



# RESEAU DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

- Historique et pistes d'évolutions -

Juillet 2020

Cédric Fisson, GIP Seine-Aval

# RESEAU DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

- Historique et pistes d'évolutions -

## Auteur :

Cédric FISSON<sup>1</sup>

## Contributions et relecture :

Nicolas BACQ<sup>1</sup>, Maud BERLINCOURT<sup>1,2</sup>, Pascal CLAQUIN<sup>3</sup>, Emmanuel JESTIN<sup>4</sup>, Jean Philippe LEMOINE<sup>1</sup>, Manuel MUNTONI<sup>1</sup>, Fanny OLIVIER<sup>4</sup>, Edith PARLANTI<sup>5</sup>, Manuel SARRAZA<sup>4</sup>, Benoît XUEREB<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval

<sup>2</sup> Office Français de la Biodiversité

<sup>3</sup> Université de Caen-Normandie – Laboratoire BOREA

<sup>4</sup> Agence de l'Eau Seine-Normandie

<sup>5</sup> Université de Bordeaux – UMR EPOC

<sup>6</sup> Université du Havre – UMR SEBIO

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

Fisson C., 2020. **Réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine – Historique et pistes d'évolutions**. Rapport d'étude du GIP Seine-Aval, 27p.

**TABLE DES MATIERES**

<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>3</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b>	<b>4</b>
<b>CONTEXTE</b>	<b>5</b>
<b>A- LE RESEAU DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE</b>	<b>6</b>
1 Historique du réseau	6
2 Stratégie d'échantillonnage et paramètres suivis	8
2.1 Suivi sur l'eau	8
2.2 Suivi sur sédiment	11
2.3 Suivis biologiques	12
3 Mobilisation des données	12
<b>B- PISTES D'EVOLUTIONS DU SUIVI</b>	<b>14</b>
1 Comprendre la dynamique estuarienne	14
2 Documenter l'imprégnation chimique	16
2.1 Suivi sur l'eau	16
2.2 Suivi sur sédiment	19
2.3 Suivi sur biote	20
3 Evaluer la toxicité du milieu et ses effets sur la faune aquatique	21
<b>BILAN DES PISTES D'EVOLUTIONS</b>	<b>23</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>25</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

<b>Figure 1</b> : Les stations historiques de prélèvement du réseau de suivi.	7
<b>Figure 2</b> : Gestionnaires successifs du réseau de suivi.	7
<b>Figure 3</b> : Stations et fréquence d'échantillonnage du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine (situation 2019).	8
<b>Figure 4</b> : Prélèvement d'eau lors d'une remontée de Seine en 2019.	9
<b>Figure 5</b> : Evolution des paramètres pour le suivi de la qualité des cours d'eau.	10
<b>Figure 6</b> : Stations de mesure en continu du projet PHRESQUES.	11
<b>Figure 7</b> : Prélèvement de sédiment de surface sur une banquette latérale de la Seine.	11
<b>Figure 8</b> : Couverture et extraits du rapport annuel de 2011.	12
<b>Figure 9</b> : Fonctionnement des vasières intertidales de l'estuaire de la Seine.	19
<b>Figure 10</b> : Sites potentiels de stockages de contaminants.	20
<b>Tableau 1</b> : Etat des lieux DCE des trois masses d'eau de transition de l'estuaire de la Seine.	6
<b>Tableau 2</b> : Suivis haute-fréquence en estuaire de Seine et à l'embouchure de la Seine.	10
<b>Tableau 3</b> : Proposition des stations de prélèvements à suivre pour l'objectif de compréhension de la dynamique estuarienne.	15
<b>Tableau 4</b> : Proposition des stations de prélèvements à suivre pour l'objectif de suivi de l'imprégnation chimique (en vert, les nouvelles stations proposées).	17

## CONTEXTE

Situés à l'interface entre le milieu continental et le milieu marin, les estuaires sont des zones soumises à de multiples pressions, qu'elles soient d'origines urbaines, agricoles ou industrielles. La qualité des milieux estuariens est ainsi le reflet des activités présentes sur son bassin versant, mais également des pratiques passées avec des sources de pollutions historiques qui peuvent subsister. Les grands estuaires comme celui de la Seine sont ainsi le réceptacle d'un ensemble hétérogène de polluants, aux sources, dynamiques et toxicités diverses. Le fonctionnement hydrosédimentaire particulier aux estuaires joue également un rôle important sur la qualité des eaux, via son impact sur le transport, la dilution, la transformation ou le stockage de la matière organique, des nutriments et des contaminants. Enfin, les apports des estuaires au milieu marin influent sur la qualité de ce dernier et impactent l'état de santé et les dynamiques écologiques des différentes composantes de l'écosystème (phytoplancton, invertébrés benthiques, poissons, etc). Interroger la qualité de ces systèmes fait ainsi intervenir le suivi de divers paramètres (physico-chimiques, chimiques, microbiologiques) dans des compartiments environnementaux complémentaires (eau, matières en suspension, sédiment, coquillages, poissons, etc.) à des échelles de temps allant du court au moyen et long terme. Les acquisitions de données de suivi doivent permettre de guider et prioriser les actions de restauration de qualité des eaux, que ce soit via la réduction des sources polluantes ou la restauration de fonctionnalités écologiques dégradées.

L'estuaire de la Seine fait l'objet d'un suivi pérenne de la qualité des eaux depuis 1956. Ce suivi a largement évolué depuis son origine, en lien avec les questionnements posés, les pressions exercées sur le milieu, les moyens disponibles et les possibilités analytiques. Géré depuis 2012 par l'AESN<sup>1</sup>, il s'appuie aujourd'hui sur la mesure récurrente d'un ensemble de paramètres (physico-chimiques, chimiques et bactériologiques) mesurés sur des prélèvements d'eau et de sédiments, sur des stations réparties entre Poses et la mer. **L'historique et l'évolution du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine est présenté dans la première partie du présent rapport.**

En lien avec l'évolution 1) des questionnements et des enjeux liés à la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine, 2) des techniques de suivi et des possibilités analytiques et 3) des moyens mobilisables par les acteurs de l'estuaire de la Seine, la stratégie actuelle de suivi est questionnée. De par son expertise et sa connaissance du suivi actuel, le GIP Seine-Aval alimente ces réflexions. **Elles sont reprises dans la seconde partie du présent rapport, sous la forme de pistes d'évolutions du suivi actuel selon trois objectifs : 1) comprendre la dynamique estuarienne (composantes physico-chimiques) ; 2) documenter l'imprégnation chimique (eau, sédiment, biote) ; 3) évaluer les effets de la contamination sur la faune aquatique.** Ces éléments visent à être mobilisés par l'AESN pour alimenter leur réflexion sur l'évolution du suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine, ainsi que par les membres du GIP Seine-Aval pour la programmation de son activité pour les années à venir.

---

<sup>1</sup> Une liste des abréviations est disponible en fin de document

## A- LE RESEAU DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Depuis 1956, l'évolution de la qualité des eaux de la Seine fait l'objet d'un suivi systématique entre Poses et la mer. Cette première partie s'attache à décrire le réseau en place et les grandes lignes de son évolution au cours du temps. Elle s'articule autour 1) d'un historique du réseau ; 2) de la stratégie de suivi actuelle ; et 3) d'exemples de mobilisation des données.

### 1 Historique du réseau

Suite à la sécheresse exceptionnelle de 1955 et à une très forte mortalité piscicole dans la partie maritime de la Seine, les pouvoirs publics se sont mobilisés pour mettre en place un réseau de prélèvements et d'analyses systématiques de la qualité de l'eau du fleuve. Dès 1956, les premières mesures ont ainsi été mises en place, avec des priorités axées sur 1) les variations de la teneur en oxygène dissous dans l'eau et 2) l'identification des sources de pollution responsables des déficits en oxygène [CLP, 1991]. Par la suite, la lutte contre la pollution de l'estuaire de la Seine s'est organisée autour de la loi sur l'eau (1964) qui a notamment créé les Agences Financières de Bassin. Elles ont permis le financement de travaux de collecte et de traitement des eaux résiduaires urbaines et industrielles (construction de stations d'épuration), réduisant ainsi les pressions sur le milieu aquatique. En 1977, la création du Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles (SPPPI) en basse Seine visait à mettre en œuvre les mesures nécessaires à une « amélioration rapide de l'environnement en Basse-Seine » [Préfecture BN & Préfecture HN, 1977]. Dès le départ, l'une des préoccupations majeures relayée par cette instance était axée sur les rejets dans l'eau avec des actions 1) de réduction des pollutions oxydables, 2) de suppression des rejets industriels des « boues rouges » (liées à la fabrication d'oxyde de titane) et des « boues jaunes » (liées à l'immersion des phosphogypses produits par la fabrication d'engrais), ainsi que 3) de suivis de la qualité du milieu en baie de Seine [SPPPI-BS, 1990]. Par la suite, la mise en œuvre des programmes de reconquête de la qualité des eaux (création des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) en 1996, repris par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) en 2000) a permis la poursuite de l'amélioration de la qualité des eaux (efficacité accrue du traitement des rejets, meilleure connaissance des substances dangereuses,...) et de son suivi. Aujourd'hui, la DCE reste le cadre réglementaire qui fixe l'état des masses d'eau et les objectifs de bon état sur lesquels s'appuie un programme de mesure décliné par unité hydrographique. Pour l'estuaire de la Seine, cela concerne trois masses d'eau de transition [Tableau 1 ; AESN, 2017 ; AESN, 2019] qui font l'objet de suivis dédiés permettant d'évaluer l'efficacité des mesures réalisées.

Tableau 1 : Etat des lieux DCE des trois masses d'eau de transition de l'estuaire de la Seine.

Code	Nom	Etat écologique		Etat chimique	
		2013	2019	2013	2019
FRHT01	Estuaire de Seine Amont	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
FRHT02	Estuaire de Seine Moyen	Mauvais	Médiocre	Mauvais	Mauvais
FRHT03	Estuaire de Seine Aval	Médiocre	Moyen	Mauvais	Mauvais

Jusqu'en 2006, le réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine était géré par la Cellule Anti-Pollution de la Seine de Rouen, du Service Navigation de la Seine 4<sup>ème</sup> Section et du Service Maritime de la Seine-Maritime 3<sup>ème</sup> section, puis par le Bureau de la Police des Eaux Fluviales et Littorale [Figure 1]. Ce bureau a été intégré à la DDE-76 (2007-2008), puis à la DDEA-76 (2009) et à la DDTM-76 (depuis 2010). En 2012, la gestion du réseau a été intégralement reprise par l'AESN, avec des prélèvements et des analyses sous-traités au laboratoire ALPA [Figure 2].

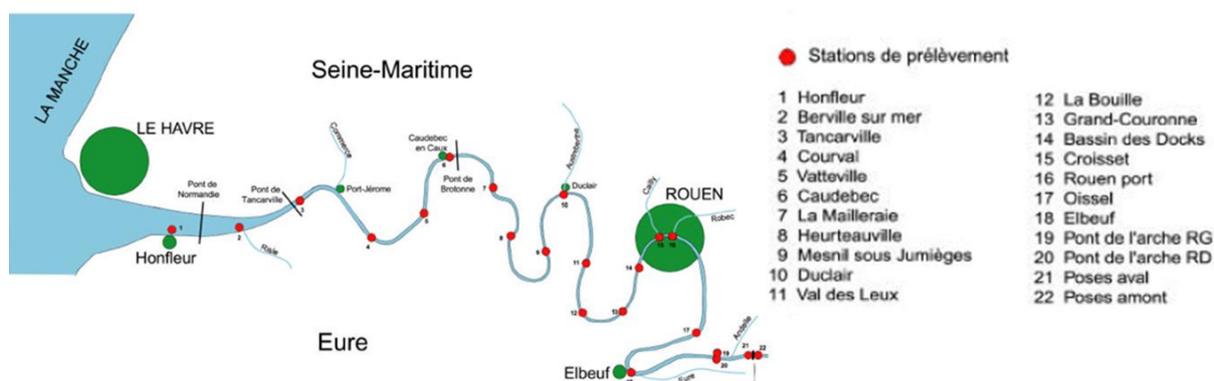


Figure 1 : Les stations historiques de prélèvement du réseau de suivi.

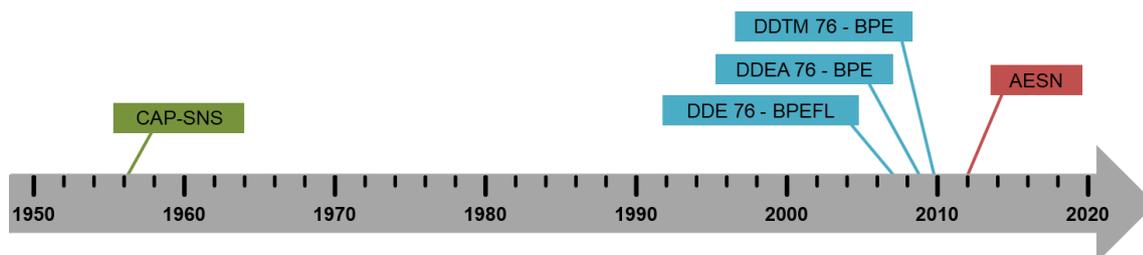


Figure 2 : Gestionnaires successifs du réseau de suivi.

Jusque dans les années 2000, les prélèvements et les analyses physico-chimiques étaient réalisés en régie par le SNS. Les analyses de micropolluants métalliques et organiques, ainsi que la bactériologie étaient réalisées par le Laboratoire Municipal de Rouen. Ce dernier, devenu AirLiquide en 2006 puis ALPA en 2016, s'est vu également confier les analyses physico-chimiques au début des années 2000, les services de l'Etat (SNS, DDE, DDEA et DDTM) ne réalisant plus que les prélèvements et les mesures *in situ* (oxygène, température, turbidité, conductivité). A partir de 2012, AirLiquide (puis ALPA à partir de 2016) a été en charge des prélèvements et de toutes les analyses physico-chimiques, chimiques et bactériologiques (à l'exception de quelques analyses faites par CARSO entre 2008 et 2011).

**Depuis plus de 60 ans, le suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine permet une vision à long terme de l'évolution du système. Il apporte des éléments indispensables pour prioriser les mesures de gestion et évaluer leur efficacité sur la qualité du milieu estuarien.**

## 2 Stratégie d'échantillonnage et paramètres suivis

### 2.1 Suivi sur l'eau

Après la mise en place en 1956 d'un suivi mensuel de l'oxygène dissous, de la température et des matières solides en suspension entre Rouen et Honfleur, le réseau s'est structuré autour de deux campagnes annuelles (été, hiver) menées entre 1957 et 1963. C'est à partir de 1967 que le rythme actuel d'une campagne tous les deux mois a été adopté, avec des prélèvements sur 22 stations entre Poses et Honfleur. Trois de ces stations sont visitées tous les 15 jours, ce qui permet un suivi plus fin permettant à la fois la détermination des tendances pluriannuelles et éventuellement le déclenchement d'alertes en cas d'anomalie. Il s'agit de Poses (en amont du barrage, à l'entrée de l'estuaire), La Bouille (à l'aval immédiat de Rouen) et Caudebec-en-Caux. En lien avec le suivi réalisé sur le littoral par l'Ifremer dans le cadre du RNO (aujourd'hui ROCCH), deux autres stations (Honfleur et Tancarville) sont échantillonnées tous les mois. Les stations de Oissel et Pont-de-l'Arche sont également prélevées à cette fréquence depuis 2009 [Figure 3]. Ce schéma général a cependant connu des adaptations certaines années et tous les paramètres ne sont pas systématiquement analysés sur chaque station à chacune des campagnes.

Cette stratégie permet, à travers l'établissement de profils en long de la qualité de la Seine, de suivre l'évolution spatio-temporelle des paramètres analysés. *In fine*, cette stratégie alimente l'identification d'apports locaux (polluants chimiques ou microbiologiques) et la compréhension des phénomènes d'autoépuration (transformation ou dégradation des apports polluants).

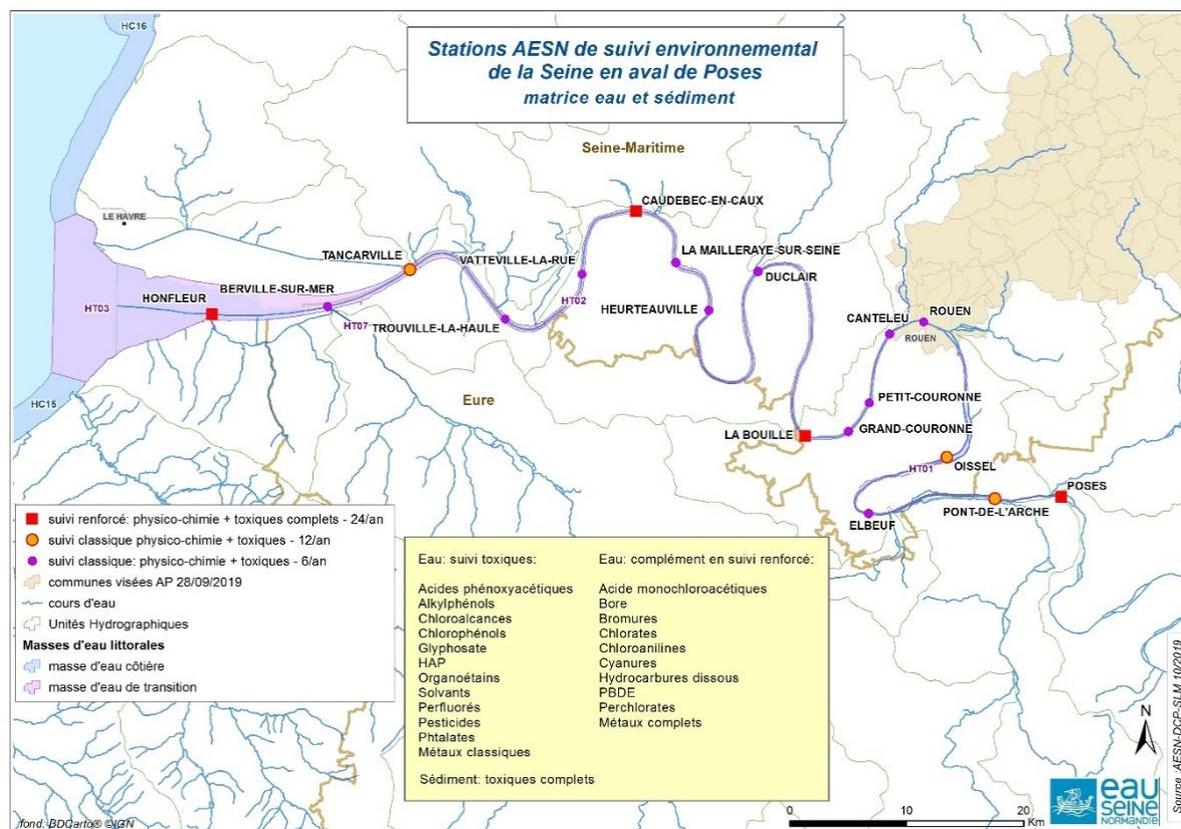


Figure 3 : Stations et fréquence d'échantillonnage du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine (situation 2019).

Les prélèvements d'eau entre Honfleur et Rouen sont réalisés à l'aide d'un moyen nautique pour remonter la Seine en suivant le flot à partir d'Honfleur. Ils sont réalisés à l'aide d'une pompe péristaltique en subsurface<sup>2</sup> [Figure 4]. Entre Poses et Rouen, ainsi qu'à La Bouille, Caudebec-en-Caux, Tancarville et Honfleur (pour les campagnes hors « remontées de Seine »), les prélèvements sont réalisés à l'aide d'un seau, à partir du bord de la Seine, d'appontement ou de ponts.



Figure 4 : Prélèvement d'eau lors d'une remontée de Seine en 2019.

Initialement dédiés à la physico-chimie, les paramètres suivis dans l'eau se sont multipliés au fil des années. La recherche des nutriments azotés (1970), des métaux (1976), des micropolluants organiques (pesticides organochlorés en 1977-1978, hydrocarbures en 1977, AOX en 1990, phtalates en 1991, alkylphénols en 2004,...) et le suivi de la bactériologie (1977) dans l'eau ont ainsi permis d'élargir le spectre des paramètres analysés. Cette évolution des paramètres suivis est à relier aux capacités analytiques croissantes des laboratoires et à la baisse des coûts associés. Avec la mise en place de la surveillance au titre de la Directive Cadre sur l'Eau en 2007, puis la reprise du réseau par l'AESN en 2012, la liste des micropolluants recherchés sur l'eau s'est encore enrichie avec une liste actuelle de plusieurs centaines de substances recherchées [Figure 5].

---

<sup>2</sup> Dans les rapports du SNS, il est fait état de prélèvements à mi-profondeur. Cette dénomination semble couvrir des prélèvements en subsurface (quelques dizaines de centimètres sous la surface) plutôt que des prélèvements à mi-profondeur (plusieurs mètres).

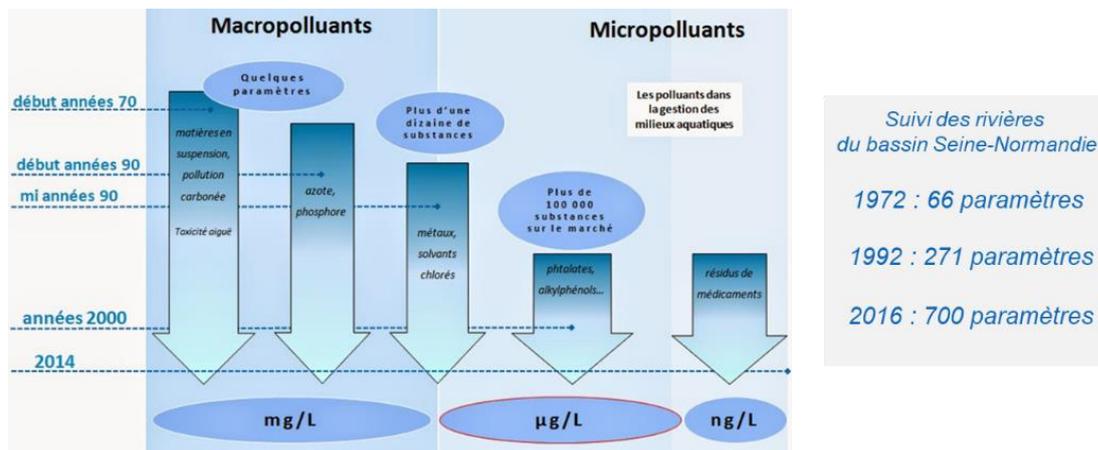


Figure 5 : Evolution des paramètres pour le suivi de la qualité des cours d'eau.

A noter également, l'existence d'un suivi journalier de la température de l'eau à Oissel entre 1967 et 1999, d'un suivi haute-fréquence sur la Seine entre 1996 et 2006 (sondes YSI gérées par le SNS et le GPMR) et d'un suivi haute-fréquence à l'embouchure entre 1996 et 2007 (bouées MAREL gérées par l'Ifremer). Le réseau SYNAPSES/PHRESQUES a pris le relais de ces suivis haute-fréquence depuis 2012 (sondes YSI gérées par le GIP Seine-Aval et le GPMR ; bouée SCENES gérée par l'Ifremer) [Tableau 2 ; Figure 6 ; Lemoine *et al.*, en cours]. L'objectif de ce dernier est 1) de permettre un suivi haute-fréquence des principaux paramètres liés à la qualité de l'eau et 2) d'améliorer la connaissance du fonctionnement du système d'un point de vue hydrodynamique et sédimentaire.

Tableau 2 : Suivis haute-fréquence en estuaire de Seine et à l'embouchure de la Seine (en gris, les réseaux aujourd'hui inactifs).

Réseau	Station	Paramètre	Période d'acquisition	Pas de temps
SNS	Poses	température, pH, conductivité, O <sub>2</sub> , turbidité-MES et parfois NH <sub>4</sub>	1996 - 2004	15'
	Rouen		1996 - 2004	
	Caudebec-en-Caux		1997 - 2004	
MAREL	Honfleur	pression atmosphérique, température de l'air et de l'eau, vitesse et direction des vents et des courants, hauteur et direction de la houle, conductivité et pH, turbidité, oxygène dissous, chlorophylle, nitrates.	1996 – 2007	Variable selon les paramètres
	Grande-Rade		1998 – 2007	
	Banc de Seine		1999 – 2007	
	La Carosse	1999 - 2007		
SYNAPSES	Rouen (surface)	turbidité, oxygène, pH, Conductivité, température, chlorophylle a, salinité	Depuis 2012	5'
	Val-des-Leux (surface)			
	Tancarville (surface et fond)			
	Fatouville (surface et fond)			
	Balise A (fond)			
Bouée SCENES	Banc de la Carosse (surface et fond)	température, salinité, fluorescence et turbidité	Depuis octobre 2017	15'
Bouée SMILE	Large de Luc-sur-Mer (surface)	température, salinité, oxygène dissous, turbidité, fluorescence	Depuis novembre 2015	20'

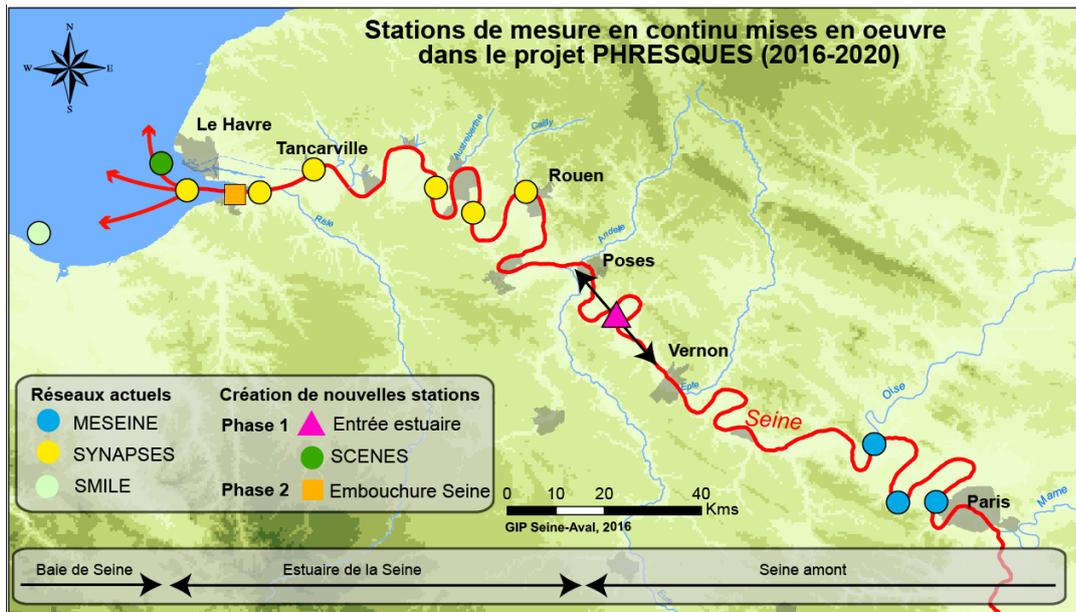


Figure 6 : Stations de mesure en continu du projet PHRESQUES.

## 2.2 Suivi sur sédiment

A partir de 1980, une campagne de mesures des polluants métalliques et des PCB (Arochlor) présents dans les sédiments superficiels de la Seine est réalisée annuellement. Ce suivi vise les sédiments fins (<2mm) recueillis à marée basse sur les banquettes de rive accessibles à pied, en période d'étiage [Figure 7].



Figure 7 : Prélèvement de sédiment de surface sur une banquette latérale de la Seine.

Ce suivi a été progressivement enrichi par un suivi des HAP, des PCB et des pesticides organochlorés (1993), des organoétains (2000), des PBDE, des composés organohalogénés, des phtalates et des nonylphénols (2006) pour citer les principaux. Cette évolution des paramètres suivis est à relier aux capacités analytiques croissantes des laboratoires et à la baisse des coûts associés. Avec la mise en place de la surveillance au titre de la Directive Cadre sur l'Eau en 2007, puis la reprise du réseau par l'AESN en 2012, la liste des micropolluants recherchés dans les sédiments de surface s'est encore enrichie avec une liste actuelle de 150 substances recherchées. Le nombre de stations a également évolué au cours du temps et son nombre fluctue selon la disponibilité de sédiments fins lors des campagnes de prélèvement (entre 20 et 24 stations jusqu'en 2006 ; entre 12 et 19 stations depuis).

## 2.3 Suivis biologiques

Pour recueillir de l'information sur la qualité des habitats, des suivis biologiques complètent les mesures physico-chimiques et chimiques en estuaire de Seine.

L'Indice Biologique Global (IBG) est mesuré depuis 1988, l'Indice Biologique Diatomées (IBD) et de l'Indice Polluosensibilité Spécifique (IPS) depuis 2002. Ces inventaires de la faune benthique (larves d'insectes, vers, mollusques, crustacés,...) sont réalisés annuellement en période d'étiage sur trois stations : Poses, La Bouille, Caudebec-en-Caux. Depuis 2007, les stations de Pont-de-l'Arche et Oissel sont venues élargir ce suivi.

Depuis 2005, un indicateur « poisson » est suivi dans les trois masses d'eau de l'estuaire de la Seine. Il permet de percevoir les modifications du milieu à travers un suivi ichthyologique. Il s'appuie sur deux campagnes de pêche annuelles (printemps et automne) avec plusieurs traits de chalut à perche par zone de salinité et une prospection des zones latérales et du chenal. Après détermination, comptage et mesure des poissons capturés, six métriques sont calculées pour déterminer la valeur de l'indicateur ELFI (Estuarine and Lagoon Fish Index).

**Le réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine s'articule autour de 22 stations de mesure, de Poses à la mer. Il s'appuie sur l'échantillonnage d'eau et de sédiment pour les mesures physico-chimiques et chimiques et sur la faune aquatique pour la mesure d'indices biologiques.**

## 3 Mobilisation des données

Les données acquises dans le cadre du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine sont bancarisées depuis l'origine des mesures, avec la mise en place progressive de différentes tables rassemblées dans une base de données unique, historiquement gérée par le SNS. Les données ont également alimenté les bases de données nationales pour le suivi de la qualité des cours d'eau. Elles sont aujourd'hui en accès libre dans la base Naïades [<http://www.naiades.eaufrance.fr>], pour ce qui concerne la physico-chimie, la chimie et la microbiologie.

La variation spatiale et temporelle des paramètres suivis a fait l'objet de rapports annuels jusqu'en 2011. Ces rapports compilaient toutes les analyses et les graphiques sur les paramètres suivis, ainsi que leur évolution à long terme. Les annexes reprenaient les valeurs des paramètres mesurés sur l'année considérée [Figure 8].

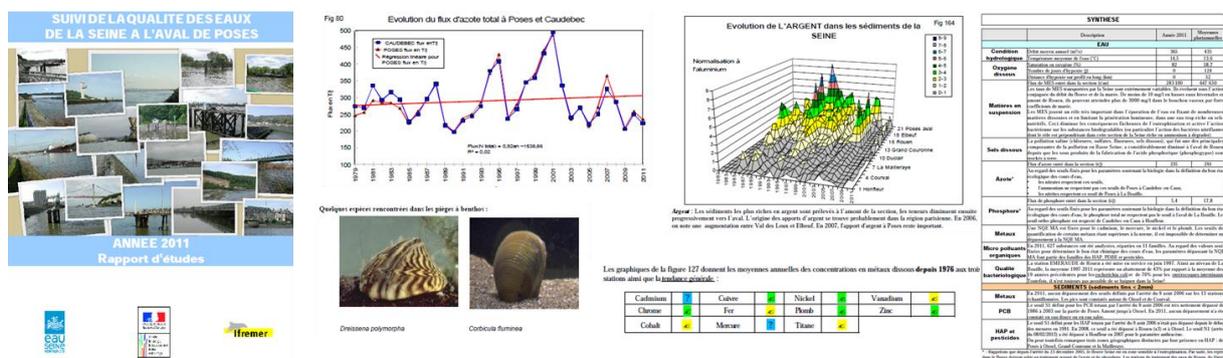


Figure 8 : Couverture et extraits du rapport annuel de 2011.

En complément de ces rapports annuels, d'autres valorisations ont été réalisées pour rendre compte des évolutions de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine dans un contexte spatial ou temporel plus large [AFBSN, 1981 ; SPPPI, 1988 ; CLP, 1991 ; AESN, 2014 ; Fisson, 2014].

Ces données sont également largement utilisées par les scientifiques pour alimenter leurs études sur l'estuaire de la Seine, notamment dans le cadre du Programme Scientifique Seine-Aval. On peut ainsi citer les projets Seine-Aval 4 RISKENSEINE [Bocquené *et al.*, 2012], RHAPSODIS [Boust *et al.*, 2012] et ISOMET [Chiffolleau *et al.*, 2012], les projets Seine-Aval 5 RESET [Garnier *et al.*, 2018] MOSAIC [Huguet *et al.*, 2018] et ECOTONES [Xuereb *et al.*, 2019] ou encore les projets Seine-Aval 6 SARTRE [Tackx, *en cours*], HQFISH [Amara & Laroche, *en cours*] et BIOSURVEILLANCE [Xuereb & Geffard, *en cours*] qui ont mobilisé les données issues du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine, soit comme support à des traitements particuliers ou comme éléments de contexte.

Les résultats issus de ce suivi sont également mobilisés par les gestionnaires pour rendre compte de la qualité des masses d'eau de l'estuaire de la Seine [CSLN, 1994 ; AESN, 2013 ; Ifremer & AESN, 2019 ; AESN, 2019].

Enfin, les résultats issus du suivi de la qualité de la Seine sont une source d'information précieuse pour évaluer les apports liées à des conditions hydrométéorologiques particulières (crue, tempête) ou à un rejet accidentel de polluants dans le milieu [Fisson, 2017b ; Fisson, 2020 ; Guérin *et al.*, 2019].

**Les données acquises dans le cadre du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine sont bancarisées et accessibles librement. Elles ont fait l'objet de nombreuses valorisations, explorant les résultats à différentes échelles spatiales et temporelles.**



## B- PISTES D'ÉVOLUTIONS DU SUIVI

Depuis 1956, le suivi de la qualité des eaux de l'estuaire Seine a été continuellement adapté, en lien avec les nouvelles techniques d'analyses disponibles et l'évolution des questionnements posés. Cette seconde partie explore des pistes d'évolution du réseau existant pour répondre au mieux aux enjeux actuels concernant le suivi de la qualité de l'eau et son impact sur la faune aquatique<sup>3</sup>. Elle s'articule autour des objectifs prioritaires de suivi de la qualité de l'eau et de son évolution, à savoir 1) comprendre la dynamique estuarienne (composantes physico-chimiques) ; 2) documenter l'imprégnation chimique ; et 3) évaluer la toxicité du milieu et ses effets sur la faune aquatique.

### 1 Comprendre la dynamique estuarienne

Un estuaire est sous l'influence des forçages continentaux (débits des cours d'eau), marins (marée) et météorologiques (tempêtes, canicules,...). Il en résulte un fonctionnement extrêmement dynamique, avec des variations de ces composantes à de multiples échelles spatiales et temporelles. Opérer un suivi pour comprendre cette dynamique interroge ainsi les phénomènes à l'échelle horaire (marée), saisonnière (crue, étiage) et pluriannuelle (aménagements), sur l'ensemble de l'estuaire (de Poses à la mer) et en articulation avec l'amont du cours d'eau, la baie de Seine et le littoral. En ce qui concerne le suivi de la qualité de l'eau, ce dynamisme joue particulièrement sur les paramètres physico-chimiques comme la température, la turbidité, l'oxygénation, la production primaire, la salinité ou encore les sels nutritifs qui varient à plusieurs échelles spatiales et temporelles. C'est pourquoi le réseau historique s'appuie sur une forte densité de prélèvements, avec 22 stations de Poses à la mer (soit une station tous les 7km). La volonté de comprendre la dynamique de transformation des nutriments (essentiellement le cycle de l'azote) et des déficits en oxygène, mise en avant pour justifier cette densité du suivi, est aujourd'hui en partie dépassée. En effet, les déficits en oxygène chronique observés en estuaire de Seine n'ont plus cours aujourd'hui et les flux de phosphore et d'ammonium ont été très largement réduits depuis les années 2000 [Fisson, 2014]. L'évolution de ces paramètres (oxygène, turbidité, nutriments) a également fait l'objet d'études spécifiques dans le cadre du programme scientifique Seine-Aval. Elles ont permis de comprendre leur dynamique estuarienne et d'en modéliser les variations à différentes échelles [Garnier *et al.*, 2018 ; Grasso & Le Hir, 2018]. Il est ainsi proposé de **faire évoluer la stratégie d'échantillonnage** 1) en réduisant le nombre de stations suivies et 2) en homogénéisant la fréquence d'échantillonnage à 15 jours. Le choix des stations à conserver devra 1) privilégier les stations avec un historique important de données et une fréquence d'échantillonnage actuelle élevée ; et 2) viser une répartition géographique homogène tout au long de l'estuaire [Tableau 3]<sup>4</sup>.

La matière organique joue un rôle clé dans le fonctionnement et la qualité des écosystèmes aquatiques. Ses caractéristiques sont liées à ses différentes sources, naturelles ou anthropiques, et aux processus biogéochimiques se déroulant dans les eaux et le sédiment.. Les mécanismes impliqués dans le transport et la transformation des nutriments et des contaminants dans les estuaires vont d'autre part fortement dépendre de la taille, la structure et la biodisponibilité de la matière organique. [Huguet *et al.*, 2018]. Il est ainsi proposé de

<sup>3</sup> Les suivis biologiques (benthos, poissons) ne sont pas intégrés dans les réflexions du présent rapport.

<sup>4</sup> La réduction proposée du nombre de station n'impacte pas les résultats du calcul de l'état physico-chimique des trois masses d'eau de l'estuaire de la Seine (test réalisé sur les données 2011-2016).

**renforcer le suivi de la qualité et de la quantité de matière organique**, par la mesure de ces caractéristiques sous ses différentes formes (dissoutes, particulaires, sédimentaires) par des mesures globales et intégratrices type fluorescence 3D/absorbance et/ou isotopie.

Le réseau SYNAPSES/PHRESQUES est aujourd'hui opérationnel en estuaire de Seine pour le suivi haute-fréquence des principaux paramètres physico-chimiques (température, oxygène, turbidité, salinité, fluorescence chlorophylle *a*) et s'attache à développer méthodologiquement la mesure des nutriments [Lemoine *et al.*, en cours]. Des travaux sur une meilleure caractérisation de la production primaire sont également en cours d'étude [Claquin *et al.*, 2018 ; Tackx, en cours]. Ces suivis et méthodologies apportent des éléments déterminants sur la dynamique de l'estuaire à plusieurs échelles de temps, permettant de couvrir des événements ponctuels (orage, crue, rejet accidentel) ou des évolutions à long terme (changement climatique). Une restitution des principaux paramètres mesurés en estuaire de Seine (salinité, oxygène, turbidité) est réalisée par le GIP Seine-Aval sous la forme d'indicateur dans l'observatoire environnemental de l'estuaire de la Seine [<https://indicateurs.seine-aval.fr/>]. **Une meilleure articulation du suivi de la qualité des eaux avec le réseau de suivi haute-fréquence SYNAPSES** pourrait être utile pour 1) positionner les sites de suivi à conserver, 2) calculer les indicateurs de l'état physico-chimique et 3) aider à l'interprétation des données acquises en les replaçant dans le contexte dynamique de l'estuaire.

Le réseau hydrologique du littoral normand (RHLN) opéré par l'Ifremer depuis 2000 vise à suivre et comprendre les phénomènes d'eutrophisation en baie de Seine, dans le contexte réglementaire DCE/DCSMM/OSPAR. Il s'appuie sur un ensemble de stations positionnées dans les masses d'eau littorales normandes, avec une mesure des nutriments et un comptage phytoplanctonique [Menet-Nedelec *et al.*, 2019]. Les réseaux de contrôle de surveillance (RCS) et opérationnel (RCO) opérés par l'AESN visent à suivre l'évolution des masses d'eau. Des points sont ainsi positionnés sur les différents cours d'eau du bassin versant de la Seine, et notamment sur la Seine en amont de l'estuaire et les affluents de la Seine qui se jettent dans l'estuaire [AESN, 2010]. **Une meilleure articulation avec les suivis menés sur le bassin versant, le littoral et la baie** devra permettre de renforcer leurs complémentarités et de consolider les stratégies de suivi et l'interprétation des données, notamment pour les problématiques communes aux différents milieux. La compréhension du devenir des nutriments apportés par la Seine et leur conséquence sur l'eutrophisation de la baie de Seine est ainsi particulièrement ciblée, tout comme le suivi des contaminants chimiques sur un continuum « rivière/fleuve/estuaire/baie » (objectif 2a).

**Tableau 3 : Proposition des stations de prélèvements à suivre pour l'objectif de compréhension de la dynamique estuarienne.**

Station de prélèvement (pk)	Fréquence proposée pour la physico-chimie
<b>Poses amont (202.00)</b>	15 jours
<b>Poses aval (202.70)</b>	/
<b>Pont de l'Arche (207.50)</b>	15 jours
<b>Elbeuf (218.87)</b>	/
<b>Oissel (229.4)</b>	15 jours
<b>Rouen Port (243.00)</b>	15 jours
<b>Passage d'eau Croisset / Canteleu (246.60)</b>	/
<b>Bassin des Docks / Petit Couronne (251.30)</b>	15 jours
<b>Grand Couronne (255.60)</b>	/
<b>Moulineaux (256.00)</b>	/
<b>La Bouille (259.70)</b>	15 jours

<b>Val des Leux</b> (265.55)	/
<b>Duclair</b> (278.00)	15 jours
<b>Mesnil Sous Jumièges</b> (285.98)	/
<b>Heurteauville</b> (297.65)	15 jours
<b>La Mailleraye</b> (303.00)	/
<b>Caudebec en Caux</b> (310.50)	15 jours
<b>Vatteville</b> (318.00)	/
<b>Courval / Trouville la Haule</b> (326.60)	/
<b>Tancarville</b> (337.00)	15 jours
<b>Berville</b> (346.00)	/
<b>Honfleur</b> (355.80)	15 jours

### Objectif 1 – Comprendre la dynamique estuarienne (physico-chimie)

- 1- Revoir la **stratégie d'échantillonnage** en réduisant à 11 le nombre de stations suivies et en homogénéisant la fréquence d'échantillonnage à 15 jours
- 2- Renforcer le suivi de la qualité et de la quantité de **matière organique**
- 3- Renforcer l'**articulation avec les autres réseaux de suivis** (SYNAPSES, RCS/RCO, RHLN)

## 2 Documenter l'imprégnation chimique

La qualité de l'estuaire de la Seine est le reflet des pressions passées et actuelles exercées par les activités humaines présentes sur son bassin versant. Les sources de pollutions sont donc multiples (apports du bassin versant amont via la Seine à Poses, apports des affluents ou des nappes d'eau souterraines, rejets directs dans l'estuaire via les stations d'épuration urbaines et industrielles, sources diffuses via le ruissellement ou la remise en suspension de sédiments) et les familles de contaminants chimiques nombreuses. Sur la base de leurs propriétés physicochimiques (volatilité et caractère hydrophobe), la matrice préférentielle de suivi peut être variable (sédiment pour les substances hydrophobes peu ou non volatiles ; eau pour les substances hydrophiles et/ou volatiles ; biote pour les substances bioaccumulables).

### 2.1 Suivi sur l'eau

Le réseau historique de suivi de la qualité de l'eau de l'estuaire de la Seine s'appuie sur une forte densité de stations de prélèvements d'eau, avec 22 stations de Poses à la mer échantillonnées tous les 2 mois, soit une station tous les 7km. Cette forte densité spatiale s'explique par les très nombreux points de rejets historiques, notamment dans les boucles d'Elbeuf et de Rouen. La réduction très forte du nombre de points de rejets et la diminution des flux polluants sont aujourd'hui bien établies [Fisson, 2017a], ce qui va dans le sens d'une **réduction du nombre de stations** déjà proposée pour l'objectif de compréhension de la dynamique estuarienne. Là encore, le choix des stations à conserver devra 1) privilégier les stations avec un historique important de données et une fréquence d'échantillonnage actuelle élevée ; et 2) viser une répartition géographique homogène tout au long de l'estuaire. Par ailleurs, de nouvelles stations peuvent être proposées pour s'adapter à l'évolution morphologique de l'estuaire depuis plusieurs dizaines d'années et **investiguer des secteurs actuellement non couverts**, à savoir :

- la balise A à l'extrémité de l'engainement (pk 360.80) pour suivre les contaminants exportés de l'estuaire vers la baie de Seine (les digues basses ont été progressivement prolongées depuis plusieurs décennies) ;
- la Risle maritime en amont de la confluence avec la Seine pour estimer les apports de la Risle ;
- le bras de l'Eure en amont de la confluence avec la Seine pour estimer les apports de l'Eure (le barrage de Martot qui stoppait la mer a été arrasé en 2017).

La **fréquence nominale de 2 mois semble être à conserver**, afin d'avoir des profils en long dans diverses conditions et suivre l'évolution du milieu à moyen/long terme. Il est ainsi proposé de recentrer le suivi de l'imprégnation chimique sur 14 stations suivies tous les 2 mois [Tableau 4]<sup>5</sup>.

En complément, des **campagnes dédiées peuvent être à prévoir en réponse à un évènement particulier**, de type crue, tempête ou accident, afin de documenter les apports en contaminants liés à ces épisodes. La mise en place de telles campagnes nécessitera une réflexion amont et une préparation spécifique. Elle devra impliquer les différents partenaires de la surveillance de l'estuaire de la Seine, pour garantir un temps de mise en œuvre compatible avec l'évènement à suivre.

**Tableau 4 : Proposition des stations de prélèvements à suivre pour l'objectif de suivi de l'imprégnation chimique (en vert, les nouvelles stations proposées).**

Station de prélèvement (pk)	Fréquence proposée pour la chimie
Poses amont (202.00)	2 mois
Poses aval (202.70)	/
Pont de l'Arche (207.50)	/
<b>Bras de l'Eure</b>	2 mois
Elbeuf (218.87)	2 mois
Oissel (229.4)	2 mois
Rouen Port (243.00)	2 mois
Passage d'eau Croisset / Canteleu (246.60)	/
Bassin des Docks / Petit Couronne (251.30)	2 mois
Grand Couronne (255.60)	/
Moulineaux (256.00)	/
La Bouille (259.70)	2 mois
Val des Leux (265.55)	/
Duclair (278.00)	2 mois
Mesnil Sous Jumièges (285.98)	/
Heurteauville (297.65)	2 mois
La Mailleraye (303.00)	/
Caudebec en Caux (310.50)	2 mois
Vatteville (318.00)	/
Courval / Trouville la Haule (326.60)	/
Tancarville (337.00)	2 mois
<b>Risle maritime</b>	2 mois
Berville (346.00)	/
Honfleur (355.80)	2 mois
<b>Balise A (360.80)</b>	2 mois

<sup>5</sup> La réduction proposée du nombre de station n'impacte pas les résultats du calcul de l'état chimique des trois masses d'eau de l'estuaire de la Seine (test réalisé sur les données 2011-2016).

Concernant **la liste des paramètres suivis, la réflexion globale semble devoir être menée à l'échelle du bassin versant de la Seine**, afin de conserver une cohérence d'ensemble et faciliter les interprétations sur le continuum Seine. Les possibilités analytiques des laboratoires sont à intégrer à cette réflexion, en tant que contraintes ou opportunités. De manière spécifique à l'estuaire de la Seine, ses spécificités (marée, bouchon vaseux,...) peuvent engendrer des conditions particulières facilitant la transformation ou la dégradation de contaminants organiques (voir notamment le projet Seine-Aval 4 MEDSEINE [Budzinski *et al.*, 2012] et le projet Seine-Aval 5 CRAPPSE [Mazellier *et al.*, 2018] pour la transformation des médicaments et des pesticides en estuaire). De même, des apports locaux (ponctuels ou récurrents) ou historiques peuvent nécessiter un intérêt spécifique à l'estuaire de la Seine [Boust *et al.*, 2012 ; Chiffolleau *et al.*, 2012]. **Une attention particulière au suivi de métabolites et des contaminants spécifiques à l'estuaire de la Seine peut ainsi être préconisée et des campagnes prospectives sur des contaminants d'intérêt émergent menées de manière occasionnelle.**

Une autre considération s'appuie sur 1) la large réduction des apports en contaminants observée depuis 30 ans, 2) l'intérêt pour de nouveaux micropolluants, dits « émergents » et 3) la volonté de documenter les apports lors d'évènements particuliers (crue, orages, accident,...). La recherche de substances chimiques dans l'eau par prélèvement ponctuel se heurte dans de nombreux cas à des limites de détection ou de quantification trop élevées par rapport à la réalité de la contamination. De même, les concentrations peuvent être extrêmement variables selon le moment de la marée, comme cela a été montré pour les HAP légers et les substances pharmaceutiques par le projet Seine-Aval 6 MOSAIC [Huguet *et al.*, 2018]. A ce titre, les **échantillonneurs intégratifs passifs** sont une piste prometteuse. Leur déploiement permet d'évaluer des niveaux de contaminations faibles sur un temps long (de quelques jours à plusieurs semaines), que ce soient pour les contaminants hydrophiles comme les pesticides ou les substances pharmaceutiques (POCIS), les contaminants hydrophobes comme les PCB, les HAP, les PBDE ou les phtalates (SPMD ou feuilles de silicone) ou les métaux dissous (DGT). Ils peuvent aussi être déployés lors d'un épisode particulier pour documenter les apports associés et aller vers une documentation plus fine de ces évènements. L'objectif serait d'évaluer leur impact sur la qualité globale de l'eau et d'apporter des éléments sur la résilience de l'estuaire vis-à-vis de ces évènements. Les contraintes associées à un tel déploiement restent cependant réelles, notamment en lien avec 1) l'accès et la protection des stations ; 2) l'exploitation des résultats acquis au regard des normes sanitaires et environnementales existantes. **Le déploiement de ces outils apparaît comme complémentaire au suivi sur l'eau et sur les matrices intégratrices comme le sédiment ou le biote.** Divers projets de recherche scientifiques expérimentent depuis plusieurs années ces techniques de suivi innovantes. Ils peuvent ainsi fournir un appui méthodologique pour une étude de faisabilité préalable à leur mise en place de manière pérenne.

#### Objectif 2a - Documenter l'imprégnation chimique / suivi 'eau'

- 1- Revoir la **stratégie d'échantillonnage** en se basant sur 14 stations suivies tous les 2 mois, assortie par des campagnes complémentaires lors d'évènements particuliers
- 2- Mener la réflexion sur la **liste des substances** à suivre à l'échelle du bassin versant de la Seine
- 3- Etudier la possibilité de déployer des **échantillonneurs intégratifs passifs**



## 2.2 Suivi sur sédiment

Le suivi actuel s'appuie sur le prélèvement des sédiments de surface sur les banquettes latérales de la Seine, pour 15 à 20 stations entre Poses et la mer. En fonction des vitesses de sédimentation, des possibilités de remise en suspension naturelles et anthropiques, de la bioturbation,... Ces premiers centimètres de sédiment correspondent, selon les secteurs de l'estuaire et selon l'hydrodynamisme des vasières considérées, à un mélange de sédiment déposé à des périodes (années, saison, marées) différentes (de quelques semaines à quelques années). En effet, la dynamique des vasières est variable selon les secteurs de l'estuaire et les saisons, avec notamment une tendance à l'érosion des vasières à l'amont en période d'étiage, alors que la tendance sera à l'engraissement en aval [Figure 9 ; Lemoine & Verney, 2015 ; GIP Seine-Aval, 2016]. Ainsi les premiers centimètres superficiels ne sont pas nécessairement représentatifs des dépôts récents mais peuvent dans certains cas correspondre à des dépôts anciens. La dynamique sédimentaire de chaque site est à considérer dans l'analyse de la représentativité de ces échantillons. Dans un objectif de relier la contamination chimique des sédiments de surface aux apports en contaminants, **un suivi saisonnier est ainsi préconisé**. Il pourrait s'accompagner d'une **réduction du nombre de stations** en se concentrant sur des sites représentatifs des grands secteurs de l'estuaire. Le **déploiement de pièges à sédiments** peut également être une piste à explorer pour quantifier les apports à l'estuaire, en intégrant la variabilité des concentrations en contaminants dans les particules [Lardy-Fontan *et al.*, 2016].



Figure 9 : Fonctionnement des vasières intertidales de l'estuaire de la Seine.

La fréquence annuelle historique du suivi de la contamination chimique du sédiment est plus adaptée à un suivi à moyen/long terme de l'évolution du milieu et caractérise un état de surface des sédiments du site investigué à un instant donné. Cette connaissance est à relier à la présence de sites de stockage de contaminants dans le lit mineur de la Seine, qui peuvent constituer des sources de contaminants en cas d'érosion, de remise en suspension ou de remobilisation [Figure 10 ; Fisson, 2017a]. Pour limiter et maîtriser ces apports, il conviendrait de **renforcer la connaissance des stocks de contaminants**, par 1) **l'intégration de nouveaux sites de suivi** pour compléter la vision spatiale de la contamination de surface ; et 2) la **réalisation de carottes sédimentaires** pour évaluer les teneurs en contaminants chimiques à différentes profondeurs sur quelques sites identifiés comme présentant des enjeux de remise en suspension potentielle.

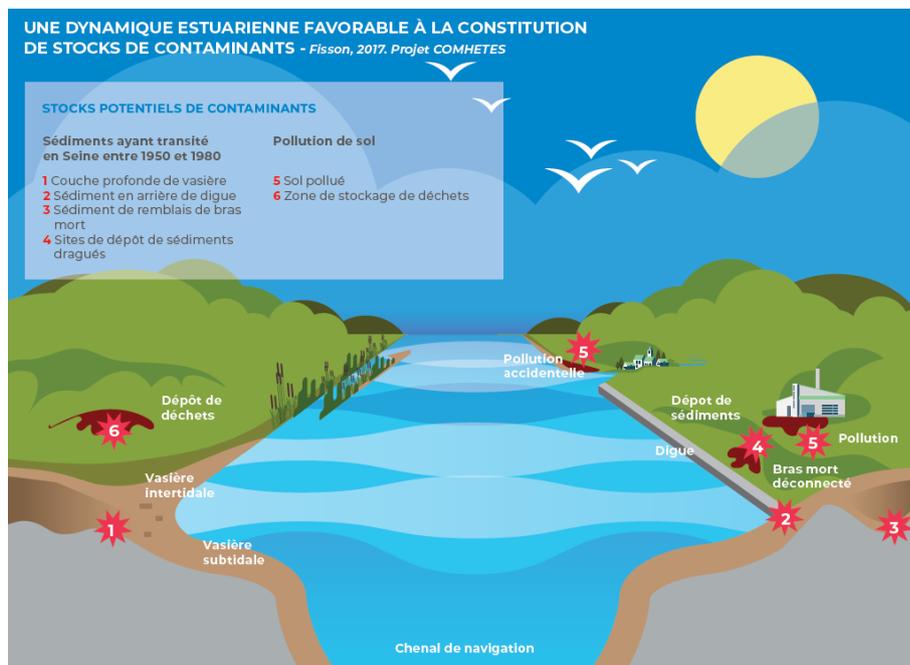


Figure 10 : Sites potentiels de stockages de contaminants.

Dans le cadre du Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral (ROCCH) géré par l'Ifremer, les contaminants chimiques sont mesurés dans le premier centimètre superficiel des sédiments de la baie de Seine, tous les 6 ans. Contrairement à l'estuaire où la dynamique hydrosédimentaire est très intense, cette fréquence de 6 ans est adaptée à la dynamique sédimentaire plus lente de la baie, où les sédiments de surface peuvent intégrer plusieurs années de contamination. Un **renforcement de la complémentarité du suivi Seine avec ce suivi en baie de Seine**, que ce soit dans la stratégie ou l'interprétation des données, permettra de consolider la compréhension du devenir des contaminants chimiques apportés par la Seine vers la baie.

#### Objectif 2b - Documenter l'imprégnation chimique / suivi 'sédiment'

- 1- Renforcer la **fréquence d'échantillonnage** sur quelques sites représentatifs des différents secteurs de l'estuaire
- 2- Etudier la possibilité de déployer des **pièges à sédiments**
- 3- Renforcer la connaissance des **stocks de contaminants** présents dans le lit mineur
- 4- Renforcer la **complémentarité entre les suivis** de la Seine et de la baie de Seine

### 2.3 Suivi sur biote

La surveillance des contaminants dans les organismes vivants (crustacés, mollusques, poissons) est un moyen d'évaluation de la contamination du milieu. Cette matrice est intégratrice et reflète une situation moyenne de l'exposition des organismes sur les quelques semaines à quelques mois précédant le prélèvement.

Un tel suivi de la contamination chimique est opéré par le réseau ROCCH le long du littoral français, sur les mollusques bivalves (moules et huîtres) [Ifremer, 2016]. Dans ce cadre et depuis les années 1980, deux stations positionnées à l'embouchure de la Seine (Villerville et

Cap de la Hève) sont suivies. Elles permettent d'apporter une vision temporelle des apports en contaminants de l'estuaire vers la baie, à travers l'analyse des tissus de moules. En estuaire de Seine, des campagnes antérieures ont déjà été menées pour estimer la contamination chimique du biote (mollusques, crustacés, poissons, oiseaux), que ce soit dans un cadre de gestion (plan local PCB [Fisson, 2016]) ou de projets scientifiques Seine-Aval [Amara & Laroche, en cours ; Bocquené *et al.*, 2012 ; Couteau *et al.*, 2012 ; Forget-Leray *et al.*, 2012 ; Labadie, en cours ; Xuereb *et al.*, 2018]. Les résultats issus de ces campagnes ont permis de documenter le niveau d'imprégnation pour divers organismes en estuaire, pour les principales familles de contaminants. Cependant, ces mesures ont été réalisées pour répondre à des objectifs précis et n'ont pas fait l'objet d'une réflexion d'ensemble permettant d'apporter une information à plus large échelle s'intégrant dans un suivi long terme.

Il est ainsi proposé de mener une **réflexion sur la mise en place de mesures de contaminants chimiques dans les organismes aquatiques de l'estuaire**. Cette réflexion devra porter sur les sites d'intérêt, les niveaux trophiques et les espèces ciblées, les contaminants d'intérêt, la période à privilégier,... Elle pourra viser la définition d'un suivi opérationnel complet dédié, mais également mobiliser des échantillons issus des pêches réalisées pour le calcul de l'indice poisson (A-2.3) et des organismes exposés dans le cadre du suivi actif de biosurveillance [Xuereb & Geffard, en cours]. Enfin, l'expérience du réseau ROCCH sera à considérer pour garantir une bonne articulation entre le suivi du littoral, de l'estuaire de la Seine et des autres estuaires de la façade.

#### Objectif 2c - Documenter l'imprégnation chimique / suivi 'biote'

- 1- Mener une réflexion sur la mise en place de **mesures de contaminants chimiques dans les organismes aquatiques** de l'estuaire

### 3 Evaluer la toxicité du milieu et ses effets sur la faune aquatique

La présence d'un cocktail de contaminants chimiques en estuaire de Seine soumet les organismes aquatiques à un stress pouvant conduire à des effets physiologiques et écologiques. Pour documenter ces effets (toxicité globale, génotoxicité, reprotoxicité, immunotoxicité,...), un panel de bioessais<sup>6</sup> et de biomarqueurs<sup>7</sup> peut être mobilisé. Il permet de fournir une évaluation de l'activité biologique associée à un échantillon du milieu et de mesurer l'impact de la contamination chimique du milieu sur les organismes aquatiques.

Un effort pour développer des méthodologies adaptées à un contexte de biosurveillance en estuaire a été mené en estuaire de Seine, avec notamment 1) un suivi passif<sup>8</sup> multi-marqueurs de 3 ans à l'embouchure de la Seine dans le cadre du projet scientifique Seine-Aval 5 ECOTONES [Xuereb *et al.*, 2018] ; 2) une expérimentation de caging<sup>9</sup> de flet en différents points de la Seine dans le cadre du projet scientifique Seine-Aval 6 HQFISH [Amara &

---

<sup>6</sup> Bioessai : méthode expérimentale pour évaluer l'activité biologique d'échantillons environnementaux (eau, sédiment) .

<sup>7</sup> Biomarqueur : changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant.

<sup>8</sup> les approches passives s'appuient sur des individus prélevés *in natura*. Elles permettent une évaluation de l'état de santé du milieu.

<sup>9</sup> les approches actives (ou caging) s'appuient sur des individus encagés dont l'histoire est connue. Elles permettent de faire le lien avec les pressions.

Laroche, en cours] ; 3) un suivi de biomarqueurs chez des flets prélevés à l'embouchure depuis 2015 [Couteau, 2020] ; 4) des mesures de bioessais sur eau ou sédiment [Cachot et al., 2012 ; Couteau et al., 2012]. Ces projets ont permis d'apporter des préconisations pour le suivi, dont l'importance de l'intercalibration des réponses biologiques, afin d'apporter une vision cohérente à l'échelle de plusieurs masses d'eau. Le projet scientifique SASHIMI (financement OFB) s'appuie sur cette recommandation et explore la faisabilité de produire un diagnostic de la qualité de différentes masses d'eau (continentale, de transition et côtière) le long d'un continuum [Xuereb et al., en cours]. Dans le cadre du projet scientifique ZA-Seine BIOSURVEILLANCE (financement AESN), un suivi pilote de biosurveillance basé sur une approche active sera déployé sur des masses d'eau du district Seine-Normandie en 2020 et 2021 [Xuereb & Geffard, en cours]. Le suivi prévoit notamment des stations en estuaire de Seine. Les réponses toxiques ciblées se basent sur des mesures d'immunotoxicité, de génotoxicité et de reprotoxicité, sur des mollusques, des crustacés et des poissons. A noter que ce projet prévoit une implication des gestionnaires pour assurer un transfert des méthodologies mises au point, la pérennisation de la démarche étant un objectif visé à moyen terme.

A ce stade, certaines mesures semblent facilement déployables, peu onéreuses et suffisamment maîtrisées pour être clairement interprétées. Elles pourraient constituer le socle des suivis réguliers pour alimenter un suivi des trajectoires sur le moyen-long terme. D'autres mesures, soit plus onéreuses, soit moins certaines dans l'interprétation, trouvent leur force dans le cadre de déploiements ponctuels en batterie, en réponse à des événements accidentels ou pour l'évaluation de sources de contamination identifiées. Ces approches présentent ainsi un intérêt réel en surveillance. Il serait ainsi intéressant **1) de mettre en place un réseau opérationnel de suivi de l'évolution des impacts écotoxiques sur le moyen terme**, à partir des mesures actuellement bien maîtrisées dans leur déploiement et dans leur interprétation ; et **2) de réfléchir à une stratégie de suivis ponctuels ciblés**, intégrant des techniques de mesures innovantes.

Les sites d'intérêt à investiguer, les niveaux trophiques et les espèces ciblées, les effets recherchés, le caractère passif ou actif du suivi, le lien avec le suivi de l'imprégnation chimique sur le biote seront au cœur des réflexions à mener. Elles seront également à relier 1) aux réflexions en cours au niveau national et européen (GT Bioessais, Projet B&B concernant l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance de l'état écologique des écosystèmes aquatiques continentaux et de transition [Sanchez et al., en cours]) ; et 2) aux campagnes récentes ou à venir (campagnes SeliSeine mises en œuvre pour l'application de la DCSMM [Akcha, 2018], suivi de biomarqueurs chez des flets prélevés à l'embouchure de la Seine [Couteau, 2020], biosurveillance active sur différents continnum de district Seine-Normandie [Xuereb & Geffard, en cours]).

### Objectif 3 - Evaluer les effets de la contamination sur la faune aquatique

- 1- Mettre en place un **réseau opérationnel de suivi de l'évolution des impacts écotoxiques sur le moyen terme** à partir des mesures actuellement bien maîtrisées dans leur déploiement et dans leur interprétation
- 2- Réfléchir à une **stratégie de suivis ponctuels ciblés** intégrant des techniques de mesures innovantes



## BILAN DES PISTES D'ÉVOLUTIONS

Les pistes d'évolutions du réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine présentées dans le rapport sont ci-après reprises pour chacun des objectifs ciblés :

### Objectif 1 – Comprendre la dynamique estuarienne (*physico-chimie*)

- Revoir la stratégie d'échantillonnage en réduisant à 11 le nombre de stations suivies et en homogénéisant la fréquence d'échantillonnage à 15 jours
- Renforcer le suivi de la qualité et de la quantité de matière organique
- Renforcer l'articulation avec les autres réseaux de suivis (SYNAPSES, RCS/RCO, RHLN)

### Objectif 2a - Documenter l'imprégnation chimique / suivi 'eau'

- Revoir la stratégie d'échantillonnage en se basant sur 14 stations suivies tous les 2 mois, assortie par des campagnes complémentaires lors d'évènements particuliers
- Mener la réflexion sur la liste des substances à suivre à l'échelle du bassin versant de la Seine
- Etudier la possibilité de déployer des échantillonneurs intégratifs passifs

### Objectif 2b - Documenter l'imprégnation chimique / suivi 'sédiment'

- Renforcer la fréquence d'échantillonnage sur quelques sites représentatifs des différents secteurs de l'estuaire
- Etudier la possibilité de déployer des pièges à sédiments
- Renforcer la connaissance des stocks de contaminants présents dans le lit mineur
- Renforcer la complémentarité entre les suivis de la Seine et de la baie de Seine

### Objectif 2c - Documenter l'imprégnation chimique / suivi 'biote'

- Mener une réflexion sur la mise en place de mesures de contaminants chimiques dans les organismes aquatiques de l'estuaire

### Objectif 3 - Evaluer les effets de la contamination sur la faune aquatique

- Mettre en place un réseau opérationnel de suivi de l'évolution des impacts écotoxiques sur le moyen terme à partir des mesures actuellement bien maîtrisées dans leur déploiement et dans leur interprétation
- Réfléchir à une stratégie de suivis ponctuels ciblés intégrant des techniques de mesures innovantes

## LISTE DES ABREVIATIONS

**AESN** : Agence de l'Eau Seine Normandie

**AOX** : Adsorbable Organic Halogen

**CAP** : Cellule Anti-Pollution de la Seine

**CLP** : Cellule de Lutte contre la Pollution

**DCE** : Directive Cadre sur l'Eau

**DCSMM** : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin

**DDE** : Direction Départementale de l'Équipement

**DDEA** : Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture

**DDTM** : Direction Départementale des Territoires et de la Mer

**DGT** : Diffusive Gradients in Thin films

**ELFI** : Estuarine and Lagoon Fish Index

**GIP** : Groupement d'Intérêt Public

**GPMP** : Grand Port Maritime de Rouen

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**IBD** : Indice Biologique Diatomées

**IBG** : Indice Biologique Global

**IPS** : Indice Polluosensibilité Spécifique

**OFB** : Office Français de la Biodiversité

**OSPAR** : Convention OSlo PARis

**PBDE** : PolyBromoDiphénylEthers

**PCB** : PolyChloroBiphényles

**POCIS** : Polar Organic Chemical Integrative Samplers

**RCO** : Réseau de Contrôle Opérationnel

**RCS** : Réseau de Contrôle de Surveillance

**RHLN** : Réseau Hydrologique du Littoral Normand

**RNO** : Réseau National d'Observation

**ROCCH** : Réseau d'Observation de la Contamination Chimique

**SDAGE** : Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux

**SPMD** : Semi Permeable Membrane Device

**SNS** : Service Navigation de la Seine

**SPPPI** : Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles

**SYNAPSES** : SYstème de surveillaNce Automatisé de la PhySico-chimie de l'Estuaire de la Seine

## BIBLIOGRAPHIE

- Agence Financière de Bassin Seine-Normandie (AFB-SN), 1981. **Seine-Aval : Etat des eaux en 1980, bilan et perspectives.** 37p.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2010. **Surveillance et état des milieux aquatiques du bassin Seine-Normandie.** 32p.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2013. **Etat des lieux 2013 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.** 328p.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2014. **50 ans d'efforts au service de la qualité des eaux.** 47p.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2017. **Le PDM 2016-2021 : programme de mesures du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.** 223p.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2019. **Etat des lieux 2019.** 197p.
- Akcha F., 2018. **Campagne SELISEINE 2018.** [en ligne]  
<https://campagnes.flotteoceanographique.fr/campaign?id=18000585>
- 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
- Bocquené G. (coord.), Abarnou A., Boulon A.I., Dallet M., Stril P., Bourretz O., 2012. **Projet RISKENSEINE : Risque sanitaire et environnemental d'origine chimique dans l'estuaire de la Seine.** Projet Seine-Aval4, 114p.
- Boust D. (coord.), Berthe T., Lesueur P., 2012. **Projet RHAPSODIS : Reconstitution de l'Historique des Apports Particulaires a la Seine par l'Observation De leur Integration Sedimentaire.** Projet Seine-Aval 4, 163 p.
- Budzinski H. (coord.), Forget-Leray J., Aït-Aïssa S., 2012. **Projet MEDSEINE : Étude de la contamination par les médicaments de l'estuaire de la Seine. Application des capteurs passifs à un meilleur diagnostic de leur présence, flux et impact toxique.** Projet Seine-Aval 4, 53p.
- Cachot J. (coord.), Vicquelin L., Landi L., Clérandeau C., Pichon A., Barjhoux I., Lebihanic F., Le Menach K., Dévier M.H., Giraudel J.L., Gardia Parege C., Budzinski H., Forget-Leray J., Boulangé-Lecomte C., Petrucciani N., Barka S., Lesueur T., Minier C., Marie S., Ouddane B., Hamzeh M., Deloffre J., 2012. **Projet TOXSEINE : Analyse de la toxicité globale et identification des composés toxiques à risque dans l'estuaire de la Seine.** Projet Seine-Aval 4, 78p.
- Cellule de Lutte contre la Pollution (CLP), 1991. **Du barrage de Poses à l'estuaire, 30 ans de suivi de la qualité de la Seine.** 19p.
- Cellule de Suivi du Littoral Haut-Normand, 1994. **Objectifs de qualité de la Seine en Haute-Normandie.** Etude financée par le CG76, le CG27 et l'AESN, 39p.
- Chiffolleau J.F. (coord.), Sonke J.E., Auger D., Bretaudeau J., Joquet T., Larrieu M., Laffont L., Prunier J., Rozuel E., Zouiten C., 2012. **Projet ISOMET : Étude de la signature isotopique des métaux dans l'estuaire de la Seine. Une information essentielle pour le traçage et la discrimination des sources et processus.** Projet Seine-Aval 4, 45p.
- Claquin P. (coord.), Morelle J., Schapira M, Orvain F., Lopez P., 2018. **Projet PROUESSE : Production primaire de l'estuaire de la Seine.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 76 p.

- Couteau J., 2020. **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. (coord.), Forget-Leray J., Budzinski H., Cachot J., Cuvilliez A., 2012. **Projet BCG : Cartographie de la génotoxicité en estuaire de Seine et étude du transfert des contaminants génotoxiques du milieu vers les organismes.** Projet Seine-Aval 4, 61p.
- Fisson C. (coord.), 2014. **Qualité des eaux de l'estuaire de la Seine.** Fascicule Seine-Aval 3.2, 52p.
- Fisson C., 2016. **Imprégnation des cours d'eau haut-normands par les PCB et autres micropolluants.** Etude réalisée par le GIP Seine-Aval pour le compte de la Cellule de Suivi du Littoral Normand, 35p.
- Fisson C. (coord.), 2017a. **Industrialisation de l'estuaire de la Seine : Quel héritage pour la qualité des eaux ?** Fascicule Seine-Aval 3.6, 52 p.
- Fisson C., 2017b. **Impact de la crue de juin 2016 sur l'estuaire de la Seine.** Rapport réalisé par le GIP Seine-Aval, 36p.
- Forget-Leray J. (coord.), Petit F., Souissi S., Budzinski H., 2012. **Projet COBAC : Étude des processus adaptatifs susceptibles de se mettre en place au sein de population d'*Eurytemora affinis* exposées à diverses contaminations chimiques et/ou microbiologiques.** Projet Seine-Aval 4, 44p.
- Garnier J. (coord.), Barles S., Billen G., Bognon S., Romero E., Le Gendre R., Silvestre M., Ramarson A., Thieu V., Théry S., Castaings J, Riou. P., 2018. **Projet RESET : Rôle de l'Estuaire de Seine dans l'Écologie Territoriale de la Normandie : cycles des nutriments et systèmes hydro-agro-alimentaires.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 73 p.
- GIP Seine-Aval. **Observatoire environnemental de l'estuaire de la Seine.** [en ligne]  
<https://indicateurs.seine-aval.fr/>
- GIP Seine-Aval, 2016. **Les vasières intertidales de l'estuaire de la Seine.** Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution. 6p.
- Grasso F. (coord.), Le Hir P., 2018. **Projet HYMOSED : Modélisation du fonctionnement HYdro-MOrpho-SEDimentaire de l'estuaire de la Seine – Volet Modélisation».** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 78 p.
- Guérin S., Richoux R., Garcia-Gonzalez E., Azimi S., Rocher V., Lemoine J.P., Fisson C., Petit F., Mouchel J.M., 2019. **Fonctionnement dégradé de la station d'épuration Seine Aval (Yvelines) du 3 au 5 juillet 2019 suite à l'incendie de l'unité de clarifloculation – Analyse de l'impact environnemental de l'événement sur la Seine.** L'eau, L'industrie, Les nuisances n°424, 65-75 pp
- Huguet A. (coord.), Thibault A., Roose-Amsaleg C., Parlanti E., Laverman A., Fuster L., Budzinski H., Viollier E., 2018. **Projet MOSAIC : Dynamique de la Matière Organique dans le bouchon vaSeux de l'estuaire de Seine en lien avec les nutriments et les Contaminants organiques.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 84 p.
- Institut Français pour l'Exploitation de la mer (Ifremer) & Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 2019. **Atlas DCE Seine Normandie.** [en ligne]  
[http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas\\_DCE/scripts/site/carte.php?map=SN](http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas_DCE/scripts/site/carte.php?map=SN)

- Institut Français pour l'Exploitation de la mer (Ifremer), 2016. **ROCCH : Réseau d'observation de la contamination chimique.** [en ligne]  
<https://wwz.ifremer.fr/pollution/Laboratoires-et-cellules-d-expertise/Coordination-ROCCH>
- Labadie P. (coord), en cours. **Projet CHOPIN : Contaminants organoHalogénés histOriques et d'intérêt émergent : Présence et transfert vers la sole commune – Impact de la contamination sur la nourricerie et conséquences sur la population.** Projet Seine-Aval 6
- Lardy-Fontan S., Guigues N., Dabrin A., Masson M., 2016. **Les pièges à particules : principes, état de l'art et perspectives pour la surveillance des milieux aquatiques - focus sur les cours d'eaux.** Rapport AQUAREF, 35p.
- Lemoine J.P. (coord.), Claquin P., Lafite R., Mouchel J.M., Verney R., en cours. **Projet PHRESQUES : Projet d'harmonisation et de renforcement du suivi haute-fréquence de la qualité de l'eau de la vallée de Seine.** Projet CPIER Vallée de la Seine - ZA Seine
- Lemoine J.P. (coord.) & Verney R., 2015. **Fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Seine.** Fascicule Seine-Aval 3.3, 64p.
- Mazellier P. (coord.), Fuster L., Budzinski H., Garric J., Couteau J., Aït-Aïssa S., 2018. **Projet CRAPPSE : Contamination et RéActivité de Pesticides et de Pharmaceutiques dans l'estuaire de SeinE.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 71 p.
- Menet-Nedelec F., Rabiller E., Courtay G., Fontaine B., Françoise S., Jacqueline F., Lesaulnier N., Louis F., Maheux F., Pierre-Duplessix O., Shapira M., Simon B., 2019. **Réseau Hydrologique Littoral Normand – année 2016.** Rapport Ifremer RST ODE/UL/LERN/19-04, 164p.
- Préfecture de Basse-Normandie & Préfecture de Haute-Normandie, 1977. **Arrêté préfectoral instituant le Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles (SPPPI) en basse Seine.** 5p.
- Sanchez W., Fisson C., Geffard O., Minier C., en cours. **Projet B&B : Biomarqueurs et Biodiversité.** Projet financé par l'OFB.
- Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles en Basse-Seine (SPPPI-BS), 1988. **La qualité des eaux en basse Seine.** 15p.
- Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles en Basse-Seine (SPPPI-BS), 1990. **Commission chargé de contrôler l'évolution de la pollution en estuaire et en baie de Seine.** Brochure, 36p.
- Tackx M., en cours. **Projet SARTRE : Seine-Aval, réseaux trophiques estuariens.** Projet Seine-Aval 6
- 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.
- Xuereb B. (coord.), Amara R., Auffret M., Bado-Nilles A., Costil K., Couteau J., Fisson C., Geffard A., Geffard O., en cours. **Projet SASHIMI : Surveillance Active de l'impact de la preSsion cHIMique par des biomarqueurs.** Projet ZA Seine, financé par l'AFB.
- Xuereb B., Geffard A. (coord.), Amara R., Auffret M., Bado-Nilles A., Costil K., Couteau J., Fisson C., , Geffard O., en cours. **Projet BIOSURVEILLANCE : Proposition d'un pilote basé sur l'utilisation de biomarqueurs pour un appui à la surveillance de la qualité des masses d'eau du district Seine-Normandie.** Projet ZA Seine, financé par l'AESN.

POUR PLUS D'INFORMATIONS SUR LE GIP SEINE-AVAL

[www.seine-aval.fr](http://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](mailto: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., 2020. **Réseau de suivi de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine – Historique et pistes d'évolutions**. Rapport d'étude du GIP Seine-Aval, 27p.

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 :

