



INCENDIE DU 26 SEPTEMBRE 2019 DES INSTALLATIONS « LUBRIZOL / NL-LOGISTIQUE » : QUEL IMPACT SUR LA SEINE ?

Septembre 2020

Fisson C., Aït-Aïssa S., Amara R.,
Couteau J., Laroche J., Le Roux J.,
Pichereau V., Xuereb B.

INCENDIE DU 26 SEPTEMBRE 2019

DES INSTALLATIONS « LUBRIZOL / NL-LOGISTIQUE » :

QUEL IMPACT SUR LA SEINE ?

Auteurs :

Cédric FISSON¹, Selim AIT-AISSA², Rachid AMARA³, Jérôme COUTEAU⁴, Jean LAROCHE⁵, Julien LE ROUX⁶, Vianney PICHEREAU⁵, Benoit XUEREB⁷

Contribution et relecture :

François BRION², Laure CHABOT², Armelle CHRISTOPHE², Frank LE FOLL⁷, Emmanuel JESTIN⁸, Emmanuelle MAILLOT-MARECHAL²

¹ Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval

² INERIS

³ LOG, Université de Lille

⁴ TOXEM

⁵ LEMAR, Université Bretagne Occidentale

⁶ LEESU, Université Paris-Est Créteil

⁷ SEBIO, Université du Havre

⁸ AESN

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il devra être cité sous la forme suivante :

Fisson C., Aït-Aïssa S., Amara R., Couteau J., Laroche J., Le Roux J., Pichereau V., Xuereb B., 2020. **Incendie du 26 septembre 2019 des installations « Lubrizol / NL-Logistique » : Quel impact sur la Seine ?** Rapport d'étude réalisé par le GIP Seine-Aval, 62p.

TABLE DES MATIERES

CONTEXTE	6
A- LES DONNEES DE SUIVI ACQUISES	8
1 Les campagnes d'analyses chimiques	8
2 Les campagnes de mesure de bioessais et de biomarqueurs	10
3 Bilan des données acquises	12
B- ANALYSE DES CONSEQUENCES DE L'INCENDIE	16
1 Quel niveau de contamination en Seine ?	16
1.1 Les suivis sur l'eau	16
1.1.1 Les eaux d'extinction	16
1.1.2 Au niveau du bassin aux bois et à proximité	17
1.1.3 A l'échelle de l'estuaire de la Seine	24
1.2 Les suivis sur le sédiment	25
1.2.1 Au niveau du bassin aux bois et à proximité	25
1.2.2 A l'échelle de l'estuaire de la Seine	35
1.3 Bilan de la contamination chimique	40
2 Quelle toxicité pour le milieu ?	41
2.1 Les suivis sur l'eau	41
2.1.1 Au niveau du bassin aux bois et à proximité	41
2.2 Les suivis sur le sédiment	46
2.2.1 Au niveau du bassin aux bois et à proximité	46
2.2.2 A l'échelle de l'estuaire de la Seine	49
2.3 Bilan de la toxicité pour le milieu	52
3 Quel impact sur les organismes aquatiques ?	53
3.1 A court terme	53
3.2 A moyen terme sur la crevette blanche	53
3.3 A moyen terme sur le flet	55
3.4 Bilan des impacts sur les organismes aquatiques	57
BILAN	58
LISTE DES ABREVIATIONS	61
BIBLIOGRAPHIE	62

TABLES DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de situation.....	6
Figure 2 : Campagnes d'analyses chimiques menées en Seine entre septembre 2019 et février 2020.....	9
Figure 3 : Campagne de mesures de bioessais et de biomarqueurs menées en Seine entre septembre 2019 et mai 2020.....	11
Figure 4 : Campagnes menées en Seine pour le suivi de l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019.....	15
Figure 5 : Points de prélèvement d'eau dans le bassin aux bois [campagne 2].	17
Figure 6 : Concentration en oxygène dans le bassin aux bois et à proximité [DDTM-76].....	17
Figure 7 : Concentrations en HAP dans l'eau du bassin aux bois [campagne 2].....	18
Figure 8 : Points de prélèvement d'eau des 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].	19
Figure 9 : Concentrations en HAP dans les eaux prélevées les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].....	20
Figure 10 : Concentrations en arsenic et en zinc dans les eaux prélevées les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].	21
Figure 11 : Concentrations en perfluorés dans les eaux prélevées les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].	21
Figure 12 : Chromatogrammes bruts (Total Ion Current) des échantillons d'eau prélevés les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].	22
Figure 13 : Empreinte HRMS des marqueurs détectés dans les échantillons d'eau prélevés les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].	23
Figure 14 : Stations de suivi environnemental de la Seine, de Poses à la mer.	24
Figure 15 : Concentration en Pyrène dans les eaux de la Seine entre 2017 et 2019 [campagne 3].	25
Figure 16 : Points de prélèvement de sédiments dans le bassin aux bois et à proximité [campagne 5-DDTM]. ...	26
Figure 17 : Points de prélèvement de sédiments dans le bassin aux bois et à proximité [campagne 5-GPMR]. ...	26
Figure 18 : Plan de dragage (novembre 2018) du bassin aux bois [GPMR, com. pers.].	27
Figure 19 : Teneurs en HAP dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].	28
Figure 20 : Teneurs en HAP dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GPMR].	28
Figure 21 : Teneurs en HAP dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois le 12 février 2020 [campagne 6].	29
Figure 22 : Teneurs en métaux dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].	30
Figure 23 : Teneurs en métaux dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GMPR].	30
Figure 24 : Teneurs en PCB _i dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].	31
Figure 25 : Teneurs en PCB _i dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GRPM].	31
Figure 26 : Teneurs en dioxines/furanes dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].	32
Figure 27 : Teneurs en dioxines/furanes dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GRPM].	32
Figure 28 : Chromatogrammes GC-MS des échantillons de sédiments prélevés le 10 octobre 2019, après soustraction du signal de l'échantillon « Rouen Ile Lacroix » [campagne 5].	35
Figure 29 : Teneurs en HAP dans les sédiments de la Seine prélevés les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].	36
Figure 30 : Teneurs en HAP dans les sédiments de la Seine à Rouen entre 2015 et 2019 [campagne 4].	37
Figure 31 : Teneurs en HAP dans les sédiments de la Seine à La Bouille entre 2015 et 2019 [campagne 4].	37
Figure 32 : Teneurs en métaux dans les sédiments de la Seine à La Bouille les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].	38

Figure 33 : Teneurs en dioxines/furanes dans les sédiments de la Seine prélevés les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].	39
Figure 34 : Teneurs en PCB-DL dans les sédiments de la Seine prélevés les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].	39
Figure 35 : Protocole mené sur les prélèvements d'eau du 15 octobre 2019 [campagne A].	41
Figure 36 : Activité HAP-like mesurée sur l'eau prélevée le 15 octobre 2019 [campagne A].	42
Figure 37 : Taux d'éclosion du poisson zèbre après exposition (72 et 96h) à l'eau prélevée le 15 octobre 2019 [campagne A].	43
Figure 38 : Activité EROD mesurés sur les embryons de poissons après exposition l'eau prélevée le 15 octobre 2019 [campagne A].	43
Figure 39 : Pourcentage de viabilité des cellules RTG-2 après exposition à l'eau prélevée le 06 décembre 2019 [campagne C].	44
Figure 40 : Réponse oestrogénique (RE) de la souche de levure pour le test ANTI-YES après exposition à l'eau prélevée le 06 décembre 2019 [campagne C].	45
Figure 41 : Pourcentage d'ADN dans la queue de comète après exposition à l'eau prélevée le 06 décembre 2019 [campagne C].	45
Figure 42 : Points de prélèvements des sédiments du 12 février 2020 [campagne D].	46
Figure 43 : SOS Induction Factors obtenus pour les différents extraits organiques avec et sans activation métabolique pour les sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].	47
Figure 44 : Pourcentage de viabilité des cellules RTG-2 après exposition aux sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].	48
Figure 45 : Réponse oestrogénique (RE) de la souche de levure pour le test ANTI-YES après exposition aux sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].	48
Figure 46 : Pourcentage d'ADN dans la queue de comète après exposition aux sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].	49
Figure 47 : Points de prélèvement des sédiments pour les mesures de bioessais [campagne B].	49
Figure 48 : Mesure du glycogène chez les crevettes (hépatopancréas) après 15 jours d'exposition en Seine.	53
Figure 49 : Dommages à l'ADN spermatique chez la crevette blanche, après encagement (A/) et prélèvement à Tancarville (B/).	54
Figure 50 : Phagocytose hémocytaire chez la crevette blanche.	55
Figure 51 : Biomarqueurs mesurés sur le flet, avant et après encagement à Petit-Couronne.	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Campagnes d'analyses chimiques menées en Seine entre septembre 2019 et février 2020.	13
Tableau II : Campagnes de mesures écotoxicologiques menées entre septembre 2019 et mai 2020.	14
Tableau III : Propositions d'identification pour les principaux marqueurs spécifiques isolés dans les échantillons liquides du bassin aux bois [campagne 1].	23
Tableau IV : Teneurs en HAP mesurées dans les sédiments du bassin aux bois prélevés le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM] par rapport aux teneurs mesurées dans les sédiments dragués par le GPMR entre 2011 et 2018.	29
Tableau V : Teneurs en PCB _i mesurées dans les sédiments du bassin aux bois prélevés le 10 octobre 2019 par rapport aux concentrations mesurées dans les sédiments dragués par le GPMR entre 2011 et 2018.	32
Tableau VI : Quelques molécules spécifiques identifiées par UPLC-QTOF dans les échantillons de sédiments prélevés le 10 octobre 2019 [campagne 5].	34
Tableau VII : Résultats des bioessais réalisés sur l'eau prélevée le 15 octobre 2019 [campagne A].	42
Tableau VIII : Bilan des réponses écotoxiques mesurées sur les échantillons d'eau prélevés le 06 décembre [campagne C].	45
Tableau IX : Bilan des réponses écotoxiques et des teneurs en HAP mesurées sur les sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].	49
Tableau X : Bilan des réponses écotoxiques mesurées sur les sédiments prélevés en Seine, entre novembre 2019 et mai 2020 [campagne B].	51

CONTEXTE

Le 26 septembre 2019, un incendie a touché les installations d'enfûtage et d'entreposage de l'usine de produits chimiques de la société Lubrizol, ainsi qu'un entrepôt voisin de la société NL-Logistique. Compte tenu de l'ampleur du sinistre, le préfet de Seine-Maritime a pris la direction opérationnelle des secours et a activé le plan particulier d'intervention (PPI). La priorité a été donnée à l'extinction de l'incendie, tout en mettant en place les moyens nécessaires à la gestion de la pollution induite. L'arrosage nécessaire à l'extinction de l'incendie a notamment conduit au ruissellement d'une partie de ces eaux (volume estimé à 2000m³) dans les réseaux d'eau pluviale dont les exutoires aboutissent dans le bassin aux bois. La configuration favorable de ce bassin a facilité la gestion de cette pollution pour éviter qu'elle n'atteigne la Seine. Pour ce faire, le plan POLMAR¹ a été déclenché et a permis de mobiliser les moyens des Grands Ports Maritimes de Rouen et du Havre. Cela s'est traduit par 1) la mise en place de barrages flottants anti-pollution pour contenir les polluants dans le bassin aux bois et éviter leur propagation en Seine ; et 2) la création d'un contre-courant artificiel de surface réalisé au moyen des lances à eau des remorqueurs présents sur le site, afin de repousser la pollution flottante vers la partie du bassin où elle a été pompée et traitée. Une présence d'hydrocarbures lourds a été associée à ce rejet et une mortalité piscicole a été observée dans le bassin aux bois suite à l'incendie. Plus de 150m³ de polluants purs, c'est-à-dire séparés de l'eau, ont été retirés, le pompage ayant duré jusqu'au 6 octobre 2019 [Figure 1 ; SDIS-76, 2019 ; Bouillon & Adam, 2020].



Figure 1 : Plan de situation.

¹ Les abréviations utilisées sont listées en fin rapport

En lien avec le rejet des eaux d'extinction dans le bassin aux bois, des questions se sont posées sur le niveau de contamination additionnel apporté à la Seine et sur l'impact de cette contamination sur la faune aquatique. Pour répondre à ces interrogations et dimensionner les mesures de gestion à prendre, des campagnes de mesures ont été menées par les services de l'Etat, divers organismes publics et les exploitants. En complément, le GIP Seine-Aval et des équipes scientifiques se sont mobilisés pour étudier l'évènement. De nombreuses données ont ainsi été acquises dans les mois qui ont suivi l'incendie, pour déterminer le niveau de contamination du milieu et l'impact sur la faune aquatique, avec diverses déclinaisons spatiales (du niveau local au global) et temporelles (du court au moyen/long terme) [Figure 4]. L'inventaire des données acquises et leur analyse croisée a permis de fournir une **vision globale de l'impact de l'évènement sur la Seine**. Le présent rapport reprend ce travail autour des différents questionnements investigués, à savoir :

- **Quelles sont les données acquises pour le suivi de l'impact de l'évènement ?**
Les campagnes d'analyses chimiques et écotoxicologiques menées suite à l'incendie du 26 septembre 2019 dans le bassin aux bois, dans la Seine à proximité de ce dernier et à l'échelle de l'estuaire de la Seine, sont décrites [Chapitre A].
- **Quel niveau de contamination en Seine ?**
Le croisement des données de contamination chimique acquises dans l'eau et le sédiment permet d'appréhender la contamination additionnelle apportée au milieu, à différentes échelles spatiales et temporelles [Chapitre B1].
- **Quelle toxicité pour le milieu ?**
Les résultats des bioessais réalisés sur des échantillons d'eau et de sédiment permettent de renseigner et caractériser le potentiel toxique associé à ces matrices, à différentes échelles spatiales et temporelles [Chapitre B2].
- **Quel impact sur les organismes aquatiques ?**
Les résultats des biomarqueurs acquis sur un poisson (le flet) et un crustacé (la crevette) permettent d'appréhender l'impact de l'évènement sur la faune aquatique de l'estuaire de la Seine à moyen terme [Chapitre B3].

A- LES DONNEES DE SUIVI ACQUISES

Cette première partie présente les données acquises par les divers intervenants pour répondre aux questions posées sur l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 sur la Seine. Elle regroupe les campagnes² d'analyses chimiques d'une part, et les campagnes de mesure de bioessais et de biomarqueurs d'autre part.

1 Les campagnes d'analyses chimiques

La réalisation d'analyses chimiques permet la quantification des contaminants présents dans les matrices environnementales. Ces analyses permettent de caractériser les polluants apportés au milieu et de renseigner leur évolution temporelle et spatiale. Selon les propriétés physico-chimiques propres à chaque substance (volatilité et caractère hydrophobe), la matrice préférentielle de suivi sera différente : 1) l'eau pour les substances hydrophiles et/ou volatiles ; 2) le sédiment pour les substances hydrophobes peu ou non volatiles ; 3) le biote (matière vivante) pour les substances bioaccumulables. Le choix de la matrice sera également fonction de l'objectif du suivi. Les analyses sur l'eau seront préférées pour suivre un rejet accidentel ou une contamination importante et limitée dans le temps ; alors que les analyses sur le sédiment et le biote seront préconisées pour un suivi régulier d'une potentielle contamination chronique du milieu. En effet, alors que les mesures dans l'eau représentent la situation ponctuelle du lieu et du moment du prélèvement et permettent de tracer les apports et les rejets, les mesures dans le sédiment et le biote sont intégratrices et éclairent une situation sur une période plus longue intégrant la dynamique du milieu.

Eu égard aux diverses questions posées par l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 sur la Seine, un suivi sur les différentes matrices environnementales permet d'en aborder la complexité. **Ce suivi a essentiellement concerné des analyses chimiques sur les eaux de surface et les sédiments de la Seine, à plusieurs échelles temporelles, spatiales et analytiques** [Figure 2 ; Tableau I ; Figure 4].

Concernant les échelles spatiales, des analyses ont été menées 1) dans les effluents hydrocarbonés rejetés dans le bassin [données non disponibles]³ et dans les eaux d'extinction collectées [campagne 0] ; 2) dans le bassin aux bois [campagnes 1, 2, 5, 6] ; 3) dans la Seine et d'autres bassins portuaires à proximité du bassin aux bois [campagnes 1, 5] ; et 4) à l'échelle de l'estuaire de la Seine, de Poses à la mer [campagnes 3, 4].

D'un point de vue temporel, les premières analyses dans l'eau ont été menées les 26 et 27 octobre [données non disponibles]³, puis le 02 octobre 2019 dans le bassin aux bois et sur la Seine (au niveau de Oissel et de La Bouille) [campagnes 1, 3]. Une campagne spécifique a ensuite été menée les 15 et 17 octobre 2019, avec des prélèvements 1) dans la Seine entre Amfreville-la-Mi-Voie et La Bouille [campagne 1] ; et 2) dans le bassin aux bois [campagne 1]. Des prélèvements d'eau ont également été réalisés le 17 octobre 2019 dans les cuves utilisées pour le stockage d'une partie des eaux d'extinction [campagne 0]. A noter que 1) les prélèvements d'eau ont été régulièrement réitérés pour documenter l'évolution temporelle de la contamination dans le bassin aux bois [campagne 2] ; et que 2) la mobilisation du suivi pérenne de la qualité des eaux de la Seine (de Poses à la mer) a permis une comparaison des concentrations post-incendie mesurées en Seine [campagne 3] à des données

² Une campagne correspond à un ensemble de prélèvements réalisés avec un même protocole par un intervenant donné. Une même campagne peut ainsi comprendre des prélèvements réalisés à plusieurs dates.

³ Les résultats des campagnes menées dans le cadre de la procédure judiciaire en cours ne sont pas disponibles au moment de la rédaction du rapport. De ce fait, elles ne sont pas intégrées au travail.

antérieures. Les premiers prélèvements de sédiment ont été réalisés à la benne le 1^{er} octobre [données non disponibles]³, puis le 10 octobre 2019 dans le bassin aux bois, dans le chenal de navigation de la Seine et dans d'autres bassins portuaires de la région rouennaise [campagne 5] ; et les 21-23 octobre 2019 sur les banquettes latérales découvrantes de la Seine, à l'échelle de l'estuaire de Seine [campagne 4]. Ces prélèvements sont intégrés au suivi pérenne de la qualité des eaux de la Seine (de Poses à la mer), ce qui a permis une comparaison des teneurs post-incendie mesurées en Seine à des données antérieures. Enfin, des mesures sur le biote (poissons) ont été réalisées [données non disponibles]³. D'un point de vue analytique, des analyses ont été menées sur l'eau [campagnes 0, 1, 2, 3] et le sédiment [campagnes 4, 5, 6], alors que le biote n'a pas été investigué. La liste des substances analysées est variable et plus ou moins complète selon les campagnes, avec néanmoins des mesures systématiques des HAP et des mesures très régulières des autres familles de contaminants comme les métaux, les PCB, les dioxines/furanes, les BTEX et les phénols. En complément de ces analyses chimiques classiques qui permettent de rechercher des substances spécifiques, des analyses chimiques non ciblées ont été mises en œuvre sur des échantillons d'eau et de sédiments [campagnes 1, 5]. Ces analyses s'appuient sur une technique de spectrométrie de masse haute-résolution (de type QTOF), qui permet de détecter et d'identifier des molécules d'intérêt, sans *a priori*, et de proposer des formules brutes pour les molécules d'intérêt.

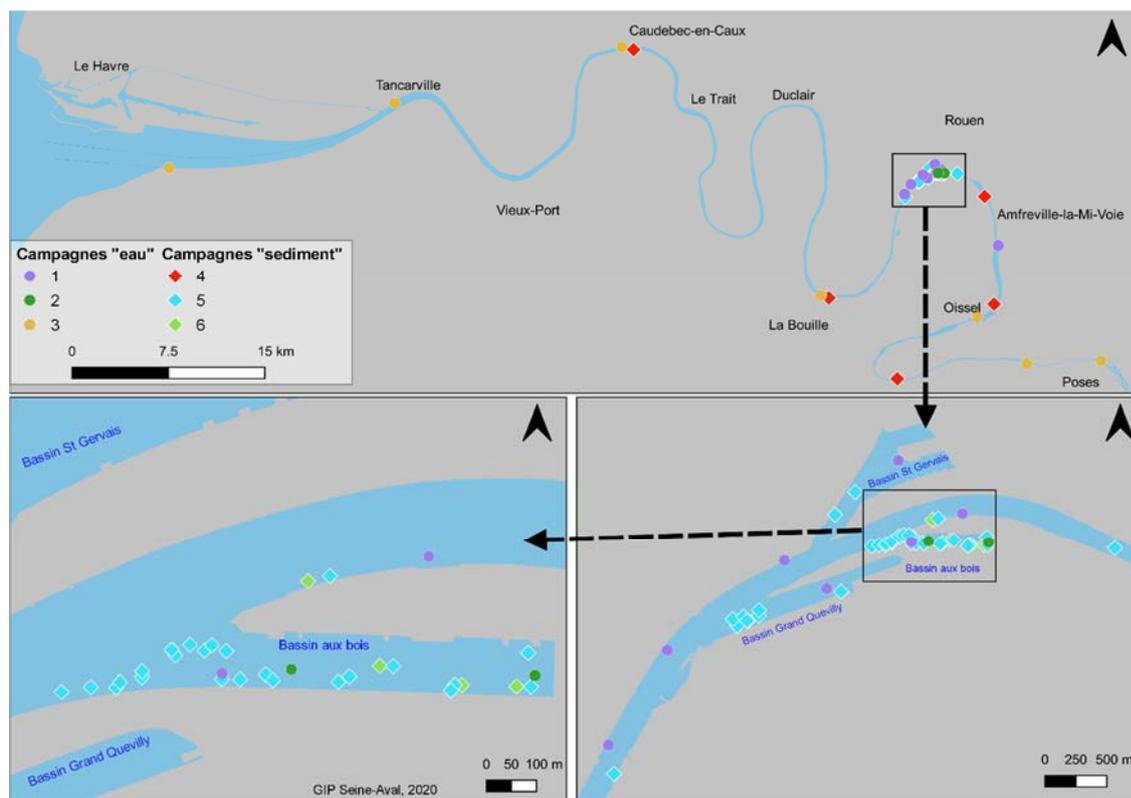


Figure 2 : Campagnes d'analyses chimiques menées en Seine entre septembre 2019 et février 2020.

En complément de ces campagnes mises en œuvre pour documenter l'impact de l'incendie sur la Seine, des suivis réguliers sont menés, notamment par l'AESN (réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine), le GPMR (suivi de la qualité des sédiments de dragage) et des équipes scientifiques sous l'égide du GIP Seine-Aval (projets de recherche). Ces données antérieures à l'incendie ont également été mobilisées pour établir un état antérieur de la Seine et fournir des éléments comparatifs aidant à l'interprétation des données acquises spécifiquement pour suivre l'impact de l'incendie.

2 Les campagnes de mesure de bioessais et de biomarqueurs

La présence combinée de plusieurs contaminants chimiques dans l'environnement soumet les organismes à un stress pouvant conduire à des effets physiologiques et écologiques. Ces effets peuvent être génériques et toucher la fitness des individus ou bien cibler des fonctions spécifiques, comme la reproduction, le système immunitaire ou le système nerveux. Pour évaluer ce stress, il est possible de s'appuyer sur la réalisation 1) de bioessais pour fournir une évaluation de l'activité biologique associée à un échantillon du milieu ; et 2) de biomarqueurs pour mesurer l'impact de la contamination chimique de l'environnement sur des organismes. Alors que la mesure de bioessais renseigne sur un potentiel toxique (notion de danger), la mesure de biomarqueurs sur des organismes considère les réponses de ces derniers à l'exposition dans le milieu et intègre la complexité et la dynamique du système (phénomènes de biodisponibilité, de dégradation et d'interaction des contaminants). De nombreux bioessais et biomarqueurs sont aujourd'hui disponibles, mais ils présentent des niveaux d'opérationnalité variables. C'est pourquoi les tests réglementaires et les essais pour lesquels un historique est disponible en Seine ont été privilégiés pour les suivis réalisés dans le cadre de l'évaluation de l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 sur la Seine.

Un panel d'approches écotoxicologiques a été déployé pour évaluer l'impact de l'évènement sur le bassin aux bois et sur la Seine [Figure 4 ; Figure 3 ; Tableau II]. Concernant les bioessais, une première campagne a été menée sur des échantillons d'eau prélevés le 15 octobre 2019 juste en arrière du barrage flottant positionné en sortie du bassin aux bois et sur la Seine et quelques kilomètres en amont du bassin aux bois, au niveau d'Amfreville-la-Mi-Voie [campagne A]. Le protocole mis en place a combiné la réalisation 1) de bioessais réglementaires préconisés pour le suivi de l'impact des rejets industriels sur l'eau filtrée à 0,45µm ; et 2) de bio-analyses sur la fraction organique (extractions organiques de type Solide Phase Extraction).

De novembre 2019 à mai 2020, des prélèvements mensuels de sédiments ont été réalisés sur les banquettes latérales découvrantes de la Seine (10, puis 6 points entre Pont-de-l'Arche et Tancarville) [campagne B]. Les potentiels écotoxiques de ces échantillons ont été analysés par un panel de bioessais permettant d'en évaluer la toxicité globale, la génotoxicité et le potentiel perturbateur endocrinien. Ce même panel de bioessais a été réalisé sur des échantillons d'eau (échantillons bruts filtrés à 2mm et extractions organiques de type Solide Phase Extraction) et de sédiments (élutriats et extractions organiques de type Accelerated Solvent Extraction) respectivement prélevés le 06 décembre 2019 (3 points) et le 12 février 2020 (6 points) dans le bassin aux bois et en aval de ce dernier [campagnes C, D].

Le 13 novembre 2019, une campagne de biomonitoring actif a été déployée en Seine, à une dizaine de kilomètres en aval du bassin aux bois (site de Petit-Couronne). Elle a permis l'exposition de crustacés (crevettes) et de poissons (flets) aux eaux et sédiments de la Seine pendant une durée respective de 15 jours et 1 mois, à l'issue de laquelle un panel de biomarqueurs a été mesuré sur les organismes exposés. Ce panel de biomarqueurs intègre des mesures de fitness, de génotoxicité et de neurotoxicité [campagnes E, F]. Pour le flet, des mesures de protéomique haut-débit de type « shot-gun » ont également été menées sur le foie des individus exposés. Cette approche permet d'enregistrer une image quasi exhaustive du contenu protéique d'un organe à un moment donné, révélant les grandes (ré)-orientations métaboliques consécutives à une situation environnementale donnée. L'analyse du protéome hépatique de poissons donne ainsi accès à l'expression de milliers de protéines, renseignant l'état physiologique des poissons, mais également sur leur exposition éventuelle à des



substances toxiques. L'interprétation des résultats issus de ces campagnes de biomonitoring actif sur le flet bénéficie des résultats acquis lors de campagnes similaires menées à l'automne 2017 et à l'automne 2018 dans le cadre du projet scientifique Seine-Aval 6 HQ-Fish [Amara *et al.*, en cours ; Borcier *et al.*, 2019]. Pour les crevettes, des mesures de l'ADN spermatique ont également été menées sur des organismes prélevés en Seine à Tancarville en septembre, octobre et novembre 2019 [campagne G]. L'interprétation des résultats issus de ces campagnes de biomonitoring sur la crevette bénéficie des résultats acquis lors de campagnes menées en estuaire de Seine et sur le littoral normand, notamment dans le cadre du projet scientifique Seine-Aval 5 ECOTONES [Xuereb *et al.*, 2019].

Au-delà d'un constat visuel d'une mortalité piscicole dans le bassin aux bois [chapitre B.3.1], aucune campagne spécifique de mesure d'écotoxicité n'a été menée pendant l'incendie et sur les jours qui ont suivis, que ce soit dans le bassin aux bois ou en Seine. **Il n'a donc pas été possible d'évaluer une éventuelle toxicité aigüe subléthale pour les organismes aquatiques, en lien avec à l'évènement.**

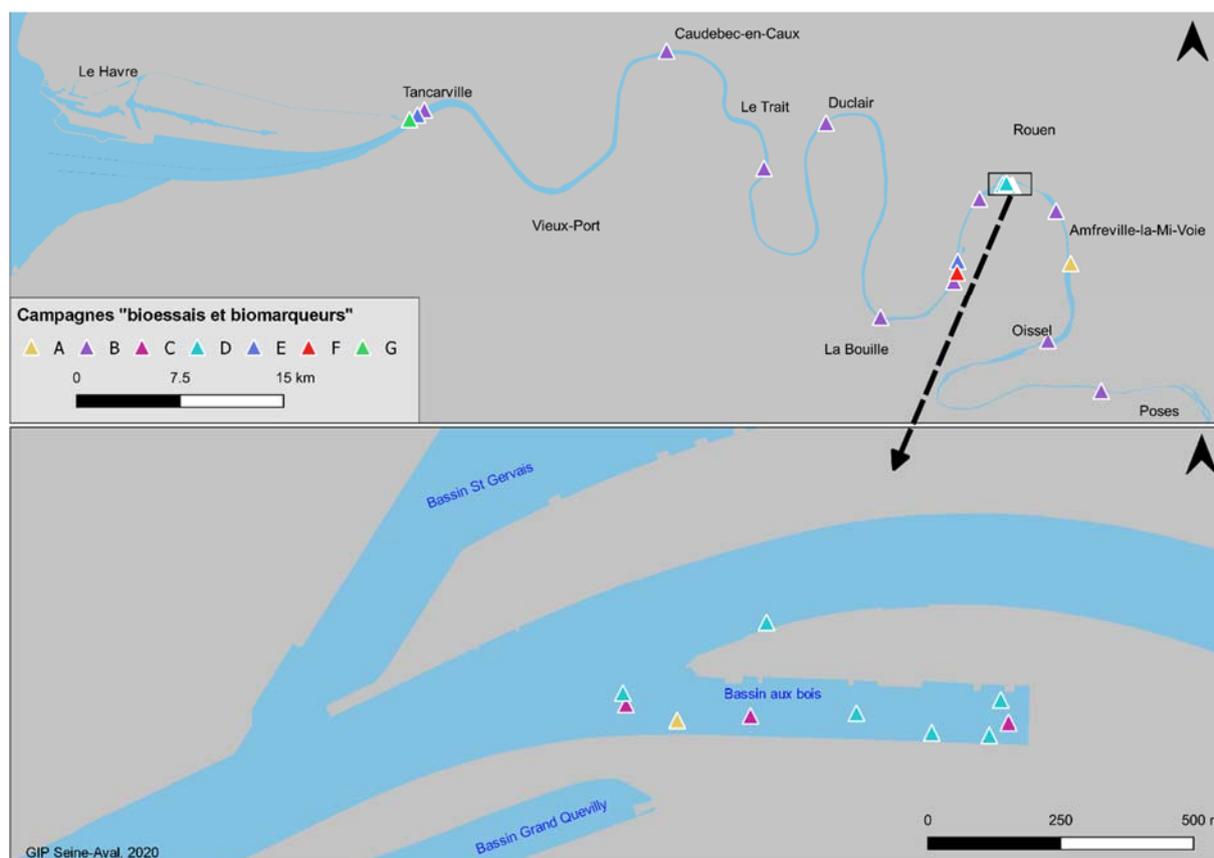


Figure 3 : Campagne de mesures de bioessais et de biomarqueurs menées en Seine entre septembre 2019 et mai 2020.

3 Bilan des données acquises

Un ensemble de campagnes de mesures a été mené pour documenter le niveau de contamination de la Seine et l'impact sur les organismes aquatiques, suite à l'incendie des installations Lubrizol et NL-Logistique du 26 septembre 2019. Ces campagnes ont permis d'acquérir un ensemble de données complémentaires pour éclairer les conséquences de l'évènement sur la Seine, que ce soit 1) à une échelle locale (bassin aux bois), proche (boucle de Rouen) et globale (estuaire de la Seine) ; 2) à court terme (quelques semaines) et à moyen terme (quelques mois) ; et 3) d'un point de vue chimique (analyses quantitatives et non ciblées) et écotoxique (bioessais et biomarqueurs). Même si cet ensemble de données couvre de nombreuses questions posées par l'évènement, certains aspects n'ont pas été complètement documentés. C'est notamment le cas des effets potentiels (bioessais) à très court terme (les premiers jours) et l'impossible exhaustivité des substances recherchées dans un contexte de méconnaissance partielle des polluants déversés dans le bassin aux bois. La réalisation des mesures biologiques (bioessais et biomarqueurs) a cependant permis de dépasser ces limites méthodologiques.



Tableau I : Campagnes d'analyses chimiques menées en Seine entre septembre 2019 et février 2020 mobilisés pour la présente étude.

Campagne	Dates	Sites	Matrice	Paramètres	Intervenants <i>commanditaire, prélèvement, analyse</i>
0	17/10/2019	Cuves de stockage des eaux d'extinction	Eau	HAP, métaux, PCB, dioxines, COV, BTEX, phtalates, amiante	Lubrizol, SGS
1	15/10, 17/10/2019*	9 points en Seine (boucle de Rouen) 2 point dans le bassin aux bois*	Eau	HAP, métaux, PCB, dioxines, produits bromés, chlorés, phtalates, perfluorés, phénols, dérivés benzéniques,... + analyses non ciblées	AESN, GIP Seine-Aval, AFB, DDTM, ALPA, LEESU, Eurofins
2	02/10, 29/11, 06/12, 13/12, 20/12/2019	2 points dans le bassin aux bois + bassin St Gervais	Eau	HAP, dioxines, furanes, BTEX, phénols, métaux	Lubrizol, DDTM, SGS
3	02/10, 21/10, 26/11, 12/12, 18/12/2019	4 à 7 points en Seine (entre Poses et Honfleur)	Eau	HAP, métaux, PCB, dioxines, produits bromés, chlorés, phtalates, perfluorés, phénols, dérivés benzéniques,...	AESN, Lubrizol, ALPA
4	21-23/10/2019	5 points en seine (Elbeuf, Oissel, Rouen, La Bouille, Caudebec-en-Caux)	Sédiment	HAP, métaux, dioxines, PCB, organoétains, solvants, phtalates, PBDE, alkylphénols, pesticides.	AESN, ALPA
5	10/10/2019	20 points (DDTM) et 17 points (GPMR), dans le bassin aux bois, en sortie de bassin et à proximité en Seine	Sédiment	HAP, métaux, dioxines, PCB, amiante,... + analyses non ciblées	DDTM, GMPR, Micropolluants Technologie, SGS, ALPA, LEESU
6	12/02/2020	5 points dans le bassin aux bois et à proximité du bassin	Sédiment	16 HAP, indice hydrocarbure C10-C40	LUBRIZOL, Prelev'Mar, TOXEM, Eurofins



Tableau II : Campagnes de mesures écotoxicologiques menées entre septembre 2019 et mai 2020 mobilisés pour la présente étude.

Campagne	Dates	Sites	Matrice	Paramètres	Intervenants commanditaire, prélèvement, analyse
A	15/10/2019	2 points en Seine (sortie du bassin aux bois et Amfreville-la-Mi-Voie)	Eau - échantillon brut	<u>Bioessais</u> : essai d'inhibition de la mobilité de <i>Daphnia magna</i> , essai d'inhibition de la croissance de <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> , essai d'inhibition de la luminescence de <i>Vibrio fischeri</i> , essai de reproduction des céridaphnies	AESN, GIP Seine-Aval, ALPA, SEBIO-INERIS
			Eau - extrait organique	<u>Bio-analyses</u> : activité HAP-like <i>in vitro</i> , toxicité <i>in vivo</i> sur embryon de poisson zèbre, activité EROD	
B	25-26/11/2019, 13-14/01, 10-11/02, 09-10/03, 7-8/04, 6-7/05/2020	6 à 10 points en Seine (de Pont de l'Arche à Tancarville)	Sédiment – éluatriat et extrait organique	<u>Bioessais</u> : cytotoxicité sur cellules de poisson RTG-2, SOS-Chromotest, test de numération des micronoyaux, test des COMETES, Test YES, YAS, Anti-YES et Anti-YAS	Lubrizol, Prelev'Mar, TOXEM
C	06/12/2020	2 points dans le bassin aux bois et 1 point en sortie du bassin	Eau – échantillon brut et extrait organique	<u>Bioessais</u> : cytotoxicité sur cellules de poisson RTG-2, SOS-Chromotest, test de numération des micronoyaux, test des COMETES, Test YES, YAS, Anti-YES et Anti-YAS	Lubrizol, Prelev'Mar, TOXEM
D	12/02/2020	4 points dans le bassin aux bois et 2 points en sortie du bassin	Sédiment – éluatriat et extrait organique	<u>Bioessais</u> : cytotoxicité sur cellules de poisson RTG-2, SOS-Chromotest, test de numération des micronoyaux, test des COMETES, Test YES, YAS, Anti-YES et Anti-YAS, test d'embryotoxicité larvaire	Lubrizol, Prelev'Mar, TOXEM
E	du 13 au 28/11/2019	La Seine à Petit-Couronne et à Tancarville	Crevettes engagées	<u>Biomarqueurs</u> : indice de condition, réserves énergétiques, ADN spermatique, phagocytose hémocytaire	GIP Seine-Aval, LOG, SEBIO
F	du 13/11 au 13/12/2019	La Seine à Petit-Couronne	Flets engagés	<u>Biomarqueurs</u> : survie, croissance, indice de condition, protéines, ARN/ADN, lipides, test des COMETES, EROD, AChE Analyse du protéome hépatique	GIP Seine-Aval, LOG, LEMAR, TOXEM,
G	17/09, 17/10, 06/11, 28/11/2019	La Seine à Tancarville	Crevettes <i>in natura</i>	<u>Biomarqueur</u> : ADN spermatique	GIP Seine-Aval, SEBIO

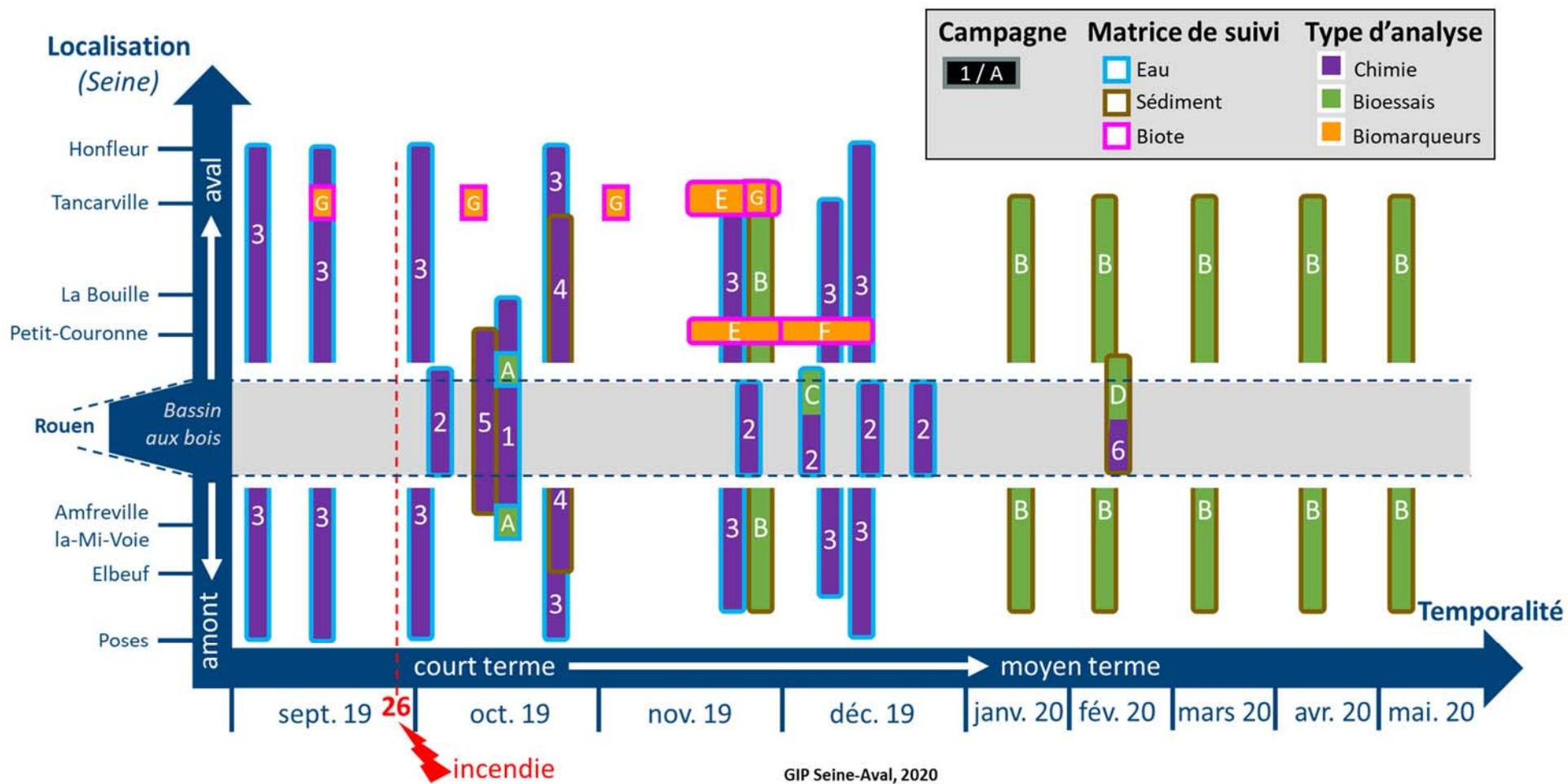


Figure 4 : Campagnes menées en Seine⁴ pour le suivi de l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019.

4 Le détail des campagnes est présenté dans les Figure 2-Figure 3 et les Tableau I-Tableau II

B- ANALYSE DES CONSEQUENCES DE L'INCENDIE

Cette seconde partie mobilise les résultats acquis lors des campagnes menées pour évaluer l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 sur la Seine. Elle se décline en trois questionnements principaux associés aux conséquences de l'incendie, à savoir 1) quel niveau de contamination en Seine ? ; 2) quelle toxicité pour le milieu ? ; 3) quel impact sur les organismes aquatiques ?

Selon les données disponibles, ces questionnements sont interrogés par matrice (eau, sédiment), aux différentes échelles spatiales (du local au global) et temporelles (du court terme au moyen/long terme).

1 Quel niveau de contamination en Seine ?

1.1 Les suivis sur l'eau

1.1.1 Les eaux d'extinction

Des analyses chimiques ont été menées sur des échantillons prélevés le 17 octobre 2019 dans 9 cuves utilisées pour stocker les eaux d'extinction de l'incendie du site Lubrizol, non déversées en Seine [campagne 0 ; Lubrizol, *com. pers.*]. Elles permettent de caractériser les polluants présents dans ces dernières, mais ne sont pas nécessairement représentatives de l'ensemble des eaux déversées en Seine issues des sites Lubrizol et NL-Logistique.

Les eaux d'extinction analysées présentent une très forte DCO (concentration médiane de 682mg/l) témoignant d'une **charge très importante en matière oxydable difficilement biodégradable** (rapport DCO/DBO₅ de 7 ± 3). Elles présentent également une **contamination notable en hydrocarbure**, avec un indice C10-C40 moyen de 26mg/l et une concentration moyenne en naphthalène de 189µg/l. Pour les autres HAP, le fluoranthène, le phénanthrène, l'anthracène et le fluorène sont les plus présents dans les eaux d'extinction analysées, avec des concentrations moyennes comprises entre 2,5 et 1,2µg/l. Concernant les éléments métalliques, **seul le zinc semble présenter une contamination significative**, avec une concentration moyenne de 18mg/l. **Aucun congénère des 18 PCB recherchés n'a été détecté** dans les différents échantillons. Concernant les dioxines et les furanes, seuls 3 congénères ont été ponctuellement détectés. Concernant les phtalates (14 molécules recherchées), seuls le diéthyle phtalate (DEP) et le di-2-éthylhexyle phtalate (DEHP) ont fait l'objet de détections, à une concentration moyenne respective de 18 et 6µg/l. Parmi les 34 composés organiques volatiles recherchés, **le toluène présente les concentrations les plus fortes** (médiane à 24µg/l et maximum à 1250µg/l). Le benzène (µ=6µg/l), l'éthylbenzène (µ=1,2µg/l) et les xylènes (µ=5,9µg/l) sont également présents dans ces eaux. Enfin, **aucune fibre d'amiante n'a été détectée**.

Ce profil de contamination est confirmé par une analyse des déchets d'hydrocarbures prélevés dans le bassin aux bois le 26 septembre 2019 [Lubrizol, *com. pers.*]. Cette analyse montre une très forte DCO, une présence importante de zinc (6,5 g/kg), de phosphore et un indice C10-C40 très élevé (411g/kg). La plupart des 16 HAP recherchés sont détectés, avec une forte teneur en naphthalène (250 mg/kg), une présence de phénanthrène, de fluorène et de pyrène, pour les teneurs les plus élevées (respectivement 7,59mg/kg 4,99mg/kg et 4,9mg/kg). Enfin, les dioxines/furanes ne sont pas détectés, à l'exception d'un congénère mesuré à 2ng/kg.

1.1.2 Au niveau du bassin aux bois et à proximité

Les premières données post-incendie disponibles proviennent de prélèvements d'eau réalisés le 02 octobre 2019 sur deux points (A1, A2) du bassin aux bois [Figure 5] et un point (A3) dans le bassin St Gervais [campagne 2]. Ces premières mesures ont permis d'identifier les principales problématiques de contamination chimique associées aux rejets liées à l'incendie. Elles ont été réitérées (29/11, 06/12, 13/12, 20/12/2019) pour ce qui concerne le bassin aux bois, afin de suivre l'évolution dans le temps de ces problématiques [DDTM-76, *com. pers.* ; Lubrizol, *com. pers.*].



Figure 5 : Points de prélèvement d'eau dans le bassin aux bois [campagne 2].

Une importante DCO a été mesurée dans le bassin aux bois le 02 octobre 2019, avec des valeurs de 48mg/l (point A1) et 22mg/l (point A2) contre des valeurs de l'ordre de 10mg/l dans le bassin St Gervais et dans le bassin aux bois pour les prélèvements des mois de novembre et décembre 2019. **Cette DCO mesurée quelques jours après l'incendie témoigne d'un apport de matières oxydables dans le bassin aux bois lors de l'évènement.** Il s'est accompagné d'une **diminution de la concentration en oxygène dissous**, avec des valeurs inférieures à 2,5mg/l mesurées dans le bassin aux bois les 02 et 03 octobre 2019 (concentrations menaçant la vie aquatique). Le 17 octobre 2019, les mesures témoignent d'une **nette amélioration de l'oxygénation** du bassin aux bois, avec un déficit en oxygène cependant toujours présent à son extrémité est [Figure 6 ; DDTM76, *com. pers.*].

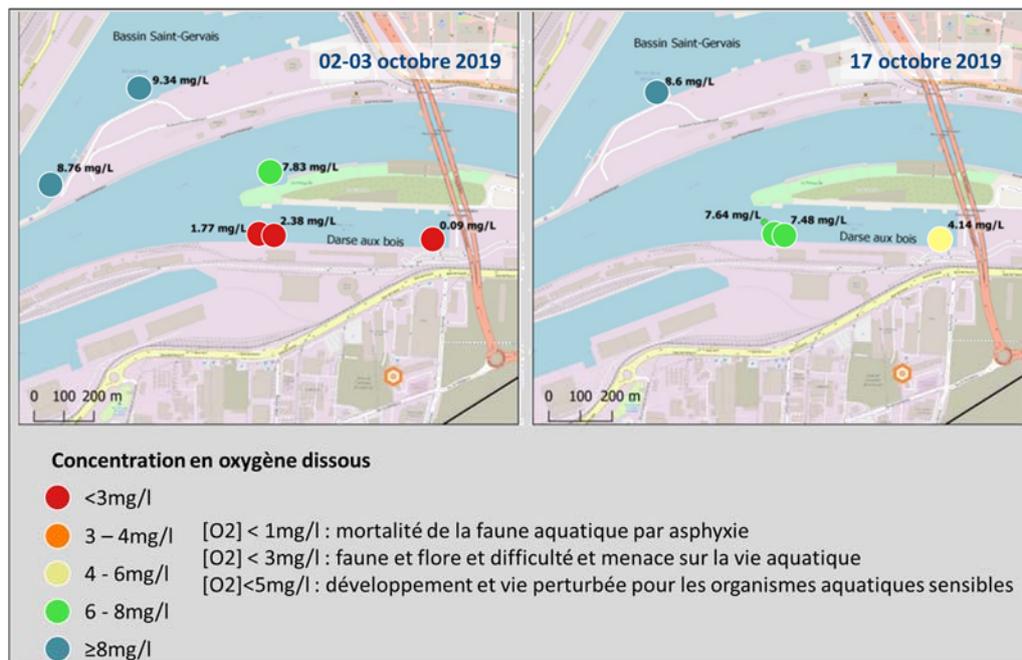


Figure 6 : Concentration en oxygène dans le bassin aux bois et à proximité [DDTM-76].

Les valeurs de l'indice hydrocarbure C10-C40 mesurées le 02 octobre 2019 dans le bassin aux bois témoignent d'un apport localisé d'hydrocarbures peu volatils de type fuel et gasoil et/ou d'hydrocarbures plus lourds de type huiles de coupe, lubrifiants, huiles de vidanges et goudrons (0,31mg/l pour le point A1). Pour les autres points (A2 et A3) et les autres dates de prélèvement, cet indice est resté inférieur à la limite de détection (0,05 mg/l) ce qui va dans le sens d'un **apport polluant localisé dans le temps et l'espace**. Parmi les 18 HAP suivis, seuls le naphthalène, le 1-méthyl-naphtalène et le 2-méthyl-naphtalène ont été détectés de manière récurrente. Les concentrations les plus fortes ont été mesurées le 02 octobre 2019 sur le point A1 et ces substances ont été détectées jusqu'au 13 décembre 2019 dans le bassin aux bois [Figure 7]. **Cette présence de naphthalène est cohérente avec les fortes concentrations mesurées dans les eaux d'extinction et peut être associée à un apport lié à l'incendie**. Pour ces substances, les concentrations mesurées le 02 octobre 2019 dans le bassin aux bois sont significativement supérieures à ce qui est mesuré en Seine ces dernières années (comparaison 2015-2018 pour les stations entre Poses et Caudebec-en-Caux). Ainsi, pour le 2-méthyl-naphtalène, les concentrations mesurées dans le bassin aux bois sont de 0,33 et 0,29µg/l le 02 octobre 2019, contre un maximum mesuré en Seine de 0,065µg/l (à Poses le 07/06/2018) et de 0,034µg/l (à Rouen le 11/05/2017). Pour le naphthalène, les concentrations mesurées dans le bassin aux bois sont de 1,2 et 1,7µg/l le 02 octobre 2019, contre un maximum mesuré en Seine de 0,22µg/l (à Oissel le 24/03/2015). **Ces différents résultats témoignent de la problématique hydrocarbures liée à l'incendie, avec un apport significatif dans le bassin aux bois, notamment pour le naphthalène. Il semble néanmoins avoir été contenu dans le temps, les concentrations mesurées dans l'eau étant revenu au niveau du bruit de fond lors de la campagne du 29 novembre 2019.**

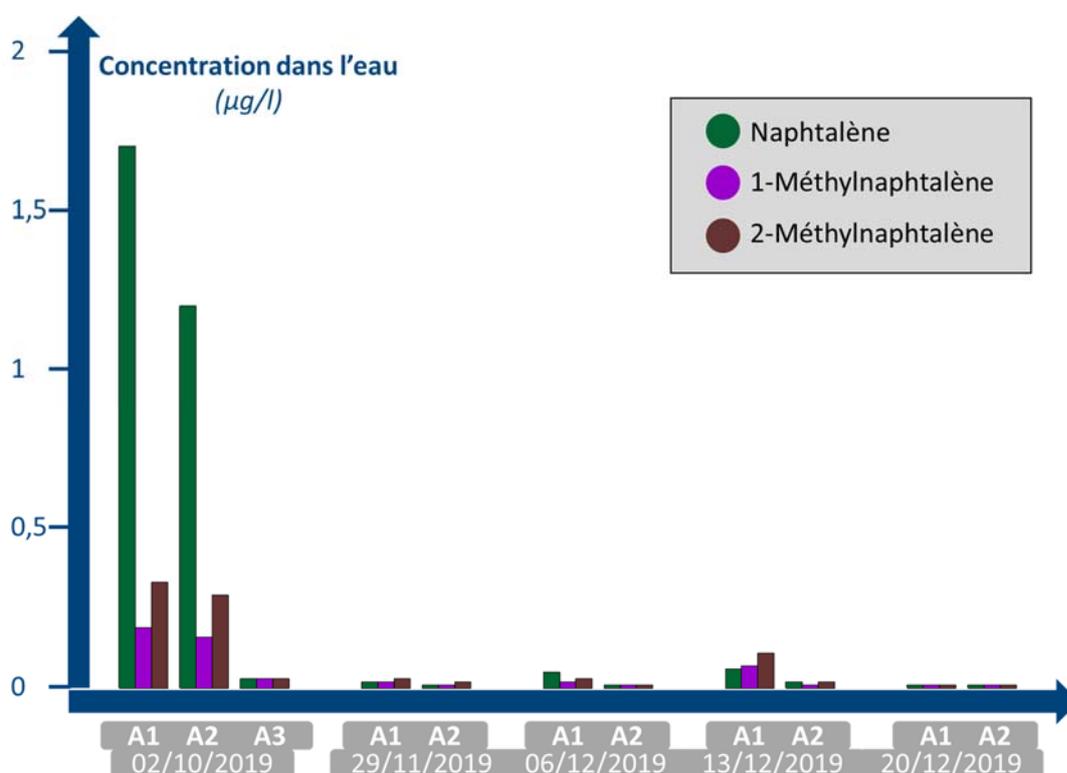


Figure 7 : Concentrations en HAP dans l'eau du bassin aux bois [campagne 2].

Les métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, Zn) et les phénols (22 substances) recherchés dans les prélèvements d'eau du 02 octobre 2019 n'ont pas été détectés. Concernant les dioxines/furanes, seuls deux congénères (1,2,3,4,6,7,8-HPCDD et 1,2,3,4,6,7,8-HPCDF) ont été détectés sur l'échantillon d'eau prélevé le 20 novembre 2019 sur le point A1, ce qui n'indique pas une présence récurrente de dioxines/furanes dans les eaux du bassin aux bois. Les composés organiques volatiles mono-aromatiques (BTEX) ont été recherchés à partir du 06 décembre 2019 et n'ont pas été détectés. **Les métaux, phénols, dioxines/furanes et BTEX ne semblent pas constituer une problématique spécifique à l'évènement pour les eaux du bassin aux bois.**

Les analyses chimiques menées sur des prélèvements d'eau dans le bassin aux bois et en Seine à proximité du bassin (entre Amfreville-la-Mi-Voie et La Bouille) du 15 et 17 octobre 2019 [Figure 8] permettent de compléter cette vision à une échelle spatiale plus large [campagne 1]. Un très large panel de substances chimiques a ainsi été recherché à l'échelle de la boucle de Rouen, comprenant des HAP, des métaux, des dérivés benzéniques, des PCB, des produits bromés, chlorés, des phtalates, des perfluorés, phénols et des dioxines-furanes. Au-delà d'une analyse spatiale des résultats de la campagne, l'interprétation s'est concentrée sur une comparaison des concentrations mesurées par rapport aux valeurs acquises antérieurement (entre 2016 et 2018) sur la Seine au niveau de La Bouille, dans le cadre du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine. Une comparaison aux normes de qualité environnementale (NQE) disponibles a également été menée [AESN, [com. pers.](#)].

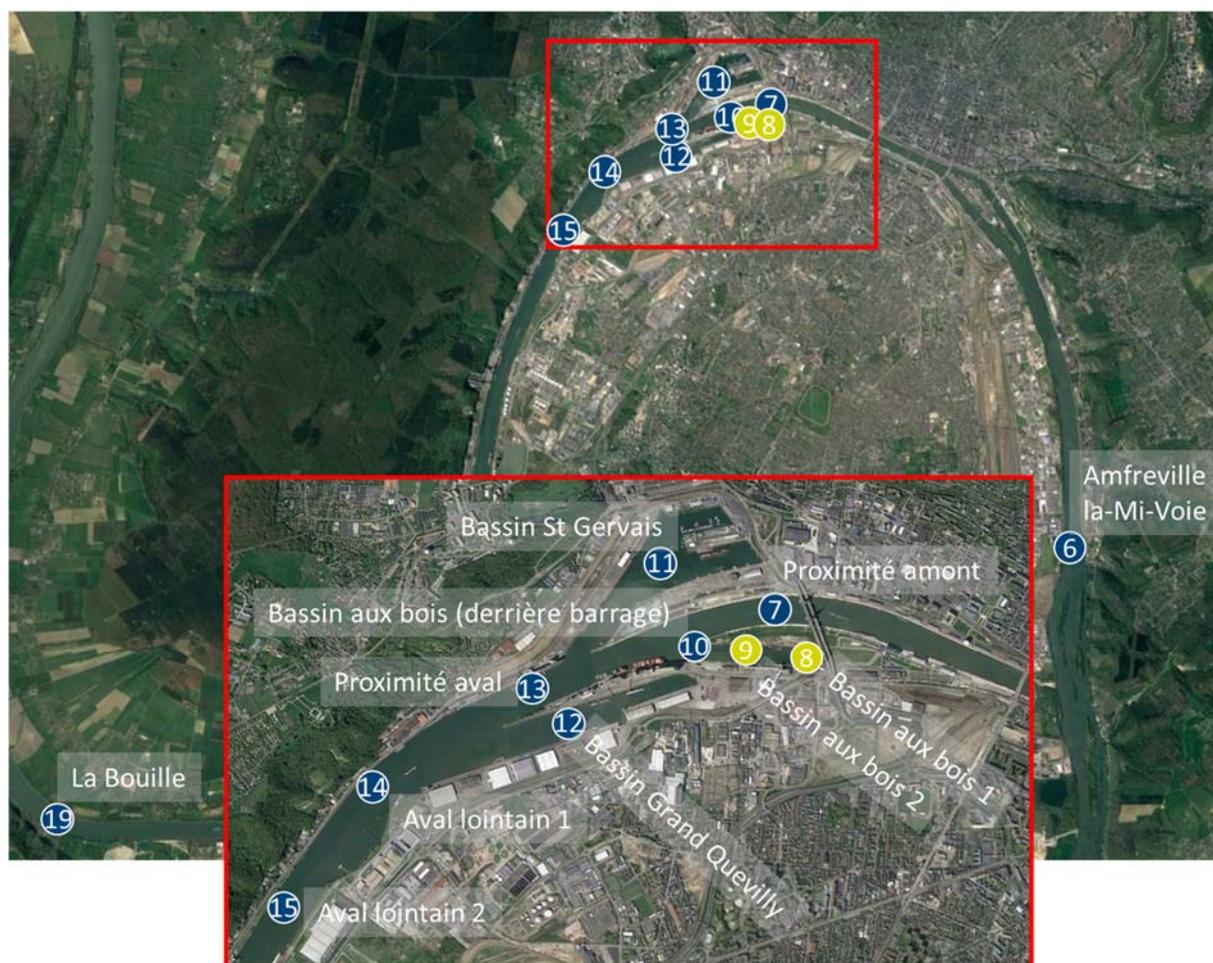


Figure 8 : Points de prélèvement d'eau des 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].

En ce qui concerne les HAP, les concentrations les plus fortes mesurées lors de cette campagne l'ont été dans le bassin aux bois (point 9), le bassin St Gervais (point 11) et le point en proximité amont (point 7). Le 2-méthylnaphtalène et le phénanthrène sont les composés retrouvés aux plus fortes concentrations lors de cette campagne et dépassent le percentile 90 des valeurs mesurées en Seine à La Bouille ces dernières années (2016-2018). C'est également le cas pour le chrysène et le fluoranthène sur le point en proximité amont [Figure 9]. De manière plus générale, 25% des résultats quantifiés présentent des concentrations supérieures à ce qui est observé en moyenne en Seine à La Bouille entre 2016 et 2018. La comparaison aux normes de qualité environnementale (NQE) disponibles pour les eaux côtières et de transition indique des dépassements sur l'ensemble du secteur de Rouen (à l'exception du point "Bassin aux bois derrière le barrage") pour les paramètres benzo(a)pyrène et fluoranthène en "moyenne annuelle" (NQE-MA) ; et pour le benzo(ghi)pérylène en "concentration maximale admissible" (NQE-CMA). **Ces HAP peuvent, pour certains d'entre eux, avoir comme origine une activité pyrolitique et être reliés à une combustion. Pour autant, ces HAP ne présentent pas des concentrations exceptionnelles par rapport à ce qui est observé en Seine ces dernières années, ce qui ne permet pas d'être formel sur leur origine, ni de les relier directement aux apports de l'incendie.**

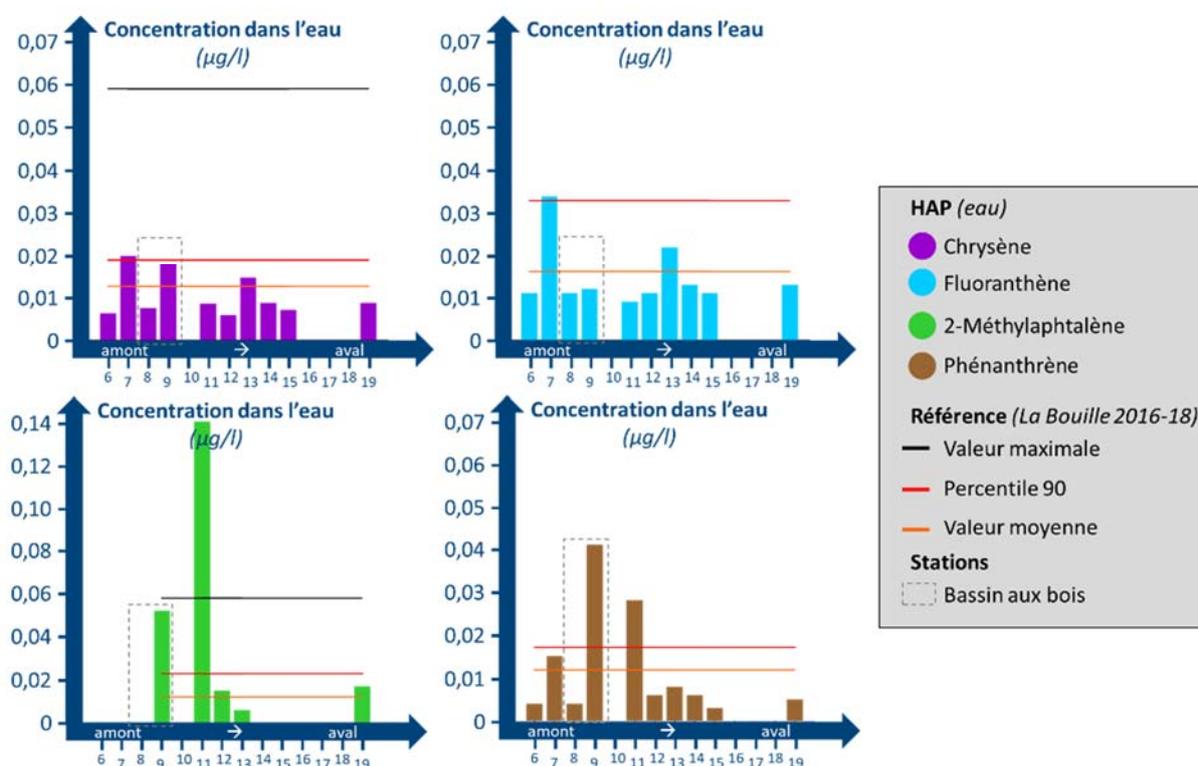


Figure 9 : Concentrations en HAP dans les eaux prélevées les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].

En ce qui concerne les contaminants métalliques, quatre métaux présentent des concentrations qui dépassent le percentile 90 des valeurs mesurées en Seine à La Bouille ces dernières années (2016-2018), à savoir l'arsenic, le cobalt, le lithium et le zinc. Pour le cobalt et le lithium, les concentrations sont comparables entre les différents points et ne semblent pas présenter une problématique particulière dans le bassin aux bois ou à proximité. **Pour l'arsenic et le zinc [Figure 10], des concentrations plus élevées sont mesurées dans le bassin aux bois (point 8) et pourraient être reliées à un apport lors de l'incendie, notamment pour le zinc qui entre dans la formulation de produits élaborés par l'entreprise Lubrizol et qui a été détecté dans les eaux d'extinction.**

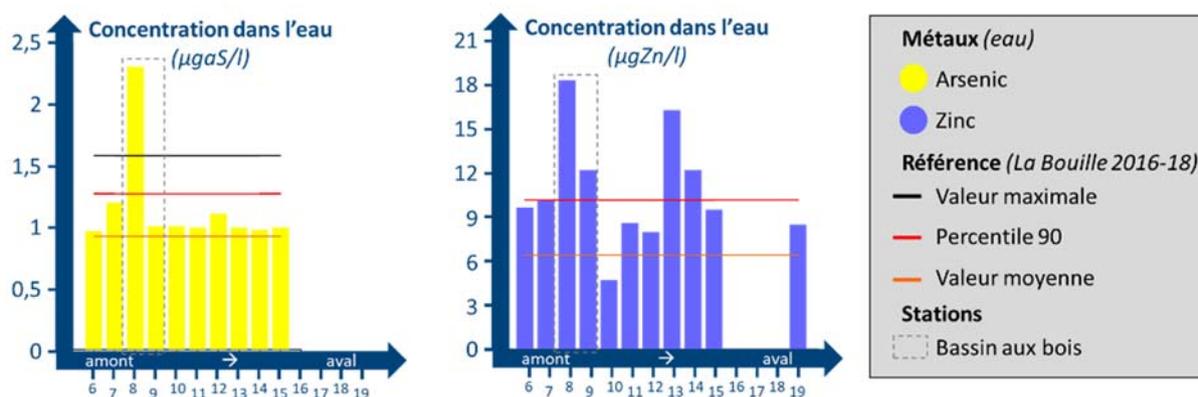


Figure 10 : Concentrations en arsenic et en zinc dans les eaux prélevées les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].

En ce qui concerne les PCB et les dioxines-furanes, quelques congénères ont été détectés dans le bassin aux bois (point 9), à proximité amont (point 7) et à l'aval lointain (point 19). En absence de valeur de comparaison, il n'est pas possible de statuer sur le caractère exceptionnel des concentrations mesurées qui ne semblent **pas directement reliées à l'incendie**.

Pour les perfluorés, quelques congénères ont été détectés dans le bassin aux bois et dans la Seine à proximité de ce dernier. Les concentrations les plus fortes sont observées dans le bassin aux bois (point 8), ce qui pourrait aller dans le sens d'un apport via les produits d'extinction [Figure 11]. Les concentrations mesurées restent cependant faibles et inférieures à la limite de détection des campagnes antérieures menées dans la Seine (LD=0,05µg/l), durant lesquelles ces composés n'étaient que très rarement détectés. Ces différences de méthodologie analytique rendent la comparaison et l'interprétation des résultats délicates.

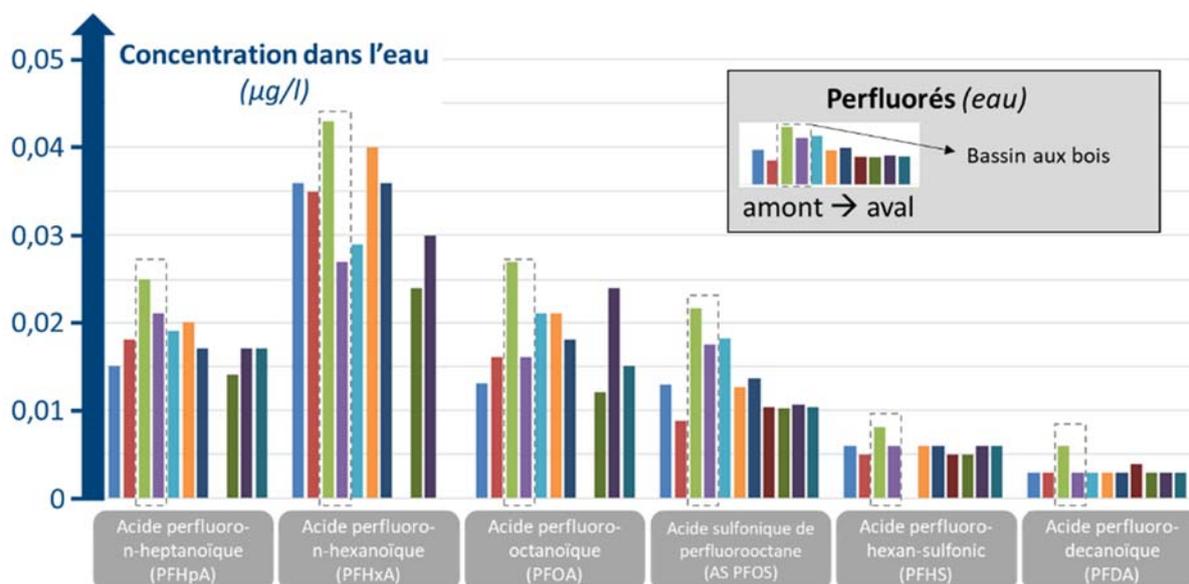


Figure 11 : Concentrations en perfluorés dans les eaux prélevées les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].

En ce qui concerne les autres familles de substances recherchées (pesticides, médicaments, phtalates, phénols, solvants halogénés, etc.), aucune problématique particulière ne se dégage en Seine, dans et à proximité du bassin aux bois. Les substances sont 1) non détectées ; ou 2) dans la gamme de ce qui a été mesuré entre 2016

et 2018 dans la Seine au niveau de La Bouille, sans montrer de pic de concentration dans le bassin aux bois ou à proximité proche de ce dernier.

En complément de ces analyses chimiques classiques qui permettent de rechercher des substances spécifiques, des analyses chimiques non ciblées ont été mises en œuvre sur des échantillons prélevés les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1 ; Le Roux, 2020]. Les chromatogrammes bruts issus de ces analyses présentent des profils similaires pour les échantillons entre le point « proximité amont » et « La Bouille », qui semblent caractéristiques de l'influence de la zone urbaine rouennaise [Figure 12]. **Cette empreinte spécifique de la zone urbaine rouennaise n'est pas visible dans les deux échantillons prélevés dans le bassin aux bois (points A1 et A2).** Deux hypothèses sont privilégiées pour expliquer cette différence : 1) un isolement du bassin aux bois lié à la présence du barrage flottant qui aurait, en partie, déconnecté la Seine du bassin aux bois ; et/ou 2) le délai de deux jours entre les prélèvements en Seine (le 15 octobre) et dans le bassin aux bois (le 17 octobre) qui aurait impliqué des prélèvements dans des masses d'eau significativement différentes. La comparaison des empreintes des différents échantillons confirme cette observation avec **des différences notables entre les échantillons prélevés dans le bassin aux bois (points A1 et A2) et les échantillons de la Seine prélevés dans la Seine en amont du bassin aux bois et dans le bassin Grand Quevilly** [Figure 13].

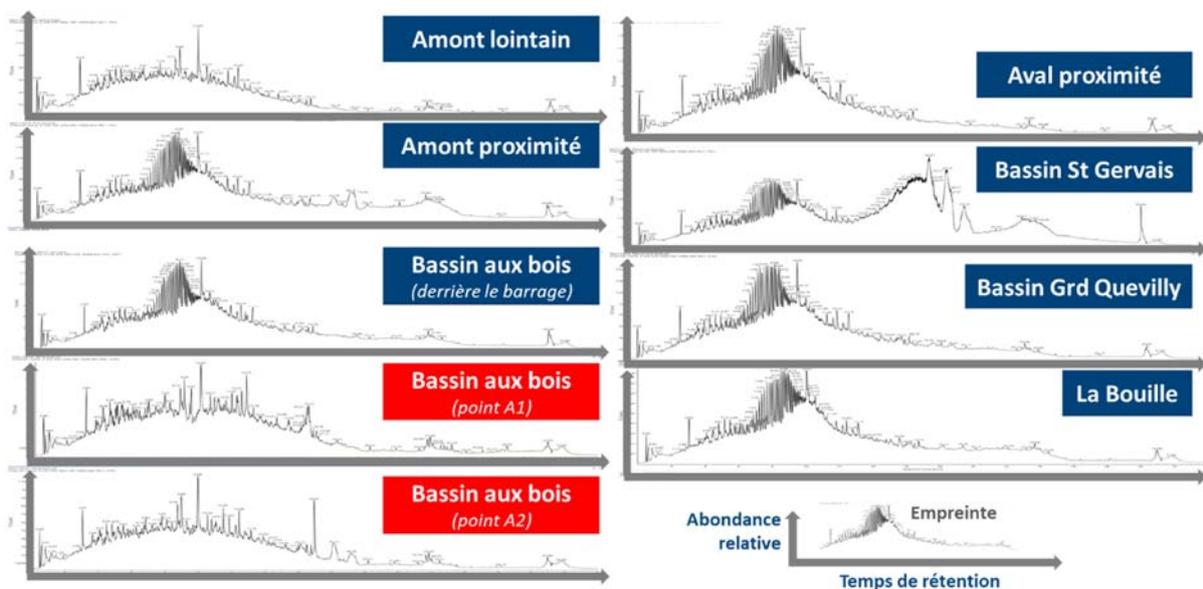


Figure 12 : Chromatogrammes bruts (Total Ion Current) des échantillons d'eau prélevés les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].



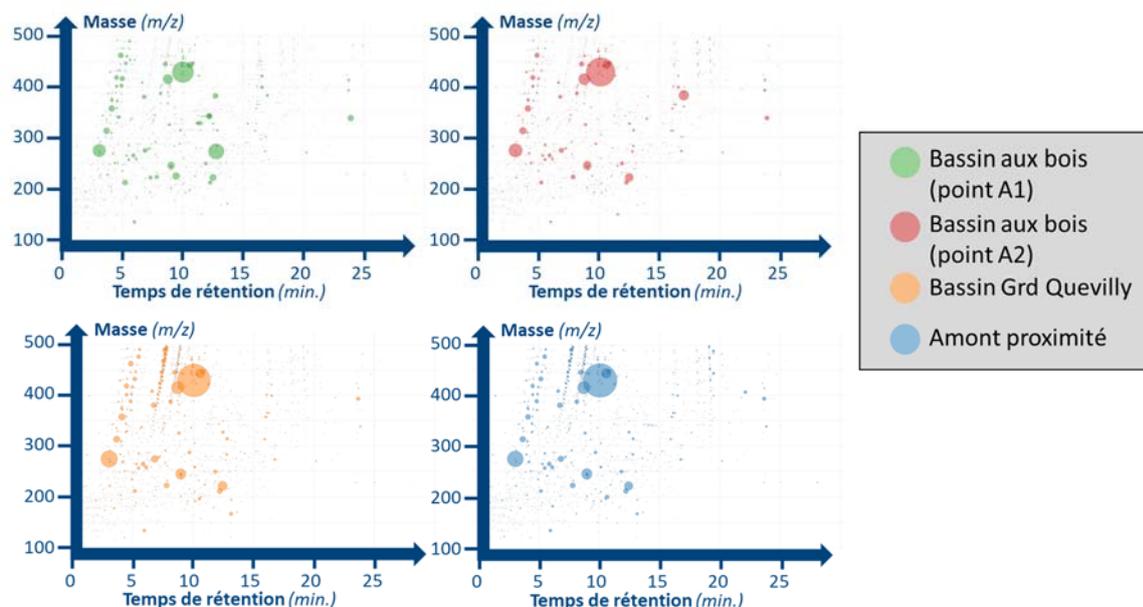


Figure 13 : Empreinte HRMS des marqueurs détectés dans les échantillons d'eau prélevés les 15 et 17 octobre 2019 [campagne 1].

Des tentatives d'identification de certaines substances ont été menées, avec des propositions de structure pour les principaux marqueurs spécifiques au bassin aux bois (points A1 et A2 par rapport au point derrière le barrage) [Tableau III]. Un marqueur de masse $m/z = 272,25753$ et temps de rétention $Tr = 12$ min, particulièrement intense dans le bassin aux bois (échantillon A1 > échantillon prélevé en aval du barrage >> échantillon A2), a notamment été proposé comme spécifique du bassin aux bois mais pas des deux autres bassins ni des échantillons prélevés en Seine. Une formule brute calculée a été proposée par le logiciel UNIFI ($C_{16}H_{33}NO_2$), sans pour autant avoir d'identification structurale. A noter également, la présence de pics spécifiques dans le bassin St Gervais, témoins d'apports particuliers sur ce site (confluence avec le Cailly, implantation du port de plaisance de Rouen et implantation du centre de réparation navale). Plusieurs tentatives d'identification ont été menées, avec notamment l'identification d'un dérivé de la benzanamine (formule $C_{30}H_{31}N$), spécifique du bassin Saint Gervais. Le bassin Grand Quevilly présente très peu de marqueurs spécifiques.

Tableau III : Propositions d'identification pour les principaux marqueurs spécifiques isolés dans les échantillons liquides du bassin aux bois [campagne 1].

Site	Masse (m/z)	Temps de rétention (min.)	Temps de dérive (ms)	Formule
Bassin aux bois (A1) vs bassin aux bois (derrière le barrage)	212.1176	5.21	4.06	$C_{13}H_{13}N_3$
	415.1448	8.77	5.89	$C_{17}H_{32}F_2O_4$
	342.1676	12.18	5.47	$C_{13}H_{28}FN_3O_2S_2$ ou $C_{14}H_{32}NO_2PS_2$
	272.2576	12.76	5.59	$C_{16}H_{33}NO_2$
	338.3410	23.86	6.34	$C_{22}H_{43}NO$
Bassin aux bois (A2) vs bassin aux bois (derrière le barrage)	313.1855	3.66	4.75	$C_{13}H_{28}O_8$
	415.1450	8.75	5.88	$C_{17}H_{20}F_6N_2O_3$ ou $C_{17}H_{32}F_2O_4$
	429.2398	10.11	6.26	$C_{25}H_{28}N_6O$ ou $C_{27}H_{31}F_3O$
	443.2190	10.63	6.32	$C_{25}H_{26}N_6O_2$
	222.1847	10.63	6.32	$C_{14}H_{23}NO$
	383.2032	17.02	6.25	$C_{16}H_{26}N_6O_5$

1.1.3 A l'échelle de l'estuaire de la Seine

L'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 a également été regardé à l'échelle de l'estuaire de la Seine (de 4 à 7 stations entre Poses et Honfleur) durant les mois qui ont suivi l'incendie [campagne 3]. Un très large panel de substances chimiques a été recherché, comprenant des HAP, des métaux, des dérivés benzéniques, des PCB, des produits bromés, des produits chlorés, des phtalates, des perfluorés, des phénols et des dioxines-furanes [AESN, *com. pers.*]. Ces prélèvements s'inscrivent dans le suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine opéré par l'AESN à une fréquence bi-mensuelle (4 stations), mensuelle (3 stations) et bimestriel (11 stations) [Figure 14]. Ce suivi permet une comparaison des concentrations mesurées en situation post-incendie aux concentrations mesurées avec l'évènement, tout au long de l'estuaire de la Seine.

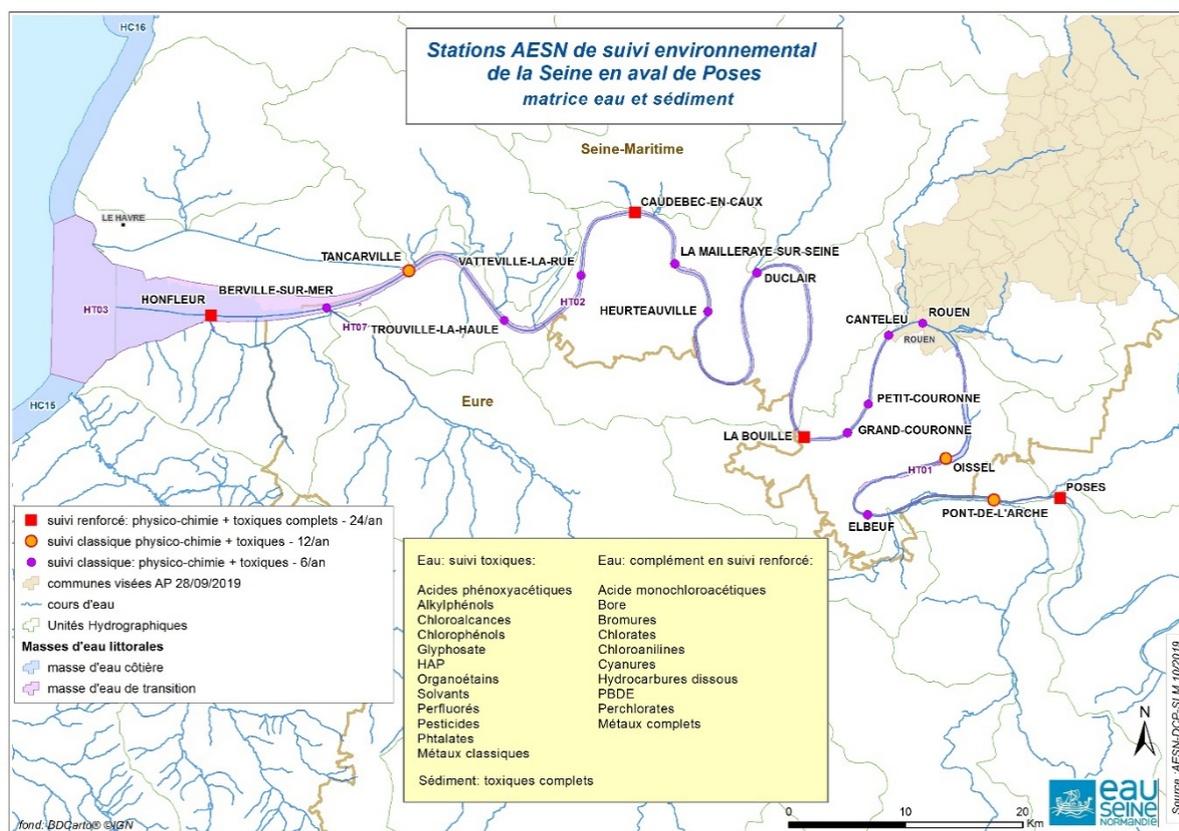


Figure 14 : Stations de suivi environnemental de la Seine, de Poses à la mer.

L'analyse des résultats acquis a permis une comparaison des concentrations mesurées en Seine le 02 octobre 2019 en amont (Oissel) et en aval (La Bouille) de Rouen avec celles mesurées sur la période 2016-2018 sur les mêmes stations. **Concernant les HAP, aucun pic n'est observé dans les eaux de la Seine sur les prélèvements post-incendie.** Seuls le fluoranthène et le pyrène (à Oissel) mesurés le 02 octobre 2010 sont dans le dernier quartile des concentrations mesurées depuis 2016. Les valeurs mesurées restent cependant dans la gamme des concentrations mesurées ces dernières années et bien en deçà des concentrations mesurées lors de l'épisode de crue de la Seine fin janvier / début février 2018 [Figure 15]. Concernant les métaux, même si quelques mesures sont dans le dernier décile des concentrations observées sur la période 2016-2018 (cadmium, cuivre, nickel à Oissel ; cobalt, cuivre, lithium, vanadium à La Bouille), elles restent dans la gamme de variation habituelle pour les eaux de la Seine. Il en est de même pour les autres familles de

contaminants suivis dans les eaux (pesticides, solvants, PBDE, perfluorés, PCB, dioxines/furanes). **Le suivi des eaux de la Seine sur les stations non placées à proximité immédiate du bassin aux bois, ne montre pas de contamination inhabituelle pour les campagnes post-incendie.**

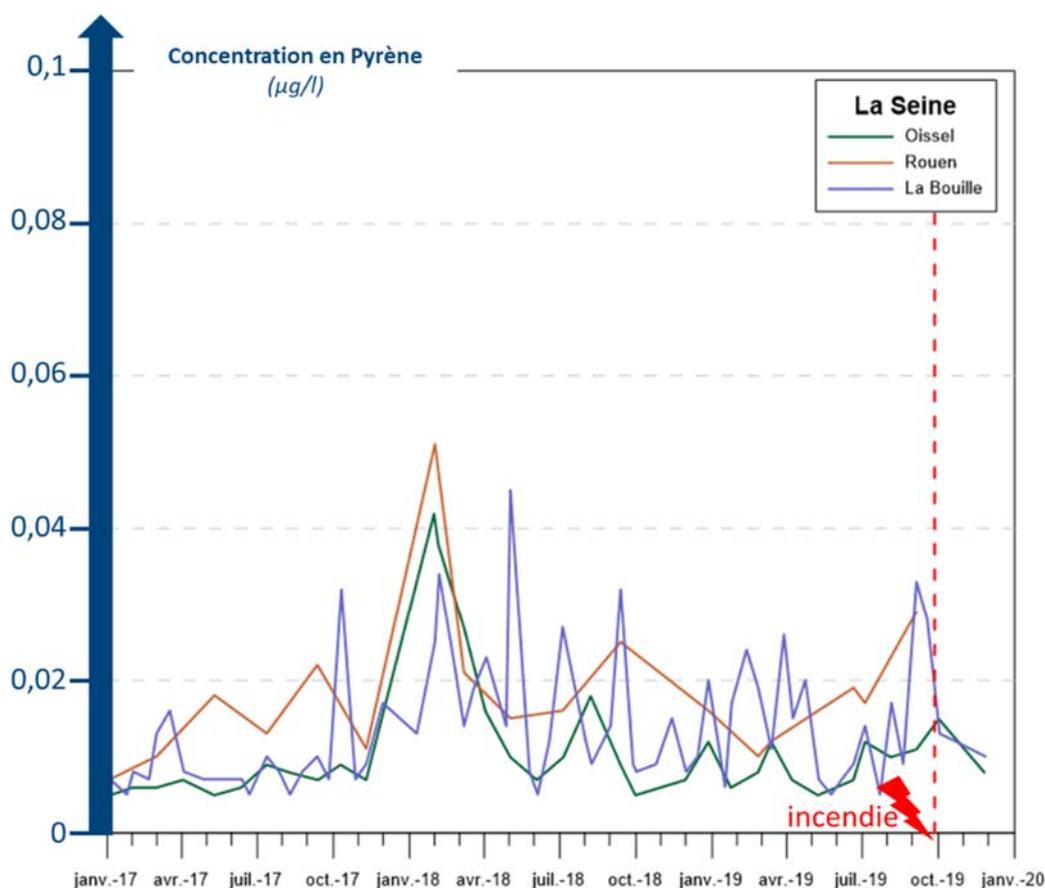


Figure 15 : Concentration en Pyrène dans les eaux de la Seine entre 2017 et 2019 [campagne 3].

1.2 Les suivis sur le sédiment

1.2.1 Au niveau du bassin aux bois et à proximité

Les premières données post-incendie renseignant la présence de contaminants dans les sédiments de surface proviennent de prélèvements réalisés dans et à proximité du bassin aux bois le 10 octobre 2019 [campagne 5]. Les échantillons issus de cette campagne ont fait l'objet de deux séries d'analyse par deux laboratoires différents, commandités par la DDTM d'une part et par le GPMR d'autre part [DDTM-MADISEN & DDTM-STRM, 2020 ; GPMR, *com. pers.* ; Figure 16 ; Figure 17]. Un large panel de substances chimiques a été recherché, comprenant des HAP, des métaux, des PCB, des dioxines/furanes, des phénols, des COV, des AOX et des organo-étains, ainsi qu'une recherche spécifique d'amiante. Une campagne complémentaire spécifique aux HAP a été menée sur des échantillons prélevés le 12 février 2020 [campagne 6 ; Figure 42 ; Lubrizol, *com. pers.*].

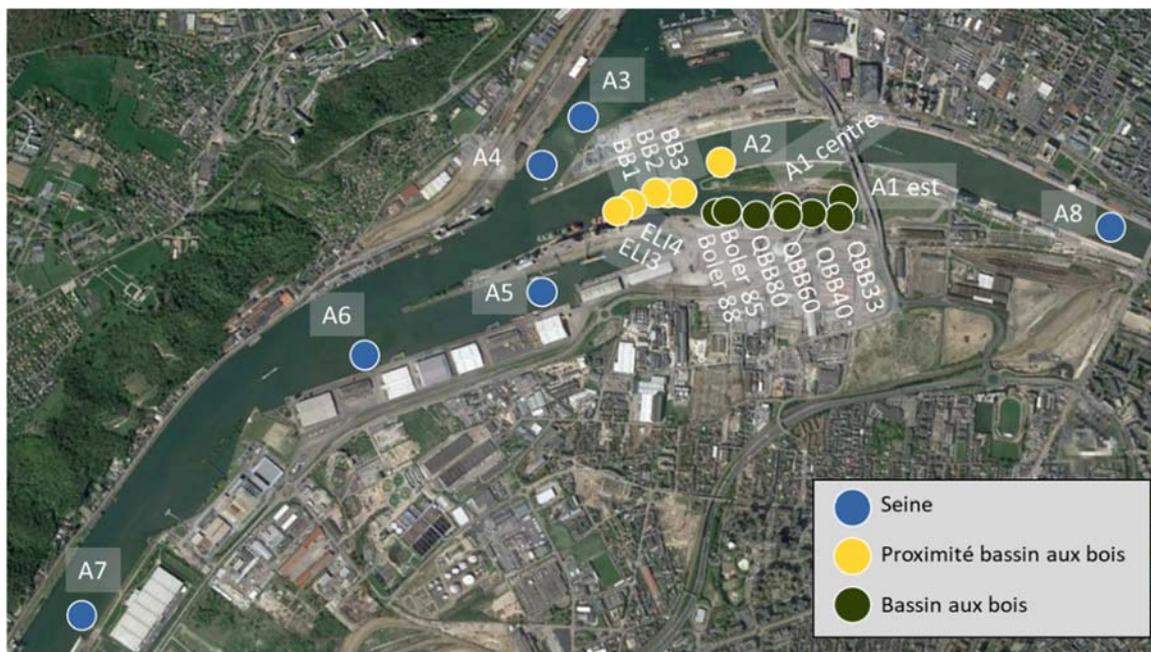


Figure 16 : Points de prélèvement de sédiments dans le bassin aux bois et à proximité [campagne 5-DDTM].



Figure 17 : Points de prélèvement de sédiments dans le bassin aux bois et à proximité [campagne 5-GPMR].

Les mesures montrent la **présence d'hydrocarbures lourds (>C40) sur la plupart des échantillons de sédiments**. L'analyse des teneurs mesurées en HAP dans les sédiments indique 1) une contamination plus importante dans le bassin aux bois pour la plupart des HAP suivis ; 2) un gradient croissant de l'entrée vers le fond du bassin ; 3) des pics récurrents sur les échantillons « A1 Centre », « A1 Est » et « QBB33 ». Les plus fortes teneurs (>1mg/kg PS) mesurées sur les échantillons des campagnes DDTM ne sont cependant pas retrouvées dans les échantillons des campagnes GPMR [Figure 19 ; Figure 20]. Les teneurs mesurées ont été comparées avec les données antérieures disponibles sur des sédiments dragués par le GPMR dans le bassin aux bois entre 2011 et 2018. Il est important de noter que lors des campagnes de dragage d'entretien menées par le GPMR, l'ensemble du bassin aux bois n'est pas dragué et que les données antérieures disponibles ne sont donc pas représentatives de l'ensemble du bassin. Les opérations de dragage (et donc les sédiments analysés) se concentrent en

effet sur la partie Sud du bassin, qui correspond à la zone d'accostage des navires. La partie Nord et la partie Est ne font ainsi pas l'objet de dragage et constituent les zones préférentielles d'accumulation des sédiments (points de mesure « A1 est » et « QBB33 ») pouvant révéler une contamination historique [Figure 18]. A noter que c'est dans cette partie Est que débouchent les émissaires ayant apporté les eaux d'extinction, ainsi qu'un émissaire provenant de Petit-Quevilly, dont la composition du flux est non connue. La comparaison des données acquises avec les données antérieures de dragage indique un niveau de contamination post-incendie pouvant dépasser le maximum observé antérieurement dans le bassin aux bois pour quelques congénères de HAP comme l'indéno(1,2,3-cd)pyrène, le benzo(g,h,i)pérylène et le benzo(a)pyrène [Tableau IV].

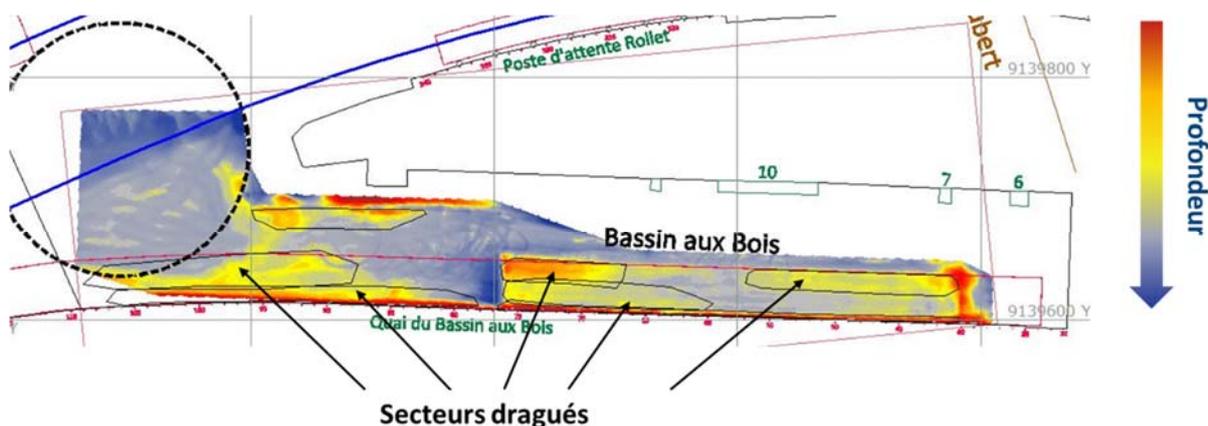


Figure 18 : Plan de dragage (novembre 2018) du bassin aux bois [GPMR, com. pers.].

Les analyses des sédiments prélevés dans le bassin aux bois et en sortie de bassin le 12 février 2020 [Figure 42] montrent une image de la problématique plus de quatre mois après l'incendie. Les résultats montrent 1) des profils comparables entre les différents points ; 2) des teneurs croissantes de l'entrée vers le fond du bassin ; et 3) un point à proximité du bassin présentant un niveau de contamination moindre [Figure 21]. Ces données indiquent un enrichissement supérieur à un facteur 4 entre le fond du bassin (point A1 est) et le point à proximité du bassin (point A2) pour le phénanthrène, l'Indéno(1,2,3-cd)Pyrène, le dibenzo(a,h)anthracène, le pyrène, le naphthalène et le benzo(k)fluoranthène. La mesure de l'indice hydrocarbures C10-C40, représentatif des hydrocarbures peu volatils de type fuel et gasoil et des hydrocarbures plus lourds de type huiles de coupe, lubrifiants, huiles de vidange et goudrons présente le même gradient croissant de l'entrée vers le fond du bassin aux bois. **Les différentes mesures réalisées font ressortir une problématique hydrocarbures associée aux sédiments prélevés dans le bassin aux bois. Cette problématique semble perdurer dans le temps et peut, en partie, s'expliquer par la configuration physique du bassin, favorable à l'accumulation de sédiments fins et des polluants associés, et à l'absence de dragage d'entretien dans le fond du bassin.**



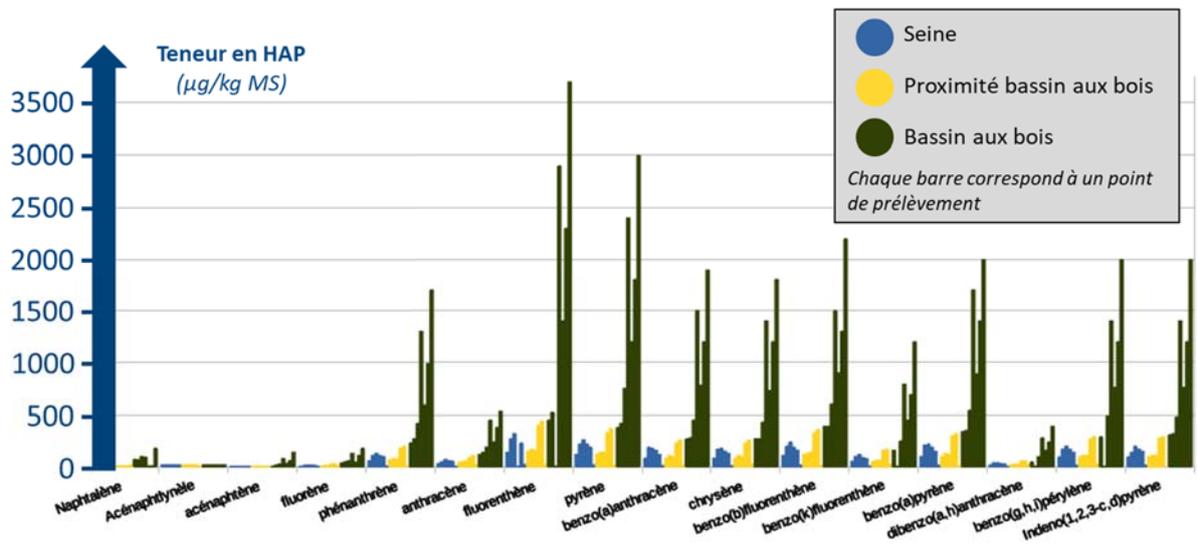


Figure 19 : Teneurs en HAP dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].

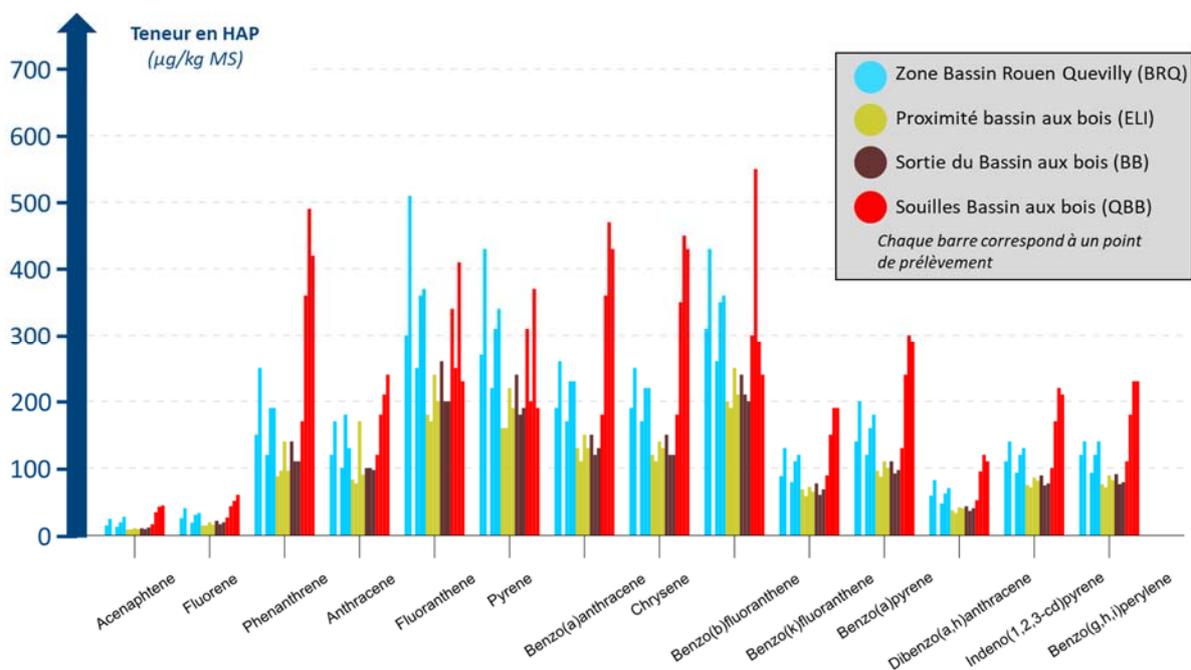


Figure 20 : Teneurs en HAP dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GPMR].

Tableau IV : Teneurs en HAP mesurées dans les sédiments du bassin aux bois prélevés le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM] par rapport aux teneurs mesurées dans les sédiments dragués par le GPMR entre 2011 et 2018.

comparaison 10/2019 vs 2011-2018	A1 QBB80	A1 QBB60	A1 QBB40	A1 QBB33
Naphtalene	entre la moyenne et le maximum			
Acenaphtylene	entre la moyenne et le maximum			
Acenaphtene	entre la moyenne et le maximum			
Fluorene	entre la moyenne et le maximum			
Phenanthrene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum
Anthracene	entre la moyenne et le maximum			
Fluoranthene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum
Pyrene	entre la moyenne et le maximum			
Benzo(a)anthracene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum
Chrysene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum
Benzo(b)fluoranthene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum
Benzo(k)fluoranthene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum
Benzo(a)pyrene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum
Dibenzo(a,h)anthracene	entre la moyenne et le maximum			
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum
Benzo(g,h,i)perylene	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum
HAP tot	entre la moyenne et le maximum			
HCT	entre la moyenne et le maximum			

concentration mesurée le 10/10/2019

inférieure à la moyenne	entre la moyenne et le maximum
supérieure au maximum	supérieure à 2x le maximum

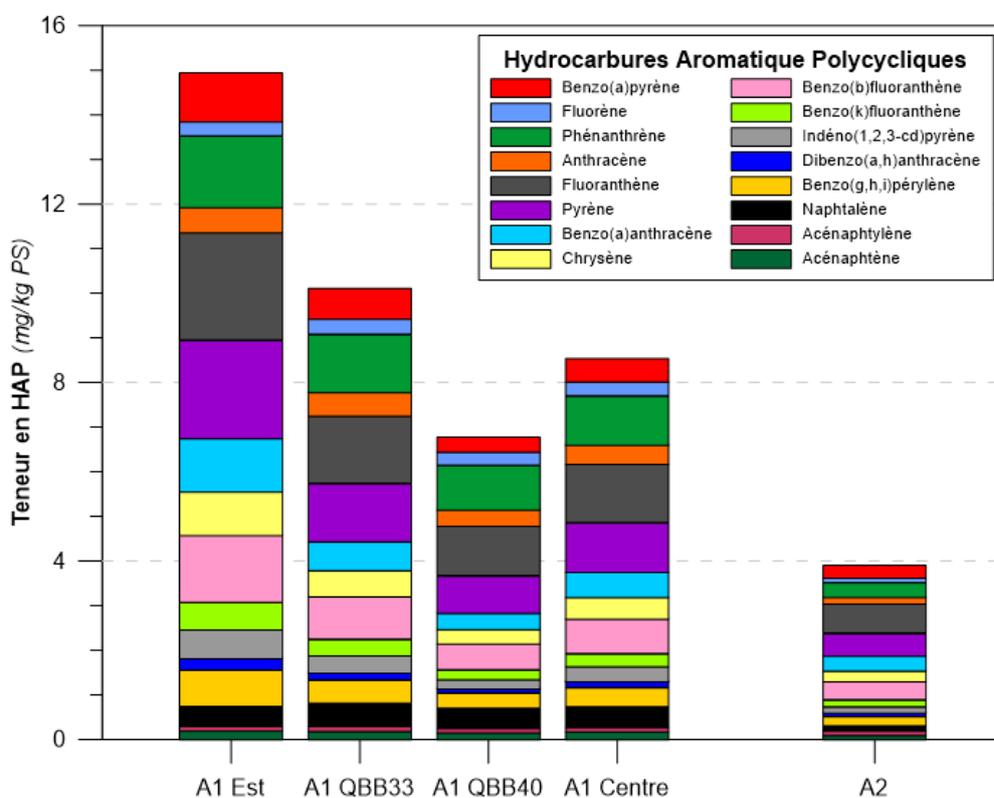


Figure 21 : Teneurs en HAP dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois le 12 février 2020 [campagne 6].

Pour les métaux, les teneurs mesurées sur les sédiments prélevés dans le bassin aux bois sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les sédiments prélevés en Seine à proximité. Les résultats ne montrent pas d'enrichissement spécifique par rapport aux données antérieures disponibles sur des sédiments dragués par le GPMR dans le bassin aux bois entre 2011 et 2018. Un gradient croissant de l'entrée vers le fond du bassin peut cependant être observé pour quelques paramètres, dont le zinc [Figure 22 ; Figure 23]. Il peut s'expliquer par la configuration physique du bassin, favorable à l'accumulation de sédiments fins et des polluants associés, et à l'absence de dragage d'entretien dans le fond du bassin [Figure 18]. **Les mesures de contaminants métalliques dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité n'indiquent pas de problématique significative liée à l'incendie, si ce n'est un enrichissement pour le zinc dans le bassin aux bois.**

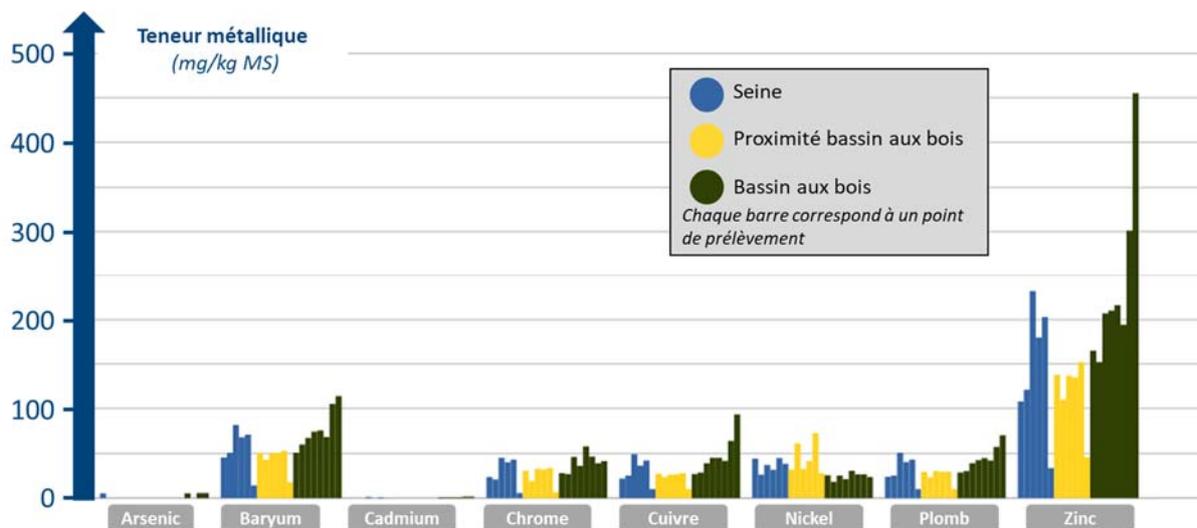


Figure 22 : Teneurs en métaux dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].

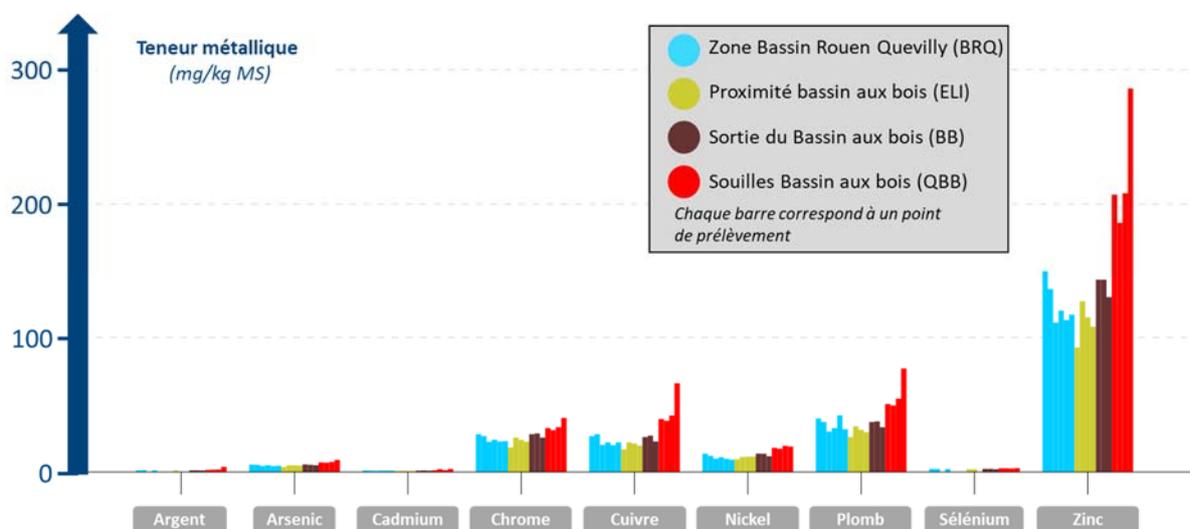


Figure 23 : Teneurs en métaux dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GMPR].

Pour les PCB_i, les valeurs mesurées sur les sédiments prélevés dans le bassin aux bois présentent des concentrations dans la fourchette haute de l'ensemble des échantillons prélevés à proximité du bassin, tout en restant dans la même gamme de valeurs [Figure 24 ; Figure 25]. La comparaison des valeurs mesurées avec les données antérieures disponibles sur les sédiments dragués par le GPMR dans le bassin aux bois entre 2011 et 2018 indique un niveau de contamination qui dépasse le maximum observé dans le bassin pour les différents congénères, notamment pour le point QBB33 situé vers le fond du bassin aux bois [Tableau V]. Pour les dioxines/furanes, les teneurs mesurées sur les sédiments prélevés dans le bassin aux bois sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les sédiments prélevés en Seine à proximité [Figure 26 ; Figure 27]. Un gradient croissant de l'entrée vers le fond du bassin peut être observé pour quelques congénères, notamment l'OCDD, le 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF et l'OCDF. **Une problématique PCB semble se dégager des mesures réalisées sur les sédiments prélevés dans le bassin aux bois, sans pour autant pouvoir directement la relier à l'incendie** (PCB non détectés dans les eaux d'extinction analysées). **La configuration physique du bassin aux bois est en effet favorable à l'accumulation de sédiments fins et des polluants associés, tels les PCB présents de manière chronique en Seine** [Dargnat & Fisson, 2010].

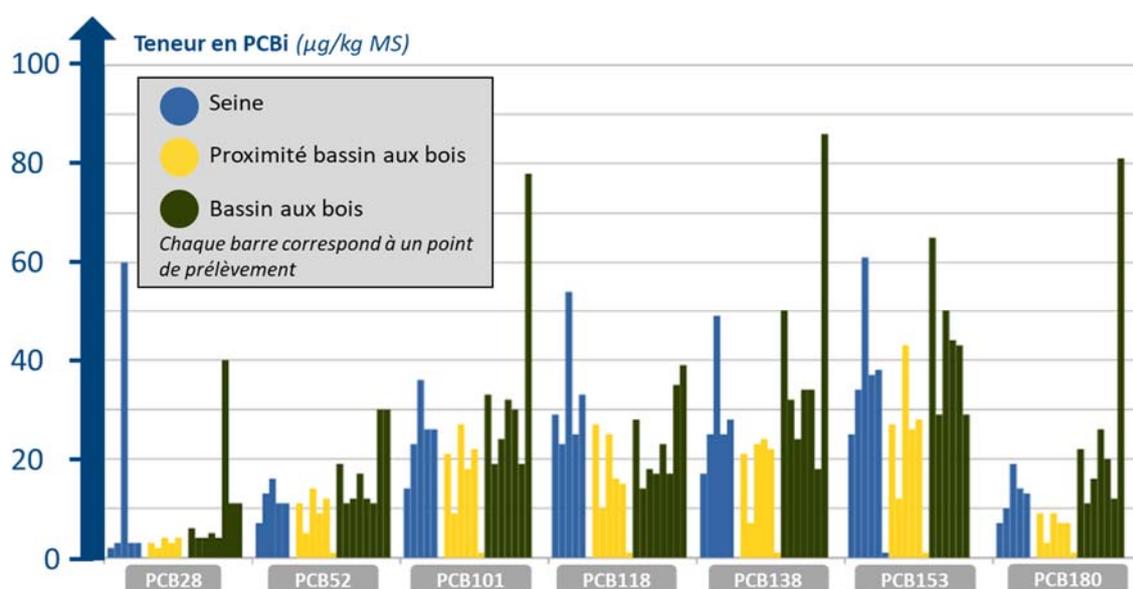


Figure 24 : Teneurs en PCB_i dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].

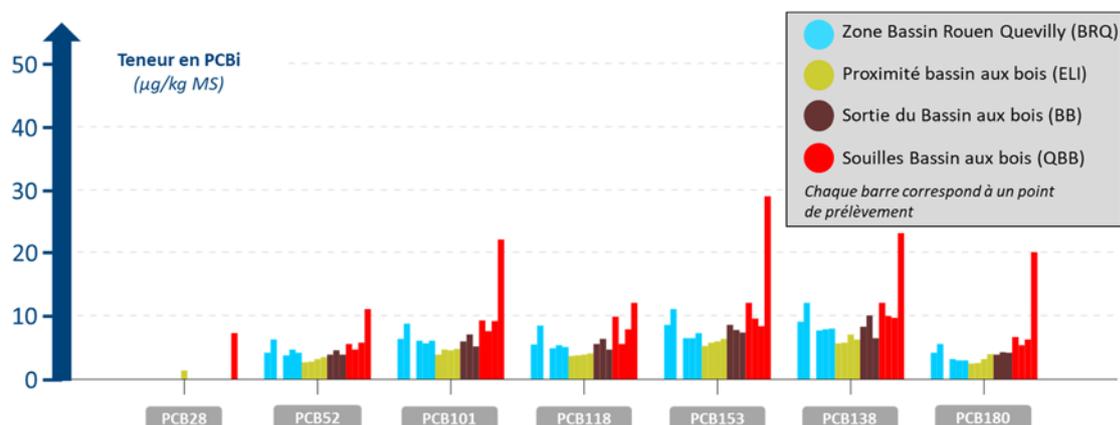


Figure 25 : Teneurs en PCB_i dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GRPM].

Tableau V : Teneurs en PCBi mesurées dans les sédiments du bassin aux bois prélevés le 10 octobre 2019 par rapport aux concentrations mesurées dans les sédiments dragués par le GPMR entre 2011 et 2018.

comparaison 10/2019 vs 2011-2018	A1 QBB80	A1 QBB60	A1 QBB40	A1 QBB33
PCB 28	supérieur au maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum
PCB 52	supérieur au maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum
PCB 101	supérieur au maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum	supérieure à 2x le maximum
PCB 118	supérieur au maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum
PCB 153	supérieure à 2x le maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum
PCB 138	supérieur au maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum
PCB 180	supérieur au maximum	entre la moyenne et le maximum	entre la moyenne et le maximum	supérieure à 2x le maximum

concentration mesurée le 10/10/2019

inférieure à la moyenne	entre la moyenne et le maximum
supérieur au maximum	supérieure à 2x le maximum

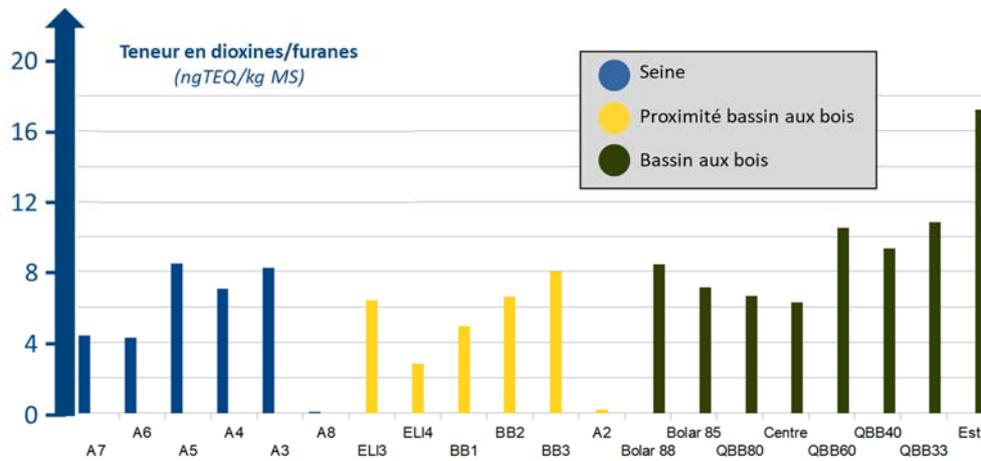


Figure 26 : Teneurs en dioxines/furanes dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-DDTM].

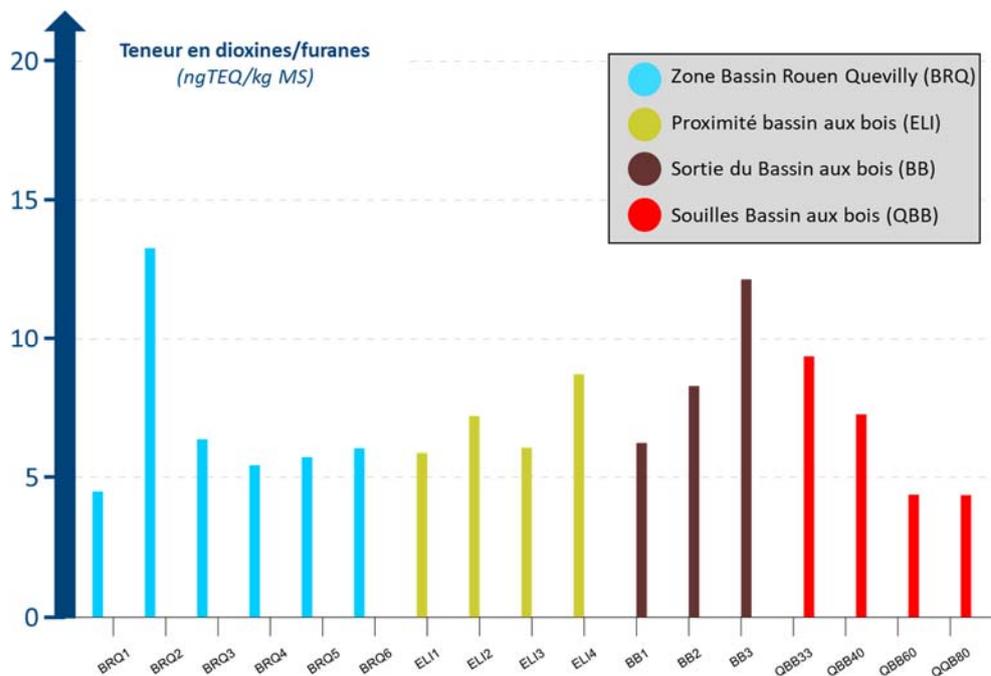


Figure 27 : Teneurs en dioxines/furanes dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019 [campagne 5-GRPM].

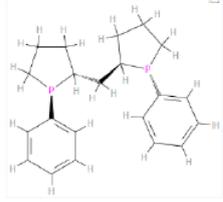
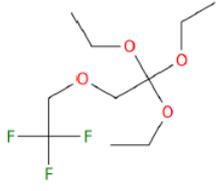
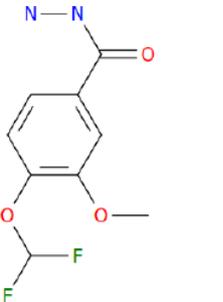
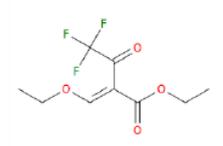
Pour les autres familles de contaminants recherchés (BTEX, phénols, chlorophénols, halogènes, perfluorés et organoétains), **aucune problématique particulière ne se dégage en Seine, dans et à proximité du bassin aux bois**, les substances recherchées n'étant pas détectées dans les différents échantillons analysés. A noter toutefois, quelques détections de toluène dans des échantillons du bassin aux bois et en sortie de ce dernier. Ces détections de toluène ne sont pas confirmées par les contre analyses, mais ce composé est présent dans les eaux d'extinction analysées [campagne 0]. Des organoétains ont également été détecté sur le point QBB33.

Une recherche d'amiante a également été menée par microscopie électronique à transmission analytique sur les différents échantillons de sédiments. **Aucune fibre d'amiante n'a été détectée.**

En complément de ces analyses chimiques classiques, des analyses chimiques non ciblées ont été mises en œuvre sur des échantillons de sédiments prélevés dans le bassin aux bois et en Seine le 10 octobre 2019 [campagne 5 ; Le Roux, 2020]. La comparaison des chromatogrammes en phase liquide (UPLC-QTOF) des échantillons solides extraits par micro-ondes et ultrasons ne fait ressortir que peu de pics spécifiques d'intensité importante dans les différents échantillons prélevés dans les bassins portuaires. **Quelques marqueurs de faible intensité, spécifiques du bassin aux bois, ont cependant été identifiés, notamment des composés fluorés [Tableau VI].** Ces mêmes échantillons de sédiments ont été analysés en GC-MS, permettant de rechercher les composés les plus volatils et/ou hydrophobes. En première approche, il convient de signaler une détection de signaux en plus grand nombre avec cette technique, indiquant la **présence de molécules à caractère plus volatil et moins polaire**. Les chromatogrammes des différents échantillons ont ensuite été comparés pour identifier les signaux spécifiques des échantillons prélevés dans les bassins (bassin aux bois, bassin St Gervais, bassin Grand-Quevilly) par rapport à l'échantillon de Seine prélevé au niveau de l'île Lacroix. Cette analyse fait ressortir **quelques pics de faible intensité dans les échantillons des bassins, dont certains ont pu être identifiés**. Du pyrène et du dipentyl-phtalate ont ainsi été spécifiquement identifiés dans le bassin aux bois (QBB33), de l'hexaméthyl-tétracosahexaène dans le bassin St Gervais (GER2) et du 2-Ethylhexyl-trans-4-méthoxycinnamate dans le bassin Grand-Quevilly (BRQ6). Du diéthylphtalate (DEHP) a été détecté dans les trois bassins (QBB80, QBB33, GER2, BRQ6) et le 2,4-bis(1,1-diméthylethyl)-phénol a été identifié dans tous les échantillons des bassins, avec une intensité plus importante dans le bassin aux bois (QBB33). L'heptadécyl-oxirane ou le tétracontane-1,40-diol, le tétratétracontane, le 1,54-dibromo-tétrapentacontane, le tétraconasol ont été identifiés dans les cinq échantillons des bassins. Enfin, plusieurs produits d'origine naturelle sont retrouvés dans les échantillons des bassins en plus grande quantité que dans les échantillons de la Seine : (3 β ,5 β)-Cholestan-3-ol, (5 β)-Cholestan-3-one, Cholesterol, 11 α -Hydroxy-17 α -methyl testosterone, γ -Sitosterol, Lup-20(29)-en-3-one. A noter, que l'échantillon prélevé à Oissel (15 km en amont du bassin aux bois) présente plusieurs pics associés à des HAP, avec des intensités beaucoup plus fortes que dans les autres échantillons de sédiments. Ces résultats indiquent une problématique HAP spécifique à ce point, sans lien avec l'incendie du 26 septembre 2019.



Tableau VI : Quelques molécules spécifiques identifiées par UPLC-QTOF dans les échantillons de sédiments prélevés le 20 octobre 2019 [campagne 5].

Echantillon	m/z	Formule	i-FIT (%)	Nom	Citations	Structure
QBB80	341.1573	C ₂₁ H ₂₆ P ₂	11.28	(1S,2R,1'S,2'R)-2,2'-Methylenebis(1-phenylphospholane)	2	
QBB33	261.1308	C ₁₀ H ₁₉ F ₃ O ₄	97.56	1,1,1-Triethoxy-2-(2,2,2-trifluoroethoxy)ethane	1	
BRQ6	233.0737	C ₉ H ₁₀ F ₂ N ₂ O ₃	10.64	4-(Difluoromethoxy)-3-methoxybenzohydrazide	38	
BB2	241.0681	C ₉ H ₁₁ F ₃ O ₄	42.51	ethyl 3-ethoxy-2-(2,2,2-trifluoroacetyl)acrylate	77	

En terme d'intensité absolue (i.e. intensité du pic le plus intense), les échantillons des bassins sont classés dans l'ordre suivant : Bassin Grand-Quevilly (BRQ6) > Bassin aux bois (QBB80) > Bassin St Gervais (GER2) > Bassin aux bois (QBB33) > Bassin aux bois (BB2). Ce classement peut toutefois être influencé par un pic individuel de forte intensité et n'indique pas la présence de polluants en plus grand nombre. En intensités relatives, le bassin aux bois présente une ligne de base plus élevée (QBB33 > BB2 > QBB80) que les bassins St Gervais (GER2) et Grand-Quevilly (BRQ6) [Figure 28]. Ces résultats semblent indiquer une **présence de molécules chimiques en plus grand nombre dans les échantillons de sédiments prélevés dans le bassin aux bois ou à proximité, sans pour autant présenter les intensités absolues les plus fortes par rapport aux autres bassins portuaires échantillonnés.**

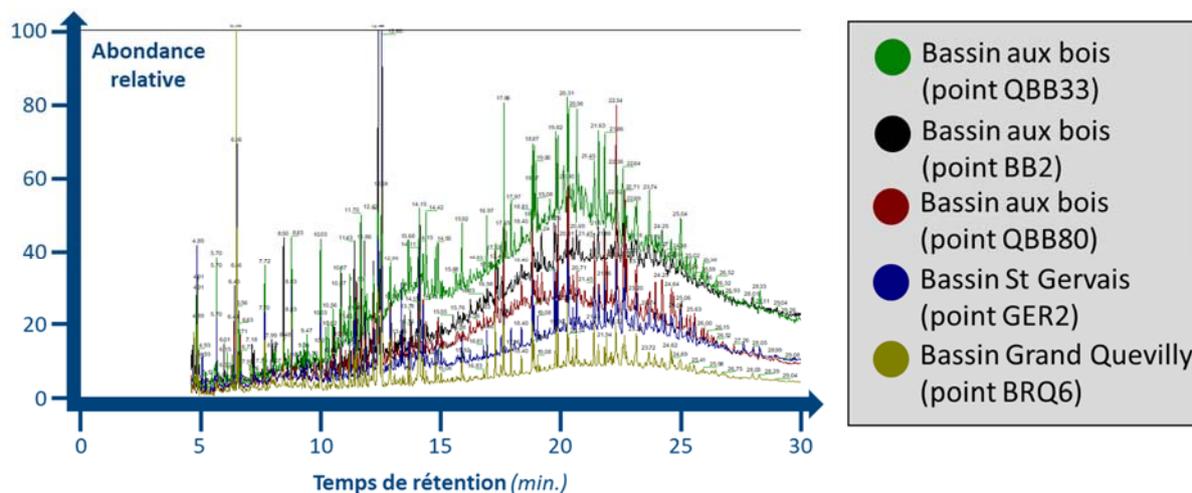


Figure 28 : Chromatogrammes GC-MS des échantillons de sédiments prélevés le 10 octobre 2019, après soustraction du signal de l'échantillon « Rouen Ile Lacroix » [campagne 5].

Il est important de noter que ces prélèvements de sédiments ont été réalisés dans des zones avec des dynamismes variables, en lien avec l'écoulement du fleuve, la marée et la configuration physique des sites de prélèvement. La nature (i.e. granulométrie) et l'histoire (i.e. origine) des sédiments peuvent en partie expliquer leur niveau de contamination. En effet, un sédiment plus ancien accumulé dans une zone de sédimentation sera nécessairement plus contaminé qu'un sédiment récent prélevé dans une zone entretenue par dragage. Un sédiment fin (vase) sera lui plus contaminé qu'un sédiment plus grossier (sablo-vaseux, sableux) du fait d'une adsorption facilitée de contaminants comme les HAP, les PCB ou les métaux. Dans le cas du bassin aux bois, la configuration du fond du bassin qui a réceptionné les eaux d'extinction est celle d'une zone d'accumulation de sédiment fins, non entretenue par dragage. **L'enrichissement observé pour certains contaminants dans le bassin aux bois (HAP, PCB) peut ainsi s'expliquer à la fois par des facteurs naturels et anthropiques ; la part attribuable aux apports issus des eaux d'extinction de l'incendie ne pouvant pas être quantifiée spécifiquement en l'état des connaissances disponibles.**

1.2.2 A l'échelle de l'estuaire de la Seine

L'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 a enfin été regardé à l'échelle de l'estuaire de la Seine, sur les sédiments des banquettes latérales du lit mineur de la Seine, sur cinq stations entre Elbeuf et Caudebec-en-Caux, les 21-23 octobre 2019 [campagne 4]. Un très large panel de substances chimiques a été recherché, comprenant des HAP, des métaux, des dioxines, des PCB, des organoétains, des solvants, des phtalates, des PBDE, des alkylphénols et des pesticides [AESN, *com. pers.*]. Cette campagne s'intègre dans le suivi annuel de la qualité des sédiments de l'estuaire de la Seine opéré par l'AESN dans le cadre de la surveillance de bassin. Il est classiquement réalisé entre la fin de l'été et le début de l'automne, sur 18 points de l'estuaire de la Seine, entre Poses et Honfleur. L'analyse de ces données a permis 1) de rechercher un pic de pollution spatialement localisé pouvant être induit par des apports liés à l'incendie ; et 2) de confronter les niveaux de contamination mesurés en Seine en octobre 2019 aux données antérieures acquises depuis 2012 sur les sédiments prélevés tout au long de l'estuaire de la Seine. L'analyse proposée s'appuie sur les données brutes, mais a également été menée sur les données normalisées (à 5% d'aluminium pour les métaux, à 2,5% de carbone organique pour les composés organiques). Les interprétations sont comparables, avec et sans normalisation.

Concernant les HAP, aucun pic de contamination spécifique n'a été identifié sur les sédiments de la Seine sur les stations de la région rouennaise [Figure 29]. Les teneurs les plus élevées sont mesurées sur les stations les plus amont (Elbeuf, Oissel), témoins d'apports du bassin versant de la Seine qui se diluent dans la Seine en allant vers la mer. Ce schéma de dilution avec des teneurs qui décroissent d'amont en aval de l'estuaire est classiquement observé pour divers contaminants mesurés en Seine, notamment les HAP [Fisson, 2014]. La comparaison des teneurs mesurées sur les cinq stations investiguées en octobre 2019 avec les mesures antérieures indique des ordres de grandeur comparables, bien que quelques dépassements des maximums mesurés depuis 2012 soient à noter, comme pour le benzo(a)anthracène et le benzo(b)fluoranthène à Rouen [Figure 30] et l'acénaphylène, le dibenzo(a,h)anthracène et le méthyl-2-Fluoranthène à La Bouille [Figure 31]. **Les données acquises en octobre 2019 ne montrent pas un signal hydrocarbures dans les sédiments de la Seine significativement différent des données antérieures. Les teneurs sont cependant dans la fourchette haute des mesures antérieures pour quelques congénères, mais sans pouvoir statuer sur un apport spécifique lié à l'incendie.**

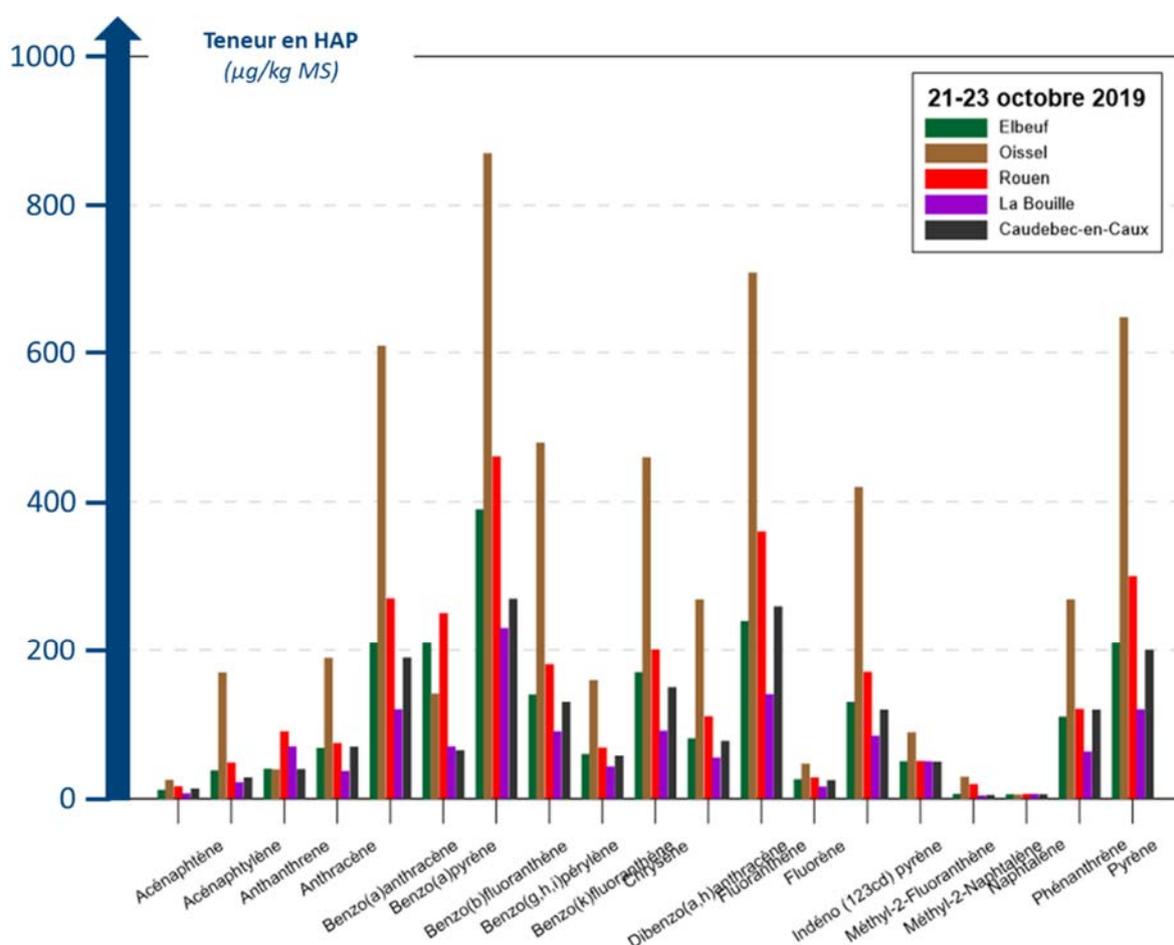


Figure 29 : Teneurs en HAP dans les sédiments de la Seine prélevés les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].

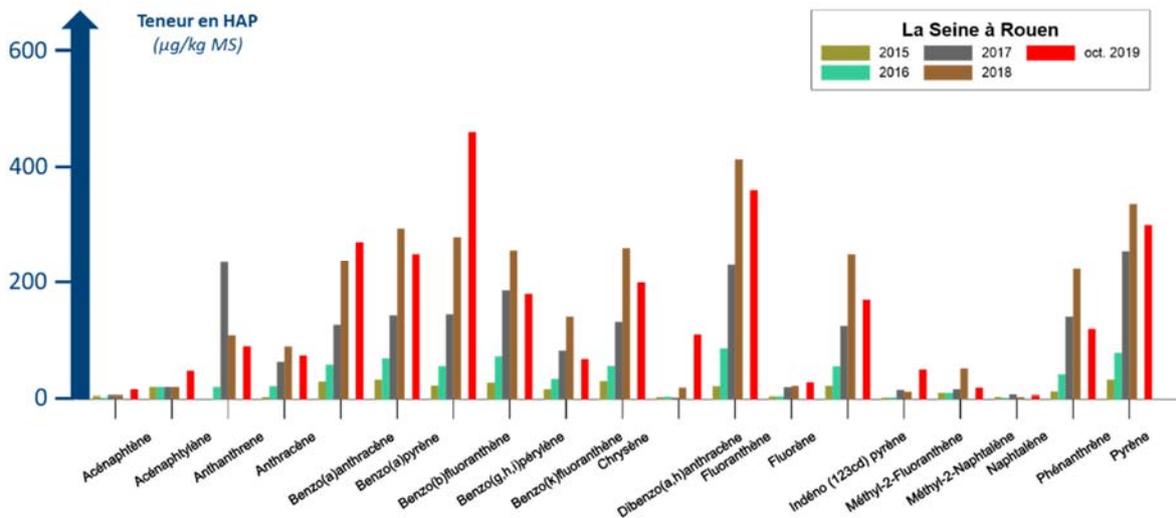


Figure 30 : Teneurs en HAP dans les sédiments de la Seine à Rouen entre 2015 et 2019 [campagne 4].

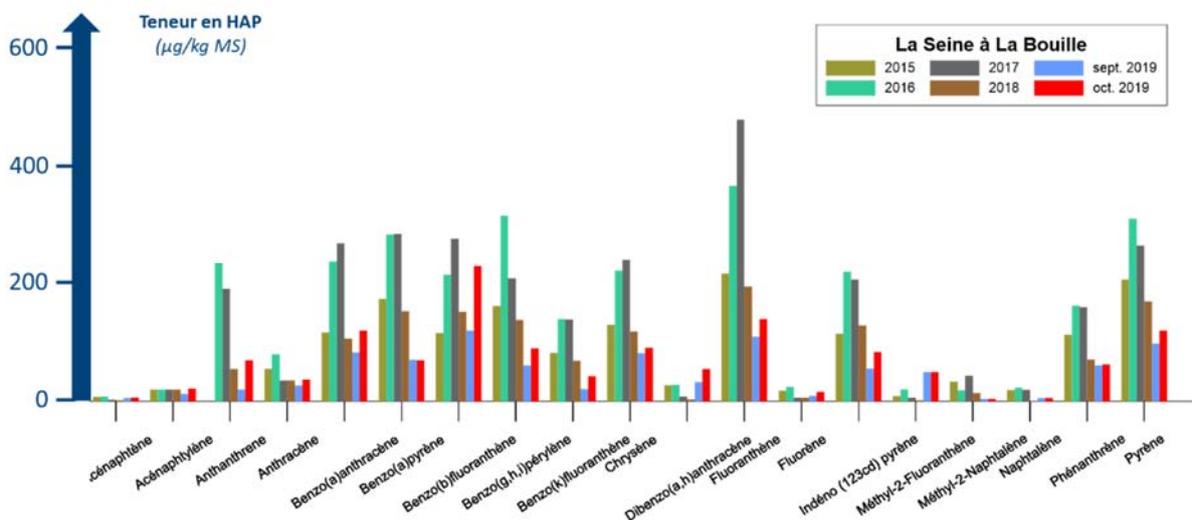


Figure 31 : Teneurs en HAP dans les sédiments de la Seine à La Bouille entre 2015 et 2019 [campagne 4].

Concernant les métaux, aucun pic de contamination spécifique n'a été identifié sur les sédiments de la Seine des stations de la région rouennaise. Une baisse des teneurs métalliques entre Oissel et Caudebec-en-Caux est observée, témoin d'apports du bassin versant de la Seine qui se diluent dans la Seine en allant vers la mer. Le profil du zinc se dégage cependant, avec un maximum observé à Rouen lors de la campagne d'octobre 2019 [Figure 32]. Cette valeur (146mg/kg PS) reste dans la gamme des mesures antérieures sur la même station (2012-2018 : $\mu=121\text{mg/kg PS}$; $P_{90}=180\text{mg/kg PS}$) et ne peut être reliée de manière spécifique à l'incendie. La comparaison avec les données antérieures ne montre pas d'enrichissement spécifique en 2019 pour les sédiments prélevés en Seine. **La contamination métallique des sédiments de la Seine mesurée en octobre 2019 ne montre pas un signal significativement différent des années précédentes.**

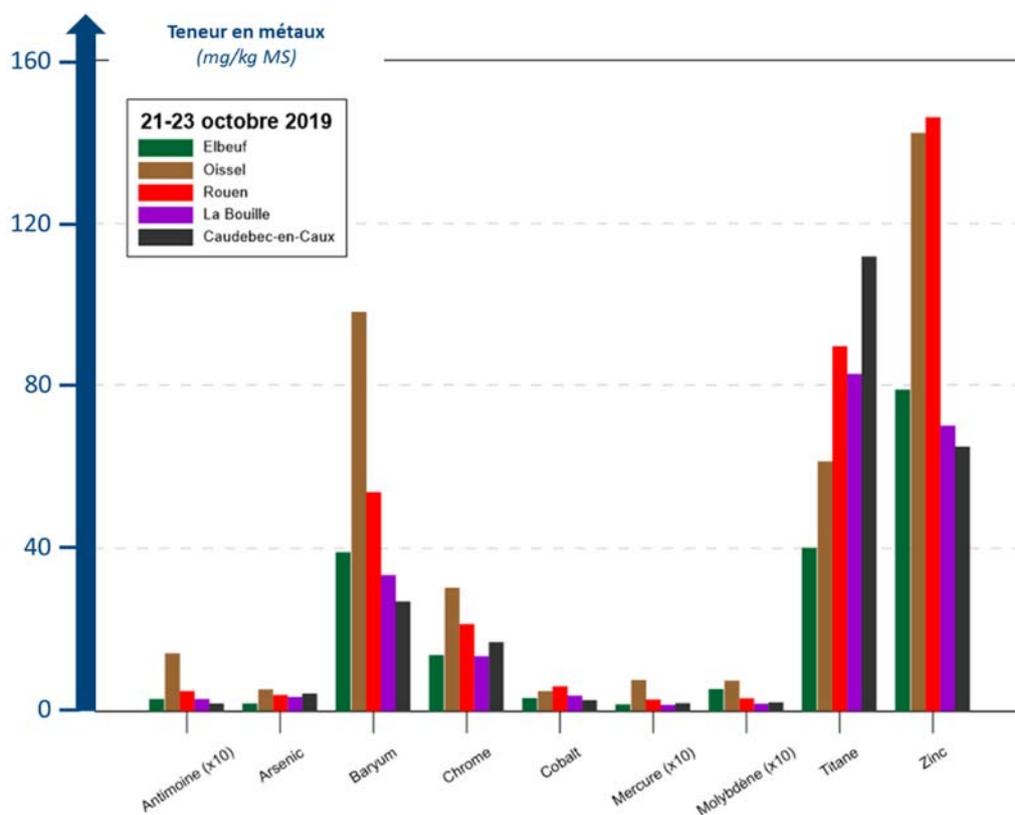


Figure 32 : Teneurs en métaux dans les sédiments de la Seine à La Bouille les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].

Concernant les dioxines/furanes et les PCB-DL, le profil de dilution de l'amont vers l'aval de l'estuaire observé pour les HAP et les métaux est moins net, avec les teneurs les plus élevées pouvant être observées à Rouen ou à la Bouille [Figure 33 ; Figure 34]. Au regard de la modulation des teneurs par leur toxicité (TEQ), le PCB 126, la 2,3,4,7,8-PeCDF et la 2,3,7,8-TCDF apparaissent comme les congénères les plus problématiques pour le milieu. Les teneurs observées en octobre 2019 restent cependant dans la gamme des mesures réalisées les années précédentes. **Les teneurs en dioxines/furanes et en PCB-DL mesurées dans les sédiments de la Seine en octobre 2019 ne montrent pas un signal significativement différent des années précédentes.**

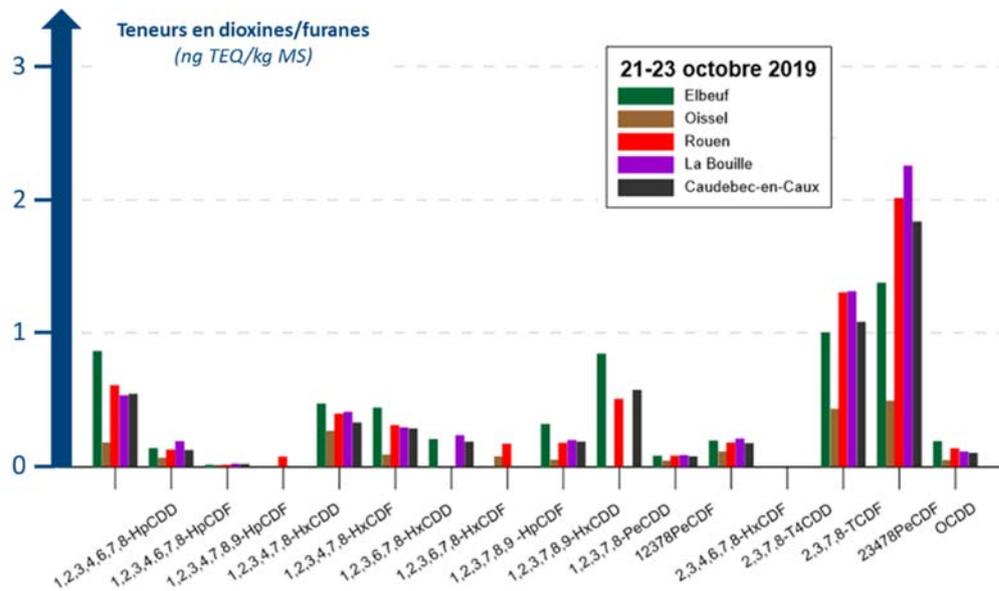


Figure 33 : Teneurs en dioxines/furanes dans les sédiments de la Seine prélevés les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].

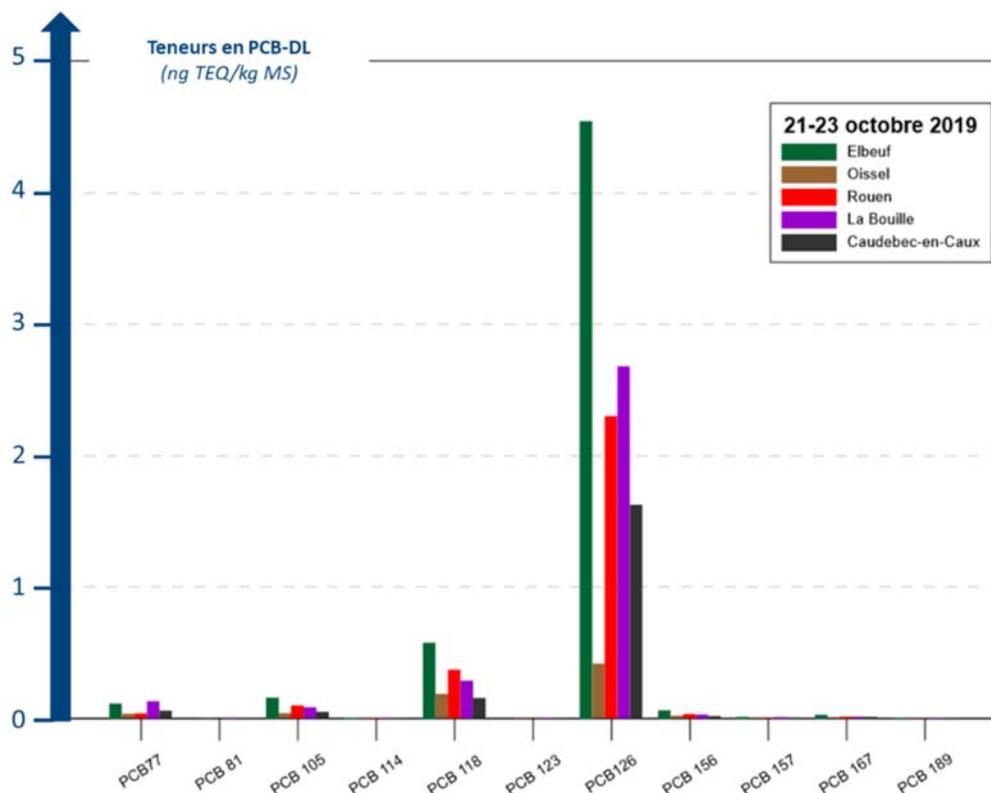


Figure 34 : Teneurs en PCB-DL dans les sédiments de la Seine prélevés les 21-23 octobre 2019 [campagne 4].

Les autres familles de contaminants (alkylphénols, chlorophénols, BDE, BTEX, organoétains, perfluorés, phtalates, solvants halogénés) ont fait l'objet du même type de traitement (i.e. recherche de pics en 2019 et comparaison des teneurs aux données antérieures) et **ne montrent pas de problématique spécifique de contamination sédimentaire pour l'année 2019.**

1.3 Bilan de la contamination chimique

Suite à l'incendie du 26 septembre 2019, les données acquises pour renseigner le niveau de contamination chimique de la Seine permettent d'apporter des éléments de réponse à différentes échelles spatiales et temporelles pour les principales familles de contaminants. A noter cependant, que les analyses chimiques menées ne sont pas exhaustives en termes de substances recherchées, de matrices investiguées (pas d'analyses sur le biote) et ne couvrent pas l'ensemble des échelles spatio-temporelles intéressées par l'évènement. Les conclusions avancées s'appuient ainsi sur les données disponibles.

Les mesures indiquent un apport de matières oxydables (associé à une désoxygénation du milieu), d'hydrocarbures et de zinc dans le bassin aux bois, *via* les eaux d'extinction de l'incendie. Cet apport est visible dans l'eau et les sédiments pendant les semaines qui ont suivi l'incendie, avec un gradient croissant de l'entrée vers le fond du bassin. Les analyses chimiques non ciblées indiquent une présence de molécules chimiques en plus grand nombre dans les échantillons de sédiments prélevés dans le bassin aux bois ou à proximité, sans pour autant présenter les intensités absolues les plus fortes par rapport aux autres bassins échantillonnés. Eu égard 1) à la configuration physique du bassin aux bois qui tend à concentrer les sédiments fins et les polluants associés ; 2) au caractère « non dragué » du fond du bassin qui a laissé en place à une contamination historique ; et 3) au manque de données antérieures, il n'est pas possible de quantifier la part de contaminants apportée par l'incendie de celle déjà présente dans le bassin aux bois avant l'évènement.

A proximité du bassin aux bois, les concentrations en hydrocarbures mesurées dans les semaines qui ont suivi l'incendie sont parfois élevées, sans toutefois atteindre des valeurs exceptionnelles pour la Seine et pouvoir être directement reliées à l'incendie. Pour les autres familles de contaminants suivis, aucune problématique spécifique n'émerge des mesures post-incendie.

A l'échelle de l'estuaire de la Seine, les résultats pour les différentes familles de contaminants suivis ne montrent pas de contamination inhabituelle lors des campagnes post-incendie.



2 Quelle toxicité pour le milieu ?

2.1 Les suivis sur l'eau

2.1.1 Au niveau du bassin aux bois et à proximité

Pour aborder l'impact écotoxique de l'incendie du 26 septembre 2019 sur les eaux de la Seine, une série de bioessais a été réalisée sur des échantillons d'eau prélevés le 15 octobre 2019, à proximité immédiate du bassin aux bois (derrière le barrage flottant), par comparaison à un état amont de la Seine (point à Amfreville-la-Mi-Voie) [campagne A ; Figure 35 ; Aït-Aïssa et al., 2019].

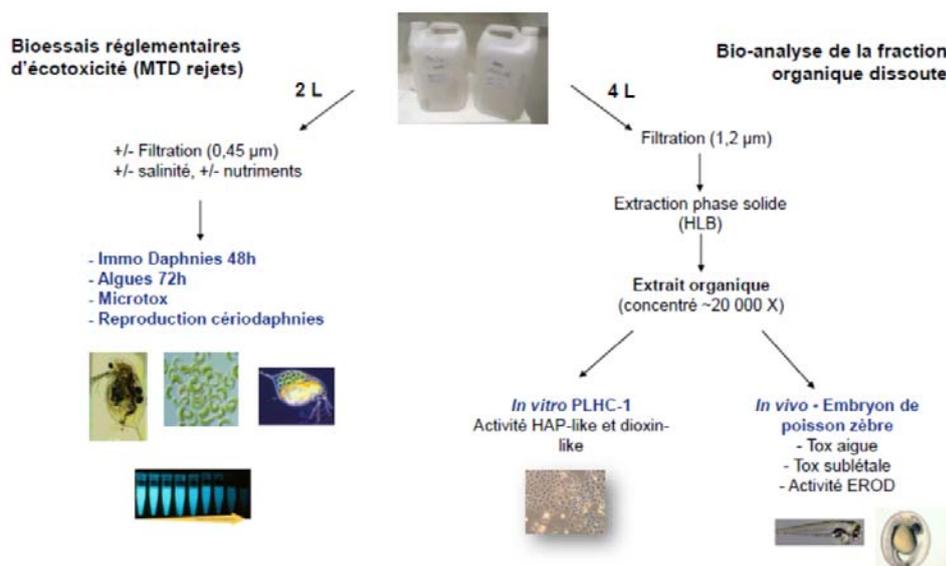


Figure 35 : Protocole mené sur les prélèvements d'eau du 15 octobre 2019 [campagne A].

Les deux bioessais associés à la recherche d'une toxicité aigüe (inhibition de la mobilité du microcrustacé *Daphnia magna* ; inhibition de la luminescence chez la souche bactérienne *Vibrio fischeri*) ne montrent pas d'effet à la concentration la plus forte testée qui correspond à l'échantillon brut non dilué. Le test d'inhibition de la croissance des algues unicellulaires *Pseudokirchneriella subcapitata* montre un effet pour l'échantillon brut non dilué, respectivement de 21 et 24% pour les points 'Amfreville-la-Mi-Voie' et 'Bassin aux bois'. Ces taux d'inhibition sont comparables entre les deux points et peuvent s'expliquer par la charge toxique véhiculée par la Seine. Ils ne constituent pas un effet chronique marqué pouvant être relié à l'incendie. Cette inhibition de la croissance n'est plus observée pour les échantillons dilués (à partir de 40%). Pour le test de reproduction du microcrustacé Cériodaphnies, aucun effet négatif n'est observé. Un nombre de juvéniles pondus par mère plus important est même observé après 7 jours d'exposition à l'échantillon brut non dilué par rapport au témoin, respectivement de +40 et +26% pour les points 'Amfreville-la-Mi-Voie' et 'Bassin aux bois'. Cet effet positif sur la reproduction des cériodaphnies, régulièrement observé sur les tests en milieu naturel, s'explique par la présence de nutriments dont les crustacés peuvent se nourrir et ainsi améliorer leur reproduction. Les résultats des essais d'écotoxicité réglementaire ne mettent pas en évidence d'effets significatifs sur les deux échantillons et n'indiquent pas de différence entre les deux points testés [Tableau VII]. **Aucune toxicité liée à l'incendie n'a été mise en évidence sur les échantillons d'eau prélevés 3 semaines après l'évènement.**

Tableau VII : Résultats des bioessais réalisés sur l'eau prélevée 15 octobre 2019 [campagne A].

Bioessai	La Seine à Amfreville-la-Mi-Voie	La Seine en sortie du bassin aux bois
essai d'inhibition de la mobilité de <i>Daphnia magna</i> – toxicité aiguë	Pas d'effet à la plus forte concentration (100%)	Pas d'effet à la plus forte concentration (100%)
essai d'inhibition de la luminescence de <i>Vibrio fischeri</i> – toxicité aiguë	Pas d'effet à la plus forte concentration (80%)	Pas d'effet à la plus forte concentration (80%)
essai d'inhibition de la croissance de <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> – toxicité chronique	21% d'inhibition à la plus forte concentration (100%) Pas d'effet à partir de 40% de la concentration	24% d'inhibition à la plus forte concentration (100%) Pas d'effet à partir de 40% de la concentration
essai de reproduction des cériodaphnies – toxicité chronique	Pas d'effet négatif Ponte 40% supérieure au témoin	Pas d'effet négatif Ponte 26% supérieure au témoin

En complément des bioessais, des bioanalyses *in vitro* ont été menées sur les fractions organiques dissoutes des deux échantillons [campagne A ; Figure 35 ; Aït-Aïssa *et al.*, 2019]. Une activité HAP-like associée à un profil de type HAP non persistant a été mesurée sur les deux sites (entre 15 et 40 ng/l BaP-Eq) [Figure 36]. Cet effet transitoire (activité supérieure pour une exposition de 4h vs une exposition de 24h) est légèrement supérieur sur le site en sortie du bassin aux bois (1,5 à 2,4 fois), mais reste peu important au regard de résultats mesurés sur d'autres sites de rivières françaises (jusqu'à 200 à 300 ng/l BaP-Eq).

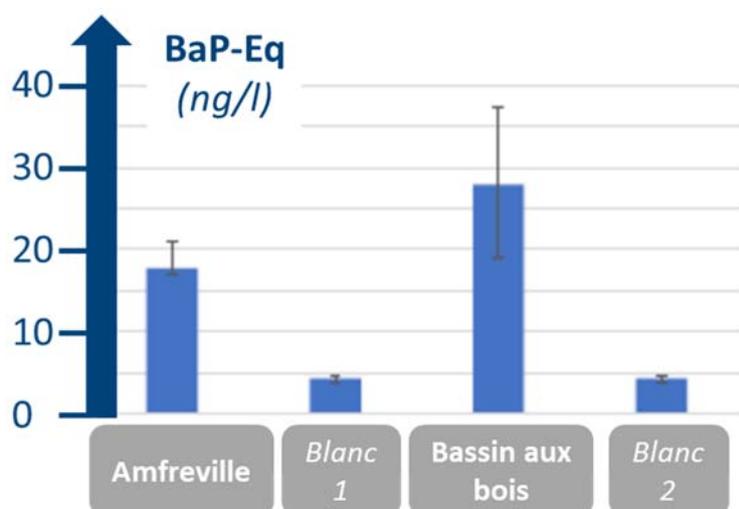


Figure 36 : Activité HAP-like mesurée sur l'eau prélevée 15 octobre 2019 [campagne A].

Les tests de toxicité *in vivo* sur embryon de poisson zèbre (*Danio rerio*) permettent de tester la toxicité d'échantillons d'eau. L'exposition des embryons aux échantillons n'engendre pas de mortalité après 96h (pas de toxicité aiguë) et n'induisent pas d'effets significatifs sur le taux d'individus présentant des malformations. Concernant le taux d'éclosion, une précocité est observée sur les deux échantillons par rapport aux témoins, mais aucune différence significative n'est observée entre les deux points [Figure 37]. La littérature rapporte une éclosion avancée ou retardée pour une exposition à des polluants de type HAP, ce qui peut être cohérent avec l'activité HAP-like mesurée [Figure 36].

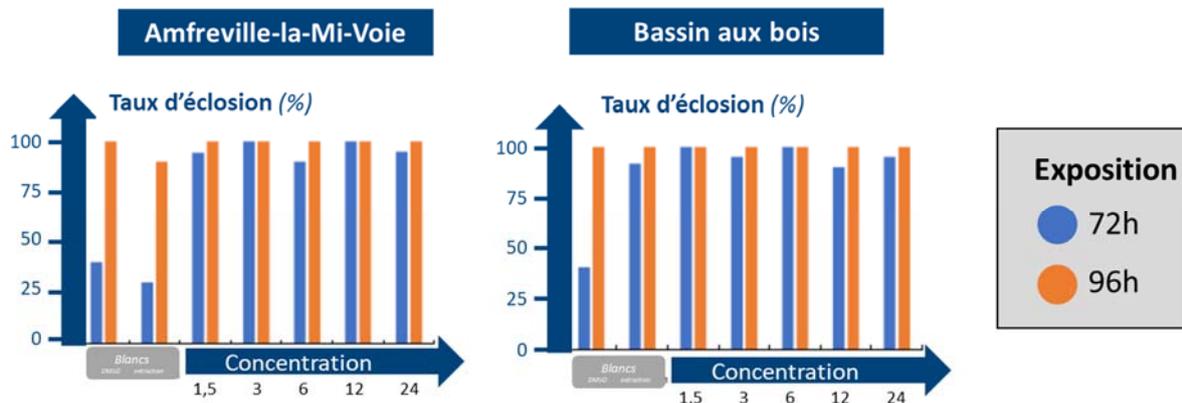


Figure 37 : Taux d'éclosion du poisson zèbre après exposition (72 et 96h) à l'eau prélevée le 15 octobre 2019 [campagne A].

La mesure de l'activité enzymatique EROD chez les embryons de poissons permet de rechercher l'exposition à certains polluants comme les HAP, les PCB ou les dioxines. Des inductions d'activité EROD sont mesurées pour les concentrations les plus fortes testées sur les deux points [Figure 38]. Sur la base de ces mesures, une quantification des concentrations équivalentes en dioxines (TCDD-EQ) a été réalisée. Elle est 2,4 fois plus importante sur le point 'bassin aux bois' comparativement au point 'Amfreville-la-Mi-Voie' (situé en amont de l'agglomération rouennaise), avec des valeurs de 415 et 173 pg TCDD-EQ/L respectivement.

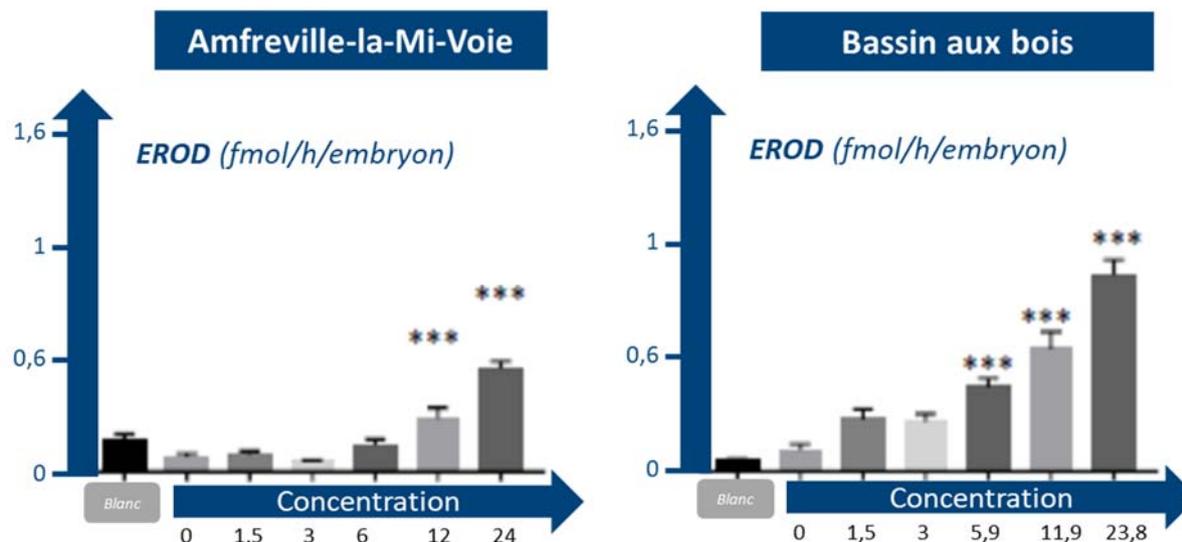
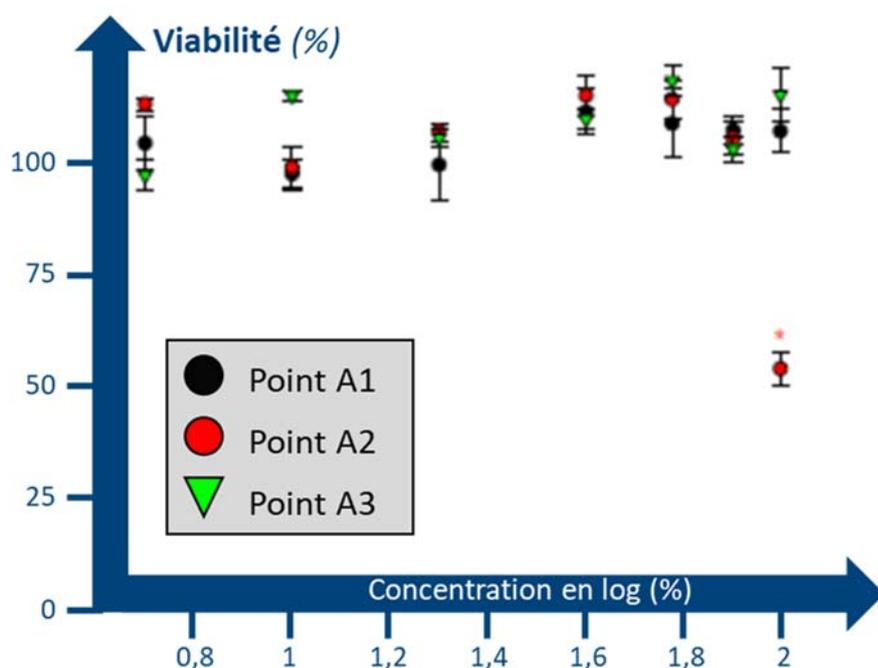


Figure 38 : Activité EROD mesurés sur les embryons de poissons après exposition l'eau prélevée le 15 octobre 2019 [campagne A].

Les résultats des bioanalyses sur les échantillons d'eau montrent des effets écotoxiques relativement modérés, quoiqu'un peu plus importants sur le point en sortie du bassin aux bois. Le niveau d'écotoxicité observé peut s'expliquer par la charge polluante véhiculée par la Seine et les apports de l'agglomération rouennaise, sans pour autant exclure un apport éventuel du bassin aux bois. Il est cependant important de noter que les échantillons d'eau utilisés pour les tests d'écotoxicité ont été prélevés trois semaines après la survenue de l'incendie, alors que la phase aiguë des émissions était terminée. Les résultats obtenus avec ces échantillons ne reflètent donc que l'impact écotoxique tardif. Aucune information n'est disponible sur les effets écotoxiques pendant l'incendie et sur les jours suivants.

Une deuxième série de bioessais a été réalisée plus tardivement (le 06 décembre 2019) sur des eaux prélevées dans le bassin aux bois (points A1 et A2) et en sortie du bassin (point A3) [campagne C], permettant de renseigner la toxicité des eaux plusieurs semaines après l'incendie [TOXEM, 2020a]. Les résultats indiquent *i)* une **cytotoxicité *in vitro*** sur une lignée cellulaire de truite mesurée sur un échantillon du bassin aux bois (point A2) à la plus forte concentration testée [Figure 39] ; *ii)* des **perturbations endocriniennes avec une activité antagoniste aux œstrogènes** sur les trois échantillons bruts [Figure 40] et une **activité antagoniste aux androgènes** sur un prélèvement du bassin aux bois (point A2) à la plus forte concentration testée d'échantillon brut (aucune activité sur les extraits organiques) ; *iii)* un **potentiel génotoxique** (cassure à l'ADN mesurée par le test des comètes) pour un échantillon du bassin aux bois (eau brute avec activation métabolique et extrait organique sans activation métabolique) à la plus forte concentration testée [Figure 41]. Le SOS Chromotest et le test des micronoyaux n'ont **pas mis en évidence de potentiels génotoxiques** des échantillons d'eau de leurs extraits organiques SPE-HLB, que ce soit avec ou sans activation métabolique aux concentrations testées. Au final, les bioessais réalisés sur les échantillons d'eau (échantillons bruts et extraits organiques) prélevés le 06 décembre 2019 montrent une **légère problématique toxicologique, essentiellement dans le bassin aux bois** [Tableau VIII ; TOXEM, 2020a].



*valeurs statistiquement différentes du témoin négatif « Milieu de culture » (Test de Student, $p < 0,05$)

Figure 39 : Pourcentage de viabilité des cellules RTG-2 après exposition à l'eau prélevée le 06 décembre 2019 [campagne C].

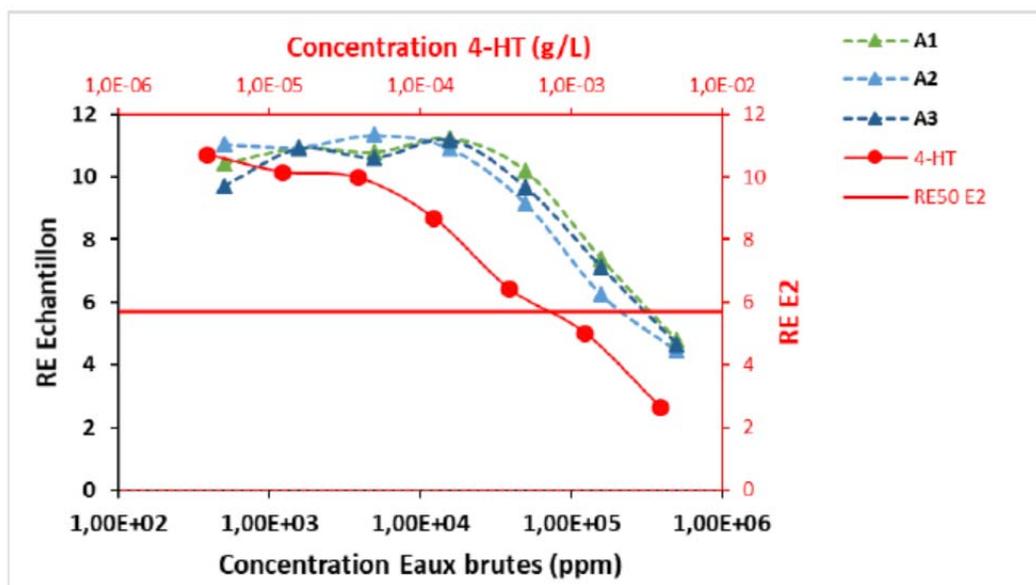


Figure 40 : Réponse oestrogénique (RE) de la souche de levure pour le test ANTI-YES après exposition à l'eau prélevée le 06 décembre 2019 [campagne C].

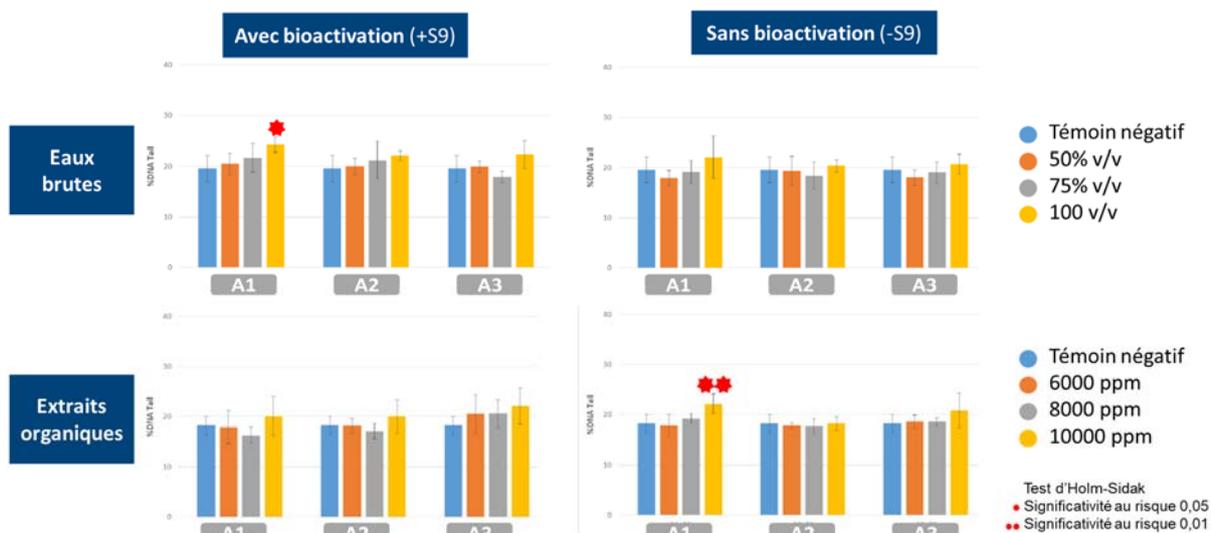


Figure 41 : Pourcentage d'ADN dans la queue de comète après exposition à l'eau prélevée le 06 décembre 2019 [campagne C].

Tableau VIII : Bilan des réponses écotoxiques mesurées sur les échantillons d'eau prélevés le 06 décembre [campagne C].

Station	Bioessai		Cytotoxicité	Micronoyaux		Perturbations Endocriniennes				Test des Comètes	
	-S9	+S9		-S9	+S9	Yes	Yas	Anti-Yes	Anti-Yas	-S9	+S9
Bassin aux bois (A1)											
Bassin aux bois (A2)											
Sortie bassin (A3)											

Absence de réponse Faible réponse positive Réponse positive plus marquée

2.2 Les suivis sur le sédiment

2.2.1 Au niveau du bassin aux bois et à proximité

Afin d'étudier la toxicité associée aux sédiments présents dans le bassin aux bois et à proximité, une campagne de mesure de bioessais a été menée le 12 février 2020 sur les sédiments superficiels prélevés sur quatre points dans le bassin aux bois (points A1 Est, A1 QBB33, A1 QBB40, A1 centre), un point en sortie du bassin (A1 BB1) et un point à proximité du bassin (A2⁵) [campagne D ; Figure 42 ; TOXEM, 2020b].



Figure 42 : Points de prélèvements des sédiments du 12 février 2020 [campagne D].

Les résultats indiquent une problématique toxicologique qui concerne plus spécifiquement un **potentiel génotoxique** identifié avec le SOS-Chromotest [Figure 43] ainsi qu'avec le test des comètes sur les extraits organiques des échantillons du bassin aux bois et en sortie du bassin, que ce soit avec ou sans activation métabolique aux différentes concentrations testées⁶ [Figure 46]. Une génotoxicité plus modérée a été mise en évidence pour les éluutriats de trois échantillons du bassin aux bois ainsi qu'en sortie de ce bassin. Une **cytotoxicité *in vitro*** sur une lignée cellulaire de truite a été mesurée sur les extraits organiques des échantillons du bassin aux bois aux plus fortes concentrations testées [Figure 44]. Des **perturbations endocriniennes ont été mesurées, avec une activité antagoniste aux œstrogènes** (sur les éluutriats de tous les échantillons [Figure 45] et sur les extraits organiques de 4 échantillons du bassin aux bois) **et une activité antagoniste aux androgènes** (sur l'éluutriat d'un échantillon et sur les extraits organiques de 3 échantillons du bassin aux bois) à la plus forte concentration testée. Le test des micronoyaux n'a **pas mis en évidence de potentiels génotoxiques des échantillons** (éluutriats et extraits organiques) que ce soit avec ou sans activation métabolique aux concentrations testées. Les tests YES et YAS ne montrent **aucune activité ostrogénique et androgénique**, que ce soit sur l'éluutriat ou sur les extraits organiques des échantillons. Enfin, un test d'écotoxicité sur larves d'huitres creuses a été mis en place selon le protocole GEODE, afin d'estimer la toxicité des sédiments en vue d'éventuelles opérations de dragage et d'immersion. Après exposition à l'éluutriat de sédiment,

⁵ L'échantillon A2 prélevé à proximité du bassin aux bois présente une problématique toxicologique moindre qui peut s'expliquer par son caractère sableux ne favorisant pas l'adsorption des molécules organiques contrairement aux matrices sédimentaires très vaseuses du bassin aux bois.

⁶ En absence d'activation métabolique (-S9), les extraits ASE des sédiments « A1 Est » et « A1 QBB40 » montrent une toxicité trop importante pour l'analyse des comètes à la plus forte concentration testée (moins de 70% de viabilité à 10 000 ppm).



le nombre de larves normales est compris entre 74,8% (point A1 QBB40) et 82% (point A1 est), indiquant une **toxicité faible des sédiment pour le développement des larves d’huitres** (note GeodRisk de 1).

Au final, les résultats montrent une problématique toxicologique pour les sédiments prélevés dans le bassin aux bois et en sortie de bassin cinq mois après l’incendie, avec un gradient croissant de l’entrée vers le fond du bassin, cohérent avec les mesures d’hydrocarbures menées en parallèle. Néanmoins, le test sur larve d’huitres mis en en place selon le protocole GEODE indique une toxicité faible des sédiments [Tableau IX ; TOXEM, 2020b]. Aucune donnée antérieure à l’incendie n’étant disponible dans le bassin aux bois et aucune donnée équivalente n’étant disponible pour les autres bassins portuaires du secteur rouennais, il n’est pas possible de statuer sur la spécificité de cette problématique toxicologique observée dans le bassin aux bois. Il est également important de noter que les échantillons de sédiment utilisés pour les tests d’écotoxicité ont été prélevés cinq mois après la survenue de l’incendie. Les résultats obtenus avec ces échantillons ne reflètent donc que l’impact écotoxique tardif. Aucune information n’est disponible sur les effets écotoxiques potentiels pendant l’incendie et sur les jours suivants.

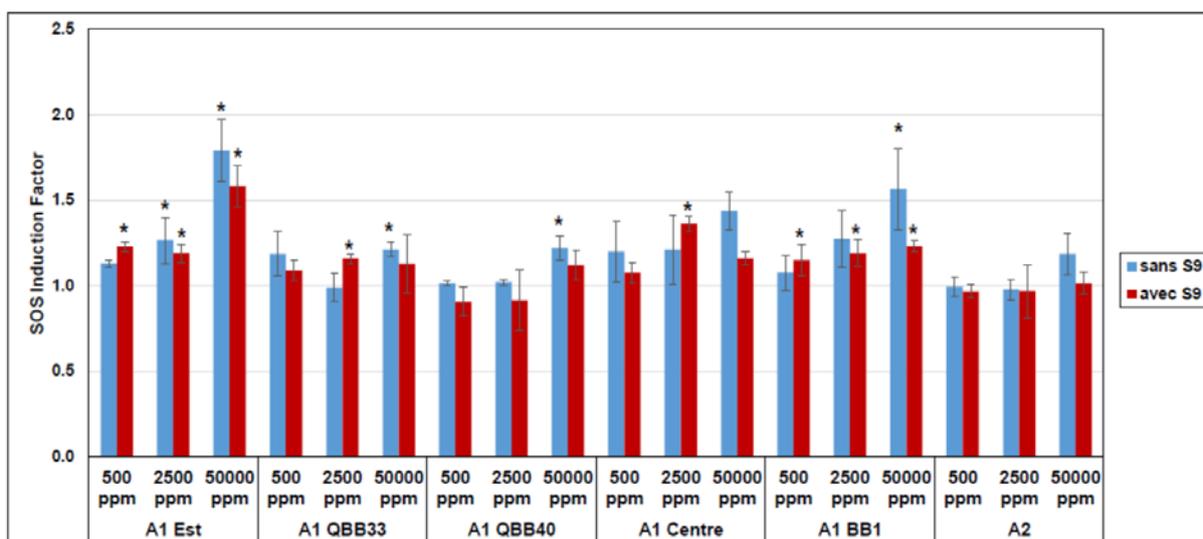


Figure 43 : SOS Induction Factors obtenus pour les différents extraits organiques avec et sans activation métabolique pour les sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].

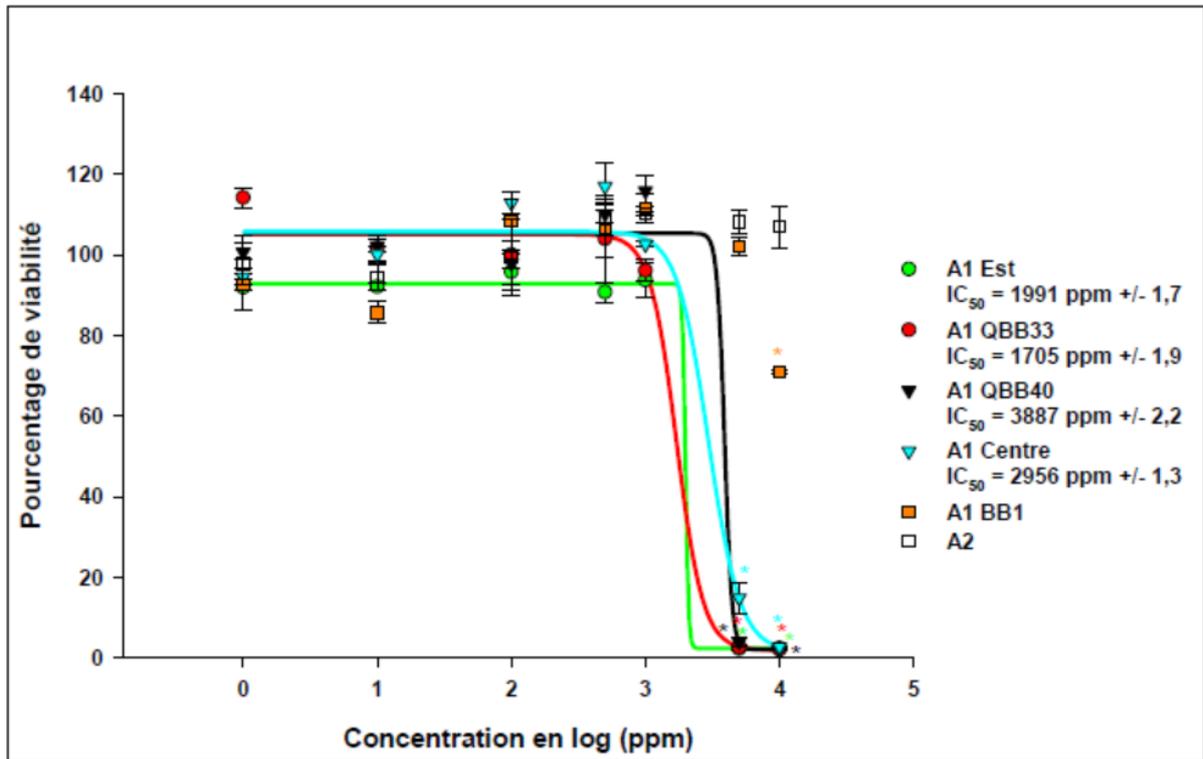


Figure 44 : Pourcentage de viabilité des cellules RTG-2 après exposition aux sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].

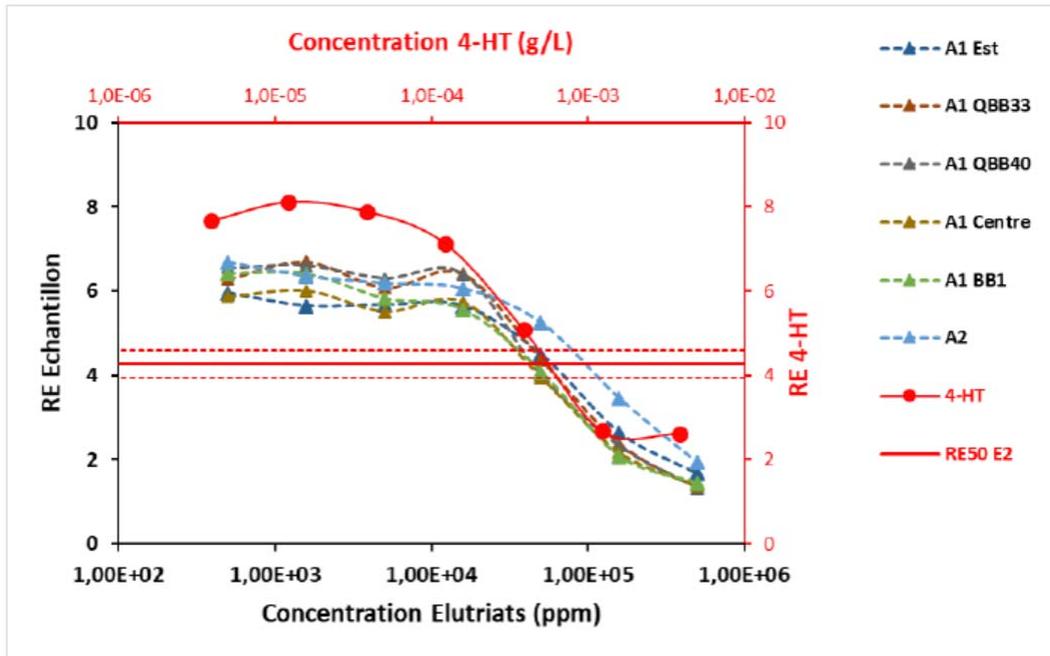


Figure 45 : Réponse oestrogénique (RE) de la souche de levure pour le test ANTI-YES après exposition aux sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].

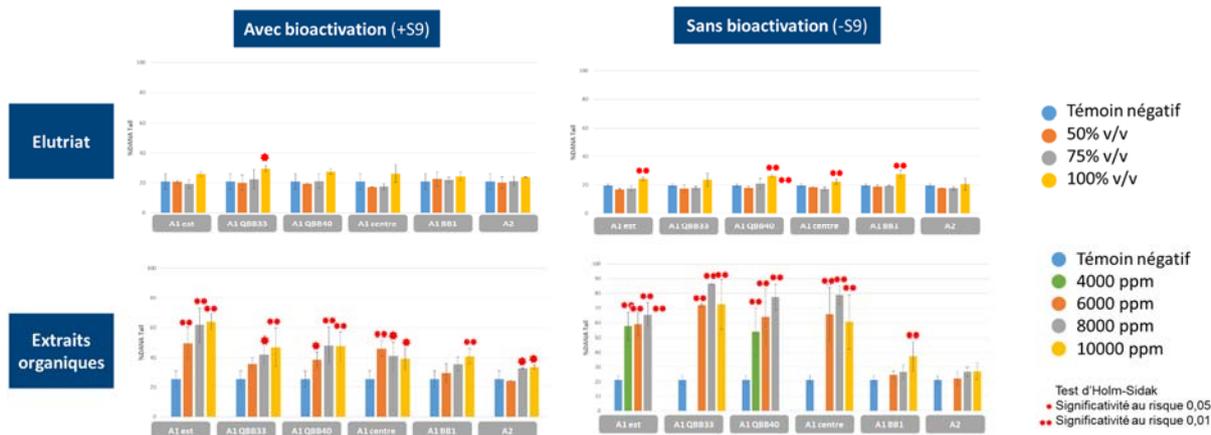


Figure 46 : Pourcentage d'ADN dans la queue de comète après exposition aux sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].

Tableau IX : Bilan des réponses écotoxiques et des teneurs en HAP mesurées sur les sédiments prélevés le 12 février 2020 [campagne D].

Station	Bioessai		Cytotoxicité	Micronoyaux		Perturbations Endocriniennes				Test des Comètes		Hydrocarbures (mg/kg PS)	
	-S9	+S9		-S9	+S9	Yes	Yas	Anti-Yes	Anti-Yas	-S9	+S9	16 HAP	Indice C10-C14
Bassin aux bois (A1 Est)												15	1000
Bassin aux bois (A1 QBB33)												10	790
Bassin aux bois (A1 QBB40)												6,7	650
Bassin aux bois (A1 Centre)												8,5	680
Sortie bassin (A1 BB1)												/	/
Proximité bassin (A2)												3,4	<100

Absence de réponse
 Faible réponse positive
 Réponse positive plus marquée

2.2.2 A l'échelle de l'estuaire de la Seine

Afin d'étudier la toxicité associée aux sédiments à l'échelle de l'estuaire de la Seine, des campagnes de mesure de bioessais ont été menées en novembre 2019 (10 points), janvier-février-mars-avril et mai 2020 (6 points) sur des sédiments superficiels prélevés sur 10 points (prélèvement du mois de novembre 2019) puis 6 points le long de l'estuaire de la Seine, entre Pont-de-l'Arche et Tancarville [campagne B ; Figure 47 ; Couteau, 2020b]⁷.



Figure 47 : Points de prélèvement des sédiments pour les mesures de bioessais [campagne B].

⁷ Vu les réponses apportées par les différents bioessais et de la toxicité observée selon les points, la stratégie de suivi a été adaptée au cours des campagnes. Le nombre de points a ainsi été réduit à partir de la seconde campagne (janvier 2020) et le test de numération des micronoyaux n'a pas été reconduit à partir de la 3ème campagne (février 2020).

Les résultats indiquent une **problématique écotoxique des sédiments** qui concerne plusieurs types d'effets. Une **génotoxicité faible** est mesurée par le SOS Chromotest dans les sédiments prélevés en Seine. Elle est plus marquée sur les échantillons prélevés en novembre 2019 et en aval de l'agglomération rouennaise. Elle est majoritairement induite par des molécules organiques qui nécessitent une activation métabolique (+S9). A noter, une génotoxicité importante dans l'échantillon prélevé en Seine à Canteleu en février 2020. Au vu des conditions hydrodynamiques particulières sur ce point de prélèvement, le lien avec un apport spécifique lié à l'incendie du 26 septembre 2019 semble peu probable⁸. Le test des comètes met également en évidence une **génotoxicité** sur les extraits organiques des échantillons. Elle est plus marquée sans activation métabolique et sur les échantillons prélevés en novembre 2019 et janvier 2020. Le test des micronoyaux n'a pas mis en évidence de potentiels génotoxiques des éluviats et des extraits organiques des échantillons prélevés en novembre 2019 et janvier 2020, que ce soit avec ou sans activation métabolique aux concentrations testées. Les résultats de toxicité vis-à-vis de cellules de poissons mettent en évidence une **cytotoxicité faible des extraits organiques**, qui est cependant plus importante en novembre 2019 et mai 2020, et en aval de Rouen (notamment à Canteleu). **Des perturbations endocriniennes sont mesurées, avec une activité antagoniste aux œstrogènes** (test Anti-Yes) **et une activité antagoniste aux androgènes** (test Anti-Yas) quasiment systématiques (réponse positive respectivement sur 38 et 25 des 40 échantillons). Cette activité semble plus importante sur les sédiments prélevés en Seine à Canteleu⁷. Les tests YES et YAS ne montrent **aucune activité hormonale ostrogénique** et une **activité androgénique sur quelques échantillons**, que ce soit sur l'éluviat ou sur les extraits organiques des échantillons testés.

Les résultats des bioessais menés sur les sédiments prélevés en Seine montrent une problématique toxicologique relativement faible, parfois plus marquée en novembre 2019 et en aval de l'agglomération rouennaise. Ces résultats mettent en évidence une variabilité spatiale et temporelle qui ne permet pas de discriminer d'un point de vue toxicologique, ni un point de prélèvement particulier ni une campagne d'échantillonnage particulière, en lien avec l'incendie du 26 septembre 2019. Les niveaux de toxicité mesurés dans les mois qui ont suivi l'incendie sont en adéquation avec les niveaux de contamination chimique chronique de la Seine, mais l'absence d'un historique de mesures par des bioessais en Seine ne permet pas de conclure sur une toxicité anormale lors cette campagne de prélèvements [Tableau X ; Couteau, 2020b].

⁸ Le point Canteleu a été déplacé à partir de la 3^{ème} campagne (février 2020), empêchant une comparaison directe avec les résultats de novembre 2019 et janvier 2020

Tableau X : Bilan des réponses écotoxiques mesurées sur les sédiments prélevés en Seine, entre novembre 2019 et mai 2020 [campagne B].

Bioessai	Potentiel génotoxique																																	
	SOS Chromotest (-S9)						SOS Chromotest (+S9)						Micronoyaux (-S9)		Micronoyaux (+S9)		Test des Comètes (-S9)						Test des Comètes (+S9)											
Station Seine																																		
Pont-de-l'Arche	nov.19						nov.19						nov.19		nov.19		nov.19						nov.19						nov.19					
Oissel	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Rouen	nov.19						nov.19						nov.19		nov.19		nov.19						nov.19						nov.19					
Canteleu	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Petit-Couronne	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
La Bouille	nov.19						nov.19						nov.19		nov.19		nov.19						nov.19						nov.19					
Duclair	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Heurteauville	nov.19						nov.19						nov.19		nov.19		nov.19						nov.19						nov.19					
Caudebec-en-Caux	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Tancarville	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20

Bioessai	Cytotoxicité					
	Test in vitro					
Station Seine						
Pont-de-l'Arche	nov.19					
Oissel	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Rouen	nov.19					
Canteleu	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Petit-Couronne	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
La Bouille	nov.19					
Duclair	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Heurteauville	nov.19					
Caudebec-en-Caux	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Tancarville	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20

Bioessai	Perturbations Endocriniennes																													
	Test Yes						Test Yas						Test Anti-Yes						Test Anti-Yas											
Station Seine																														
Pont-de-l'Arche	nov.19						nov.19						nov.19						nov.19						nov.19					
Oissel	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Rouen	nov.19						nov.19						nov.19						nov.19						nov.19					
Canteleu	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Petit-Couronne	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
La Bouille	nov.19						nov.19						nov.19						nov.19						nov.19					
Duclair	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Heurteauville	nov.19						nov.19						nov.19						nov.19						nov.19					
Caudebec-en-Caux	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20
Tancarville	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20	nov.19	janv.20	fév.20	mar.2020	avr.20	mai.20

prélèvement Absence de réponse
 prélèvement Faible réponse positive
 prélèvement Réponse positive plus marquée
 prélèvement Réponse positive élevée

2.3 Bilan de la toxicité pour le milieu

Suite à l'incendie du 26 septembre 2019, les données acquises pour renseigner la toxicité véhiculée par les eaux et les sédiments de la Seine permettent d'apporter des éléments de réponse à différentes échelles spatiales et temporelles. A noter cependant, que les bioessais menés ne couvrent pas l'ensemble des échelles spatio-temporelles intéressées par l'évènement. Aucune campagne de mesure d'écotoxicité n'a ainsi été menée pendant l'incendie et sur les jours qui ont suivis, ne permettant pas de documenter une éventuelle toxicité aiguë dans le bassin aux bois ou en Seine, liée à l'évènement. Les conclusions avancées s'appuient ainsi sur les données acquises suite à l'incendie et ne fournissent qu'une vision partielle de l'évènement, sans comparaison antérieure possible.

Les résultats des bioessais menés indiquent une légère problématique toxicologique dans les eaux du bassin aux bois, plusieurs semaines après l'incendie. Les réponses sont plus marquées dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois, même cinq mois après l'incendie. Un gradient croissant des réponses toxicologiques est observé de l'entrée vers le fond du bassin, en cohérence avec les mesures d'hydrocarbures menées en parallèle. Néanmoins, le test sur larve d'huîtres mis en en place selon le protocole GEODE indique une toxicité faible des sédiments prélevés dans le bassin aux bois. De la même manière que pour la contamination chimique observée dans le bassin aux bois, il n'est pas possible de quantifier la part de la toxicité apportée par l'incendie de celle déjà présente dans le bassin aux bois avant l'évènement. Cette problématique toxicologique n'est pas retrouvée dans l'eau prélevée à proximité du bassin aux bois trois semaines après l'incendie.

A l'échelle de l'estuaire de la Seine et sur les mois qui ont suivi l'incendie, la problématique toxicologique mesurée reste faible pour les sédiments de la Seine, bien que parfois plus marquée en novembre 2019 à l'aval de l'agglomération rouennaise. La forte variabilité spatiale et temporelle des résultats, le manque de recul historique sur ce type de mesures et la présence d'une toxicité chronique dans la Seine, ne permet cependant pas de faire de lien direct entre le niveau de toxicité mesuré dans les sédiments de l'estuaire de la Seine et l'incendie.



3 Quel impact sur les organismes aquatiques ?

3.1 A court terme

Suite à l'incendie du 26 septembre 2019, **la faune présente dans le bassin aux bois a été impactée**, avec une mortalité piscicole (100kg de poissons morts ont été ramassés) et quelques oiseaux mazoutés (mouettes, grands cormorans) [DDTM-76, *com. pers.*]. La mortalité piscicole est à relier à un fort déficit en oxygène (anoxie) due à une consommation bactérienne des matières oxydables rejetées lors de l'incendie, plutôt qu'à une toxicité aiguë des substances chimiques apportées par l'incendie du 26 septembre 2019. **Aucune mortalité de la faune aquatique n'a été observée en Seine**, en dehors du bassin aux bois. De potentiels effets sublétaux à court terme n'ont pas été recherchés dans le bassin aux bois ou à proximité de ce dernier, ne permettant pas de documenter l'impact potentiel de l'évènement à court terme sur la faune aquatique.

3.2 A moyen terme sur la crevette blanche

La mesure de biomarqueurs sur des crevettes blanches (*Palaemon longirostris*), respectivement encagées en Seine à Petit-Couronne (du 13 au 28 novembre 2019) et prélevées en Seine à Tancarville (17/09, 17/10, 06/11, 28/11/2019) permet d'appréhender l'impact à moyen terme de l'incendie du 26 septembre 2019 sur des crustacés présents en Seine [campagnes E, G ; Amara *et al.*, 2020]. Alors qu'une batterie de bioessais a été réalisée sur les organismes encagés, seul un suivi des dommages à l'intégrité de l'ADN spermatique a été mené sur les crevettes prélevées à Tancarville.

L'expérimentation de caging de crevettes [campagne E] a permis d'appréhender l'état de santé des organismes après 15 jours d'exposition aux eaux de la Seine (à Petit-Couronne et Tancarville), à travers la mesure d'un panel de biomarqueurs. L'indice de condition et l'état des réserves énergétiques (protéines, lipides, glycogène) sont des indicateurs de l'état physiologique global des organismes. Les valeurs de ces indicateurs sont similaires entre les deux sites, après les 15 jours d'exposition. Il n'est, par exemple, **pas mis en évidence de mobilisation particulière du glycogène pour lutter contre un niveau de contamination chimique** qui serait significativement différent entre les deux sites [Figure 48].

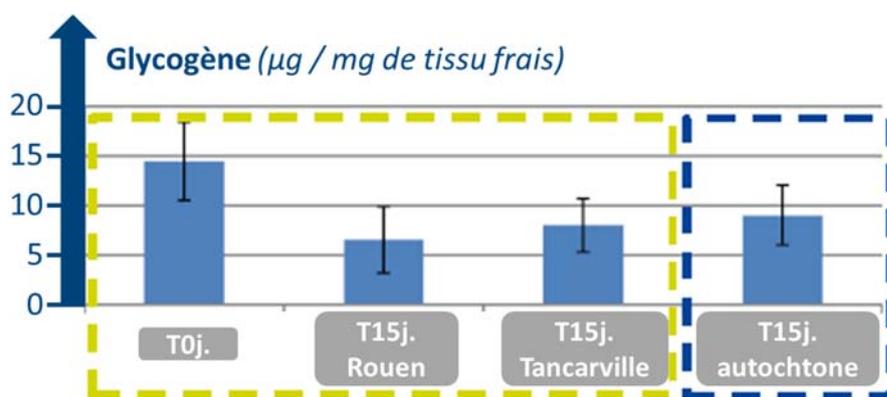


Figure 48 : Mesure du glycogène chez les crevettes (hépatopancreas) après 15 jours d'exposition en Seine.

Le suivi de l'intégrité de l'ADN spermatique indique une génotoxicité marquée en Seine quelques semaines après l'incendie, et ce dès l'encagement et après 15 jours d'exposition. Aucune différence significative n'est cependant observée entre les deux sites (Petit-Couronne

et Tancarville) [campagne E ; Figure 49/A]. Cet effet génotoxique est confirmé par le suivi de l'intégrité de l'ADN spermatique chez les crevettes prélevées *in natura* à Tancarville. Il montre une augmentation des dommages à l'ADN après l'incendie, entre septembre et novembre 2019, avec un dépassement du seuil de significativité pour les prélèvements d'octobre et novembre 2019 [campagne G ; Figure 49/B]. Bien que les niveaux de dommages atteints soient importants, ils restent dans la gamme des observations antérieures faites en Seine [Xuereb *et al.*, 2019]. **Le fait que 1) les dommages à l'ADN soient du même ordre de grandeur, voire plus importants, à Tancarville (à près de 100km de Rouen) qu'à Petit-Couronne ; et que 2) les niveaux de dommages à l'ADN soient dans la gamme des observations antérieures sur la Seine, tend à relier les effets génotoxiques observés chez la crevette à une exposition à des contaminants chimiques véhiculés par la Seine et issus d'apports chroniques, plutôt qu'à un apport spécifique lié à l'incendie. Cependant, il n'est pas possible d'exclure qu'une part de ces effets soit attribuable à des apports de contaminants génotoxiques lors de l'incendie.**

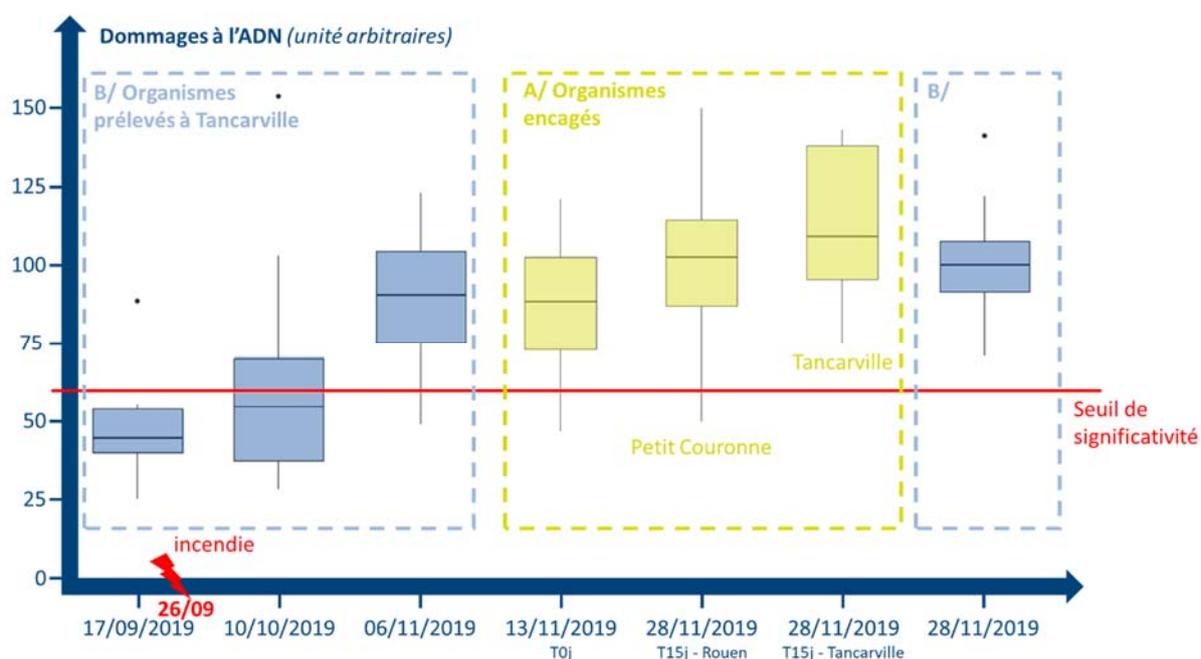


Figure 49 : Dommages à l'ADN spermatique chez la crevette blanche, après encagement (A/) et prélèvement à Tancarville (B/).

La mesure de la phagocytose hémocytaire ne montre pas d'effet immunotoxique significatif chez la crevette, avec des valeurs comparables entre le moment de l'encagement et après 15 jours d'exposition pour les deux sites. Ces niveaux sont également comparables à ceux mesurés sur des individus autochtones prélevés à Tancarville [Figure 50].

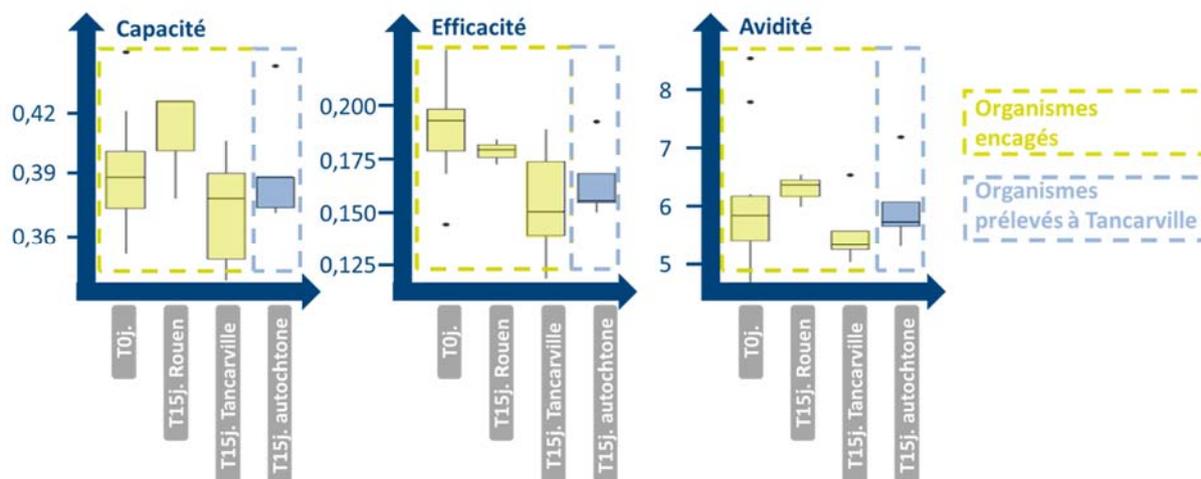


Figure 50 : Phagocytose hémocytaire chez la crevette blanche.

3.3 A moyen terme sur le flet

La mesure de biomarqueurs et l'analyse du protéome hépatique sur des flets (*Platichthys flesus*) encagés en Seine à Petit-Couronne du 13 novembre au 13 décembre 2019 permet d'appréhender l'impact à moyen terme de l'incendie du 26 septembre 2019 sur des poissons présents en Seine [campagne F ; Amara et al., 2020], par comparaison avec les valeurs obtenues sur ce même site à l'automne 2017 et 2018, ainsi que sur l'estuaire de la Canche à l'automne 2019 [Amara & Laroche, en cours].

Les indices de l'état physiologique des individus (taux de survie, indice de condition, croissance, concentration en protéine, ARN/ADN, lipides) témoignent des conditions d'encagement des organismes. Les valeurs de ces indices ne montrent **pas d'impact négatif lors de l'expérimentation de 2019, avec une fitness des organismes aussi bonne, voire meilleure, que pour les années antérieures**. La mesure du taux de dommages à l'ADN par le test des comètes ne montre pas de différence significative après 30 jours d'encagement à l'automne 2019. Il est du même ordre de grandeur que les mesures des années précédentes, n'indiquant **pas d'effet génotoxique particulier**. La mesure de l'activité enzymatique EROD sur le foie des individus permet de rechercher l'exposition potentielle à certains polluants comme les HAP, les PCB ou les dioxines. Elle ne montre pas de différence significative après 30 jours d'exposition, mais est plus élevée en 2019 qu'en 2018. Après 30 jours d'encagement, l'activité AChE mesurée sur le cerveau de flet montre une légère inhibition en 2019. **Elle pourrait être associée à une exposition à des agents neurotoxiques**, mais l'activité mesurée reste dans la gamme de variations des mesures antérieures, que ce soit sur des flets encagés ou prélevés *in natura* à l'embouchure de la Seine [Figure 51 ; Amara et al., en cours ; Couteau, 2020a]. **La mesure de biomarqueurs chez des flets, avant et après un mois d'exposition dans la Seine à Petit-Couronne à l'automne 2019, ne montre pas de réponse marquée au niveau des indices de fitness, ni de toxicité spécifique liée à l'incendie du 26 septembre 2019.**

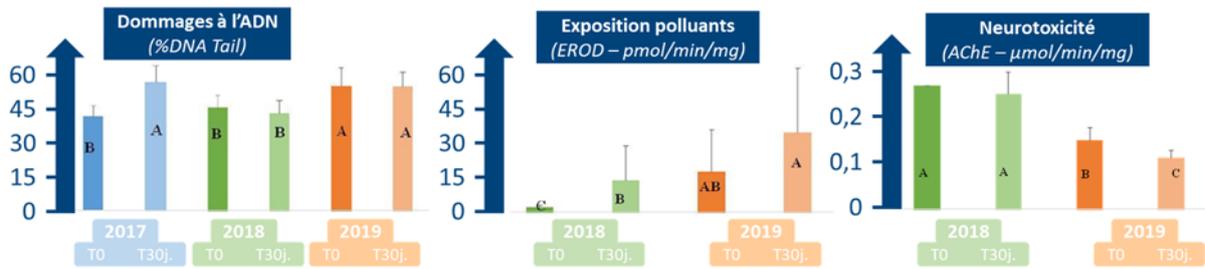


Figure 51 : Biomarqueurs mesurés sur le flet, avant et après encagement à Petit-Couronne.

L'analyse des protéomes hépatiques des poissons encagés à Petit-Couronne à l'automne 2019 a permis d'identifier environ 1850 protéines, dont 75 montrent une accumulation et 38 une diminution par comparaison aux poissons encagés sur la Canche à la même période [Pichereau & Laroche, *com. pers.*]. L'examen des fonctions cellulaires de ces protéines montre des **réorientations du métabolisme cellulaire** avec 1) une accumulation de protéines impliquées dans la synthèse et la régulation du cholestérol ; 2) une augmentation de la biosynthèse de certains acides aminés (proline, thréonine, acides aminés branchés) ; et 3) une diversion du métabolisme glucidique vers des voies génératrices de NADPH (notamment voie des pentoses phosphates). **Ces résultats suggèrent que les poissons aient pu être exposés à une molécule impactant le métabolisme des stérols.** Cette dérégulation du métabolisme du cholestérol pourrait provenir de la bioaccumulation de composés polyfluoroalkylés (PFAS), composés utilisés dans les mousses anti-feu, et qui sont connus pour entraîner des symptômes d'hypercholestérolémie dans les populations exposées. Il faut rappeler que le cholestérol joue un rôle essentiel, de par son rôle dans les membranes biologiques, mais également en tant que précurseur de molécules extrêmement importantes telles que les hormones stéroïdes (cortisol, hormones sexuelles) ou les sels biliaires. Néanmoins, il est assez délicat en l'état de conclure quant à la cause et à l'impact physiologique d'une telle perturbation métabolique. En effet, une accumulation très nette de l'ensemble des protéines impliquées dans la voie de biosynthèse du cholestérol est observée, mais les teneurs réelles en cholestérol dans l'organisme n'ont pas été mesurées. **L'expression de protéines connues pour être associées à l'exposition à des xénobiotiques a également été modifiée**, avec notamment une surexpression de cytochromes P450 (2G1, 1A1), de la NADPH-Cyt. P450 reductase, d'une glucuronosyl transférase (enzyme de détoxification de phase 2) et de la Bétaïne-Homocystéine Méthyl Transférase. Bien que témoins d'une pression chimique véhiculée par la Seine, la comparaison de ces résultats avec ceux issus de la campagne similaire menée en 2017 montre une moindre surexpression de ces marqueurs protéiques. **L'analyse de l'expression des protéines associées aux processus de détoxification ne montre pas de réponse particulière des flets encagés à Petit-Couronne suite à l'incendie du 26 septembre 2019, le niveau d'expression observé pouvant être à relier à la contamination chronique de la Seine.**

3.4 Bilan des impacts sur les organismes aquatiques

Suite à l'incendie du 26 septembre 2019, une mortalité piscicole a été observée dans le bassin aux bois. Aucune mortalité n'a été rapportée en Seine. Les potentiels effets sublétaux à court terme sur la faune aquatique n'ont pas été recherchés.

Des campagnes complémentaires à ces observations ont été menées pour renseigner les impacts sur les organismes aquatiques à moyen terme à l'échelle de l'estuaire de la Seine. Les résultats des biomarqueurs mesurés chez la crevette indiquent une exposition à des contaminants génotoxiques accrue dans la Seine à Petit-Couronne et à Tancarville dans les semaines qui ont suivi l'incendie. Le niveau d'effet mesuré reste cependant modéré et peut s'expliquer par l'exposition aux apports chroniques de la Seine. Les biomarqueurs mesurés chez le flet à Petit-Couronne ne montrent pas d'effets spécifiques. Là encore, le niveau d'effet observé peut s'expliquer par l'exposition aux apports chroniques de la Seine. L'analyse de l'expression des protéines hépatiques chez le flet suggère cependant une exposition particulière à une molécule impactant le métabolisme des stérols, sans pour autant avoir les éléments pour la relier aux apports de l'incendie. Aucun impact direct significatif de l'incendie sur les organismes aquatiques exposés en Seine n'a été mis en évidence plusieurs semaines après l'évènement.



BILAN

Lors de l'incendie du 26 septembre 2019 sur les sites des sociétés Lubrizol et NL-Logistique, une partie des eaux d'extinction du sinistre a été déversée en Seine, dans le bassin aux bois à Rouen. **Pour documenter le devenir de ce rejet et son impact sur le milieu aquatique, des campagnes d'acquisition de données ont été menées par divers acteurs.** Elles ont permis d'acquérir un ensemble d'informations complémentaires pour éclairer les conséquences de l'incendie sur la Seine, que ce soit 1) à une échelle locale (bassin aux bois), proche (boucle de Rouen) et globale (estuaire de la Seine) ; 2) à court terme (quelques semaines) et à moyen terme (quelques mois) ; et 3) d'un point de vue chimique (analyses quantitatives et analyses non ciblées) et écotoxique (bioessais et biomarqueurs). **Même si cet ensemble de données couvre de nombreuses questions posées par l'évènement, certains aspects n'ont pas été complétement documentés.** C'est notamment le cas des effets potentiels (bioessais) à très court terme (les premiers jours) et l'impossible exhaustivité des substances recherchées dans un contexte de méconnaissance partielle des polluants déversés dans le bassin aux bois. La réalisation des mesures biologiques (bioessais et biomarqueurs) a cependant permis de dépasser ces limites méthodologiques.

Concernant **la contamination chimique additionnelle apportée à la Seine suite à l'incendie**, les mesures indiquent un apport de matières oxydables (associé à une désoxygénation du milieu), d'hydrocarbures et de zinc dans le bassin aux bois. Cet apport est visible dans l'eau et les sédiments pendant les semaines qui ont suivi l'incendie, avec un gradient croissant de l'entrée vers le fond du bassin. Les analyses chimiques non ciblées indiquent une présence de molécules chimiques en plus grand nombre dans les échantillons de sédiments prélevés dans le bassin aux bois ou à proximité, sans pour autant présenter les intensités absolues les plus fortes par rapport aux autres bassins échantillonnés. Eu égard 1) à la configuration physique du bassin aux bois qui tend à concentrer les sédiments fins et les polluants associés ; 2) au caractère « non dragué » du fond du bassin qui a laissé en place à une contamination historique ; et 3) au manque de données antérieures, il n'est pas possible de quantifier la part de contaminants apportée par l'incendie de celle déjà présente dans le bassin aux bois avant l'évènement.

A proximité du bassin aux bois, les concentrations en hydrocarbures mesurées dans les semaines qui ont suivi l'incendie sont parfois élevées, sans toutefois atteindre des valeurs exceptionnelles pour la Seine et sans pouvoir être directement reliées à l'incendie. Pour les autres familles de contaminants suivis, aucune problématique spécifique n'émerge des mesures post-incendie.

A l'échelle de l'estuaire de la Seine, les résultats pour les différentes familles de contaminants suivis ne montrent pas de contamination inhabituelle lors des campagnes post-incendie.

Au-delà de la contamination chimique du milieu suite à l'incendie, **la toxicité véhiculée par les eaux et les sédiments de la Seine** a été interrogée à différentes échelles spatiales et temporelles. A noter cependant, que les bioessais menés ne couvrent pas l'ensemble des échelles spatio-temporelles intéressées par l'évènement. Aucune campagne de mesure d'écotoxicité n'a ainsi été menée pendant l'incendie et sur les jours qui ont suivis, ne permettant pas de documenter une éventuelle toxicité aiguë dans le bassin aux bois ou en Seine, liée à l'évènement. Les conclusions avancées s'appuient ainsi sur les données

acquises suite à l'incendie et ne fournissent qu'une vision partielle de l'évènement, sans comparaison antérieure possible. Les résultats des bioessais menés indiquent une légère problématique toxicologique dans les eaux du bassin aux bois, plusieurs semaines après l'incendie. Les réponses sont plus marquées dans les sédiments prélevés dans le bassin aux bois, même cinq mois après l'incendie. Un gradient croissant des réponses toxicologiques est observé de l'entrée vers le fond du bassin, en cohérence avec les mesures d'hydrocarbures menées en parallèle. Néanmoins, le test sur larve d'huîtres mis en place selon le protocole GEODE indique une toxicité faible des sédiments prélevés dans le bassin aux bois. De la même manière que pour la contamination chimique observée dans le bassin aux bois, il n'est pas possible de quantifier la part de la toxicité apportée par l'incendie de celle déjà présente dans le bassin aux bois avant l'évènement. Cette problématique toxicologique n'est pas retrouvée dans l'eau prélevée à proximité du bassin aux bois trois semaines après l'incendie. A l'échelle de l'estuaire de la Seine et sur les mois qui ont suivi l'incendie, la problématique toxicologique mesurée reste faible pour les sédiments de la Seine, bien que parfois plus marquée en novembre 2019 à l'aval de l'agglomération rouennaise. La forte variabilité spatiale et temporelle des résultats, le manque de recul historique sur ce type de mesures et la présence d'une toxicité chronique dans la Seine, ne permet cependant pas de faire de lien direct entre le niveau de toxicité mesuré dans les sédiments de l'estuaire de la Seine et l'incendie.

Concernant **les impacts sur la faune aquatique**, une mortalité piscicole a été observée dans le bassin aux bois. Aucune mortalité n'a été rapportée en Seine. Les potentiels effets sublétaux à court terme sur la faune aquatique n'ont pas été recherchés.

Des campagnes de mesure de biomarqueurs chez la crevette et le flet ont permis de renseigner les impacts à moyen terme sur les organismes aquatiques à l'échelle de l'estuaire de la Seine. Les résultats des biomarqueurs mesurés chez la crevette indiquent une exposition à des contaminants génotoxiques accrue dans la Seine à Petit-Couronne et à Tancarville dans les semaines qui ont suivi l'incendie. Le niveau d'effet mesuré reste cependant modéré et peut s'expliquer par l'exposition aux apports chroniques de la Seine. Les biomarqueurs mesurés chez le flet à Petit-Couronne ne montrent pas d'effets spécifiques. Là encore, le niveau d'effet observé peut s'expliquer par l'exposition aux apports chroniques de la Seine. L'analyse de l'expression des protéines hépatiques chez le flet suggère cependant une exposition particulière à une molécule impactant le métabolisme des stérols, sans pour autant avoir les éléments pour la relier aux apports de l'incendie. Aucun impact direct significatif de l'incendie sur les organismes aquatiques exposés en Seine n'a ainsi été mis en évidence plusieurs semaines après l'évènement.



Suite à l'incendie des installation Lubrizol/NL-Logistique du 26 septembre 2019 et au rejet d'une partie des eaux d'extinction dans le milieu aquatique, 1) une mortalité piscicole liée à une désoxygénation du milieu a été observée dans le bassin aux bois ; et 2) une pollution, essentiellement en hydrocarbures, a été identifiée dans les eaux et les sédiments du bassin aux bois. A l'extérieur du bassin aux bois, aucune pollution significative et spécifiquement liée à l'évènement n'a été mise en évidence en Seine. En effet 1) les concentrations en contaminants dans les eaux et les sédiments de la Seine ; 2) les réponses écotoxiques sur l'eau et les sédiments de la Seine ; et 3) les effets sur les organismes aquatiques présents ou exposés à la Seine sont restés dans les gammes des observations antérieures et ne montrent pas de pics significatifs pouvant être directement reliés à un apport de polluants suite à l'incendie.

Des facteurs physiques peuvent expliquer ces résultats, à savoir 1) la mise en place de barrages flottants pour isoler le bassin aux bois de la Seine et le pompage d'une partie du rejet ont limité le transfert des contaminants rejetés dans le bassin aux bois vers la Seine ; et 2) le fort hydrodynamisme de la Seine (marée, débit) a permis une dispersion et une dilution de la contamination additionnelle qui a rejoint la Seine. Des limites liées aux suivis mis en place peuvent également être avancées, à savoir 1) le manque de données toxicologiques acquises pendant l'incendie et les jours qui ont suivis ; et 2) la méconnaissance partielle des molécules effectivement rejetées dans le bassin aux bois et donc l'impossibilité de les rechercher. Enfin, la contamination chronique de la Seine engendre un signal chimique et écotoxique parfois important, ce qui complexifie l'identification d'un signal additionnel qui serait spécifiquement lié à l'évènement. Au final, l'analyse des résultats disponibles permet de conclure sur l'absence d'un impact significatif de l'incendie sur la Seine (hors bassin aux bois).

Au-delà de la documentation de son impact sur la Seine, le suivi de cet évènement illustre 1) l'importance de disposer de données de suivi récurrentes et pérennes sur la Seine et les bassins portuaires ; 2) la nécessité de mettre en place des suivis spécifiques et complémentaires lors d'un épisode engendrant un apport en contaminants dans le milieu ; et 3) le besoin de développements méthodologiques pour évaluer au mieux l'impact d'un pic de polluants sur l'écosystème estuarien. C'est la combinaison de ces différents éléments qui permet d'apprécier l'ampleur d'un rejet et de répondre à la question de son impact sur le milieu.



LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide **D**ésoxyribo **N**ucléique

AESN : Agence de l'**E**au **S**eine **N**ormandie

AFB : Agence **F**rançaise pour la **B**iodiversité

AOX : **A**dsorbable **O**rganic **H**alogen

ASE : **A**ccelerated **S**olvent **E**xtraction

BTEX : **B**enzène, **T**oluène, **E**thylbenzène, **X**ylène

COV : **C**omposé **O**rganique **V**olatile

DCO : **D**emande **C**himique en **O**xygène

DDTM : **D**irection **D**épartementale des **T**erritoires et de la **M**er

DEHP : **D**i-2-**E**thyl**H**éxyle **P**htalate

DEP : **D**i**E**thyle **P**htalate

EROD : **E**thoxy**R**ésorufme-**O**-**D**ééthylase

GC-MS : **G**as **C**hromatography **M**ass **S**pectrometry

GEODE : **G**roupe d'**E**tude et d'**O**bservation sur le **D**ragage et l'**E**nvironnement

GIP : **G**roupement d'**I**ntérêt **P**ublic

GPMR : **G**rand **P**ort **M**aritime de **R**ouen

HAP : **H**ydrocarbure **A**romatique **P**olycyclique

HRMS : **H**igh **R**esolution **M**ass **S**pectrometry

INERIS : Institut **N**ational de l'**E**nvironnement industriel et des **R**ISques

LEESU : **L**aboratoire **E**au **E**nvironnement et **S**ystèmes **U**rbains

LEMAR : **L**aboratoire des sciences de l'**E**nvironnement **M**ARin

LOG : **L**aboratoire d'**O**céanologie et de **G**éosciences

MS : **M**atière **S**èche

NADPH : **N**icotinamide **A**dénine **D**inucléotide **P**Hosphate

NQE-CMA : **N**orme de **Q**ualité **E**nvironnementale – **C**oncentration **M**aximale **A**dmissible

NQE-MA : **N**orme de **Q**ualité **E**nvironnementale – **M**oyenne **A**nnuelle

PBDE : **P**oly**B**romo**D**iphényl**E**thers

PCB : **P**oly**C**hloro**B**iphényles

PCBi : **P**oly**C**hloro**B**iphényles **i**ndicateurs

PFAS : **P**oly**F**luoro**A**lky **S**ubstances

POLMAR : **P**OLLution **M**ARitime

PPI : **P**lan **P**articulier d'**I**ntervention

PS : **P**oids **S**ec

SDIS : **S**ervice **D**épartemental d'**I**ncendie et de **S**ecours

SEBIO : **S**tress **E**nvironnementaux et **B**IOsurveillance des milieux aquatiques

SPE : **S**olide **P**hase **E**xtraction

TEQ : **T**oxic **E**quivalent

UPLC-QTOF : **U**ltra **P**erformance **L**iquid **C**hromatography coupled to **T**ime-of-**F**light mass spectrometry

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2020. **Données de suivi de la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire de la Seine.**
- Amara R., Laroche J., Couteau J., Xuereb B., Pichereau V., Diop M., 2020. **Biomonitoring actif (engagement de flets et de crevettes) pour le suivi de l'impact de l'incendie du 26 septembre 2019 des installations « Lubrizol / NL-logistique ».** Rapport de recherche Seine-Aval, 38p.
- Amara R. & Laroche J., en cours. **Projet HQ-Fish : Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson (flet).** Projet Seine-Aval 6
- Aït-Aïssa S., Brion F., Christophe A., Maillot-Maréchal E., Chabot L., Gaudillot A., 2019. **Evaluation de l'écotoxicité de 2 échantillons d'eaux de la Seine prélevés en amont et en aval des sites « Lubrizol / NL-Logistique ».** Diaporama, 20p.
- Borcier E., Artigaud S., Gaillard J.C., Armengaud J., Charrier G., Couteau J., Receveur J., Ouddane B., Diop M., Amara R., Laroche J. & V. Pichereau, 2019. **Coupling caging and proteomics on the European flounder (*Platichthys flesus*) to assess the estuarine water quality at micro scale.** Science of the Total Environment, 695:133760.
- Bouillon C. & Adam D., 2020. **Rapport d'information sur l'incendie d'un site industriel à Rouen.** Rapport n°2689 de l'Assemblée Nationale, 729p.
- Couteau J., 2020a. **Mesure de biomarqueurs sur *Platichthys flesus* prélevés en estuaire de Seine en septembre 2019.** Rapport réalisé par TOXEM pour le GIP Seine-Aval, 22p.
- Couteau J., 2020b. **Analyses d'échantillons sédimentaires prélevés mensuellement en bordure de Seine entre novembre 2019 et mai 2020 - Bilan.** Rapport réalisé par TOXEM pour Lubrizol, 7p.
- Dargnat C. & Fisson C., 2010. **Les PCB dans le bassin de la Seine et son estuaire.** Etude réalisée par le GIP Seine-Aval, 134p.
- DDTM-MADISEN & DDTM-STRM, 2020. **Analyse des sédiments prélevés le 10 octobre 2019 par la DDTM – Bureau de la Police de l'Eau.** 25p.
- Fisson C. (coord.), 2014. **Qualité des eaux de l'estuaire de la Seine.** Fascicule Seine-Aval 3.2, 52p.
- Grand Port Maritime de Rouen (GPMR), 2020. **Données de suivi de la qualité chimique des sédiments prélevés dans le bassin aux bois et à proximité le 10 octobre 2019.**
- Le Roux J., 2020. **Analyses non-ciblées sur échantillons d'eau, de sédiments et de sols suite à l'incendie du 26 septembre 2019 des usines Lubrizol et NL-Logistique.** Rapport d'analyse du LEESU, 23p. et annexes
- SDIS-76, 2019. **Audition parlementaire – fiches thématiques consolidées.** 90p.
- TOXEM, 2020a. **Etude Lubrizol n°2 – prélèvements d'eau du 06 décembre 2019.** 52p.
- TOXEM, 2020b. **Etude Lubrizol n°5 - prélèvements de sédiments du 12 février 2020 .** 63p.
- Xuereb B. (coord.), Barjhoux I., Bustamante P., 2019. **Projet ECOTONES : Effets de la contamination sur les organismes de l'estuaire de la Seine.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 42 p.

POUR PLUS D'INFORMATIONS SUR LE GIP SEINE-AVAL

www.seine-aval.fr

CONTACT

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval

Hangar C – Espace des Marégraphes

CS 41174

76176 ROUEN Cedex 1

Tél : 02 35 08 37 64

gipsa@seine-aval.fr

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce rapport, il devra être cité sous la forme suivante :

Fisson C., Aït-Aïssa S., Amara R., Couteau J., Laroche J., Le Roux J., Pichereau V., Xuereb B., 2020. **Incendie du 26 septembre 2019 des installations « Lubrizol / NL-Logistique » : Quel impact sur la Seine ?** Rapport d'étude réalisé par le GIP Seine-Aval, 62p.

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable d'évènements pouvant résulter de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.

Pour tout renseignement, veuillez contacter le GIP Seine-Aval.

Les membres financeurs du GIP Seine-Aval sont :

