur la période du 31 mai au 7 juin inclus (Tableau 1). La contribution respective de chaque bassin au débit moyen à Austerlitz sur cette période a été synthétisée (Figure 7b). L'Yonne est le plus gros contributeur (36%), suivi par la Marne (26%), puis le Loing (18%) et la Seine amont (12%). Ces

valeurs moyennes sont très proches de la répartition des pics de crue, excepté pour le Loing. En effet, en ignorant les processus de déformation des pics de débit lors de leur propagation dans le réseau hydrographique, la contribution du Loing au pic de débit est équivalente à celle de l'Yonne : 27 et 30% respectivement (Figure 7a).

Cours d'eau	Station	Pic de crue	Date du pic	Q spécifique pointe	Q moyen 31 mai - 7 juin	Aire du bassin à la station	Aire du bassin	Q spécifique moyen	Q moyen à l'exutoire du bassin 1
		m ³ .s ⁻¹		L.s ⁻¹ .km ⁻²	m ³ .s ⁻¹	km ²	km ²	L.s ⁻¹ .km ⁻²	m ³ .s ⁻¹
Essonne	Ballancourt	35	06/06/2016	19	26	1870	1918	14	27
Loing	Episy	542	02/06/2016	139	235	3900	4177	60	251
Marne	Créteil	414	04/06/2016	32	355	12816	12830	28	356
Oise	Creil	235	14/06/2016	17	186	14200	16947	13	222
Orge	Morsang	39,7	02/06/2016	43	25	922	952	27	26
Yerres	Boussy	82,5	02/06/2016	92	47	901	1019	52	53
Yonne	Pont-sur-Yonne	594	04/06/2016	57	485	10462	10820	46	502
Seine	Bazoche	275	18/06/2016	27	171	10100	78650	17	171
Seine	Saint-Fargeau	1300	03/06/2016	49	1021	26290	78650	37	1021
Seine	Austerlitz	1750	04/06/2016	40	1410	43800	78650	32	1410
Seine	Vernon	2010	05/06/2016	31	17400	64604	78650	27	1744

Tableau 1 : Synthèse hydrologique de la crue aux différentes stations considérées. Les estimations de débit aux exutoires des bassins sont calculées grâce aux rapports des surfaces de bassins versants contributifs.

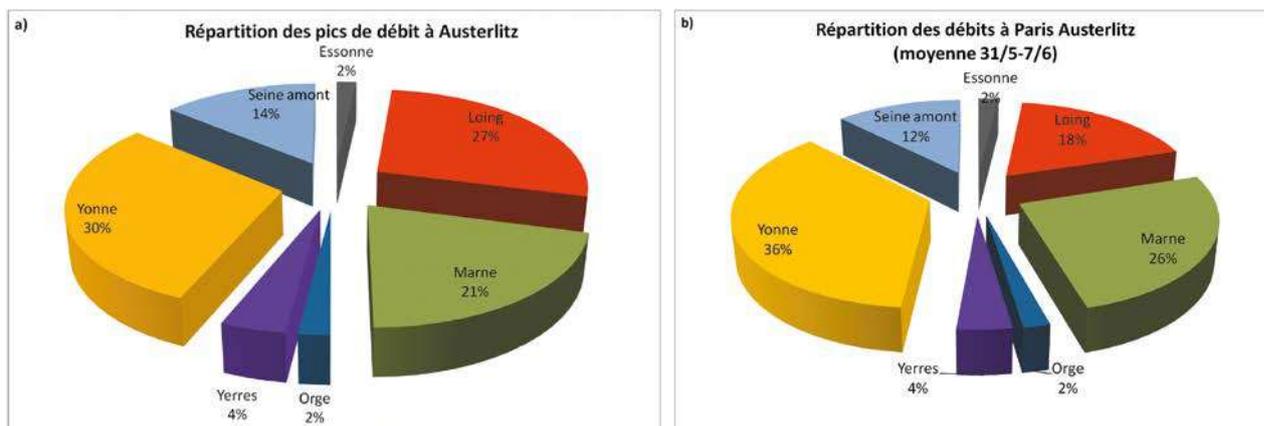


Figure 7 : Décomposition du débit moyen à Austerlitz par bassin versant contributeur. a) contribution des pics de crue, b) contribution moyenne du 31 mai au 7 juin 2016.

3. L'évènement dans l'estuaire de la Seine

L'estuaire de la Seine correspond à la portion aval de la Seine, et plus précisément à la zone soumise à la marée. Il couvre 160 km entre le barrage de Poses en amont et la partie orientale de la baie de Seine à l'aval. La crue de la Seine de juin 2016 est intervenue sur un bassin-versant amont saturé par des mois d'avril et mai excédentaires en précipitations. Le cumul mensuel a été supérieur à la normale sur l'ensemble du bassin versant amont de la Seine, avec un rapport à la normale de 150% à 180% en amont des lacs réservoirs et supérieur à 200%, voire 300%, sur les bassins intermédiaires.

Pour l'estuaire de la Seine (station météorologique de Rouen-Boos), les six premiers mois de 2016 ont été excédentaires en précipitations, avec un cumul de 519 mm pour une normale à 380 mm. Les mois de mai et juin ont été particulièrement pluvieux, avec des cumuls

de précipitations parmi les plus élevés des 30 dernières années (Figure 8).

La montée des débits à Poses a débuté le 29 mai (562 m³/s) pour atteindre un maximum le 05 juin (2010 m³/s) et décroître ensuite. Les débits ont été supérieurs à 1000 m³/s durant 25 jours (du 31 mai au 24 juin). Concernant le facteur marée, le revif a débuté le 30 mai (coefficient de marée de 53) et le déchet a débuté le 06 juin (coefficient de marée de 103). Le pic de débit et les plus fortes marées dans l'estuaire ont donc été concomitants, amplifiant les niveaux d'eau atteints. Concernant les conditions météorologiques, les pressions atmosphériques et les conditions de vent n'ont pas présenté de configurations favorables à une surcote (faible pression atmosphérique, fort vent d'ouest) ni à une décote (pression atmosphérique élevée, fort vent d'est) pendant le pic de crue. Les hauteurs d'eau maximales ont été observées les 5 et 6 juin, avec des débordements sur les quais à Rouen lors des marées hautes du 4 au 8 juin (Figure 9).

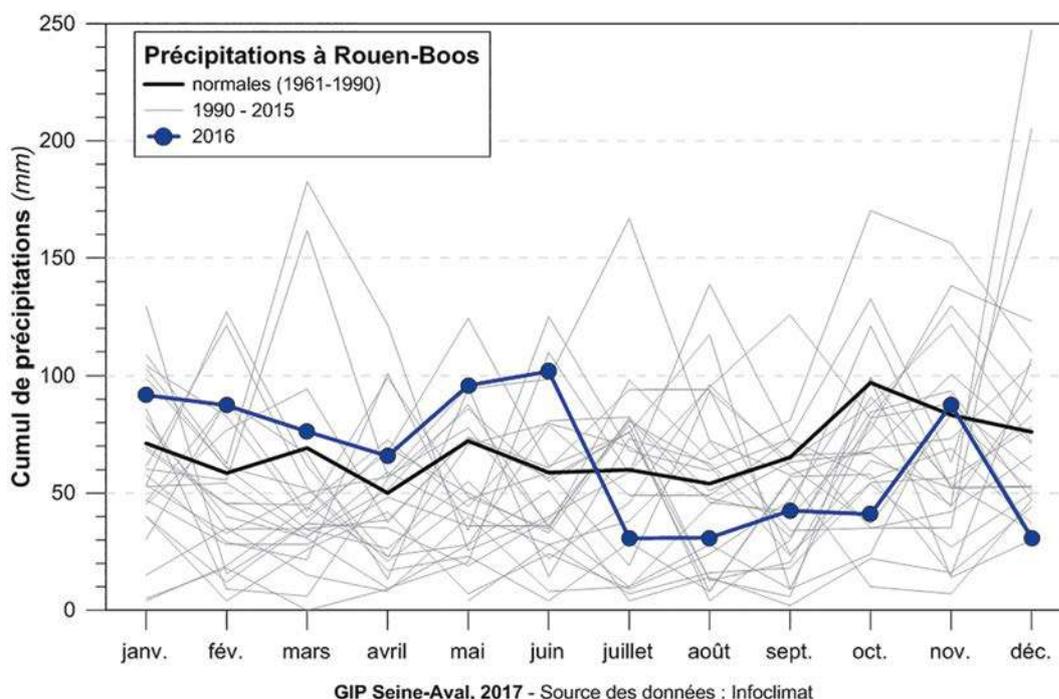


Figure 8 : Cumul de précipitations à Rouen-Boos.

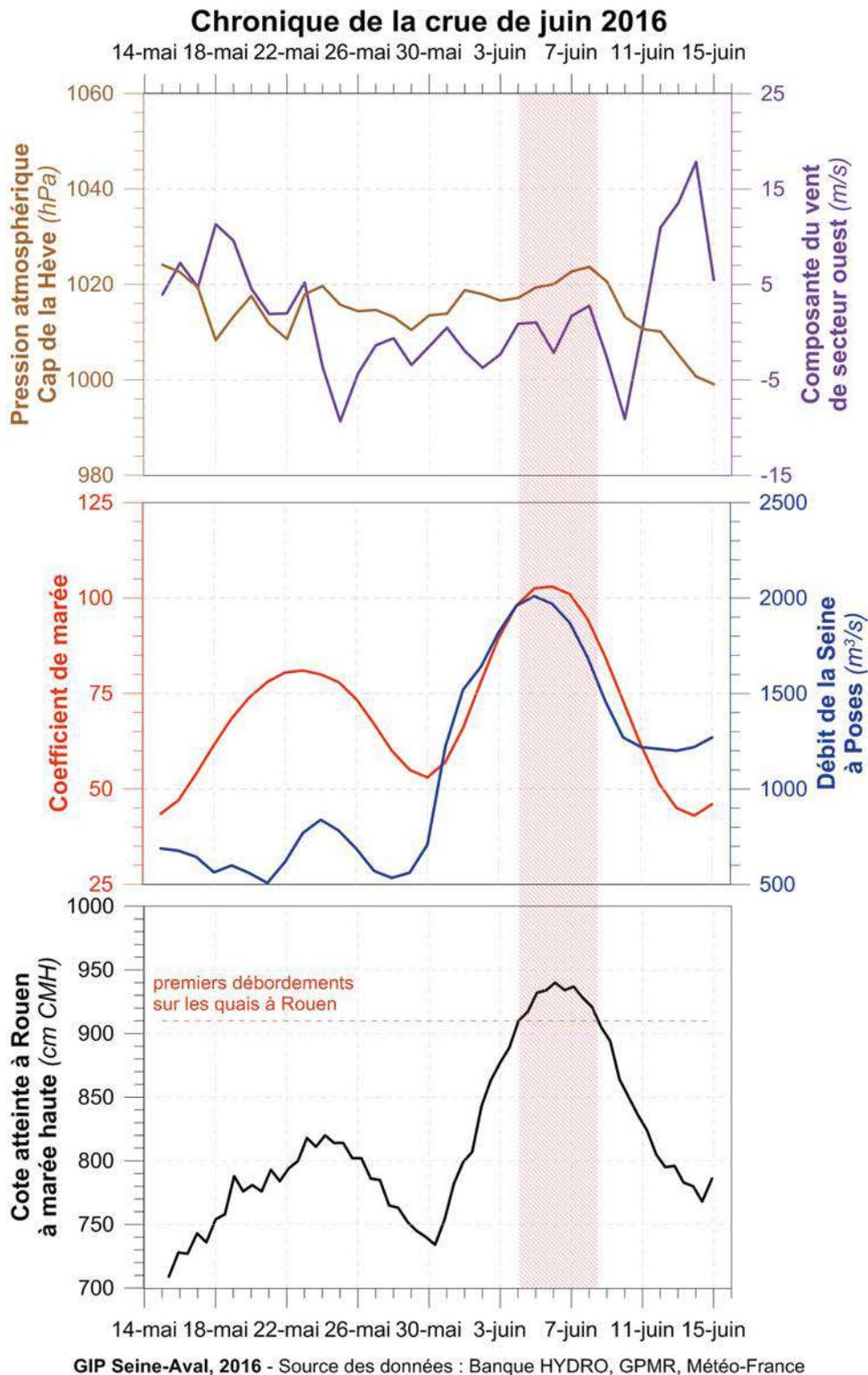


Figure 9 : Chronique de la crue de juin 2016 dans l'estuaire de la Seine.

L'évènement de juin 2016 peut être assimilé à un évènement de type fluvial, avec des conditions déclenchantes liées au fort débit de la Seine, renforcé par des coefficients de marée élevés, mais sans condition météorologique défavorable. Les niveaux maximum mesurés dépassent 10 m CMH (Côte Marine du Havre, référence située à 4,73 m sous le niveau de la mer) en amont de Rouen (10.67 m à Elbeuf), atteignent 9.40 m CMH à Rouen et passent sous les 9 m CMH à partir du Mesnil-sous-Jumièges (pk 286) (Figure 10).

Une enveloppe des zones inondées a été réalisée pour la section Poses-Oissel. Elle a été réalisée à partir de la

ligne d'eau maximale observée et de la topographie du lit majeur. Cette méthodologie est susceptible d'aboutir ponctuellement à une enveloppe des zones inondées supérieure à celle observée, en particulier sur les secteurs pour lesquels un remblai sépare la zone concernée des lits mineurs de l'Eure et de la Seine : les volumes débordant ne sont pas susceptibles alors de mobiliser l'ensemble de la zone située sous la cote maximale atteinte. Une visite détaillée de terrain, l'analyse du survol mené par le SDIS de l'Eure, et les relevés de laisses de crue menés ont permis cependant de valider la cartographie produite : cette possible surévaluation de l'enveloppe des zones inondées reste limitée (Figure 11 ; DREAL, 2016).

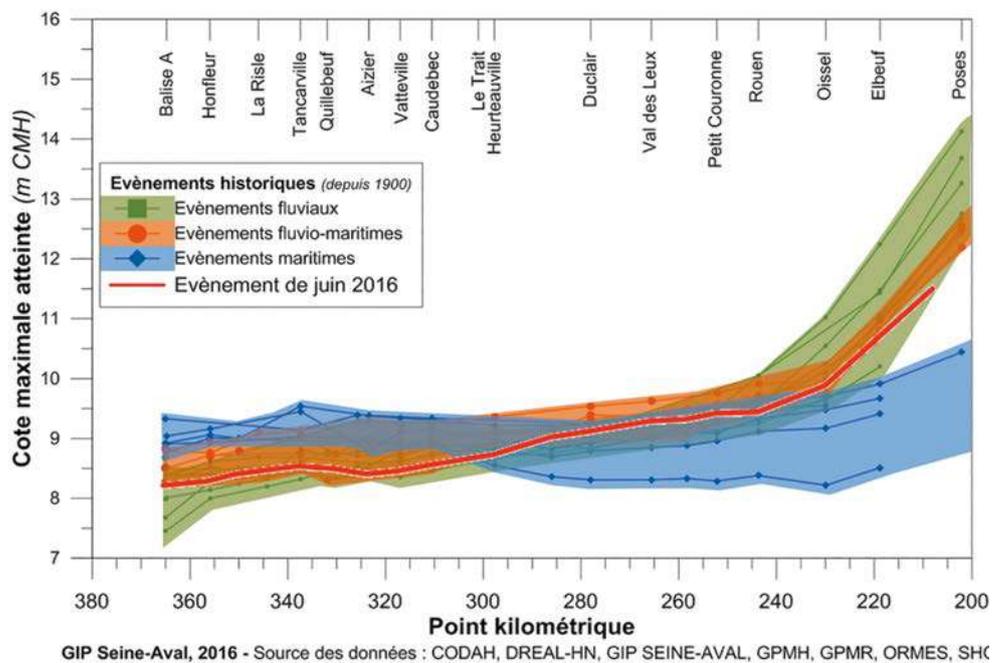


Figure 10 : Niveaux d'eau atteints en estuaire de Seine pour les principaux évènements de hautes eaux des XX^e et XXI^e siècles.

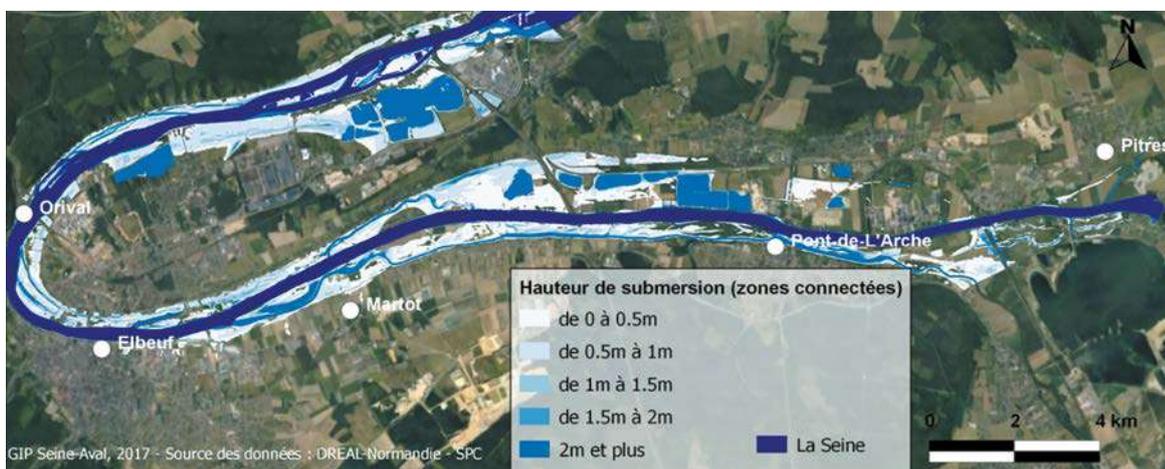


Figure 11 : Hauteur de submersion du secteur « Poses - Oissel » lors de l'évènement de juin 2016.

Une gestion de crise bien anticipée pour l'eau potable lors de la crue de 2016 ?

« L'eau de la crue est entrée dans les ouvrages par infiltration. On ne pouvait plus rien faire, on a tout mis à l'arrêt. »

« Il n'y a pas eu d'impact en termes qualitatifs ni de rupture d'alimentation des usagers, malgré l'arrêt d'un forage et la baisse de la capacité de production. L'interconnexion a permis de faire face au pic de consommation qui a suivi lors de la décrue. »

La crue de 2016 a suscité des situations complexes sur certains territoires en termes de production et/ou de distribution d'eau potable. Par mesure de précaution, le SIARCE a ainsi été amené à distribuer des bouteilles d'eau aux habitants de quelques communes pendant trois à quatre jours afin de tenir compte des délais nécessaires à l'analyse de certains paramètres de qualité de l'eau qui pouvaient être affectés par la crue. Plus touchée, la ville de Coulommiers a dû distribuer de l'eau en bouteilles pendant deux semaines suite à l'ennoiement de ses captages, rendant l'eau impropre à la consommation. L'absence d'interconnexion effective permettant de sécuriser l'approvisionnement en eau potable, même si les travaux étaient prévus pour les mois suivants, a rendu ici la situation particulièrement délicate. La communauté d'agglomération de Montargis, sur le Loing, a quant à elle pu gérer une crue exceptionnelle sur le plan de l'AEP grâce à l'interconnexion mise en service quelques mois avant la crue entre ses deux champs captants. Celle-ci a permis d'alimenter en eau potable les habitants tout en préservant les installations de traitement des eaux boueuses de la crue afin d'être en capacité de redémarrer les installations de production le plus rapidement possible après la crue pour gérer le pic de consommation post-crue, phénomène habituel de surconsommation d'eau dû au nettoyage des rues et des habitations après la crue.

Le retour d'expérience constitué par la DRIEE¹ en tant qu'autorité régaliennne permet de mettre en perspective ces quelques exemples de situations difficiles en termes de production d'eau, mais néanmoins bien prises en charge par les gestionnaires pour assurer la continuité de la distribution d'eau auprès des usagers. La situation est globalement restée sous contrôle, avec des capacités générales de production et de distribution supérieures à la demande. Maintenir la production et la distribution d'eau potable en cas de crue constitue une préoccupation majeure des gestionnaires de réseaux. De ce fait, les situations de crise sont anticipées pour assurer une réaction efficace en cas de survenue d'un évènement exceptionnel. Les plans de gestion de crise élaborés préventivement et mis en œuvre au cours de la crue de 2016 n'ont ainsi pas révélé de fragilité importante.

Cette gestion perçue comme globalement maîtrisée de l'eau potable est à mettre en regard avec les caractéristiques de la crue de 2016 : une crue significative mais dont la durée a été limitée à quelques jours et qui n'a touché qu'une partie du territoire (pas de crue de la Marne et de l'Oise notamment). Pour absorber une crue plus importante ou plus longue, des points d'amélioration sont identifiés : une meilleure connaissance des possibilités d'approvisionnement des installations (en électricité, en réactif de traitement des eaux, en fioul, en personnel) et une amélioration de la coordination des acteurs en période de crise, à tester lors d'exercices préventifs comme EU Sequana.

1. Retour d'expérience pour les épisodes de crues de mai/juin 2016 - réseaux suivis par la DRIEE Île-de-France, octobre 2016 (analyse des réponses de 7 gestionnaires au questionnaire de la DRIEE).



alma

WESK OXERI





CHAPITRE 2

Bilan des données

1. Une mutualisation exceptionnelle des données

Si la couverture et la compréhension de la crue sont très bonnes du point de vue de la relation pluie-débit, il n'en va pas de même pour l'évolution de la qualité des eaux au sens large. Un travail spécifique de regroupement et d'organisation des données est en effet nécessaire pour reconstituer la crue en termes de qualité des eaux. Il convient ainsi de regrouper l'ensemble des données disponibles et de les trier pour les organiser de manière cohérente afin de pouvoir ensuite les analyser et essayer de reconstituer l'évolution de la qualité de l'eau.

A cet effet, l'ensemble des acteurs de l'eau du bassin se sont mobilisés et ont transmis leurs données disponibles, relatives à l'évènement de juin 2016. Parmi ces acteurs,

nous comptons l'AESN, AQUI' Brie, le CD94, la DRIEE, Eau de Paris, Irstea, la Mairie de Paris, le SEDIF, le SIAAP, le SIARCE, SUEZ, le SyAGE, et le réseau SYNAPSES du GIP Seine-Aval. Ces données très hétérogènes représentent plusieurs millions d'enregistrements distribués dans l'espace et le temps de manière non structurée. Cette hétérogénéité est due au fait que ces données répondent initialement à des objectifs précis pour chaque stations, et non à une utilisation mutualisée et globale telle qu'un bilan de crue. Ce jeu de données considérable s'appuie sur 226 stations de mesure, allant du pas de temps fin (2 min 30 s pour les plus hautes fréquences) au pas de temps mensuel, voire bimestriel pour un grand nombre de stations (Figure 12). Au total 1 111 paramètres de qualité sont mesurés. Enfin, à ces données s'ajoutent celles recueillies grâce aux laisses de crues, dont l'analyse a été réalisées par les laboratoires Métis et LSCE, membres du PIREN-Seine.

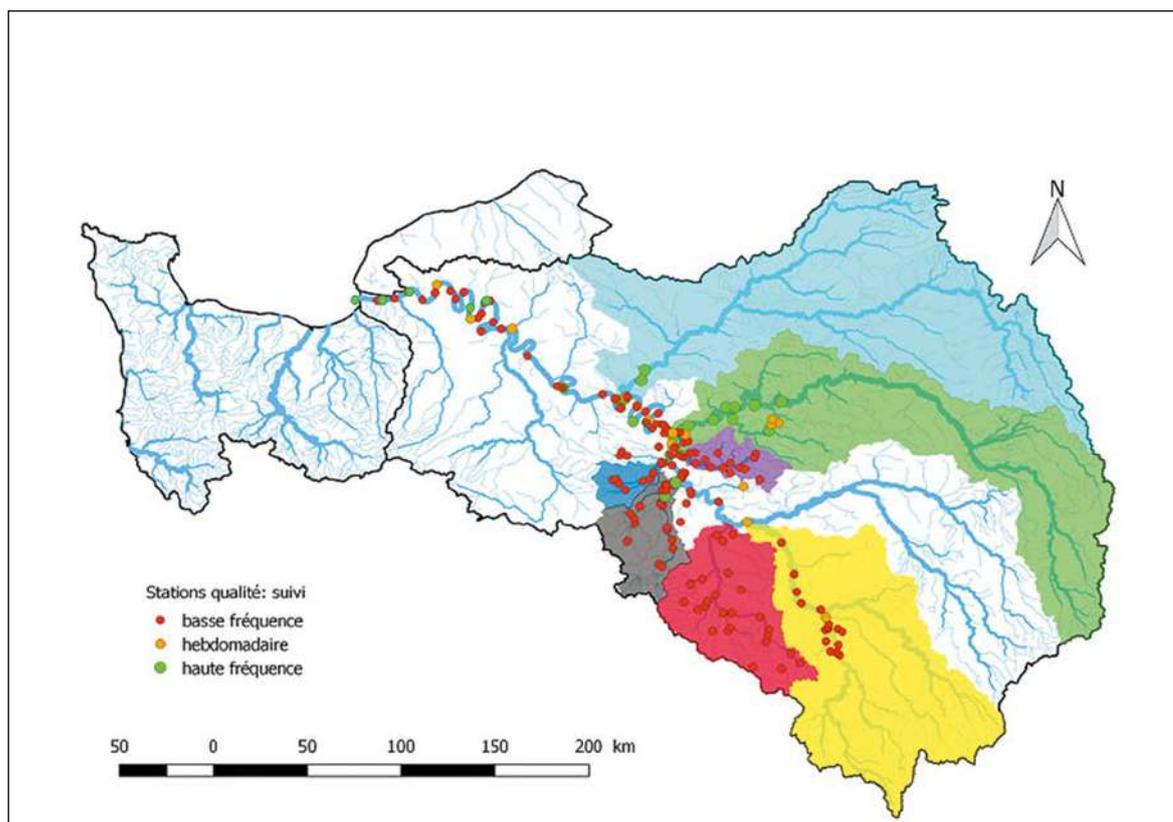


Figure 12 : Positionnement des stations de suivi de la qualité des eaux. Les stations de suivi haute fréquence (fréquence d'échantillonnage inférieure ou égale à la journée) sont identifiées en vert alors que les stations de réseau de l'AESN sont indiquées comme basse fréquence car la fréquence d'échantillonnage est en générale supérieure au mois. A chaque station, la plus haute fréquence rencontrée, quelle que soit la variable, a été utilisée pour établir cette carte.

2. La sélection des variables d'intérêt

Afin de pouvoir dresser un premier bilan du fonctionnement qualitatif du bassin au cours de la crue, les variables ont été divisées en sept grandes catégories, au sein desquelles des regroupements de variables ont été faits. Au final, 47 indicateurs ont été sélectionnés :

- > **Les variables physico-chimiques (11)** : ammonium, carbone organique dissous (COD), carbone organique total (COT), conductivité à 25°C, matières en suspension (MES) et turbidité, nitrates, orthophosphates, oxygène dissous (O2), pH, phosphore total, température de l'eau.
- > **Les éléments majeurs (5)** : Calcium (Ca), Manganèse (Mn), Magnésium (Mg), Potassium (K), Sodium (Na).
- > **Les métaux dissous (10)** : Argent (Ag), Aluminium (Al), Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Zinc (Zn).
- > **Les contaminants organiques persistants via la somme des membres des familles (6)** : alkylphénols (AP), Hydrocarbures aromatiques Polycycliques (HAP), Diphenyl éthers polybromés (PBDE), Polychlorobiphényles (PCB), composés perfluorés, phtalates (PAE).
- > **Les pesticides (11)** : Une somme de six pesticides et dix molécules. Les glyphosates, AMPA, dinoterbe, chlortoluron, atrazine, diuron. Les dix molécules tracées individuellement sont 2,4 - D, boscalid, diflulénicanil, diméthénamide, éthofumésate, imidaclopride, métamitron, métazachlore, métolachlore, nicosulfuron.
- > **Les médicaments (3)** : paracétamol, 1 et 2-hydroxy ibuprofène, carboxy ibuprofène.
- > **La contamination fécale** : *Escherichia coli*.

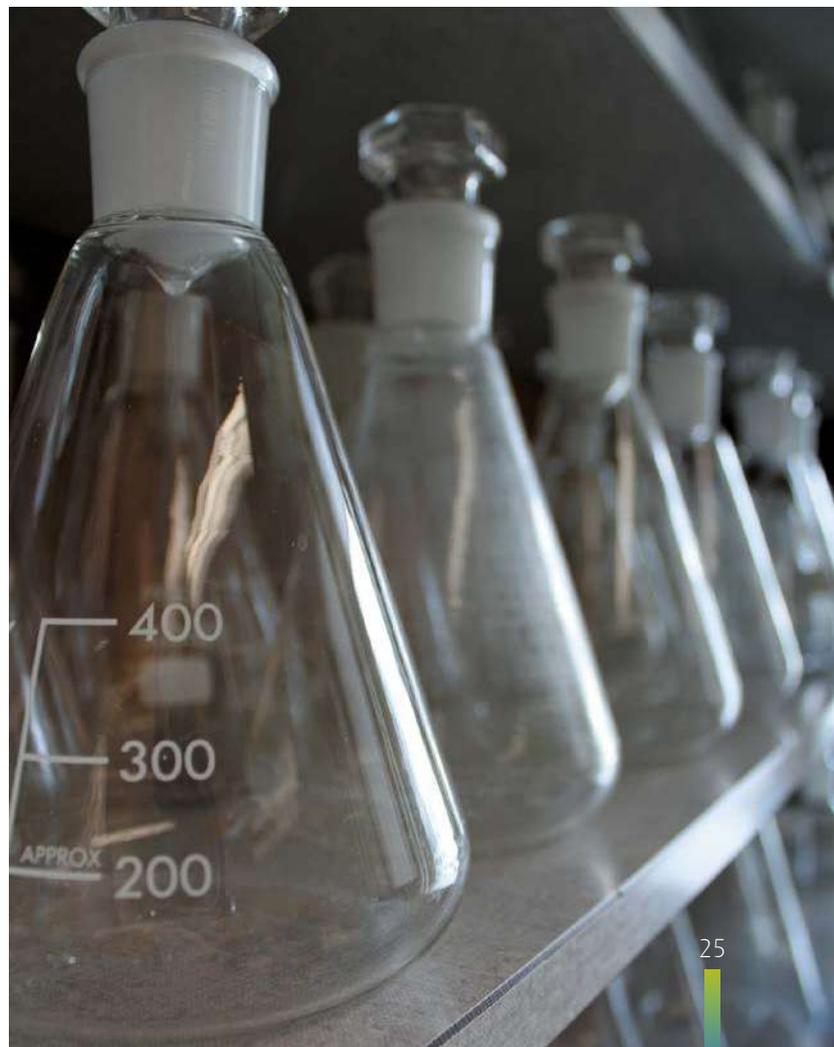
Ces variables nous permettent d'analyser de manière poussée l'évolution de la qualité du milieu au cours de la crue, tout en étant en cohérence avec l'analyse des laisses de crue.

3. La disponibilité des mesures aux stations

La première étape du travail a consisté à recenser, pour chaque variable, sa disponibilité à chaque station ainsi que sa fréquence de mesure. Une vision spatiale globale des fréquences a été préalablement établie sur la base de la plus haute fréquence d'analyse disponible à chaque station (Figure 12). Nous avons alors diagnostiqué pour chaque variable, le nombre de stations l'échantillonnant sur la période (du 1^{er} janvier au 30 septembre), la fréquence associée, et le nombre total d'enregistrements disponibles. Cette première analyse est présentée dans la suite par catégorie de variables.

Les catégories de fréquences retenues sont :

- > **Haute fréquence** : toute fréquence supérieure ou égale à la journée.
- > **Hebdomadaire** : une mesure environ toutes les semaines (plus exactement de 2 à 15 jours).
- > **Mensuelle** : une mesure environ tous les mois (plus exactement entre trois semaines et deux mois).





Les variables physico-chimiques

Les variables physico-chimiques sont très bien suivies (environ 200 stations de mesure), pour la plupart avec des suivis haute fréquence (une quinzaine de stations environ, sauf pour les nutriments pour lesquels seules quelques stations haute-fréquence seulement sont disponibles). Du fait de la disponibilité de stations de mesure haute fréquence, le nombre d'enregistrements est très important, pouvant atteindre 1.16 millions pour la température.

Les éléments majeurs

Le nombre de stations sur lesquelles sont mesurés les majeurs est environ deux fois moins important que pour le suivi physico-chimique des eaux. De plus, seule une station de mesure haute fréquence est disponible sur le petit bassin versant expérimental de l'Orgeval. Par ailleurs, peu de stations à fréquence hebdomadaire sont disponibles, au maximum seulement trois.

Les métaux dissous

Le nombre de stations sur lesquelles sont mesurés les métaux est similaire à celui des éléments majeurs, soit environ une centaine. Par contre, aucune mesure haute fréquence n'est disponible, ces paramètres n'étant pas suivis à cette fréquence. Seules trois stations hebdomadaires sont identifiées sur le bassin.

Les contaminants organiques persistants

Le suivi des contaminants organiques est très hétérogène. Seules des mesures mensuelles sont disponibles concernant les PBDE. Pour les phtalates et les alkylphénols, seule une station journalière existe. La dynamique de ces trois familles ne peut ainsi pas être étudiée durant la crue, sur la seule base des échantillons de la colonne d'eau, d'autant plus que les mesures sont peu informatives, indiquant des concentrations sous le seuil de détection instrumental. Seuls les composés perfluorés, les PCB et les HAP présentent des dynamiques temporelles au-delà des limites de quantification. Les HAP présentent un meilleur échantillonnage à l'aide de sondes en continu, dont les mesures pendant le pic de crue ont malheureusement été invalidées.

Les produits pesticides

Les données de pesticides permettent d'identifier, au moins pour l'axe Seine, des dynamiques de lessivage après application dans les territoires agricoles.

Les produits pharmaceutiques

L'échantillonnage des produits pharmaceutiques est modeste. Cependant, le suivi journalier disponible à une station nous permet d'identifier une évolution temporelle.

La contamination fécale

La densité des données de bactériologie est suffisante pour étudier une dynamique temporelle le long de l'axe Seine, sur la Marne et sur l'Oise.

4. L'analyse des laisses de crue

Les laisses de crue, composées de sédiments fins déposés par le retrait des eaux, fournissent un signal intégrateur de l'ensemble de l'évènement. Selon leur localisation et la hauteur du dépôt au sein du lit majeur, ces laisses intègrent différents moments de la crue.

Dans son principe, la méthode des laisses de crue permet également de reconstituer la composition des particules transportées par la crue depuis le pic et durant la décrue, en collectant des échantillons le long de berges à la configuration favorable au dépôt. Elle permet de palier les nombreuses difficultés de l'échantillonnage des eaux en période de crue (vitesses et hauteurs d'eau hors-normes, échantillonneurs automatiques souvent inopérants, risques pour les opérateurs) en fournissant des échantillons intégrés. Pour le suivi de la crue de juin, nous avons adopté une stratégie mixte avec des échantillonnages dès le début de la décrue (le 6 juin) en particulier en milieu urbain pour anticiper le nettoyage rapide des dépôts par les agents de voirie, et le suivi en fin de crue d'un ensemble de sites couvrant plus largement le bassin de la Seine où des laisses souvent « hautes » mais parfois « basses » ont pu être collectées. Ces échantillons fournissent une information

relative aux particules transportées au maximum de la crue qui était aussi le maximum du flux de matières en suspension (MES) et donc de contaminants associés (métaux et contaminants organiques hydrophobes). Parmi les bassins versants fortement influencés par la crue, ceux de l'Yerres et de l'Essonne n'ont pas pu être échantillonnés.

Les matériaux qui constituent les laisses de crue peuvent provenir de diverses origines telles que l'érosion des sols par ruissellement ou la remobilisation de dépôts anciens sur le bassin ou dans les lits mineurs. L'utilisation d'un isotope de courte durée de vie, le ^7Be , uniquement originaire de l'atmosphère via la pluie, permet de marquer spécifiquement les sols, et de distinguer l'origine ancienne ou récente des particules collectées dans les laisses de crue (Figure 13).

Dans les laisses de crue, nous nous sommes intéressés aux éléments et composés qui ont une affinité forte pour les particules, les autres composés devant être de préférence examinés dans l'eau. Les familles sélectionnées sont les métaux, les HAP, les PCB, les alkylphénols, les PBDE, les phtalates et les composés perfluoroalkylés. La plupart des pesticides sont majoritairement dissous dans les rivières (mais pas forcément adsorbés dans les sols), cette famille de contaminants n'a donc pas été analysée sur les laisses de crue.

Les analyses tirées des laisses de crue sont présentes dans ce fascicule en complément des analyses des données sur l'eau. Elles sont signalées par un titre vert dans les parties concernées.

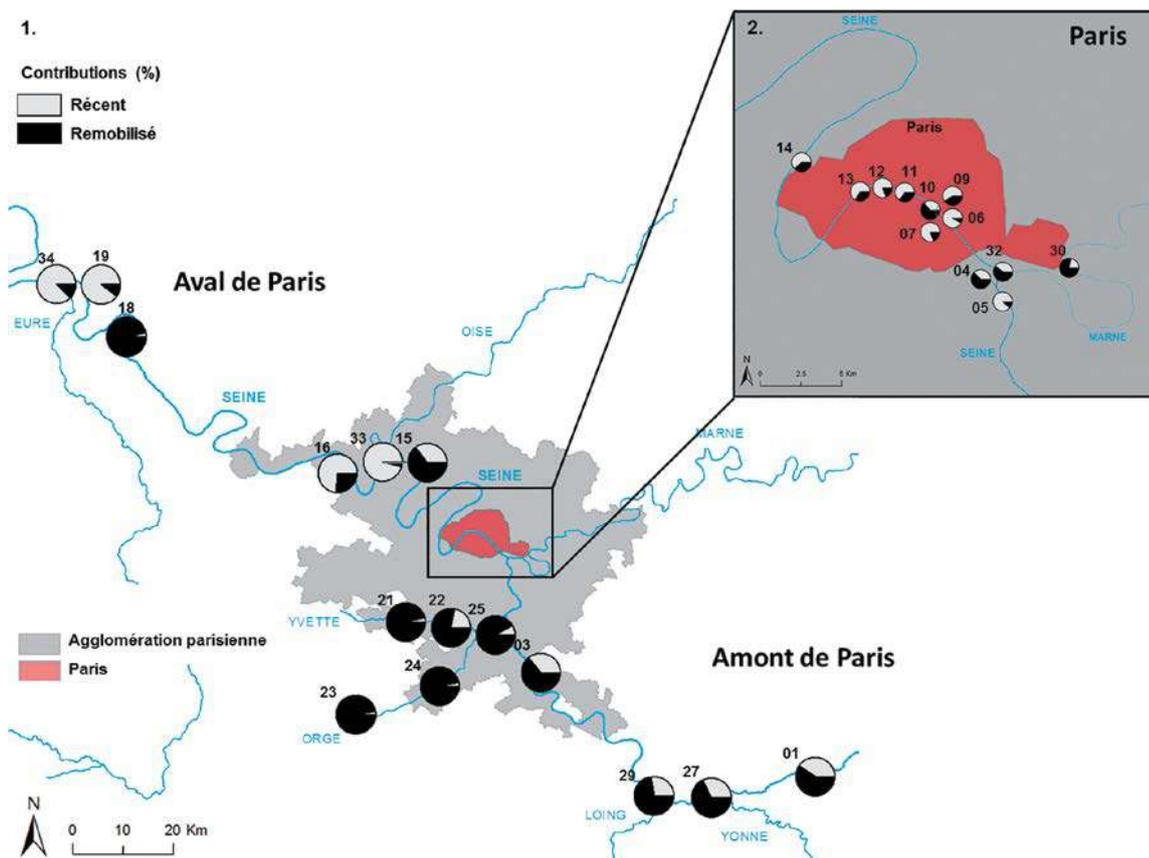


Figure 13 : Variations spatiales de la contribution de particules récemment érodées (marquées en ^7Be) et de particules plus anciennes, remobilisées par la crue (appauvries en ^7Be) aux points de collecte des laisses le long de la Seine et de ses affluents.

Le ^7Be est un radionucléide de demi-vie courte (53,3 jours). Produit dans l'atmosphère, il retombe au sol par les précipitations pour se fixer aux particules fines de sol. Il est donc particulièrement utilisé pour étudier le transport de sédiments sur de courtes périodes caractérisées par des pluies plus ou moins intenses. Cette approche permet, entre autres, de distinguer les particules récemment apportées au fleuve (marquées en ^7Be) et les particules remobilisées à partir de dépôts anciens (appauvries en ^7Be). L'analyse des laisses de crue met en évidence une différence spatiale des sources de MES. En amont de Paris, les particules proviennent majoritairement de particules anciennes, préalablement déposées dans le lit de la rivière et remobilisées lors de la crue. Au niveau de Paris, on voit apparaître des particules récemment érodées, potentiellement par le lessivage des surfaces urbaines. En aval de Paris, deux schémas se distinguent avec (1) soit une contribution majoritaire de particules récemment érodées en provenance des zones agricoles, comme observé pour les laisses de l'Oise et de l'Eure, (2) soit des contributions importantes de particules remobilisées par la crue sur l'axe Seine.



5. La méthodologie et le traitement des données de la colonne d'eau

Les données provenant d'opérateurs variés, les formats des bases de données analysées ne sont pas homogènes. Une méthodologie de traitement a dû être mise en place afin de représenter ces données graphiquement (Figure 14). Dans un premier temps, 3250 fichiers « unitaires » ont

ainsi été constitués. Chaque fichier unitaire correspond à la chronique temporelle de l'une des variables analysées à une station. Afin de pouvoir représenter conjointement des données haute et basse fréquence, un script a été appliqué à chaque station haute fréquence afin d'en calculer la moyenne journalière. Les stations de mesure ont ensuite été regroupées par secteurs pour la Seine, et par grands bassins versants pour le reste du bassin (Figure 15).

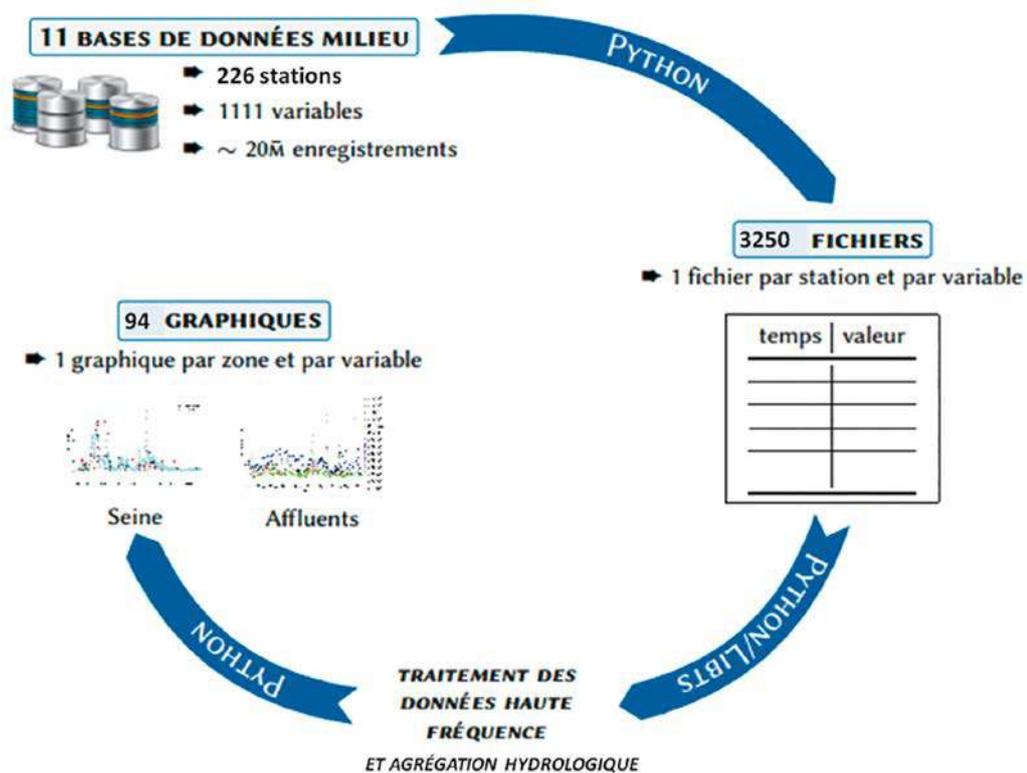
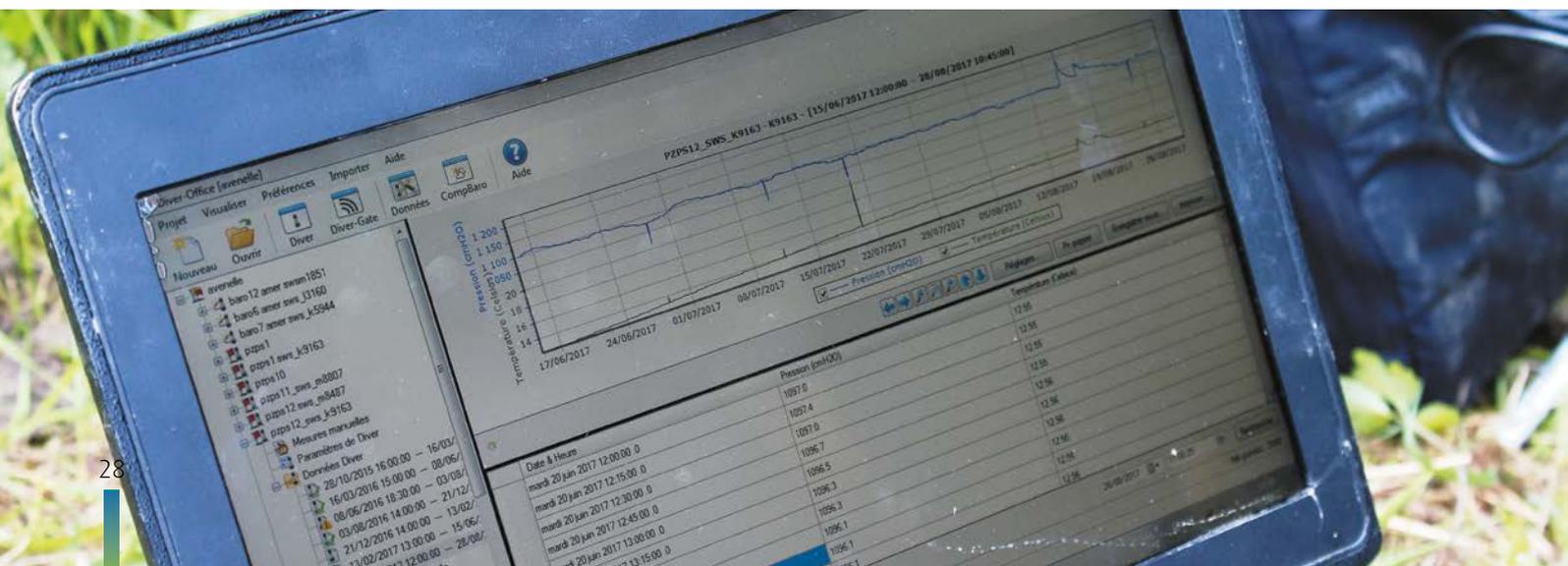


Figure 14 : Méthodologie de traitement des données.



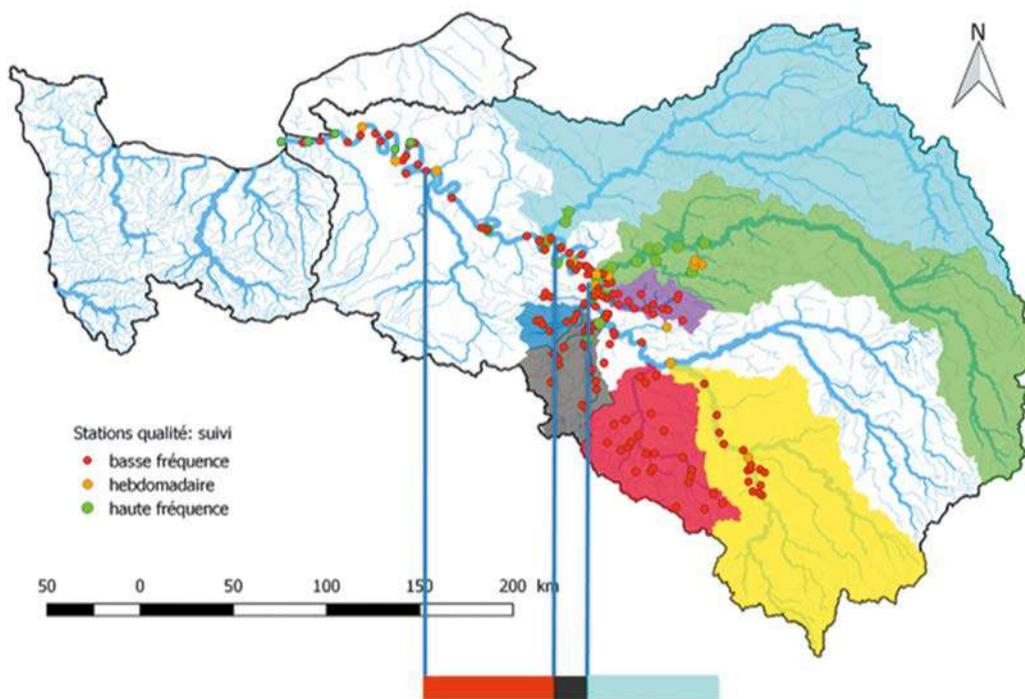


Figure 15 : Représentation des secteurs Seine sur les graphes : zone amont confluence Marne (bleu), zone centrale jusqu'à la station d'épuration Seine aval (gris anthracite), aval de la station Seine aval jusqu'à Poses (rouge).

Pour ce qui concerne la représentation des concentrations dans les affluents, un code couleur est affecté à chaque point permettant ainsi de visualiser le positionnement de la station dans le réseau hydrographique de l'affluent. Ainsi une couleur claire correspond aux parties amont du réseau

hydrographique de l'affluent, alors qu'une couleur pleine correspond à une station aval. L'ensemble des affluents est représenté sur chaque graphe. A chaque affluent correspond un symbole et une palette de couleurs variant du clair au foncé (Figure 16).

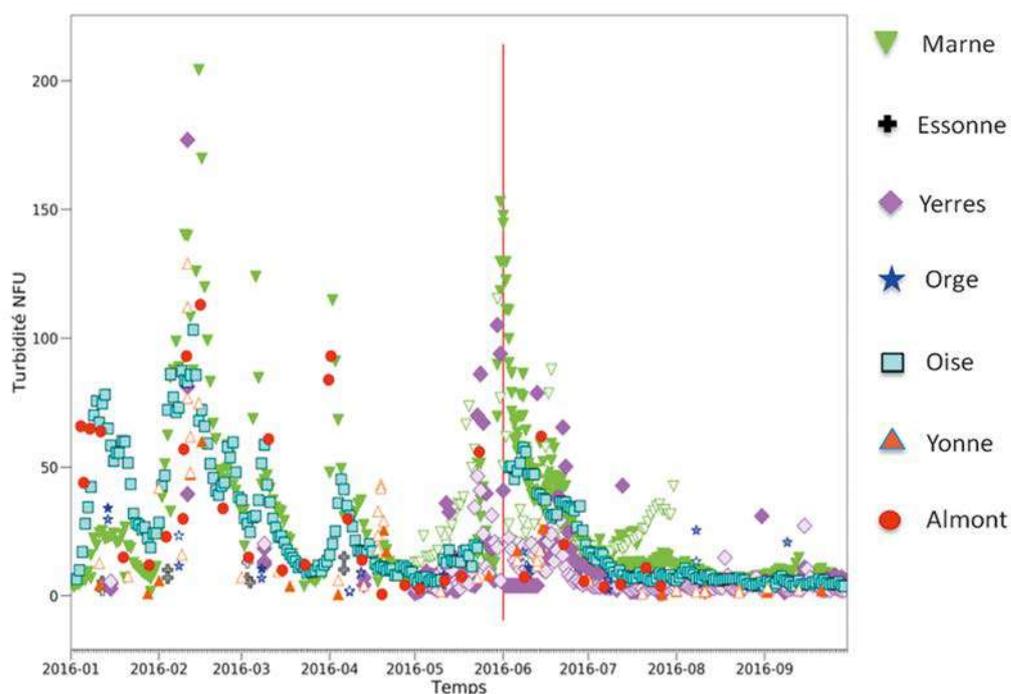


Figure 16 : Représentation des données pour les affluents. Exemple de la turbidité. Le gradient de couleur s'intensifie pour chaque bassin d'amont en aval du réseau hydrographique. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.





CHAPITRE 3

Résultats sur la qualité de l'eau



1. Les variables physico-chimiques

Lors de l'évènement pluvieux très intense de fin mai et début juin 2016, la médiane des concentrations en MES en Seine n'excède pas 120 mg/L en amont de Paris (Figure 17). Ces concentrations restent modérées comparées à la petite crue hivernale de février 2016 d'intensité beaucoup plus réduite ($1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Figure 18).

On peut par ailleurs observer une décroissance rapide de la concentration médiane en matières en suspension (MES)

à la traversée de l'agglomération parisienne (Figure 17). Les concentrations en MES ne sont hélas pas disponibles au moment de la pointe de crue pour l'ensemble des affluents. Cependant, une station sur le bassin de la Marne confirme les teneurs en MES relativement faibles pour cet évènement hydrologique important. Néanmoins vue l'intensité de l'évènement sur le Loing, il est probable que les teneurs en MES de cet affluent aient été beaucoup plus élevées que les teneurs en Seine en amont de Paris.

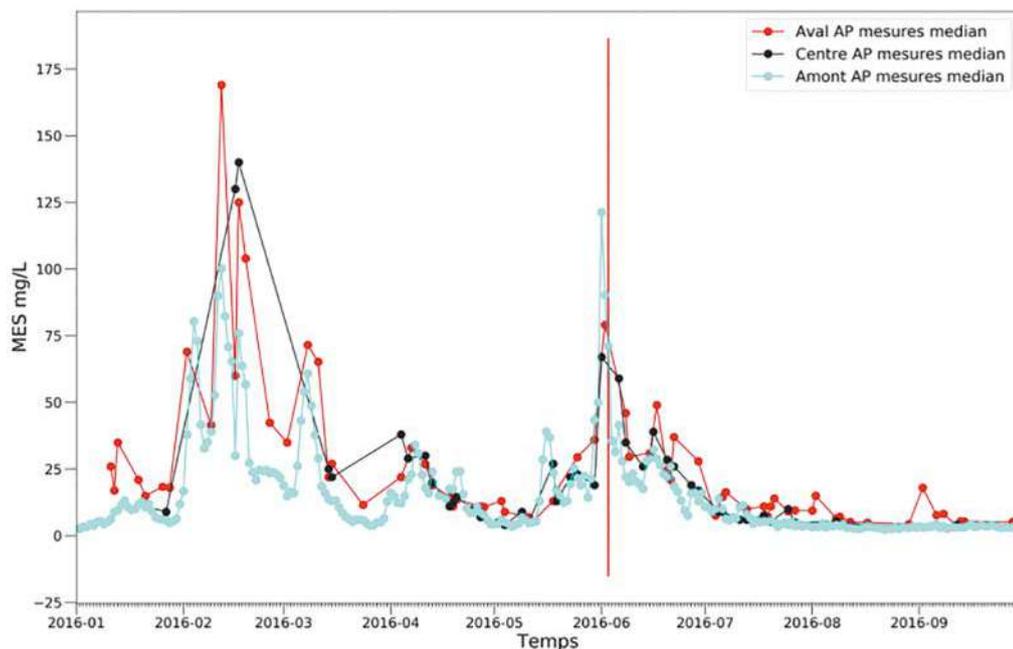


Figure 17 : Concentrations médianes en matières en suspension (MES) et turbidité médiane par secteur de Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

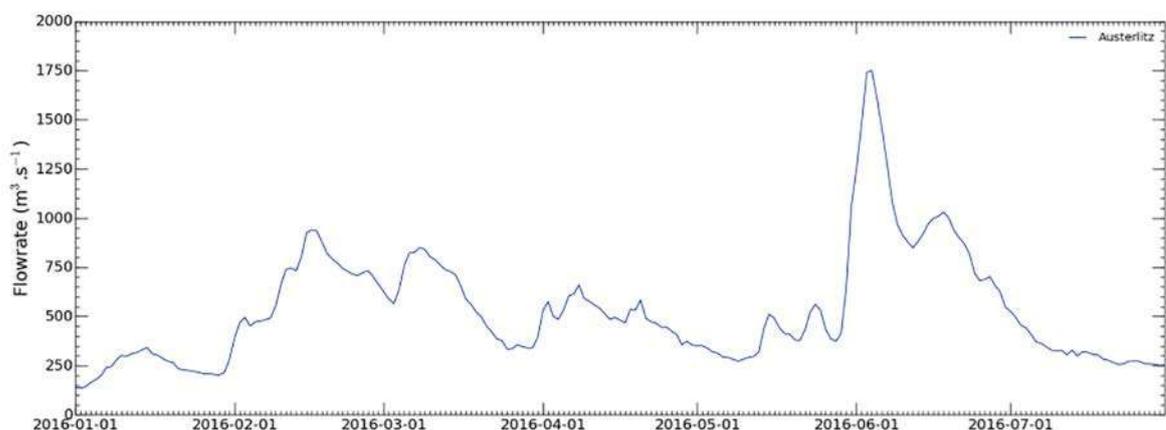


Figure 18 : Débit à la station d'Austerlitz depuis le 1^{er} janvier 2016.

Conjointement au pic de crue, correspond un pic de carbone organique total (COT), dont la médiane en Seine en amont de Paris atteint 7 mgC.L⁻¹. Cette concentration médiane atteint 8 mgC.L⁻¹ à la traversée de l'agglomération parisienne pendant le pic de crue (Figure 19). Aucune donnée de COT n'est disponible à l'aval de la station d'épuration Seine Aval. Par contre, des données de carbone organique dissous sont disponibles (Figure 20). Malgré une

fréquence d'échantillonnage hebdomadaire, il apparaît que l'enrichissement en carbone organique dissous perdure quelques jours après le passage du pic de crue. Il semblerait d'ailleurs que la majorité du carbone organique total soit constitué de carbone organique dissous, ce qui est cohérent avec des mesures présentées par Vilmin et al. (2016).

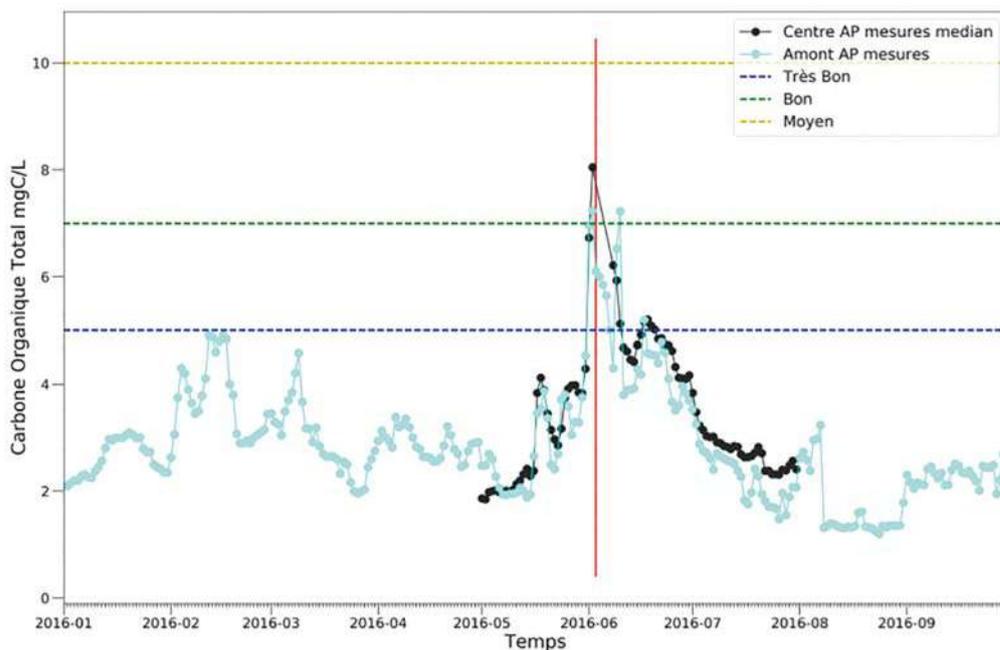


Figure 19 : Concentrations médianes en carbone organique total en Seine. Les normes de qualité des eaux de surface selon la DCE sont indiquées (état très bon en bleu, bon en vert et moyen en jaune). AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

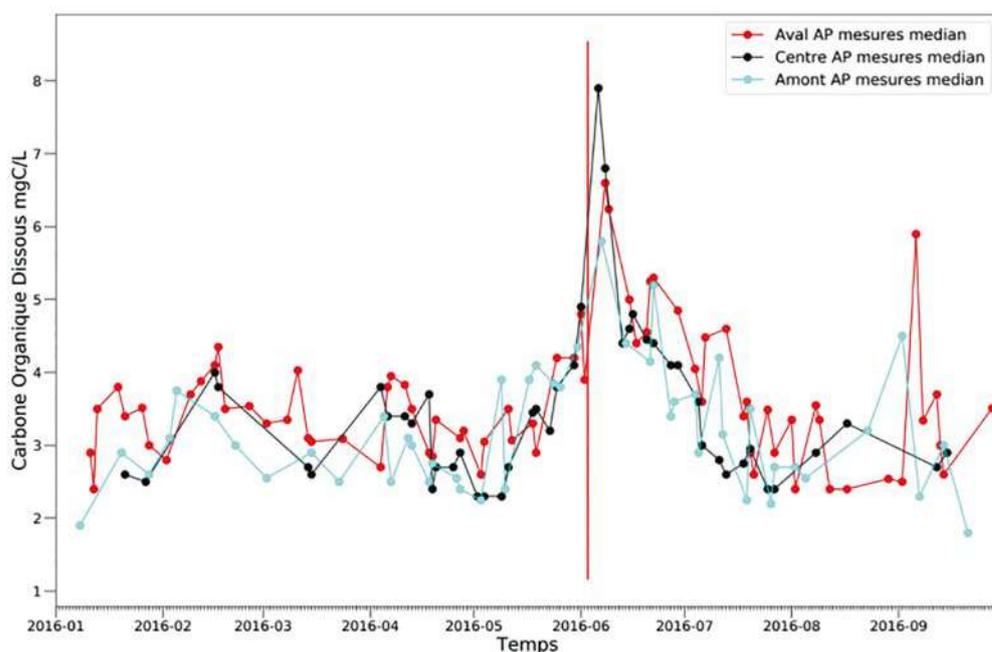


Figure 20 : Concentrations médianes en carbone organique dissous en Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

Globalement, l'export de carbone organique dissous par le bassin est significatif pendant la crue de juin (concentration maximale à l'aval de Seine Aval de 7 mg.L⁻¹), alors que les crues hivernales ne mobilisent pas une telle quantité de carbone. Les données, acquises à haute fréquence dans le bassin de la Marne, indiquent que les maxima de COT atteints lors du pic de crue sont du même ordre de grandeur que pour la Seine amont, soit 10 mgC.L⁻¹. Les bassins de l'Oise et de l'Orge présentent également un comportement singulier : les pics de carbone y sont certes moins intenses, mais restent élevés beaucoup plus longtemps, ce qui maintient un niveau de COT de 7 à 8 mgC.L⁻¹ pendant environ trois semaines. Ce comportement singulier de l'Oise a déjà été mis en lumière par Varrault *et al.* (2016).

En Seine, conjointement aux accroissements des MES et du COT, les concentrations en oxygène décroissent significativement. Ainsi, la concentration médiane en oxygène passe de 12 mgO₂.L⁻¹ début mai à un peu moins de 8 mgO₂.L⁻¹ au moment du pic de crue (Figure 21). Les concentrations en oxygène restent relativement basses pendant un mois après le pic de crue, ce qui pourrait indiquer une intense activité bactérienne relative à la dégradation de la matière organique apportée par la crue. Notons toutefois que l'évènement ne génère pas de fortes crises de désoxygénation comme celles qui ont pu être

observées à la fin du siècle dernier (Boët *et al.*, 1999). Pour l'oxygène, les données relatives aux affluents présentent les mêmes tendances que celles observées en Seine. Une faible proportion de la décroissance de l'oxygène dissous lors de la crue est expliquée par l'accroissement de la température de l'eau qui a pour effet de diminuer sa solubilité dans l'eau. La colonne d'eau ne retrouve un niveau d'oxygénation cohérent avec la solubilité de l'oxygène qu'à partir de début juillet 2016.

Tout au long du mois de mai, les concentrations en carbone organique augmentent, et les concentrations en oxygène dissous diminuent. Simultanément, le pH chute en Seine à l'amont de Paris de 8.25 à 7.75. Le creux de pH est concomitant avec le creux d'oxygène. Le pH met une dizaine de jours pour remonter à 8, valeur assez stable et classique pour la période estivale. La concomitance de ces observations semble indiquer une activation de la boucle microbienne, qui dégrade la matière organique apportée au système fluvial dès le démarrage de la période pluvieuse, consommant de l'oxygène et produisant du CO₂ donc de l'acidité. L'augmentation des orthophosphates 0.07 à 0.3 mg.L⁻¹ sur la même période (Figure 22) confirmerait l'activation de la boucle microbienne qui contribue à enrichir les eaux par minéralisation de la matière organique.

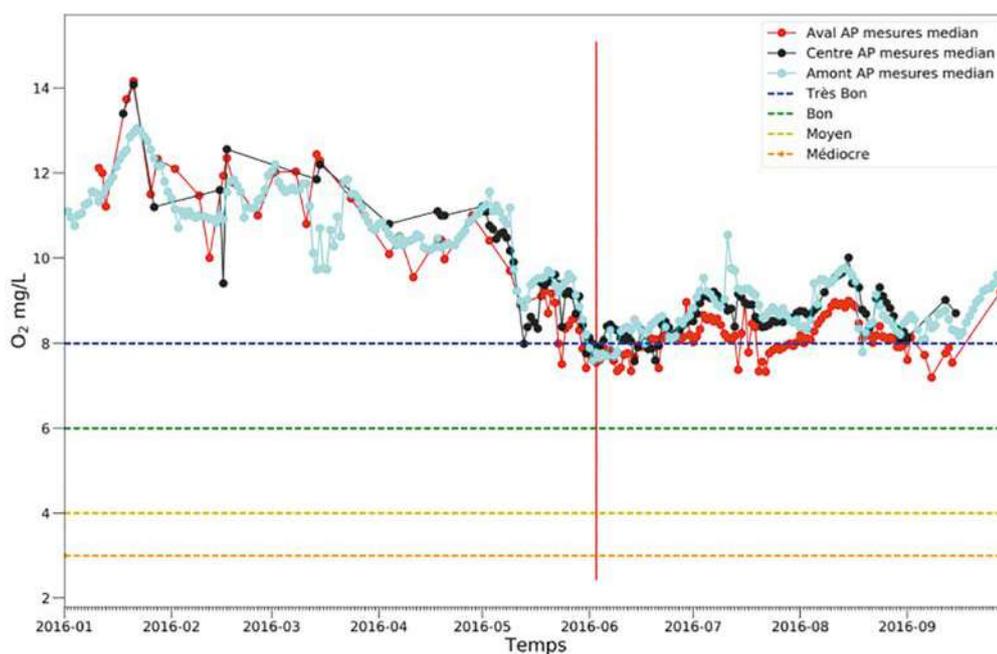


Figure 21 : Concentrations médianes en oxygène le long de la Seine. AP : Agglomération parisienne. Les normes de qualité des eaux de surface selon la DCE sont indiquées (état très bon en bleu, bon en vert et moyen en jaune). Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

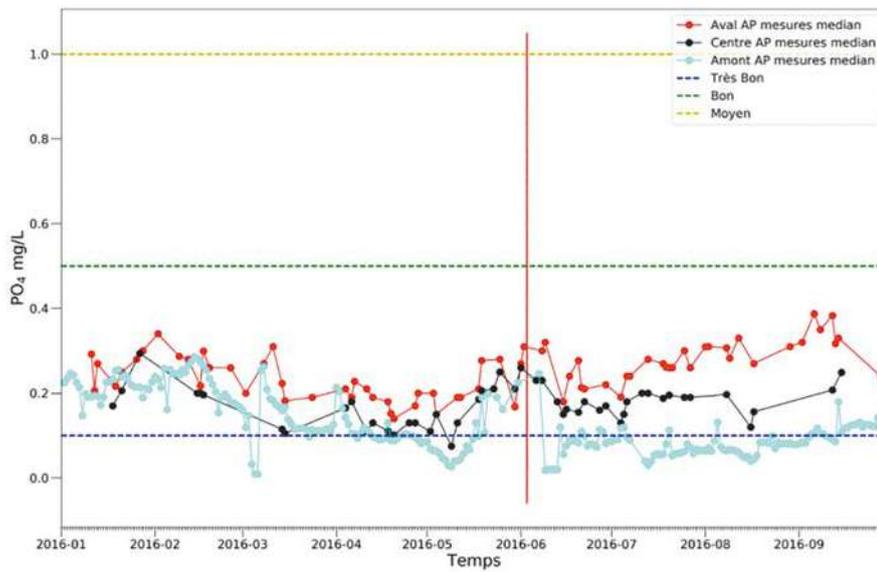


Figure 22 : Concentrations médianes en orthophosphates le long de l'axe Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station Paris Austerlitz.

L'évolution des teneurs en oxygène dans l'estuaire de la Seine est suivie en haute fréquence grâce à l'acquisition des données par le réseau SYNAPSES. Le tracé de ces valeurs sur une période de trois mois permet d'estimer l'impact de la crue sur l'oxygénation des eaux à Rouen. Avant la montée du débit, les teneurs mesurées sont comprises entre 8 et 9 mgO₂.L⁻¹, avec des fluctuations liées à la marée. Début juin, lorsque les débits ont augmenté et dépassé 1000 m³/s, les teneurs en oxygène ont chuté

à des valeurs comprises entre 7 et 8 mgO₂.L⁻¹. Cette consommation d'oxygène pourrait être reliée à un apport important de matière organique, dont la dégradation stimule la consommation bactérienne en oxygène. Cette hypothèse d'apport en matière organique est renforcée par la hausse observée de la turbidité sur la même période (Figure 23). Il faut cependant noter que les valeurs d'oxygénation atteintes restent parfaitement compatibles avec la vie aquatique.

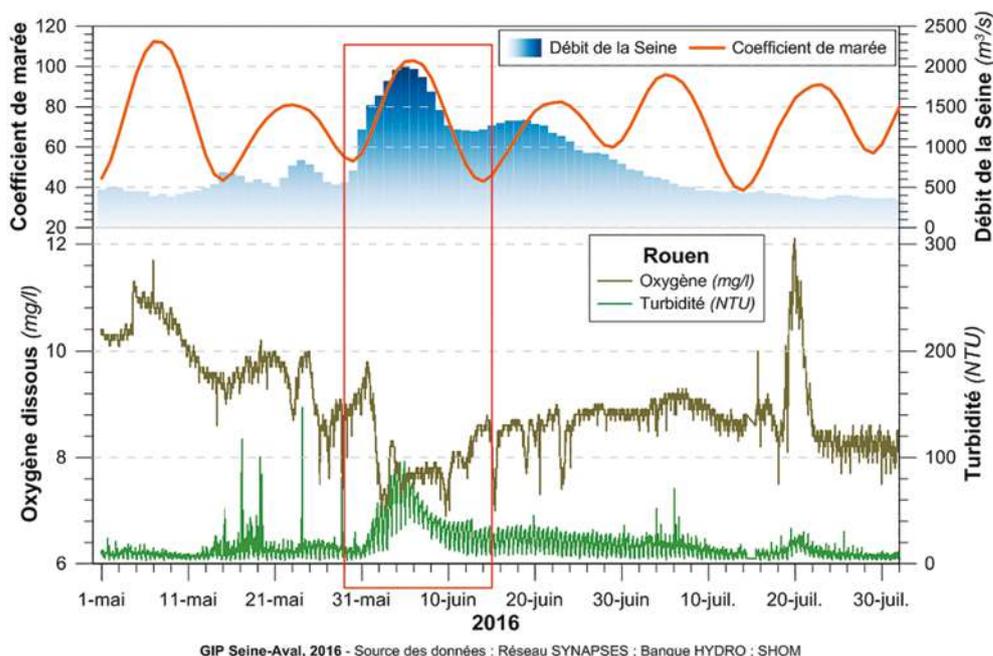


Figure 23 : Oxygène dissous et turbidité à Rouen entre mai et juillet 2016.



Pour finir, la crue a eu un effet de dilution des nitrates en Seine, dû à des eaux de ruissellement globalement moins chargées que les eaux souterraines à l'échelle du bassin de la Seine (Figure 24). La dynamique des nitrates n'est cependant pas uniforme sur tout le bassin, puisque les petits bassins versants agricoles affectés par de fortes précipitations présentent de très fortes concentrations, comme l'indique le pic de 170 mg.L^{-1} enregistré par les données haute fréquence de la station de suivi de l'Orgeval dans le bassin de la Marne. Ce pic en secteur agricole s'explique par le lessivage d'une grande partie

des fertilisants agricoles certainement épandus entre les deux événements pluvieux de mai. Cependant pour ces petits bassins, après une phase de lessivage intense des fertilisants agricoles, le ruissellement de surface contribue, au moment de la pointe de crue, à diluer les nitrates par rapport au niveau de base observé le reste de l'année. Cette dynamique est bien connue et s'exprime sur le bassin amont de l'Orgeval. L'effet de l'évènement reste cependant localisé puisque les concentrations de nitrates en Marne aval n'atteignent qu'un pic de 31 mg.L^{-1} .

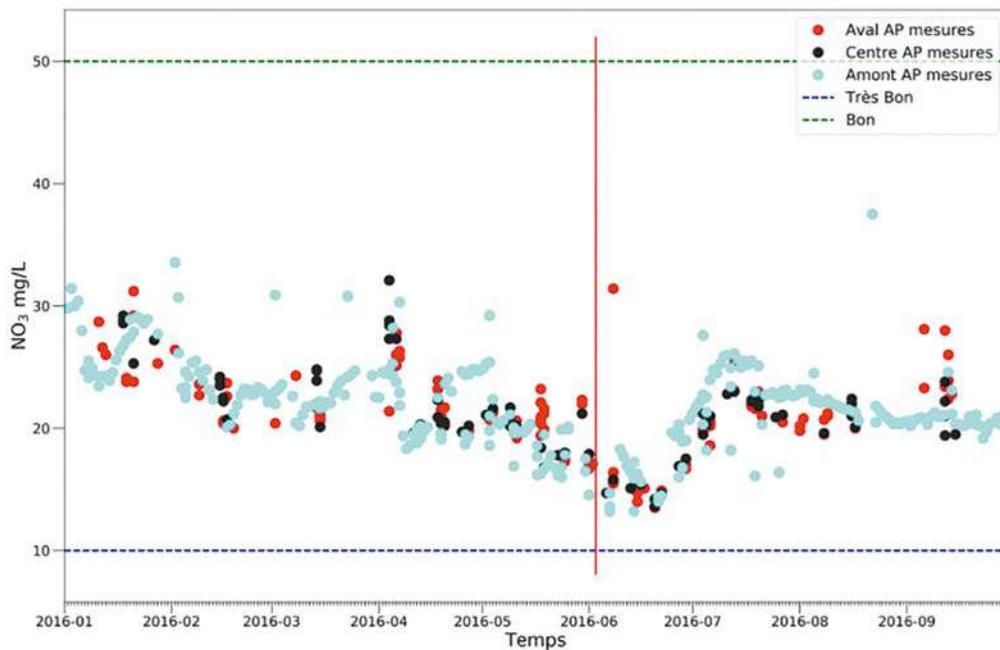


Figure 24 : Concentrations en nitrates en Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

Pendant la crise, des rejets d'eaux usées assumés

« C'est parti dans les rivières qui sont à leur pic de débit, l'effet de dilution a jugulé ces rejets »

« L'important, c'était de ne pas amener d'effluents dilués dans le système [épuratoire]. Autrement, lors de la décrue, le système de boues activées, diluées, n'aurait pas permis de retrouver une performance épuratoire immédiatement. »

« On n'a pas regardé ces paramètres (PH, température, turbidité, NH4, DBO5...) parce que la priorité c'était la surveillance et la mise en sécurité de l'homme. »

« Les rejets ont forcément une incidence sur la qualité physico-chimique, quoique : vu le phénomène de dilution, cela reste encore à démontrer. »

1. Retour d'expérience pour les épisodes de crues de mai/juin 2016 – réseaux suivis par la DRIEE Île-de-France, octobre 2016 (analyse des réponses de 13 gestionnaires de l'Essonne, de Seine-et-Marne et des Yvelines au questionnaire de la DRIEE).

La crue de 2016 a occasionné de très nombreux débordements de réseaux d'eaux usées et by-pass de stations d'épuration, avec des quantités importantes d'eaux usées rejetées directement dans le milieu naturel, sans traitement épuratoire. Les gestionnaires d'infrastructures d'assainissement assument ce choix réfléchi. Il a pour objectif de préserver les stations d'épuration afin de pouvoir les redémarrer rapidement après l'épisode de crue, en conservant de bonnes capacités épuratoires à un moment où le milieu sera devenu plus fragile, avec des débits redevenus plus faibles. Dans certains cas, ces rejets permettent de diminuer la pression dans les réseaux d'eaux usées et donc d'éviter les débordements chez les particuliers, préservant ainsi les biens et les personnes. Sur l'Orge, les équipes du syndicat ont ainsi été amenées à casser le tuyau d'eaux usées pour qu'il aille dans un avaloir d'eaux pluviales afin de diminuer la pression dans le réseau d'eaux usées et arrêter les inondations chez les habitants. Ces éléments sont confirmés par le retour d'expérience constitué par la DRIEE¹ selon lequel 10 des 13 maîtres d'ouvrage ayant répondu ont procédé à des coupures préventives dans le cadre d'une politique de délestage ou de contingentement, motivées par la préservation des ouvrages ou la volonté de préserver le traitement biologique pour faciliter le retour à la normale.

Les gestionnaires ne disposent que d'une connaissance limitée des rejets effectués : défaillance de certaines stations de mesures, absence d'analyses systématiques même lorsque des données sont disponibles — la priorité étant donnée à la surveillance des niveaux d'eau et à l'information des élus —, absence de vision globale des flux cumulés à l'échelle du bassin, interrogeant particulièrement les acteurs situés à l'aval. Néanmoins, ils parient tous sur l'effet de dilution généré par la crue : l'ensemble des acteurs partage l'impression que les impacts de ces rejets directs dans le milieu naturel ont été limités sans être neutres pour autant, s'avérant exceptionnellement très problématiques comme sur le lac Montalbot (cf. encart suivant).



La mortalité piscicole : entre fonctionnement naturel spectaculaire et impacts accidentels de pollutions

« La crue a nettoyé toutes les frayères des espèces litophiles, qui se reproduisent sur les graviers. Pour les espèces d'eau vive, comme le barbeau ou la vandoise, on a eu des explosions de reproduction. »

« On ne peut pas leur dire : "c'est normal". Cela paraît quand même logique que les gens appellent. Pour eux certes ce n'est pas grave, mais c'est dommage : si on peut agir, autant agir. »

« En fait, je crois qu'on ne savait pas ce qui se passait. On ne comprenait pas très bien. »

« On n'avait pas prévu de procédure pour des ramassages de cadavres d'animaux à grande échelle. »

« Il est évident que quand on a le choix entre inonder tout un quartier avec je ne sais combien de dizaines de maisons, et faire passer des eaux usées dans un plan d'eau, les choses sont très claires. Mais la question de l'anticipation est importante ici : ça permet quand même de préserver au maximum ce qu'on peut. »

Si avec le recul les effets d'une crue sont perçus comme faisant partie du fonctionnement écologique d'un cours d'eau, pouvant même parfois profiter aux peuplements piscicoles en améliorant la continuité écologique et les conditions de reproduction, ils ne sont pas dans un premier temps vécus comme tels. La crue de 2016 a occasionné une mortalité piscicole inhabituelle et spectaculaire. L'essentiel de cette mortalité est dû au fait que de nombreux poissons se retrouvent piégés dans des poches d'eau lors de la décrue et ne parviennent pas à regagner le lit mineur. Ce phénomène peut être aggravé par l'artificialisation du lit majeur (obstacles, accélération de la décrue), mais il est globalement considéré comme faisant partie du fonctionnement de l'écosystème et ne constitue pas un problème pour l'évolution des peuplements. Pour autant, il suscite une réelle émotion sur le terrain, avec des riverains loin d'être restés insensibles à cette situation. Les acteurs de la pêche (AAPPMA et fédérations départementales) notamment sont alors conduits à consacrer un temps important au sauvetage ou au ramassage des poissons.

Par les phénomènes de pollution qu'elle génère, une crue peut cependant aussi générer une mortalité piscicole « non naturelle », lorsque des conditions bien particulières empêchent l'effet de dilution de jouer. C'est ce qui s'est passé sur le lac de Montalbot, plan d'eau d'environ 20 ha situé à Vigneux-sur-Seine (91) : impacté par le délestage de réseaux d'eaux usées, rendu nécessaire par la mise en charge des réseaux, ce milieu confiné s'est brutalement retrouvé en situation d'anoxie complète, avec en outre un taux d'ammonium très élevé... La totalité du peuplement piscicole, connu des pêcheurs et très préservé (importantes populations anciennes de reproducteurs), a alors immédiatement succombé. Ce phénomène a dans un premier temps pris au dépourvu les gestionnaires de réseaux, qui ne l'avaient pas anticipé et n'en ont pas immédiatement saisi les causes — le ramassage des poissons morts, présents en très grande quantité, a en particulier posé de réels problèmes organisationnels et logistiques. À plus long terme, le plan d'eau semble durablement atteint et son état suscite le mécontentement du monde de la pêche. Sans mettre en cause le principe d'utiliser les milieux pour délester les réseaux, la fédération départementale pointe l'absence d'anticipation de ses conséquences — arguant qu'une pêche de sauvetage aurait pu être organisée — et appelle de ses vœux une véritable réflexion préventive pour qu'un tel choix soit à l'avenir évitable. Elle s'interroge également sur l'existence d'une stratégie de long terme pour restaurer le plan d'eau.

2. Les éléments majeurs

Les éléments majeurs ne constituent pas un problème de qualité des eaux dans le bassin de la Seine et la gamme de variation observée durant la crue n'a rien d'exceptionnelle car elle correspond au gradient amont-aval rapporté par Barjhoux *et al.* (2016). Cependant, l'analyse de leur dynamique au cours d'une crue peut être mise à profit pour mieux cerner la réactivité biogéochimique liée au fonctionnement hydrologique des systèmes. La fréquence d'échantillonnage des majeurs étant lâche pour les grandes rivières, une analyse très fine du fonctionnement hydrologique des systèmes n'est pas possible. Les chroniques de calcium, sodium, potassium et magnésium en Seine, indiquent clairement un effet de dilution par la crue qui perdure au-delà du pic de crue. En effet, il faut en général un mois pour revenir aux niveaux pré-crue. Cela n'est pas propre à la crue de printemps, puisque cette dynamique est visible aussi pour les petites crues hivernales. Les mêmes effets de dilution sont observables sur les petits cours d'eau, comme l'Orgeval, où des données haute fréquence sont disponibles. Par contre, pour ces petites rivières, les effets de dilution, qui marquent la prédominance des écoulements de surface sur les écoulements souterrains régionaux, ne durent que quelques jours. Le fait que les grandes rivières présentent des temps de retour à l'équilibre significativement plus longs, pourrait être expliqué par une dynamique propre aux milieux alluviaux. En effet, il a été montré par modélisation dans le système de la Bassée que les échanges nappe-rivière dans ces systèmes ont une dynamique propre : les eaux de la rivière alimentent la nappe alluviale pendant le pic de crue, et un délai est nécessaire pour que les eaux souterraines

provenant des aquifères régionaux remplacent ces eaux de surface infiltrées dans l'aquifère alluvial (Labarthe, 2016 ; Labarthe et Flipo, 2016). Autrement dit, la vidange des aquifères alluviaux semble prendre environ 1 mois dans le bassin de la Seine.

En estuaire, les mesures réalisées lors de l'évènement de juin 2016 sur les éléments majeurs ne montrent pas de modification de la minéralisation des eaux de la Seine, les valeurs atteintes pour les différents ions restant dans la gamme des valeurs classiquement mesurées.

3. Les métaux dissous

Pour ce qui concerne la phase dissoute des métaux, le pas de temps d'échantillonnage est là encore lâche. Cependant, du fait des multiples stations disponibles et des regroupements par grandes zones, il est possible d'identifier des familles de métaux dont les teneurs semblent peu affectées par le régime hydrologique, et d'autres plus réactives comme l'arsenic (Figure 25). Toutefois, aucune famille ne présente un comportement qui semble spécifique au pic de crue de mai-juin 2016. La crue de printemps ne semble pas avoir eu une influence singulière sur les flux de métaux. Cela est probablement lié à la distribution des pluies qui ont plutôt épargné l'agglomération parisienne. L'argent, le cadmium, le cuivre, le zinc, le nickel et l'arsenic présentent de faibles variations, d'un facteur inférieur à deux. En revanche, les concentrations en aluminium, en chrome, en fer et en plomb sont beaucoup plus variables, et augmentent d'un à deux ordres de grandeur lors du pic de crue.

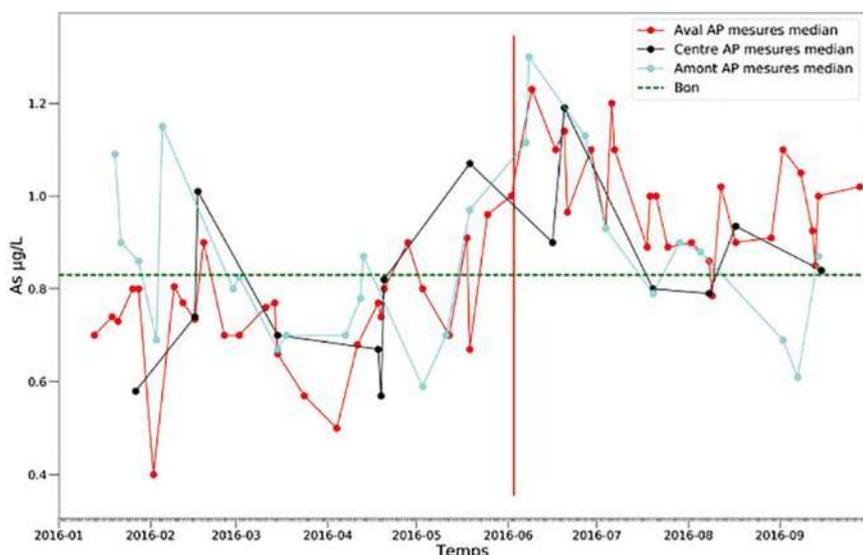


Figure 25 : Concentrations médianes de l'arsenic en Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.



Les teneurs en métaux observées début 2016 dans les eaux de la Seine sont du même ordre de grandeur mais légèrement moins élevées que celles reportées par Barjhoux *et al.* (2016), montrant bien l'absence de comportements spécifiques des métaux dissous pendant la crue de printemps.

Aucun métal n'est déclassant pour la qualité de l'eau de la Seine. Seul l'arsenic, dont la norme vient d'être baissée à un niveau très bas de $0.83 \mu\text{g.L}^{-1}$, présente un dépassement de ce niveau pendant et après la crue de juin. Cela n'est cependant pas spécifique à cette dernière car ce dépassement est également observé lors du petit événement de février 2016. Ce dépassement ne préfigure pas d'une dégradation de l'état écologique au sens de DCE, pour lequel il faudra tenir compte du fond géochimique naturel du bassin, en cours d'estimation. Pour finir, on notera que certains métaux présentent des limites de

quantification particulièrement élevées qui pourraient perturber notre analyse. De plus, certaines concentrations très fortes qui semblent peu probables aux experts du PIREN-Seine, sont observées. Elles sont probablement dues à des erreurs de caractérisation du protocole d'échantillonnage dans la base de données d'origine (caractérisation de la filtration des échantillons). La correction de ces erreurs ne pourra être entreprise que dans le cadre du contrôle qualité de chacun des fournisseurs de données.

En estuaire de Seine, 22 métaux ou métalloïdes ont été recherchés lors des campagnes de juin 2016. Les valeurs mesurées restent dans les gammes de valeurs normalement mesurées, avec cependant quelques métaux (aluminium, arsenic, cuivre, fer...) pour lesquels des légères hausses des concentrations semblent associées à la crue (Figure 26).



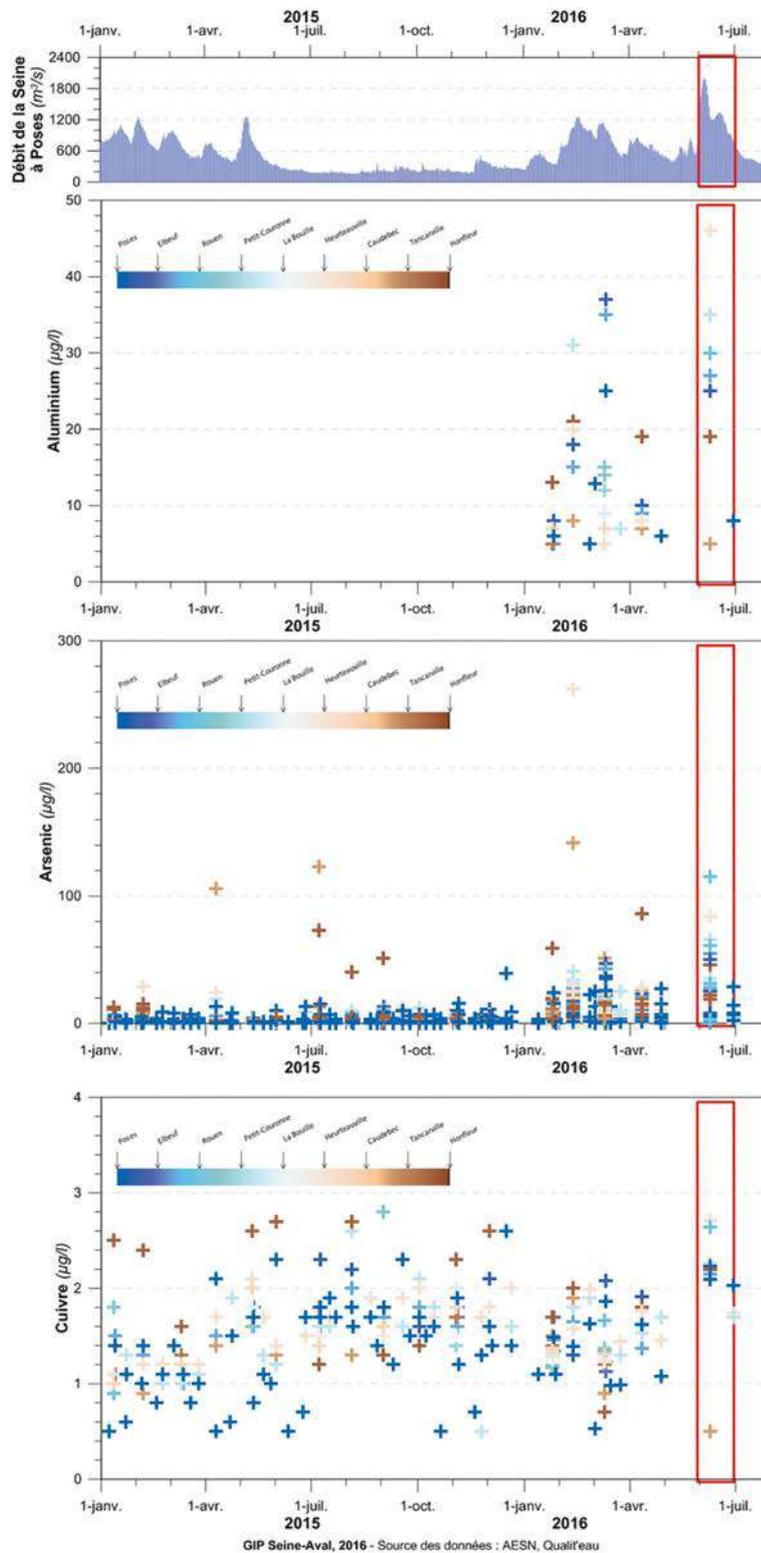


Figure 26 : Métaux dans les eaux de l'estuaire de la Seine.



Les métaux dans les laisses de crue :

Les concentrations en 30 éléments ont été mesurées dans les laisses de crue. Les résultats sont présentés pour les métaux les plus étudiés dans le bassin de la Seine (Figure 27).

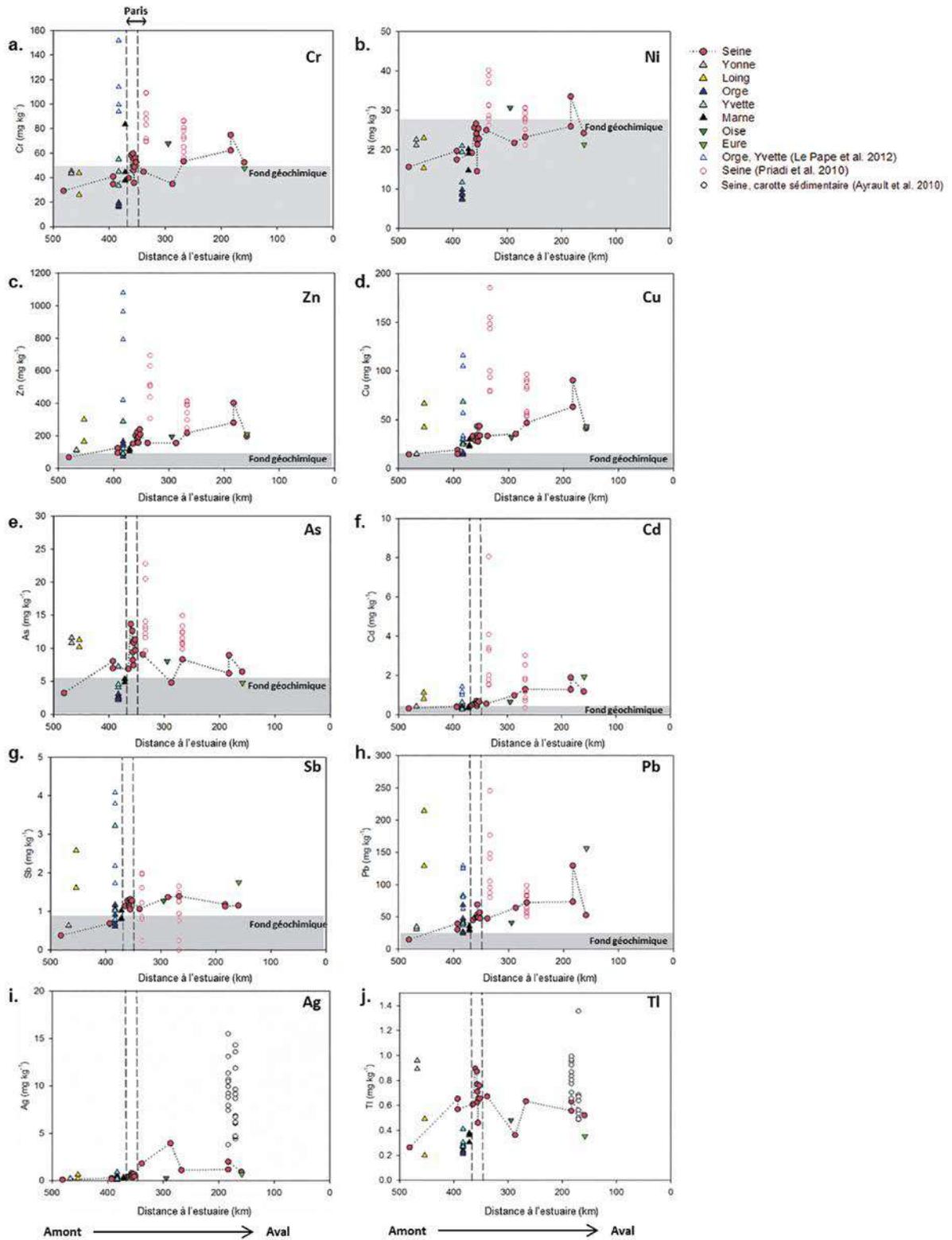


Figure 27 : Evolution spatiale des concentrations en Éléments traces métalliques (ETM) selon une direction amont-aval le long de la Seine. Les cercles pleins reliés correspondent aux laisses de la Seine et les triangles aux laisses des différents affluents. Les cercles blancs sont donnés à titre de comparaison ; il s'agit de données de concentrations obtenues dans des carottes de la plaine alluviale de la Seine, et correspondant à une période qui va de 1950 à 2010.



Si l'on compare les concentrations observées pendant la crue à des prélèvements de MES effectués au cours des dernières décennies sur l'axe Seine et dans le bassin de l'Orge, les échantillons de crue présentent des concentrations dans la gamme basse pour l'axe Seine. Ainsi, les laisses collectées dans Paris et à Bouafle (aval du bassin) lors de la crue présentent des teneurs nettement inférieures à celles mesurées lors d'études datant de 1994 à 2000 (Tableau 3).

Les facteurs d'enrichissement (FE) sont des rapports normalisés au bruit de fond naturel de la Seine mesuré

dans des sédiments datés de plusieurs millénaires (Fascicule PIREN-Seine #7 : *Les métaux dans le bassin de la Seine*). Ils sont utilisés pour comparer entre elles les teneurs obtenues pour différents métaux (Figure 28). Ces FE, notamment pour les métaux les plus caractéristiques de l'anthropisation (Zn, Cu, Cd, Pb et Hg), sont les plus élevés dans les bassins du Loing et de l'Orge (avec une valeur de 18 qui correspond à une pollution extrême sur le Loing), puis sur l'axe fluvial à l'aval de Paris, puis à la traversée de l'agglomération parisienne (niveau de pollution modéré).

	Zn	Cu	Cd	Pb	Hg
Paris (1994-2000)	280	69	1,0	110	0,39
Paris (Juin 2016)	188	33	0,3	51	0,21
Poses (1994-2000)	350	83	1,9	110	0,58
Poses (Juin 2016)	198	41	1,2	53	0,33
Bruit de fond	60	15	0,22	20	0,03

Tableau 3 : Comparaison des teneurs en Zn, Cu, Cd, Pb et Hg (mg.kg⁻¹ en poids sec) mesurées dans des laisses collectées entre 1994 et 2000 (valeurs médianes présentées ici) et lors de la crue de la Seine en juin 2016.

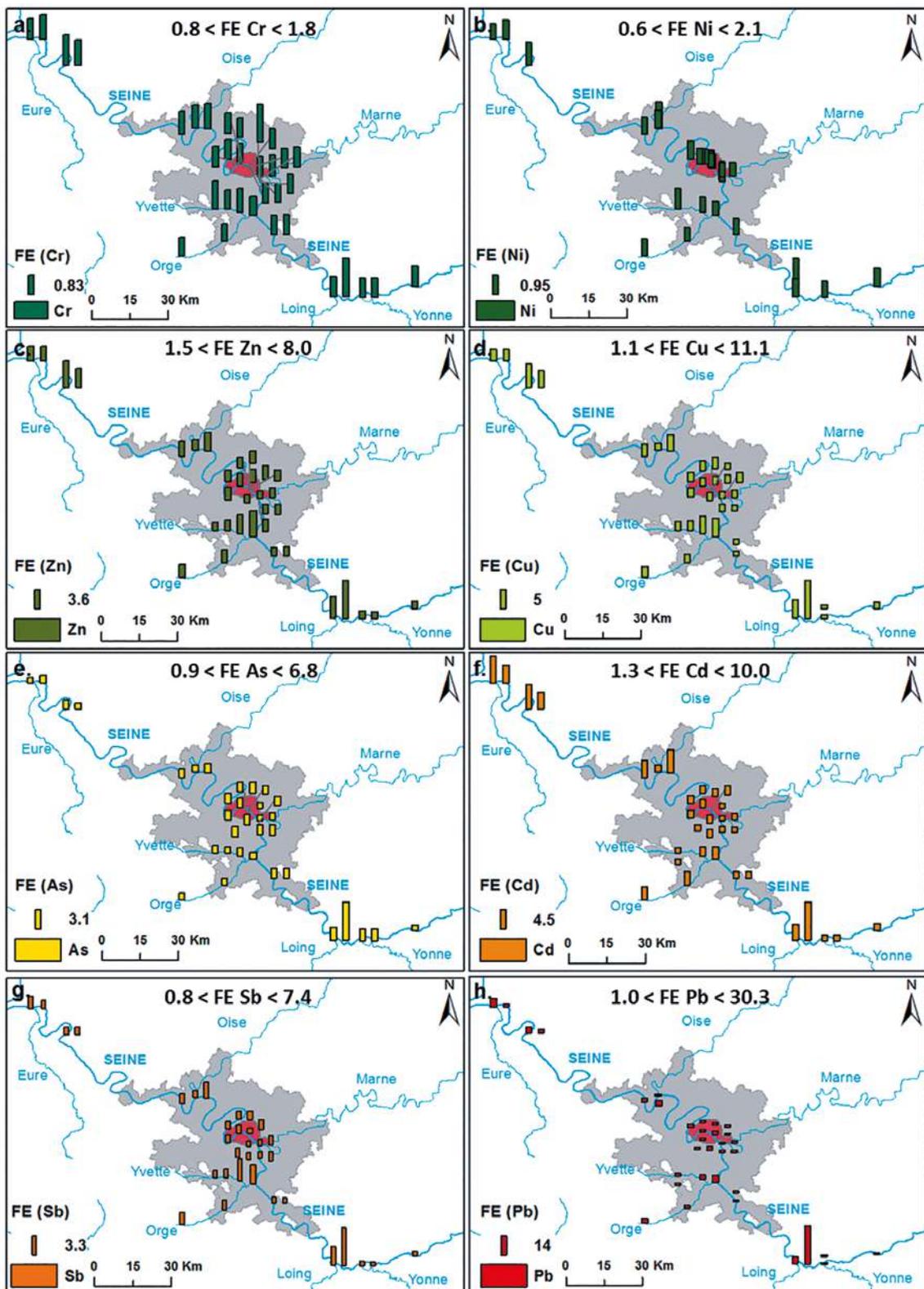


Figure 28 : Facteur d'enrichissement (FE) pour Cr, Ni, Zn, Cu, As, Cd, Sb et Pb estimés pour les laisses de la Seine et de ses affluents. Les FE sont calculés à partir d'une normalisation au Thorium (Th). Lorsque deux laisses ont été collectées pour une même localisation, les FE des deux laisses sont présentés côte à côte. $FE < 1$ se traduit par un enrichissement ou une pollution minimale en l'élément considéré, $2 < FE < 5$ se traduit par une pollution modérée, $5 < FE < 20$ se traduit par une pollution significative, $20 < FE < 40$ se traduit par une forte pollution, $FE > 40$ se traduit par une pollution extrême.

Certains affluents peuvent montrer des contaminations particulièrement élevées qui pourraient être dues à des sources particulières. Le Loing présente des teneurs élevées pour de nombreux métaux dont le plomb et l'antimoine (deux métaux « urbains »), particulièrement enrichis. L'Eure présente une contamination significative en plomb. L'Orge présente des teneurs élevées comparées aux autres laisses, pour Zn, Cu et Pb, mais qui restent dans l'ordre de grandeur des teneurs mesurées dans ce même bassin en 2009-2010.

Les isotopes stables du plomb peuvent être d'un grand secours pour comprendre en quoi un signal métallique pourrait être spécifique d'un type de contamination. Les résultats que nous avons obtenus, illustrés par le rapport $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (Figure 29), montrent que tous les échantillons appartiennent au même ensemble, correspondant au mélange, avec une contribution plus ou moins forte, de deux sources : la source urbaine et la source naturelle. Seul l'échantillon de Lery (Eure) sort de cet ensemble du fait d'une contamination provenant probablement d'un site industriel spécifique.

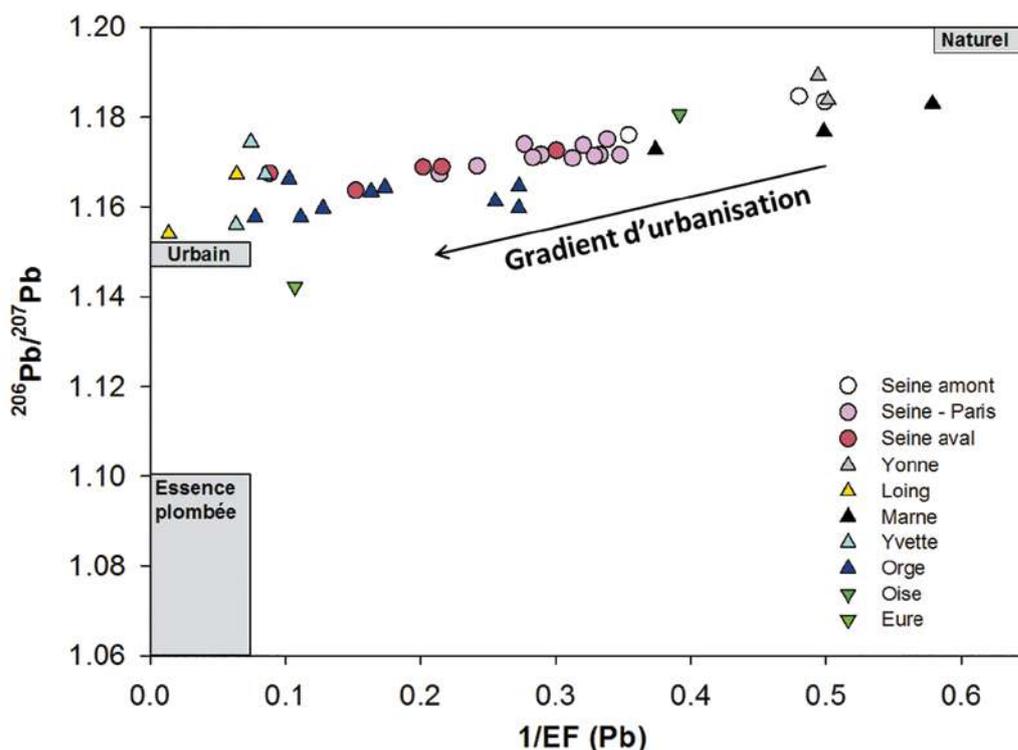


Figure 29 : Variations du rapport $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ selon le rapport $1/\text{EF}$ (Pb normalisé à Th) pour les laisses de la Seine et de ses affluents.

Les trois sources de Pb sur le bassin de la Seine sont représentées : le Pb naturel (d'après Elbaz-Poulichet et al. 1986), le Pb urbain (d'après Ayrault et al., 2012) et le Pb essence (d'après Véron et al., 1999). Les rapports $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ sont utilisés pour distinguer les différentes sources de plomb (Ayrault et al., 2012). La représentation des variations du rapport $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ des laisses en fonction de l'inverse du facteur d'enrichissement en plomb ($1/\text{EF}(\text{Pb})$) permet de s'affranchir de l'effet granulométrique et de pouvoir comparer directement les rapports mesurés dans les différentes laisses. A l'exception de la laisse de l'Eure, l'ensemble des signatures des laisses sont réparties le long d'une droite entre les pôles naturel et urbain, selon un gradient amont-aval. L'analyse de l'isotopie du plomb montre une signature typique de plomb urbain pour les sites les plus contaminés, en particulier le Loing. Sur l'Eure, la signature isotopique montre l'existence d'une contribution spécifique qu'on peut corrélérer à l'existence d'une ancienne usine de verre au plomb sur ce sous-bassin, usine dont l'impact spécifique a déjà été montré.



4. Les contaminants organiques persistants

Mis à part les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), l'ensemble des contaminants organiques persistants présentent des chroniques contenant de nombreuses mesures inférieures aux limites de quantification, notamment à la station aval de Poses. Pour les PBDE, les PCB, et les perfluorés, il n'est ainsi pas possible de conclure quant à un effet de la crue. Il faudra pour cela s'appuyer sur les résultats obtenus par les analyses de laisses de crue. Quant aux phtalates et alkylphénols, les concentrations semblent assez stables tout au long du début de l'année 2016. Pour les alkylphénols, ces niveaux de concentration sont similaires à ceux reportés par Cladière *et al.* (2014, 2016).

Finalement les teneurs en HAP mesurées dans l'eau augmentent pendant la crue et aussi d'amont en aval de l'agglomération parisienne. Cependant, ces teneurs sont habituelles en période de crue, et n'excèdent pas celles observées pendant l'épisode de février 2016, qui était une crue hivernale. Il est néanmoins à noter que la norme de potabilité des eaux est systématiquement dépassée lors d'évènements hydrologiques en Seine sans pour autant menacer la potabilisation des eaux brutes par les stations de traitement.

En aval de la Seine, les HAP ont été suivis à travers 20 paramètres lors des campagnes de juin 2016. Une légère hausse des concentrations sur les stations amont de l'estuaire peut être observée pour quelques HAP (Pyrène, Fluoranthène, Benzo(g,hi)Pyrène, Benzo(a)Pyrène, Benzo(a)Anthracène), tout en restant dans les gammes de valeurs classiquement mesurées (Figure 30). A noter que 8 substances parmi les 20 recherchées n'ont jamais été détectées, ou à des concentrations de l'ordre de la limite de détection.

Contaminants organiques dans les laisses de crue :

Les niveaux de contamination par les micropolluants organiques ne sont pas très élevés contrairement à ce qu'on aurait pu craindre étant donné l'inondation de secteurs urbanisés et les risques de contamination qui en résultent. Nous les avons comparés avec des données issues d'une base constituée récemment (Briand *et al.*, 2016). Elle porte sur la mesure des concentrations dans des matières en suspension collectées au cours des dix dernières années, principalement le long de l'axe Seine depuis sa confluence avec l'Aube jusqu'à Poses et dans une moindre mesure dans les deux sous-bassins versants particulièrement étudiés par le PIREN-Seine, le Grand Morin et l'Orge.

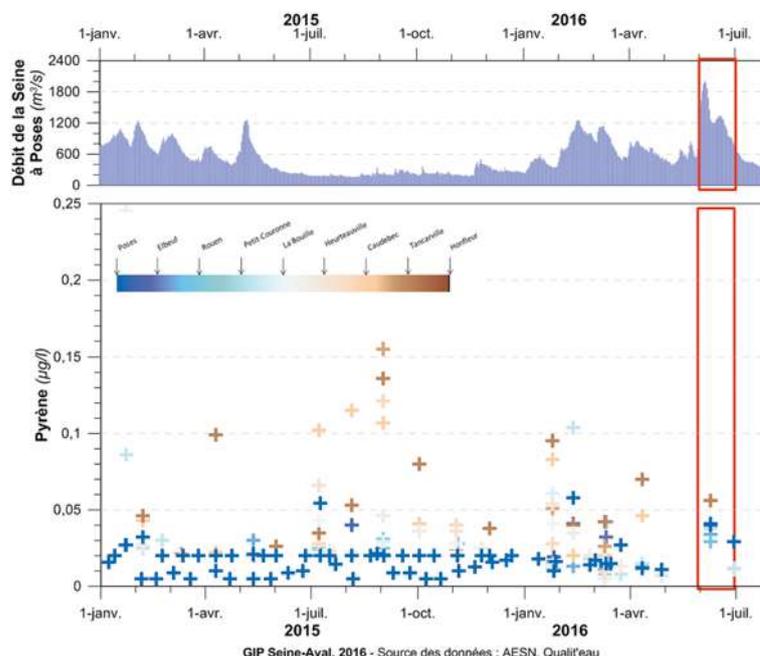


Figure 30 : Pyrène dans les eaux de l'estuaire de la Seine.

La confrontation de ces données montre que, globalement, aucune des familles de contaminants mesurés dans les laisses de crue n'est spécialement élevée en regard de ce qu'on observe dans des circonstances hydrologiques normales, sauf pour quelques points particuliers.

La distribution des concentrations des hydrocarbures suivis (HAP) est dans la fourchette haute de la distribution observée dans les MES de la Seine au cours des dix dernières années, et supérieure aux teneurs observées dans les sédiments du fleuve (Figure 31). Dans l'axe Seine, les teneurs sont élevées dans un secteur qui va de l'agglomération parisienne à l'estuaire. On note aussi que les teneurs de Benzo(a)Pyrène (BaP) mesurées dans les laisses de crue de la Seine à l'aval de Paris sont nettement plus concentrées que dans les sédiments de l'estuaire prélevés sur les banquettes latérales (environ 1 µg/g contre 0,1 à 0,2 µg/g, Figure 32), ce qui témoigne d'un enrichissement probable en ces composés au moment de la crue en comparaison de l'apport moyen annuel que représentent les sédiments de l'estuaire. Enfin, le fait que la concentration la plus nettement élevée de la série des laisses de crue (plus de 30 µg/g de HAP totaux) ait été obtenue dans le bassin du Loing qui a subi la crue la plus exceptionnelle, mérite d'être noté.

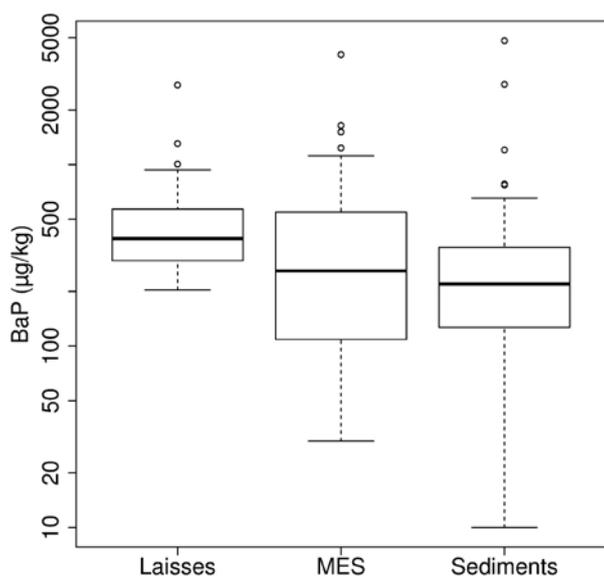


Figure 31 : Distribution des teneurs en BaP dans les laisses de la crue de juin 2016 et dans les suspensions de l'axe Seine au cours des dix dernières années et dans les sédiments du bassin en 2015 (en µg/g de matière sèche). Le Benzo(a)Pyrène (BaP) est choisi comme HAP emblématique. C'est aussi ce composé qui est choisi dans le cadre de la DCE pour définir les NQE pour les HAP les plus lourds.



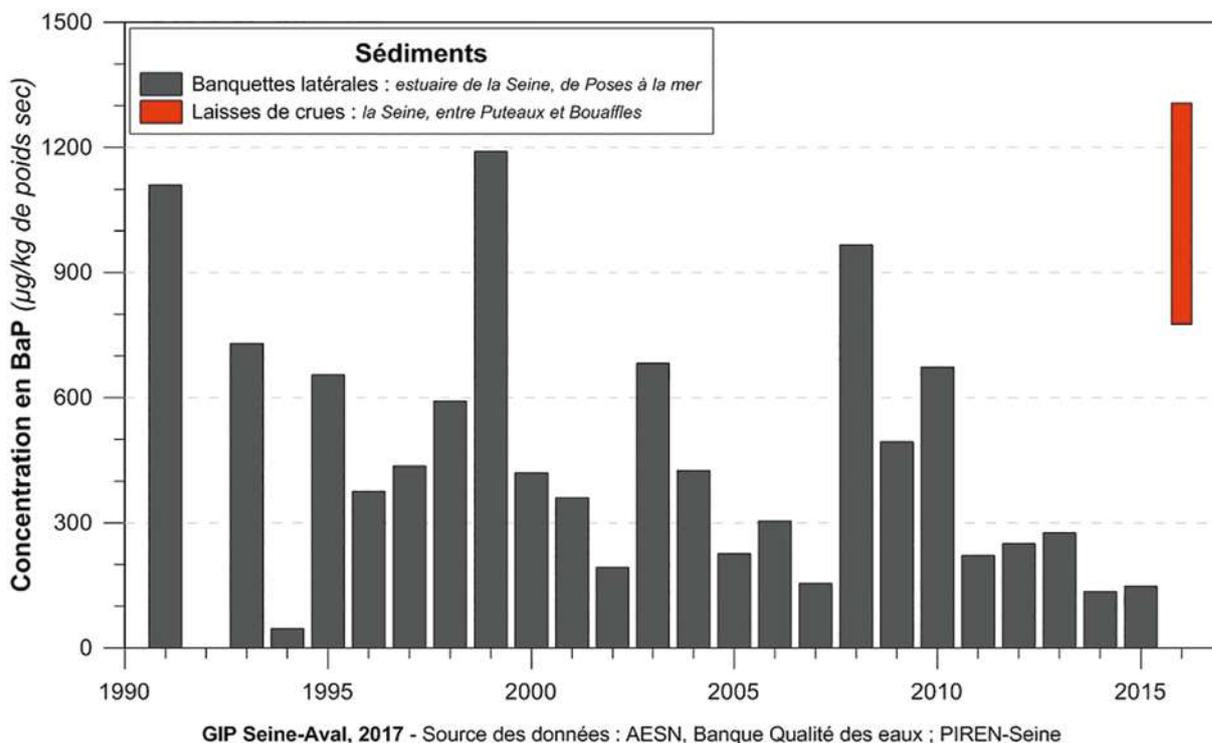


Figure 32 : Contamination moyenne par le BaP dans les sédiments collectés sur les banquettes de l'estuaire comparée aux apports par la crue.

Pour une autre famille de contaminants historiques que sont les PCB, les teneurs observées durant la crue (i.e. laisses de crue) sont supérieures aux valeurs mesurées dans les sédiments de surface de l'estuaire de la Seine lors des dix dernières années (Figure 33), dans l'ordre de grandeur de celles mesurées dans les années 1995-2005, mais bien inférieures à celles antérieures (Figure 34). Ceci montre la tendance à la baisse de la contamination en PCB depuis une vingtaine d'années, même si la crue a pu remobiliser des sources résiduelles.

Les alkylphénols, ici représentés par le nonylphénol, ne montrent pas de tendance amont-aval. Le point le plus marquant est leur niveau extrêmement faible par rapport aux données antérieures (Figure 35). Comme les PCB, leurs usages ont été très sévèrement restreints au cours de la dernière décennie : on peut voir dans cette forte diminution une conséquence très positive des politiques menées. Les données de phtalates ne montrent pas de tendance spatiale. Le DEHP est le produit le plus concentré avec deux valeurs beaucoup plus élevées que les autres, dépassant 10 µg/g à l'aval de Paris et à Egly (bassin de l'Orge).

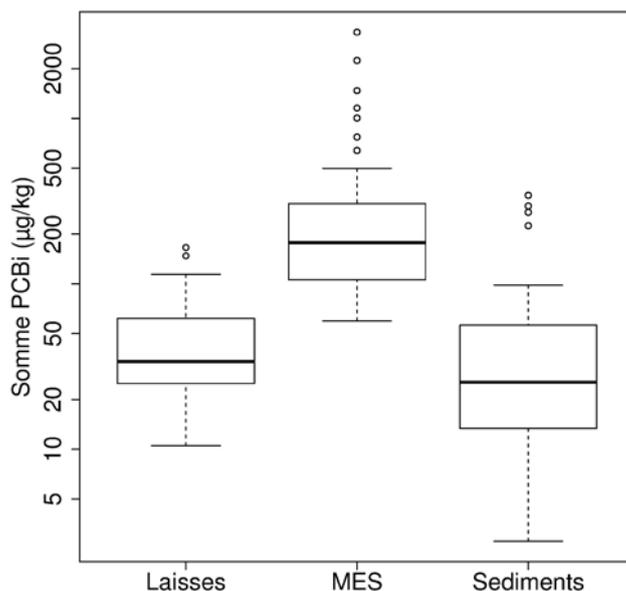


Figure 33 : Distribution des teneurs en PCB dans les laisses de la crue et dans les suspensions de la Seine des dix dernières années (en µg/g de matière sèche). Échelle logarithmique.

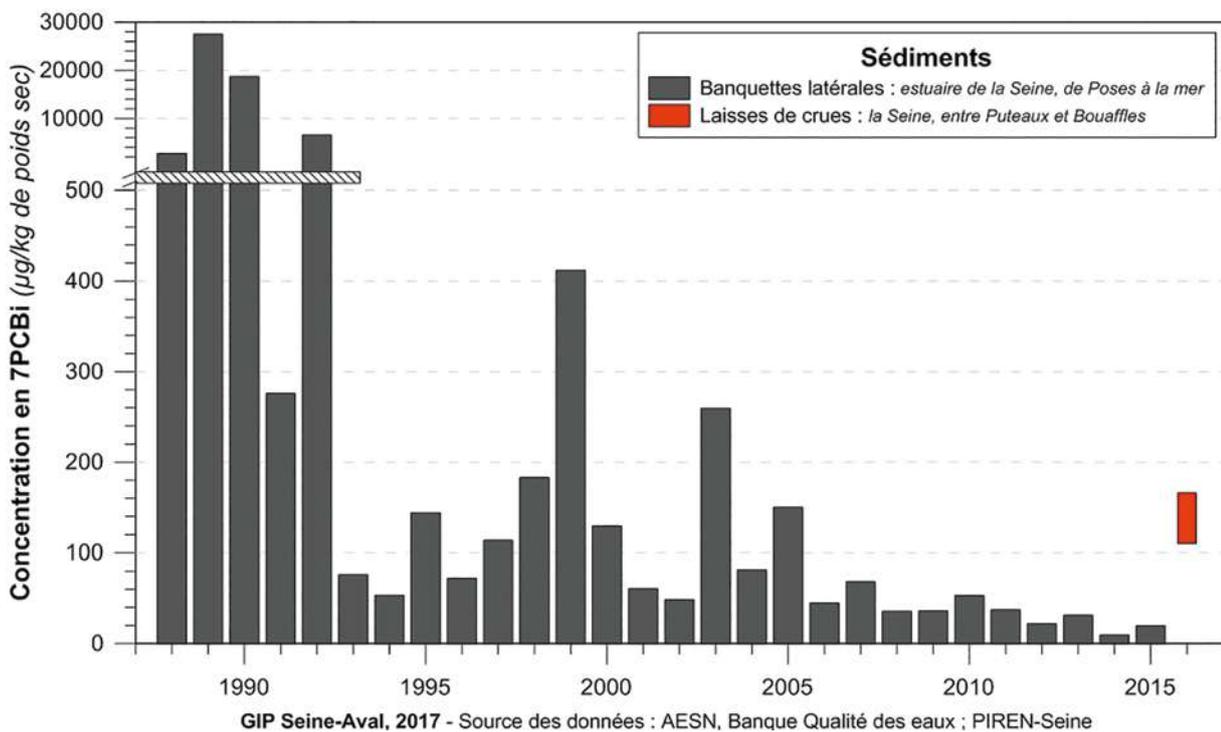


Figure 34 : Évolution des PCB indicateurs dans les sédiments collectés sur les banquettes latérales dans l'estuaire de la Seine. La barre horizontale hachurée indique un changement d'échelle.

Les analyses ont porté sur les six PBDE qui font l'objet d'une norme dans le cadre de la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE) et sur le BDE-209, beaucoup moins mobile et donc a priori moins biodisponible mais qui s'avère beaucoup plus concentré dans les sédiments. Les concentrations des différents produits sont bien corrélées entre elles. A l'issue de la crue, les teneurs les plus faibles dans les laisses de crue ont été observées dans les bassins amont (Yonne, Loing, Seine-amont, Orge). Elles augmentent sur l'axe Seine, y compris deux échantillons aux concentrations plus marquées. Les teneurs observées au cours de la crue à la traversée de Paris sont nettement inférieures à celles qui avaient été observées dans les MES de la Seine dans la région parisienne au cours de la période 2008-2009 qui avait fait l'objet d'un suivi annuel (9 ng/g en moyenne pour les six PBDE de la norme, alors que les laisses de crue du mois de juin 2016 pour le même secteur ne présentent des concentrations que de 1,4 ng/g en moyenne).

La dernière famille pour laquelle des bilans de contamination sont disponibles est celle des composés perfluoroalkylés. Pour cette famille, peu de références sont disponibles car ces composés sont suivis depuis peu

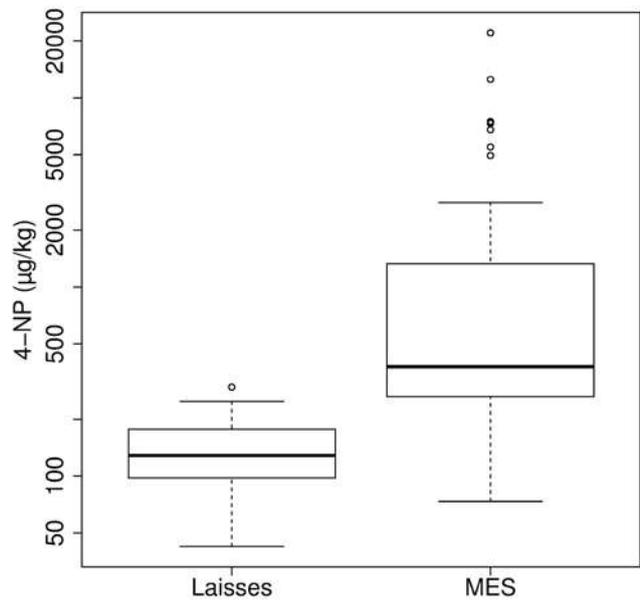


Figure 35 : Distribution du nonylphénol dans les laisses de crue et les MES de la Seine des dix dernières années. Échelle logarithmique.

de temps dans notre environnement (depuis 2010 par le PIREN-Seine par exemple). En valeur médiane, le niveau de contamination est de 50% supérieur aux relevés du suivi national récemment porté par l'Agence française pour la biodiversité, mais il est très comparable à ce que nous avons observé à la traversée de l'agglomération parisienne au cours des dernières années. Le composé majoritaire dans tous les échantillons analysés est le PFOS, qui est réglementé par une des directives filles de la DCE. Il n'est pas possible de mettre en évidence de tendance spatiale dans les niveaux de contamination. Les trois valeurs les plus élevées (> 5 ng/g) semblent distribuées assez aléatoirement (Seine amont à Bray, Yvette à Lonjumeau, Eure à Léry) et sont marquées par la présence d'un autre composé (le PFNA) habituellement minoritaire. Des sources locales en sont donc probablement l'origine.

Sur la base de nos analyses, aucun impact de la crue généralisé à tout le bassin ne peut donc être mis en évidence par l'analyse de la qualité des laisses de crue, les concentrations médianes étant comparables ou nettement inférieures aux données de référence disponibles. Du point de vue de la DCE, il n'existe pas de NQE (norme de qualité environnementale) pour les sédiments. Cependant, à partir des ordres de grandeur des concentrations de MES mesurées dans les cours d'eau au moment de la crue (typiquement 200 mg/L) et des teneurs observées dans les laisses, nous pouvons reconstituer des concentrations totales en suspension dans l'eau (Tableau 4) et les comparer aux NQE existantes pour des contaminants représentatifs de ces familles. En période de crue, avec une forte charge de matières en suspension, il convient de souligner que la fraction strictement dissoute est probablement inférieure à la concentration liée aux MES pour les contaminants étudiés.

Les estimations de concentrations en nonylphénol, en PFOS et pour la somme des PBDE dans la colonne d'eau sont très éloignées de la concentration maximale admissible (CMA) à laquelle il est légitime de comparer les teneurs estimées dans une telle situation hydrologique exceptionnelle. Elles sont aussi inférieures ou comparables aux NQE à utiliser en moyenne annuelle (NQE-MA). Les valeurs maximales de DEHP par contre sont supérieures aux NQE à respecter en moyenne annuelle, mais il n'existe pas de concentration maximale admissible pour ce composé, la comparaison qui serait la plus pertinente n'est donc pas possible. Pour les HAP, et en particulier les plus lourds comme le BaP, la situation est problématique vis-à-vis des NQE, mais c'est un problème qui n'est pas particulier à cette crue.

A l'intérieur de cet ensemble de données, qu'on pourrait qualifier de relativement conforme aux teneurs usuellement rencontrées dans le bassin de la Seine, les secteurs de contamination les plus élevés sont l'axe Seine pour les HAP et les PCB, le Loing pour les HAP où se trouve le point le plus contaminé du bassin, et quelques sites disséminés pour les composés perfluoroalkylés, sites pour lesquels des sources locales sont suspectées. Dans le cas du Loing, dans la mesure où l'origine des laisses de crue révèle que les HAP mesurés sont une contamination ancienne, il est possible que la crue très exceptionnelle de juin 2016 ait lessivé des terrains qui ne l'avaient pas été depuis fort longtemps, ou qu'elle ait purgé des sédiments anciens, ce qui pourrait expliquer une charge particulière. Parmi les familles étudiées, les HAP sont la seule pour laquelle une augmentation, certes modérée, est décelable dans les sédiments déposés par la crue, dans la vallée de la Seine à l'aval de l'agglomération parisienne et dans le bassin du Loing.

	Concentration particulière dans l'eau pour 200 mg/L de MES	NQE-MA (moyenne annuelle)	NQE-CMA (concentration maximale admissible)
BaP (HAP)	0,5 µg/L	0,00017 µg/L	0,27 µg/L
Fluoranthène (HAP)	1 µg/L	0,0063 µg/L	0,12 µg/L
Nonylphénol (alkylphénol)	0,06 µg/L	0,3 µg/L	2 µg/L
PFOS (composé perfluoroalkylé)	0,7 ng/L	0,65 ng/L	36000 ng/L
PBDE (diphényles éther bromés)	0,7 ng/L	-	140 ng/L
DEHP (phtalate)	4,9 µg/L	1,3 µg/L	-

Tableau 4 : Estimation des concentrations totales particulières dans les eaux charriées au cours de la crue, avec une hypothèse de concentration en MES de 200 mg/L. Les estimations ont été faites à partir des concentrations maximales mesurées sur les laisses de crue du bassin pour chacun des contaminants.

Les hydrocarbures : une pollution visible mais évitable

« Au dessus du Pont de Nemours, malgré les débits importants, cela sentait les hydrocarbures comme dans une raffinerie ! »

« On se retrouve confronté à des impacts que l'on n'avait jamais vu, des plantes, des arbres, des murs qui sont noirs de mazout. »

« Les investigations sur les origines des pollutions demandent un gros travail de terrain. Il y a des secteurs où on ne comprend pas, parfois on a dû faire appel à des retraités de la mairie qui connaissent bien le territoire. »

« Le Cedre et le SDIS 77 ont un partenariat de longue date, ce qui a facilité la prise en charge des pollutions HAP. Les pompiers étaient formés et bien au fait des problématiques liées à ce type de pollution. »

Si les teneurs en hydrocarbures sont à peine plus élevées que la normale dans l'eau des grands axes et les laisses de crue, cette pollution a particulièrement marqué les habitants et les territoires touchés par l'évènement.

Il s'agit en effet d'une pollution concrètement perceptible, par tous, en premier lieu via l'odeur forte qui imprègne les bâtiments, les jardins, les abords des cours d'eau et les rues inondées. L'irisation de l'eau, parfois très visible, la rend également facilement détectable, ce qui a pu permettre, dans certains secteurs, un premier repérage des sources de pollution. Enfin, les dépôts d'hydrocarbures, notamment dans les jardins, les habitations, les caves, constituent des traces manifestes de la pollution. Ils entraînent un travail de nettoyage important et participent à alimenter un sentiment d'angoisse sur les perspectives de retour à la normale pour les populations directement concernées.

La pollution aux hydrocarbures a été détectée dans la plupart des territoires touchés par la crue. Elle n'est cependant pas uniforme : on retrouve une diversité de polluants — fioul domestique, huile de vidange, huile d'ascenseur, etc. — renvoyant à des compositions chimiques et des comportements dans l'eau différents, plus ou moins faciles et urgents à traiter. Cette diversité s'accompagne d'une multiplicité des sources de pollution qui peuvent être très dispersées et difficilement identifiables : cuves de particuliers anciennes ou encore en service, stations service et garage en activité ou à l'arrêt. Cela rend complexe la détermination de l'origine exacte de la pollution et, de fait, celle des responsabilités.

Malgré le caractère très courant de cette pollution pendant la crise, sa prise en charge a été très variable d'un territoire à l'autre. Certains territoires, comme la Seine-et-Marne ou l'Essonne, ont intégré cette problématique dès la phase de décrue, via une mobilisation des pompiers et des experts du Cedre. Les interventions ont consisté à agir le plus rapidement possible pendant que l'eau était encore présente afin de limiter les impacts sur les biens, la pollution des sols et les risques d'infiltration. La plupart des gestionnaires n'ont cependant pas bénéficié d'une telle organisation des secours et des experts pour prendre en charge cette pollution (bassin de l'Yvette, région de Montargis par exemple) et se sont retrouvés démunis pour faire face aux interpellations des populations. Cette pollution pourrait néanmoins être mieux anticipée par des mesures de prévention et de sensibilisation des particuliers et des professionnels. L'interdiction des cuves en zone inondable est présentée comme une mesure simple et efficace pour mieux la prévenir (même si sa mise en œuvre effective n'est pas exempte de difficultés).

5. Les produits pesticides

Les graphes relatifs aux pesticides présentent trois dynamiques. Le premier groupe ne présente pas de réactivité particulière à la crue. Sont concernés 2,4 D, la somme de six pesticides (glyphosates, AMPA, dinoterbe, chlortoluron, atrazine, diuron), et le métazachlore. Ce dernier, même s'il réagit peu à la crue, présente cependant des teneurs dans les eaux de la Seine de 0.015 µg/L, ce qui est préoccupant mis en regard de la NQE de 0.019 µg/L.

Les deux groupes suivants présentent une réactivité marquée pendant la crue. Le premier sous-groupe ne présente qu'un pic de concentration après la crue de printemps alors qu'en hiver aucune réactivité n'est observée vis-à-vis des événements hydrologiques. Il s'agit certainement d'un phénomène de lessivage des traitements de printemps. Associé au pic de crue, un phénomène probable de désorption lente des pesticides contenus dans les sols est également observable pendant une durée d'environ un mois après le pic de crue, maintenant des concentrations assez élevées dans les eaux de surface (Figure 36). Les pesticides concernés par ce phénomène sont : diméthénamide (pic à 0.1 µg/L), éthofumésate (pic à 0.05 µg/L), métamitron (pic à 0.1 µg/L), métolachlore (pic à 0.3 µg/L), nicosulfuron (pic à 0.035 µg/L qui atteint la NQE de 0.035 µg/L).

Les trois derniers pesticides étudiés se distinguent du sous-groupe précédent par le fait que des pics hivernaux sont aussi observables pour ces molécules. La désorption post-crue de printemps est parfois un peu plus rapide, et quasiment inexistante lors des événements hivernaux, ce qui est cohérent avec l'ampleur de la crue observée en mai-juin 2016 qui a largement contribué à saturer les sols. Les pesticides appartenant à ce dernier groupe sont : boscalid (pic à 0.035 µg/L), diflufénicanil (pic 0.015 µg/L), imidaclopride (pic à 0.02 µg/L, un ordre de grandeur sous la NQE à 0.2 µg/L).

L'analyse des données dans l'estuaire de la Seine indique que seuls 10% de ces substances ont été détectés à au moins une reprise lors des campagnes de juin 2016. Des pics réguliers de pesticides sont généralement observés lors d'événements hydrologiques printaniers. Si les valeurs de ces pics de concentrations sont proches de celles observées lors de la crue de mai-juin 2016, l'intensité de l'évènement font que les flux de matières vers l'estuaire sont beaucoup plus importants que les années précédentes. Quelques hausses de concentrations semblant être reliées à la crue sont également observées pour diverses substances actives herbicides, fongicides ou insecticides (Tableau 5 ; Figure 37). Ces hausses pourraient être liées à un apport par ruissellement sur les zones de cultures utilisant ces substances.

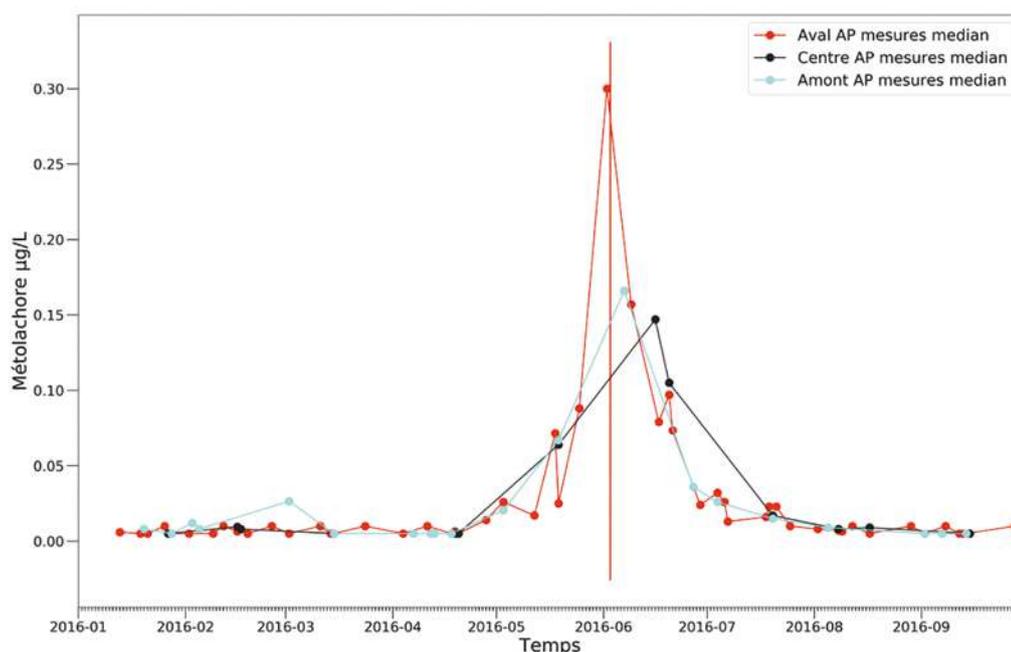


Figure 36 : Concentrations médianes en métolachlore dans les eaux de la Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

Substance	Famille	Usage principal	Cultures concernées	Concentration maximale mesurée (juin 2016)
2,4-D	Phénoxyacides	Herbicide, Régulateur de croissance	Fruits, grandes cultures, légumes	0.068µg/l
Diméthénamide	Organochloré	Herbicide	Grandes cultures	0.153µg/l
Ethofumésate	Benzofurane	Herbicide	Grandes cultures, légumes	0.031µg/l
Métamitron	Triazine	Herbicide	Grandes cultures, légumes	0.032µg/l
Métolachore	Acétamide	Herbicide	Grandes cultures	0.331µg/l
Nicosulfuron	Urée	Herbicide	Grandes cultures	0.091µg/l
Boscalid	Amide	Fongicide	Légumes, grandes cultures, vigne	0.027µg/l
Imidaclopride	Néonicotinoïde	Insecticide	Fruits	0.038µg/l

Tableau 5 : Principaux produits pesticides présentant des concentrations à la hausse durant l'évènement de juin 2016.

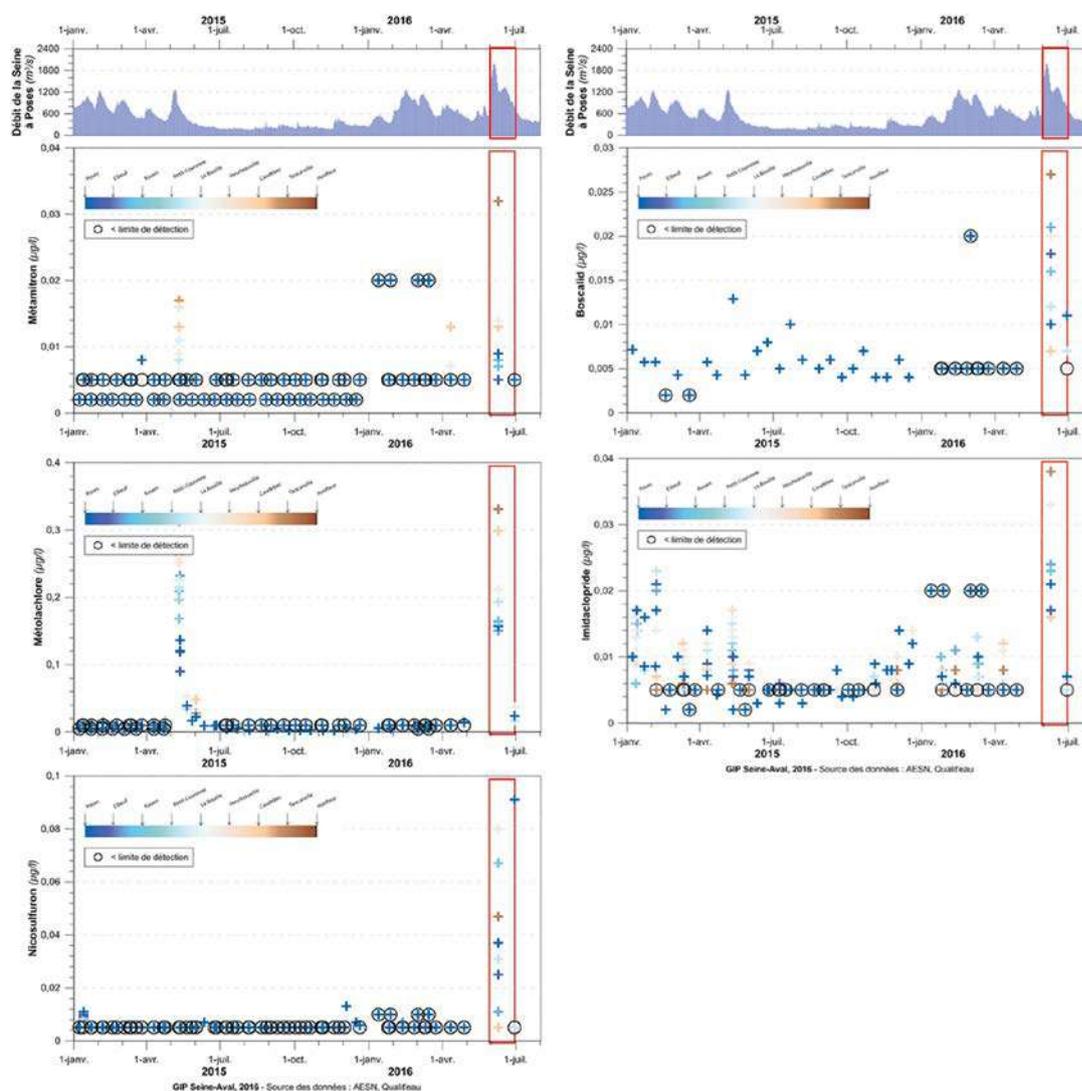


Figure 37 : Herbicides fongicide et insecticide dans les eaux de l'estuaire de la Seine.

Des pollutions orphelines

« On a observé énormément de bidons de pesticides qui étaient vides ou à moitié vides, qui flottaient encore entre deux eaux et qui laissaient supposer que tout cela s'était répandu dans un joyeux mélange. »

« On repère les déversements d'eaux usées par la présence des lingettes. Ce sont des quantités impressionnantes qui transitent par les gros émissaires. Qu'advient-il de toutes ces lingettes déversées dans le milieu ? Est-ce que le fond de la rivière est tapissé de lingettes ? »

A l'inverse des pollutions aux hydrocarbures, rapidement détectées sur le terrain, un certain nombre de pollutions souvent solubles dans l'eau, comme les pesticides, sont peu visibles directement et difficiles à diagnostiquer. Elles sont par ailleurs peu mesurées, notamment faute de savoir que rechercher précisément.

Pour autant, leur présence est fortement suspectée par les acteurs de terrain qui observent de nombreux indices attestant de leur réalité sans pour autant qu'il soit possible de déterminer leur nature précise, leur ampleur et leurs impacts sur les milieux : contenants de produits de bricolage ou de jardinage flottants ou retrouvés vides lors de la phase de nettoyage, haies détériorées après le passage de la crue...

Un autre type de pollution des milieux, provenant elle aussi des particuliers, suscite des interrogations quant au devenir et à l'impact sur les milieux. Il s'agit des lingettes retrouvées par endroit en quantité non négligeable. Cette pollution se retrouve dans les milieux via les dysfonctionnements des réseaux d'assainissement.

Face à ces pollutions, une certaine impuissance est exprimée par les gestionnaires. Le caractère dispersé des sources de pollution (bidons des particuliers) ou de la pollution elle-même (lingettes), l'absence de perception directe de la pollution quand elle est soluble, rendent difficiles le diagnostic et la prise en charge. La rémanence dans l'environnement de ces pollutions est par ailleurs mal appréhendée et constitue une source d'inquiétude. Quoi qu'il en soit, ces constats interpellent aussi bien les usagers quant à leurs pratiques que les pouvoirs publics, responsables de la prise en charge de ces pollutions.

6. Les produits pharmaceutiques

Du fait du peu de données, et de nombreuses mesures inférieures à la limite de quantification, les chroniques relatives à l'ibuprofène ne sont pas exploitables. Pour ce qui concerne le paracétamol, aucun pic significatif n'apparaît en juin 2016 en Seine. Pour les affluents, le peu de données disponibles n'indique aucune tendance particulière. En estuaire cependant, dix-huit substances ont été détectées, à des teneurs du même ordre de grandeur

que celles mesurées lors des campagnes scientifiques précédentes (Budzinski *et al.*, 2012). Parmi ces substances, le paracétamol présente des concentrations plus élevées lors de l'épisode de juin 2016 en comparaison des six mois précédents. Sa présence dans les eaux est associée au rejet d'effluents mal ou pas traités (saturation des ouvrages de traitement). La présence de métabolites de l'ibuprofène (Carboxy Ibuprofen, 1-Hydroxy Ibuprofen, 2-Hydroxy Ibuprofen) semble également reliée aux phénomènes de crue (Figure 38).

7. La contamination fécale

Le dernier jeu de données étudié concerne la bactériologie et plus spécifiquement *Escherichia coli*. Si les rejets de temps de pluie rendent fréquemment les eaux de la Seine impropres à la baignade, la crue de juin 2016 les a quasiment rendu impropres à la potabilisation (valeur guide à 20 000 NPP/100 mL, Figure 39), et ce dès l'amont de l'agglomération parisienne. Pour la Marne, où des données similaires sont disponibles, le phénomène est plus contenu.

En estuaire de Seine, plusieurs campagnes ponctuelles dédiées à l'évaluation de la qualité microbiologique des eaux de l'estuaire de la Seine ont été menées en juin 2016 en différents points de l'estuaire de la Seine : les 5-6-7 juin (Petit et Berthe, 2016), et les 9 et 29 juin (AESN). Les analyses ont consisté en un dénombrement d'*Escherichia coli* et *Enterococcus*. Les abondances les plus élevées en *Escherichia coli* et *Enterococcus* sont observées lors de la première campagne (débits les plus élevés), quel que soit

le site (sauf pour les *Enterococcus* à La Bouille). Elles sont globalement dans la fourchette haute des valeurs observées ces cinq dernières années, sans pour autant être très élevées (les valeurs sont comprises entre la moyenne et le percentile 90). Les mesures réalisées lors de la descente de crue (campagnes du 9 et du 29 juin) présentent des abondances plus faibles, inférieures à la moyenne des mesures des cinq dernières années (Figure 40).

Lors de l'évènement de juin 2016, les campagnes ponctuelles n'ont pas permis de mettre en évidence une hausse de la contamination microbiologique de l'eau de l'estuaire de Seine par les indicateurs bactériens de contamination fécale. Ces résultats s'expliquent probablement par un effet de dilution des masses d'eaux, notamment en fin de crue. Le pic de contamination microbiologique, s'il y en a un, doit se situer en début de crue, du fait du lessivage des sols et des by-pass des stations d'épuration urbaines (Petit et Berthe, 2016). Cette période, antérieure au 5 juin, n'est pas couverte par les campagnes menées.

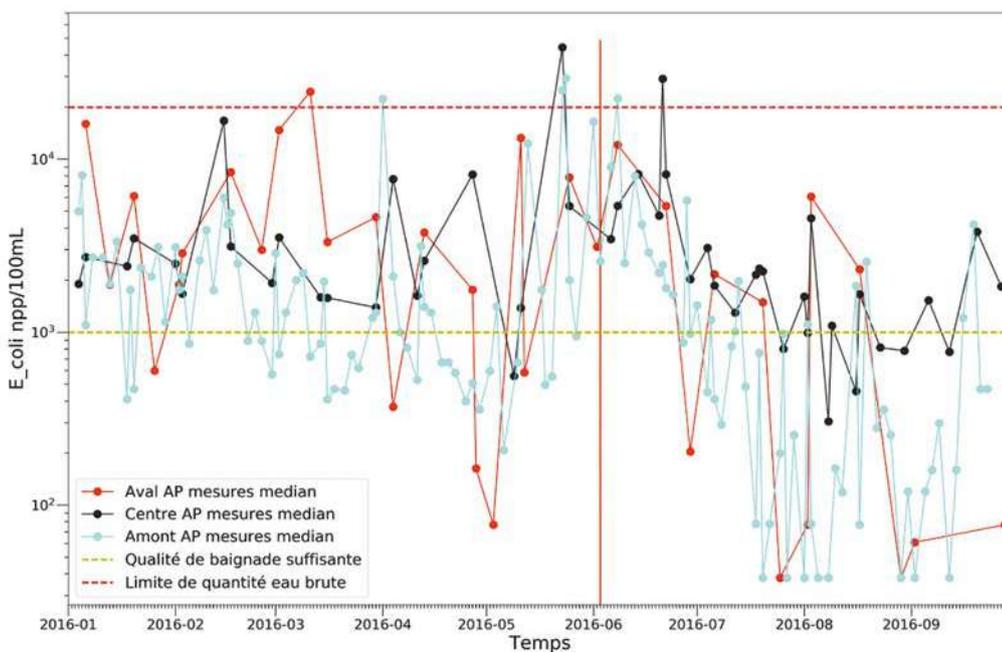


Figure 39 : Teneurs médianes en *Escherichia coli* (pour 100 mL) dans les eaux de la Seine. AP : Agglomération parisienne. Le trait rouge marque le pic de crue à la station de Paris Austerlitz.

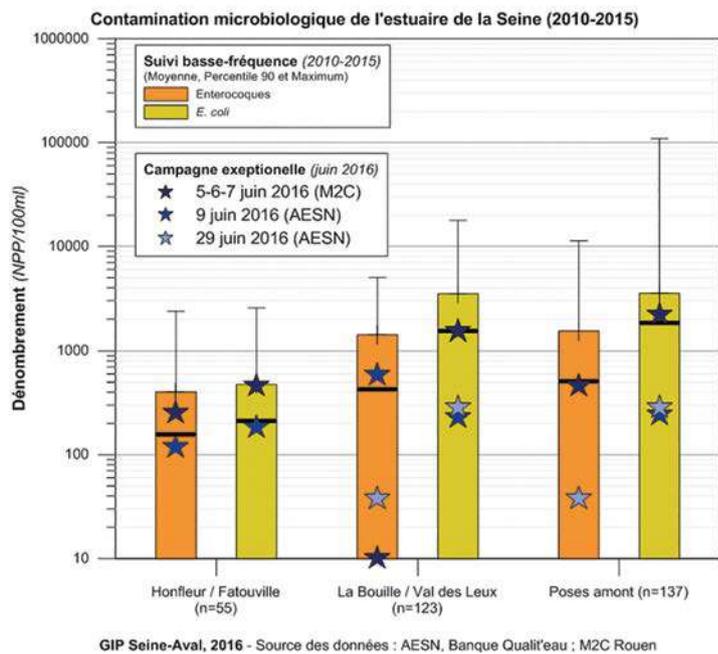


Figure 40 : Contamination microbologique de l'estuaire de la Seine.



Des milieux jugés globalement résilients et bénéficiaires de la crue, malgré un risque accru de contamination accidentelle

« Il y a eu une réponse du milieu assez impressionnante : c'est comme si on avait tout passé à la machine à laver pendant une semaine, et qu'au printemps suivant, la nature était repartie. »

« C'est assez violent sur le fonctionnement d'un écosystème aquatique, surtout en cette saison, fin mai-début juin, cela a forcément un impact négatif à cette période-là. »

« Sur le plus long terme, les conséquences sont quasiment neutres pour les écosystèmes. On n'a pas constaté, un an après, de baisse significative des effectifs d'espèces d'oiseaux ni d'espèces d'insectes, ni de dégradation des milieux naturels. (...) Les crues font partie du fonctionnement normal d'une zone alluviale. »

« La crue crée des zones d'érosion qui ont été très bénéfiques pour des espèces d'oiseaux comme le martin pêcheur ou les hirondelles de rivage qui ont pu retrouver des sites de reproduction naturelle. Elle a remis les "compteurs à zéro" sur certains zones de hauts fonds et d'îles sableuses qui ont été colonisées par des espèces d'oiseaux des espèces végétales qui ont besoin de milieux pionniers. C'est très bénéfique. »

Spontanément, la crue de 2016 est présentée comme un événement violent pour les milieux naturels, accru par son déroulement à la fin du printemps : forte mortalité piscicole, destruction de la reproduction en cours de la faune et de la flore, etc. Cette perception est néanmoins rapidement nuancée dès lors que l'on s'intéresse aux conséquences à plus long terme de la crue sur les écosystèmes, souvent positives, tant pour la faune et la flore que pour le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau. La résilience des milieux naturels est pointée comme particulièrement remarquable, source de surprise pour un certain nombre de gestionnaires.

Dès le printemps suivant la crue, les populations piscicoles se sont reconstituées. Pour les poissons, un frai supplémentaire à l'automne a pu être observé. Le décolmatage d'un certain nombre de frayères a aussi favorisé la reproduction d'espèces comme la truite dont la reproduction a explosé. En outre, un rétablissement de la continuité écologique a été observé sur plusieurs secteurs, avec l'observation, pour la première fois, du hotu sur l'Yvette ou du barbeau sur certaines portions de rivières en Seine-et-Marne.

La crue a aussi occasionné des modifications morphologiques, avec la constitution de milieux pionniers (hauts fonds, îles sableuses) ou la remise en eau de certaines zones humides habituellement peu connectées à la rivière. La crue de 2016 est considérée comme morphogène sur de nombreux cours d'eau : reconnexion de bras morts, recharge en sédiments de certains zones, décolmatage du lit mineur et érosion latérale ont ainsi été observés, particulièrement sur le bassin versant du Loing. Les cours d'eau fortement recalibrés et rectilignes ont pu bénéficier de cette dynamique morphogène, à condition que la puissance de la rivière soit suffisante.

Les milieux naturels ne sortent cependant pas toujours indemnes de la crue, du fait des contaminations accidentelles provoquées. Même s'il est difficile de mesurer leur impact, les produits toxiques déversés dans les rivières (hydrocarbures, pesticides...) ont sans doute un effet sur la faune et la flore (à l'instar des poissons « grillés » par les hydrocarbures). En outre, la montée des eaux entraîne une mise en communication de différents cours d'eau, plans d'eau et canaux, ce qui peut favoriser la diffusion d'espèces invasives. Le Loing a ainsi subi un afflux massif de poissons-chats issus du canal d'Orléans.

« On a constaté un gain, plutôt positif pour le fonctionnement du cours d'eau. L'évolution peut être très impressionnante en fonction des secteurs. Des crues aussi importantes réactivent vraiment toute la dynamique du lit mineur mais aussi du lit majeur : d'anciens bras qui se remettent en connexion, d'autres qui se referment, des transferts de matériaux très importants. »

De même, la crue a généré un bouturage de plantes aquatiques invasives qui ont envahi massivement le canal du Loing. Ces conséquences de la crue sur les milieux aquatiques se traduisent parfois par un impact sur les usages liés à ces milieux : pêche rendue impossible ou moins attrayante, interdiction totale des pratiques de loisirs (arrêté municipal sur le lac Montalbot, fortement pollué par des rejets d'eaux usées).

Quelques questions restent néanmoins en suspens pour les gestionnaires. L'effet propre de la crue sur le long terme nécessite d'être étudié, afin de le distinguer d'éventuelles variations saisonnières ou annuelles, ou encore des effets des nombreuses opérations de restauration écologique ayant été menées, opérations dont les effets peuvent potentiellement être similaires ou congruents avec ceux de la crue.



Le nettoyage post-crue, un risque de pollutions ?

« Les pompiers mettent en place des absorbants mais derrière il n'y a pas de prise de relais pour enlever ces absorbants une fois qu'ils sont souillés, pour évacuer tous ces déchets chargés d'hydrocarbures et pour mettre en place des actions de pompage... On a perdu beaucoup de temps et on a manqué d'efficacité sur la prise de relais, qui intervient après les pompiers, après la phase d'urgence. »

« Que faire de ces boues ? On a eu une difficulté car si on regardait le guide CEREMA on pouvait considérer qu'il fallait récupérer toutes ces boues et les faire traiter à l'extérieur. Matériellement c'était quand même très compliqué et pas tout à fait réaliste. Le faire sur des zones où on avait une pollution localisée, c'était faisable. »

Les impacts de la crue sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques peuvent aussi se produire lors de la décrue et de la phase post-crue. Le nettoyage post-crue constitue pour l'instant une question face à laquelle les gestionnaires sont plutôt démunis alors même que plusieurs types de déchets constituent des sources potentielles de pollutions.

Les absorbants mis en place pour récupérer et stocker les hydrocarbures constituent une source de pollution possible lors de la décrue. Une fois souillés et chargés d'hydrocarbures, ces absorbants doivent être évacués et remplacés. Or, désormais considérés comme des déchets, ils n'entrent plus dans les missions des pompiers et aucun acteur ne semble vouloir prendre le relais, faute de savoir qui devra assumer le coût financier d'une telle opération. De fait, même lorsqu'une procédure a été mise en place pour juguler la pollution aux hydrocarbures, celle-ci peut néanmoins avoir lieu en différé, en particulier si un orage ou un nouveau débordement remobilise ces absorbants.

Les très nombreux déchets générés par la montée des eaux dans les habitations (meubles, équipements, objets, souillés par l'humidité et la boue) ont fortement marqué les riverains et les collectivités locales, pour lesquelles ils constituent un véritable défi logistique après la décrue. Une place de la ville de Nemours a ainsi fait office de lieu de stockage d'un amoncellement de déchets sur plusieurs dizaines de mètres de haut pendant plusieurs semaines. Au milieu de cet amoncellement de déchets se trouvent nombre de produits polluants pour l'environnement (produits de jardinage et de bricolage notamment). Les gestionnaires pointent donc la nécessité de maintenir une collecte sélective des déchets dangereux en période post-crue afin de limiter les risques de pollution. La crue de 2016 a aussi occasionné le dépôt de boues, dû à des apports d'eaux usées, comme ce fut le cas sur une promenade le long de l'Orge, mais aussi de substances toxiques en cas de contact avec des hydrocarbures par exemple. A la décrue, les propriétaires des espaces et ouvrages concernés sont alors confrontés à la question de leur évacuation et de leur traitement. Cela implique de choisir entre différentes options d'évacuation : rejet dans le cours d'eau, en l'absence de pollutions suspectées, ou évacuation et traitement des boues. Le choix s'opère en lien avec des enjeux logistiques mais aussi avec des questions de responsabilité, dans la mesure où les producteurs de la pollution ne sont pas nécessairement ceux qui doivent la traiter. Ports de Paris a ainsi établi, dans l'urgence, un protocole de gestion des boues, s'appuyant sur le guide du CEREMA *Prévention et gestion des déchets issus des catastrophes naturelles : de l'anticipation à la gestion*, mais l'adaptant aux conditions et enjeux économiques du Port.

La gestion des déchets liés à une crue fait l'objet de plusieurs guides, dont la diffusion ou l'appropriation semble néanmoins insuffisante chez les gestionnaires :

- > Les collectivités territoriales face aux déchets des inondations : des pistes de solutions. Guide de sensibilisation. CEPRI, 2012.
- > Inondation : prévenir, réagir, rétablir. GEIDE Post-Catastrophe, 2013.
- > Prévention et gestion des déchets issus de catastrophes naturelles : de l'anticipation à la gestion. CEREMA, 2014.





Conclusions générales

L'objectif de ce travail était d'établir un bilan de l'impact physico-chimique sur les cours d'eau de l'axe Seine de l'épisode exceptionnel que fut la crue de juin 2016. Ce bilan fait apparaître un impact finalement modéré de la crue de 2016 pour les secteurs mesurés. L'important jeu de données mobilisé pour cette étude a permis de caractériser l'évolution de l'état de la Seine d'amont en aval pour ce qui concerne l'état physico-chimique, l'évolution des majeurs, des métaux, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des pesticides et de la contamination fécale. Il ne permet cependant pas de caractériser aussi précisément l'évolution de l'état des affluents de la Seine très influencés par la crue, comme le Loing, l'Yonne, l'Yerres et l'Orge.

Un impact modéré, mais non négligeable

Les principaux impacts défavorables de la crue sont une baisse, qui reste modérée, de l'oxygène dissous en lien avec les apports importants de matière organique, des pics de nitrates dans les petits bassins versants agricoles où la qualité de l'eau peut très rapidement fluctuer suivant directement les épisodes pluvieux, et un niveau de pesticides rencontré certes habituellement à cette période de l'année, mais d'une durée plus importante dans le cas de cette crue. Les hydrocarbures sont également mesurés en hausse sur certains secteurs, dans les sédiments apportés à l'estuaire ainsi qu'en amont de Paris, à proximité des secteurs où la crue a été la plus exceptionnelle. Ces hausses de concentrations sont ainsi rencontrées sur le Loing aval pour les hydrocarbures et pour le plomb.

Ce bilan a aussi été l'occasion de confirmer une tendance générale à la baisse de la contamination pour certains

métaux (Zn, Cu, Cd, Pb, Hg), et pour plusieurs familles de contaminants organiques, les PCB, les alkylphénols et les PBDE.

Enfin, en estuaire de Seine, si des pics ont bien été mesurés suite à cet événement, les niveaux relevés restent dans la gamme haute de ce qui est habituellement observé.

Des enseignements méthodologiques importants

Considérant les moyens mis en œuvre pour suivre le milieu, il apparaît que la stratégie de suivi basse fréquence en de très nombreuses stations, bien que pertinente dans les objectifs de suivis de qualité de l'eau sur le long terme, n'est pas adaptée à la caractérisation de la qualité des eaux en période de crue à l'échelle du bassin de la Seine. Sous réserve d'une capture du pic par ces campagnes,

seules les variables physico-chimiques, qui bénéficient d'un échantillonnage haute fréquence conséquent, peuvent faire l'objet d'une reconstitution temporelle fine. Cependant, même dans ce cas favorable, l'absence d'un suivi systématique haute fréquence aux exutoires des principaux contributeurs de la crue (Loing et Yonne) rend la compréhension de la dynamique de l'évènement délicate au-delà des limites de l'agglomération parisienne.

Les suivis haute fréquence ne permettent pas encore, du fait de la maturité technologique des capteurs, d'assurer une mesure en continu de nombreux éléments comme les métaux et les polluants organiques persistants. Une alternative féconde à l'échantillonnage direct des rivières, qui peut d'ailleurs s'avérer dangereux en période de crue, consiste à récolter des laisses de crue. C'est cette approche qui a été suivie dans cette étude, permettant ainsi de mieux caractériser l'effet de la crue sur les flux de matières, et notamment les métaux dissous et les polluants organiques (ZAS 2017). Une approche combinant un suivi haute fréquence aux exutoires des principaux bassins étudiés ici, à un dispositif de collecte des laisses de crue pourrait permettre un meilleur suivi de l'évolution de la qualité de l'eau, des suspensions et sédiments transportés en période de crue.

Cette étude a ainsi permis de mieux caractériser l'évolution de l'état de la Seine. Des travaux devraient être poursuivis afin de mieux caractériser l'évolution de l'état des affluents de la Seine hormis la Marne et l'Oise qui bénéficient de dispositifs de suivi haute fréquence. Les bassins du Loing et de l'Yonne sont malheureusement beaucoup moins bien équipés. Discriminer ces dynamiques en fonction des caractéristiques des bassins (urbains, agricoles, forestiers) constitue encore un important défi, ainsi que le changement d'échelle des têtes de bassins à l'exutoire à Poses, les temps de retard induits par les systèmes alluviaux pouvant être conséquents. Un second défi devra aussi être relevé : celui de l'évaluation des flux de matières transitant dans le système Seine lors de tels évènements. A cet effet, la poursuite de l'échantillonnage des laisses de crue devrait être particulièrement utile.

Au-delà des évènements catastrophiques qui ont marqué le Loing, la crue semble avoir eu un effet modéré sur la Seine elle-même, ce qui est dû à la répartition spatiale des pluies. En effet, ces conclusions ne seraient certainement pas les mêmes si les pluies étaient tombées de manière plus concentrée sur l'agglomération parisienne où sont localisées les zones urbanisées les plus denses.

Une mise en commun des données saluée

Enfin, le partage des données haute fréquence et régulières et des observations a été très riche et salué par tous les producteurs de données. Cette mise en commun doit être poursuivie et capitalisée à l'échelle du bassin. L'expérience de mutualisation des données réalisée pour cette étude montre en effet qu'une meilleure coordination des différents acteurs du territoire pourrait permettre la mise en place d'un dispositif de suivi de la qualité de l'eau en période de crue à moindre frais. Une première étape pourrait passer par la bancarisation des données existantes au sein d'un jeu de données partagé, ce qui permet de beaucoup mieux appréhender le fonctionnement du milieu. Ainsi, la bancarisation des données sur les laisses de crue apparaît aujourd'hui comme une nécessité pour quantifier les flux de contaminants dans le bassin de la Seine.

La méthodologie employée pour mener à bien ces travaux est générique et sera mobilisée pour étudier l'impact de la crue de janvier 2018, qui présente un pic de crue à Paris Austerlitz similaire à celui de 2016. La comparaison des deux études, appuyée par des bases de données bien constituées, permettra d'apporter des éléments de réponse quant au fonctionnement des milieux aquatiques et préciser les risques encourus par les territoires en fonction de la saison d'occurrence des crues et de la localisation des pluies.

Enfin, les retours d'expérience des acteurs de terrains ont permis de mieux cerner les réalités auxquelles ceux-ci ont dû faire face pendant la crue. Ces témoignages permettent de tirer des enseignements précieux pour la gestion du bassin en cas de crise, et ainsi de pouvoir, à l'avenir, répondre de manière adaptée aux enjeux qui ont été soulevés lors de cette enquête.



Références



- > ARTELIA et GIP Seine-Aval, 2013. Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif A : Définition des périodes de retour des événements jouant un rôle dans les inondations. 131p. et annexes.
- > Ayrault S. *et al.*, 2012. Lead contamination of the Seine River, France: Geochemical implications of a historical perspective. *Chemosphere*, 87:902-910.
- > Barjhoux I., Anschutz P., A. Anzil, Autret A., Ayrault S., Berthe T., Bimbot M., Bordier L., Budzinski H., Cachot J., Charroni L., Chaumot A., Clérandeau C., Corzani-Euzebe G., Dedourge-Geffard O., Faburé J., Fechner L., Francois A., Geffard O., George I., Huteau V., Jaffal A., Labadie P., Landi L., Lebrun J., Levi Y., Munoz G., Noury P., Oziol L., Peluhet L., Petit F., Poirier D., Quéau H., Servais P., Uher E., Urien N. et Geffard A., 2016. Approche intégrée pour l'évaluation de la qualité de l'axe Seine. Dans *Écologie et écotoxicologie, Rapport de synthèse PIREN Seine 2011-2015*, p 57-156.
- > Baux N., 2016. Rapport de la campagne du 28 juillet 2016 pour le suivi des peuplements benthiques de la Baie de Seine Orientale - Suivi post crue de la Seine de juin 2016. Rapport de l'Université de Caen, 9p.
- > Boët P., Belliard J., Berrebi-dit-Thomas R. et Tales E., 1999. Multiple human impacts by City of Paris on fish communities in the Seine river basin, France. *Hydrobiologia* 410:59-68.
- > Briand *et al.*, 2016. Bilans et flux de polluants organiques dans le bassin de la Seine, rapport PIREN-Seine 2016, 9p.
- > Budzinski H. (coord.), Forget-Leray J., Aït-Aïssa S., 2012. Projet MEDSEINE : Étude de la contamination par les médicaments de l'estuaire de la Seine. Application des capteurs passifs à un meilleur diagnostic de leur présence, flux et impact toxique. *Projet Seine-Aval* 4, 53p.
- > Ciolfi C. et Paplorey B., 2016. Comité de pilotage du suivi par vidéo-comptage de la passe à poissons de Poses et de l'animation du Seinoscope – Résultats premier semestre 2016, 60p.
- > Cladière M., Bonhomme C., Vilmin L., Gasperi J., Flipo N. et Tassin B., 2014. Modelling the fate of nonylphenolic compounds in the Seine River - part 1: determination of in-situ biodegradation rate constants. *Sciences of Total Environment* 468-469:1050-1058.
- > Cladière M., Gaspéri J., Tassin B., Bonhomme C., Vilmin L. et Flipo N., 2016. Sources, flux et devenir des alkylphénols et du bisphénol A dans le bassin amont de la Seine, dans *Contamination à longue échelle de temps, Rapport de synthèse PIREN Seine 2011-2015*, p 25-74.
- > Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Normandie – Service Ressources Naturelles – Bureau de l'Hydrométrie, de l'Hydrologie et de la Prévision des Crues, 2016. Bilan des enjeux touchés sur le tronçon Seine aval et cartographie des zones inondées – Crue du 1^{er} au 10 juin 2016 sur le tronçon Seine aval. Rapport d'étude, 9p. et annexes.
- > Fisson C. et Lemoine J.P., 2016. Les niveaux d'eau en estuaire de Seine : risque inondation et changement climatique. *Fascicule Seine-Aval* 3.5, 35p.
- > GIP Seine-Aval, 2013. La salinité dans l'estuaire de la Seine. Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution, 6p.
- > GIP Seine-Aval, 2016. Les poissons migrateurs de l'estuaire de la Seine. Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution, 6p.

- > Grosbois *et al.*, 2006. The spatial and temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb and Zn in Seine River floodplain deposits (1994-2000). *Science of the Total Environment*, 356:22-37.
- > Labarthe B., 2016. Quantification des échanges nappe-rivière au sein de l'hydrosystème Seine par modélisation multi-échelle. Thèse de PSL Research University, 333p.
- > Labarthe B. et Flipo N., 2016. Dynamique des échanges hydriques entre un réseau hydrographique, une plaine alluviale et leur aquifère régional, dans *Interfaces nappe-rivière*, Rapport de synthèse PIREN Seine 2011-2015, 153p.
- > Le Gall *et al.*, 2018. Investigating the metal contamination of sediment transported by the 2016 Seine River flood (Paris, France). *Environmental Pollution*, 240:125-139.
- > Le Pape P. *et al.*, 2012. Trace element behavior and partition versus urbanization gradient in an urban river (Orge River, France). *Journal of Hydrology*, 472:99-110.
- > Lemoine J.P. et Verney R., 2015. Fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Seine. Fascicule Seine-Aval 3.3, 64p.
- > Petit F. et Berthe T., 2016. Qualité microbiologique des eaux de l'estuaire de la Seine – fin de crue 5-6-7 juin 2017. UMR CNRS M2C/FR CNRS SCALE, 2p.
- > Quintana-Seguí P., Martin E., Habets F. et Noilhan J., 2009. Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47:92-107.
- > Quintana-Seguí, P., E. Martin, F. Habets, and J. Noilhan. 2009. Improvement, calibration and validation of a distributed hydrological model over France. *Hydrology and Earth System Sciences* 13:163-181.
- > Seine Grands Lacs, 2016. Crue de mai-juin 2016 – bilan de la crue et de la gestion des ouvrages. Rapport technique, 30p.
- > SEINORMIGR, 2015. L'anguille en Seine. Lettre d'information n°1, 8p.
- > SEINORMIGR, 2016. L'anguille en Seine. Lettre d'information n°2, 12p.
- > Thévenot D.R. (dir.), 2009. Les métaux dans le bassin de la Seine. Programme PIREN-Seine et Agence de l'Eau Seine-Normandie. 60p.
- > Thiébaud E. et Baux N., 2017. Variation pluri-décennale du peuplement de sables fins plus ou moins envasés de la Baie de Seine orientale : évolution des diversités spécifique et fonctionnelle. *Projet Seine-Aval*, 51p.
- > Varrault G., Nguyen P. T., Mtar Z., Soares-Pereira C., Bonnot C., Parlanti E., Garnier J., Derenne S., Benedetti M., Gelabert A., Bressy A., Boudahmane L., Guo Y., Parot J., Mercier B., Martinez A., Cordier M.-A., Cordier L., Anquetil C., Tharaud M. et Saad M., 2016. La matière organique dans le bassin de la Seine : variabilité, sources et influence sur la spéciation des micropolluants, p 84-129. Dans *Biogéochimie de l'axe fluvial*, Rapport de synthèse PIREN Seine 2011-2015, 191p.
- > Vilmin L., Flipo N., Escoffier N., Rocher V. et Groleau A., 2016. Carbon fate in a large temperate human-impacted river system: Focus on benthic dynamics. *Global Biogeochem. Cycles* 30:1086-1104.

Glossaire



- > **Affluent*** : Fleuve, rivière, ou ruisseau qui vient rejoindre un cours d'eau plus important (en général dont le débit moyen interrannuel est plus fort). On dit également tributaire.
- > **Anoxie*** : Caractéristique d'un milieu présentant une carence en oxygène. Dans un milieu aquatique, une chute, même de brève durée, du taux d'oxygène dissous contenu dans l'eau peut entraîner l'asphyxie des populations de poissons ou d'invertébrés et se traduire par des mortalités importantes. On parle de choc anoxique ou de crise anoxique lorsque l'absence d'oxygène est de quelques heures. Les durées d'anoxie peuvent être plus longues (parfois plusieurs mois au fond d'un lac) et entraîner une adaptation des populations faunistiques.
- > **Aquifère alluvial** : Un aquifère est une formation géologique susceptible de contenir, de transférer et de restituer de l'eau en quantités exploitables. L'aquifère alluvial est un cas particulier d'aquifère, constitué de matériaux déposés par les cours d'eau dans leurs vallées : sables, graviers, limons. Ces aquifères particuliers sont généralement en relation avec les eaux de surface.
- > **Avaloir*** : Ouverture située en bordure de trottoir (ou parfois en milieu de chaussée) permettant aux eaux de ruissellement de pénétrer dans le système d'évacuation des eaux pluviales en utilisant une bouche d'engouffrement.
- > **Carbone organique dissous (COD)*** : Fraction du carbone organique total (COT) capable de traverser un filtre de taille de pore de 0,45 µm. La taille des particules colloïdales allant de 0,001 à 1 µm, le COD inclut donc une certaine quantité de matière organique colloïdale non dissoute. Le carbone organique dissous peut être subdivisé en deux fractions selon leur résistance à la dégradation chimique et biologique : fraction labile et fraction inerte (ou résiduelle).
- > **Carbone organique total (COT)*** : Mesure permettant de déterminer la quantité de carbone organique contenu dans un échantillon d'eau. On parlera de carbone organique total (COT) ou de carbone organique dissous (COD) selon que l'eau aura été filtrée ou non. La combustion totale d'un échantillon d'eau a comme conséquence l'oxydation de toute la matière organique et sa transformation en dioxyde de carbone. La mesure de la quantité de dioxyde de carbone produite permet d'obtenir la valeur du COT, exprimée en mg/L.
- > **Composé perfluoroalkylé** : Les composés perfluoroalkylés (PFC) sont des molécules aliphatiques (alkyl) dont la totalité (per-) des atomes d'hydrogène a été remplacée par des atomes de fluor (fluoro). Totalement artificielles, ces molécules présentent la particularité de repousser l'eau, les matières grasses et la poussière : elles possèdent en effet une extrémité lipophile (par conséquent hydrophile) et l'autre extrémité hydrophobe (donc lipophile).
- > **Conductivité*** : Caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les sels minéraux sont dans l'ensemble de très bons conducteurs de l'électricité, de ce fait la conductivité d'un échantillon d'eau fournit une indication précise sur la concentration totale en sels dissous. La conductivité variant avec la température, elle est mesurée par électrométrie à la température constante de 20 °C. L'unité la plus souvent utilisée est le micro-siemens par centimètre (µS.cm⁻¹).
- > **Contaminant organique hydrophobe** : Produit susceptible de porter atteinte à la qualité d'un milieu ou à la santé d'un organisme, dont l'un des éléments chimiques constitutifs est le carbone, et insoluble dans l'eau. Exemples : HAP, PBDE...
- > **Contingement** : Action et résultat d'une restriction, d'une limitation par des barrières administratives.
- > **Crue*** : Augmentation importante et plus ou moins brutale du débit dans un cours d'eau ou, par extension, dans un réseau d'assainissement, due à une cause naturelle (précipitation, fonte de neige, etc.) ou non (rupture accidentelle d'un barrage ou vidange d'ouvrages de retenue...).

- > **Débit*** : Volume d'eau qui s'écoule en un point donné pendant une durée donnée à travers une section droite donnée d'un écoulement. Les unités les plus courantes sont le $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, le $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ ou le $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. En hydrologie, comme en hydraulique, la mesure du débit relève de la débitmétrie.
- > **Déchet (terme maritime)** : Période pendant laquelle le coefficient de marée diminue.
- > **Décote (terme maritime)** : Recul anormalement important de l'eau lors de la marée basse.
- > **Décru** : Diminution du débit d'un cours d'eau à la suite d'une crue.
- > **Délestage*** : En hydrologie, ce terme désigne une opération consistant à dériver une partie du débit de façon à limiter les risques de dysfonctionnement à l'aval.
- > **Eaux de ruissellement*** : Eau de pluie qui ne s'est écoulée qu'en surface, sans n'avoir normalement emprunté aucun ouvrage (caniveau, fossé, conduite...).
- > **Eaux usées*** : Eaux qui ont été utilisées à des fins domestiques, commerciales ou industrielles, éventuellement diluées par de petites quantités d'eaux claires parasites provenant d'infiltration ou de mauvais branchements, mais sans dilution notable par des eaux pluviales. Le débit correspondant est appelé débit de temps sec. Attention : la définition donnée par l'arrêté ministériel du 21 juillet 2015 est différente. Elle définit les eaux usées comme « les eaux usées domestiques ou le mélange des eaux usées domestiques avec tout autre type d'eau », y compris les eaux pluviales, ce qui identifie les eaux usées aux eaux résiduaires.
- > **Echantillonnage** : 1) Prélèvement de matière dans l'environnement suivant un protocole précis. 2) Prélèvement de données sur un signal à intervalles définis.
- > **Éléments/ions majeurs** : Éléments chimiques les plus présents dans l'eau. Ici, seuls les cations (Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Potassium (K^+), Sodium (Na^+)) ont été considérés, et le manganèse (Mn^{2+}) a été ajouté à l'étude. Les anions majeurs (les bicarbonates (HCO_3^-), les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-})) n'ont pas été étudiés.
- > **Erosion*** : Dégradation des reliefs due à l'action des éléments naturels (eau, vent, etc.) qui altère les surfaces continentales.
- > **Estuaire*** : Portion de l'embouchure d'un fleuve, généralement de forme plus ou moins évasée et où les effets de la mer ou de l'océan dans lequel il se jette se font sentir (en particulier les marées). C'est une zone de mélange entre eaux douces et eaux marines qui introduit un gradient des propriétés physico-chimiques des eaux, variable dans l'espace et dans le temps. Dans le bassin de la Seine, c'est le barrage de Poses qui délimite le début de l'estuaire.
- > **EU Sequana** : Exercice organisé par la préfecture de police qui simule une crue sur le bassin de la Seine.
- > **Facteur d'enrichissement** : Opération par normalisation consistant à exprimer le ratio de la teneur d'une substance donnée par rapport à celle du facteur normalisant, ici le Thorium (Th), afin d'exprimer les concentrations des éléments donnés en fonction d'un paramètre lié à la granulométrie des sédiments.
- > **Hydrocarbures** : Composés organiques constitués exclusivement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Ils sont principalement utilisés comme ressource énergétique, comme le pétrole ou le gaz naturel.
- > **Isotopes** : Formes possibles d'un atome donné, variant en fonction du nombre de neutrons qu'il contient.
- > **Laises de crue*** : Débris piégés par les arbustes ou les arbres ou dépôts abandonnés par l'eau dans une conduite ou aux abords d'une rivière pendant une crue et matérialisant le plus haut niveau atteint par l'eau. Les laisses de crue peuvent présenter des aspects différents selon la nature des berges et le revêtement des conduites. Elles dépendent aussi des produits transportés par l'eau. Elles peuvent persister de quelques jours à plusieurs mois (voire plusieurs années pour les plastiques).

- > **Lit majeur*** : Espace occupé temporairement par les rivières lors du débordement des eaux en période de crues. La délimitation physique du lit majeur se fait en référence au niveau des plus hautes eaux connu (crues historiques clairement répertoriées), ou par des études de géomorphologie et de sédimentologie qui recherchent en particulier la présence en partie superficielle du sous-sol d'alluvions récentes (formations notées Fz et Fy sur les cartes géologiques). En zone urbaine, du fait de son occupation par les activités humaines, le lit majeur ne correspond généralement plus à la zone réelle d'expansion des crues.
- > **Lit mineur*** : Espace occupé en permanence par une rivière. On distingue parfois le lit d'étiage qui correspond aux plus basses eaux, et le lit moyen qui correspond aux valeurs habituelles du débit.
- > **Matière en suspension (MES)*** : Matières non dissoutes contenues dans l'eau et maintenues en suspension dans le liquide sous l'action de la turbulence.
- > **Pic de crue** : Moment où une crue atteint son maximum de hauteur d'eau avant de décroître.
- > **Radionucléide** : Isotope radioactif d'un élément.
- > **Remblai** : Opération de terrassement consistant à rapporter des terres pour faire une levée ou combler une cavité.
- > **Revif (terme maritime)** : Période pendant laquelle le coefficient de marée augmente/diminue.
- > **Sédiment*** : Matériaux d'origine détritique, chimique ou organique, transportés puis déposés par l'eau, accumulés et souvent consolidés.
- > **Surcote** : Dépassement anormal du niveau de la marée haute.
- > **Turbidité*** : Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes fines telles que argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure le degré de turbidité.

* Définitions issues de complètement ou en partie de *l'Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*, Bernard Chocat et al., 1997. Paris, Lavoisier, 1124 pages.

Sigles



- > **AAPPMA** : Association agréée pour la pêche et la protection des milieux aquatiques
- > **AEP** : Alimentation en eau potable
- > **AESN** : Agence de l'eau Seine-Normandie
- > **ARS** : Agence régionale de santé
- > **Bap** : Benzo(a)Pyrène
- > **CMA** : Concentration maximale admissible
- > **Cedre** : Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux
- > **CEREMA** : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
- > **CMH** : Côte marine du Havre
- > **COT** : Carbone organique total
- > **CD94** : Conseil départemental du 94
- > **DCE** : Directive-cadre européenne sur l'eau
- > **DEHP** : Diethylhexyl phthalate
- > **DRIEE** : Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie
- > **HAP** : Hydrocarbure aromatique polycyclique
- > **ETM** : Éléments traces métalliques
- > **FE** : Facteur d'enrichissement
- > **MES** : Matières en suspension
- > **NQE** : Normes de qualité environnementale
- > **NQE-MA** : Normes de qualité environnementale à utiliser en moyenne annuelle
- > **PCB** : Polychlorobiphényle
- > **PBDE** : Polybromodiphényléther
- > **SEDIF** : Syndicat des eaux d'Île-de-France
- > **SIAAP** : Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne
- > **SIARCE** : Syndicat intercommunal d'aménagement, de réseaux et du cycle de l'eau
- > **SDIS** : Service départemental d'incendie et de secours
- > **SyAGE** : Syndicat mixte pour l'assainissement et la gestion des eaux du bassin versant de l'Yerres
- > **GIP Seine-Aval** : Groupement d'intérêt public Seine-Aval
- > **IRSTEA** : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

Pour citer cet ouvrage :

Flipo, N., Mouchel, J.-M., Fisson, C., et al. (2018), La qualité de l'eau suite à la crue de juin 2016 dans le bassin de la Seine, Fascicule #17 du PIREN-Seine, ISBN : 978-2-490463-05-3, ARCEAU-IdF, 72 p.

Cet ouvrage est édité par la cellule transfert des connaissances du PIREN-Seine, animée par l'association ARCEAU-IdF. Son contenu est issu des recherches menées au sein du programme. Sauf mention contraire, les productions du PIREN-Seine sont régies par licence Creative Commons CC-BY-NC-SA v4.0 ou ultérieure (pas d'utilisation commerciale, partage des conditions initiales à l'identique).



Editeur :

ARCEAU-IdF 2018

Création graphique et impression :

 id bleue (Sablé-72) - www.idbleue.com

Crédits photos :

Photo de couverture : Alain Mazaud LSCE ; Sommaire : Tommy Larey/Shutterstock ; p. 6 : Alain Mazaud LSCE ; pp. 8, 21, 47, 57 : Audrey Marescaux ; p. 7 : LEESU ; pp. 10-11, 61 : SDIS-27 ; pp. 22-23, 25, 28 : PIREN-Seine ; pp. 30-31 : Sabine Barles ; pp. 37, 62 : Sophie Ayrault LSCE ; p. 40 : Thesupermat ; p. 43 : Olivier Evrard LSCE ; p. 59 : Chloé Pineau LEESU ; p. 63 : Naumov S/Shutterstock.



Le **PIREN-Seine** est un programme de recherche interdisciplinaire en environnement 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. Il est l'un des programmes composant la Zone Atelier Seine du CNRS.

La *cellule transfert des connaissances* a pour but de valoriser les productions de savoirs scientifiques issues des recherches du **PIREN-Seine**, et de favoriser la mise à disposition de ces informations à un large public, des professionnels de la gestion de l'eau aux élus en passant par les usagers. Soutenue par l'Agence de l'eau Seine-Normandie et l'EPTB Seine Grands Lacs, et animée depuis octobre 2016 par l'association ARCEAU-IdF, cette cellule répond à une forte volonté de la part des chercheurs de participer au transfert des savoirs scientifiques et techniques vers la société civile. Elle est ainsi chargée de la rédaction et de l'édition de documents thématiques, de la mise en ligne de contenus scientifiques adaptés à la fois aux professionnels et au grand public, et de la mise en place d'ateliers de co-réflexion du programme.

La collection des fascicules du **PIREN-Seine** analyse différents aspects du fonctionnement du bassin de la Seine, correspondant aux multiples domaines de recherche du programme. Ils s'adressent à tous les publics concernés par l'analyse et la gestion du bassin versant de la Seine et des problématiques environnementales et humaines qui y sont liées. Tous ces fascicules sont disponibles en téléchargement gratuit au format PDF sur le site du programme. Une première série de neuf fascicules a été publiée en 2009. En 2011, six nouveaux titres sont venus enrichir la collection. En 2017, la production des fascicules reprend avec une nouvelle collection, pour permettre aux acteurs du domaine de l'eau et de l'environnement de rester informés des dernières recherches scientifiques menées par le **PIREN-Seine**.

Pour plus d'informations,
retrouvez-nous sur :
www.piren-seine.fr

ISBN 978-2-490463-05-3



9 782490 463053



Les partenaires du PIREN-Seine

