



Etat des ressources biologiques : Effets de la contamination chimique sur les poissons de l'estuaire de la Seine

Problématique

Les estuaires, zones de transition entre eau douce et eau salée, abritent divers habitats colonisés par de nombreuses espèces de poissons, durant une ou plusieurs phases de leur cycle biologique (reproduction, croissance, vie adulte, etc.). Ces habitats peuvent assurer différentes fonctions : nourricerie, abri ou alimentation.

Les campagnes de prélèvement menées dans l'estuaire de la Seine par l'Ifremer depuis 1995 et par la Cellule de Suivi du Littoral Normand depuis 2000 ont permis de réaliser des inventaires ichthyologiques prenant en compte les variabilités saisonnières et interannuelles et les différents types d'habitats (milieux profonds et petits fonds : bras morts, berges, filandres, etc.). Entre le barrage de Poses à l'amont et la baie de Seine orientale en aval, 105 espèces de poissons ont ainsi été mises en évidence, dont 31 espèces d'eau douce (brème, sandre, perche commune, gardon, etc.), 10 espèces de migrateurs amphihalins (éperlan, anguille, flet, mulot porc, etc.),

9 espèces résidentes estuariennes (épineche, gobie buhotte, gobie tacheté, etc.) et 55 espèces marines (bar, sprat, hareng, sardine, sole, limande, etc.) [Morin *et al.*, 2011].

Les poissons sont soumis aux variations de nombreux facteurs environnementaux (salinité, hydrodynamisme, disponibilité de la nourriture, conditions climatiques, paramètres physico-chimiques, etc.) et à diverses pressions anthropiques (contamination chimique et microbiologique, destruction des habitats, pêche, etc.). Les effets de la contamination chimique ont particulièrement été étudiés sur les poissons de l'estuaire de la Seine. Ce milieu présente, en effet, une multi-contamination chimique chronique, car réceptacle des rejets industriels, agricoles et urbains du bassin versant de la Seine. L'analyse et le suivi d'indicateurs permettent ainsi d'appréhender les réponses de l'ichtyofaune à la pression chimique.



Flet - *Platichthys flesus* (M. Girardin, Cemagref)



Gardon - *Rutilus rutilus* (D. Guillerme)



Sole - *Solea solea* (J. Morin, Ifremer)



Effets de la contamination chimique sur les poissons de l'estuaire de la Seine

Situation

Impacts sur le génome

La mise en évidence de réponses au niveau moléculaire est le premier indice d'un impact de la contamination chimique sur des organismes. Dans l'estuaire de la Seine, les biomarqueurs* spécifiques de ce niveau biologique ont essentiellement été utilisés pour rechercher des effets sur le génome*. Des adduits à l'ADN* ont ainsi été observés dans le foie de flets, espèce présente sur tout le continuum estuarien (du barrage de Poses à la baie de Seine). La présence de ces adduits révèle une exposition à des agents génotoxiques, essentiellement les HAP, et leur taux semble relié au niveau de contamination qui décroît vers l'embouchure de l'estuaire [Figure 1]. Des expérimentations ont également été menées en laboratoire sur des médakas japonais (*Oryzias latipes*). Elles ont notamment montré une augmentation significative du nombre de mutations* induites lors d'une exposition à un extrait organique de sédiment prélevé à Oissel [Cachot *et al.*, 2005]. De même, les poissons alimentés avec une nourriture contaminée (larves d'artémies - *Artemia salina* - exposées à des extraits organiques de sédiments prélevés à Oissel) développent des lésions tumorales* et pré-tumorales, alors que les poissons

témoins non exposés ne développent pas ces types de lésions [Cachot *et al.*, 2006].

Chez des juvéniles de soles, des expérimentations en laboratoire ont montré qu'il existait un lien entre l'exposition en HAP et la génotoxicité [Wessel *et al.*, 2010]

Perturbations des processus de développement et de reproduction

Le succès de la reproduction d'un individu dépend du bon déroulement de nombreuses étapes : développement des organes reproducteurs, formation et maturation des gamètes, comportement reproductif, développement embryonnaire, éclosion. Elles peuvent notamment être perturbées par une exposition à des contaminants. Le système endocrinien*, par la sécrétion et la régulation d'hormones, joue un rôle déterminant dans ces différentes phases de la reproduction, puis sur la croissance et le développement des individus. Il peut être affecté par de nombreuses substances chimiques, appelées perturbateurs endocriniens (pesticides organochlorés, phtalates, dioxines, hormones de synthèse, etc.), dont la présence dans le milieu est liée aux activités humaines.

La mesure de la vitellogénine, macromolécule produite par les femelles sous le contrôle d'hormones et utilisée comme substance de réserve dans les œufs pour le développement des larves, est un marqueur d'effet oestrogénique classiquement utilisé. Ainsi, 49% des flets mâles pêchés à l'embouchure de la Seine (site 'Fosse sud') présentent des concentrations élevées en vitellogénine (supérieures à $1\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$), au regard d'autres estuaires européens. L'analyse des substances chimiques dans la bile de ces poissons révèle la présence de composés oestrogéniques en

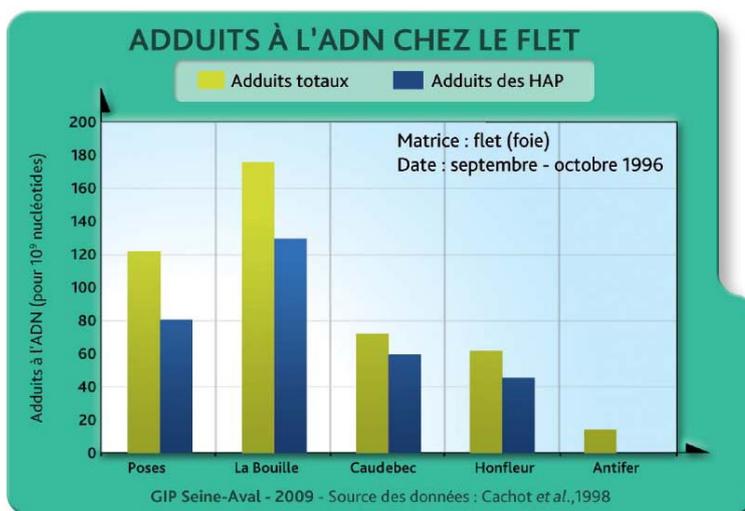


Figure 1 : Taux d'adduits à l'ADN dans le foie de flets de l'estuaire et de l'embouchure de la Seine en septembre et octobre 1996.



Aduit à l'ADN : produit d'addition de l'ADN entraînant une modification de la structure spatiale de l'ADN qui va perturber le mécanisme de réplication, lors de la division cellulaire. La formation et la persistance de telles lésions de l'ADN sont des étapes clés vers la mutagenèse et le développement tumoral.

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

Génome : ensemble du matériel génétique d'un individu ou d'une espèce codé dans son ADN, c'est-à-dire, des gènes portés par les chromosomes.

relation avec la 'féminisation' des poissons [Minier, com. pers.]. Les gardons de l'estuaire de la Seine présentent également des taux de vitellogénine élevés, avec une concentration moyenne de vitellogénine chez les gardons mâles de $124\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ [Gallien-Landriau, 2003].

Une 'féminisation' des tissus gonadiques (phénomène d'intersexe) de flets et de gardons mâles échantillonnés dans l'estuaire de la Seine est également observée. Ainsi, 4% des flets mâles échantillonnés sur le site 'Fosse Sud' en 2002 [Minier, 2002] et 20% des gardons mâles échantillonnés à Poses en 2006 [Géraudie, 2009] présentent, au sein de leurs gonades, des cellules se développant en ovocytes. L'intersexualité entraîne une perte du potentiel reproducteur des individus, bien que, durant la période de maturation des gamètes, les spermatozoïdes arrivent à maturité et que les ovocytes dégèrent. Cette féminisation des tissus gonadiques ne se produit que si les animaux sont soumis à l'action de perturbateurs endocriniens lors d'une courte période suivant l'éclosion [Minier, 2002]. Une diminution de la fécondité relative moyenne (nombre d'ovocytes mature/poids de la femelle) a également été observée chez des flets femelles pêchés dans l'estuaire de la Seine par rapport à des flets femelles d'autres estuaires

français (Loire, Gironde et Ster de Lesconil). Les mécanismes de détoxification entraînent un coût énergétique pour l'organisme, ce qui réduirait la quantité d'énergie allouée à la reproduction et aux autres fonctions physiologiques (reproduction, croissance, accumulation d'énergie dans les muscles) [Marchand *et al.*, 2004].

Le développement embryonnaire des poissons peut également être altéré par la contamination chimique. Ainsi, suite à l'exposition en laboratoire d'œufs de médaka japonais (*Oryzias latipes*) à des extraits organiques de sédiments prélevés à Oissel (1X, 3X et 6X), les embryons peuvent présenter une déformation marquée de la colonne vertébrale ou de la mâchoire (respectivement 2%, 6% et 15% des individus), absentes chez les individus témoins [Figure 2 ; Cachot *et al.*, 2005]. De telles déformations ont également été observées sur le terrain chez l'éperlan (colonne vertébrale et mâchoire) et le mulot (mâchoire) à de faibles taux (<5%) ne mettant pas en péril les populations [Duhamel, com. pers.]. Ces effets de la contamination sur la reproduction et le développement sont à souligner, car des répercussions sont possibles sur les populations et les communautés (modification des sex-ratios, des structures de population, etc.).

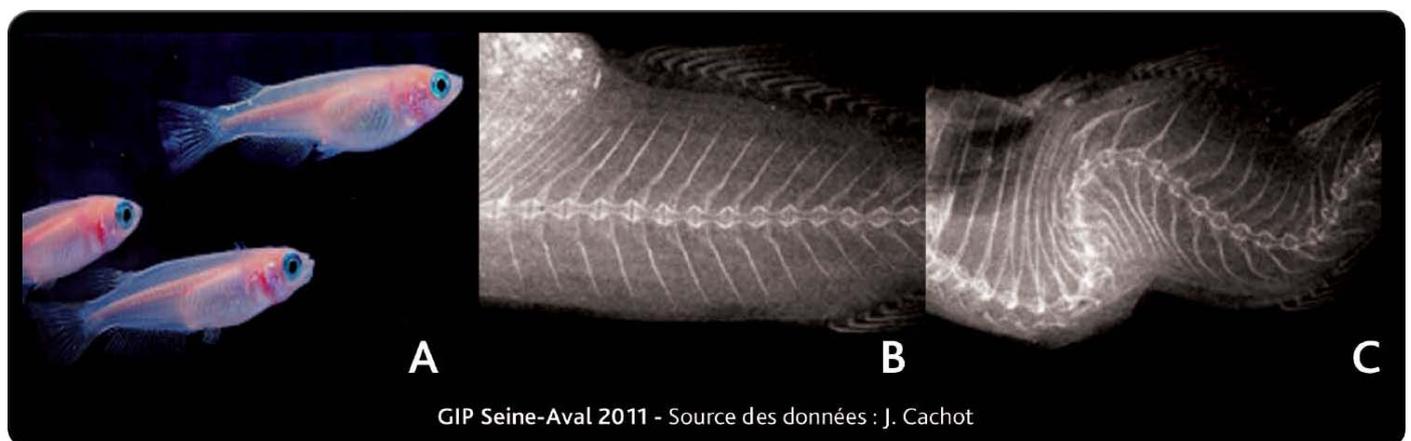


Figure 2 : Déformation de la colonne vertébrale chez des médakas âgés de 10 semaines. A : Médaka japonais - *Oryzias latipes* ; B : individu normal ; C : individu présentant une lordose sévère.



Lésion tumorale : lésion tissulaire anormale, résultant d'une prolifération cellulaire en excès aboutissant à l'élaboration d'un nouveau tissu dont la croissance désordonnée excède celle des tissus normaux. Cette lésion persiste après cessation des stimuli qui lui ont donné naissance, acquérant ainsi une certaine autonomie vis-à-vis de l'organisme.

Mutation : modification anormale de l'ADN d'un gène, soit spontanément lors de la division cellulaire, soit sous l'influence d'agents extérieurs appelés mutagènes. Ce gène ainsi modifié est transmis aux cellules filles. Certaines mutations n'ont aucune conséquence sur la cellule. D'autres sont la première étape d'un long processus de cancérisation.

Système endocrinien : ensemble d'organes et de tissus qui libèrent, dans le sang, des hormones régulant diverses fonctions de l'organisme comme la croissance, le développement, le comportement, la fonction sexuelle ou la reproduction.

Impacts sur l'état de santé des individus et de la population

L'état de santé des individus et celui des populations peut être affecté par les pressions du milieu et des indicateurs (croissance, condition, densité, etc.) sont utilisés pour évaluer cet état.

Comparativement à d'autres secteurs du littoral français, des faibles performances écologiques sont mises en évidence pour des poissons pêchés en Seine. Par exemple, chez des flets pêchés dans l'estuaire de la Seine, la taille, l'indice de condition et la croissance sont plus faibles que pour les poissons échantillonnés dans l'estuaire du Ster de Lesconil, site de référence situé dans le Finistère [Laroche, 2001]. Ces observations sont confirmées par les fortes corrélations négatives entre des indicateurs multimétriques basés sur les densités de poissons et des indices de pollution chimique, calculées sur 13 estuaires français. Les 'indicateurs poissons' les plus faibles sont observés en Seine et Gironde, estuaires où les niveaux de contamination sont les plus élevés. [Delpech *et al.*, 2010]. Des études menées sur les juvéniles de soles montrent également qu'il existe une relation entre le niveau de contamination et les indicateurs basés sur la croissance et la densité [Gilliers *et al.*, 2006 ; Figure 3].

Ces perturbations des traits d'histoire de vie ne semblent néanmoins pas spécifiquement liées à la contamination chimique, d'autres facteurs, comme la modification des habitats ou les caractéristiques hydrologiques des milieux, peuvent en effet intervenir.

Les fortes perturbations anthropiques ont également des conséquences sur les potentialités d'accueil du site de nurserie de l'estuaire de Seine, qui sont peu élevées par rapport à celles des autres sites de Manche est, d'où une contribution relativement faible aux stocks de poissons plats de Manche est [Riou *et al.*, 2001].

Il semble peu probable qu'il y ait un lien avec la température de l'eau, relativement homogène en Manche est, et avec la disponibilité en nourriture, importante en estuaire de Seine. Les nombreux aménagements et la contamination chimique seraient en grande partie responsables de l'altération de la fonction de ce site de nurserie [Le Pape *et al.*, 2007]. La dégradation des habitats de l'estuaire de la Seine au cours des 150 dernières années, avec notamment la destruction de vasières et la mauvaise qualité des habitats résiduels, serait à l'origine d'une diminution de 40% de sa capacité de production qui aurait entraîné une perte d'abondance de près de 23% à l'échelle de la population de soles de Manche est [Rochette *et al.*, 2010].

Le parasitisme peut également influencer l'état de santé (condition, production d'hormones, etc.) des organismes, surtout celui des jeunes individus. Dans l'estuaire de la Seine, le taux d'infestation des anguilles par le parasite *anguillicola crassus* était respectivement de 63% et de 49% en 2008 et 2009. Ces valeurs sont parmi les plus importantes relevées sur l'aire de répartition de l'anguille européenne [CSLN, 2009].

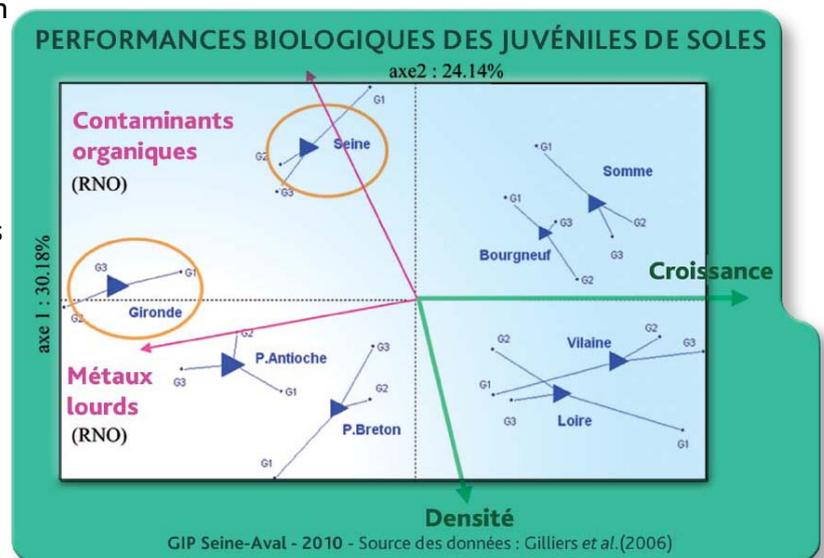


Figure 3 : performances biologiques des juvéniles de soles sur différents sites de nurseries en relation avec le degré de contamination.



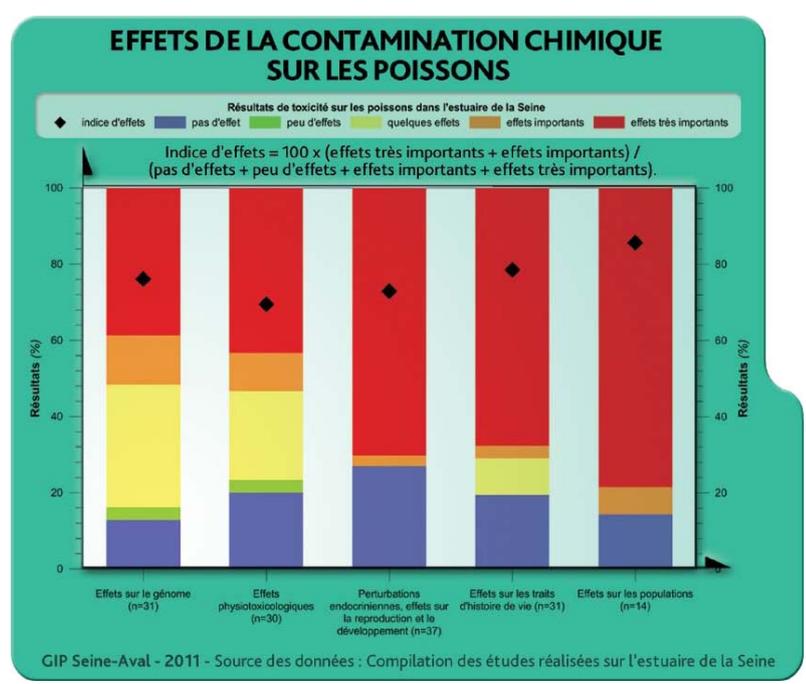
Effets de la contamination chimique sur les poissons de l'estuaire de la Seine

L'essentiel

De nombreuses espèces de poissons peuplent l'estuaire de la Seine, qu'elles soient dulçaquicoles, estuariennes ou marines (105 espèces ont été recensées de Poses à la baie de Seine). Les poissons sont soumis aux pressions (naturelles ou anthropiques) du milieu dans lequel ils vivent et sont de bons indicateurs pour évaluer l'état de santé d'un système. De nombreuses études ont ainsi été menées sur le médaka japonais (*Oryzias latipes*), le flet (*Platichthys flesus*), le gardon (*Rutilus rutilus*), la sole (*solea solea*) et la limande (*Limanda limanda*). Les réponses biologiques mises en place par les poissons sont visibles à différents niveaux d'organisation (moléculaire, tissulaire, individuel, etc.) ; plus ces niveaux sont élevés, plus les facteurs externes impliqués dans les réponses sont nombreux et moins la réponse est spécifique. L'étude de ces réponses biologique permet de dresser un diagnostic environnemental de l'estuaire de la Seine [Poisson *et al.*, 2011].

Chez les poissons présents dans l'estuaire de la Seine, des dysfonctionnements sont observés à différents niveaux d'organisation [Indicateur 1] :

- Effets sur le génome : apparition de lésions tumorales ou pré-tumorales sur l'ADN, après exposition de larve de médaka en laboratoire à des sédiments prélevés dans l'estuaire ;
- Effets sur le système nerveux, sur la physiologie, sur le système immunitaire : présence de nécroses cutanées et de lymphocystis chez des flets ;
- Effets sur la reproduction et le développement : perturbations endocriniennes, présence de tissus intersexués chez des flets ; dérèglements hormonaux chez des flets et des gardons, etc.



Indicateur 1 : Effets de la contamination chimique mis en évidence sur les poissons lors d'études *in situ* réalisées dans l'estuaire de la Seine.

- Effets sur l'état de santé global : diminution du taux de croissance chez des juvéniles de sole.

Ces dysfonctionnements sont essentiellement expliqués par des perturbations d'origine anthropique (pression chimique, oxygénation des eaux, réduction des surfaces de nurricerie, pertes d'habitat, pêche, etc.), bien que les variations des paramètres naturels (hydrodynamisme, disponibilité en nourriture, salinité, etc.) puissent également jouer un rôle, mais à un niveau moindre. L'impact de la contamination chimique s'ajoute donc aux autres facteurs de stress.



Effets de la contamination chimique sur les poissons de l'estuaire de la Seine

Sources et méthodes

Figure 1

Les taux d'adduits à l'ADN sont mesurés dans le foie de filets collectés dans l'estuaire et dans l'embouchure de la Seine en septembre et octobre 1996. Ces adduits ont été dosés par la méthode de post-marquage au 32P après enrichissement à la nucléase P1.

[Source des données : Burgeot et al., 1996]

Figure 2

Déformation de la colonne vertébrale chez des médakas âgés de 10 semaines, après exposition à des sédiments prélevés à Oissel (site témoin : Yville-sur-Seine).

Figure 3

Analyse factorielle multiple (MFA) réalisée avec des données de contamination du milieu (Ifremer, RNO), de croissance des juvéniles de soles et de densité des populations de soles de huit estuaires français.

Les niveaux de contamination des sites de nurserie ont été obtenus par mesure des concentrations de métaux lourds (cadmium, mercure, plomb, cuivre et zinc), de pesticides (lindane, DDT et métabolites), du PCB153 et de 15 HAP dans des moules bleues (*Mytilus edulis*) et des huîtres (*Crassostrea gigas*).

[Source des données : Gilliers et al., 2006 in Morin et al., 2010]

Indicateur 1

A partir d'une compilation des études *in situ* s'intéressant aux effets de la contamination sur des poissons de l'estuaire de la Seine (29 références, 143 résultats), les niveaux d'effets ont été représentés en fonction du type d'effets (sur le génome, sur les traits d'histoire de vie, etc.).

Un indice d'effets a également été calculé. Il varie de 0 (pas d'effets) à 100 (effets très importants).

[Source des données : Poisson et al., 2011]

Références Bibliographiques

- Burgeot T., Bocquené G., Cachot J., Vincent F., Godefroy D., 1996. Thème 4 : Effets biologiques des contaminants dans l'estuaire et la baie de Seine. Seine-Aval 1, p1-28.
- Cachot J., Winn R., Norris M., Budzinski H., Menach K.L., Law M., Lacroix S., 2005. Thème 3 : Evaluation des effets biologiques résultant d'une exposition chronique à des mélanges d'hydrocarbures aromatiques polycycliques sur un poisson modèle, le medaka japonais, *Oryzias latipes*. Phase I. contamination par voie directe des embryons de medaka. Seine-Aval 3, p1-19.
- Cachot J., Winn R., Sundberg S., Norris M., André V., Pottier D., Budzinski H., Le Du M., Le Menach K. et al., 2006. Thème 3 : Evaluation des effets biologiques résultant d'une exposition chronique à des mélanges d'hydrocarbures aromatiques polycycliques. Seine-Aval 3, p1-19.
- Cellule de Suivi du Littoral Normand, 2009. Plan PCB Haute-Normandie ; Echantillonnage des poissons, mollusques et sédiments dans l'estuaire de la Seine : Deuxième campagne de suivi. 38p.
- Delpech C., Courrat A., Pasquaud S., Lobry J., Le Pape O., Nicolas D., Boët P., Girardin M., Lepage M., 2010. Development of a fish-based index to assess the ecological quality of transitional waters: The case of French estuaries. Marine Pollution Bulletin, 60, p908-918.
- Gallien-Landriau I., 2003. Etude de l'altération fonctionnelle du système reproducteur par les perturbateurs endocriniens : caractérisation des effets, identification des xéno-oestrogènes impliqués et conséquences sur les populations de poissons en estuaire et baie de Seine. Thèse, Université du Havre, 150p.
- Geraudie P., 2009. Recherche de biomarqueurs de perturbation endocrinienne chez le gardon (*Rutilus rutilus*), intégration des mécanismes moléculaires et écologiques. Thèse, Université du Havre, 191p.
- Gilliers C., Le Pape O., Desauvay Y., Morin J., Guérault D., Amara R., (2006). Are growth and density quantitative indicators of essential fish habitat quality? An application to the common sole *Solea solea* nursery grounds. Estuarine Coastal and Shelf Science, 69(1-2), p96-106.
- Laroche J., 2001. Thème 1 : Impact d'une contamination chimique sur des poissons estuariens à différents niveaux d'organisation biologique : individu et population. Seine-Aval 2, p1-32.
- Le Pape O., Gilliers C., Riou P., Morin J., Amara R., 2007. Convergent signs of degradation of both the capacity and the quality of an essential fish habitat: synthesis on the Seine estuary (France), an highly anthropised estuary of which flatfish nursery function is altered. Hydrobiologia, 588, p225-229.
- Marchand J., Quiniou L., Riso R., Thebaut M.T., Laroche J., 2004. Physiological cost of tolerance in the European flounder *Platichthys flesus*, along the French Atlantic Coast. Aquatic Toxicology, 70, p327-343.
- Minier C., 2002. Thème 1 : Etude des perturbations du système reproducteur des populations de poissons (flet, gobbie) en estuaire et baie de Seine. Seine-Aval 2, p1-11.
- Morin J., Duhamel S., De Roton G., 2010. Poissons, habitats et ressources halieutiques : Cas de l'estuaire de la Seine. Fascicule Seine-Aval 2.5, 76p., ISBN 2-84834-057-6.
- Poisson E., Fisson C., Amiard-Triquet C., Burgeot T., Couteau J., Dur G., Durand F., Forget-Leray J., Letendre J., Souissi S., Xuereb B., 2011. Effets de la contamination chimique. Des organismes en danger ? Fascicule Seine-Aval 2.7, 68p., ISBN 2-84834-059-2.
- Riou P., Le Pape O., Rogers S.L., (2001). Relative contributions of different sole and plaice nurseries to the adult population in the eastern Channel : application of a combined method using generalized linear model and a geographic information system. Aquatic Living Resources, 14, p125-135.
- Rochette S., Rivot E., Morin J., Mackinson S., Riou P., Le Pape O., (2010). Effect of nursery habitat degradation on flatfish population: Application to *Solea solea* in the Eastern Channel (Western Europe). Journal of Sea Research, 64(1-2), p34-44.
- Wessel N., Santos R., Ménard D., Le Menach K., Buchet V., Le Bayon N., Loizeau V., Burgeot T., Budzinski H., Ackcha F., (2010). Relationship between PAH biotransformation as measured by biliary metabolites and EROD activity, and genotoxicity in juveniles of soles (*Solea solea*). Marine Environmental Research, 69, p571-573.

Cette fiche thématique s'intègre dans le système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine.

Elle est éditée par le Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval
12 avenue Aristide Briand
76000 Rouen
www.seine-aval.fr

Conception, rédaction :
GIP Seine-Aval,
Président :
Nicolas Mayer-Rossignol
Directeur : Loïc Guézennec
Contact :
gipsa@seine-aval.fr
Infographie :
Quai 24, Le Havre
Crédits photos :
GIP Seine-Aval ;
Tirage : 1000 exemplaires
Impression réalisée sur
papier écolabélisé

Le GIP Seine-Aval est financé par :

