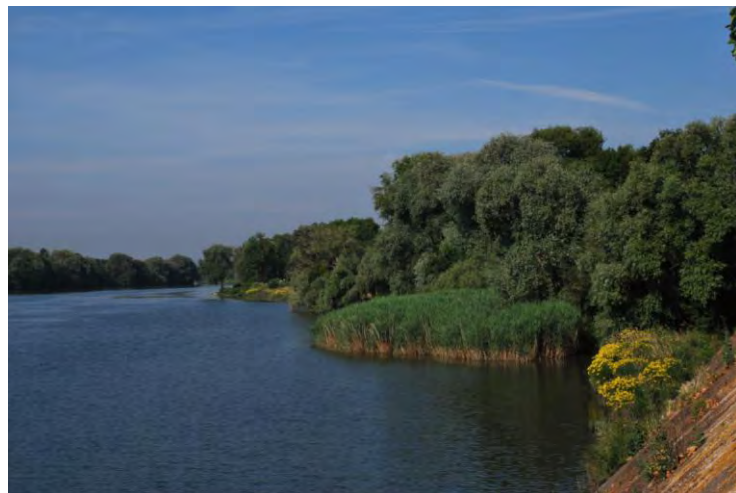


Rapport Seine-Aval 4



THALASSOTOK

Colonisation et utilisation des habitats
estuariens par les poissons
migrateurs thalassotoques.
Approche comparative Seine-Gironde.



Rochard E., Le Pichon C., Budzinski H., Cachot J., Duhamel S.



Octobre 2012



GIP Seine-Aval
Pôle Régional des Savoirs
115 Bd de l'Europe
76 100 - Rouen

tel : 02 35 08 37 64
<http://www.seine-aval.fr>

Colonisation et utilisation des habitats estuariens par les poissons migrateurs thalassotoques : approche comparative Seine-Gironde (projet « Thalassotok »)



Coordinateur : Eric Rochard

Participants : Magalie Baudrimont⁴, Hélène Budzinski⁴, Marie Bunel², Jérôme Cachot⁴, Patrick Chèvre¹, Christelle Clérandeau⁴, Julien Coustillas¹, Françoise Daverat¹, Nicolas Delorme¹, Julien Dublon¹, Sylvain Duhamel³, Bénédicte Durozoi¹, Mélissa Eon¹, Christine Gazeau-Nadin¹, Patrice Gonzalez⁴, Patrick Lambert¹, Stéphanie Larrieu⁴, Romaric Le Barh¹, Céline Le Pichon², Jean Martin¹, Bénédicte Morin⁴, Anaïk Pichon⁴, Maud Pierre¹, Eric Rochard¹, Charles Roqueplo¹, Emmy Rouleau¹, Thomas Trancart¹, Amandine Zahm²

¹ Irstea UPR Ecosystèmes estuariens et Poissons migrateurs amphihalins (EPBX), Cestas

² Irstea UPR Hydrosystèmes et Bioprocédés (HBAN), Antony

³ Cellule de Suivi du Littoral Normand (CSLN), Le Havre

⁴ LPTC, UMR 5805 EPOC CNRS Université Bordeaux 1



Remerciements

Ce travail n'aurait pas put être effectué sans l'aide et la collaboration de nombreuses personnes. Merci à Aymeric Guibert, Daniel Mira et Guillaume Gorges (Irstea) pour leur aide à la mise en place du balisage ; à Marie Signoret et Marie-Louise Desgaudez (Irstea) et Céline Dègremont (GIP SA) pour l'opération de communication effectuée en fin de manip. Merci à Robert Lafitte et Benoit Laignel (Université de Rouen) pour avoir mis à notre disposition un espace de stockage pour notre matériel dans leurs locaux et aux personnels du GIP SA pour leur aide dans l'accès aux données et leurs coups de main toujours appréciés.

Pour citer ce document :

Rochard E., Coustillas J., Cachot J., Le Pichon C., Budzinski H., Lambert P., Bunel M., Daverat C., Roqueplo C., Clérandeau C., Baudrimont M., Gonzalez P., Larrieu S., Trancart T., Zahm A., Chèvre P., Duhamel S., Le Barh R., Gazeau-Nadin C., Dublon J., Delorme N. & Pichon A. 2012 Colonisation et utilisation des habitats estuariens par les poissons migrateurs thalassotoques : approche comparative Seine-Gironde. Rapport Irstea centre de Bordeaux n° 149 pour le programme Seine aval 4. 117 p.

Sauf mentions particulières le crédit photo est « Cemagref/Irstea »

Ce travail s'inscrit dans un projet plus large co-financé par le CPER Aquitaine et le Cemagref (devenu Irstea en février 2012).

Résumé exécutif pour les décideurs.

Ce travail vise à comparer de quelles manières les trois espèces de poissons migrateurs thalassotoques (i.e. qui se reproduisent en mer et vont grandir dans les bassins versants) fréquentant la façade Atlantique : le mulot porc, l'anguille européenne et le flet, colonisent les estuaires de la Seine et de la Gironde et effectuent leur croissance. L'hypothèse principale était que leur comportement pouvait être influencé par le niveau de contamination et de pressions anthropiques des estuaires.

La démarche retenue pour aborder ces différentes échelles de manière comparative (entre les espèces et entre deux sites situés de manière similaire en Seine et en Gironde) a consisté à examiner : i) la phase de colonisation initiale à un stade très jeune par une approche expérimentale en mésocosme ; ii) la phase de croissance par un suivi en télémétrie acoustique en période estivale ; iii) l'ensemble du cycle vital par une analyse rétrospective à l'aide de la microchimie des otolithes des différents compartiments halins utilisés.

Les trois niveaux d'analyse effectués avec des méthodes différentes permettent de dégager des patrons spécifiques (colonisation initiale, phase de croissance, cycle de vie) mais les différences entre les sites ne sont vraiment claires qu'à l'échelle très globale de l'utilisation des différents compartiments.

Contrairement à notre hypothèse de départ les jeunes migrateurs thalassotoques parviennent à adopter un comportement spécifique en phase avec un rythme de type circadien ou nyctéméral y compris dans une ambiance de type Seine (très chargée en contaminants). Leur comportement est d'ailleurs peu différent dans les ambiances Seine ou Gironde. Il est donc tout à fait possible qu'ils ne soient pas extrêmement perturbés par les contaminants issus des sédiments que ce soit en Seine ou en Gironde. On notera toutefois que les civelles ont construit moins de terriers dans le sédiment de l'ambiance Seine que dans celui de l'ambiance Gironde, on peut imaginer que la plus forte contamination du sédiment de Seine les en dissuade. La fonctionnalité de corridor écologique ne semble donc pas empêchée par la contamination des sédiments.

Durant leur phase de croissance en zone tidale d'eau douce les espèces étudiées utilisent des habitats différents selon des patrons temporels spécifiques (par exemple les mulots porcs utilisent les zones intertidales et les bras morts lors des flots de jours ; durant le jour les anguilles demeurent à l'abri dans des enrochements grossiers tandis que durant la nuit elles se déplacent dans des zones profondes à la recherche de leurs proies). Les résultats obtenus sur la Seine sont cohérents avec ceux obtenus sur la Gironde, ainsi dans les deux cas les flets recherchent de zones fraîches (ombre en Gironde, embouchures d'affluents plus frais en Seine), les anguilles présentent une activité principalement nocturne.

La réaction des espèces au stress du marquage est très différente selon les espèces. Les mulots quittent très vite le secteur tandis que les anguilles et les flets sont au contraire extrêmement immobiles en "attendant" que leur condition s'améliore. Un épisode hypoxique observé en fin d'été sur la Seine a coïncidé avec un immobilisme des anguilles laissant penser que leur réaction à un stress environnemental pourrait se traduire par le même type de comportement que leur réaction au marquage.

Les mulots de la Seine semblent moins inféodés à l'estuaire saumâtre que les mulots de la Gironde, ceci pourrait s'expliquer par la plus grande dimension de l'estuaire de la Gironde. Les anguilles de la Seine et de la Gironde présentent une grande variabilité d'histoires de vie mais on ne peut pas dégager de différences d'utilisation notables des habitats entre la Seine et la Gironde. Chez les flets la contribution des mères ayant utilisé l'eau douce est relativement plus importante en Seine qu'en Gironde. On en déduit une utilisation plus importante des habitats d'eau douce par les flets de Seine en comparaison avec les flets de la Gironde.

Il en ressort globalement que les habitats dulcaquicoles de la Seine (très diversifiés : bathymétrie, substrat, ripisylve...) sont proportionnellement plus utilisés par les espèces thalassotoques que ceux de Gironde. Cela peut s'expliquer par une moindre attractivité (ou une moindre capacité d'accueil) de l'estuaire saumâtre de la Seine ou au contraire par une plus grande attractivité (ou une plus grande capacité d'accueil) de l'estuaire dulcaquicole de la Seine. Les comportements mis en évidence sur ces secteurs pourraient servir de référence pour des opérations de restauration.

Sommaire

1.	Introduction.....	8
1.1.	Contexte et enjeux	9
1.2.	Objectifs.....	10
2.	Hypothèses et objectifs du projet	10
2.1.	Sites d'étude	11
2.1.1.	Localisation et caractéristiques	11
2.1.2.	Caractéristiques des sites	13
2.2.	Méthodes	15
3.	Phase de colonisation initiale.....	16
3.1.	Contexte, état des connaissances	16
3.2.	Objectifs.....	16
3.3.	Méthodes retenues	16
3.3.1.	Principe	16
3.3.2.	Dispositif expérimental	17
3.3.3.	Sédiments	18
3.3.4.	Protocole expérimental.....	19
3.3.5.	Analyse de la contamination	20
3.3.6.	Procédure de dépouillement des enregistrements	22
3.3.1.	Outils d'analyse des données	26
3.4.	Conditions d'exposition.....	27
3.4.1.	Sédiments.....	27
3.4.2.	Aliments.....	30
3.4.3.	Eau	30
3.4.4.	Bilan	32
3.5.	Poissons	32
3.5.1.	Caractéristiques biométriques	32
3.5.2.	Mortalités lors des expérimentations	34
3.5.3.	Résultats des analyses comportementales	35
3.5.4.	Observations complémentaires	45
3.5.5.	Charge en contaminants organiques.....	46
3.5.6.	Réponse écotoxicologique	47
3.6.	Interprétations croisées, conclusions sur la phase de colonisation initiale	50

4.	Utilisation des habitats estuariens	52
4.1.	Contexte	52
4.2.	Objectifs.....	53
4.2.1.	Utilisation des habitats.....	53
4.2.2.	Réactions aux stress environnementaux.....	53
4.3.	Matériel et methods.....	54
4.3.1.	Caractérisation des habitats.....	54
4.3.2.	Cartographie des habitats	56
4.3.3.	Analyses de données et analyses spatiales	60
4.3.4.	Matériel retenu	62
4.3.5.	Protocole de suivi	65
4.3.6.	Poissons suivis	68
4.4.	Résultats	70
4.4.1.	Analyse bilan des détections par individu	70
4.5.	Identification de la période post-marquage	72
4.6.	Trajectoires et paramètres de mouvements en lien avec l'environnement.....	75
4.7.	Etude des domaines vitaux	80
4.8.	Préférences d'habitat dans les centres d'activités du domaine vital.....	85
4.8.1.	Zones intertidales	85
4.8.2.	Hauteur d'eau.....	87
4.8.3.	Substrat de fond	87
4.9.	Conclusion	88
4.10.	Perspectives.....	89
4.10.1.	Habitats utilisés	Erreur ! Signet non défini.
4.10.2.	Réactions au stress du marquage.....	Erreur ! Signet non défini.
4.11.	Discussion	Erreur ! Signet non défini.
4.11.1.	Dispositif et protocole	Erreur ! Signet non défini.
4.11.2.	Stress post marquage	Erreur ! Signet non défini.
4.12.	Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
5.	Histoires de vie (approche à large échelle : estuaire, années de vie du poisson).....	90
5.1.	Matériel et méthodes.....	90
5.1.1.	Collecte des otolithes	90
5.1.2.	Préparation et Analyses	92
5.2.	Résultats	92
5.2.1.	Analyse par espèce, comparaison entre la Seine et la Gironde	93

6.	Productions effectuées grâce à ce projet.....	97
6.1.	Articles dans des revues à comité de lecture	97
6.2.	Mémoires d'élève.....	97
6.3.	Communications orales.....	97
6.4.	Communications dans les médias	98
7.	Références bibliographiques citées dans le texte	99
8.	ANNEXES.....	104

1. Introduction

Les travaux menés jusqu'à lors sur les poissons de l'estuaire de la Seine ont permis de lister et de cartographier les principales espèces présentes (cf. notamment Rochard et al., 1997b et les différents travaux de Duhamel). La sole a fait l'objet de travaux approfondis sur les secteurs aval (travaux de Lepape, Morin et al.) et un modèle de favorabilité d'habitat a même été proposé pour cette espèce (Gilliers et al., 2006). L'éperlan petite espèce migratrice d'intérêt halieutique redevenue abondante dans la Seine a également fait l'objet d'analyses spécifiques (cf. notamment Gouneau et al., 2005). Récemment nous avons examiné les possibilités futures pour les poissons migrateurs sur la Seine, leur intérêt emblématique pour accompagner la restauration de l'estuaire en croisant des approches écologiques et anthropologiques (Rochard et al., 2007). Les observations en 2008 de grandes aloses en amont de Poses (Baglinière, com. pers.) et de saumons atlantiques dans la chambre de vision du barrage de Poses (cf. communiqués du SIAAP et article de Perrier et al (2010)) ou plus à l'amont encore en 2012 confirment le renouveau d'attractivité du bassin, la possibilité pour ces espèces de traverser l'estuaire de la Seine ainsi que l'intérêt médiatique attaché au retour de ces poissons dans le bassin de la Seine.

Dans un contexte difficile de gestion de la ressource en eau et de réchauffement climatique, les espèces migratrices qui, compte tenu de leurs exigences écologiques, ont le plus de chance de demeurer abondantes à échéance d'un siècle sont les espèces thalassotoques¹ (Figure 1). Principalement parce que leurs zones de reproduction marines sont moins directement impactées par les activités humaines que celles des espèces potamotoques (Figure 1). D'où l'intérêt d'examiner leurs exigences en matière de qualité des habitats d'eau douce ou saumâtre ainsi que la manière dont les individus les fréquentent. Les migrateurs thalassotoques sont par ailleurs les premières espèces migratrices capables de recoloniser des bassins versants désertés, d'où l'intérêt porté à ces espèces dans le cas de bassins avec de fortes pressions régionales mais en phase de restauration comme la Seine.

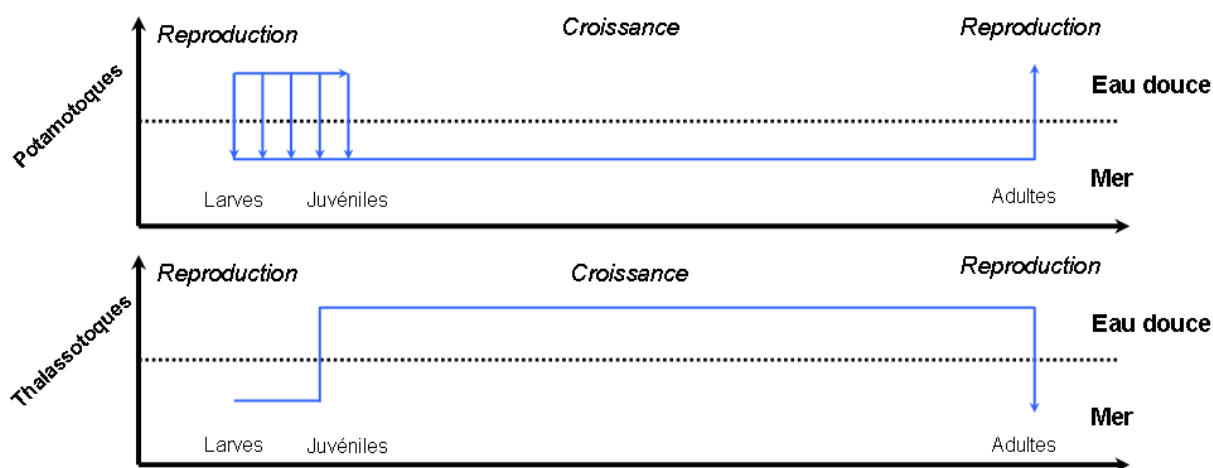


Figure 1 Patrons de migrations entre les deux biomes pour les espèces migratrices amphihalines, selon les deux groupes écologiques présents en France métropolitaine : les potamotoques et les thalassotoques. L'échelle spatiale est présentée en ordonné, de la mer vers les zones dulçaquicoles. L'axe des abscisses représente l'échelle temporelle individuelle ; les stades biologiques y sont précisés. Les épisodes majeurs de l'histoire de vie des individus sont représentés au dessus de chaque figure. (d'après Trancart, 2011a)

¹ Les espèces migratrices qui se reproduisent en mer et grandissent dans les eaux continentales.

Pour aller plus loin dans l'idée de restaurer les fonctionnalités de l'anthroposystème estuaire de la Seine et en complément des travaux déjà réalisés nous avons proposé de nous intéresser à la façon dont les trois espèces migratrices thalassotoques européennes utilisent les habitats estuariens de la partie amont de l'estuaire.

Notre proposition s'intéresse aux fonctionnalités écologiques des secteurs oligohalins et dulçaquicoles des estuaires atlantiques. Elle a pour ambition finalisée, par une approche comparative entre estuaires et entre secteurs, i) de fournir des éléments originaux sur la façon dont ces poissons colonisent ces milieux puis utilisent les habitats estuariens durant leur phase de croissance ; ii) en fournissant une référence en terme de fonctionnalités (déplacements, utilisation des habitats (rythmes, liens avec les activités humaines) de relativiser l'influence de certaines pressions anthropiques régionales sur cette utilisation et iii) de fournir des éléments de jugement quant à la qualité des estuaires ou secteurs estuariens du point de vue de leur utilisation et donc de hiérarchiser les aménagements ou mesures envisageables pour restaurer ses fonctionnalités.

Les interprétations ont été menées de façon relative entre les bassins (le niveau d'abondance des espèces n'a pas été interprété car il est considéré comme dépendant d'autres facteurs comme par exemple la position géographique des bassins par rapport aux aires de distribution des espèces (Béguer et al., 2007).

De manière plus fondamentale cette proposition a permis d'analyser comparativement et à plusieurs échelles les différentes tactiques mises en œuvres par les poissons migrateurs thalassotoques : l'Anguille européenne *Anguilla anguilla*, le Mulet porc *Liza ramada* et le Flet *Platichthys flesus* pour coloniser les eaux continentales et y accomplir leur croissance.

1.1. Contexte et enjeux

Les directives cadre européenne sur l'eau (CEE 2000) et habitats faune et flore (CEE 1992) incitent à l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau et à la protection des habitats essentiels de ces espèces migratrices thalassotoques.

Dans le contexte actuel ces espèces sont celles qui a priori (compte tenu de leurs exigences écologiques) ont le plus de chance de demeurer abondantes (voire plus qu'aujourd'hui) à échéance d'un siècle. Elles ont en effet un avantage évolutif dans les zones les plus chaudes où les eaux continentales ont une productivité plus forte que les zones marines (Gross et al., 1988). Ceci s'accompagne d'une bonne tolérance aux températures élevées (Béguer, et al., 2007) et à des environnements dégradés (Lassalle et al., 2009) ce qui n'exclue pas une influence de la qualité de l'environnement sur certaines de leurs caractéristiques : morphologiques (Fornbacke et al., 2002), physiologiques (Janssen et al., 1995 ; Gill et al., 2002), comportementales, pathologiques. Pour ces raisons le flet et l'anguille sont utilisés comme espèces sentinelles permettant d'évaluer la contamination des milieux (Burgeot et al., 1999)

On constate par ailleurs que ces espèces sont parmi celles pour lesquelles la durée du séjour dans les eaux continentales (eau douce + estuaire) est proportionnellement la plus importante (Figure 2). Cela renforce l'intérêt d'examiner leurs exigences en matière de qualité des habitats d'eau douce ou saumâtre ainsi que la manière dont les individus les fréquentent.

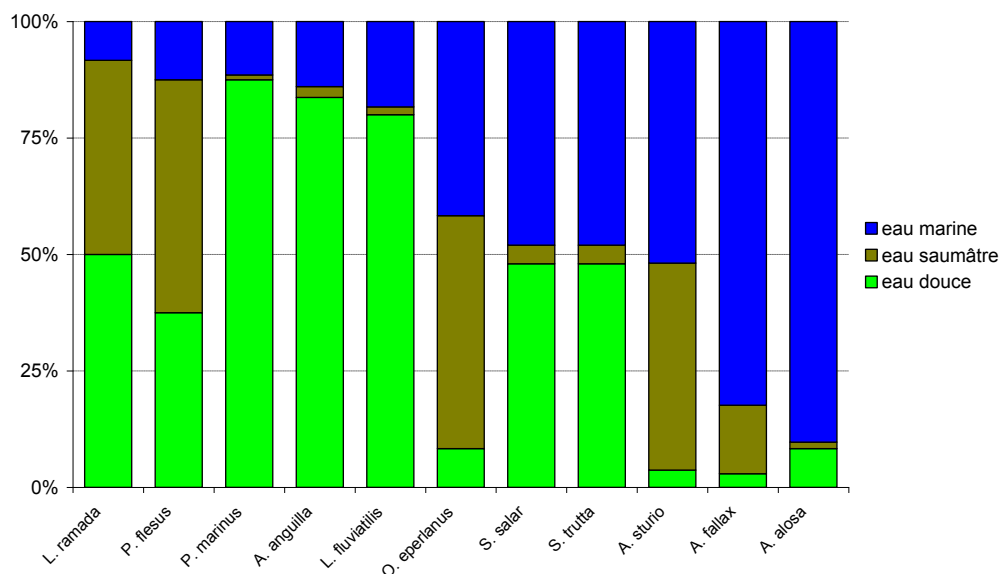


Figure 2 : Durée relative des phases eau douce, estuaire, eau de mer des différentes espèces migratrices présentes en France, avant la première reproduction. Classement par importance croissante de la phase marine.

1.2. Objectifs

Il s'agit de préciser et de comprendre de quelles façons (tactiques) ces espèces colonisent des estuaires macrotidaux comme ceux de la Seine ou de la Gironde et de quelles manières les caractéristiques de ces environnements (vus à différentes échelles et en liaison avec les pressions régionales) peuvent influencer sur leurs déplacements, leurs séjours dans différents habitats fonctionnels et donc leur participation au fonctionnement de l'écosystème. Réciproquement cela nous permet de qualifier de quelles façons les secteurs étudiés contribuent à l'accomplissement de cette fonction de croissance et de relativiser l'influence des pressions régionales.

L'essentiel de nos connaissances sur les migrateurs thalassotoques est basé sur l'anguille, espèce d'intérêt halieutique considérée comme modèle écologique, mais le groupe n'est pas écologiquement homogène (Trancart, 2011b). De par leur morphologie, leur comportement social et leur régime alimentaire, nous avons posé l'hypothèse que les trois espèces retenues ne réalisent pas cette colonisation et cette utilisation des habitats selon les mêmes processus.

2. Hypothèses et objectifs du projet

Ce travail se situe à plusieurs échelles spatiale et temporelle de la vie des individus.

Lors de leur colonisation des bassins versants (Figure 3, phase 1), les poissons migrateurs thalassotoques mettent en œuvre des tactiques comportementales spécifiques qui nécessitent une bonne perception de leur environnement. Cette perception peut varier selon les caractéristiques de l'environnement et notamment son niveau de pollution. En réponse on s'attend à ce que les tactiques mises en œuvre par les jeunes individus d'une espèce en phase de colonisation initiale puissent, selon la qualité de cette perception, différer selon l'environnement dans lequel ils évoluent.

Durant leur phase de croissance dans les eaux continentales (Figure 3, phase 2) l'utilisation de l'espace par les différentes espèces migratrices thalassotoques varie en fonction des traits écologiques des espèces. Selon les bassins versants on s'attend à ce que les individus utilisent des domaines vitaux plus ou moins conséquents, en réponse notamment aux ressources disponibles. On imagine également que leurs rythmes d'activités puissent varier selon les espèces et les

environnements (par exemple en fonction de la turbidité de l'eau ou des activités anthropiques) et qu'elles aient des réactions différentes lors des périodes difficiles.

Enfin plus globalement (Figure 3, phase 3) à l'échelle de la population utilisant un bassin versant, nous faisons l'hypothèse que les individus effectuent des séjours plus ou moins longs et plus ou moins continus dans les différents compartiments (estuaire, mer), en fonction, d'une part de leurs possibilités de croissance, et d'autre part de leur résistance aux éventuels épisodes difficiles (hypoxie, températures hors de la gamme de tolérance, pollution).

Les objectifs de ce travail visaient donc à tester s'il était possible de mettre en évidence ces différences comportementales pour des bassins versants *a priori* assez contrastés, et de caractériser ces différences. Nous nous sommes également attaché à examiner d'éventuelles adaptations physiologiques des individus à ces environnements comme les éventuels dommages subis.

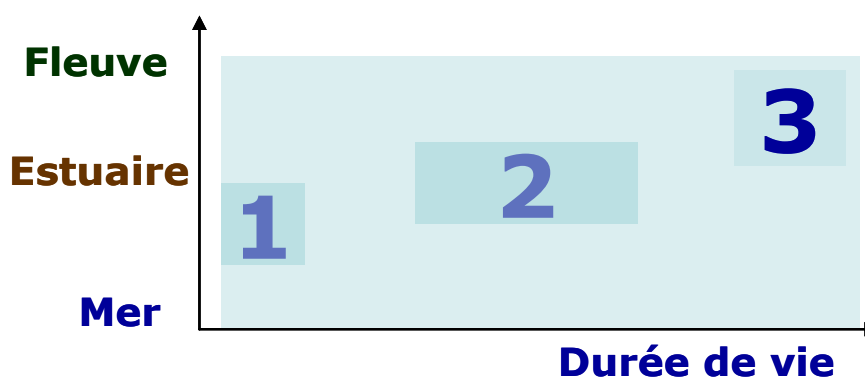


Figure 3 Articulation des différentes échelles abordées dans le projet. 1) Colonisation initiale, 2) Habitat de croissance, 3) Cycle de vie

2.1. Sites d'étude

Les deux sites retenus sont situés à des positions équivalentes dans leurs bassins versants, à l'amont d'estuaire macrotidaux, en eau douce soumise à marée dynamique. Connectés sans obstacles depuis la mer, ils sont par contre soumis à des pressions anthropiques d'intensité très différente, le premier : la zone des îles de l'estuaire de la Seine se situe dans un environnement nettement plus anthropisé (trafic fluvial important, nombreuses industries chimiques à l'aval, agglomérations importantes, chenalisation marquée, endiguements) que le second : une zone située à l'amont de l'estuaire de la Gironde, sur l'Isle, un affluent de la Dordogne (zone de polyculture agricole, pas de navigation, pas de modification hydromorphologique majeure, petites agglomérations rurales). Dans le premier site il y a seulement de la pêche de loisir alors que dans le second il y a également une activité importante de pêche commerciale (Girardin & Castelnaud, 2011).

2.1.1. Localisation et caractéristiques

2.1.1.1. La zone des îles de l'estuaire de la Seine

La zone d'étude correspond à la partie la plus amont de l'estuaire, elle est soumise à l'influence de la marée dynamique mais est située intégralement en eau douce. Ses limites sont à l'amont le barrage de Poses (pk 202) et à l'aval l'agglomération de Rouen (pk 247). Selon l'importance des marées et du débit fluvial le marnage varie entre 2,10 et 3,60 m à Rouen et entre 0 et 1 m à Poses (Peyras, 2008). La profondeur est relativement faible en comparaison avec le secteur à l'aval de Rouen. Le débit fluvial varie de 200 m³/s (étiage) à 1600 m³/s (crue) (Peyras, 2008)

Ce site s'étend sur une distance hydrographique de 45 km, on peut y distinguer deux secteurs (Grün, 1997). Le secteur amont, du barrage de Poses à la confluence avec l'Eure est composé d'un chenal

rectiligne présentant des facies sédimentaires de type cailloutis ; il est peu diversifié en habitat. Le secteur aval, de la confluence avec l'Eure à l'agglomération Rouennaise est plus sinueux avec de nombreuses îles et bras morts. Il se distingue du précédent par une zone intertidale importante et de nombreux bras secondaires.

En termes de paysage ce site est relativement préservé avec notamment la présence d'îles de part et d'autres du chenal de navigation. Il faut toutefois noter que les berges ont été renforcées par différentes sortes de remblais sur de grands linéaires, même si une partie est classée Natura 2000. D'un point de vue géologique, cette partie de la Seine aval est composée d'une portion du crétacé supérieur constituée de calcaires perméables (craies) (Belliard 1994).

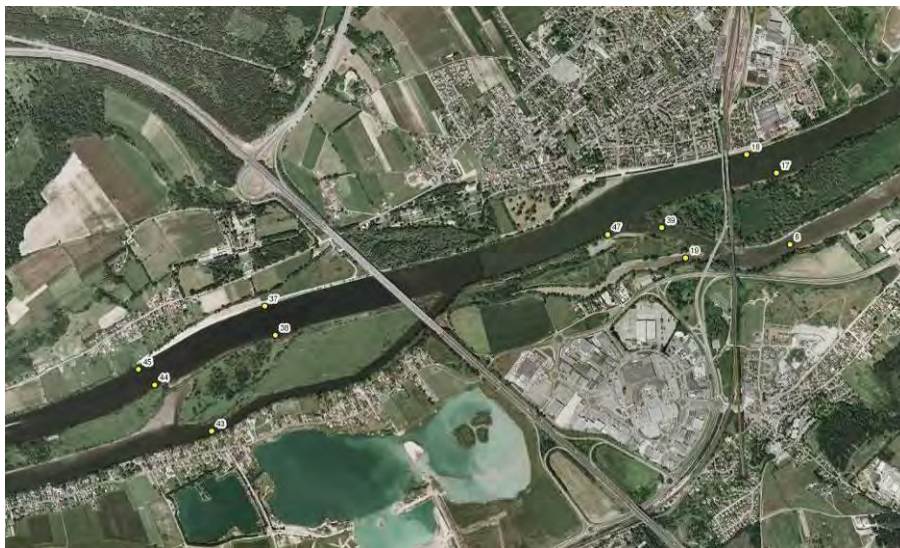


Figure 4 Seine, le secteur des îles près d'Oissel (amont à gauche) se caractérise par un chenal de navigation et bras latéraux plus ou moins connectés avec le cours principal.

2.1.1.2. Le système fluvio-estuarien Isle-Dronne-Lary

Sur la Gironde, le site sélectionné correspond aux parties basses de l'Isle, de la Dronne et du Lary. Il est limité à l'aval par la commune de Guitres et à l'amont par les barrages de Laubardemont sur l'Isle, de Coutras sur la Dronne. Sauf besoin particulier il sera mentionné sous le terme « Gironde » dans le reste de ce document.

L'Isle, rivière centrale du site prend sa source dans le Massif Central et se jette dans la Dordogne à Libourne 255 km plus loin. Soumise à l'influence de la marée dynamique sur tout le secteur, son débit peut passer de 16 m³/s (étiage) à 120 m³/s (crue), la largeur moyenne de ce cours d'eau est de 60 m. La Dronne et le Lary sont deux affluents rive droite de l'Isle. La confluence entre la Dronne et l'Isle se fait au niveau de Coutras à 201 km de la source. Le Lary se jette dans l'Isle au niveau de Guîtres. Il prend sa source en Charente et se jette dans l'Isle après 53 km. En fonction de la saison la largeur et la profondeur du Lary peut varier énormément. Ainsi entre juin et septembre 2008 sa profondeur avant sa confluence est passée de plus de 6,0 m à moins de 0,2 m. La vallée du Lary fait partie du réseau Natura 2000 pour la conservation d'espèces européenne menacées notamment au titre de la lamproie de planer *Lampetra planeri*.

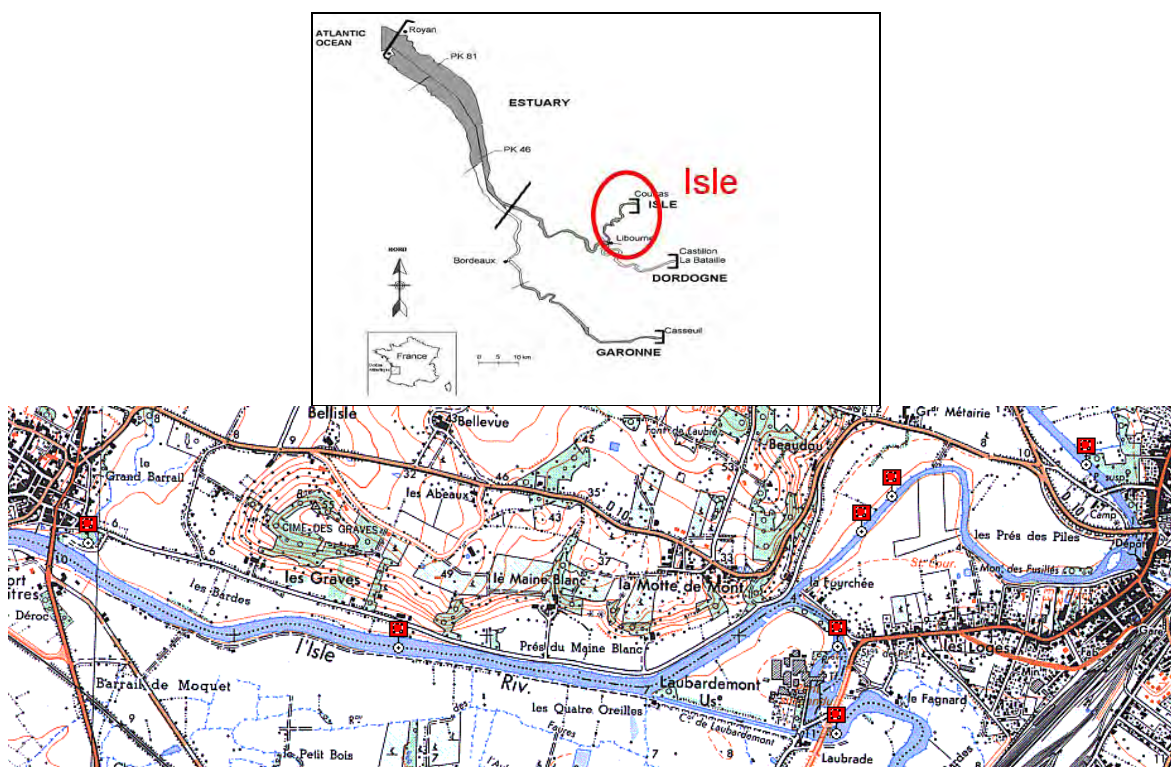


Figure 5: Situation du secteur Isle-Dronne-Lary retenu pour l'estuaire de la Gironde

2.1.2. *Caractéristiques des sites*

Les deux sites à la base de notre analyse comparative diffèrent principalement par l'intensité des pressions anthropiques auxquelles ils sont soumis (Tableau 1).

Tableau 1 Pressions anthropiques relatives sur les deux sites (appréciées qualitativement de X faible à XXX très forte)

Type de pressions	Seine	Gironde
Hydromorphologique	XXX	X
Chimique (industrielle)	XXX	X
Urbaine	XXX	X
Navigation	XXX	X
Halieutique	X	XXX

Il est aussi possible d'apprécier des différences majeures concernant la pression morphologique sur les berges et le lit (chenalisation, enrochement, quais, darses, ...). Elle est importante sur la Seine alors que sur l'Isle aval cette pression est très limitée. Le débit de la Seine est régulé par de nombreux ouvrages en amont et le barrage de Poses contrôle le débit sur la partie estuarienne avec notamment des consignes liées à la navigation. Il existe des ouvrages à l'amont du secteur Gironde qui peuvent modifier "mécaniquement" le régime hydrologique aval en retardant par exemple l'arrivée d'une crue mais sans que cela ne soit piloté par des consignes.



Figure 6 Barrages de Poses sur la Seine (gauche), de Laubardemont sur l'Isle (milieu) et de Coutras sur la Dronne (droite)

Enfin, la pression induite par la navigation commerciale est très importante sur le secteur de l'estuaire amont de la Seine avec de nombreuses péniches et barges de transports et des navires de tourisme alors qu'elle est restreinte à de menues embarcations de plaisance au niveau du site retenu sur la Gironde. Ceci induit également des différences en termes de contamination notamment lorsque l'on considère les hydrocarbures.



Figure 7 Différentes vues du secteur des Iles près d'Oissel, sur la Seine



Figure 8 Différentes vues du secteur Isle (deux lignes du haut), Dronne (3eme ligne) et Lary (ligne du bas)

2.2. Méthodes

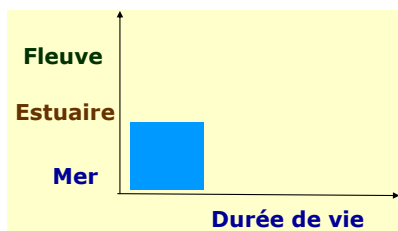
Nous avons retenu des méthodes différentes pour aborder les trois échelles (Figure 3).

La phase de colonisation initiale concerne de jeunes individus de petite taille (de 2 cm pour les jeunes mulets à 9 cm pour les civelles d'anguille), leur observation sur le terrain est difficile et il n'est pas possible de les suivre, ni d'y analyser finement leur comportement. L'approche expérimentale retenue permet une observation rigoureuse des spécimens en mouvement dans des conditions environnementales contrôlées.

Pour l'analyse de la phase de croissance nous avons choisi de suivre les déplacements d'un petit nombre d'individus et leur utilisation des différents habitats par télémétrie. Les résultats de l'expérience faite sur la Seine durant l'été 2009 ont été comparés à ceux d'une expérience similaire réalisée sur l'Isle durant l'été 2008 (Trancart, 2011a).

Enfin l'approche globale du cycle de vie dans les deux bassins a été abordée en utilisant les otolithes des poissons comme des enregistreurs des compartiments fréquentés par les individus des différentes espèces au cours de leur vie.

3. Phase de colonisation initiale



3.1. Contexte, état des connaissances

Il s'agit d'établir selon quels processus et avec quelle efficacité ces espèces colonisent le milieu estuarien. On sait que pour traverser les zones soumises à l'influence de la marée la civelle d'anguille (Lambert, 1994 ; Lambert et al., 1995 ; Lambert, 2005 ; Bolliet et al., In press) et les jeunes flets (Jager & Mulder, 1999 ; Jager, 2001 ; Jager, 2002) mettent en œuvre un processus comportemental de transport tidal sélectif (Forward & Tankersley, 2001), c'est à dire qu'ils utilisent le vecteur de marée quand il leur est favorable et s'abritent sur le fond quand il leur est défavorable. Qu'en est-il pour les jeunes mulets qui traversent les mêmes secteurs à peu près à la même période (hiver) ?

3.2. Objectifs

Il s'agit ici de tester : i) si les tactiques déployées par les trois espèces sont identiques ii) si la contamination du sédiment et indirectement de l'eau modifie les réponses biologiques, les niveaux de contamination et le comportement migratoire de jeunes poissons thalassotoques ; iii) s'il y a une adaptation de ces poissons à la contamination de l'eau et des sédiments de leur lieu d'origine.

3.3. Méthodes retenues

3.3.1. Principe

Pour coloniser les estuaires les jeunes poissons migrateurs thalassotoques nés en mer (flet, mulot, anguille) utilisent une tactique particulière nommée transport tidal sélectif (Forward & Tankersely, 2001). Cette tactique leur permet d'utiliser les courants de marée favorables mais nécessite une bonne perception de leur environnement. Afin de comparer la manière dont les trois espèces se comportent des expérimentations en mésocosme ont été réalisées avec des poissons originaires de la Seine et de la Gironde dont nous avons analysé le comportement pendant des expositions de 15 à 20 jours à des « ambiances » chimiques reconstituées de Seine et de Gironde.

L'utilisation de structures expérimentales présente la possibilité de contrôler les facteurs environnementaux et d'analyser finement les comportements. Il est toutefois nécessaire de garder à l'esprit qu'une expérimentation en milieu expérimental reste une simulation des conditions environnementales. L'interprétation de données issues de structures expérimentales nécessite donc une certaine prudence quant à leur transposition au milieu naturel.

Pour cela nous avons placé dans chaque mésocosme des sédiments naturels provenant des secteurs retenus (secteur des îles de la Seine et secteur Isle-Dronne-Lary), ou neutre (sable de carrière). Ces sédiments porteurs d'une partie de la signature chimique et éco toxicologique de ces milieux sont susceptibles d'induire une contamination indirecte de l'eau et des organismes.

Nous avons alors simulé le fonctionnement hydraulique d'une zone estuarienne (alternance du sens du courant dans les structures) et l'alternance de phases nocturnes et diurnes. Le comportement des poissons a été enregistré par vidéo sur une durée de trois semaines. Il a ensuite été dépouillé et

analysé afin d'estimer les perturbations éventuelles du comportement et de la physiologie des individus.

3.3.2. **Dispositif expérimental**

3.3.2.1. *Démarche générale adoptée*

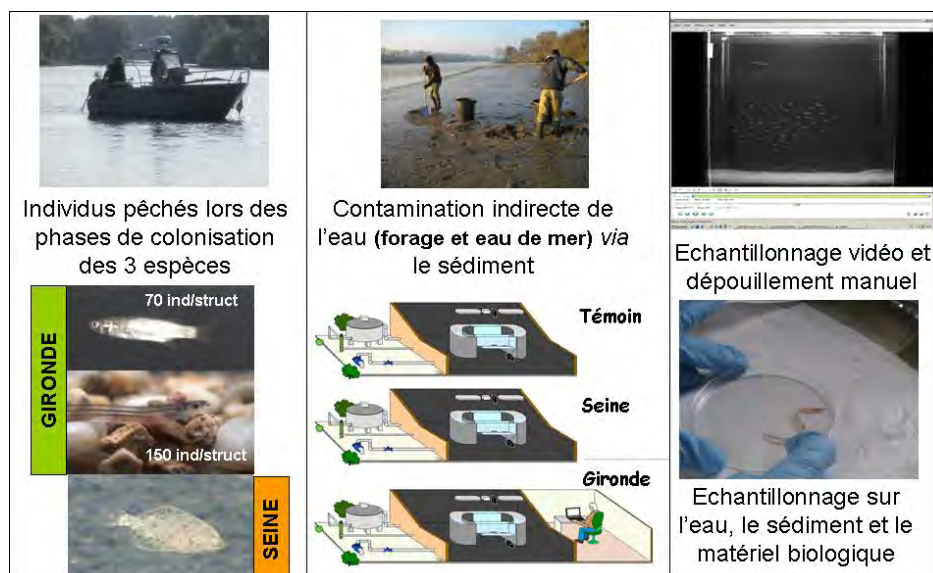


Figure 9 : Récapitulatif synthétique de la démarche expérimentale adoptée (à gauche, de haut en bas jeune mulet, civelle, jeune flet)

3.3.2.2. *Présentation des dispositifs expérimentaux*

SCOLA II est un dispositif expérimental d'observation des jeunes stades de poissons, permettant l'étude de leurs déplacements et de leur préférences d'habitats. Ce dispositif autorise la libre circulation des poissons, permettant d'étudier leurs déplacements, sur des périodes de plusieurs semaines.

Il est composé de trois chenaux ellipsoïdes en circuit fermé indépendants, situés chacun dans une salle sans fenêtre et isolée thermiquement. Chaque chenal (8 m de longueur total au centre), supporté par une structure en aluminium, est relié à une plate-forme technique extérieure rassemblant les organes techniques (pompes, vannes, filtres et systèmes de thermorégulation). Un local technique abrite les ordinateurs de gestion des trois systèmes ainsi que toutes les commandes électriques. L'ensemble du système est géré par un automate programmable (Sofrel © S500).

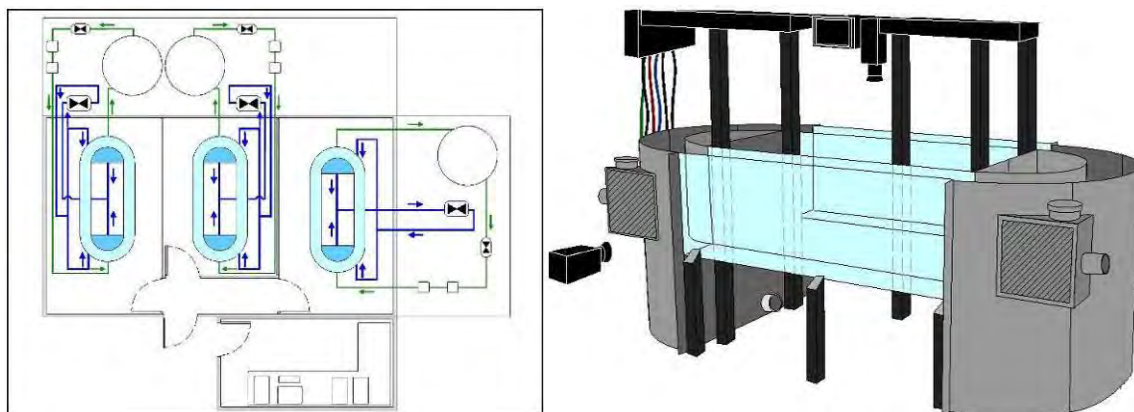


Figure 10 : Plan de masse des circuits hydrauliques du dispositif expérimental Scola II (g) et vue globale d'une structure d'expérimentation (d)

Chaque structure a été filmée par une caméra Sony N/B équipée d'un filtre à infrarouge (550 nm). Des projecteurs à infra rouge ont fonctionné en continu pendant les phases nocturnes et diurnes.

Le champ des caméras a été placé au milieu de chaque chenal, loin des injecteurs afin de limiter leur influence hydraulique. L'enregistrement s'effectue en 25 images / sec pendant 1 minute toutes les 15 min. Pour une analyse contextualisée les 14 minutes restantes ont aussi été enregistrées, mais en plus faible définition (12,5 images par secondes).

3.3.3. **Sédiments**

3.3.3.1. *Collecte, conditionnement et mise en place dans les dispositifs expérimentaux*

Les sédiments ont été prélevés sur une vasière de Saint Denis de Pile sur l'Isle (Figure 4) le 30 novembre 2009 et sur la vasière d'Oissel sur la Seine (Figure 5) le 15 décembre 2009 (Figure 11). Le choix de ces sites résulte de sondages préliminaires effectués sur différentes stations des secteurs d'étude. Nous avons retenu les stations les plus contrastées en termes de contamination organique. Le sédiment témoin est du sable provenant d'une carrière de Gironde (Ets Doyeux) dont la composition a été vérifiée.



Figure 11 Prélèvement de sédiments sur la vasière d'Oissel : zone intertidale de l'estuaire amont de la Seine

Pour disposer d'une épaisseur de substrat dans les structures expérimentales d'environ 0,05 m (pour un linéaire de 9,0 m sur 0,3 m de large) nous avons dû prélever environ 135 litres pour chacune des expérimentations envisagées soit 270l/site.

Le sédiment a été prélevé à la pelle sous la couche de surface. Avant mise en sac (10 l) le sédiment a été homogénéisé mécaniquement à l'aide d'un malaxeur pour réduire au maximum l'hétérogénéité

de la matrice sédimentaire. L'eau interstitielle a été conservée. Les sacs ont ensuite été fermés et étiquetés (n° du sac, date, heure de remplissage, site de prélèvement avant congélation). Pour éviter toute contamination, un congélateur différent a été utilisé pour chaque site de prélèvement.



Figure 12 Homogénéisation des sédiments avant mise en sac et congélation

3.3.4. *Protocole expérimental*

3.3.4.1. *Mise en place des différentes ambiances*

Les sacs de sédiment ont été mis à décongeler pendant 96 heures. Le sédiment a ensuite été mélangé avec du sable lavé afin qu'il soit moins liquide (rapport volumique de 25% de sable lavé et 75% de sédiment naturel de rivière) et homogénéisé mécaniquement. La quantité de sable lavé mis en place dans la structure témoin correspond à la quantité de sable incorporé au sédiment (Seine ou Gironde).

Le sédiment (180 l par structure) a ensuite été mis en place de manière uniforme dans les structures expérimentales (cf. Figure 13).



Figure 13 Vue d'un chenal après mise en place du sédiment

Un mélange d'eau douce (forage sur le site de la station de St Seurin sur l'Isle) et d'eau de mer (forage côtier dans les Landes) a été ajouté délicatement dans les structures jusqu'à obtention d'une salinité de 5. Le volume d'eau total dans chaque structure est d'environ 5 m³.

La mise en suspension d'une partie du sédiment étant inévitable, nous avons laissé les dispositifs décanter pendant une semaine avant de lancer la simulation des conditions estuariennes (alternance de sens du courant).

Le paramétrage de l'automate a été fait à l'identique pour les trois structures. Hormis les vitesses de courant fixées arbitrairement, le paramétrage a été calé sur les conditions observées sur les sites de capture des juvéniles. Ainsi l'automate a été programmé de manière à assurer pendant les trois semaines d'exposition dans chaque structure une température de 11°C (+/- 0.5°C), une salinité de 5, une photopériode équivalente à celle observée au 15 mars sous nos latitudes (soit une photophase de 12h), une inversion du courant toutes les 12,4 h (rythme tidal marin) et une vitesse du courant de 10 cm/s.

Afin de vérifier le bon fonctionnement du dispositif nous avons enregistré toutes les 15 min pendant toute la durée de l'expérimentation la température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous, l'allumage et l'arrêt des pompes, des variateurs de vitesse et de l'éclairage.

3.3.4.2. Capture des juvéniles en milieu naturel et procédure d'acclimatation

Compte tenu des périodes de migrations des trois espèces retenues, une première expérimentation a été effectuée avec simultanément des civelles et des jeunes mulets porc et une seconde expérimentation a été effectuée plus tard avec seulement des jeunes flets.

Les civelles et les mulets ont été capturés en Gironde² à l'aide de deux filets à plancton de type bongo installés de chaque côté d'un petit bateau lors de traits d'environ 5 min. Ces filets ont un diamètre de 1,2 m, un maillage de 1,2 mm de côté et une longueur de 1,8 m.

Les flets ont été capturés avec un chalut à perche par le personnel de la Cellule de Suivi du Littoral Normand lors de traits de la même durée. Un relevé de la salinité et de la température a été effectué pour préparer l'acclimatation des poissons.

Les poissons capturés ont été transportés à température constante dans un vivier bien oxygéné. Les individus blessés ou moribonds à l'arrivée à la station d'expérimentation ont été écartés. L'acclimatation a été faite progressivement, à une très faible luminosité, d'abord dans le vivier puis dans des cages souples à mailles très fines placées dans les structures expérimentales avant de mettre les poissons dans les structures expérimentales elles mêmes. La masse d'eau n'a été mis en mouvement qu'une fois les poissons acclimatés.

Afin de pouvoir observer des variations d'activité significatives, 150 civelles et 70 juvéniles de mulets ont été introduits dans chacune des trois structures lors de notre première expérimentation. La seconde expérimentation a été effectuée avec 70 juvéniles de flet par structure.

Les juvéniles de mulot et de flet ont été nourris avec des granulés du commerce. Les civelles ne s'alimentant pas encore lors de cette écophase, aucune alimentation ne leur a été apportée.

3.3.5. Analyse de la contamination

3.3.5.1. Procédure d'échantillonnage du sédiment pour les contaminants organiques et pour la toxicologie

Les échantillons ont été réalisés à l'aide d'une cuillère préalablement nettoyée et placée sous aluminium. Afin de limiter toute contamination, Le matériel ainsi récupéré a été stocké dans des

² Malgré plusieurs sondages, une campagne dédiée et tous les efforts des personnels de la Cellule de Suivi du Littoral Normand il n'a pas été possible de capturer ou de se procurer des civelles et des jeunes mulets en provenance de la Seine.

barquettes de congélation en aluminium, placées à leur tour dans des sacs de congélation fermés. Les barquettes ont été étiquetées avec la date, l'heure ainsi que le site de prélèvement.

Les analyses ont ciblé les composés organiques suivants : HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques ; PCB : polychlorobiphenyles ; OCP : pesticides organochlores.

La toxicité des sédiments a été évaluée par le test Microtox® sur des extraits aqueux de sédiment (uniquement les polluants solubles et extractibles sont pris en compte).

3.3.5.2. *Procédure d'échantillonnage du sédiment pour les métaux*

Les échantillons ont été réalisés de la même manière que pour les contaminants organiques mais dans des tubes en polypropylène de 50 ml.

3.3.5.3. *Procédure d'échantillonnage de l'eau pour analyse des contaminants :*

Un premier échantillonnage pour les contaminants organiques a été mis en place tous les 2 à 3 jours à heure fixe par un piquage sur le circuit hydraulique. Ceci nous a permis de ne pas faire d'incursion dans les structures pour ne pas perturber le comportement des individus. L'eau a été prélevée à l'aide d'un bécher rincé intensément avec l'eau de la structure à collecter qui nous a servi à remplir des flacons de 10 ml en verre traités comme le bécher.

L'étiquetage permet de connaître la date, l'heure du prélèvement ainsi que l'ambiance concernée. Ces échantillons ont par la suite été congelés à - 20 °C avant analyse.

Un second échantillonnage a été réalisé dans des tubes en polypropylène de 50 ml en début et en fin d'expérimentation afin de réaliser un test Microtox®. Il s'agit d'un test *in vitro* rapide (5 à 30 mn) qui mesure l'inhibition du métabolisme de microorganismes luminescents (*Vibrio fischeri*) comme indicateur de toxicité. La mesure de l'émission lumineuse en présence de divers échantillons permet d'évaluer leur toxicité globale. Les substances toxiques susceptibles d'être présentes dans un milieu induisent une diminution de l'intensité lumineuse des bactéries. Ce test de toxicité aiguë à court terme, est le test bactérien de référence. Il a été appliqué à tous les domaines nécessitant une expertise écotoxicologique ainsi qu'en toxicologie pour évaluer la toxicité ou le pouvoir irritant de produits cosmétiques, ménagers, industriels, agro-alimentaire, d'effluents, de sédiments, de sols, d'eaux.

Que ce soit pour les contaminants organiques ou pour la microtoxicologie, nous avons également testé l'eau de forage utilisée.

3.3.5.1. *Evaluation du stress chimique des poissons en expérimentation*

Le stress chimique subi par les poissons a été évalué par l'analyse de l'expression de différents gènes impliqués dans les processus de détoxification (P4501A et GST), et dans la lutte anti-oxydante (SOD, catalase, glutathion peroxydase), l'excrétion des métaux (Métallothionéines), le métabolisme mitochondrial (COX) et la régulation du cycle cellulaire (P53) dans le foie des poissons. Cette analyse n'a pu être effectuée sur le mulot porc faute de données disponibles sur la séquence de ces gènes chez cette espèce. Ces mesures ont été complétées par la mesure de l'activité acétylcholinestérase dans le muscle caudal et le dosage de la quantité de métallothionéines dans les viscères des trois espèces. Enfin le test des comètes a été réalisé sur les érythrocytes de ces trois espèces afin de mesurer les dommages primaires induits sur l'ADN de ces cellules.

3.3.5.1. *Protocole de conditionnement des poissons pour analyses chimiques des contaminants organiques et pour les analyses écotoxicologiques*

Concernant la chimie organique, 40 à 50 individus ont été prélevés en début et en fin des expérimentations dans chaque ambiance pour des. L'euthanasie des individus a été réalisée avec une dose létale d'isoeugénol (1 ml d'isoeugénol pour 10 litres d'eau). Chaque individu a été mesuré et pesé. Les individus sacrifiés ont été conservés à - 20 °c jusqu'à analyse.

Les prélèvements pour les analyses écotoxicologiques ont été effectués en fin d'expérimentation. Dans la mesure du possible chaque individu a été identifié, pesé et mesuré. Les animaux ont été endormis au froid par un séjour de quelques minutes à 0°C. Ce type anesthésie évite toute contamination d'ordre chimique (anesthésiant) qui pourrait fausser les résultats écotoxicologiques. Les animaux ont été euthanasiés par décapitation.

Les poissons de chaque espèce et de chaque structure ont été conditionnés individuellement à raison de 10 individus par ambiance. Lorsque la taille des individus le permettait, une dissection a été menée afin d'isoler le foie, un morceau de muscle caudal et les viscères. Les tissus destinés au dosage des métallothionéines (viscères) et de l'acétylcholinestérase (muscle) ont été plongés immédiatement dans de l'azote liquide. Les tissus destinés à l'analyse de l'expression génique ont été placés dans un tampon (RNA-later) avant d'être plongés dans de l'azote liquide puis conservés à -80°C au laboratoire avant d'être analysés.

Pour ce qui concerne le test des comètes, le sang a été collecté individuellement sur 10 individus de chaque espèce par ambiance dans des microtubes héparinés contenant un tampon de conservation. Les échantillons ont été immédiatement congelés dans l'azote liquide puis placés à -80°C au retour au laboratoire.

3.3.6. ***Procédure de dépouillement des enregistrements***

Pour chaque vidéo analysée, un opérateur a dénombré l'ensemble des poissons traversant la fenêtre d'observation et a noté les comportements associés. Le comportement des poissons nageant dans le sens du courant a été qualifié de R-- (pour rhéotaxie négative). Le comportement des poissons remontant le courant a été qualifié de R++ (pour rhéotaxie positive). Enfin, le troisième comportement correspondant à une position stationnaire était qualifié de R+ (pour rhéotaxie positive mais sans déplacement de position).

3.3.6.1. *Dépouillement spécifique aux juvéniles de mulot porc*

Pour la première expérience à analyser, la fréquence d'échantillonnage des mulets a été fixée à 1 minute tous les quart d'heure. Cette durée est basée sur le temps moyen mis par un individu nageant avec le courant pour parcourir l'ensemble de la structure. Ainsi, en échantillonnant durant 1 minute complète, on dénombre en principe la totalité des individus nageant avec le courant.

La fenêtre de comptage (60 cm de long sur 70 cm de hauteur) est définie comme la portion d'image comprise entre les deux portants intérieurs des structures SCOLA, sur toute la hauteur d'eau.

Un individu est considéré comme « AVEC LE COURANT » si durant la minute d'analyse il traverse entièrement la fenêtre de comptage dans le sens du courant. On ne prend pas en compte les individus déjà présents dans la fenêtre sur la première image, ni ceux qui ne sont pas encore sortis sur la dernière image de la séquence vidéo.

L'approche est particulière, et ne fait aucune différence entre un individu nageant volontairement avec le courant et un individu transporté par la force du courant (exemple d'un individu mort Figure 14).

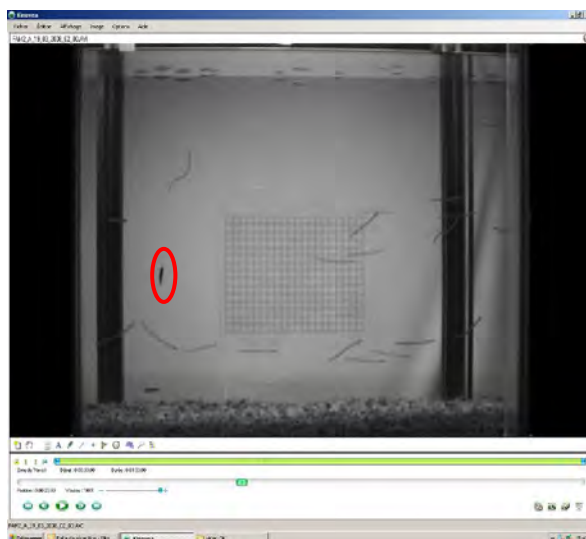


Figure 14 : Passage d'un individu mort en dérive (ellipse rouge).

Un individu est considéré comme « **CONTRE LE COURANT** » s'il remonte le courant sur une distance supérieure **à la moitié** de la fenêtre de comptage durant la minute d'analyse. Pour chaque vidéo analysée, le nombre d'individus allant avec le courant et celui remontant à contre courant a été noté.

La notion de banc a été prise en compte lors de la phase de dépouillement. On appelle « banc » tout regroupement d'au moins 3 individus nageant ensemble (même vitesse et distance inter-individus très réduite).



Figure 15 : Distance inter-individus maximale pour assimiler la nage à de la nage active (cas de figure souvent observé lorsque les bancs se défont)

Nous avons considéré comme pratiquant une nage active tout individu présent dans un banc et ayant une nage active dans le sens du courant (le poisson doit être orienté dans le sens du courant).

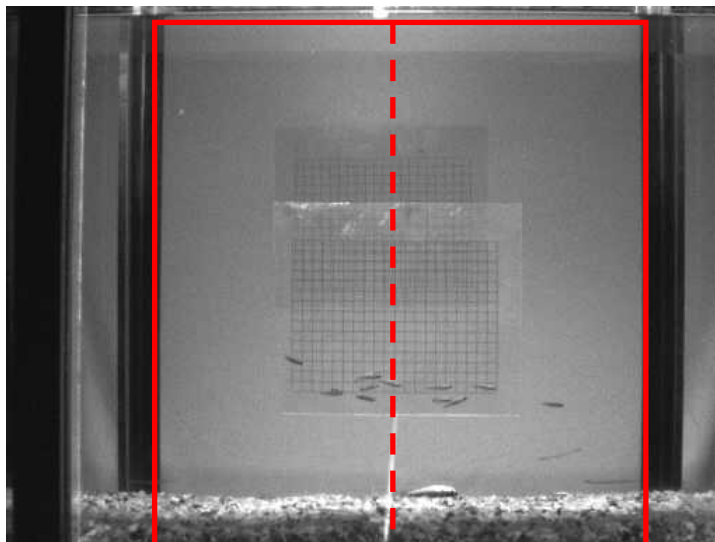


Figure 16 : Représentation des fenêtres de comptage utilisées pour les mulets. En trait plein, la fenêtre pour les individus « AVEC LE COURANT », En pointillés : les deux fenêtres pour les individus « A CONTRE COURANT »

3.3.6.2. Dépouillement spécifique aux juvéniles d'anguille européenne

La fréquence d'échantillonnage des civelles d'anguille a été fixée à 15 secondes tous les quarts d'heure. Cette durée est plus courte que pour les juvéniles de mulets en raison d'un nombre plus important d'individus dans les structures (250 contre 60), ce qui permet une baisse de la fréquence d'échantillonnage.

La fenêtre de comptage, non matérialisée, est définie comme étant la portion d'image comprise entre un quart de la distance entre 2 portants intérieurs des structures SCOLA, sur toute la hauteur d'eau.

Les individus ont été dénombrés suivant les 4 catégories suivantes : AVEC LE COURANT EN PLEINE EAU ; CONTRE LE COURANT EN PLEINE EAU ; AVEC LE COURANT PRES DU SUBSTRAT ; CONTRE LE COURANT PRES DU SUBSTRAT.

Compte tenu du très grand nombre d'individus et leur caractère translucide, il a été nécessaire d'analyser les vidéos en deux fois (moitié inférieure de la fenêtre puis moitié supérieure).

Un individu est considéré comme « **AVEC LE COURANT** » si durant la période d'analyse il traverse entièrement la fenêtre de comptage dans le sens du courant. On ne prend pas en compte les individus déjà présents dans la fenêtre sur la première image, ni ceux qui ne sont pas encore sortis sur la dernière image de la séquence vidéo.

L'approche retenue ne fait pas de différence entre un individu nageant « volontairement » avec le courant et un individu « transporté involontairement » par celui-ci. Sont exclus de la même manière que pour les mulets les individus déjà présents sur la première image et les individus non-sortis sur la dernière.

Un individu est considéré comme « **CONTRE LE COURANT** » s'il remonte le courant sur une distance supérieure à la moitié de la fenêtre de comptage durant la période d'analyse. Sont exclus de la même manière les individus déjà présents sur la première image et les individus non-sortis sur la dernière.

Un individu est considéré comme nageant « **EN PLEINE EAU** » s'il traverse entièrement la fenêtre de comptage dans la partie supérieure de la fenêtre.

Un individu est considéré comme nageant « **PRES DU SUBSTRAT** » s'il lors de la traversé de la fenêtre de comptage, une partie de son corps touche la partie inférieure de la fenêtre de comptage.

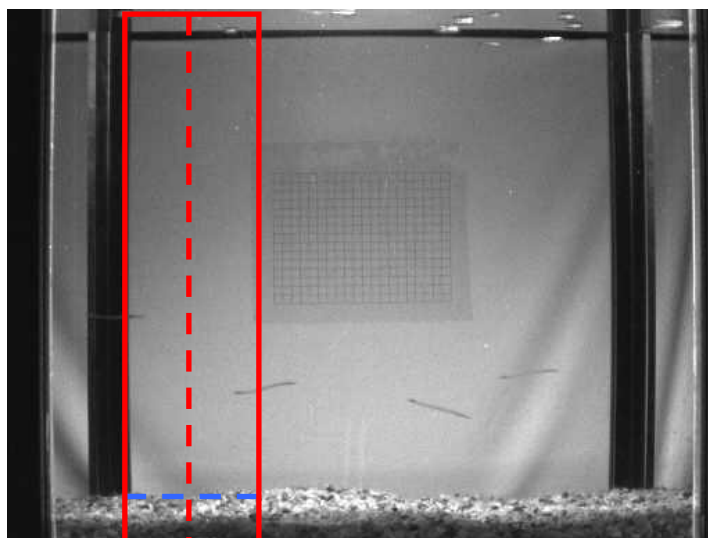


Figure 17 : Représentation des fenêtres de comptage pour les civelles. Le trait pointillé bleu détermine les fenêtres supérieure et inférieure. Le trait pointillé rouge détermine les fenêtres pour les individus nageant « A CONTRE COURANT »

Un décompte des terriers construits par les civelles dans chaque structure a été réalisé en fin d'expérimentations

Un montage vidéo, annexe à ce rapport, illustre la nage des mulets et des civelles dans les différentes ambiances.

3.3.6.3. *Dépouillement spécifique aux juvéniles de flet commun*

Nous avons distingué dans notre analyse les flets ayant une activité en pleine eau ou près du fond. Pour cela La colonne d'eau a été subdivisée en deux compartiments, d'égale hauteur (soit 35 cm). Pour faciliter le comptage, un repère fixé sur l'écran de l'ordinateur permet de délimiter les deux zones.

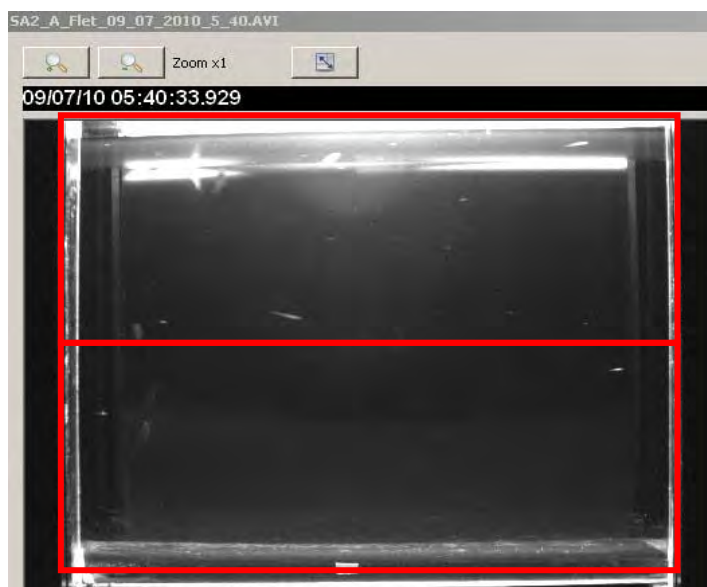


Figure 18 Fenêtres utilisées pour le dépouillement des vidéos concernant le comportement des jeunes flets

Un poisson est considéré comme en déplacement dans le sens du courant s'il traverse la totalité de la fenêtre de comptage en une minute avec le courant. En revanche, un poisson à contre courant ne doit traverser que la moitié de la fenêtre de visualisation en une minute.

Dans la partie inférieure de la fenêtre de visualisation, identifiée comme « Bas », nous distinguons deux modes de déplacement pour cette espèce benthique (avec ou à contre courant) : nage en pleine eau (**B**) ; déplacement par saltation (**Bs**).

Un poisson est considéré en saltation quand il progresse en faisant des petits sauts répétitifs sur le substrat ou sur les parois³.

3.3.1. *Outils d'analyse des données.*

Il s'agit pour nous de chercher à identifier les rythmes d'activité des individus (de périodes circatoditales (12,4 h) ou nycthémérales (24 h)) au sein des séries chronologiques que nous avons constituées par dépouillement des enregistrements vidéo. Dans ces séries, à chaque période est associé le nombre d'individus présentant un comportement donné ce qui permet d'établir des diagrammes d'activité de nage (actogrammes) (Figure 19). Dans notre cas nous nous attacherons à observer les poissons nageant avec le courant (comportement R--).

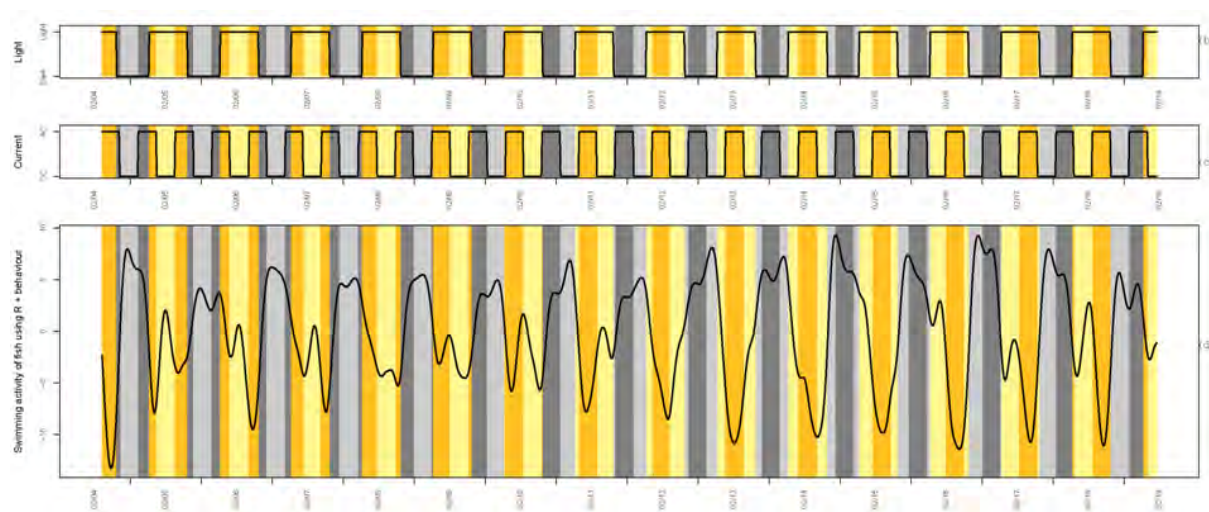


Figure 19 : Actogramme d'activité des poissons présentant un comportement donné (ici R+)

En écologie, la recherche de rythmes, comme le transport tidal sélectif, dans des séries chronologiques se fait classiquement à l'aide de deux outils statistiques : les autocorrélations et les méthodes basées sur le principe de maximum d'entropie (Dowse & Ringo, 1989 ; Dowse, 2007). L'autocorrélation est une corrélation croisée d'un signal par lui-même. Cet outil va rechercher dans un signal des profils se répétant à intervalles réguliers, c'est-à-dire des profils corrélés avec des versions d'eux-mêmes décalées dans le temps. Les méthodes basées sur le principe de maximum d'entropie (Maximum Entropy Methods) reposent sur la transformation de Fourier. Cette opération permet de transformer toute fonction intégrable dans R en une somme infinie de fonctions trigonométriques. La technique du MESA (Maximum Entropy Spectral Analysis) consiste donc à tenter de décomposer un signal quelconque en modélisant plusieurs fonctions trigonométriques, puis à comparer l'ajustement du modèle ainsi obtenu avec les données de la série initiale. Ainsi, en retrouvant les fonctions trigonométriques à la base du modèle, cet outil permet d'extraire tous les rythmes présents dans une série de données. Dans la littérature, les deux techniques sont utilisées

³ Pour qu'un flet soit enregistré en saltation, un seul contact avec le substrat ou avec les parois suffit.

conjointement et un résultat est validé uniquement lorsque les résultats provenant des deux méthodes sont concordants.

Les analyses ont été effectuées à l'aide des logiciels R et Matlab. Voir Trancart (2011b) et Trancart et al. (2011 ; 2012) pour plus de détails sur les méthodes.

3.4. Conditions d'exposition

3.4.1. Sédiments

Les différentes substances analysées sont des métaux lourds, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des polychlorobiphényles (PCB), des polybromodiphénylethers (PBDE) et des pesticides organochlorés OCP.

3.4.1.1. Les métaux lourds

Ces analyses ont été effectuées par le laboratoire de chimie Cemagref/Irstea de Lyon.

Des dosages ont été effectués à la mise en place pour les métaux lourds : Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd, Pb, U, Hg.

Ils ont été effectués à la mise en place et à la fin des expérimentations I et II pour les HAP, NAPHT, DBT, PHE, AN, ACENAPHTHYLENE, ACENAPHTENE, FLUORENE, FLUO, PYR, BAA, CHRYS +TRIPH, 2,1 BNT, BBF+BKF+BJF, BEP, BAP, PER, IP, DacA + DahA, BP ; les PCB congénères 50+28, 52, 101, 118, 153, 138, 180, les PBDE 47, 119, 99, 153 et les OCP

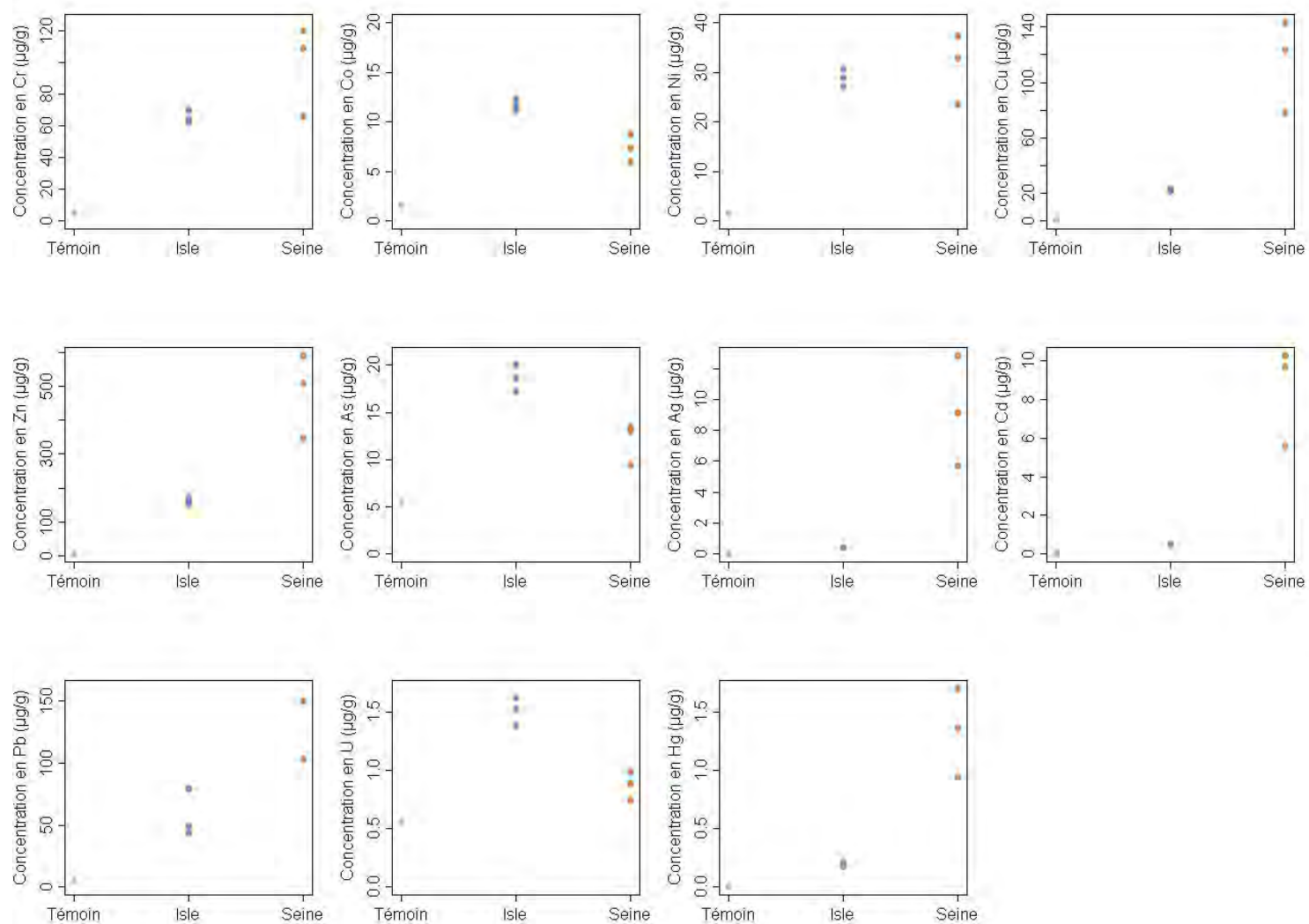


Figure 20 Concentrations en métaux lourds dans les sédiments des trois dispositifs : Isle, Seine et Témoin à la mise en place des expériences

Globalement les concentrations observées pour les différents métaux sont très différentes entre l'ambiance Témoin (quasiment systématiquement proche du zéro) et les deux autres ambiances. Ainsi les concentrations sont plus importantes dans le sédiment de l'ambiance Seine pour Cr, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb, Hg ; au contraire elles sont plus importantes dans le sédiment de l'ambiance Isle pour Co, U et As.

3.4.1.2. Les contaminants organiques

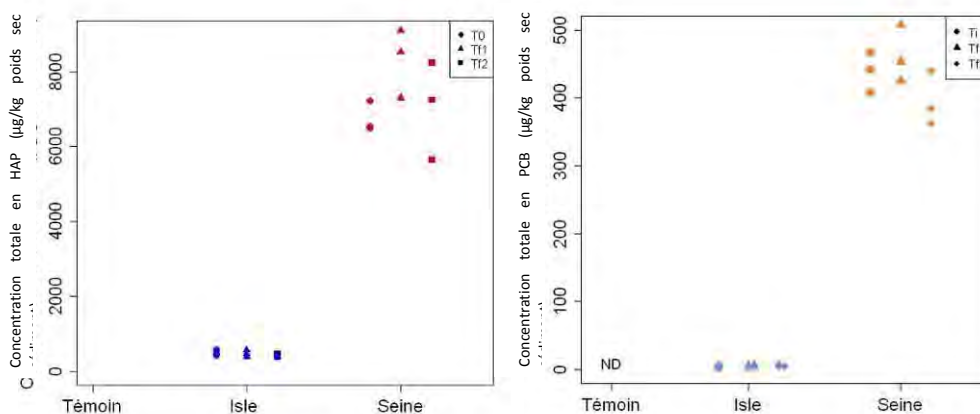


Figure 21 Concentrations totale en HAP (gauche) et en PCB (droite) dans les sédiments des trois dispositifs : Isle, Seine et témoin, à la mise en place (T0) et à la fin des expérimentations I (Tf1) et II (Tf2).

Prises globalement (T0+Tf1+Tf2) ou en ne considérant que les valeurs finales (Tf1+Tf2) les concentrations totales en HAP et en PCB observées dans l'ambiance Seine sont statistiquement plus élevées que celles mesurées dans l'ambiance Isle (Mann et Whitney, respectivement $p = 4.11 \cdot 10^{-5}$ et $2.16 \cdot 10^{-3}$ pour les HAP et respectivement $p = 3.55 \cdot 10^{-4}$ et $4.34 \cdot 10^{-3}$ pour les PCB)

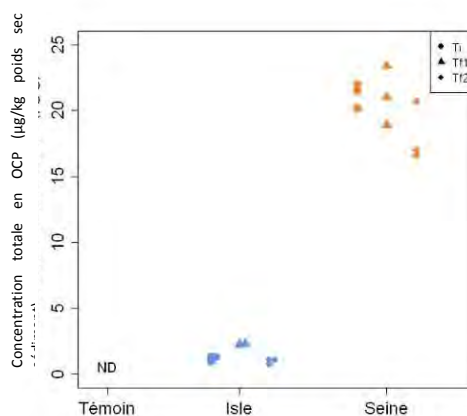


Figure 22 Concentration totale en OCP dans les sédiments des trois dispositifs : Isle, Seine et témoin, à la mise en place et à la fin des expérimentations I et II.

De la même façon, prises globalement (T0+Tf1+Tf2) ou en ne considérant que les valeurs finales (Tf1+Tf2) les concentrations en OCP observées dans l'ambiance Seine sont statistiquement plus élevées que celles observées dans l'ambiance Isle (Mann et Whitney, respectivement $p = 4.04 \cdot 10^{-4}$ et $4.92 \cdot 10^{-3}$).

Comme attendu, pour la plupart des métaux et pour tous les composés organiques analysés les concentrations mesurées dans le sédiment de la Seine sont plus importantes que dans le sédiment de l'Isle, elles mêmes plus importantes que dans le sable témoin.

3.4.1.3. Toxicité aigüe des sédiments

Les CE_{50} aux temps de contact 5, 20 et 30 minutes sont supérieures à 100% (concentration initiale en échantillon) pour les échantillons de sédiment de l'Isle (réf. T0-1, Td-4, Tf-7 et T0-10a) et de la Seine (réf. Oissel 45 a B1).

On peut donc en conclure que dans les conditions du test, les substances extractibles et hydrosolubles présentes dans les échantillons de sédiment analysés ne présentent aucune toxicité aigüe pour la souche bactérienne *Vibrio fischeri*.

3.4.2. Aliments.

Les aliments utilisés pour nourrir les jeunes mullets (expérience I, NRD[®] ½ 80-200 µm) et flets (expérience II, NRD[®] ½ 800-800 µm) sont issus du commerce aquacole. Leurs niveaux de contamination organique en HAP et en PCB ont été mesurés (Figure 23).

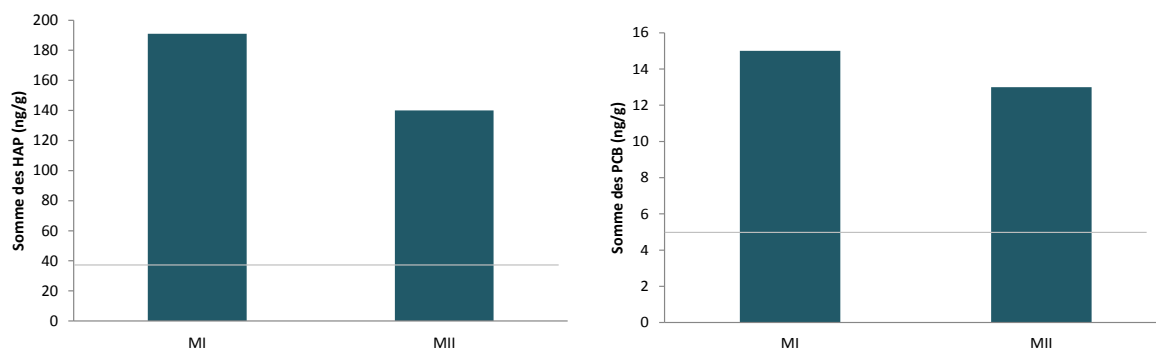


Figure 23 Concentration en HAP (gauche) et en PCB (droite) dans les aliments utilisés pour les expérimentations I et II. La ligne horizontale présente sur les graphiques représente le blanc.

3.4.3. Eau

Au départ des expérimentations l'eau ajoutée dans les trois structures était identique. Il était ensuite attendu qu'elle évolue au contact des sédiments lors de la phase de mise en contact préalable puis lors de la phase d'observation (soit une vingtaine de jours) créant ainsi des ambiances différentes. Nous avons posé l'hypothèse que les concentrations en composés organiques seraient plus élevées dans la structure ayant reçu les sédiments de la Seine, que dans celle ayant reçu ceux de l'Isle et que la structure témoin serait nettement moins contaminée que les deux autres.

Une analyse ANCOVA pour les HAP montre lors des expérimentations I et II (Figure 24) une différence significative entre les ambiances (p value respectivement $1.09 \cdot 10^{-5}$ et $4.072 \cdot 10^{-5}$), avec des valeurs plus élevée pour la seine. Par contre on ne détecte pas de différence statistiquement significative en fonction du temps. On observe les mêmes choses pour les PCB, que ce soit lors de l'expérimentation I ou II (Figure 25) avec une différence significative entre les ambiances (p values respectivement $2.61 \cdot 10^{-4}$ et $3.92 \cdot 10^{-4}$) et des valeurs plus élevées pour la Seine, mais là encore pas d'évolution en fonction du temps.

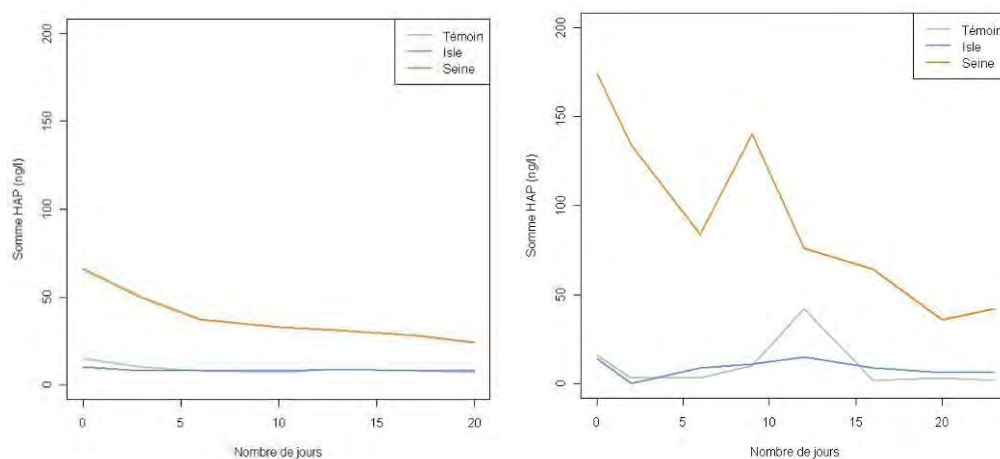


Figure 24 Evolution de la concentration en HAP total dans l'eau des trois dispositifs : Isle, Seine et témoin au cours des expérimentations I (gauche) et II (droite).

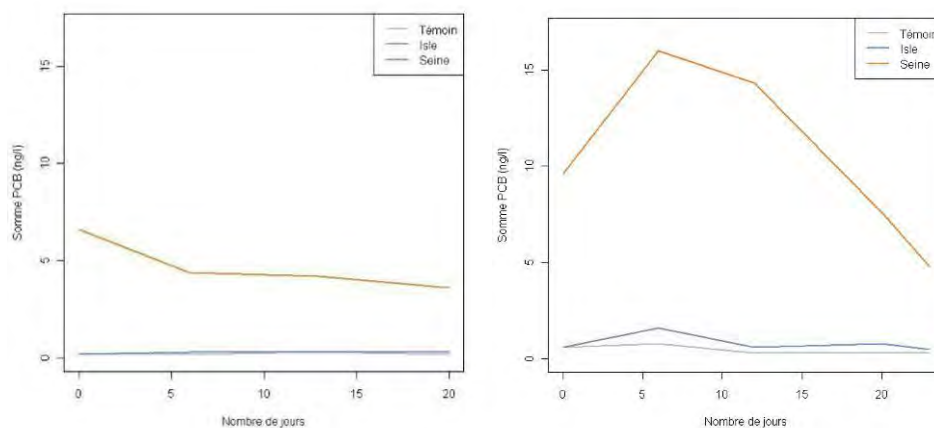


Figure 25 Evolution de la concentration en PCB total dans l'eau des trois dispositifs : Isle, Seine et témoin au cours des expérimentations I (gauche) et II (droite).

Un test de toxicité aigüe (Microtox®) a été effectué sur l'eau utilisée lors d'une expérimentation test préalable. Il s'avère que les CE_{50} aux temps de contact 5, 15 et 30 minutes sont supérieures à 100% (concentration maximale en échantillon) pour les échantillons d'eau Témoin, T0 manip Test et Tf manip Test. On peut donc en conclure que dans les conditions du test, les échantillons d'eau analysés ne présentent aucune cytotoxicité vis-à-vis de la bactérie *Vibrio fischeri*.

Tableau 2 Résultats concernant la cytotoxicité de l'eau

Nomenclature	CE_{50} 5mn	CE_{50} 15mn	CE_{50} 30mn
Témoin	> 100%	> 100%	> 100%
T manip Test	> 100%	> 100%	> 100%
Tf manip Test	> 100%	> 100%	> 100%

Suite à ces résultats les tests n'ont pas été réitérés lors des expérimentations I et II.

3.4.4. **Bilan**

Le design expérimental a effectivement permis de construire des ambiances Seine, Gironde et Témoin chimiquement différentes (sédiment et eau). Par contre nous n'avons pas mis en évidence de différences significatives dans les caractéristiques de ces ambiances entre le début et la fin de la période d'exposition. Par ailleurs, ni les sédiments ni l'eau n'ont montré de cytotoxicité lors du test effectué.

3.5. **Poissons**

3.5.1. **Caractéristiques biométriques**

Des mesures biométriques et des prélèvements pour des analyses de chimie organique ont été effectués sur les civelles, les mulets et les flets au départ et à la fin des expérimentations. Pour des raisons de disponibilités en matériel biologique les analyses écotoxicologiques (invasives) n'ont été menées qu'en fin d'expérimentation.

Le choix des individus s'est opéré sur des critères de taille suivant la procédure décrite ci-dessous.

Les individus ont été classés par taille. Le nombre d'individus total ayant été soumis à une biométrie (ici 40) a été divisé par 6 ce qui donne 6.6. Afin d'avoir une bonne représentation des données de taille pour les analyses des contaminants, nous avons sélectionné les : 6ème, 13ème, 20ème, 27ème, 34^{ème} individus. Le même type de sélection a été mené en fin d'expérimentation.

On ne note pas de différence dans les tailles des civelles entre le début et la fin de l'expérimentation (Figure 26), par contre elles ont toutes perdues du poids, ce qui est logique dans la mesure où il s'agit d'un stade qui ne s'alimente pas. Concernant les flets ils ont grandi en taille mais ont beaucoup maigri durant l'expérimentation. Les mulets quant à eux n'ont changé ni de taille ni de poids. Quelle que soit l'espèce on ne note pas de différence en taille ou en poids selon les ambiances.

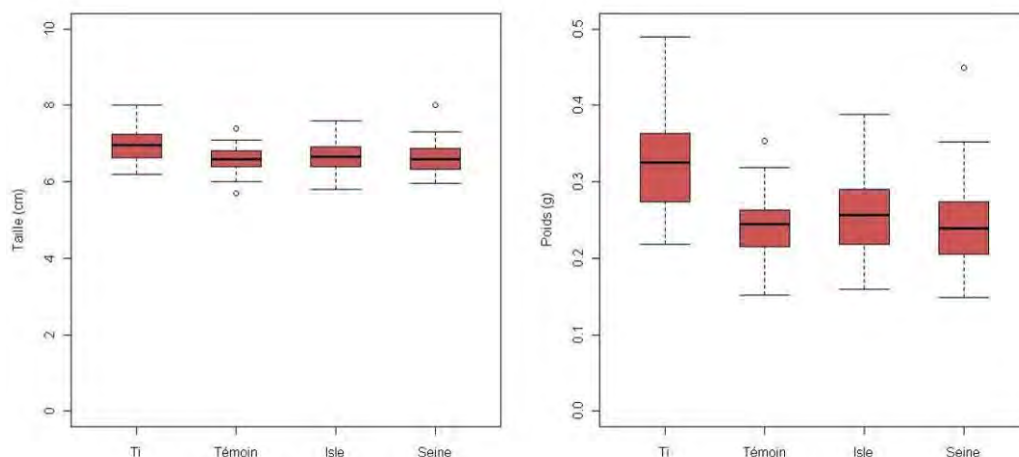


Figure 26 : Distribution des tailles (gauche) et des poids (droite) des civelles à Ti (initial) et à Tf (final pour les différentes ambiances) des civelles utilisées pour les analyses de contamination organique lors de la première expérimentation.

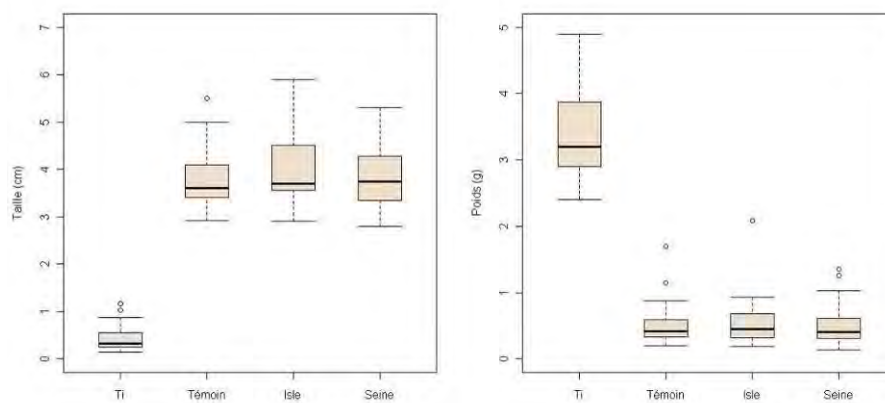


Figure 27 : Distribution des tailles (gauche) et des poids (droite) à Ti (initial) à Tf (final pour les différentes ambiances) des flets utilisés pour les analyses de contamination organique lors de la seconde expérimentation.

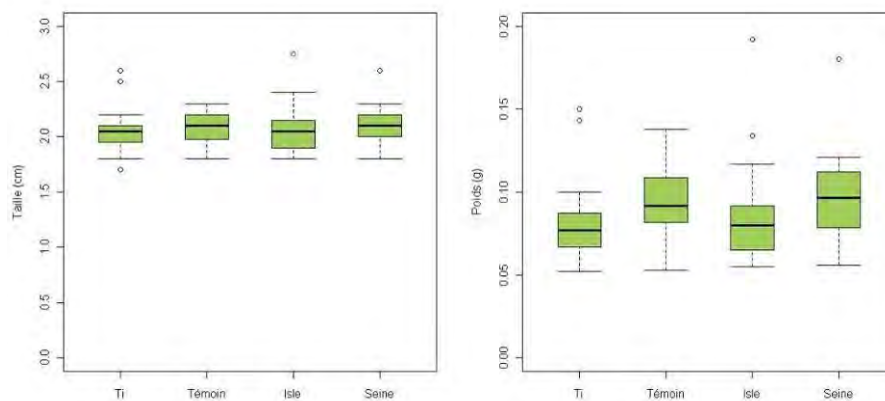


Figure 28 : Distribution des tailles (gauche) et des poids (droite) à Ti (initial) à Tf (final pour les différentes ambiances) des mulets utilisés pour les analyses de contamination organique lors de la première expérimentation

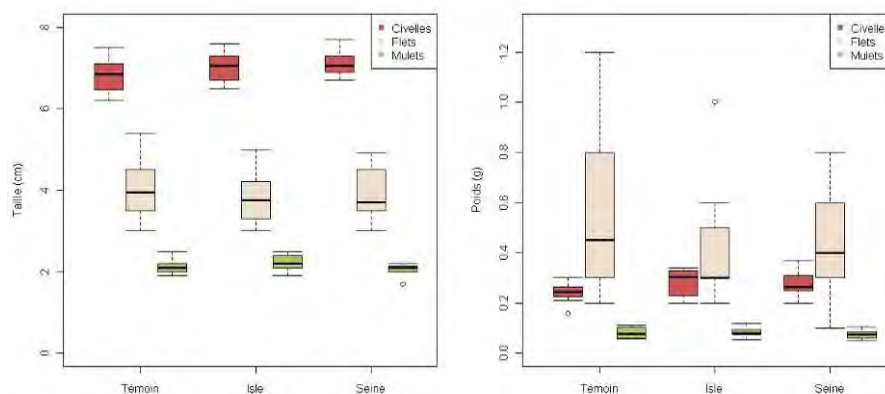


Figure 29 : Distribution des tailles (gauche) et des poids (droite) à Tf des individus des trois espèces utilisés pour les analyses écotoxicologiques

On n'observe aucune différence significative entre les ambiances dans les caractéristiques biométriques des individus en fin d'exposition, quelque soit l'espèce.

3.5.2. *Mortalités lors des expérimentations*

Aucune civelle n'est morte au cours de la première expérimentation et seulement 2 mulets sont morts dans l'ambiance Isle en fin d'expérimentation.

Par contre nous avons noté des mortalités très importantes pour les flets lors la seconde expérimentation, et ce dans toutes les ambiances. Sur 70 individus introduits dans chaque ambiance en début d'expérimentation, 24 flets sont morts dans l'ambiance témoin, 32 dans l'ambiance Seine et 33 dans l'ambiance Isle. Ces mortalités sont principalement survenues lors de la dernière semaine d'expérimentation (Figure 30).

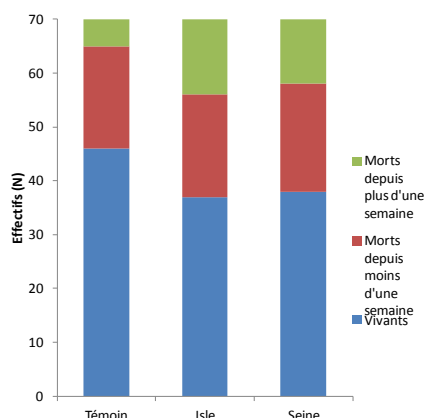


Figure 30 Bilan des mortalités des jeunes flets (expérimentation II)

Au début de cette seconde expérimentation, nous avons conservé dans des enceintes grillagées 28 flets dans les ambiances Seine et Isle. Ces individus étaient en contact avec l'eau mais ils n'ont jamais été en contact avec le sédiment ni avec l'aliment. Durant l'expérimentation 5 sont morts dans l'ambiance Seine et 16 dans l'ambiance Isle. Comme le montre les répartitions en taille et en poids de ces individus (Figure 31), les survivants ont continué à grandir mais ont perdu beaucoup de poids du fait de leur jeun prolongé. De façon plus surprenante on constate que leur poids en fin d'expérimentation est similaire à celui des flets auxquels de l'aliment avait été proposé (Figure 27). On peut donc en déduire que l'alimentation proposée n'a pas permis aux jeunes flets de se nourrir correctement et que les fortes mortalités observées en fin d'expérimentation dans les trois ambiances sont probablement en grande partie liées à cela.

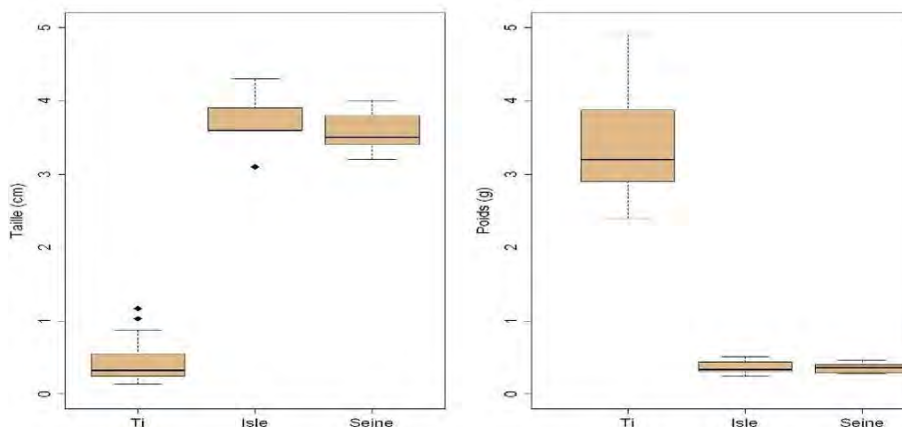


Figure 31 : Distribution des tailles (gauche) et des masses (droite) à Ti et à Tf des flets isolés dans des enceintes grillagées uniquement en contact avec l'eau des ambiances Seine et Isle.

On n'observe pas de différence significative entre les mortalités observées dans les différentes ambiances. Les mortalités importantes observées pour les flets sont vraisemblablement liées à un problème d'alimentation. Lors de précédentes expérimentations effectuées avec des flets de la Gironde, en absence de substrat (Trancart, et al., 2012), mais avec un autre modèle d'aliment nous n'avions pas observé ce type de problème.

3.5.3. **Résultats des analyses comportementales**

3.5.3.1. *Juveniles de Mulet porc*

Tendance de l'activité

Les tendances de l'activité des juvéniles de mulets porcs montrent un parallélisme assez net dans les trois ambiances. Après une activité soutenue au départ, que l'on peut interpréter comme une période d'acclimatation à la structure, les mulets montrent ensuite une activité à un niveau plus faible pendant une semaine avant d'augmenter à nouveau pour une raison inconnue mais commune aux trois ambiances.

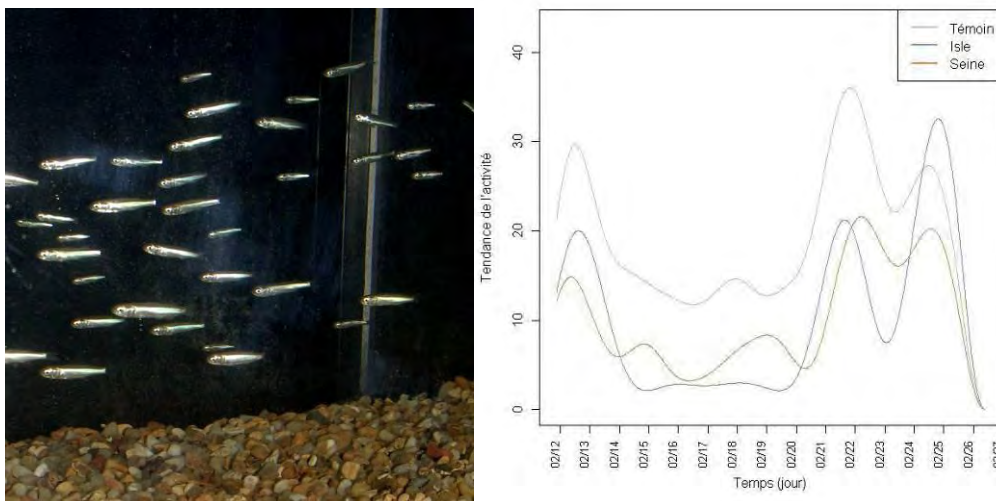


Figure 32 Evolution de la tendance de l'activité des juvéniles de mulets porcs dans les trois ambiances

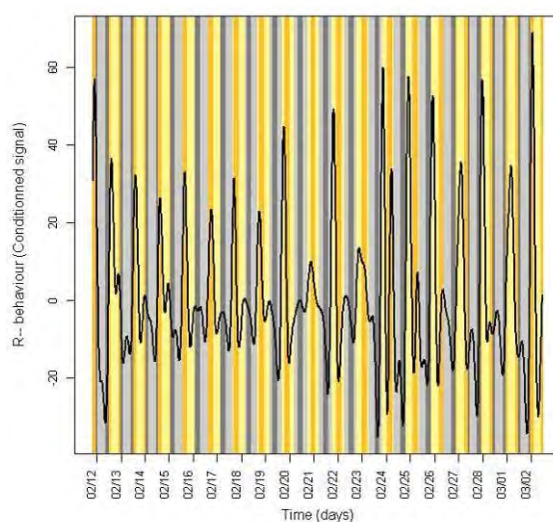


Figure 33 Actogramme des mulets placés dans l'ambiance témoin (sable lavé). Sur les actogrammes les bandes grises représentent les périodes nocturnes et les bandes jaunes les périodes diurnes. Les teintes claires représentent un courant dans le sens des aiguilles d'une montre et les teintes sombres le sens inverse.

Les mulets de l'ambiance Témoin présentent une activité rythmée durant toute l'expérimentation avec des valeurs plus fortes de jour que de nuit, ce qui correspond au comportement général de l'espèce qui est strictement diurne avec une activité maximale à l'aube et au crépuscule (Trancart, 2011).

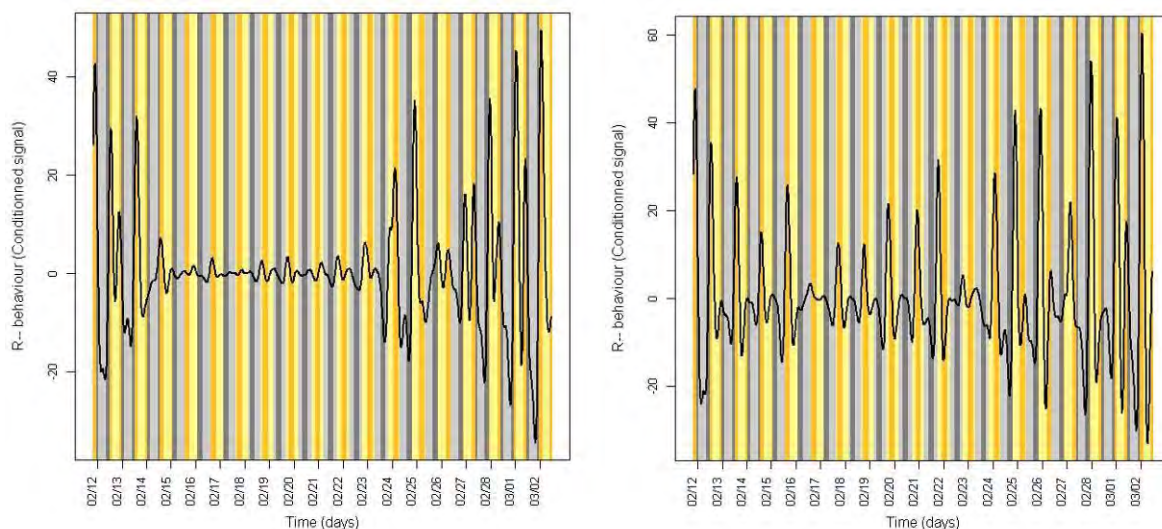


Figure 34 Actogrammes des mulets placés dans l'ambiance Seine (gauche) et Gironde (droite)

On observe sur l'actogramme des mulets de l'ambiance Seine une activité rythmée en début et en fin d'expérimentation avec des valeurs plus élevées durant le jour que la nuit, par contre pendant une dizaine de jour on note très peu de variabilité.

Pour les mulets de l'ambiance Gironde la situation est intermédiaire entre l'ambiance Témoin et l'ambiance Seine.

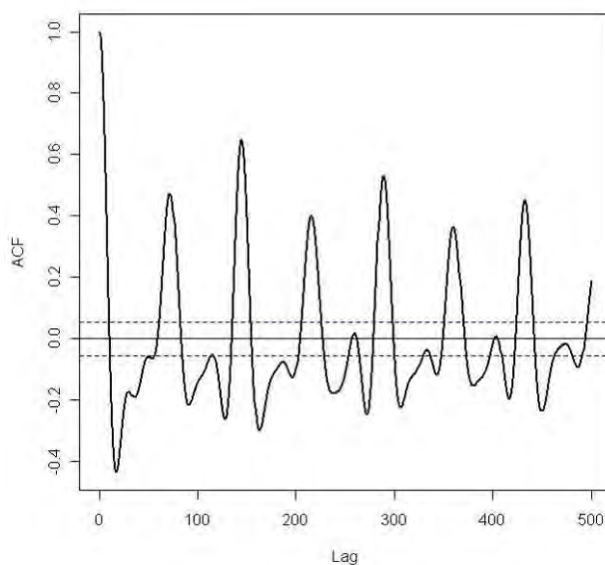


Figure 35 Corrélogramme des mulets placés dans l'ambiance Témoin

Le corrélogramme concernant l'ambiance Témoin fait ressortir un rythme significatif.

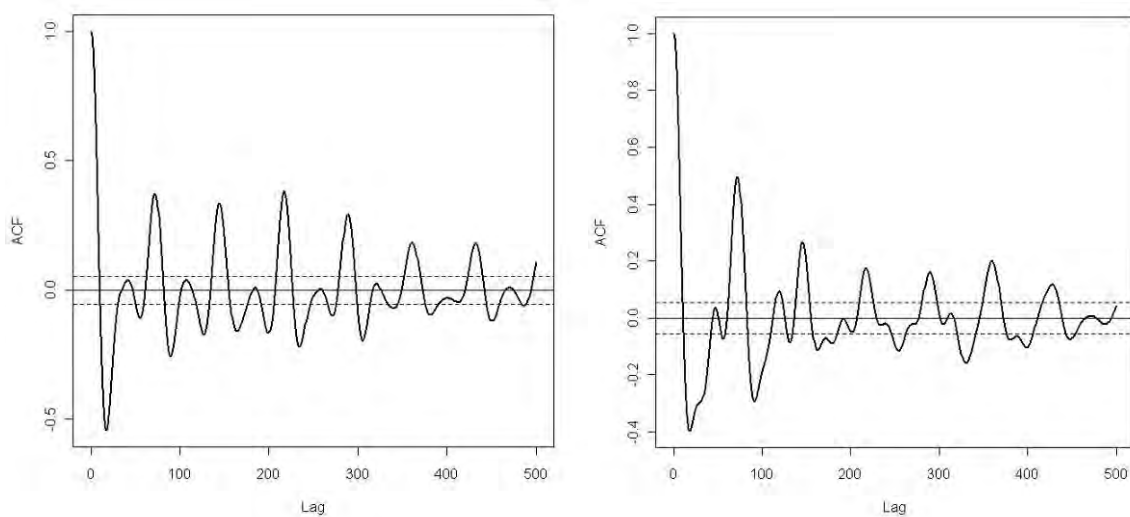


Figure 36 Corrélogrammes des mulets placés dans l’ambiance Seine (gauche) et Gironde (droite) ; les tiretés indiquent les limites de significativité.

Les rythmes observés sont plus nets dans les ambiances Témoin et Seine que dans l’ambiance Gironde sans pour autant qu’on détecte de différences significatives. Seuls les pics correspondant au rythme nycthéméral sont significatifs.

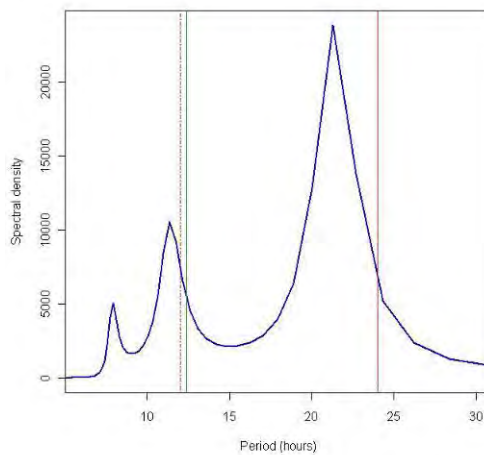


Figure 37 MESA des mulets placés dans l’ambiance Témoin

Le rythme qui apparait à 8h environ sur les différents MESA est en fait un artefact lié à l'interaction des rythmes circadotidal et nycthéméral (cf. Trancart, et al., 2011 pour l'explication de ce phénomène).

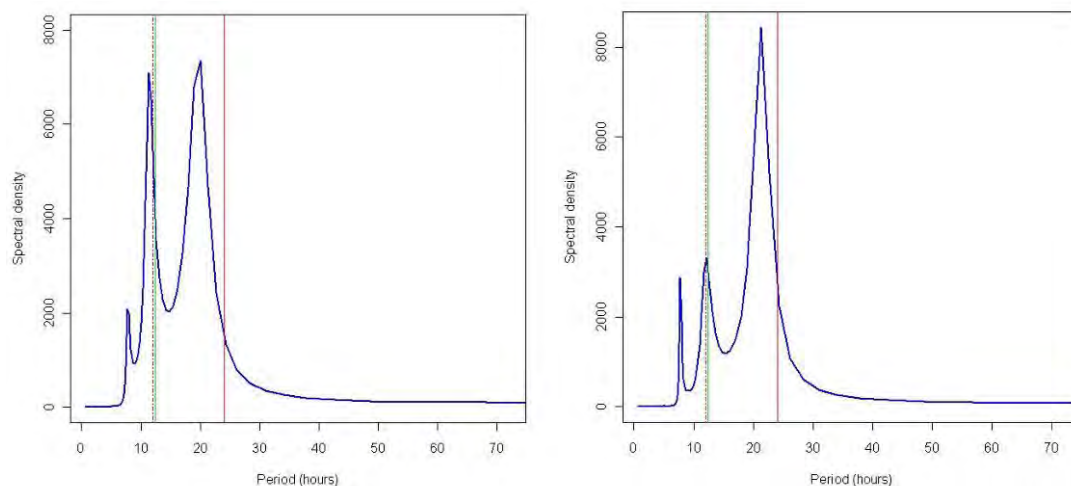


Figure 38 MESA des mulets placés dans les ambiances Seine (gauche) et Gironde (droite)

Les rythmes observés sont relativement similaires entre les trois ambiances. On note toutefois un rythme circadien (12,4 h) plus net dans le cas de l'ambiance Seine que dans le cas des deux autres.

Dans cette exposition le rythme circadien est plus net que le rythme nycthéméral, mais en absence de substrat le mulot porc présente généralement un rythme nycthéméral net mais un rythme circadien secondaire pas toujours significatif (Trancart, 2011).

3.5.3.2. Civelles d'Anguille européenne

Illustration des tendances de l'activité dans les trois structures :

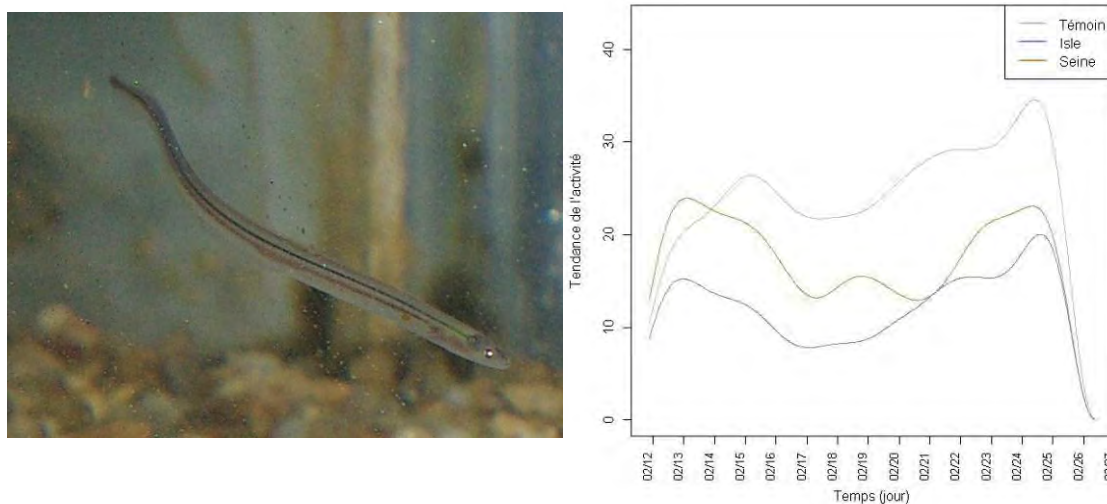


Figure 39 Evolution de la tendance de l'activité des juvéniles d'anguille dans les trois ambiances

Comme pour les mulets l'allure générale est similaire dans les trois structures. Après une augmentation initiale interprétée comme une période d'acclimatation, on observe une baisse d'activité puis une augmentation quasiment synchrone dans les différentes structures.

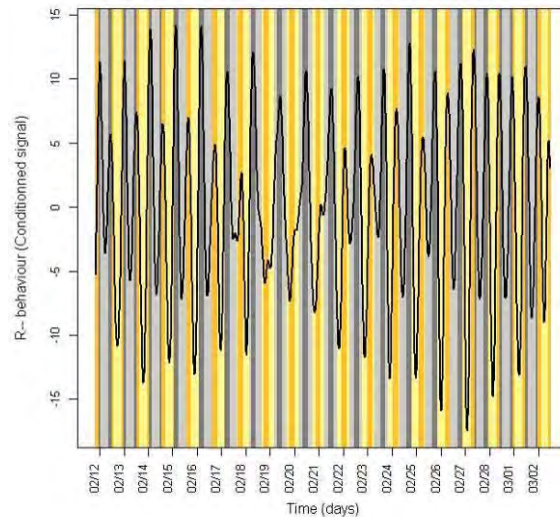


Figure 40 Actogramme des civalles placées dans l'ambiance témoin

L'actogramme correspondant aux civalles dans l'ambiance Témoin montre une activité de nage avec le courant (R--) rythmée sur toute la période d'expérimentation.

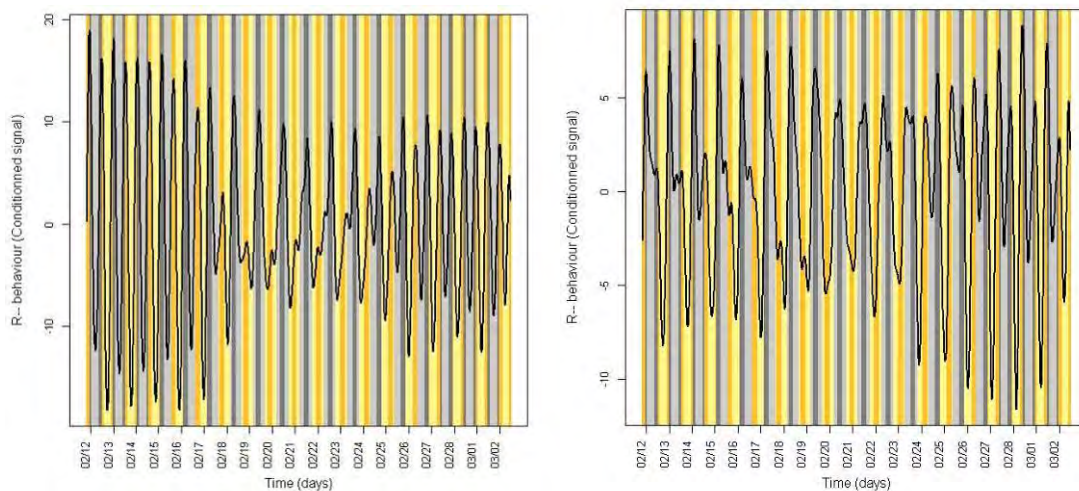


Figure 41 Actogrammes des civalles placées dans les ambiances Seine (gauche) et Gironde (droite)

L'actogramme des civalles dans l'ambiance Seine montre une rythmicité nettement plus faible durant la semaine médiane. Celui de l'ambiance Gironde, très similaire à celui de l'ambiance Témoin, montre une rythmicité sur toute la période.

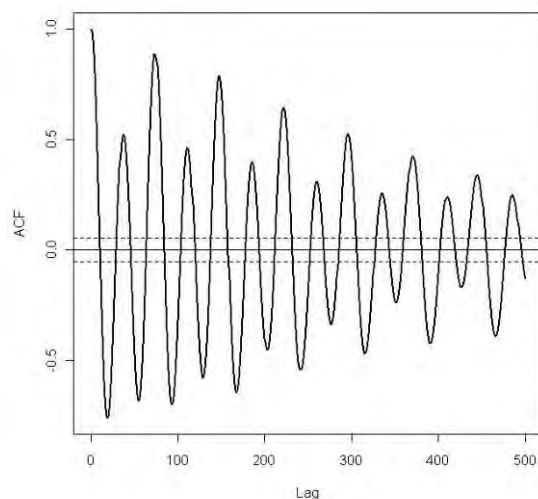


Figure 42 Correlogramme des civelles dans l'ambiance témoin

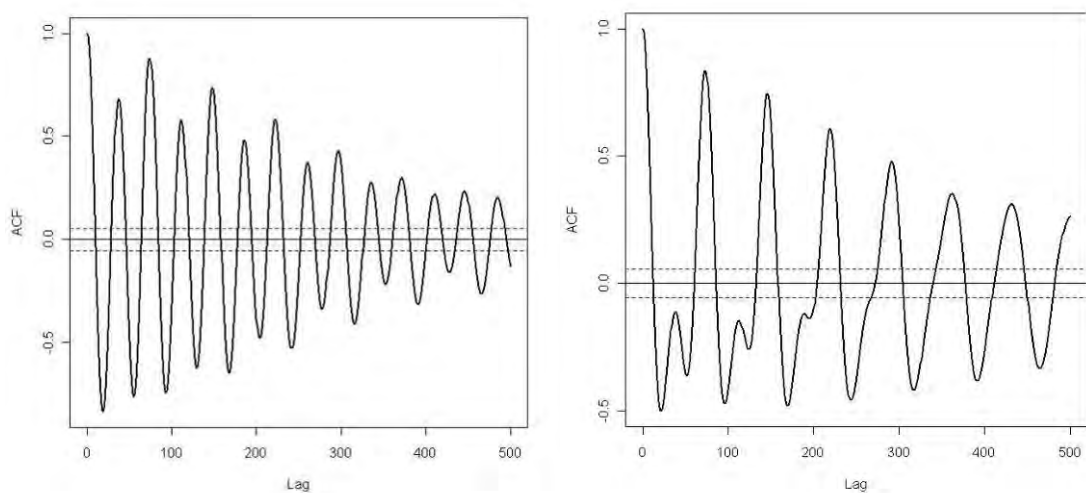


Figure 43 Correlogramme des civelles dans l'ambiance Seine (gauche) et Gironde (droite)

Le correlogramme observé dans l'ambiance Témoin est très net avec à la fois un rythme circadotidal et un rythme nycthéméral, celui de l'ambiance Seine est également très net, par contre dans l'ambiance Gironde seul le rythme nycthéméral est net.

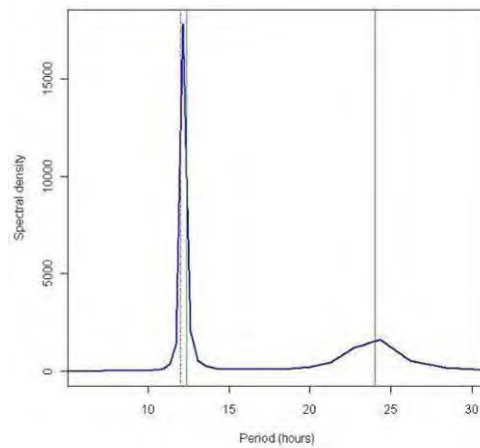


Figure 44 Mésa des civelles dans l'ambiance Témoin

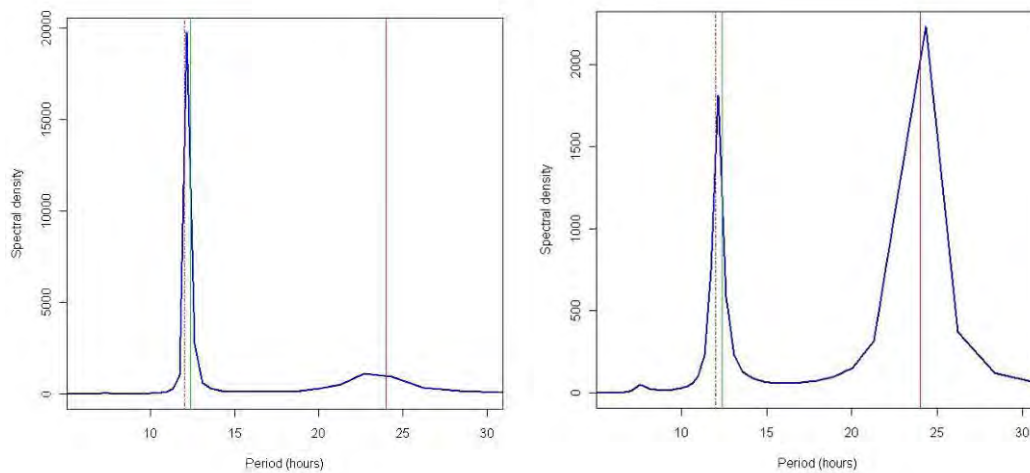


Figure 45 Mésa des civelles dans l'ambiance Seine (gauche) et Isle (droite)

Quelle que soit l'ambiance, les MESA confirment notre interprétation des corrélogrammes. Ils montrent une périodicité de l'activité des civelles d'anguille correspondant au rythme circadotidal (12,4h) très nette pour les ambiances Témoin et Seine. Cette périodicité est moins nette dans l'ambiance Gironde où elle est du même niveau que celle du rythme nycthéméral.

3.5.3.3. Juvéniles de flet commun

Illustration des tendances de l'activité dans les trois structures :

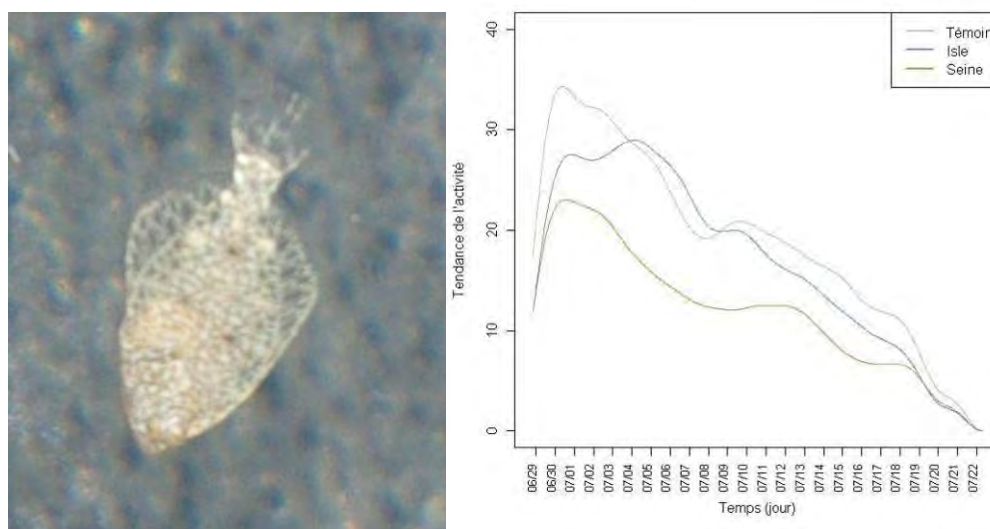


Figure 46 Evolution de la tendance de l'activité des juvéniles de flet commun dans les trois ambiances

La tendance de l'activité des juvéniles de flets est similaire dans les trois structures. Contrairement aux deux autres espèces, après un pic d'activité correspondant à l'acclimatation aux structures l'activité descend régulièrement quelle que soit la structure. Cette diminution peut être mise en relation avec l'amaigrissement des individus et leur affaiblissement, allant jusqu'à la mort pour la plupart d'entre eux (cf § 3.5.2).

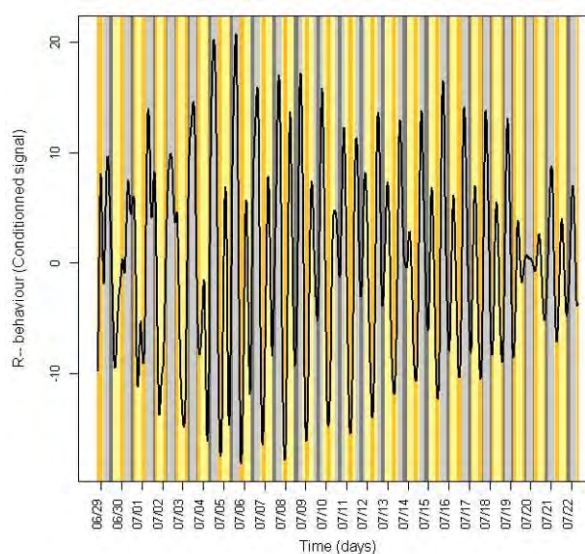


Figure 47 Actogramme des flets dans l'ambiance témoin

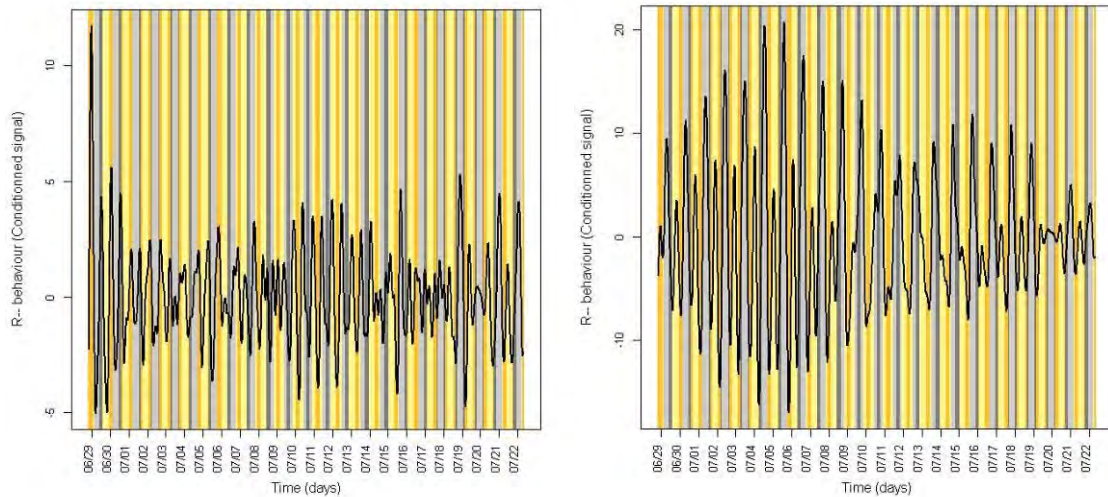


Figure 48 Actogramme des flets dans l'ambiance Seine (gauche) et Gironde (droite)

Les actogrammes de la Gironde et du témoin montrent un pattern relativement similaire avec une activité plus intense durant la nuit que durant le jour. Dans l'ambiance Seine les différences sont moins nettes et le pattern plus haché.

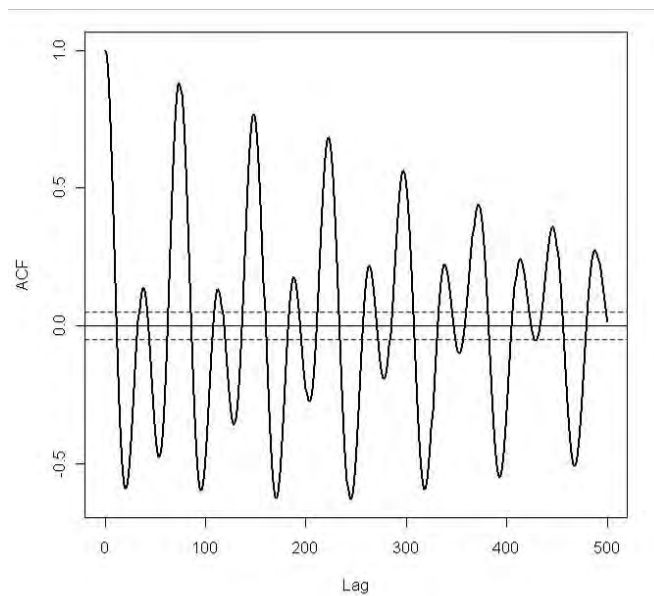


Figure 49 Corrélogramme des flets dans l'ambiance témoin

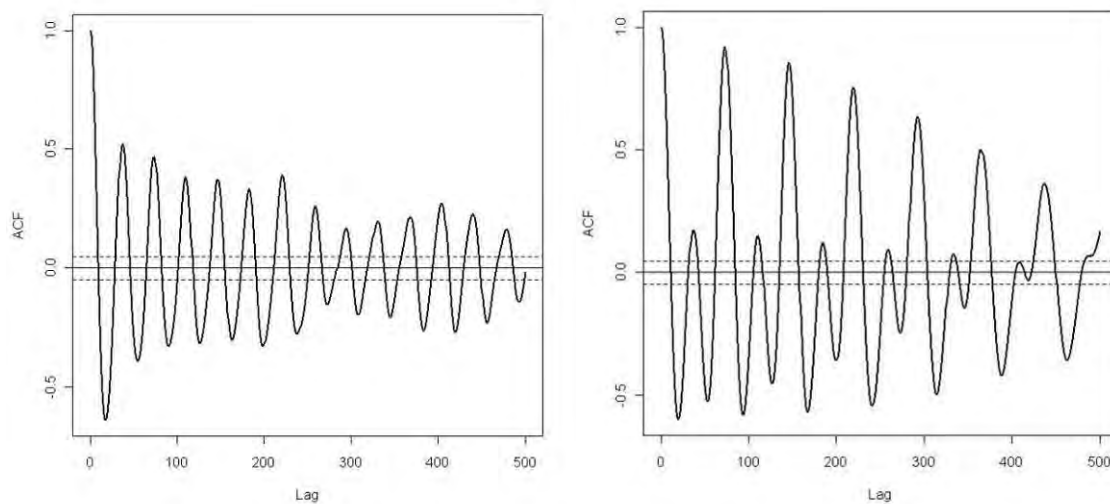


Figure 50 Corrélrogramme des flets dans l'ambiance Seine (gauche) et Gironde (droite)

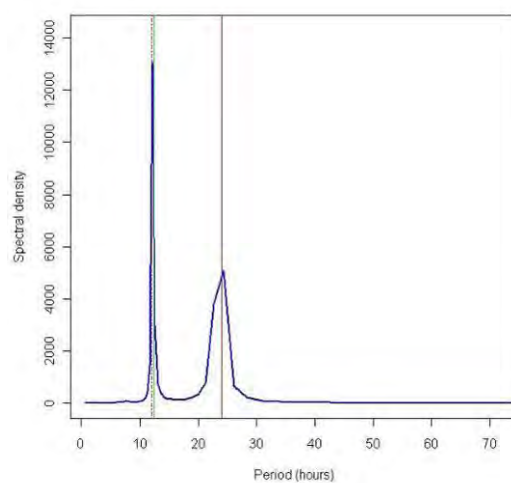


Figure 51 Méssa des flets dans l'ambiance témoin

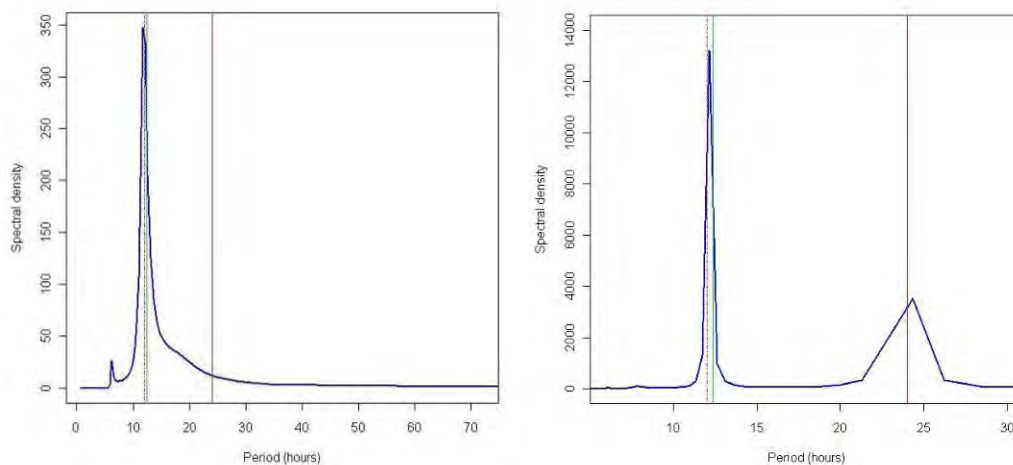


Figure 52 Méssa des flets dans l'ambiance Seine (gauche) et Gironde (droite)

Le rythme correspondant au cycle tidal est très net dans les trois ambiances, même s'il est nettement plus faible en Seine que dans les autres ambiances, il est complété dans les ambiances témoin et Isle par un cycle nycthéméral plus faible mais significatif.

3.5.4. **Observations complémentaires**

En présence de sédiment meuble les civelles s'enfuissent souvent en ne laissant sortir que la partie antérieure du corps. Ce comportement leur permet de rester immobile, à l'abri, dans des zones avec du courant sans trop dépenser d'énergie.

Le nombre de « terriers » construits par des civelles a été compté visuellement en fin d'expérimentation (4 mars 2010) par section de 30 cm x 60 cm. Il diffère significativement entre les trois ambiances, on en observe (moyenne, minimum-maximum) pour le témoin 0, pour la Seine 12.6, 10-15 et pour la Gironde 26.4 (24-28.). L'absence de terrier dans l'ambiance témoin s'explique par le manque de cohésion du sédiment (sable) dans lequel les civelles s'enfouissent mais qui ne conserve pas la trace de cet enfouissement. La cohérence des sédiments Seine et Gironde est très similaire, mais les civelles s'enfouissent nettement moins dans le sédiment Seine que dans le sédiment Gironde, ceci pourrait s'expliquer par la contamination nettement plus forte du sédiment Seine.

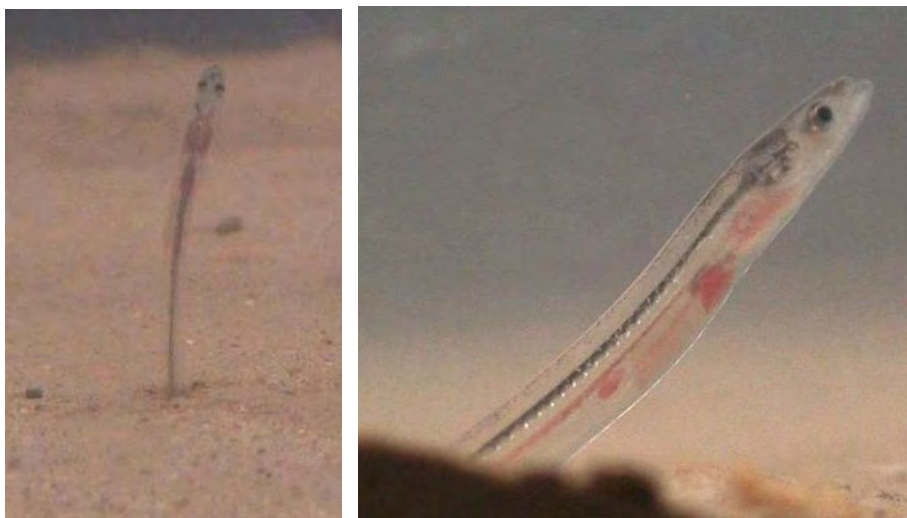


Figure 53 Civelle avec la partie postérieure du corps enfouie dans le sédiment

Ce moindre nombre de terriers dans l'ambiance Seine limite la possibilité de repos des civelles vis-à-vis du courant.

3.5.5. *Charge en contaminants organiques*

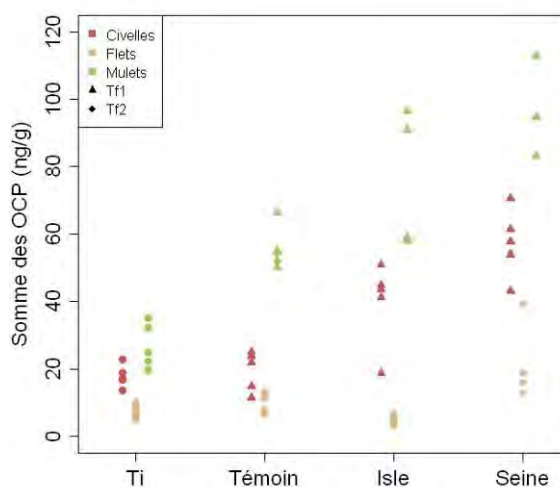


Figure 54 : Somme des OCP dosés chez les trois espèces avant (Ti) et après exposition dans les trois ambiances

On observe une augmentation de la concentration en OCP entre le début et la fin de l'expérimentation chez le mulot (Seine > Isle > Témoin > avant exposition) et la civelle (Seine > Isle > Témoin et Ti) tous deux originaires de la Gironde. Pour les jeunes mulots une part de cette augmentation est due à l'alimentation (augmentation de la concentration dans l'ambiance Témoin), le reste aux sédiments. Chez les flets (originaires de Seine et qui ont beaucoup maigri cf. § 3.5.2) la concentration en OCP n'a augmenté que très légèrement sur l'ambiance Seine.

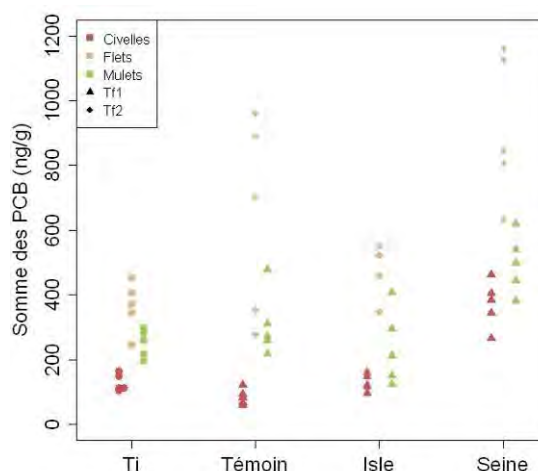


Figure 55 : Somme des PCB dosés chez les trois espèces avant (Ti) et après exposition dans les trois ambiances

On observe une augmentation de la concentration en PCB chez les flets (originaires de Seine) dans les ambiances Seine et Témoin, avec une très forte variabilité interindividuelle. Pour les civelles et les mulots (originaire de Gironde) la concentration n'augmente que pour l'ambiance Seine.

Même techniques que présenté précédemment pour sélectionner les individus à analyser sauf que l'on ne part pas forcément de 40 biométries sur les individus (flets variable à cause de la forte mortalité)

3.5.6. Réponse écotoxicologique

Les métallothionéines sont des protéines qui interviennent dans la séquestration et l'élimination des métaux. Un taux de métallothionéine plus élevé a été mesuré dans les tissus de civelle par rapport au flet et au mulot (Figure 56). En revanche aucune différence significative n'a été observée entre les différentes ambiances Seine, Gironde et Témoin pour chacune des trois espèces étudiées.

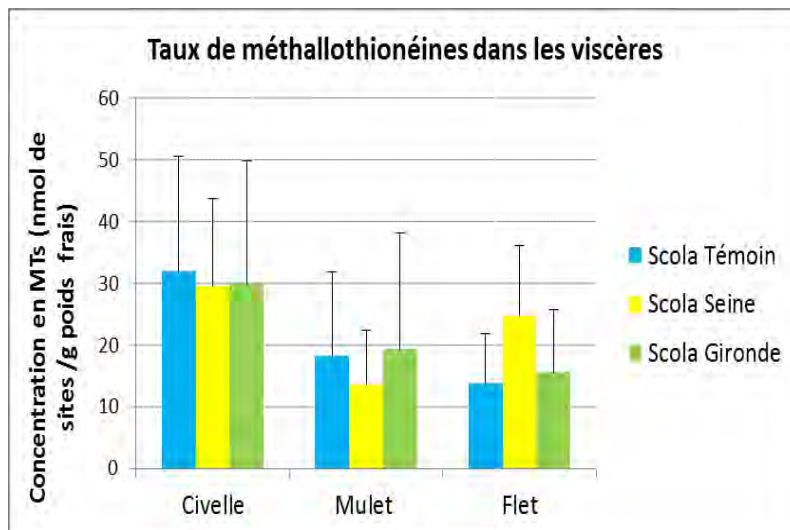


Figure 56 Dosage des métallothionéines dans les viscères des civelles, mulot et flet après trois semaines d'exposition aux sédiments de Seine, Gironde et Témoin.

L'acétylcholine estérase intervient dans le recyclage du neuromédiateur acétylcholine au niveau des terminaisons nerveuses cholinergiques. Des activités sensiblement plus élevées ont été relevées dans le muscle caudal de flet en comparaison du mulot et de la civelle (Figure 57). Les analyses statistiques n'ont en revanche pas révélé de différence significative entre les trois ambiances Seine, Gironde et témoin pour chacune des trois espèces étudiées.

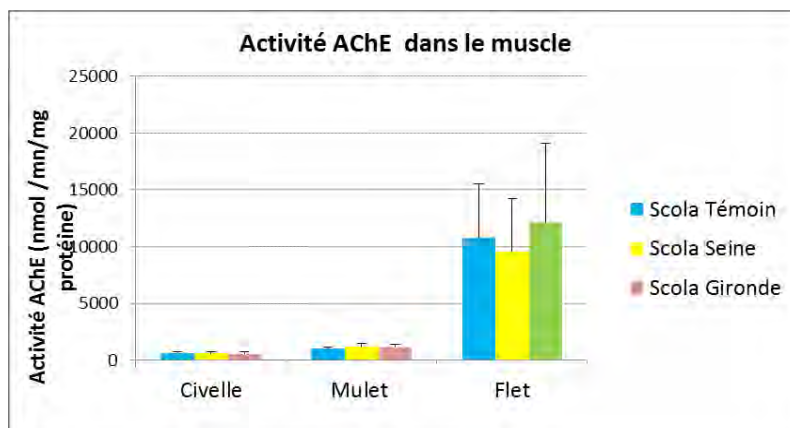


Figure 57 Dosage de l'activité acétylcholine estérase dans le muscle des civelles, mulets et flets après trois semaines d'exposition aux sédiments de Seine, Gironde et Témoin

L'expression de différents gènes impliqués dans les processus de défense cellulaire, de métabolisation des toxiques et dans l'homéostasie cellulaire a été mesurée dans le foie de civelles et de flets exposés pendant un mois à des sédiments de Seine et de Gironde (Isle) et un sédiment témoin.

Pour les flets plusieurs gènes montrent une dérégulation de leur expression principalement dans la condition Seine (Figure 63 et Tableau 3). Cependant seul le gène Cox1 montre une augmentation significative ($p=0,001$, test t) de son niveau d'expression dans le foie des flets exposés aux sédiments

de Gironde. Ce gène code pour la sous-unité 1 de la cytochrome C oxydase, une enzyme qui joue un rôle clé dans la chaîne respiratoire mitochondriale. Une surexpression de ce gène (pour peu qu'elle se traduise par une augmentation de la synthèse de la protéine Cox) pour les flets exposés aux sédiments de Gironde peut traduire des besoins métaboliques plus importants chez ces poissons liés au coût de l'adaptation aux conditions de ce milieu. On peut remarquer que l'expression des gènes Mt et SOD est fortement (mais non significativement) surexprimée dans le foie des flets exposés aux sédiments de l'ambiance Gironde. Ces gènes impliqués dans les mécanismes d'élimination des métaux (Mt) et de lutte anti-oxydante (SOD) pourraient être induit en réponse à la présence de métaux lourds dans les sédiments de l'Isle.

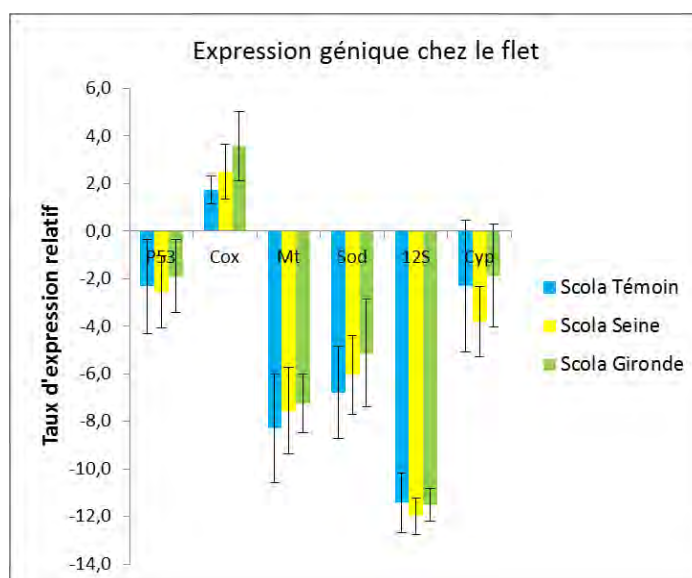


Figure 58 Profils d'expression génique dans le foie des flets exposés aux ambiances Seine, Gironde et Témoin. Les taux d'expression relatifs sont exprimés par rapport au gène de la β -actine

Tableau 3 Taux d'induction de l'expression de 6 gènes d'intérêt dans le foie de flets soumis aux sédiments de Seine ou de Gironde par rapport aux poissons contrôle

Conditions	Taux d'induction					
	P53	Cox	Mt	Sod	12S	Cyp1A
Seine	1.0	1.4	2.6	1.8	0.8	1.0
Gironde	1.6	2.7**	3.9	3.2	1.1	1.9

** significativement différent de la condition témoin, $p=0,001$

Dans le cas de la civelle aucune différence d'expression n'est observée entre les différentes ambiances pour l'ensemble des gènes analysés à l'exception du gène CYP1A (Figure 64). Ce gène est fortement induit d'un facteur 6 pour l'ambiance Seine (Tableau 4) ($p=0,00037$, Test U). Ce gène code pour une enzyme qui intervient dans les processus de biotransformation et d'élimination des polluants hydrophobes. Cette induction traduit la présence dans le milieu de composés dioxine-like qui sont connus pour être des ligands du récepteur AhR qui contrôle notamment l'expression du gène CYP1A. Ces composés correspondent sans doute aux HAP, PCB (non-coplanaires) et à certains pesticides organochlorés présents en quantité importante dans les sédiments de Seine. Cette induction génique doit probablement se traduire par une augmentation de la production de la protéine P4501A qui va par son activité de détoxification favoriser la métabolisation et l'élimination des HAP, PCB et OCP. L'induction observée peut donc être considérée comme une réponse

adaptative des civelles à la présence de polluants hydrophobes et toxiques tels que des HAP, PCB et OCP dans les sédiments de Seine.

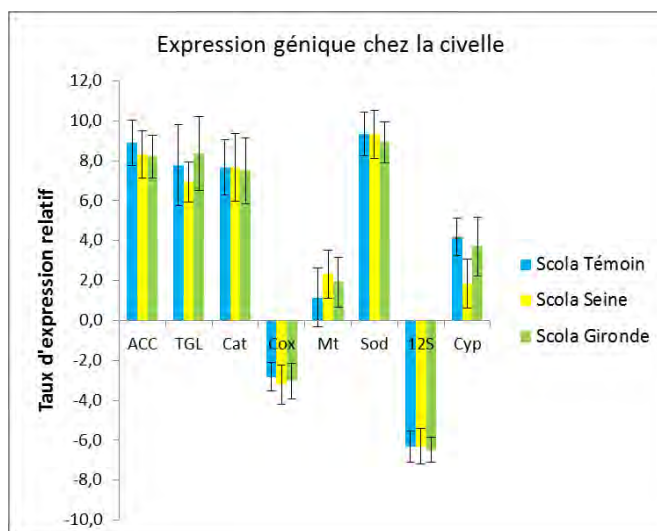


Figure 59 Profils d'expression génique dans le foie des civelles exposées aux ambiances Seine, Gironde et Témoin. Les taux d'expression relatifs sont exprimés par rapport au gène de la β -actine.

Tableau 4 Facteur d'induction de l'expression de huit gènes d'intérêt dans le foie de civelles exposées aux sédiments de Seine et de Gironde par rapport aux poissons contrôle

Conditions	Taux d'induction							
	Acc	Tgl	Cat	Cox	Mt	Sod	12S	Cyp1A
Seine	1.6	1.0	1.2	1.4	0.4	1.1	1.0	6***
Gironde	1.6	0.7	1.3	1.2	0.5	1.3	1.1	1.7

*** significativement différent de la condition témoin, $p < 0,001$

Le test des comètes permet d'évaluer l'intégrité génétique de cellules isolées tels que des globules rouges. Des Taux de dommages de l'ADN significativement plus faibles (Kruskal-Wallis, $p = 0,0001$) ont été relevés chez le flet par rapport aux civelles et aux mulets (Figure 60). Pour une même espèce aucune différence significative des taux de dommages n'a été observé entre les différentes conditions d'exposition. En revanche, parmi les civelles exposées aux sédiments de Seine et de Gironde on peut distinguer deux groupes bien différenciés (Figure 61). L'un présente peu de dommages à l'ADN (environ 15% d'ADN dans la queue de la comète) et l'autre des niveaux bien supérieurs (25% à 45%).

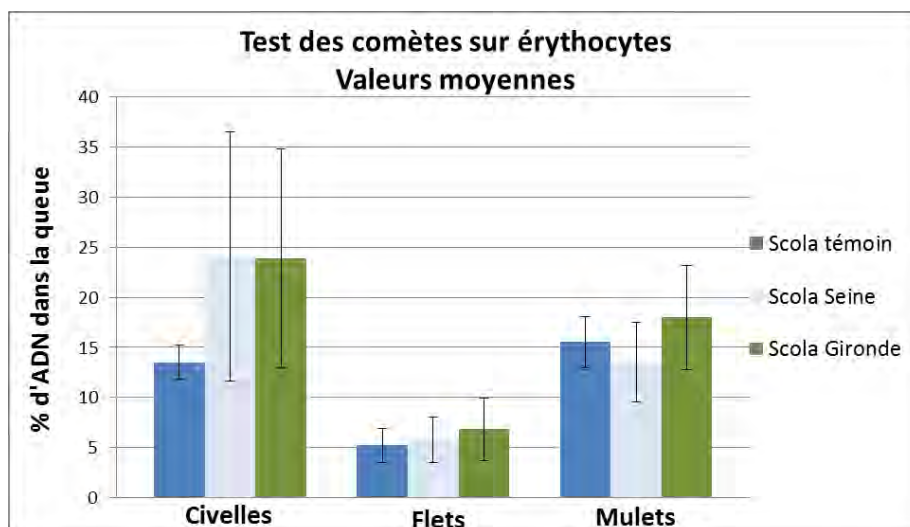


Figure 60 Taux moyen de dommages primaires à l'ADN dans les cellules sanguines des civelles, flets et mulets après trois semaines d'exposition aux sédiments de Seine, Gironde et témoin. Ces taux de dommages ont été mesurés par le test des comètes et sont exprimés par le % d'ADN dans la queue de la comète (Moy $\pm$ SD).

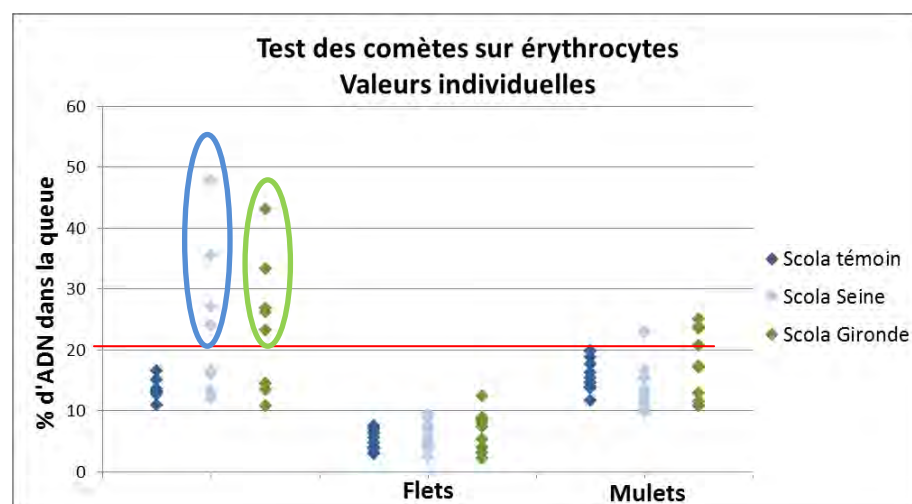


Figure 61 Valeurs individuelles des taux de dommages primaires à l'ADN mesurés dans les cellules sanguines des civelles, flets et mulets après trois semaines d'exposition aux sédiments de Seine, Gironde et Témoin.

3.6. *Interprétations croisées, conclusions sur la phase de colonisation initiale*

Comme on pouvait s'y attendre les sédiments de la Seine et de la Gironde sont plus contaminés que le sable témoin. Le sédiment de la Seine est nettement plus concentré en HAP, PCB et OCP que la Gironde et le Témoin. Les concentrations en métaux sont plus importantes dans le sédiment de l'ambiance Seine pour Cr, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb, Hg ; au contraire elles sont plus importantes dans le sédiment de l'ambiance Gironde pour Co, U et As.

Suite aux trois semaines d'exposition les poissons présentent des teneurs plus élevées : i) en OCP chez le mulot et la civelle (Seine > Gironde > Témoin et Ti) ; ii) en PCB chez les flets (Seine et Témoin > Gironde et Ti), les civelles et les mulets (Seine > Gironde, Témoin et Ti).

Un taux de métallothionéine plus élevé a été mesuré dans les tissus des civelles par rapport aux flets et aux mulets. Les activités Ache relevées dans le muscle caudal de flet sont sensiblement plus élevées que chez les autres espèces. Les analyses statistiques n'ont en revanche pas révélé de différence significative entre les trois ambiances Seine, Gironde et Témoin.

Plusieurs gènes montrent une dérégulation de leur expression chez les flets, principalement dans la condition Seine. Un seul gène, Cox1, montre une augmentation significative de son niveau d'expression dans le foie des flets exposés aux sédiments de Gironde. Une surexpression de ce gène peut traduire des besoins métaboliques plus importants chez ces poissons liés au coût de l'adaptation aux conditions de ce milieu. Dans le cas de la civelle nous observons une nette différence d'expression pour le gène CYP1A avec une surexpression dans l'ambiance Seine. L'induction observée peut donc être considérée comme une réponse adaptative des civelles à la présence de polluants hydrophobes et toxiques tels que des HAP, PCB et OCP dans les sédiments de Seine.

La migration des jeunes thalassotoques en zone estuarienne nécessite de pouvoir synchroniser leur activité de nage avec courant avec le rythme circatidal. Compte tenu de la contamination plus importante de la Seine en contaminants, notamment organiques, nous avons fait l'hypothèse que dans cette ambiance les jeunes poissons présenteraient une moins bonne synchronisation. Cependant les résultats ne permettent pas de valider cette hypothèse. En effet :

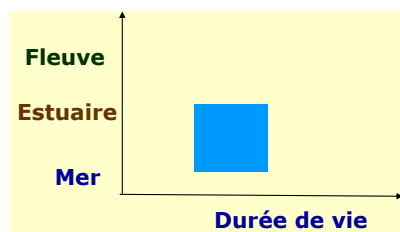
- les rythmes observés pour les jeunes mulets porcs sont relativement similaires entre les trois ambiances. On note même un rythme circatidal plus net dans le cas de l'ambiance Seine que dans le cas des deux autres.
- Les civelles d'anguille montrent un rythme circatidal (12,4h) très net pour les ambiances Témoin et Seine. Cette périodicité est moins nette dans l'ambiance Gironde où elle est au même niveau que celle du rythme nycthéméral.
- Le rythme correspondant au cycle tidal pour les flets est très net dans les trois ambiances, même s'il est nettement plus faible en Seine que dans les autres ambiances, il est complété dans les ambiances Témoin et Isle par un cycle nycthéméral plus faible mais significatif.

On note par ailleurs que dans l'ambiance Seine les civelles ont creusé moins de terriers que dans l'ambiance Gironde. Nous interprétons cette différence comme une réticence des civelles à s'enfouir dans le sédiment de la Seine nettement plus contaminé que celui de la Gironde.

Même si les expérimentations effectuées ne reproduisent les variations environnementales que de manière très simplifiées⁴, les résultats obtenus montrent clairement que contrairement à notre hypothèse les jeunes migrants des trois espèces thalassotoques sont tout à fait capables d'exprimer des activités synchrones avec un rythme de type circatidal dans l'ambiance Seine.

⁴ Le sens du courant dans les ambiances varie alternativement selon le rythme circatidal, mais en l'absence de synchronisateur comme la salinité les poissons ne sont pas à même de détecter un amont et un aval.

4. Utilisation des habitats estuariens



4.1. Contexte

Les zones estuariennes oligohalines (Figure 62) sont utilisées par quelques espèces typiquement estuariennes pour y accomplir l'ensemble de leur cycle de vie (Gobies *Pomatoschistus microps*, *P. minutus* ; crevette blanche *Palaemon longirostris* ; crabe chinois *Eriocheir sinensis*), par l'ensemble des espèces migratrices amphihalines comme corridor de migration ou habitat de croissance, selon les espèces, mais aussi par quelques espèces dulçaquicoles de la zone à brèmes (Huet, 1949) comme habitat de croissance et de reproduction (comme le sandre *Stizostedion lucioperca*, la brème commune *Abramis brama*, la brème bordelière *Blicca bjoerkna*, l'ablette *Alburnus alburnus*, le gardon *Rutilus rutilus*, l'épinoche *Gasterosteus aculeatus*, l'épinochette *Pungitius pungitius*) et quelques espèces marines comme habitat de croissance (bar franc (*Dicentrarchus labrax*) (Rochard et al., 1997a).

Dans le cas de ce travail concernant l'utilisation de la zone estuarienne oligohaline par les espèces amphihalines thalassotoques présentes en France (Anguille, mulot porc, flet) il nous a semblé que la comparaison avec une espèce d'eau douce euryhaline, la brème commune *Abramis brama* était intéressante.

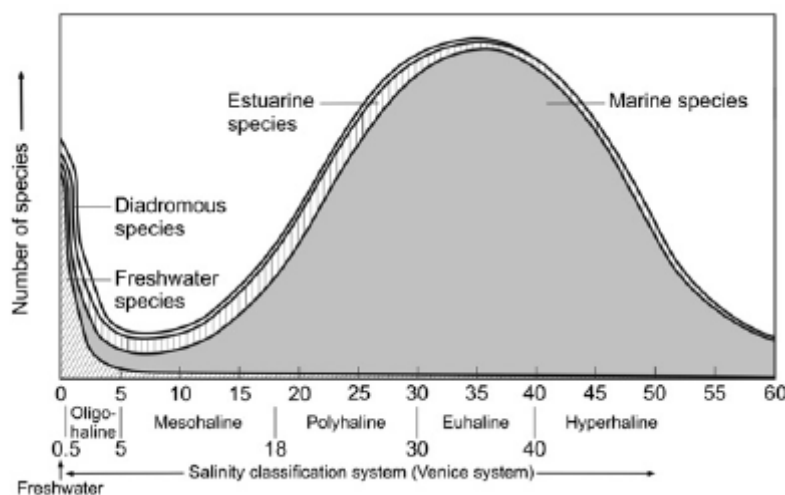


Figure 62 Modèle conceptuel de la distribution de la biodiversité estuarienne le long du gradient de salinité (Whitfield et al., 2012)

Une synthèse bibliographique nous a permis de dégager les principales caractéristiques des habitats préférentiels des espèces thalassotoques étudiées (flet, mulot, anguille). Les paramètres majeurs influençant la répartition des espèces sont principalement la hauteur d'eau, la nature du substrat et la disponibilité en proies ; la présence d'ombrages et d'abris semblent particulièrement importantes pour le flet et l'anguille.

En estuaire les mulets porcs fréquentent pour s'alimenter les vasières intertidales, strictement diurnes leur activité est maximale à l'aube et au crépuscule lors de la pleine mer, ils utilisent pour se reposer des zones profondes pourvues d'enrochement. Leur alimentation est composée de microalgues (diatomées benthiques et planctoniques), détritus organique et métazooplancton (larves et œufs de crustacés) (Almeida et al., 1993 ; Almeida, 1996b ; 2003 ; Pasquaud, 2006). Peu sensibles aux conditions environnementales ils se retrouvent parfois piégés dans des zones hypoxiques (Sauriau et al., 1991).

C'est en estuaire que la croissance des anguilles est la plus forte (Daverat et al., 2012). Leur régime alimentaire est très varié (invertébrés amphipodes, mysidacés, isopodes, crevettes, crabes, poissons, polychètes, mollusques, débris végétaux) (Pasquaud, 2006). Leur activité est principalement nocturne (sauf dans les secteurs très turbides), durant le jour elles demeurent dans des abris. Elles n'affectionnent ni les zones très envasées ni la végétation (Lafaille, 2002) et évitent les zones trop pentues (Baisez, 2001). Elles se distribuent en fonction de la profondeur (les plus grandes dans les secteurs les plus profonds (Daverat, 2005)

Carnivore opportuniste les flets se nourrissent de proies benthiques (annélides polychètes, débris végétaux, isopodes, crustacés amphipodes, jeunes stades de crevette), de jour comme de nuit (Beaumont & Mann, 1984). En estuaire ils s'alimentent principalement durant le flot (Wirjoatmodjo & Pitcher, 1984 ; Masson, 1987 ; Hampel et al., 2005). Les jeunes affectionnent les habitats sableux, de plus en plus grossiers lorsqu'ils grandissent (Zucchetta et al., 2010).

4.2. Objectifs

4.2.1. Utilisation des habitats

L'objectif de cette partie est de définir et de caractériser les séquences d'utilisation des habitats de croissance lors de la phase de sédentarisation des individus des trois espèces thalassotoques dans ce secteur d'eau douce de l'estuaire. Ces séquences d'utilisation des habitats seront comparées à celles d'une espèce d'eau douce : la brème commune qui se reproduit en eau douce ($< 5/^\circ$) mais dont une partie de la population peut vivre en estuaire saumâtre.

Dans un premier temps il s'agit de préciser et de comprendre quelles sont les tactiques d'exploration de l'estuaire tidal d'eau douce et de quelles manières les caractéristiques de l'environnement influent sur les mouvements des individus et leur niveau de sédentarisation. Il s'agit également de définir l'ampleur des domaines vitaux (hors reproduction) des espèces en période estivale (globalisant les fonctions d'alimentation, de repos et de refuge) et leur éventuelle fidélité à certains secteurs de l'estuaire amont.

Dans un second temps, la connaissance des domaines vitaux et des zones d'activités ou de repos permet de caractériser les habitats de croissance et la façon dont le secteur étudié contribue à l'accomplissement de la fonction de croissance pour ces espèces. Les résultats obtenus permettront de fournir des éléments pour la réalisation d'aménagements fonctionnels de l'estuaire à destination des espèces étudiées.

La démarche utilisée consiste établir des chroniques d'observations sur la localisation des individus, d'en déduire des mouvements de ces individus et à les coupler avec des données spatialisées d'habitats via des analyses de type écologie du paysage (Le Pichon, 2006 ; Le Pichon et al., 2009).

4.2.2. Réactions aux stress environnementaux

Une des questions auxquelles nous souhaitons apporter des éléments de réponse est la manière dont les différentes espèces en question se comportent lorsque les conditions environnementales

deviennent défavorables. C'est une situation qui peut se produire dans les bassins en cours de restauration comme la Seine, avec notamment des crises anoxiques estivales.

Nous n'étions pas en mesure de savoir si une telle situation se produirait durant l'expérimentation, mais nous avons postulé que le stress subi par les individus lors de leur capture, manipulations et marquage pouvait être considéré qualitativement comme un proxy d'un stress environnemental. Pour cette raison nous avons accordé une attention particulière à cette phase.

Dans la littérature certains auteurs considèrent arbitrairement une durée d'effet post marquage d'une à deux semaines, dans d'autres cas cet effet n'est pas pris en compte. Ceci peut être évalué sur des individus maintenus en captivité (mortalité, cicatrisation, reprise alimentaire), même si le comportement dans ce cas peut être influencé par les conditions de captivité.

Nous postulons : i) qu'il n'y a pas de raison que ce délai soit le même pour toutes les espèces, ni même pour tous les individus ; ii) qu'il existe un patron de détection correspondant à la période post marquage et un patron correspondant à la période suivante. On cherche donc à mettre en évidence la rupture entre ces deux patrons. Iii) si on n'identifie pas de rupture on conclura à l'absence d'un effet post marquage comportemental.

4.3. Matériel et methods

Une expérience de terrain a été réalisée durant l'été 2009 dans le secteur retenu de l'estuaire de Seine (cf. ci-après) et les résultats obtenus ont été comparés à ceux d'une expérience similaire (objectifs, matériel, protocole) réalisée durant l'été 2008 dans le secteur retenu de l'estuaire de la Gironde (cf Trancart, et al., 2011 ; Trancart, et al., 2012 pour le détail de l'expérimentation)

4.3.1. *Caractérisation des habitats*

4.3.1.1. *Données environnementales*

Les caractéristiques physico-chimiques de l'environnement ont été obtenues tout au long de l'expérimentation grâce à des dispositifs d'enregistrement (température, oxygène, turbidité, pH) automatique. Les températures ont été enregistrées toutes les deux heures par 6 enregistreurs de températures, attachés au mouillage des hydrophones.

Le relevé de la concentration en oxygène et le pH ont été fait ponctuellement au niveau de 10 hydrophones lors de leur déchargement. Les données de débits, enregistrées au barrage de Poses, ont été fournies par le GIPSA.

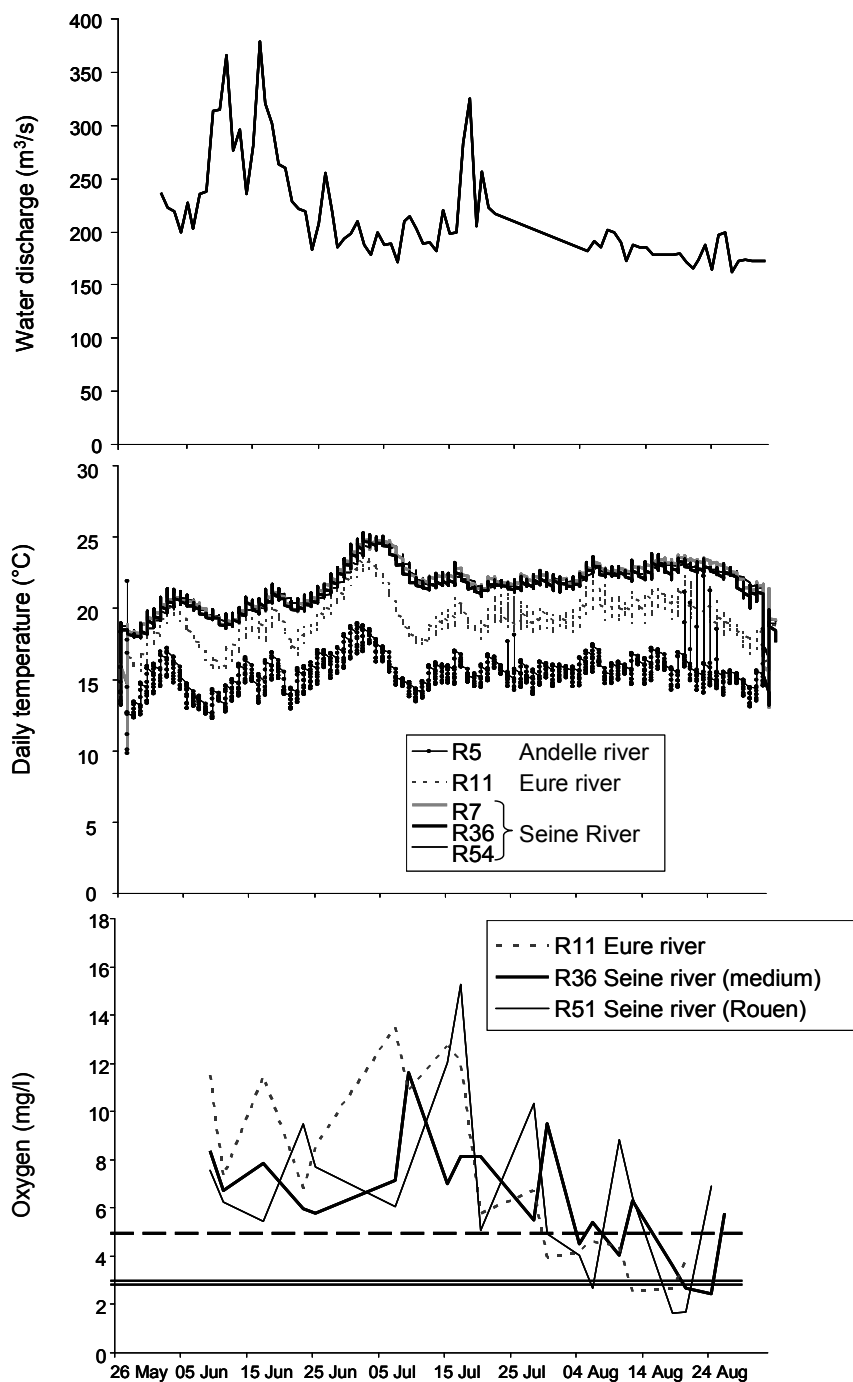


Figure 63: Paramètres environnementaux enregistrés à différents sites de la zone d'étude au cours de l'expérimentation. Le débit fluvial est enregistré au niveau du barrage de Poses. La température a été enregistrée en continu grâce à des capteurs autonomes fixés à certains hydrophones et l'oxygène a été enregistré ponctuellement à 1 m de la surface au droit de certains hydrophones (la double ligne horizontale indique un niveau de $[\text{O}_2]$ critique pour les poissons en dessous de ce seuil ; la ligne horizontale en pointillés représente un seuil au-dessus duquel la $[\text{O}_2]$ n'est pas limitante pour les poissons.

Les phases de marée ont été calculées à partir du tableau des horaires de pleine mer et basse mer, contenant aussi les coefficients de marée et obtenues auprès du GIPSA.

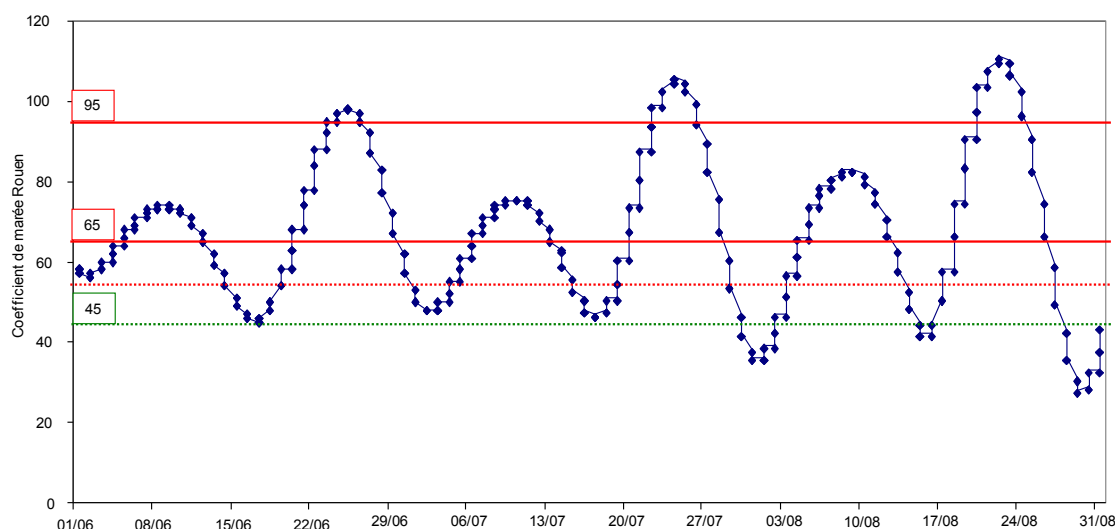


Figure 64 Evolution des coefficients de marée enregistrés pendant la période de suivi des poissons ; les lignes rouges indiquent les coefficients qui ont servis pour la modélisation des hauteurs d'eau, le coefficient 65 étant la valeur moyenne et 95 la valeur haute.

Les moments caractéristiques du nyctémère ont été calculés pour toute la période à l'aide du logiciel Astronomy Lab 2[®]. Le jour va du lever au coucher du soleil.

4.3.2. **Cartographie des habitats**

4.3.2.1. *Les données SIG disponibles*

Les données disponibles, en particulier leur emprise et leur précision, conditionnent les choix quant à l'analyse des préférences des espèces. La plupart des données SIG ont été transmises par le GIP Seine Aval. Une partie des données a nécessité des traitements géomatiques importants, réalisés à l'aide du logiciel ESRI[®] ArcGIS[™].

Les données de substrat de fond

Nous disposons d'une couche de polygones représentant les grands types de faciès morpho-sédimentaire présents dans l'ensemble du chenal principal entre Rouen et Poses (à l'exclusion des bras secondaires, bras morts et zones intertidales). Cette couche a été réalisée en 2008 par Etienne Peyras (stagiaire GIPSA) par l'interprétation de la morphologie du fond à partir de données de sondeurs multifaisceaux et mono faisceau et d'images sonar.

Les différentes classes de faciès morpho-sédimentaires utilisables sont : Graviers et cailloutis ; Gravello-sableux ; Sablo-graveleux ; Sableux ; Sablo-vaseux ; Sablo-vaseux et cailloutis ; Vaso-sableux et cailloutis ; Vaso-sableux ; Vaseux ; Tufs, sables et vases ; Tufs et sables ; Tufs.

Cette couche a été complétée par des relevés de terrains pour les substrats intertidaux ainsi que pour tous les bras secondaires, bras morts et annexes hydrauliques. Ces relevés ont été effectués à l'aide d'un GPS métrique (GMS2, Topcon[®]) en zodiac pour les bras morts peu profonds (Figure 67).

Les données acquises en 2010 par le bureau d'études RIVE et mises au format géographique par le bureau d'étude CS lors de la « Cartographie exhaustive des zones riveraines de l'estuaire Seine » ont aussi été utilisées pour compléter nos données.

La bathymétrie

Deux types de couches spatiales sont disponibles pour la bathymétrie :

- Les données obtenues par le sondeur multifaisceaux concernent le chenal principal. Elles sont découpées en 11 zones. Les zones sont fonction des découpages des données multifaisceaux. Les zones 1 à 6 sont à l'amont d'Oissel ; les zones 8 et 9 sont au niveau d'Oissel ; les zones 10 à 12 sont à l'aval d'Oissel. Elles sont très précises : 1 point par mètre.
- les données issues du sondeur monofaisceau, dans les chenaux secondaires et les zones intertidales. En général, on dispose d'une ligne de passage dans les zones intertidales, et de 5 à 10 lignes dans les bras secondaires. Le fichier de données sondeur 7 correspond aux données mono faisceau, couvrant de Poses à Rouen. La résolution des points est plus irrégulière.

Pour mieux estimer la hauteur d'eau dans les zones intertidales, nous avons ajouté deux lignes de points supplémentaires : la ligne de plus haute mer, transformée en points distants de 1m, pour avoir la cote de la berge et une ligne créée à un mètre de celle-ci, permettant de donner une idée de la pente (à 90°, à 45°, en pente douce). Des cotes issues de relevés de la DDE pour la zone des îles ont aussi été utilisées ainsi que quelques relevés de terrain.

Ces données ponctuelles d'altitude du fond ont été interpolées à l'aide d'un TIN (Triangular Irregular Network) permettant une représentation par mailles triangulaires de la morphologie de la zone, ensuite convertie en raster. On obtient ainsi une approximation de la cote bathymétrique du fond en chaque point de la zone d'étude.

Les hauteurs d'eau

Les hauteurs d'eau ont été calculées à l'aide des données bathymétrie et des données mesurées sur les marégraphes. Les relevés marégraphiques sont réalisés pour 4 classes de débit : 250, 400, 800, 1600 m³/s. Il a été retenu de calculer les hauteurs d'eau pour le débit 250 m³/s, correspondant au débit d'étiage (QMNA biennal) et le plus proche du débit observé pendant la période d'étude (Figure 63). 6 coefficients de marée sont aussi disponibles : 115, 95, 80, 65, 45, 30. Nous avons choisi de réaliser les cartes au coefficient 65, pour représenter une situation moyenne et au coefficient 95 pour une situation de forts coefficients. Les valeurs observées pendant la période du suivi téléométrique sont présentées Figure 64 et les valeurs moyennes, min et max des coefficients correspondants aux détections des poissons sont respectivement : 68, 28 et 111.

Les étapes principales pour obtenir les hauteurs d'eau sont présentées Figure 66. Elles consistent dans un premier temps en un choix des valeurs marégraphiques :

- d'Elbeuf à Poses, il y a très peu de différences entre les marégraphes d'Elbeuf et de Poses (max 27 cm), une moyenne des deux valeurs est utilisée comme hauteur marégraphique
- de Petit Couronne à Elbeuf, une méthode d'interpolation des hauteurs marégraphiques entre les marégraphes de Petit-Couronne, Rouen, Oissel et Elbeuf a été réalisée. Elle consiste à créer une courbe de la hauteur marégraphique en fonction de la distance à Poses (une courbe pour la marée haute et une pour la marée basse, *Figure 65*). Le raster des distances à Poses, préalablement établi, est alors transformé en raster de hauteurs marégraphiques à l'aide de la courbe précédente.

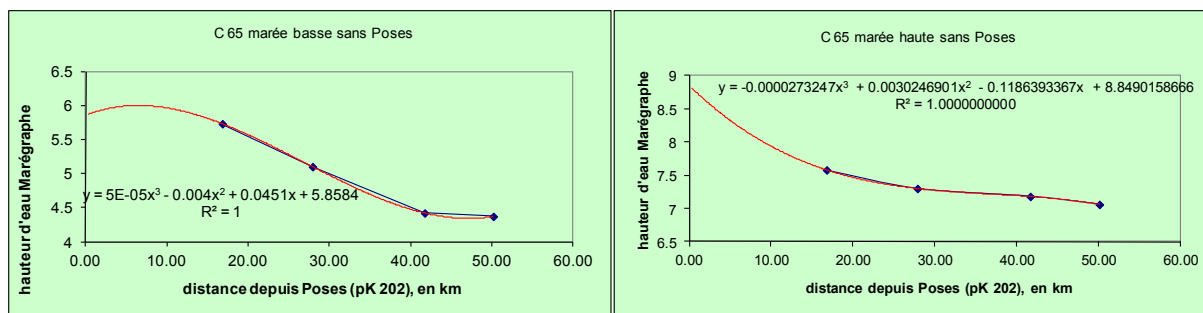
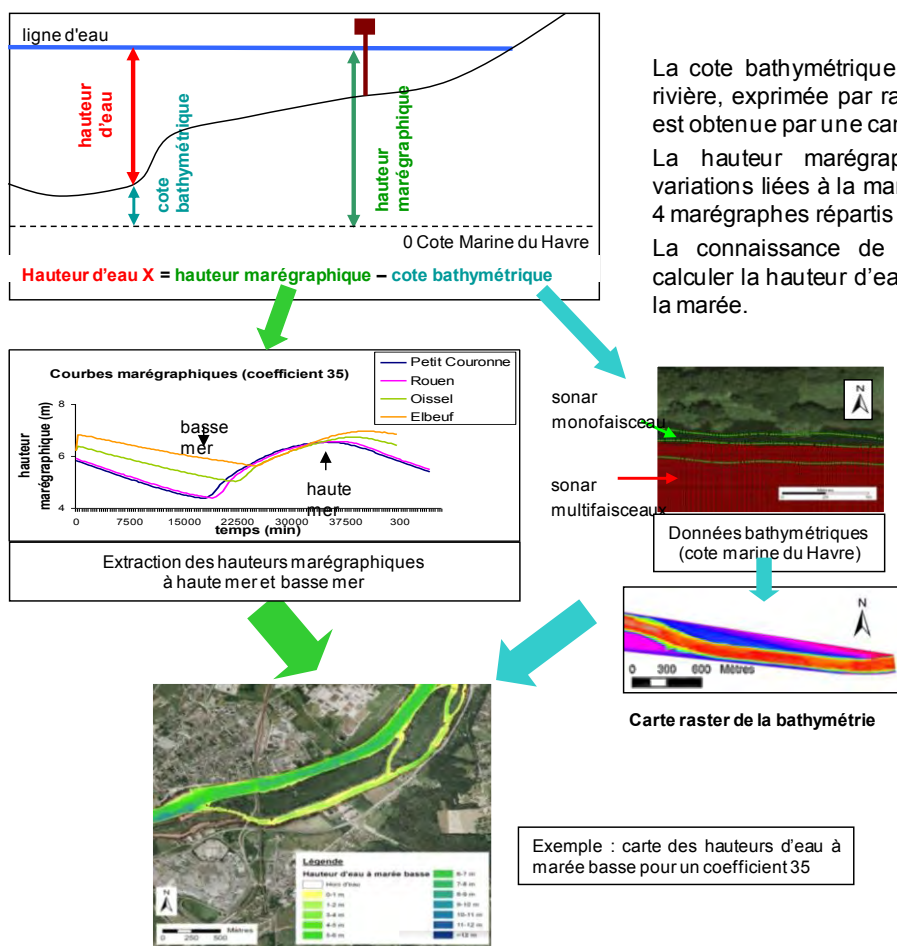


Figure 65 Equations polynomiales établies à marées basse et haute pour le calcul de la hauteur marégraphe en tout point du secteur d'étude (c'est-à-dire la hauteur marégraphe en CMH qui pourrait être lue sur un marégraphe théorique).

Dans un second temps, nous avons calculé le raster des hauteurs d'eau par différence du raster des hauteurs marégraphe et du raster de la cote bathymétrique ; le résultat est reclassé en classes d'1 m (ex : 2,12 = classe 2-3 m ; code 3) puis passé en format vecteur par géotraitement.

Etapes d'obtention des hauteurs d'eau



Disponibles :
Coefficients 65 et 95
PM et BM

Figure 66 Diagramme des étapes effectuées pour obtenir la modélisation cartographique des hauteurs d'eau



Figure 67 Mesures complémentaires des caractéristiques de l'environnement : bathymétrie dans un bras secondaire (g), prélèvement de substrat (centre), relevé de la végétation des berges (d).

Les limites de marées

Nous disposons de deux couches (lignes) réalisées par Etienne Peyras. L'une suit la ligne de plus haute mer (digue, arbres, obstacles) ; l'autre représente une marée basse moyenne (elle suit la côte 5,5 CMH, Cote Marine du Havre).

Enfin, il est possible de créer des couches représentant les limites de marée théorique pour les coefficients désirés, en s'appuyant sur les données de hauteur d'eau modélisées précédemment. Ainsi nous avons réalisé une couche comprenant les zones intertidales au coefficient de marée 65 et une au coefficient de marée 95. Elles sont obtenues par différence spatiale entre les hauteurs d'eau à pleine mer et à basse mer à chaque coefficient. On obtient par cette méthode des surfaces de zones intertidales de 1,01 km² au coefficient de marée 95 et 0.91 km² au coefficient de marée 65.

A titre indicatif, nous avons affiché la couche des zones intertidales au coefficient de marée 65 avec la couche de marée basse suivant la côte 5,5CMH ; les zones modélisées sont assez proches de la limite de marée basse moyenne (Figure 68).

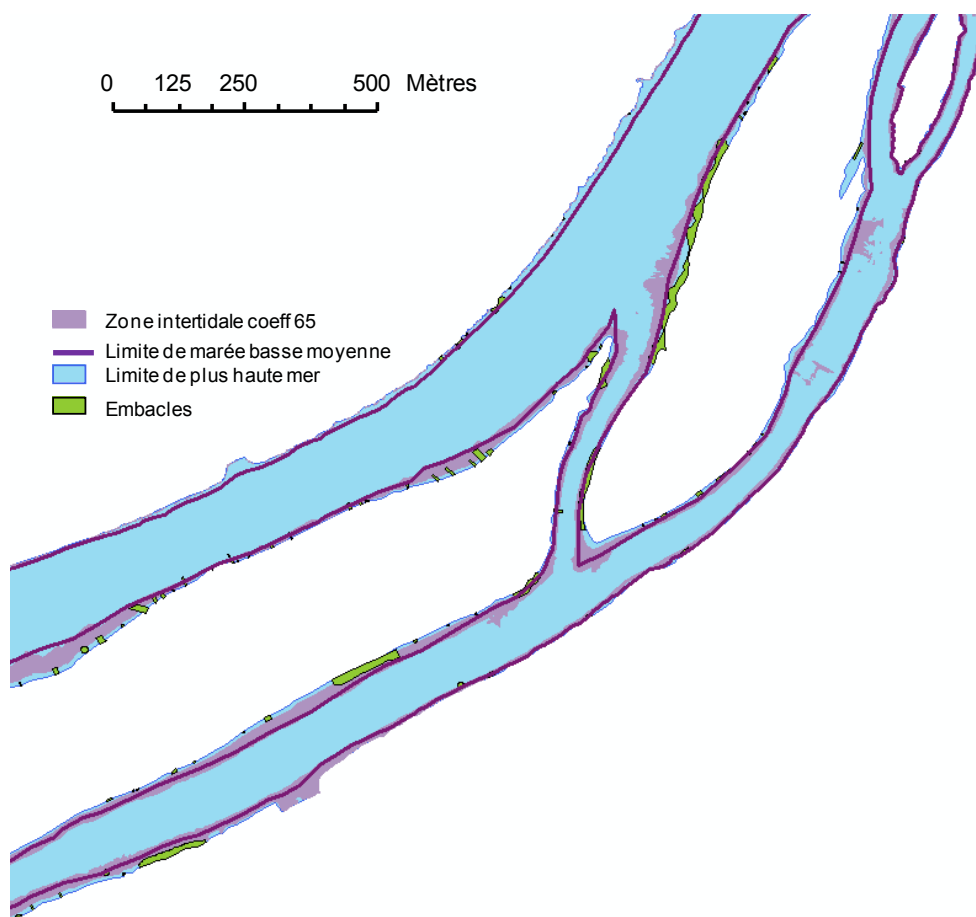


Figure 68 Détail de la zone des îles : zones intertidales modélisées et limites fournies par le GIPSA ; présence des embâcles.

Les embâcles

Les souches et branchages végétaux pouvant constituer des zones d'abris et de refuges pour les poissons ont été relevés à l'aide d'un GPS en 2009 et une couche d'information au format vecteur a été constituée ; elle comprend 335 entités. Ces données acquises par l'équipe Irstea d'Antony ne couvrent pas tout le site d'étude. Elles gagneraient à être comparée/complétée par les données des bureaux d'études RIVE et CS acquises en 2010.

4.3.3. **Analyses de données et analyses spatiales**

L'objectif des analyses spatiales consiste à identifier parmi les variables cartographiées ou les variables de l'environnement, celles qui affectent l'utilisation des habitats de chacun des individus suivis par télémétrie, par rapport aux habitats disponibles dans leur domaine vital. Cette étude devrait fournir des informations sur les caractéristiques environnementales nécessaires à la croissance estivale des trois espèces. En théorie, on reconstruit la niche écologique réalisée d'une espèce à partir des variables environnementales mesurées aux localisations qu'elle occupe (Hirzel & Le Lay, 2008). En termes de méthodes, l'analyse se fait en trois étapes :

- Dans un premier temps une analyse des détections de présence des poissons et des trajectoires individuelles ; permettant notamment d'estimer s'il y a un effet post-marquage sur les mouvements des individus.
- Sur la période où l'on considère les mouvements des individus comme reflétant des comportements habituels, les domaines vitaux sont estimés et leur emprise spatiale cartographiée.

- Enfin, ces domaines vitaux permettent d'étudier les préférences d'habitats et leurs caractéristiques environnementales.

4.3.3.1. *Détections et analyse des trajectoires*

L'ensemble des données de détections par les récepteurs fixes et par les récepteurs mobiles a été rassemblé dans une base de données Access®. La table des données de détection par le réseau fixe comprend l'identifiant du poisson, la date et l'heure, le numéro du récepteur, les coordonnées X,Y en Lambert 93 du récepteur. La table des données de détection par le suivi mobile comprend l'identifiant du poisson, la date et l'heure et les coordonnées X,Y en Lambert 93 de la localisation du poisson. Des graphes de détections en fonction du temps ont été réalisés pour une première approche visuelle.

Compte tenu de la configuration des couples de récepteurs (recouvrement partiel de leurs aires de détection), il peut exister des détections espacées de quelques secondes sur les deux récepteurs dont les coordonnées X,Y sont alors espacées de 150 m à 200 m ; ce qui correspondrait à des vitesses de déplacement non réalistes. Pour palier ces inconvénients, nous avons choisi d'utiliser une méthode de lissage des données de détection pendant une période de temps de 3 mn (Vitesse de nage d'environ 1m/s). Toutes les localisations des détections enregistrées pendant des pas de temps successifs de 3 mn sont converties en une seule localisation qui est la moyenne de toutes les coordonnées X,Y pondérées par le nombre de signaux reçus à chaque récepteur ou position manuelle. Cette méthode de lissage utilisée par (Simpfendorfer et al., 2002) est une approche de centre d'activité à court terme et est adaptée aux études qui étudient les mouvements et l'utilisation de l'espace à l'échelle des segments et des domaines vitaux. Ainsi, pour un individu qui est dans la zone de détection de plusieurs récepteurs lors des trois minutes, on peut obtenir une localisation assez fine (assez semblable à une triangulation). Au contraire, un individu restant dans la zone de détection d'un seul récepteur sera considéré fixe alors qu'il peut en fait y réaliser de petits déplacements (< 200 m). Cette variabilité des erreurs de localisation est à garder en mémoire lors des interprétations.

La méthode a été implémentée à l'aide d'un script R (R Development Core Team, 2005). Ces positions lissées ont été importées dans l'environnement d'Arcview GIS® pour visualiser la trajectoire des poissons. L'outil Hawththtool pour ArcGIS a été utilisé pour visualiser les cartes de trajectoire multi-segments pour chaque poisson (Beyer, 2004) ; les segments de base de la trajectoire ont été modifiés au besoin pour suivre le fleuve. Pour analyser quantitativement la trajectoire des poissons, les distances hydrographiques de chaque segment de base de la trajectoire ont été calculées avec le logiciel Anaqualand 2.0 (Le Pichon et al. Irstea 2006 ©). L'utilisation de ce logiciel nous a aussi permis d'orienter chaque segment de base de la trajectoire ; les catégories suivantes ont donc été affectées : « Amont », « Aval », « latéral » ou « pas de mouvement ».

De plus chaque segment de base a été renseigné par son lien avec le nycthémère : jour ou nuit et à la phase de marée : flot ou jusant par des comparaisons sur les date-heure. Dans le cas où la période de temps d'un segment de base se trouvait à cheval sur plusieurs phases de marée ou de nycthémère, le code mentionné était « PLURI ».

4.3.3.1. *Domaines vitaux*

Les domaines vitaux des poissons ont été déterminées en utilisant la méthode des noyaux browniens, basée sur les propriétés d'un chemin aléatoire entre les localisations successives et dépendantes du temps et des distances entre localisations (Bullard, 1991). Cette méthode a des avantages sur les méthodes classiques (type noyau simple) car elle considère la nature orientée dans le temps des données de localisation spatiale et l'intervalle de temps entre les localisations successives (Horne et al., 2007). Elle quantifie le temps passé dans certains secteurs sur la base de la trajectoire plutôt que sur la densité des localisations. Elle nécessite le choix de 2 paramètres de

lissage : le 1^{er} est lié à la vitesse de l'individu suivi et peut être estimé par une fonction qui utilise les données et borné par nos connaissances sur l'écologie de l'espèce ; le 2^d est lié à l'imprécision des localisations (ici nous avons considéré le maximum, soit l'erreur de localisation des récepteurs : 100 m). Nous avons employé la fonction « kernelbb », disponible dans le package « Adehabitat » sous R (Calenge, 2006 ; 2007) pour établir, pour chaque poisson, le domaine vital à 50% de temps passé (DV50) ou centre d'activité. Comme cette fonction n'intègre pas la forme du fleuve, les DV50 de chaque poisson ont été découpés par rapport à la couche de la limite de plus haute mer à l'aide des outils de géotraitement d'ArcView.

Pour évaluer l'utilisation commune de certains secteurs du site d'étude par l'ensemble des individus d'une même espèce, nous avons déterminé le taux de chevauchement des DV50 entre les poissons. La proportion du DV50 d'un individu couvert par le DV50 des autres est calculé à l'aide de la formule suivante: $DV_{ij} = A_{ij}/A_i$, où A_{ij} est la surface de l'intersection entre les deux DV50 et A_i est la surface du DV50 de l'individu i. Ces proportions permettent d'établir la matrice de similarité entre individus, qui sert de base à une classification hiérarchique ascendante : elle part de tous les individus et réunit à chaque étape les plus ressemblants. Le dendrogramme de Ward obtenu à la fin de la classification hiérarchique est une représentation graphique qui illustre le contenu des groupes formés à chaque niveau de similarité.

4.3.3.2. *Préférences d'habitats*

Le principe est de comparer l'utilisation d'habitat à la disponibilité d'habitat (Lowe et al., 2003); l'habitat utilisé (niche réalisée) est celui correspondant au DV50 pendant la période d'étude. Ainsi, l'utilisation d'habitats spécifiques (préférence pour certaines variables environnementales), proportionnellement à la disponibilité de ces habitats dans le site d'étude a été déterminée par l'indice de sélectivité d'Ivlev (1961) comme le proposent Senko et al. (2010). Cet indice est calculé par variable environnementale pour chaque poisson par l'équation : $I = (U-D)/(U+D)$, où U est le pourcentage de la variable dans le DV50 et D le pourcentage de la variable dans le site d'étude. Le degré de préférence est indiqué par l'écart au zéro vers les valeurs positives, l'évitement par l'écart au zéro vers les valeurs négatives.

4.3.4. *Matériel retenu*

Compte tenu de la profondeur de certains secteurs la télémétrie acoustique a été préférée à la télémétrie radio. Le principe est de placer un émetteur sur ou dans le poisson et de le localiser grâce à des récepteurs immergés (hydrophones) placés judicieusement.

Afin de suivre la fréquentation des différents habitats par les poissons nous avons retenu le principe de déployer un réseau d'hydrophones à poste fixe qui écoutent et enregistrent en continu la présence éventuelle des émetteurs à sa portée et de compléter par des suivis en bateau avec un hydrophone mobile.

Le choix des émetteurs résulte d'un compromis entre une distance d'émission suffisamment importante pour une réception aisée des signaux au niveau des zones profondes une taille, un poids compatible avec la taille des poissons à équiper⁵ et une autonomie suffisante.

Les émetteurs retenus sont codés, ce qui permet une identification individuelle lors de la localisation ultérieure des poissons. Les émetteurs Vemco V7 (7 x 18 mm, 1,0 g dans l'eau) émettent leur codes à des intervalles entre 45 et 90 s avec une durée de vie d'environ 45 jours. Sur le site d'étude la portée des V7 est de 100-150 m et celle des V9 de 150-200 m.

⁵ IL est généralement admis que le poids de l'émetteur ne doit pas excéder 2% du poids du poisson.

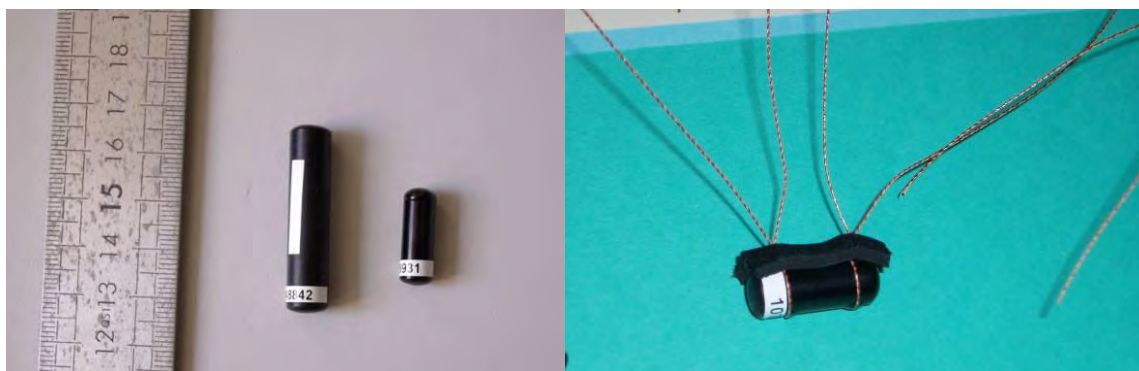


Figure 69 Emetteurs V9P-6L (à gauche) et V7-2L (à droite)

Nous avons sélectionné un système de localisation de la marque Vemco avec deux stations de réception. Une station de réception portable autonome (VR100) facilement déployée lors des pistages actifs et un récepteur plus encombrant et non autonome (VR28) mais permettant une localisation plus fine et un enregistrement automatique.

Le VR 100 (Figure 70 gauche) nous apporte sa transportabilité et sa facilité d'utilisation avec ses 2 hydrophones montés sur support (VH 110 et VH 165). Le VH165 est un hydrophone omnidirectionnel qui permet une première détection grossière du positionnement et le VH110 est un hydrophone directionnel qui permet un repérage plus fin des individus. Le VR100 possède une antenne GPS intégrée.

Le VR28 (Figure 70 droite) est complémentaire au VR100. Il est possible de le déployer dans des zones relativement profondes et peu accidentées. Ce type d'appareillage, lourd nécessite une source d'énergie et une connexion à un ordinateur muni du logiciel TRACK28 ce qui interdit toute utilisation sur de menues embarcations ou à pied. Il est muni de l'hydrophone VH40 qui intègre 4 hydrophones permettant un pistage directionnel plus confortable des individus. Le VR 28 est connecté à un GPS différentiel (DGPS, Magellan Mobile Mapper Cx) permettant une localisation automatique en 2D des détections avec une précision métrique.

Lors des suivis, ces appareils sont utilisés simultanément car ils sont complémentaires (VR100 : zones accidentées et ouvertes avec peu de données sur la localisation précise des émissions acoustiques ; VR28 : zones ouvertes et localisation précise).

Un réseau d'hydrophones autonomes immergeables VR2W (69khz) (Figure 71) a été déployé sur toute la zone de suivi et notamment dans les zones difficiles d'accès. Ce sont des matériels de détection automatiques et autonomes qui écoutent en continu avec une autonomie de plus de trois mois. Ces hydrophones stationnaires ont une distance de détection qui dépend des caractéristiques des émetteurs et de celles du milieu aquatique considéré. Ils nécessitent un déchargement régulier des informations à l'aide du logiciel VUE et permettent l'acquisition des données de détection des émetteurs correspondant à chaque poisson.

Nous en avons utilisé 54 pour cette expérimentation, la plupart ont été mis en place dès le départ, les autres ont été déployés en cours de route pour affiner ou confirmer les premiers résultats.



Figure 70 Récepteurs utilisés pour le tracking manuel : Vemco VR100 (g) et Vemco VR28 (d)

Ces hydrophones sont immergées dans la colonne d'eau à la verticale (position optimale de réception) fixés sur des mouillages composés d'un corps mort⁶ assurant la stabilité du dispositif relié à une bouée en surface surmontée d'un réflecteur radar. Dans la zone sous gestion du Grand Port maritime de Rouen nous avons du suivre des spécifications particulières (bouées de couleur orange, déflecteur radar et feux scintillants blancs automatiques).

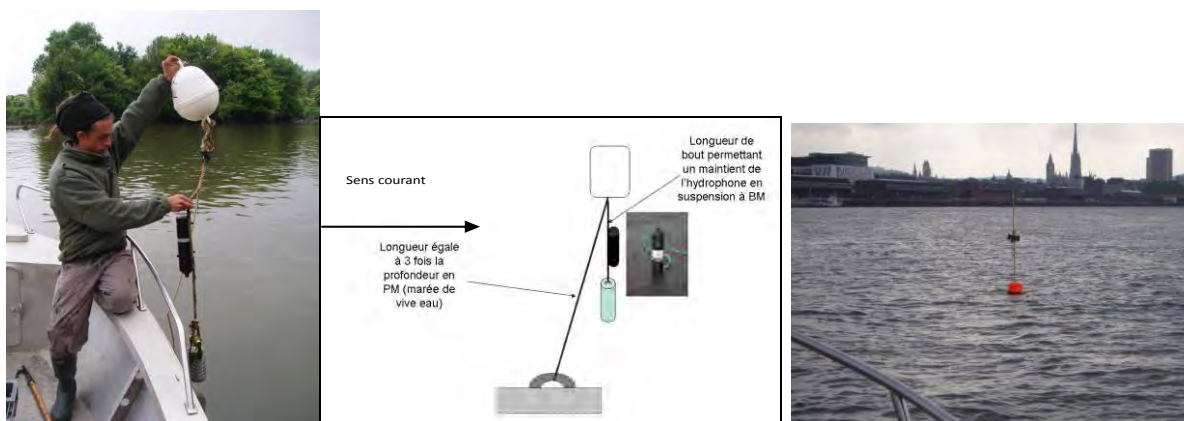


Figure 71 Hydrophone autonome VR2W et son mouillage (g), principe (centre) et bouée de surface avec réflecteur pour radar et feu automatique (d).

Afin de tester la portée des émetteurs et de déterminer la distance de détection par les appareils de détection automatique et de prospection manuelle dans les conditions du site, une campagne de reconnaissance et de calibration a été effectuée sur le secteur d'Oissel en décembre 2008. Cette donnée est essentielle pour concevoir le déploiement spatial du réseau d'hydrophones et la surveillance longitudinale et latérale du secteur d'étude (Heupel et al., 2006). Pour le secteur retenu, la distance de détection a été estimée à 100 m (Figure 72).

⁶ 50 kg pour les mouillages près du chenal, 30 kg pour ceux placés dans les bras morts

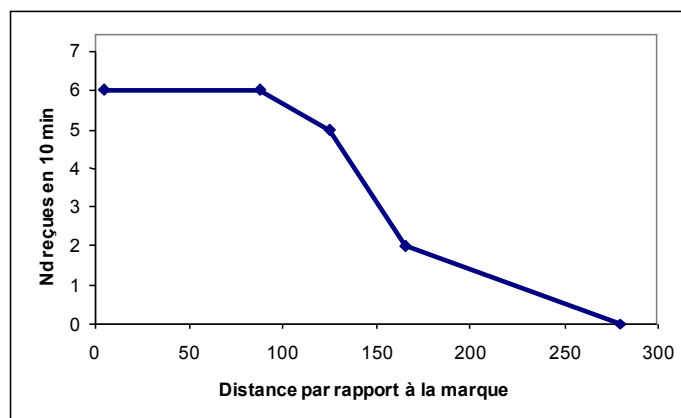


Figure 72 Evolution du nombre de détections d'un émetteur V9 par un récepteur VR2W en fonction de la distance.

4.3.5. **Protocole de suivi**

Un réseau d'hydrophones a été mis en place sur l'ensemble de la zone d'étude de manière à obtenir une résolution spatiale suffisante pour permettre un suivi de la fréquentation des différents habitats (chenal principal, bras secondaire, annexe hydraulique) et les éventuels mouvements longitudinaux (amont-aval) et transversaux (d'une rive à l'autre).

4.3.5.1. *Dispositif mis en place*

Le déploiement spatial du réseau d'hydrophones (balisage) doit répondre à plusieurs objectifs tout en respectant les contraintes du site d'étude. Il a été réalisé en plusieurs étapes afin de s'ajuster aux mouvements des poissons constatés durant les premières semaines (Figure 73).

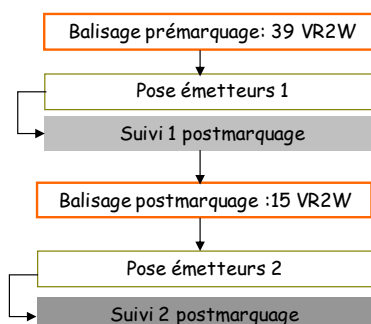


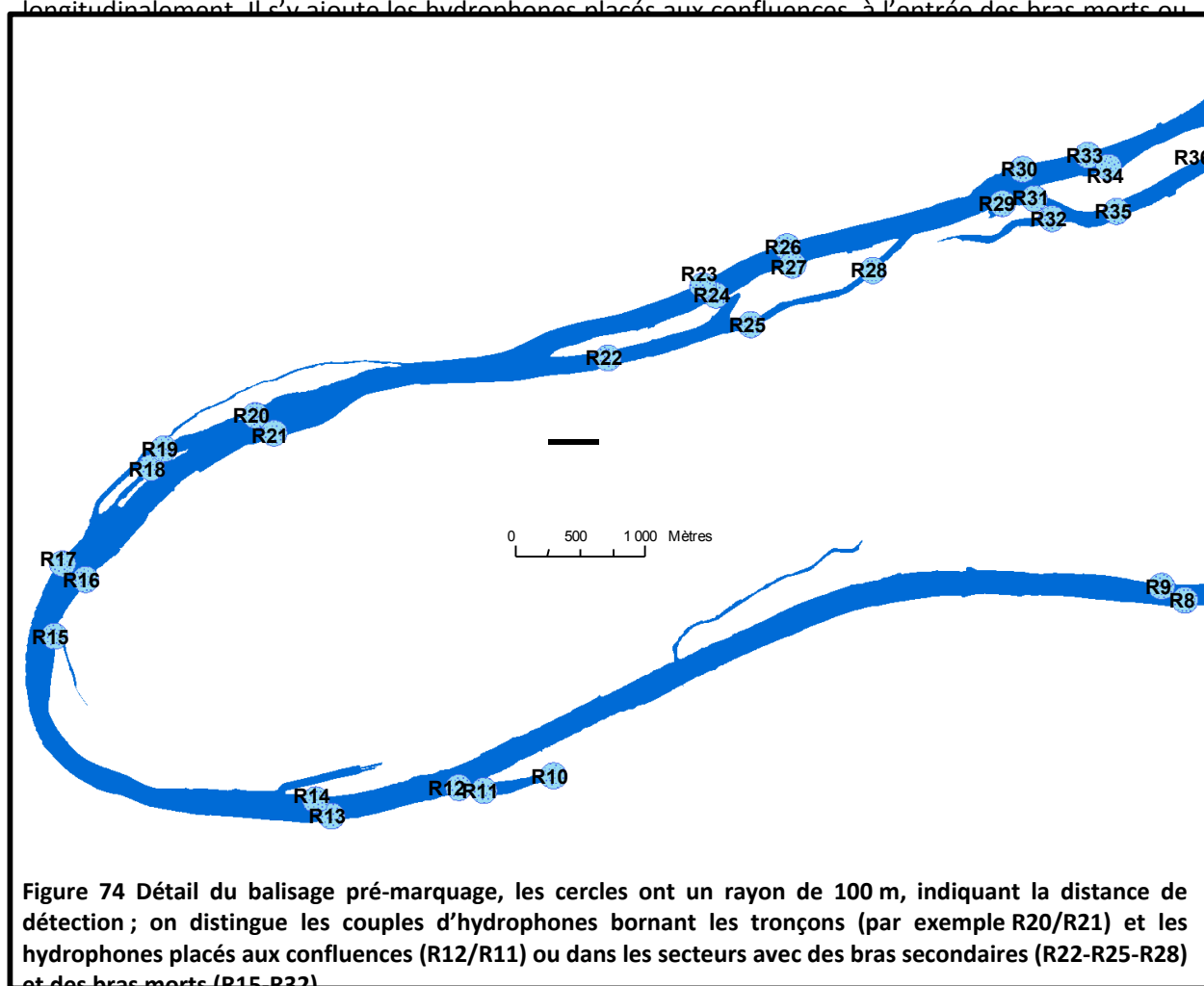
Figure 73 – Succession des étapes retenues pour le suivi

Balisage pré-marquage

Son objectif est d'appréhender de façon globale et rapide les premiers déplacements des poissons après leur lâcher. Ce balisage vient en appui au suivi actif et permet de mettre en évidence les éventuels comportements post marquage, immobilité, dévalaisons ou montaisons des poissons.

Etant donné les caractéristiques des émetteurs utilisés, la distance de détection, la vitesse du courant ainsi que les vitesses de fuite des poissons, les 45 km du balisage longitudinal entre Rouen et Poses ont été découpé en 11 tronçons délimités par des hydrophones stationnaires (espacement de 2 à 10 km). Etant donné les contraintes issues de la navigation, interdisant tout balisage au niveau du chenal de navigation, ainsi que la complexité de certains tronçons, présentant des bras secondaires, bras morts, confluences, un balisage latéral s'est avéré nécessaire. Ainsi dans le chenal, les tronçons sont délimités par un couple d'hydrophones (rive droite et rive gauche), placés en marge du chenal. Pour augmenter les possibilités de détections lors du passage des bateaux, ou de poissons en

déplacement très rapide, les hydrophones de chaque couple sont légèrement décalés longitudinalement. Il s'y ajoute les hydrophones placés aux confluences, à l'entrée des bras morts ou



Balisage post-marquage

Compte tenu des observations faites durant les premières semaines, les 15 hydrophones restants ont été déployés et certains hydrophones déjà installés ont été déplacés. Ils ont notamment été déployés sur des zones avec un grand nombre de détections afin d'affiner les localisations et le suivi des déplacements. Au final, un réseau de 54 hydrophones a été déployé sur le secteur d'étude (Figure 76).

4.3.5.2. Acquisition des données de localisation

Les hydrophones enregistrent la présence des poissons marqués à proximité et permettent d'en déduire les mouvements entre compartiments (une approche du même type a été effectuée par Szedlmayer & Able, 1993 sur des flets nord américains).

Des campagnes de pistage manuel ont été effectuées à partir d'une petite embarcation (L 5,5 m, 40 cv) deux fois par semaine (Figure 75 droite) sur l'ensemble de la zone ($V = 10 \text{ km/h}$) afin de préciser la localisation des individus et de compléter la caractérisation des habitats. Les bras secondaires et certains secteurs peu profonds n'ont pu être prospectés qu'à marée haute. Les hydrophones ont été contrôlés et nettoyés une fois par semaine et les informations enregistrées (date et heure de détection des émetteurs) ont été déchargées par précaution (Figure 75 gauche).

L'ensemble des informations provenant des hydrophones a été enregistré dans une base de données (Access).



Figure 75 Déchargement des informations enregistrées sur un hydrophone fixe par connection Blue tooth (g) et tracking mobile (d)

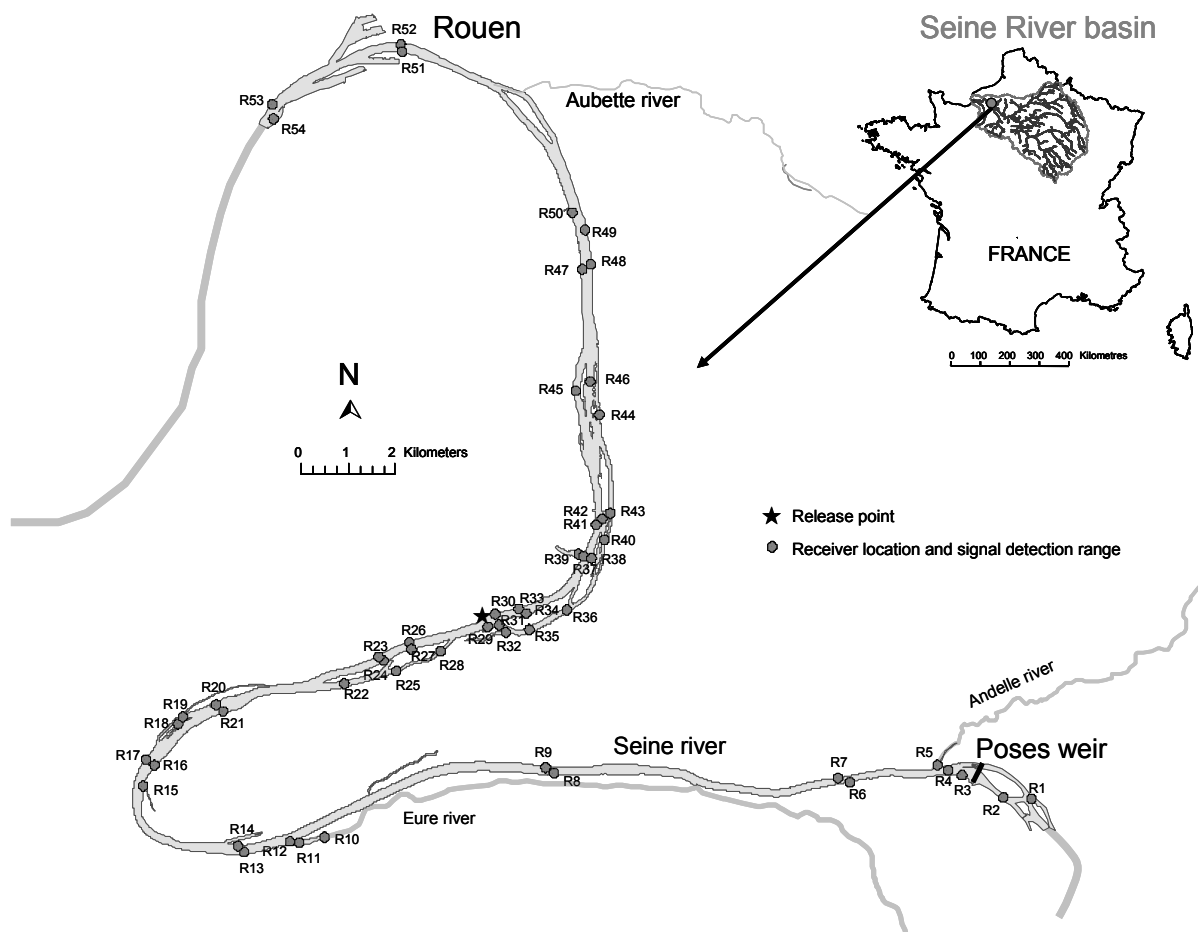


Figure 76 Localisation du secteur d'étude dans la partie aval du bassin de la Seine et emplacements des hydrophones (R1-R54). Le barrage de Poses constitue la limite amont de la zone d'étude, il est équipé d'une passe à poissons.

4.3.6. **Poissons suivis**

4.3.6.1. **Capture**

Compte tenu de la durée de vie des émetteurs (environ 52 jours) et afin de couvrir l'ensemble de la période estivale il a été nécessaire de réaliser deux sessions de pêche et de marquage. Les captures ont été réalisées par la Cellule de Suivi du Littoral Normand lors de deux campagnes : 2-5 juin 2009 et 29 juin-3 juillet 2009 à l'aide d'un protocole mis en place conjointement.

Les poissons ont été capturés sur la zone d'étude avec des filets tramails combinés à des verveux (mulet), avec des verveux (anguille) ou par pêche électrique (flet) (Figure 77). L'utilisation des trois types d'engins permet de capturer une fraction représentative des quatre espèces (fraction résidente et mobile) et une estimation moins biaisée de l'utilisation de l'espace par les populations en question (Rogers & White 2007). Aussitôt après leur capture les poissons ont été transférés dans un bac de récupération avant d'être mesurés et équipés d'émetteurs. La localisation des captures a été enregistrée.



Figure 77 Levée d'un verveux (g) et captures de mulets porc avec un filet tramail (d)

Les mulets pêchés sont tous de grandes tailles (> 400 mm), il n'a pas été possible d'en capturer de plus petits à ces dates. Par contre à partir de mi juillet, des mulets de plus petite taille ont été observés sur le site. Ils se cantonnent au niveau du chenal dans la zone intertidale avec des enrochements et contrairement aux plus grands individus ne fréquentent pas les bras mort ou les annexes hydrauliques. Ce phénomène avait déjà été mis en évidence sur l'Isle en 2008 où la seule technique permettant de capturer ces petits individus avait été la pêche au carrelet.

Les anguilles ont été capturées de nuit dans des verveux. Ces individus sont dans la bonne gamme de taille par rapport à la problématique de colonisation initiale.

Les flets ont été très difficiles à capturer, aucun de la taille recherché n'a été trouvé à l'embouchure de l'Eure. Seuls des juvéniles de flets issus du recrutement 2009 (0+) étaient présents en grande quantité. Finalement deux individus ont été marqués lors de la première campagne et sept individus issus de l'Andelle ont été capturés lors de la seconde campagne. Ces individus correspondent aux gammes de tailles recherchées.

Les brèmes capturées présentent deux gammes de tailles : deux individus juvéniles de 230-240 mm (<5+ et 300 mm) et les huit autres dans la gamme 350-475 mm. Parmi les plus grands certains présentaient des colorations rouges marquées et des blessures, indicatrices d'individus matures, sans doute en fin de fraie (d'ordinaire en avril-juin).

4.3.6.2. **Marquage**

(Voir en annexe le mode opératoire TLK 401 pour une description complète de cette étape)

Comme recommandé par Rogers & White (2007) des essais préalables ont été effectués en 2008 et 2009 à la station d'expérimentation Irstea de St Seurin sur l'Isle. Dix poissons de chaque espèce ont été marqués et observés pendant un mois en comparaison avec des individus non marqués. Ils ont permis de préciser le protocole de marquage pour les différentes espèces thalassotoques (mode opératoire en annexe). Ils ont également permis de vérifier l'absence d'effet du marquage sur la survie et le comportement des individus au-delà de la période nécessaire à la récupération.



Figure 78 Expérience préliminaire pour calage du protocole avec ici des jeunes flets

Après anesthésie générale l'émetteur est placé en intrapéritonéal pour le mullet (V7 pour les individus entre 200 et 270 mm et V9 pour les individus de plus de 270 mm), l'anguille (V7) et la brème (V7) en externe sur la face dorsale pour le flet (V7).



Figure 79 Suture après implantation intrapéritonéale d'un émetteur dans un mullet porc (g) flet avec un émetteur implanté sur sa face zénithale (d).

La procédure d'implantation des émetteurs en intrapéritonéal a été effectuée en suivant les recommandations de Bridger & Booth (2003). 21 anguilles européennes (3/6 et 30/6), 20 mulets porcs (3-4/6 et 29/6-2/7) et 10 brèmes communes (2-3/6 and 29/6) ont été anesthésiés avec une solution d'eugénol (0.03-0.1 ml.l⁻¹) (Anderson et al., 1997). Au stade 4 de l'anesthésie (absence totale de nage, mouvements operculaires ralentis (Peake, 1998), les poissons ont été pesés, mesurés et placés sur une table de chirurgie adaptée aux poissons.

Un traitement antibiotique est effectué lors de l'implantation (Amoxicillin, 0.025 ml/individu), l'incision est fermée avec deux sutures (monofilament stérile Ethicon) et recouverte d'une crème antifongique hydrophobe.

La seconde campagne de marquage a été plus difficile à mener que la première du fait de la température très élevée ; l'anesthésie et plus généralement le protocole ont dû être adaptés.

Les poissons ont été remis à l'eau (site de lâcher) à proximité des sites de captures soit au niveau d'Oissel pour les anguilles, les brèmes et les mulets et à l'embouchure de l'Andelle pour les flets. A

l'issue des deux campagnes 10 brèmes, 21 anguilles, 20 mulets et 9 flets ont été équipés d'émetteurs sur le secteur d'étude (voir détails en Annexe 2).

Les deux campagnes de marquage ont suscité un fort intérêt de la part des riverains et des acteurs présents sur le site d'étude. Certains sont même venus assister aux deux campagnes de marquage afin d'avoir des renseignements sur l'avancée des observations.

4.4. Résultats

4.4.1. Analyse bilan des détections par individu

La mise en place d'un dispositif fixe d'écoute à poste fixe assurant une bonne couverture du secteur d'étude s'est révélée très performante avec plus de 250 000 enregistrements de détection. Les campagnes de pistage actif nous ont permis d'affiner la localisation de certains individus (150 relevés au cours de la période de suivi) et d'obtenir une précision compatible avec la cartographie des habitats.

Le bilan du nombre d'individus marqués, de leurs caractéristiques morphologiques et du nombre de jours de détections (récepteurs fixes et suivis mobile) est présenté dans le Tableau 5. Hormis pour les flets nous avons équipé le nombre de poissons prévu. Le nombre de jours de localisation est nettement plus important pour les anguilles et les brèmes que pour les mulets et les flets. Des écarts importants du nombre de détections sont observés entre espèces ainsi que pour une même espèce.

Tableau 5 Nombre de poissons équipés (N), longueur totale (TL), masse totale (BW) et nombre de jours pendant lesquels les individus ont été localisés.

Espèce	N	LT (mm) médiane (min-max)	P (g) Médiane (min-max)	Jours de détection médiane (min-max)
<i>Liza ramada</i>	20	485 (400-525)	1325 (935-1680)	3 (1-35)
<i>Anguilla anguilla</i>	21	405 (348-475)	101 (81-164)	24 (2-57)
<i>Abramis brama</i>	10	405 (230-475)	1108 (215-1495)	38 (6-92*)
<i>Platichthys flesus</i>	9	198 (166-255)	90 (58-190)	7 (3-29)

* Une Brème a été marquée avec un émetteur V9, plus longue durée de vie que le V7.

Des graphes de détection individuels ont été réalisés pour permettre une première analyse visuelle. Cette approche graphique fait ressortir les moments où l'individu est présent dans la zone de détection d'un récepteur et, comme mentionné par Ohta & Kakuma (2005), constitue une première étape de l'analyse de la résidence. Pour aider à l'interprétation de ces graphes nous avons ajouté sur la Figure 80 la période de détection effective pour chaque récepteur, la date de lâcher du poisson et les récepteurs voisins du site de capture et de lâcher.

Avec ces graphes on observe pour le mulot M12 une dévalaison rapide immédiatement après le marquage suivi d'un retour 15 jours plus tard, 15 jours de présence sur le secteur d'étude principalement à proximité immédiate de son lieu de capture, et de nouveau une dévalaison et un retour sur la même zone. Pour l'anguille A6, après quelques jours à proximité du lieu de lâcher, on observe des détections régulières à proximité de son lieu de capture. De même la brème B2 présente un patron de détection très régulier et se cantonne entre les récepteurs R29 et R36 pendant les trois

mois du suivi. Ces graphes apportent déjà beaucoup d'informations sur les mouvements des individus.

Receiver ID number (from upstream R01 to downstream R54)

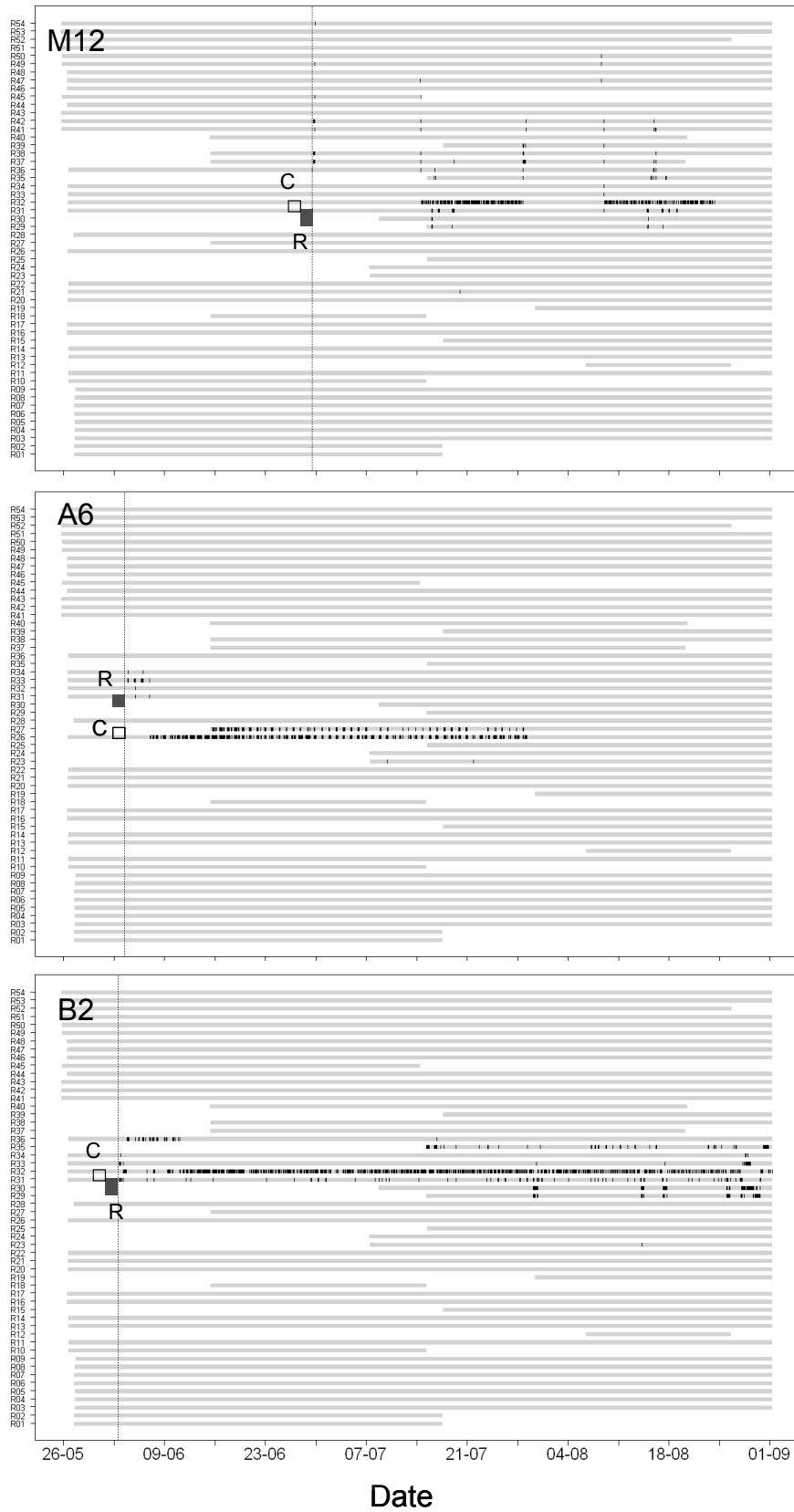


Figure 80 Graphiques de localisations individuelles pour une anguille européenne (A6), un mulot porc (M12) et une brème commune (B2) ; dates de lâcher (pointillés verticaux), récepteurs voisins des sites de captures (C) et de lâcher (R). Les bandes grises représentent les périodes de détection effectives de chaque hydrophone.

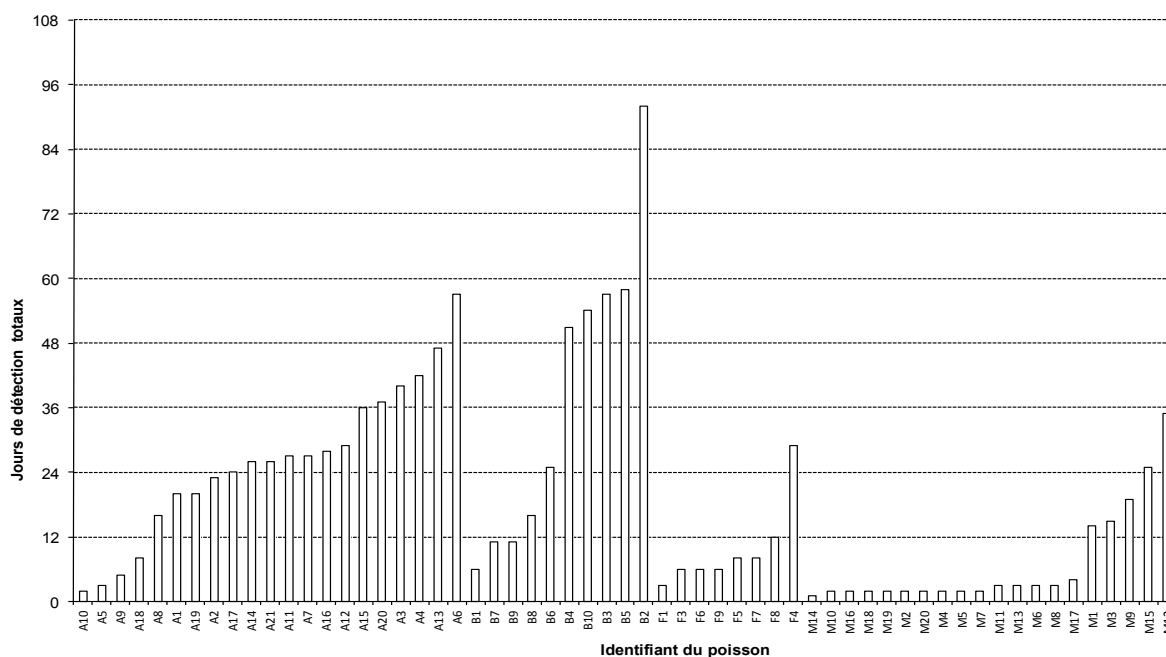


Figure 81 Distribution du nombre de jours de détection par au moins un récepteur pour tous les poissons enregistrés, ordonnée par le nombre croissant de jours (pas de détection pour F2 et F9). Les identifiants des poissons renvoient à l'annexe 2.

Pour chaque poisson, nous avons calculé le nombre de jours pendant lesquels au moins un récepteur a détecté sa présence. Le nombre de jours est ordonné par ordre croissant dans un histogramme pour tous les poissons de la même espèce. Cet histogramme, combiné avec les graphes individuels (Figure 80) permet d'émettre des hypothèses sur la survie des individus. Ainsi pour les anguilles, il est probable que les individus A5, A9 et A10 soient morts (soit 14% de mortalité) ; de même que B1, F1, F2 et F9 (jamais détectés), F3 et F5. Une partie des individus peu détectés présentent un patron de dévalaison et pour la plupart une sortie de la zone d'écoute des récepteurs ; c'est le cas pour les 15 mulots dont le nombre de jours de détection est inférieur à 12. Dans tous les cas, les individus en dessous de ce seuil de 12 jours de détection sont considérés comme non exploitables.

Ces résultats sont cohérents avec les observations faites en 2008 sur le secteur de Gironde. Les mulots avaient également dévalés immédiatement après leur marquage mais sans doute faute d'un suivi suffisamment long n'avaient pas été relocalisés. Les flets avaient montré des mouvements post marquage très limité et malgré des efforts importants plusieurs n'avaient jamais été relocalisés (prélèvement par des oiseaux piscivores ou des pêcheurs ?).

4.5. Identification de la période post-marquage

A la lecture des graphes de détections individuels, il ne nous a pas semblé adapté d'enlever de nos données une période arbitraire correspondant à un délai post-marquage. Ce délai correspond à la phase de reprise d'un comportement « normal » pour des individus ayant subi le stress post opératoire de la chirurgie. Dans la littérature on trouve diverses méthodes pour traiter cette période. Les cinq poissons les plus détectés de chaque espèce ont été choisis pour tester une méthode d'identification objective du délai post-marquage par individu. Pour chacun des quinze poissons choisis, nous avons calculé les jours de détection par un récepteur divisé par le nombre de jours de

détection potentielle (Figure 82). Les jours de détection potentielle sont l'intersection de la période de détection pour chaque récepteur et la période de présence du poisson ; les pourcentages sont ordonnés par ordre décroissant. Les récepteurs pour lequel le pourcentage était supérieur à 10 % du temps potentiel de détection ont été choisis comme étant les récepteurs représentatifs de la période de résidence du poisson. La date à laquelle un individu a été détecté trois jours consécutifs sur l'un de ces récepteurs est considérée comme la date de fin du délai post-marquage ; le Tableau 6 présente le bilan des délais post-marquage identifiés pour les poissons analysés.

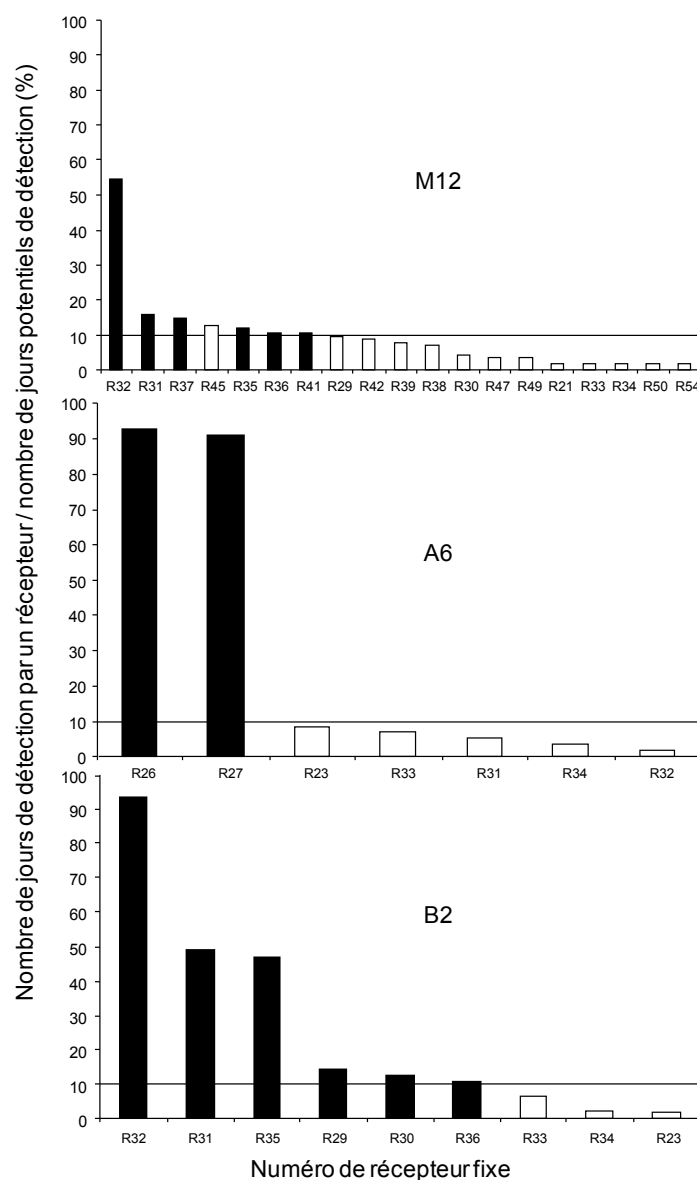


Figure 82 Nombre de jours de détection par un récepteur / nombre de jours potentiels de détection (%), présenté par ordre décroissant de pourcentage. Les barres noires indiquent les récepteurs pour lesquels le pourcentage est au-dessus de 10 % et le nombre de jours de détection au-dessus de 3 jours.

On remarque que la fin du délai post-marquage pour les mulets correspond au délai entre leur marquage et leur retour sur le site d'étude. Cependant compte tenu des sorties du secteur d'étude observées systématiquement pour cette espèce, on peut faire l'hypothèse que ce délai est en réalité

plus court et que cette espèce utilise aussi pendant la période estivale d'autres centres d'activités en aval de Rouen.

Les anguilles présentent un délai post-marquage de médiane 5 jours. Pendant cette période on observe très peu de détections indiquant une phase de repos sans mouvements importants.

Les brèmes communes ont un délai post-marquage très court voire inexistant et on observe assez vite un comportement identique à celui de toute la période estivale.

Tableau 6 - Caractéristiques des individus étudiés, résumé des paramètres de suivi et délai post-marquage estimé avec la méthode proposée

ID	LT (mm)	P (g)	Période de suivi (jours)	Nombre de jours de détection	Période de lacher	Délai post- marquage (jours)
M1	490	1261	57	14	1	<36
M3	500	1410	57	15	1	<44
M9	510	1653	56	19	1	<40
M12	525	1610	57	35	2	<15
M15	510	1545	57	25	2	<25
A3	450	164	55	40	1	5
A4	405	130	57	42	1	13
A6	440	156	57	57	1	4
A13	435	153	54	47	2	7
A20	384	101	39	36	2	5
B2	395	1030	92	92	1	1
B3	440	1355	57	57	1	0
B4	240	219	57	50	1	1
B5	370	775	57	57	2	2
B10	415	1185	57	54	2	5

Un exemple des trajectoires pendant le délai post-marquage est présenté Figure 83. Dans le cas du mulot M12, c'est la trajectoire de dévalaison, effectué en une journée ; pour l'anguille A6, on observe en 5 jours quelques incursions dans un bras mort puis une remontée vers le lieu de capture ; pour la brème on observe le même retour au lieu de capture mais seulement en une journée.

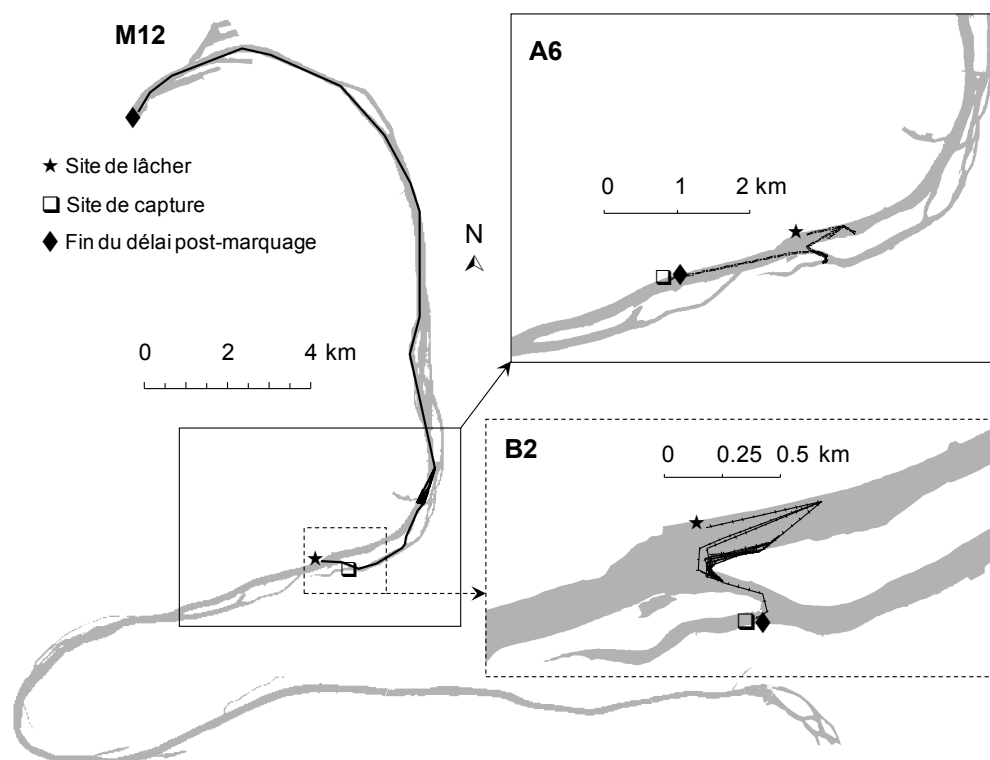


Figure 83 Exemples de trajectoires individuelles pendant le délai post-marquage, pour un mulot porc (M12), une anguille (A6) et une brème commune (B2).

Un retour sur le secteur d'étude, et de ce fait la reprise d'un comportement naturel, a été observé sur 5 mulots autour du 15 juillet. Ces individus, issus de différentes campagnes de marquage, sont revenus sur le site simultanément après un temps post marquage très différent. Ceci nous laisse penser que la remontée des mulots sur des zones dulçaquicoles est tributaire de facteurs environnementaux. On note notamment une augmentation de débit à cette période (Figure 63).

4.6. Trajectoires et paramètres de mouvements en lien avec l'environnement

A l'issue de l'étude du délai post-marquage, nous avons étudié les mouvements et les paramètres de trajectoires des individus en éliminant cette période pour chaque espèce. Ainsi, nous avons éliminé 5 jours pour les anguilles, 15 jours pour les mulots, et 1 jour pour les Brèmes. Compte tenu du faible nombre d'individus exploitables, les flets n'ont pas été étudiés selon la méthode précédemment exposée ; 2 et 3 jours de délai post-marquage ont été considéré pour les individus F4 et F8 après lecture des graphes individuels de détections.

Les fichiers des trajectoires de chaque individu sont analysés par visualisation, un exemple est donné Figure 84. Les segments de base de la trajectoire visibles sont ceux pour lesquels un mouvement non fixe a été calculé. Certains segments correspondent aussi à des mouvements entre une localisation manuelle et la détection par un récepteur. La Brème commune B4 est un individu non mature dont les mouvements se limitent au chenal du secteur d'Oissel. L'Anguille A15 utilise le secteur d'Oissel puis une zone plus en amont, correspondant à son lieu de capture.

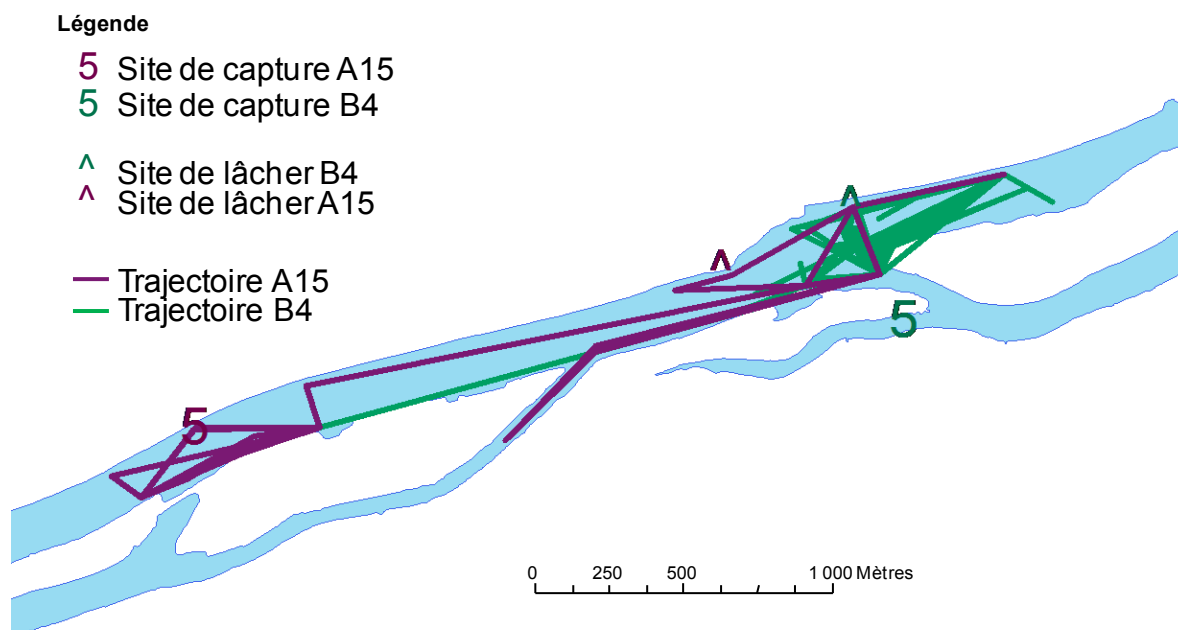


Figure 84 Exemple de trajectoire pour une anguille A15 et une Brème B4.

Avec les données quantitatives sur les trajectoires, nous avons calculé la somme des distances hydrographiques parcourues. Pondérée par les jours de détection, on obtient une distance moyenne parcourue par jour de détection ; permettant des comparaisons entre individus et entre espèces Tableau 7.

Le temps passé en mouvement (somme des temps unitaires des segments de trajectoires non fixes) est assez variable selon les individus. Des tendances moyennes se dégagent par espèce, avec 17% pour les mulots, 59% pour les anguilles et 22% pour les brèmes communes.

Les mulots porcs, qui ont été présents sur le secteur d'étude entre 2 et 4 semaines, réalisent de grandes distances moyennes/jour d'environ 2 à 5 km, ce qui est un peu plus faible que ce qui a été établi dans l'estuaire du Mira au Portugal par Almeida (1996). Les anguilles parcourent de 250 m à 2 km dans la journée, ce qui est de l'ordre de grandeur des valeurs observées par (McGovern & McCarthy, 1992) dans la rivière Clare (Irlande) : 10 m à 960 m pour des anguilles de 600-700 mm. Les brèmes communes ont des mouvements journaliers moyens de 125 m à 5 km. Ces distances sont globalement plus élevées que les distances parcourues /jour pour des individus matures suivi par télémétrie sur la rivière Trent (Angleterre) (Lyons & Lucas, 2002). Elles sont plus cohérentes avec les domaines vitaux d'environ 3 km observés par (Donnelly et al., 1998).

On peut dire de la lecture de ces deux métriques que les mulots ont des mouvements de grande ampleur mais qu'ils passent peu de temps en mouvements ; les anguilles sont celles qui passent le plus de temps en mouvements avec des amplitudes de mouvements moyennes et les brèmes ne passent qu'environ un quart du temps en mouvements avec des mouvements d'ampleur moyenne.

Tableau 7 Somme des distances hydrographiques parcourues par individu et proportion parcourue selon la phase de marée.

Individus	Somme des distances hydrographiques parcourues (km)	Nombre de jours de détection	Distance moyenne parcourue (m) par jour	% temps passé en mouvement
M1	65.9	14	4707	18

Rapport final "Thalassotok" 2012

Individus	Somme des distances hydrographiques parcourues (km)	Nombre de jours de détection	Distance moyenne parcourue (m) par jour	% temps passé en mouvement
M12	72.3	35	2066	7
M15	96.9	25	3876	21
M3	81.5	15	5433	31
M9	79.0	19	4158	24
A12	28.0	29	966	78
A13	90.7	47	1930	72
A14	17.5	26	673	73
A15	18.7	36	519	63
A16	56.2	28	2007	78
A20	57.5	37	1554	50
A3	9.7	40	243	52
A4	15.3	42	364	59
A6	57.2	57	1004	20
B10	79.7	54	1476	16
B2	144.2	92	1567	13
B3	7.1	57	125	3
B4	172.3	51	3378	32
B5	276.3	58	4764	21
B6	59.4	25	2376	67

Il faut noter que ces distances moyennes par jour masquent une grande variabilité des mouvements en fonction du temps. Le graphe des distances cumulées en fonction du temps permet de mieux appréhender les rythmes d'activités. Un exemple pour le mulot est présenté avec des phases longues relativement sédentaires puis des mouvements rapides parfois de grande ampleur (Figure 85). Aucune corrélation significative (test de corrélation de Spearman) n'a été trouvée entre les distances parcourues et la taille et ou le poids des individus par espèce.

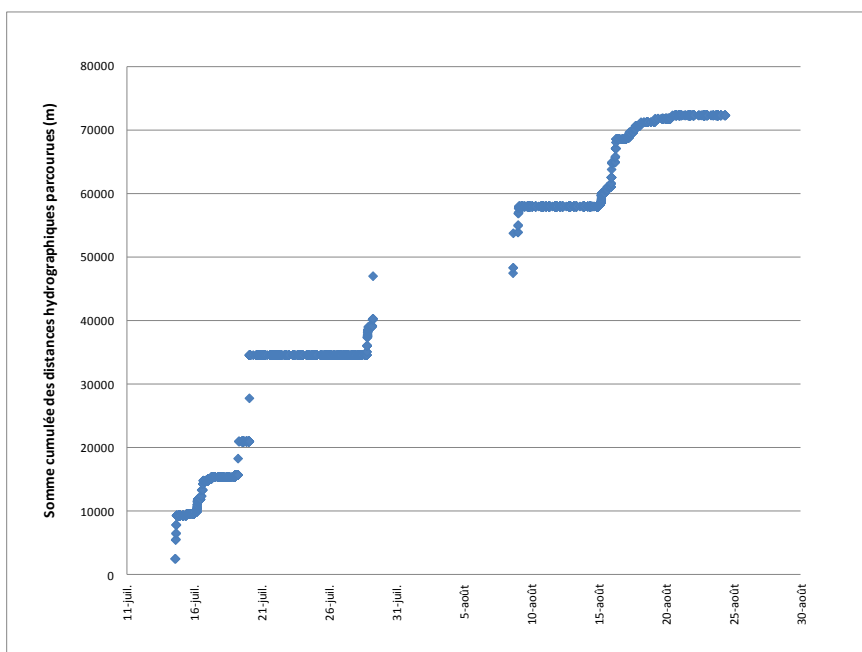


Figure 85 Exemple de la somme cumulée des distances parcourues en fonction du temps, pour le mullet M12.

Si on calcule la part de ces distances parcourues avec le flot ou le jusant, on observe que la majorité des individus des trois espèces parcourent plus de distance en flot.

Lorsqu'on entre dans le détail des autres facteurs pouvant influencer ces distances parcourues et les corrélations possibles entre facteurs, on observe que la phase de marée est corrélée avec la direction du mouvement pour les flets (Figure 86). Les distances hydrographiques des segments de base de la trajectoire sont plus grandes en flot lorsque les mouvements sont effectués vers l'amont. Pour cette espèce, comme observé en Gironde, la différence jour/nuit n'est pas significative sur ce paramètre.

Ce lien entre la phase de courant et le sens de déplacement a été observé pour des adultes de mullet porc dans l'estuaire du Mira (Portugal) par Almeida (1996a).

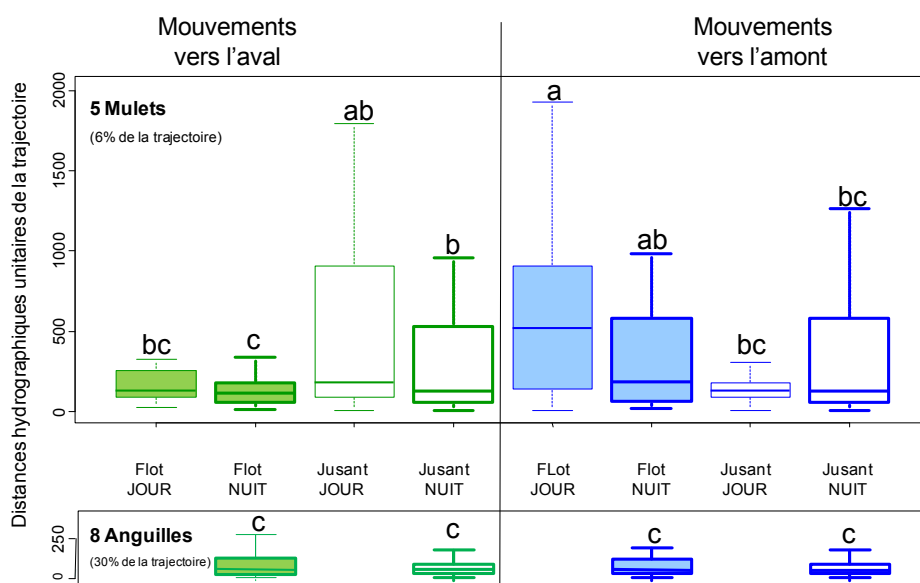


Figure 86 Effet du nycthémère, de la phase de marée et de la direction des mouvements sur l'ampleur des mouvements des mulets porcs et des anguilles. Les modalités qui partagent une lettre ne sont pas

significativement différentes d'après le test de rang de Wilcoxon (corrigé pour les comparaisons multiples par la méthode BY)

A l'opposé, pour 8 anguilles sur les 9, l'ensemble des segments de trajectoire non fixes sont réalisés de nuit et aucune différence de phase de marée ou de direction ne se dégage. A noter qu'il existe dans la trajectoire des segments de base à cheval sur le jour et la nuit ou sur le flot et le jusant, mais qu'ils ne sont pas considérés dans cette analyse.

L'ampleur des distances hydrographiques de ces segments est faible (en moyenne 25 m) comparé à celle des mulets ; mais ce sont les segments effectués uniquement en nuit. Si on considère les segments à cheval sur le jour et la nuit on a une moyenne des distances hydrographiques des segments de 200 m. Cela indique que des mouvements d'ampleur plus importante sont effectués à l'aube et au crépuscule par cette espèce.

L'absence de segments de base de trajectoire non fixes le jour (sauf quelque uns pour l'anguille A16) corrobore les observations du suivi manuel : les anguilles demeurent durant le jour dans des zones refuges avec des déplacements restreints, principalement sur la rive gauche en bordure du chenal principal. Compte tenu de la configuration du réseau de récepteur, on peut observer par exemple pour l'anguille A6 sa détection presque permanente pendant la phase de jour (80% des segments sont fixes, les plus grandes distances parcourues détectées (200 m à 400 m) sont réalisés entre 22h et minuit en flot. (Hedger et al., 2010) a aussi mentionné pour l'anguille américaine pendant l'été une plus grande gamme de détection pendant la nuit par des récepteurs acoustiques, suggérant une activité nocturne. Ce comportement d'activité nocturne est bien connu pour les anguilles jaunes européennes (Labar et al., 1987 ; McGovern & McCarthy, 1992) (+ autres citations) et les anguilles américaines (Helfman et al., 1983).

Concernant les brèmes communes, 50% à 85% de leur trajectoire est réalisée avec le flot et 50% à 70% des mouvements sont observés le jour.

A partir des éléments connus sur la trajectoire, il est intéressant de calculer le taux de mouvement (en m/s), pour chaque segment de base de la trajectoire. On a ensuite calculé une moyenne de ce taux de mouvement par individu, présentée Figure 87. Ces taux de mouvements ne sont calculés que sur les éléments non fixes de la trajectoire.

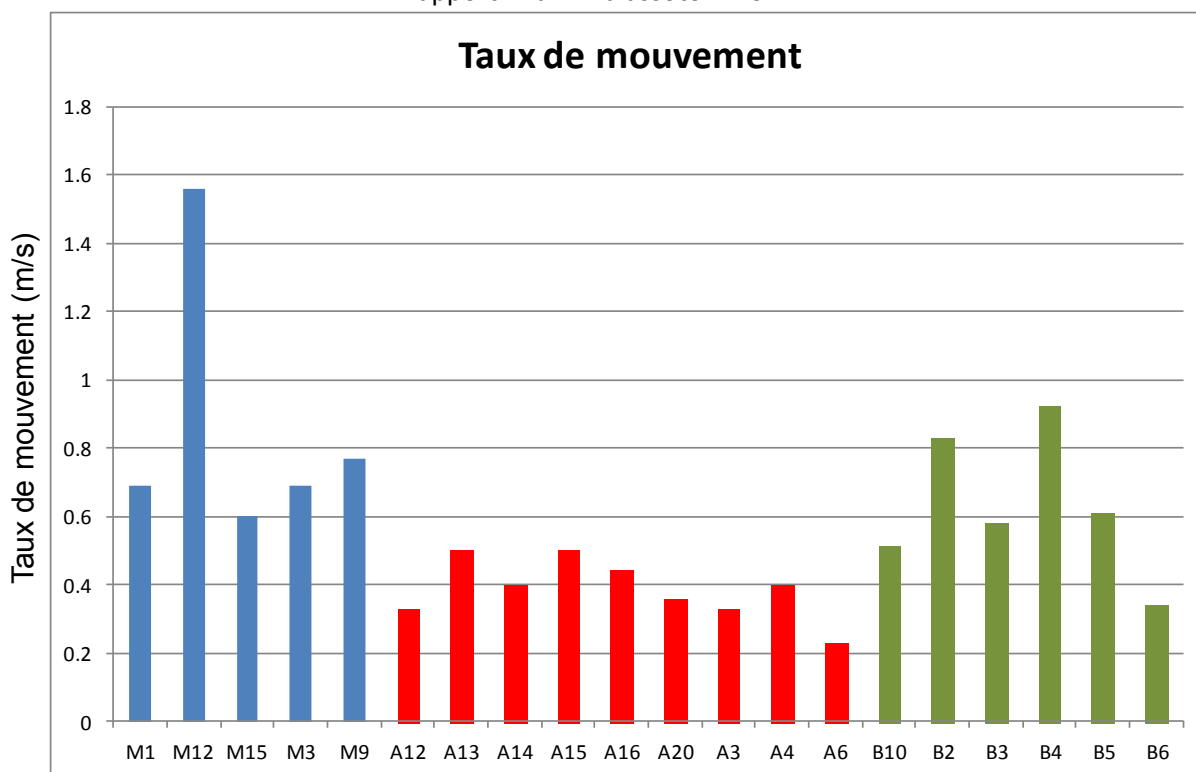


Figure 87 Taux de mouvement moyen (en m/s) par individu calculés à partir des unités de base non fixes de la trajectoire (Distance hydrographique/ Δt).

Si on calcule les vitesses de nage maximum pour les brèmes à partir de la formule $1,4BL$ ((Schulz & Berg, 1987)), on obtient 0,5 m/s. Les taux de mouvement sont ici de cet ordre de grandeur et même supérieur si on tient compte des mouvements effectués avec le flot. Les taux de mouvements observés ici sont supérieurs à ceux mentionnés par (McGovern & McCarthy, 1992). Les taux de mouvements des mulots sont importants mais on a vu que ces individus se déplacent principalement en flot.

Sur les trois dernières semaines du suivi terrain nous avons enregistrée une forte augmentation de la température de l'eau l'apparition de zones d'hypoxie sur le secteur d'étude (Figure 63). Ce phénomène est concomitant à une importante diminution de l'activité de nos sujets et à une mortalité importante sur la zone d'anguilles argentées non munies d'émetteurs (Figure 88).



Figure 88 Anguilles mortes durant les dernières semaines d'août 2009 sur le secteur d'étude.

4.7. Etude des domaines vitaux

L'étendue des domaines vitaux de chaque individu a été calculée à partir des polygones redécoupés sur la limite de haute mer. Les surfaces obtenues et le nombre de centres d'activités sont mentionnés au Tableau 8. Les surfaces et le nombre de centres d'activités ne sont pas corrélés à la taille et au poids des individus. Une grande variabilité est observée chez l'anguille avec des surfaces

de 10^{-2} km² à 1 km² ; les plus étendues correspondent aux individus présentant deux centres d'activités durant la période de suivi, ceci correspond à un phénomène bien connu chez l'anguille, particulièrement en période estivale (Imbert et al., 2010). Les brèmes ont des étendues assez faibles de l'ordre de 10^{-2} km² et les mulets de 10^{-2} - 10^{-1} km².

Tableau 8 Surface des domaines vitaux à 50% du temps passé et nombre de centre d'activités dans ce DV50.

Individus	Surface (m ²)	Nombre de centres d'activités
M1	426000	2
M3	490751	3
M9	21520	1
M12	392100	1
M15	208848	2
A3	48783	1
A4	22128	1
A6	20852	1
A12	123000	1
A13	201900	1
A14	189500	1
A15	501200	2
A16	1173400	2
A20	40027	1
B2	16083	1
B3	13879	1
B4	91866	1
B5	17607	2
B6	633700	2
B10	28836	1

Aucune corrélation significative, par espèce, n'a été observée entre la surface des DV50 ou leur nombre et la taille ou le poids des individus.

Si on regarde la localisation spatiale des DV50 des cinq mulets, ils utilisent trois secteurs distincts ; deux de ces secteurs correspondent aux lieux de capture des individus : M9 et M15 dans le bras mort d'Orival et M1, M3 et M12 dans le bras mort d'Oissel.

Les anguilles se distribuent globalement dans deux secteurs, la similarité des DV50 est indiquée Figure 91. On observe les DV50 très limités des anguilles A3, A4, A6 et les DV50 à deux centres d'activités des A15 et A16. Ces domaines vitaux sont aussi en partie liés aux lieux de capture. (Ford & Mercer, 1986 ; Imbert, et al., 2010) ont observés que les anguilles de taille > 400 mm bougent peu et établissent des territoires.

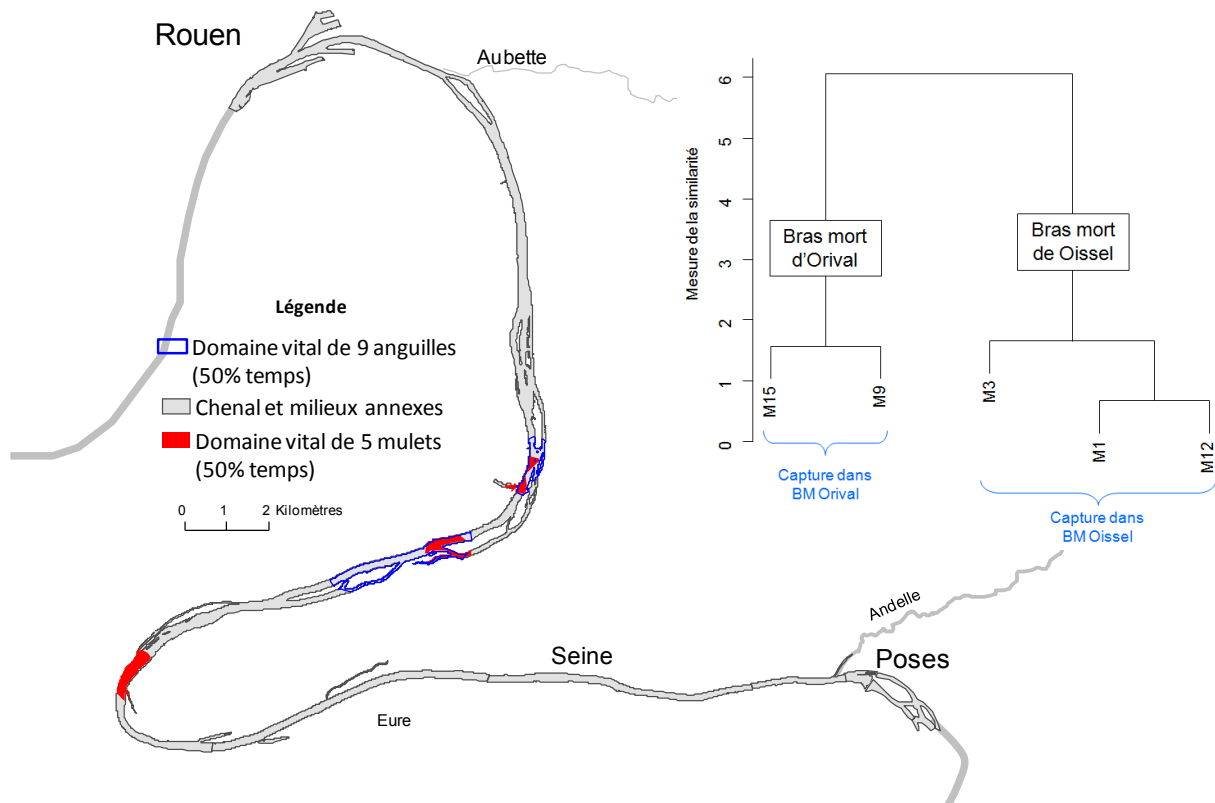


Figure 89 Domaine vitaux 50% cumulés pour les 9 anguilles et pour les 5 mulets étudiés et dendrogramme de Ward pour les mulets, basé sur la similarité de leur domaine vitaux.

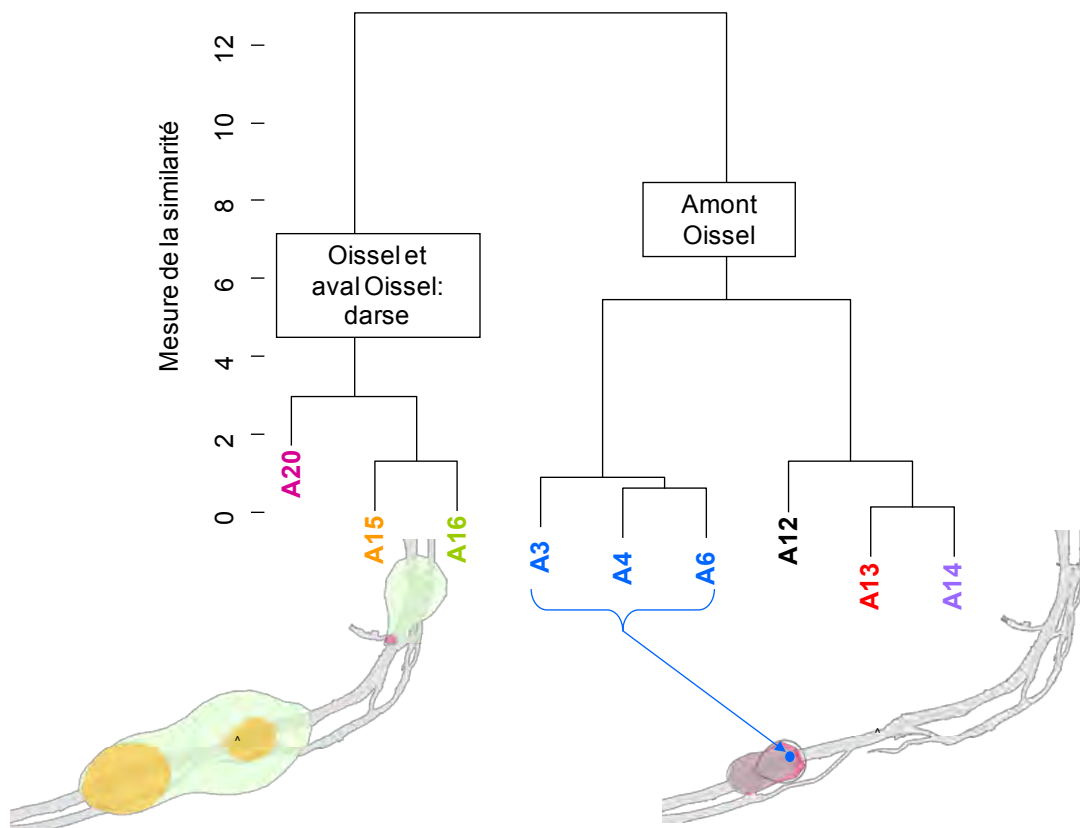


Figure 90 Regroupement des anguilles selon la similarité de leurs domaines vitaux à 50% du temps.

La décomposition du DV50 entre le flot et le jusant donne une indication importante de l'utilisation de l'habitat en fonction de la phase de marée (Figure 91). On voit très bien ici que le mullet passe 50% de son temps dans le bras mort d'Oissel lorsque celui-ci est en eau et qu'en jusant son domaine vital est plus étendu et à proximité de ce bras mort. Ceci est complémentaire à l'analyse de trajectoire indiquant des mouvements de plus grande ampleur durant le flot pour rejoindre cette zone intertidale.

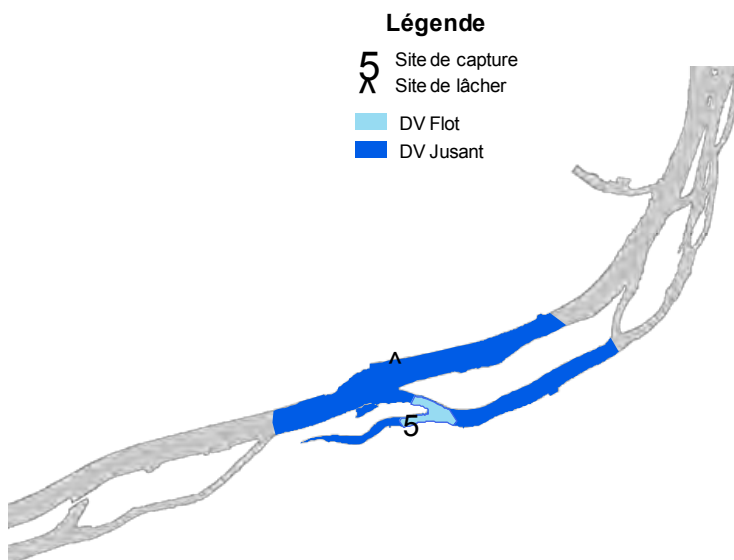


Figure 91 Domaine vital à 50% du temps passé réalisé avec les détections de flot ou de jusant : exemple du mullet M12.

Les domaines vitaux des brèmes sont assez limités (Figure 92). A part l'individu B6, les 5 autres brèmes se cantonnent au secteur d'Oissel où la plupart des individus ont été capturés. Seule B10, capturée dans le bras mort d'Orival, établit un domaine vital à proximité de l'annexe hydraulique connecté au chenal.

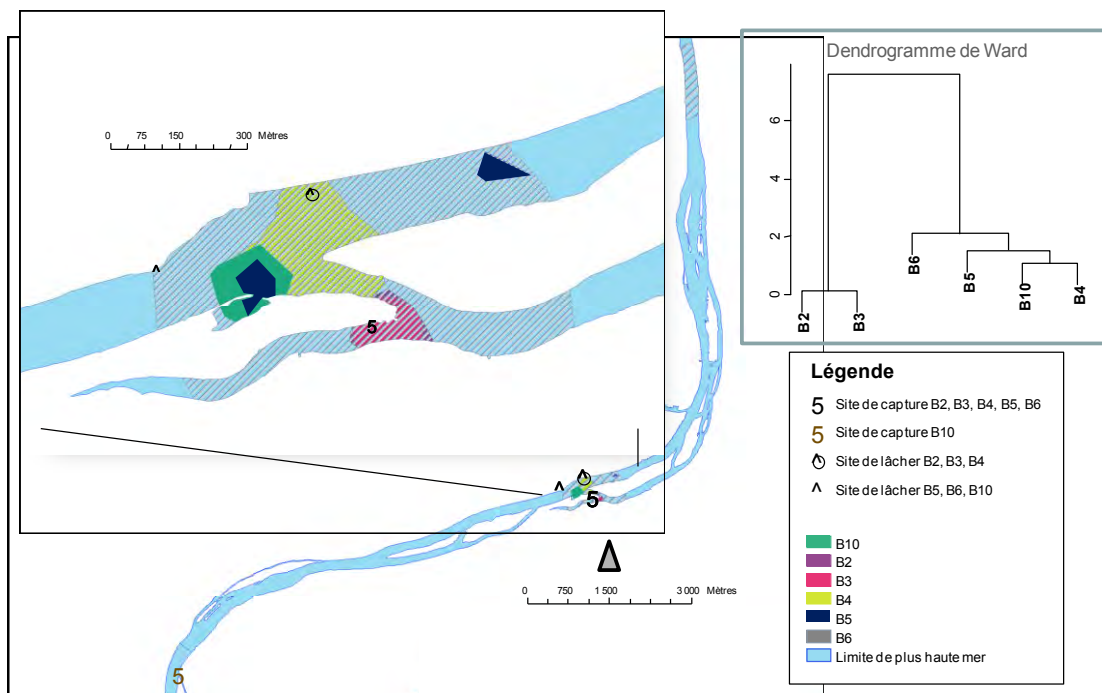


Figure 92 Domaines vitaux à 50% du temps passé des six brèmes communes étudiées et regroupement des individus selon leur similarité (dendrogramme de Ward).

Concernant les brèmes, des intrusions d'individus matures sont observées dans le bras mort d'Oissel et au niveau des zones peu profondes présentant des macrophytes. Les 2 individus non matures (B4 et B8, Taille < 300 mm) se cantonnent au secteur du chenal d'Oissel, faisant peu d'incursions dans les bras morts fréquentées par des individus matures de plus grande taille (Figure 93).

Ces observations sont cohérentes avec les observations de la littérature concernant les changements ontogéniques d'utilisation des bras morts et du chenal en milieu d'eau douce non soumis à marée.

Les juvéniles de taille 100 mm vivent dans les bras morts et le chenal. Les individus de taille 2+ à 4+ ne fréquentent pas les bras morts et le chenal, mais se cantonnent dans les bras morts en permanence. Les individus de taille 4+ ne fréquentent pas les bras morts et le chenal, mais se cantonnent dans les bras morts en permanence. Les individus de taille 4+ ne fréquentent pas les bras morts et le chenal, mais se cantonnent dans les bras morts en permanence.

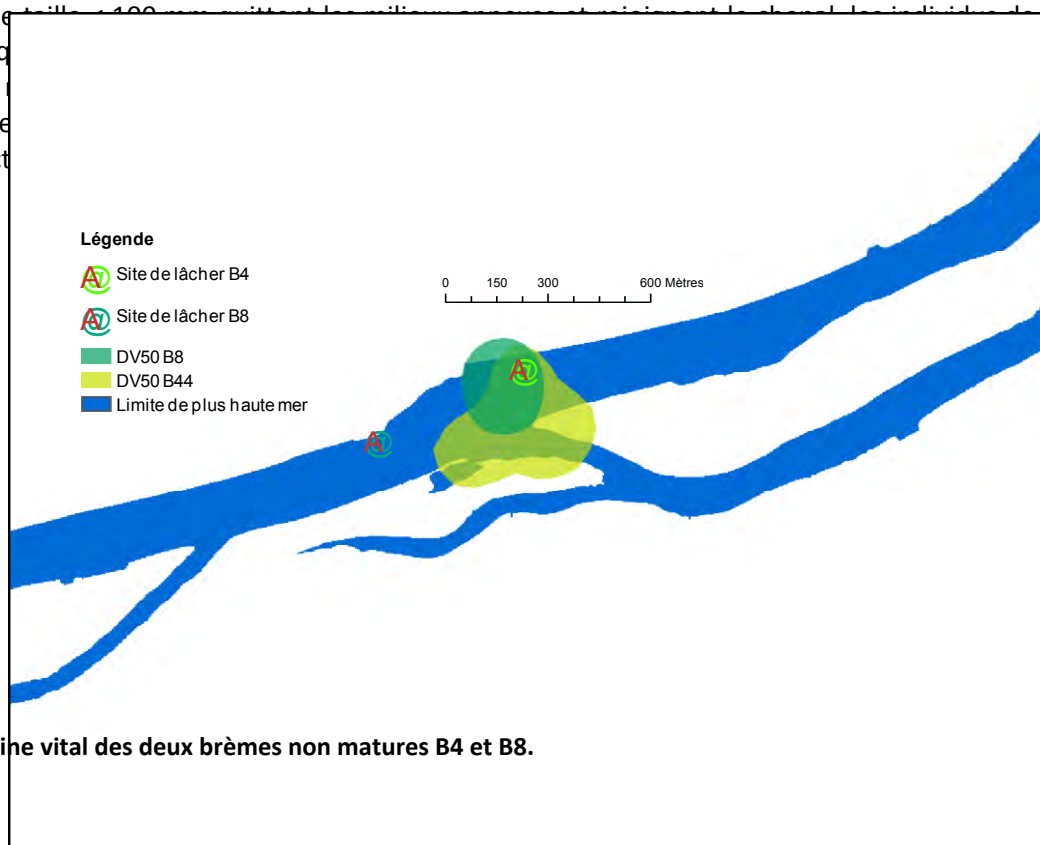


Figure 93 Domaine vital des deux brèmes non matures B4 et B8.

Les domaines vitaux des deux flets analysés sont restreints et s'établissent à deux confluences : celle

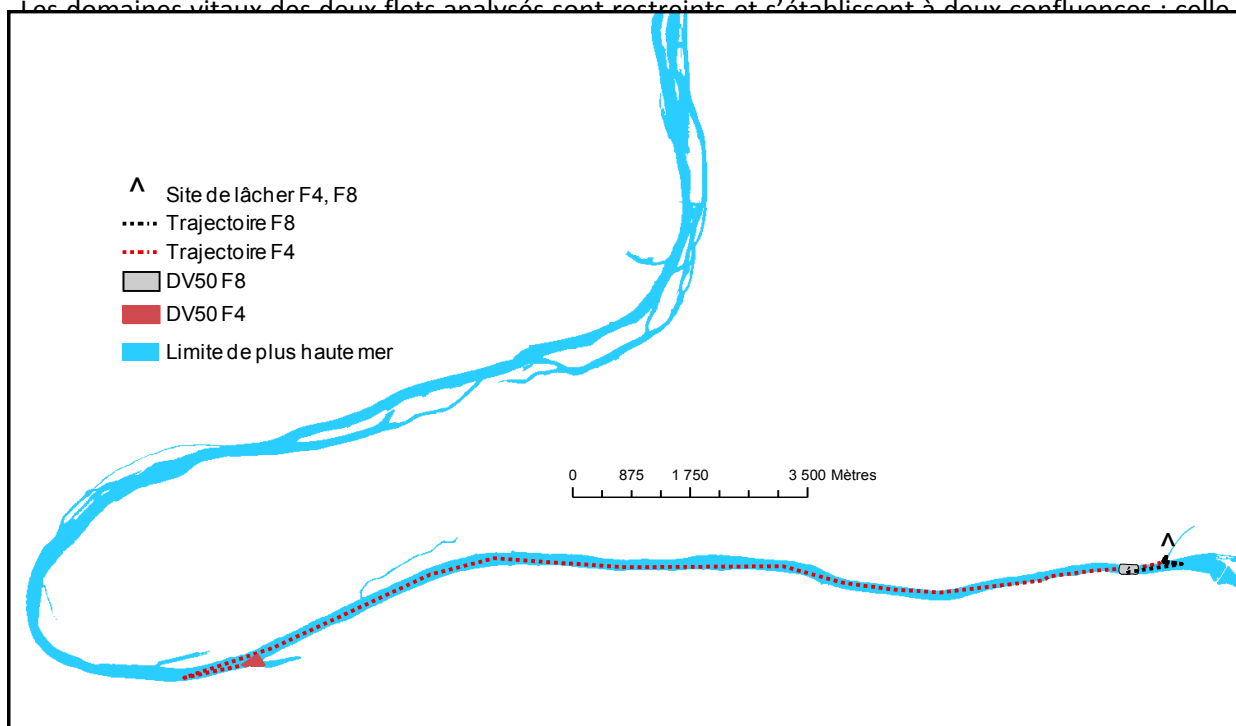


Figure 94 Trajectoire et domaine vital à 50% des flets F4 et F8.

4.8. Préférences d'habitat dans les centres d'activités du domaine vital

Compte tenu des possibilités d'analyse, nous avons étudié la préférence des espèces pour les zones intertidales, la hauteur d'eau à pleine mer et les substrats de fond.

4.8.1. Zones intertidales

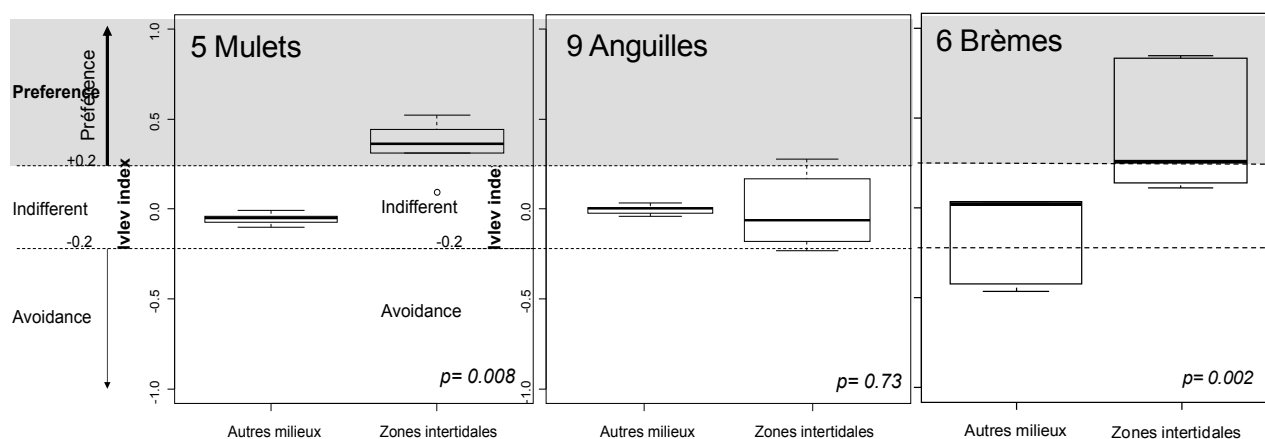


Figure 95 Préférence pour les zones intertidales, calculée à l'aide de l'indice d'Ivlev.

Les mulets et les brèmes communes montrent une préférence significative pour les zones intertidales au sein de leur domaine vital. Des illustrations des habitats sont présentés Figure 96.



Figure 96 Darse de la zone industrielle de la poudrerie : fréquentée par les mulets M1, M3, M15 et par des centaines de brèmes à BM comme en PM (g) ; bras mort d'Oissel : fréquenté également par des centaines de brèmes à PM (d)

La préférence des mulets pour les zones intertidales a été mentionnée par divers auteurs, en particulier dans la zone haline d'un estuaire au Portugal (Almeida, 1996a) et dans les marais salés tidaux lors des vives eaux pendant le temps court où ils sont recouverts (Laffaille et al., 2002).

Il est à mentionner que depuis mi juillet, des mulets de plus petite taille sont observés sur le site, ce phénomène avait déjà été mis en évidence sur l'Isle en 2008 où la seule technique permettant de prélever ces petits individus avait été la pêche au carrelet. De plus il semble que les mulets de plus petites tailles se cantonnent au niveau du chenal (zone intertidale : enrochements) et ne fréquentent pas les bras morts ou annexes hydrauliques.

Les déplacements observés des brèmes montrent des individus qui fréquentent ces zones peu profondes à marée haute ou marée basse suivant le site considéré et les caractéristiques de la zone intertidale concernée. Dans ces milieux peu profonds les brèmes se nourrissent intensivement d'organismes benthiques (Schulz & Berg, 1987).

Les observations de terrain montrent des regroupements de centaines de brèmes dans les bras morts et milieux annexes ; la période de frai pour cette espèce étant arrivée à terme, les agrégats à des fins trophiques confirment que les individus matures privilégient ces milieux. En milieu d'eau douce non tidal, les individus matures resteraient dans ces milieux annexes ; dans le cas de ce secteur, ils le fréquentent dès qu'il est en eau et se cantonnent aux zones subtidales proches à marée basse.

Les anguilles ne présentent pas de préférence particulière pour les zones intertidales ; leur domaine vital comprend plutôt des berges avec des enrochements grossiers correspondant à des secteurs de repos.



Figure 97 Type de berges des zones fréquentées par les flets (g) ; Type de berges des zones fréquentées par les anguilles (d)

4.8.2. *Hauteur d'eau*

La préférence des espèces pour les hauteurs d'eau est complémentaire et montre effectivement pour les mulets une préférence pour les faibles hauteurs d'eau : 1-2m et un évitement des hauteurs d'eau supérieures à 10 m. Les anguilles ont une préférence pour les secteurs où les hauteurs d'eau sont de 8-9 m en pleine mer ; ce qui correspond à leur gîte de repos. Hedger et al. (2010) notent que l'anguille américaine réside dans la partie la plus profonde de l'estuaire pendant le jour.

4.8.3. *Substrat de fond*

Les substrats de fond présents en plus forte proportion dans les domaines vitaux des mulets sont le limon argileux/sable, le sable et la vase. Ce qui correspond aux substrats des zones intertidales et correspond bien à ce que nous savons sur l'écologie de cette espèce qui se nourrit de petits invertébrés et de micro algues dans les zones intertidales à marée haute (Almeida, et al., 1993). Les anguilles ont des préférences pour le « fer à béton », le sable/vase et les sables coquilliers. Les habitats de repos/refuge utilisés durant la journée correspondent principalement à des enrochements grossiers.

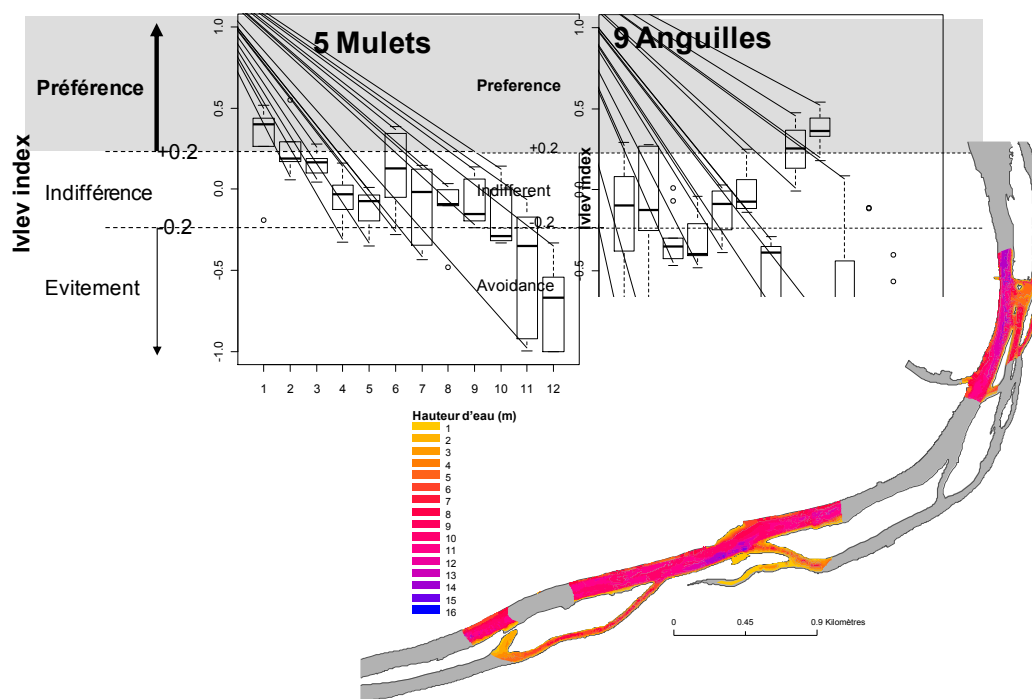


Figure 98 Préférence des mulets et des anguilles pour les hauteurs d'eau ; coefficient de marée 95 à pleine mer.

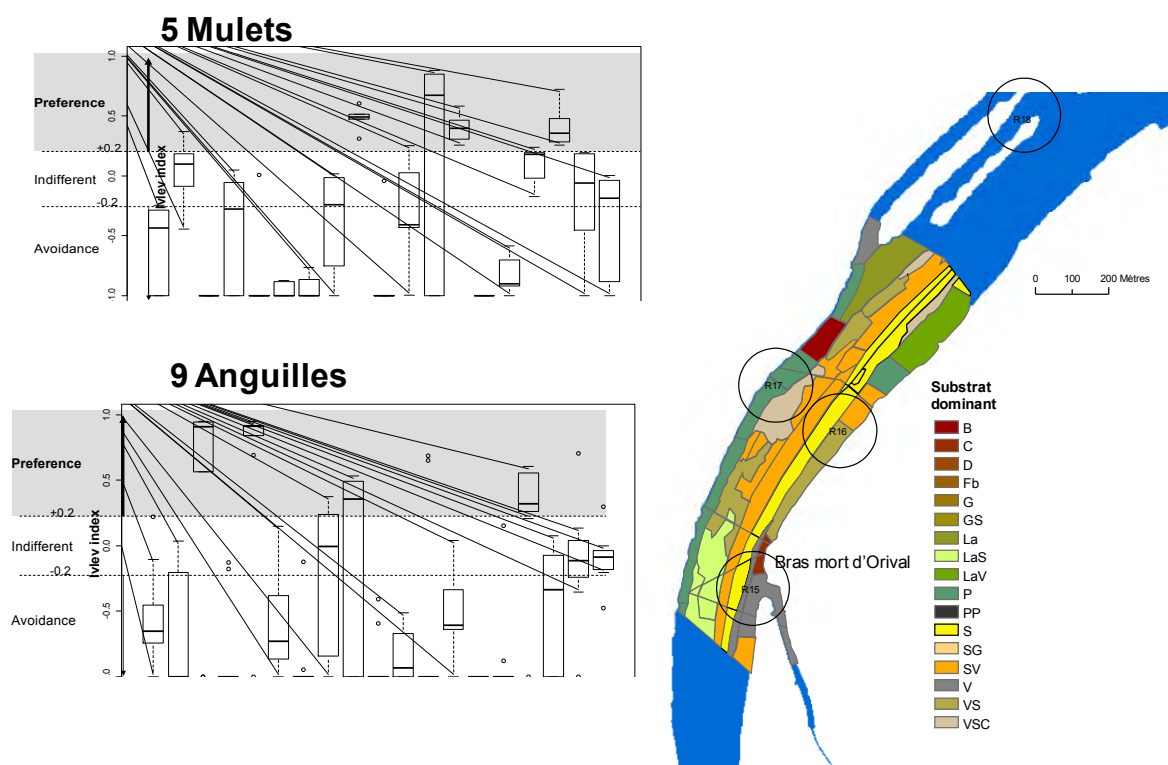


Figure 99 Préférence des mulets et des anguilles pour les substrats de fond.

4.9. Conclusion

Ce secteur estuarien, d'eau douce soumis à marée dynamique, est utilisé de manière temporaire par les mulets porcs. Ils utilisent vraisemblablement d'autres zones situées plus en aval de Rouen où ils se réfugient en cas de stress. Il semble que les individus des deux périodes de marquage sont revenus sur le secteur à la même période, peut être en lien avec pic de débit fluvial. Leurs zones d'activités se situent principalement au niveau des vasières intertidales, très présentes sur la zone et notamment au niveau des bras secondaires qu'ils fréquentent à marée haute. Les individus rejoignent généralement les zones plus profondes à marée basse à proximité directe de ces vasières émergées. Des différences de patrons d'occupation de l'espace ont été mises en évidence. Certains individus restent fidèles à une vasière intertidale pendant toute la période de suivi alors que d'autres font des prospections itinérantes des vasières intertidales ainsi que des zones intertidales de façon plus générales avec des temps de résidence variables sur chaque habitat prospecté. Cette espèce effectue des mouvements rapides et de grande ampleur, avec au total peu de temps passé en mouvement.

Les brèmes affectionnent également les vasières intertidales à marée haute et, comme le mulot, se replient à marée basse à proximité des vasières ou au niveau du chenal de navigation. Des différences ont été observées entre les individus matures et non matures ; ces derniers restent dans le chenal principal. Leurs mouvements et leurs domaines vitaux sont de faible ampleur.

Les flets, malheureusement peu étudiés, présente une phase de dévalaison immédiatement après le marquage puis de sédentarisation avec des domaines vitaux très petits, cantonné aux confluences avec des affluents aux eaux plus fraîches. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus en 2008 en Gironde.

Les anguilles passent la phase de stress post-marquage et celle de baisse d'oxygène avec des mouvements très réduits. La reprise des mouvements montre l'établissement d'un gîte de repos/refuge dans des berges profondes en enrochement ; leurs mouvements d'aurore et crépuscule sont de plus grande ampleur, environ 200 m.

4.10. Perspectives

Concernant la restauration des habitats de l'estuaire, on peut mentionner l'importance de préserver et d'aménager :

- des zones intertidales sablo-vaseuse pour l'alimentation des mulets porcs
- des bras morts et des milieux annexes soumis à marée
- des zones d'abris type enrochements grossiers pour les anguilles,
- des zones ombragées et/ou plus fraîches pour les Flets (confluences)
- de maintenir un niveau en oxygène suffisant pour ces espèces
- de favoriser la connectivité entre le cours principal et ses affluents et avec la partie amont

Les perspectives de recherche que l'on peut envisager sont :

- l'étude des mouvements des mulets sur l'ensemble de l'estuaire et le fleuve amont avec un réseau lâche d'hydrophone (tous les 5km ?) .
- l'identification des habitats de résidence des espèces par une approche plus fine de la relation utilisation des habitats avec un maillage plus fin du réseau de récepteurs (possibilité de positions par triangulation)
- l'étude des comportements et des tactiques d'évitement du stress lié aux baisses d'oxygène en période estivale.

Nous avons testé dans les parties précédentes d'éventuelles différences dans le comportement de colonisation ou d'utilisation des habitats de croissance pour les trois espèces thalassotoques dans deux environnements Seine et Gironde. La dernière partie vise à examiner d'éventuelles différences dans l'utilisation des grands compartiments mer - eau saumâtre - eau douce par ces espèces selon le bassin versant concerné. Compte tenu des pressions anthropiques on peut poser l'hypothèse que les séjours estuariens et fluviaux sont proportionnellement plus courts en Seine qu'en Gironde

5. Histoires de vie (approche à large échelle : estuaire, années de vie du poisson).

Cette partie a fait l'objet du stage de M2 de Jean Martin pour l'analyse des tactiques des poissons de Gironde. Elle a bénéficié de la collaboration de Jean Laroche (UEB, Brest) qui nous a fourni des otolithes de flets de l'estuaire de la Gironde et de Pedro Morais avec qui nous avons élargi la comparaison au fleuve Minho. La méthode d'identification des habitats successivement utilisés par les individus a fait l'objet d'une publication (Daverat et al., 2010), ainsi que la comparaison de l'utilisation relative des habitats entre Seine-Gironde-Minho (soumise à MEPS acceptée) pour les flets.

Nous avons reconstitué les histoires individuelles de la colonisation de l'estuaire par les jeunes flets, mulets et anguilles, en examinant leur passage dans les différents compartiments (mer, eau saumâtre, eau douce) durant les trois premières années de leur vie. Cette analyse rétrospective a été obtenue par une analyse croisée de la microchimie et de la micro structure des otolithes. Il s'agit de mesurer le long d'un axe de croissance des otolithes, la concentration en différents éléments chimiques indicateurs de l'habitat occupé par le poisson (Thorrold et al., 1997 ; Thorrold et al., 1998 ; Campana et al., 2000).

5.1. Matériel et méthodes

5.1.1. Collecte des otolithes

Les poissons subadultes ont été échantillonnés par des pêches spécifiques sur les secteurs retenus, ils ont été mesurés, pesés, et les otolithes ont été prélevés. L'âge des individus a été estimé par interprétation des stries de croissance des otolithes ou des écailles selon les critères du groupe ICES WKARFLO pour les flets. Nous disposons d'une bonne expérience des différentes techniques de sclérochronologie chez les migrateurs (Rochard & Jatteau, 1991 ; Gazeau et al., 2001), les observations ont effectuées à l'aide d'un stéréomicroscope Nikon 90i.

5.1.1.1. Gironde

Les otolithes de flets (N=47, longueur moyenne 252 mm, min 47, max 330 mm, âge moyen 3,5 ans) prélevés en eau saumâtre et en eau douce ont été mis à notre disposition par Jean Laroche (UEB) et prélevés par pêche électrique (IRSTEA). Les otolithes d'anguilles (N=30, longueur moyenne 497 mm, min 282, max 715 mm, âge moyen 8 ans) proviennent de spécimens échantillonnés sur l'ensemble du gradient de salinité (Collection IRSTEA). Les 50 mulets (N= 50, longueur moyenne 381 mm, min 260, max 510 mm, âge moyen 8,3 ans) ont été prélevés lors de campagnes d'échantillonnage spécifique au chalut en estuaire et en eau douce.



Figure 100 Collecte de mulets porc dans l'estuaire de la Gironde, résultats d'un trait de chalut.

5.1.1.2. Seine

Les échantillons ont été prélevés par la Cellule de Suivi du Littoral Normand, les 32 flets ont été obtenus en baie de Seine (N=28) et dans l'estuaire (N=4), les 30 mulets et les anguilles proviennent à la fois de la baie de Seine, de l'estuaire et des filandres.

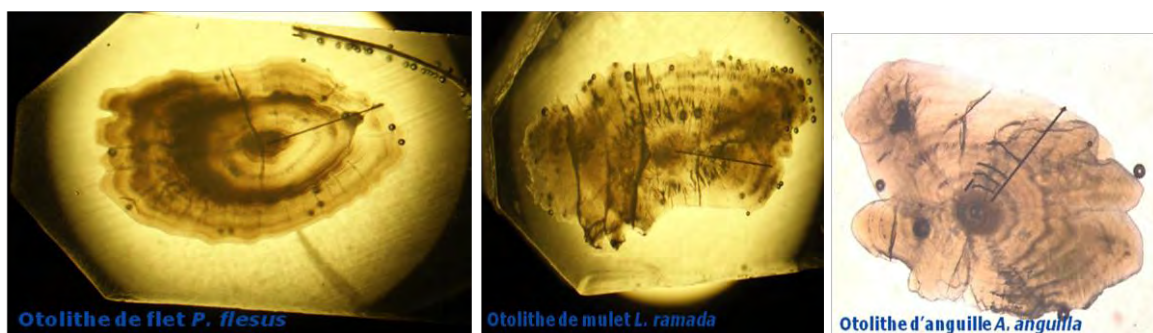


Figure 101 Vue microscopique d'otolithes de flet, de mullet porc et d'anguille européenne.

Tableau 9 Caractéristiques des échantillons, Origine, dates de capture, longueur, poids, âge

Flets

Location	N	Date capture	Longueur (cm)	poids (g)	Age (y)
Gironde estuaire	42	January 2005	27.4 ± 2.2	199.7 ± 46.2	2.1 ± 0.7
Gironde rivière	5	September 2008	23.4 ± 3.3	158.0 ± 60.2	1.2 ± 0.5
Seine estuaire	4	July 2000	32.0 ± 4.3	246.8 ± 80.1	2.7 ± 0.5
Baie de Seine	28	July 2007	28.5 ± 3.9	243.8 ± 102.6	1.7 ± 0.8

Mulets

Location	N	Date capture	Longueur (cm)	poids (g)	Age (y)
Gironde estuaire	29	January 2005	381 ± 32	ND (bateau)	8.3 ± 0.7
Seine estuaire	30	July 2007	474.1 ± 29.2	1297.7 ± 238.3	9.5 ± 1.5

Anguilles

Location	N	Date capture	Longueur (cm)	poids (g)	Age (y)
Gironde estuaire	30	September 2008	497		8.3
Seine estuaire	14	September 2008	568.8 ± 131.2	392.8 ± 207.2	7.3 ± 2.3
Seine eau douce	16	September 2008	408.3 ± 94.4	142.8 ± 120.4	7.6 ± 2.2

5.1.2. Préparation et Analyses

Les otolithes ont été nettoyés, rincés trois fois à l'eau MilliQ et séchés avant d'être inclus dans de la résine Epoxy. Ils ont alors été tronçonnés selon le plan de coupe le plus adapté à l'estimation de l'âge de l'espèce.

Les otolithes ont été analysés en Sr, Ca et Ba seront un axe perpendiculaire aux marques de croissance, du centre vers la périphérie. La concentration dans ces différents éléments a été mesurée par à l'université de Pau et des Pays de l'Adour avec un ICPMS – Elan DRC II (Perkin Elmer) couplé à un laser femto seconde infra rouge a haute fréquence ALFAMET (Alfamet, Novalase SA – Amplitude Systèmes, France), avec une fréquence de 3 kHz, une puissance de 115 mW et des prélèvements élémentaires de 20 µm. La quantification des éléments trace a été effectuée grâce à une calibration externe utilisant une série de carbonates coprécipités (Barats et al. 2007) de 0.1 à 500 µg g⁻¹. Une poudre d'otolithe certifié (NIES 22) a également utilisée dans la courbe de calibration.

Afin d'interpréter correctement les ratios Sr/Ca et Ba/Ca mesurés dans les otolithes, en terme d'habitats estuariens correspondants, une expérimentation de validation a été menée. Une expérimentation avec deux approches a été menée. Une première approche a consisté à élever des poissons marqués (marquage externe individuel et marquage otolithe) dans des mésocosmes dans des eaux de nature différente (eau de mer, mélange eau de rivière eau de mer, eau de rivière) à la station expérimentale de St Seurin sur l'Isle. Une deuxième approche a été menée en élevant pendant trois mois des anguilles dans des cages fixées dans trois sites situés dans l'estuaire salé aval de l'estuaire de la Gironde, à la limite de la salure des eaux et plus en amont dans l'estuaire tidal doux. Ces deux expériences de validation ont consisté à mesurer les ratios Sr/Ca et Ba/Ca des flets et mulets des mésocosmes et des anguilles confinées dans des cages. Les résultats des deux approches ont permis de confirmer la pertinence des ratios Sr/Ca et Ba/Ca pour discriminer les différents compartiments de l'estuaire et leur application à ces trois espèces de poisson.

Après analyse les otolithes ont été observés au microscope afin d'estimer l'âge des individus selon les protocoles du CIEM et de déterminer les différentes phases (œufs, période pré métamorphose, post métamorphose) (ICES, 2008).

5.2. Résultats

Les résultats obtenus pour les otolithes des 80 mulets, 60 anguilles et 77 flets collectés dans la Gironde et la Seine et analysés avec le Femtosecond LA ICPMS ont été analysés. Une méthode innovante d'analyse du signal a été appliquée afin de reconstruire les histoires d'utilisation d'habitat des poissons. Cette méthode a montré que les trois espèces présentent une grande diversité de tactiques d'utilisation des habitats, avec des poissons résidents dans le même habitat toute leur vie et des poissons nomades. Quelle que soit l'espèce considérée, les tactiques nomades, utilisant au moins deux habitats, sont beaucoup plus fréquentes que les tactiques résidentes.

Pour la Gironde, les mulets ont utilisé de façon plus fréquente la partie aval de l'estuaire et évoluent généralement plus à l'intérieur de l'estuaire salé que le flet et l'anguille. Tout comme l'anguille, une grande proportion de flets a utilisé les habitats d'eau douce pendant la première année de croissance continentale. Le flet semble être un thalassotoque moins plastique que l'anguille et le mulot (100% des flets ont utilisé l'eau douce au moins une partie de leur vie). Les anguilles et les mulets ont des tactiques plus diversifiées avec des poissons qui peuvent être résidents en eau saumâtre. Les mulets sont beaucoup plus mobiles avec des mouvements plus fréquents. Les mulets ne présentent pas de sédentarité contrairement aux flets et aux anguilles.

5.2.1. *Analyse par espèce, comparaison entre la Seine et la Gironde*

5.2.1.1. *Analyse comparative des histoires de vie des flets*

En analysant la signature maternelle (partie de l'otolithe correspondant au stade œuf), il s'avère que la contribution des mères ayant utilisé l'eau douce est relativement plus importante en Seine. On en déduit une utilisation plus importante des habitats d'eau douce par les flets de Seine en comparaison avec les flets de la Gironde.

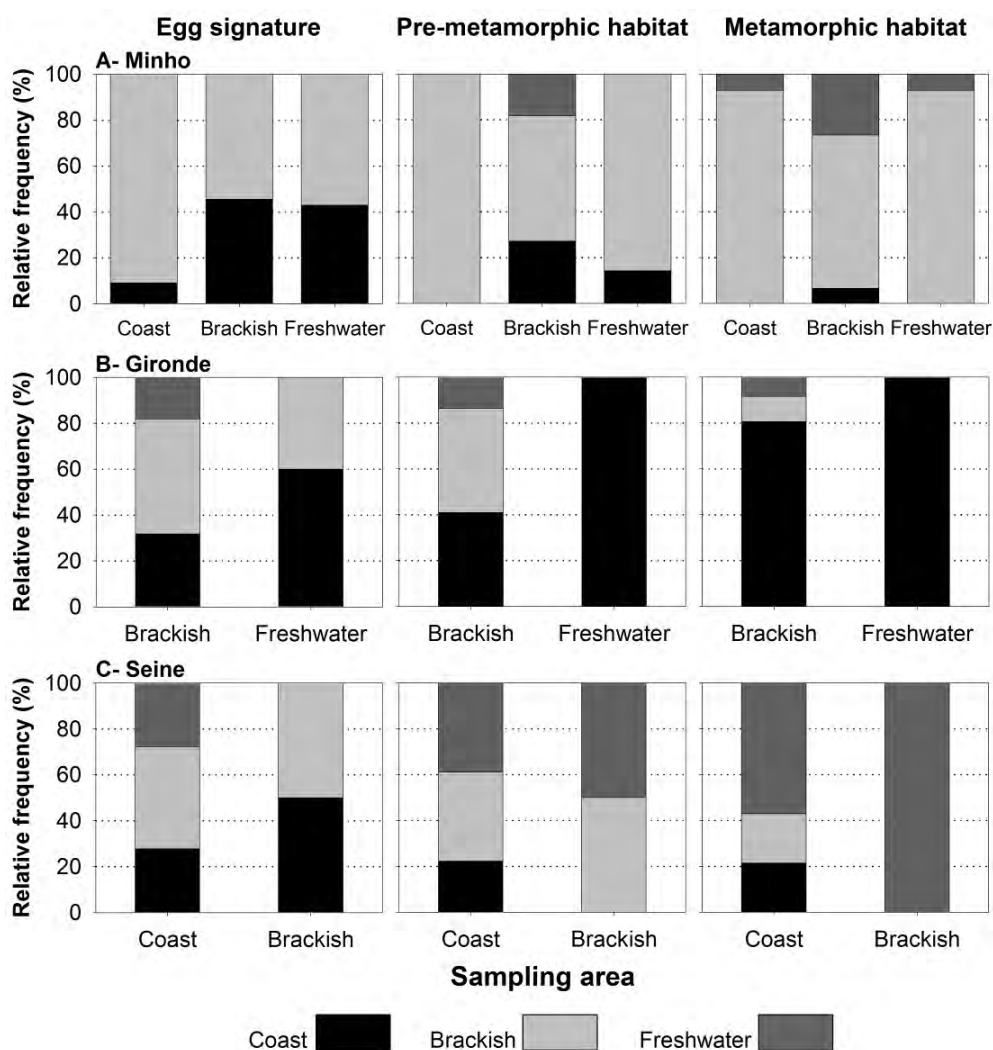


Figure 102 Fréquence relative des signatures correspondant à différents habitats reconstruits (côte, saumâtre, eau douce tidale ou pas) pour la partie des otolithes correspondant aux œufs, aux stades pré et post métamorphiques dans le Minho (A), la Gironde (B) et la Seine (C).

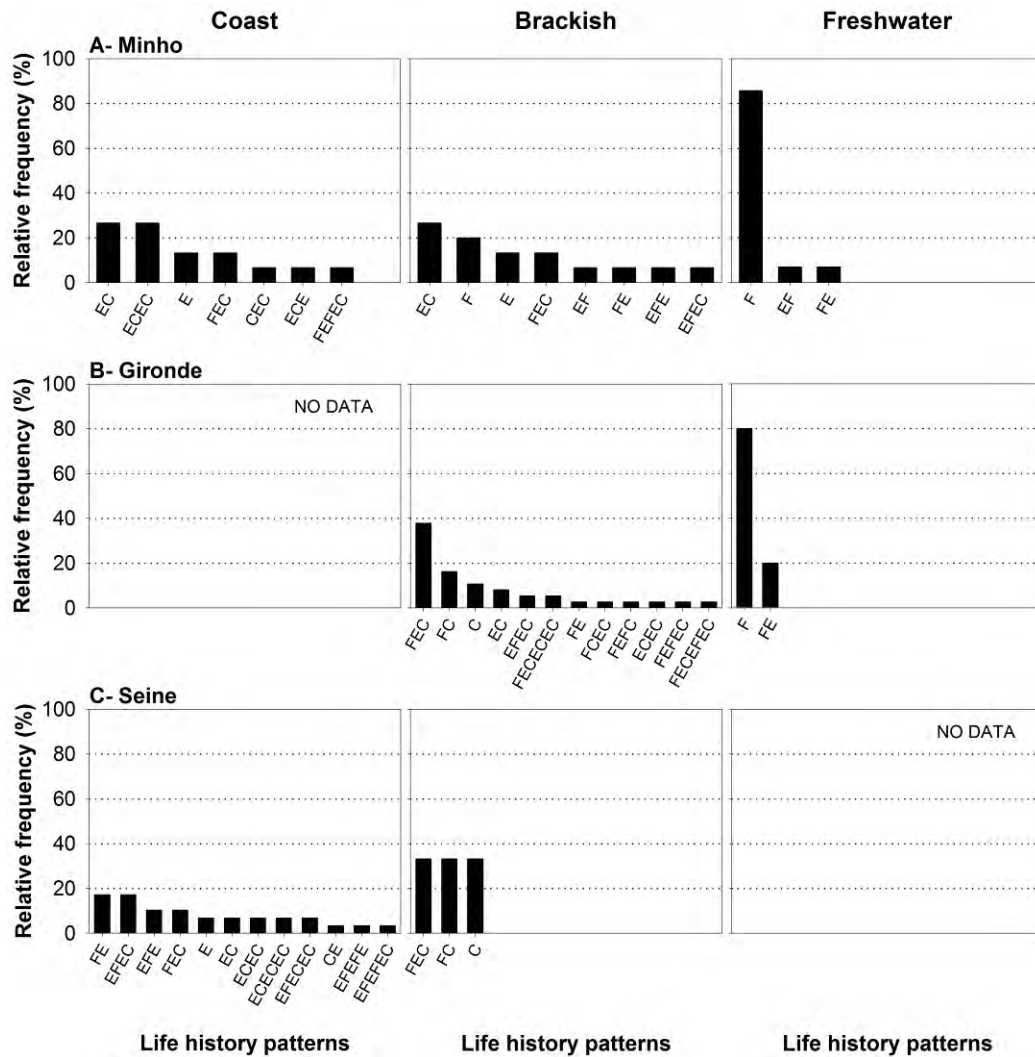


Figure 103 Histoire de vie des flets (après la métamorphose)

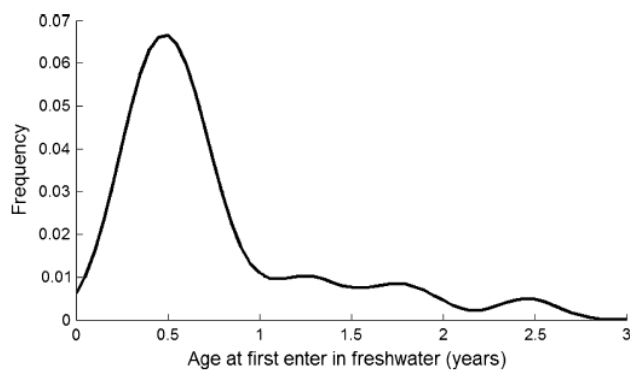


Figure 104 Estimation rétrospective de l'âge d'entrée en eau douce des flets échantillonnés en Gironde

5.2.1.2.

Analyse comparative des histoires de vie des anguilles

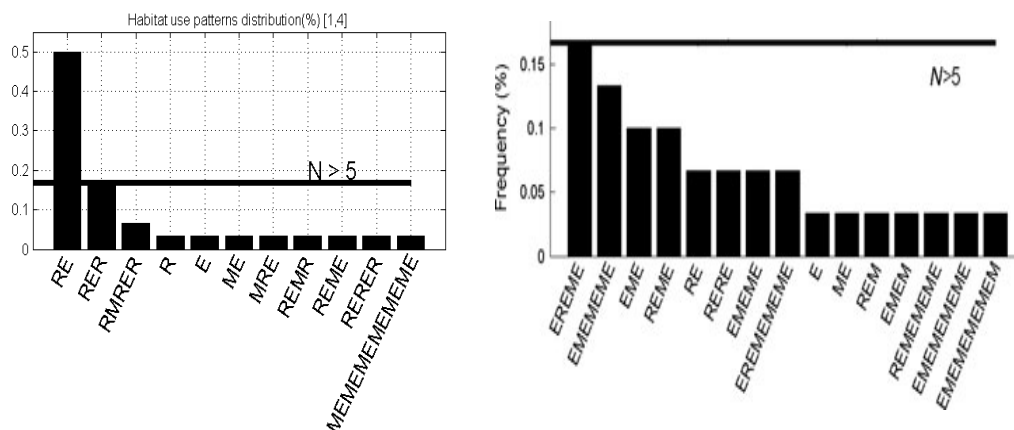


Figure 105 Histoires de vie des anguilles de la Seine (gauche) et de la Gironde (droite)

Les anguilles de la Seine et de la Gironde présentent une grande variabilité d'histoires de vie. L'utilisation des habitats d'eau douce à un jeune âge est partagée par un grand nombre d'individus des échantillons de Gironde et de la Seine. Très peu d'individus présentent une tactique sédentaire (utilisation d'un seul habitat salin). On ne peut pas dégager de grandes différences d'utilisation des habitats entre la Seine et la Gironde.

5.2.1.3. Analyse comparative des histoires de vie des mulets

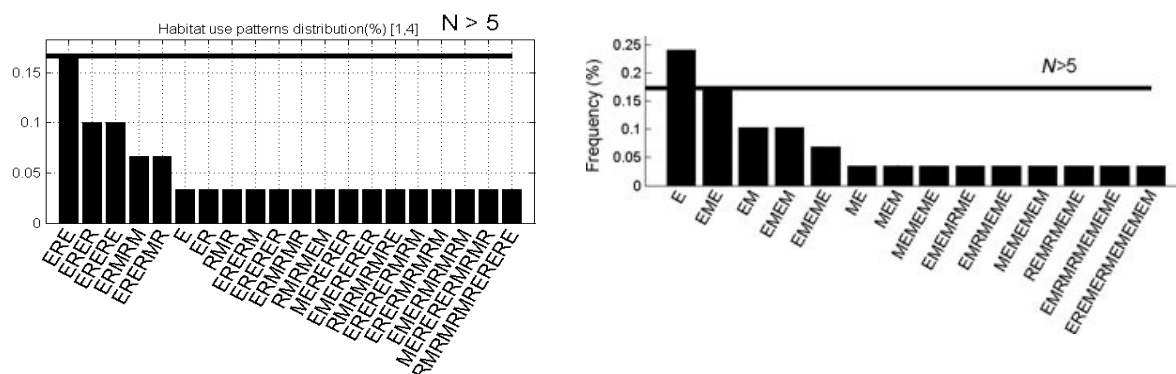


Figure 106 Histoires de vie des mulets de la Seine (gauche) et de la Gironde (droite)

Les mulets de la Seine semblent moins inféodés à l'estuaire que les mulets de la Gironde (plus faible proportion d'individus résidents en estuaire). De plus les mulets de la Seine se déplacent entre les habitats d'eau douce, les habitats estuariens et les habitats de l'embouchure. La grande dimension de l'estuaire de la Gironde en comparaison de l'estuaire de la Seine peut expliquer que les mulets de Seine peuvent utiliser et se déplacer entre tous les habitats salins.

6. Conclusion générale

Les trois niveaux d'analyse effectués avec des méthodes différentes permettent de dégager des patrons spécifiques (colonisation initiale, phase de croissance, cycle de vie) mais les différences entre les sites ne sont vraiment claires qu'à l'échelle très globale de l'utilisation des différents compartiments.

Contrairement à notre hypothèse de départ les jeunes migrateurs thalassotoques parviennent à adopter un comportement spécifique en phase avec un rythme de type circadotidal ou nycthéral y compris dans une ambiance de type Seine (très chargée en contaminants). Leur comportement est d'ailleurs peu différent dans les ambiances Seine ou Gironde. Il est donc tout à fait possible qu'ils ne soient pas extrêmement perturbés par les contaminants issus des sédiments. On notera toutefois que les civelles ont construit moins de terriers dans le sédiment de l'ambiance Seine que dans celui de l'ambiance Gironde, on peut imaginer que la plus forte contamination du sédiment de Seine les en dissuade.

Durant leur phase de croissance en zone tidale d'eau douce les espèces étudiées utilisent des habitats différents selon des patrons temporels spécifiques (par exemple les mulets porcs utilisent les zones intertidales et les bras morts lors des flots de jours, durant le jour les anguilles demeurent à l'abri dans des enrochements grossiers tandis que durant la nuit elles se déplacent dans des zones profondes à la recherche de leurs proies). Les résultats obtenus sur la Seine sont cohérent avec ceux obtenus sur la Gironde, ainsi dans les deux cas les flets recherchent de zones fraîches (ombre en Gironde, embouchures d'affluents plus frais en Seine).

La réaction des espèces au stress du marquage est très différente selon les espèces. Les mulets quittent très vite le secteur tandis que les anguilles et les flets sont au contraire extrêmement immobiles en "attendant" que leur condition s'améliore.

Les mulets de la Seine semblent moins inféodés à l'estuaire saumâtre que les mulets de la Gironde, ceci pourrait s'expliquer par la plus grande dimension de l'estuaire de la Gironde. Les anguilles de la Seine et de la Gironde présentent une grande variabilité d'histoires de vie mais on ne peut pas dégager de différences d'utilisation notables des habitats entre la Seine et la Gironde. Chez les flets la contribution des mères ayant utilisé l'eau douce est relativement plus importante en Seine qu'en Gironde. On en déduit une utilisation plus importante des habitats d'eau douce par les flets de Seine en comparaison avec les flets de la Gironde. Il en ressort globalement que les habitats dulçaquicoles sont proportionnellement plus utilisés par les espèces thalassotoques en Seine qu'en Gironde. Cela peut s'expliquer par une moindre attractivité (ou une moindre capacité d'accueil) de l'estuaire saumâtre de la Seine ou au contraire par une plus grande attractivité (ou une plus grande capacité d'accueil) de l'estuaire dulçaquicole de la Seine

7. Productions effectuées grâce à ce projet

7.1. Articles dans des revues à comité de lecture

1. Daverat F., Martin J., Fablet R., and Pécheyran C. (2010) Colonisation tactics of three temperate catadromous species, eel *Anguilla anguilla*, mullet *Liza ramada* and flounder *Platytychys flesus*, revealed by Bayesian multielemental otolith microchemistry approach. *Ecol. Freshw. Fish*.
2. Daverat, F., Tapie, N., Quiniou L., Maury Brachet, R., Riso, R., Eon, M., Laroche, J., and Budzinski, H. (2011) Otolith microchemistry interrogation of comparative contamination by Cd, Cu and PCBs of eel and flounder, in a large SW France catchment. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 92, 332-338
3. Daverat, F., Morais, P., Dias, E., Babaluk, J., Martin, J., Eon, M., Fablet, R., Peycheran, C., and Antunes, C. (2012) Plasticity of European flounder life history patterns discloses alternatives to catadromy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*
4. Trancart, T., Lambert, P., Rochard, E., Daverat, F., Roqueplo, C., and Coustillas, J. (2011) Swimming activity responses to water current reversal support selective tidal-stream transport hypothesis in juvenile thinlip mullet *Liza ramada*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 399, 120-129
5. Coustillas, J., Le Pichon C. & Rochard E. *Post tagging behavioural effects in a telemetry experiment* *Journal of Fish Biology*, En préparation.
6. Trancart, T., Le Pichon C., Coustillas J. & Rochard E., (soumis) An original light telemetry protocol to detect rhythmic activity: application on European flounders *Platichthys flesus* in an upper tidal freshwater area. *Ecology of Freshwater Fish*.
7. Trancart, T., et al., *Crossing the tidal limit area: experimental analysis for two catadromous species (thinlip mullet Liza ramada and European eel Anguilla anguilla)*. . *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Soumis
8. Trancart, T., Lambert, P., Rochard, E., Daverat, F., Coustillas, J., and Roqueplo, C. (2012) Alternative flood tide transport tactics in catadromous species: *Anguilla anguilla*, *Liza ramada* and *Platichthys flesus*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 99, 191-198

7.2. Mémoires d'élève

9. Trancart, T. (2011) Analyse comparative des stratégies de colonisation des bassins versants par les poissons migrateurs thalassotoques. Thèse de doctorat en Sciences et environnement spécialité écologie aquatique, Université de Bordeaux I
10. Martin, J. (2011) Analyse rétrospective de l'utilisation de l'espace par les jeunes stades de flet (*Platytychys flesus*), mullet (*Liza ramada*) et anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Master 2 Bordeaux I

7.3. Communications orales

1. Clérandeau C. et al. Variabilités des réponses biologiques de poissons thalassotoques juvéniles (mulet, civelle, flet) : approche comparative expérimentale Seine-Gironde, in ECOBIM 2011. 2011: 6-9 Juin – Mont-Joli, Canada.

2. Coustillas J. et al. Suivi par télémétrie acoustique sur l'estuaire amont de la seine, Objectifs, moyens mis en œuvre et difficultés. Séminaire de restitution des travaux Seine aval, GIP Seine Aval, 2009: Rouen.
3. Coustillas, J. et al., Utilisation comparée de l'estuaire dulçaquicole par le flet, le mulot et l'anguille, résultats d'une expérience de télémétrie acoustique estivale menée sur la Seine, in Séminaire de restitution des travaux Seine aval, GIP Seine Aval, 2010: Rouen.
4. Coustillas, J. et al., Utilisation comparée de l'estuaire dulçaquicole par le flet, le mulot et l'anguille, résultats d'une expérience de télémétrie acoustique estivale menée sur la Seine, in Journées autour de l'estuaire. 2010: Arcachon.
5. Daverat, F. and J. Martin, *Colonisation tactics of mullet, eel and flounder...* in *5th Otolith Symposium*. 2009: Monterey (USA).
6. Daverat F., Martin J., Pécheyran C. & Fablet R., *Bayesian multielemental approach reveals diversity of colonisation tactics of European catadromous species*, in *International symposium on otolith science, Otolith 2009*. 2009: Monterey, USA.
7. Rochard, E., Comprendre les rythmes migratoires par des expérimentations en mésocosme, in Les Rencontres migrants 2010, LOGRAMI, Editor. 2010: Orléans.
8. Rochard, E., Télémétrie acoustique en estuaire, in Les Rencontres migrants 2010, LOGRAMI, Editor. 2010: Orléans.
9. Baudrimont M. et al « Thalassotok » comparaison de l'utilisation des estuaires par le flet, le mulot et l'anguille. in Séminaire de restitution des travaux Seine aval, GIP Seine Aval, 2011: Rouen.

7.4. Communications dans les médias

Une opération de communication grand public a été organisée autour du suivi télémétrique des poissons thalassotokes sur la Seine avec une visite sur le terrain à Oissel. De nombreux articles sont parus dans la presse (Paris Normandie, Courrier cauchois, Liberté 62; Le Parisien, Science&Vie junior), sur Internet (AFP, Drakkar online, Fil-f@x, Inf Eaux Energies Renouvelables), à la radio (France Inter) et à la télévision (France 3) à noter un montage vidéo à la Cité des Sciences de la Villette (Figure 107 gauche).

Une maquette présentant le suivi télémétrique des poissons thalassotokes sur la Seine a été présentée comme support pédagogique lors de la manifestation Biodiversités organisée par le CNRS au Trocadéro (octobre 2010) (Figure 107 droite) .



Figure 107 Enregistrement du « signal d'une anguille » pour la cité des sciences de la Villette (M.L. Desgaudez/Irstea) (gauche) ; maquette illustrant l'expérimentation effectuée sur la Seine (droite).

8. Références bibliographiques citées dans le texte

- Almeida, P.R. (1996a) Estuarine movement patterns of adult thin-lipped grey mullet, *Liza ramada* (Risso) (Pisces, Mugilidae), observed by ultrasonic tracking. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 202, 137-150
- Almeida, P.R. (1996b) Estuarine movement patterns of adult thin lipped grey mullet, *Liza ramada* (Risso) (Pisces, Mugilidae), observed by ultrasonic tracking. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 202, 137-150
- Almeida, P.R. (2003) Feeding ecology of *Liza ramada* (Risso, 1810) (Pisces, Mugilidae) in a south-western estuary of Portugal. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 57, 313-323
- Almeida, P.R., Moreira, F., Costa, J.L., Assis, C.A., and Costa, M.J. (1993) The feeding strategies of *Liza ramada* (Risso, 1826) in fresh and brackish water in the River Tagus, Portugal. *J. Fish Biol.* 42, 95-107
- Anderson, W.G., McKinley, R.S., and Colavecchia, M. (1997) The use of clove oil as an anesthetic for rainbow trout and its effects on swimming performance. *N. Am. J. Fish. Manage.* 17, 301-307
- Beaumont, W.R.C., and Mann, R.H.K. (1984) The age, growth and diet of a freshwater population of the flounder (*Platichthys flesus*) in southern England. *J. Fish Biol.* 25, 601-616
- Béguer, M., Beaulaton, L., and Rochard, E. (2007) Distribution and richness of diadromous fish assemblages in Western Europe: large scale explanatory factors. *Ecology of Freshwater Fish* 16, 221-237
- Beyer, H.L. (2004) Hawth's Analysis Tools for ArcGIS. Available at <http://www.spatialecology.com/htools>.
- Bolliet, V., Lambert, P., Rives, J., and Bardonnnet, A. (In press) Rhythmic swimming activity in *Anguilla anguilla* glass eels: Synchronisation to water current reversal under laboratory conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*
- Bullard, F. (1991) Estimating the home range of an animal: a Brownian bridge approach. In *Department of Statistics*, 27, North Carolina
- Burgeot, T., Minier, C., Bocquené, G., Vincent, F., Cachot, J., Loizeau, V., Jaouen, A., Miramand, P., Guyot, T., Lesueur, P., Rochard, E., and P., B. (1999) *Des organismes sous stress*. Programme scientifique Seine aval-Ifremer
- Calenge, C. (2006) The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling* 197, 516-519
- Calenge, C. (2007) Exploring habitat selection by wildlife with adehabitat. *J Stat Softw* 22, 1-19
- Campana, S.E., Chouinard, G.A., Hanson, J.M., Fréchet, A., and Bratney, J. (2000) Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fish. Res.* 46, 343-357
- Daverat, F. (2005) Tactiques d'utilisation des habitats et dynamique de population des anguilles de la zone aval du bassin versant Gironde Garonne Dordogne. 199, Université de Bordeaux 1
- Daverat, F., Beaulaton, L., Poole, R., Lambert, P., Wickström, H., Andersson, J., Aprahamian, M., Hizem, B., Elie, P., Yalçın-Ozdilek, S., and Gumus, A. (2012) One century of eel growth: changes and implications. *Ecol. Freshw. Fish.*
- Daverat, F., Martin, J., Fablet, R., and Pécheyran, C. (2010) Colonisation tactics of three temperate catadromous species, eel *Anguilla anguilla*, mullet *Liza ramada* and flounder *Plathychtys flesus*, revealed by Bayesian multielemental otolith microchemistry approach. *Ecol. Freshw. Fish.*
- Donnelly, R.E., Caffrey, J.M., and Tierney, D.M. (1998) Movements of a bream (*Abramis brama* (L.)), rudd x bream hybrid, tench (*Tinca tinca* (L.)) and pike (*Esox lucius* (L.)) in an Irish canal habitat. *Hydrobiologia* 372, 305-308
- Dowse, H.B. (2007) Statistical analysis of biological data. In *Circadian rhythms- Methods and protocols* (Rosato, E., ed), 29-45, Humana Press inc.
- Dowse, H.B., and Ringo, J.M. (1989) The search for hidden periodicities in biological time series revisited. *J. Theor. Biol.* 139, 487-515

- Ford, T.E., and Mercer, E. (1986) Density, Size Distribution and Home Range of American Eels, *Anguilla-Rostrata*, in a Massachusetts Salt-Marsh. *Environ Biol Fish* 17, 309-314
- Fornbacke, M., Gombrii, M., and Lundberg, A. (2002) Sidedness frequencies in the flounder *Platichthys flesus* (Pleuronectiformes) along a biogeographical cline. *Sarsia* 87, 392-395
- Forward, R.B., and Tankersely, R.A. (2001) Selective tidal-stream transport of marine animals. *Oceanography and marine biology, Annual Review* 39, 305-353
- Forward, R.B., and Tankersley, R.A. (2001) Selective tidal-stream transport of marine animals. *Oceanography and marine biology, Annual Review* 39, 305-353
- Gazeau, C., Lefrançois, T., and Rochard, E. (2001) Mise en place d'une démarche qualité dans le cadre de l'échantillonnage d'une population de grande alose (*Alosa alosa*). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 362/363, 1017-1024
- Gill, M.E., Spiropoulos, J., and Moss, C. (2002) Testicular structure and sperm production in flounders from a polluted estuary: a preliminary study. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 281, 41-51
- Gilliers, C., Le Pape, O., Desauay, Y., Morin, J., Guerault, D., and Amara, R. (2006) Are growth and density quantitative indicators of essential fish habitat quality? An application to the common sole *Solea solea* nursery grounds. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 69, 96-106
- Girardin, M., and Castelnau, G. (2011) Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde : Suivi des captures 2010. Etude de la faune circulante 2010., 243, Cemagref
- Gouneau, N., Duhamel, S., Lefrançois, T., and Mayot, S. (2005) L'éperlan d'Europe (*Osmerus eperlanus* L.) dans l'estuaire de la Seine : cycle biologique et éléments de dynamique de la population depuis 2000. 53, Programme Seine-Aval, Thème IV : ressource halieutique,
- Grift, R.E., Buijse, A.D., Klein Breteler, J.G.P., Van Densen, W.L.T., Machiels, M.A.M., and Backx, J.J.G.M. (2001) Migration of bream between the main channel and floodplain lakes along the lower River Rhine during the connection phase. *Journal of Fish Biology* 59, 1033-1055
- Gross, M.R., Coleman, R.M., and McDowall, R.M. (1988) Aquatic productivity and the evolution of Diadromous Fish migration. *Science* 239, 1291-1293
- Hampel, H., Cattrijsse, A., and Elliott, M. (2005) Feeding habits of young predatory fishes in marsh creeks situated along the salinity gradient of the Schelde estuary, Belgium and The Netherlands. *Helgol. Mar. Res.* 59, 151-162
- Hedger, R.D., Dodson, J.J., Hatin, D., Caron, F., and Fournier, D. (2010) River and estuary movements of yellow-stage American eels *Anguilla rostrata*, using a hydrophone array. *J Fish Biol* 76, 1294-1311
- Helfman, G.S., Stoneburner, D.L., Bozeman, E.L., Christian, P.A., and Whalen, R. (1983) Ultrasonic Telemetry of American Eel Movements in a Tidal Creek. *T Am Fish Soc* 112, 105-110
- Heupel, M.R., Semmens, J.M., and Hobday, A.J. (2006) Automated acoustic tracking of aquatic animals: scales, design and deployment of listening station arrays. *Mar. Freshw. Res.* 57, 1-13
- Hirzel, A., and Le Lay, G. (2008) Habitat suitability modelling and niche theory. *J. Appl. Ecol.* 45, 1372-1381
- Horne, J.S., Garton, E.O., Krone, S.M., and Lewis, J.S. (2007) Analyzing animal movements using Brownian bridges. *Ecology* 88, 2354-2363
- Huet, M. (1949) Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Scheiw. Z; Hydrol.* 11, 332-351
- ICES (2008) Report of the 2nd workshop on age reading of flounder (WKARFLO), 26-29 May 2008. Rostock, Germany. 53, ICES
- Imbert, H., Labonne, J., Rigaud, C., and Lambert, P. (2010) Resident and migratory tactics in freshwater European eels are size-dependent. *Freshw. Biol.* 55, 1483-1493
- Jager, Z. (2001) Transport and retention of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard nursery (Ems estuary). *Journal of Sea Research* 45, 153-171

- Jager, Z. (2002) Across-channel distribution of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Eems-Dollard estuary and its effects on larval transport estimates. *ICES J. Mar. Sci.* 59, 1187-1198
- Jager, Z., and Mulder, H.P.J. (1999) Transport velocity of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems Estuary). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49, 327-346
- Janssen, P.A.H., Lambert, J.G.D., and Goos, H.J.T. (1995) The annual ovarian cycle and the influence of pollution on vitellogenesis in the flounder, *Pleuronectes flesus*. *J. Fish Biol.* 47, 509-523
- Labar, G.W., Casal, J.A.H., and Delgado, C.F. (1987) Local Movements and Population-Size of European Eels, *Anguilla-Anguilla*, in a Small Lake in Southwestern Spain. *Environ Biol Fish* 19, 111-117
- Laffaille, P., Feunteun, E., Lefebvre, C., Radureau, A., Sagan, G., and Lefeuvre, J.C. (2002) Can thin-lipped mullet directly exploit the primary and detritic production of European macrotidal salt marshes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54, 729-736
- Lambert, P. (1994) Synthèse des concepts de modélisation du phénomène de migration des civelles d'*Anguilla anguilla* en estuaire. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 335, 99-110
- Lambert, P. (2005) Exploration multiscalaire des paradigmes de la dynamique de la population d'anguilles européennes à l'aide d'outils de simulation. 224, Bordeaux I
- Lambert, P., Rochard, E., and Elie, P. (1995) A study of the estuarial migration of civelles (*Anguilla anguilla* L., 1758) using individual based simulation., 8, ICES/CIEM, Anacat Committee
- Lassalle, G., Crouzet, P., and Rochard, E. (2009) Modelling the current distribution of European diadromous fishes: an approach integrating regional anthropogenic pressures. *Freshw. Biol.* 54, 587-606
- Le Pichon, C. (2006) Une approche "paysage aquatique" pour une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes fluviaux et l'amélioration de la conservation des peuplements de poissons. In *Spécialité écologie*, 323, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI
- Le Pichon, C., Gorges, G., Baudry, J., Goreaud, F., and Boët, P. (2009) Spatial metrics and methods for riverscapes: quantifying variability in riverine fish habitat patterns. *Environmetrics* 20, 512-526
- Lowe, C.G., Topping, D.T., Cartamil, D.P., and Papastamatiou, Y.P. (2003) Movement patterns, home range, and habitat utilization of adult kelp bass *Paralabrax clathratus* in a temperate no-take marine reserve. *Marine Ecology-Progress Series* 256, 205-216
- Lyons, J., and Lucas, M.C. (2002) The combined use of acoustic tracking and echosounding to investigate the movement and distribution of common bream (*Abramis brama*) in the River Trent, England. *Hydrobiologia* 483, 265-273
- Masson, G. (1987) Biologie et écologie d'un poisson plat amphihalín, le flet (*Platichthys flesus flesus* Linné, 1758) dans l'environnement ligérien : distribution, démographie, place au sein des réseaux trophiques. 344, Bretagne Occidentale
- McGovern, P., and McCarthy, T.K. (1992) Local movements of freshwater eels (*Anguilla anguilla* L.) in western Ireland. In *Wildlife Telemetry: Remote Monitoring and Tracking of Animals* (SM, P.I.S., ed), 319-327, Ellis Horwood
- Ohta, I., and Kakuma, S. (2005) Periodic behavior and residence time of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices around Okinawa Islands, as identified with automated listening stations. *Marine Biology* 146, 581-594
- Pasquaud, S. (2006) Les relations trophiques : éléments de structuration des peuplements ichthyologiques en milieu estuarien - Application à l'estuaire de la Gironde. In *CEMAGREF*, 361, Université de Bordeaux I
- Peake, S. (1998) Sodium bicarbonate and clove oil as potential anesthetics for nonsalmonid fishes. *N. Am. J. Fish. Manage.* 18, 919-924
- Perrier, C., Evanno, G., Belliard, J., Guyomard, R., and Baglinière, J.-L. (2010) Natural recolonization of the Seine River by Atlantic salmon (*Salmo salar*) of multiple origins. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 67, 1-4

- R Development Core Team (2005) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing
- Rochard, E., Boët, P., Castelnaud, G., Gauthiez, F., Bigot, J.F., and Ballion, B. (1997a) Premier inventaire ichthyologique de la partie basse de la Seine. In *Rapport Final du Programme Scientifique Seine aval*, 8-31, Cemagref, Groupements de Bordeaux et d'Antony
- Rochard, E., Boët, P., Castelnaud, G., Gauthiez, F., Bigot, J.F., and Ballion, B. (1997b) Premier inventaire ichthyologique de la partie basse de la Seine. In *Rapport Final par Laboratoire du Programme Scientifique Seine aval*, 8-31, Programme scientifique Seine aval
- Rochard, E., and Jatteau, J. (1991) Amélioration de la méthode de détermination de l'âge de l'esturgeon commun *Acipenser sturio* et premières applications. In *Acipenser Actes du premier colloque international sur l'esturgeon* (Williot, P., ed), 193-208, Cemagref Publication
- Rochard, E., Marchal, J., Pellegrini, P., Bégue, M., Ombredane, D., Gazeau, C., Baglinière, J.L., Croze, O., Menvielle, E., and Lassalle, G. (2007) Identification éco-anthropologique d'espèces migratrices, emblématiques de la reconquête d'un milieu fortement anthropisé, la Seine. In *Programme Seine aval*, 143, Cemagref Bordeaux, Rennes Agrocampus, Muséum National d'histoire Naturelle
- Sauriau, P.G., Robin, J.P., and Marchand, J. (1991) Les mortalités estivales du mulot *Liza ramada* en Loire : dysfonctionnement cyclique du rôle de voie de migration d'un estuaire. In *Actes du Col. Le Littoral, ses contraintes environnementales et ses conflits d'utilisation, Nantes 1-4 juillet 1991*, 115-119, *
- Schulz, U., and Berg, R. (1987) The migration of ultrasonic-tagged bream, *Abramis brama* (L), in Lake Constance (Bodensee-Untersee). *Journal of Fish Biology* 31, 409-414
- Senko, J., Koch, V., Megill, W.M., Carthy, R.R., Templeton, R.P., and Nichols, W.J. (2010) Fine scale daily movements and habitat use of East Pacific green turtles at a shallow coastal lagoon in Baja California Sur, Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* In Press, Corrected Proof
- Simpfendorfer, C.A., Heupel, M.R., and Hueter, R.E. (2002) Estimation of short-term centers of activity from an array of omnidirectional hydrophones and its use in studying animal movements. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 59, 23-33
- Szedlmayer, S.T., and Able, K.W. (1993) Ultrasonic telemetry of age-0 summer flounder, *Paralichthys dentatus*, movements in a southern New Jersey estuary. *Copeia*, 728-736
- Thorrold, S.R., Jones, C.M., and Campana, S.E. (1997) Response of otolith microchemistry to environmental variations experienced by larval and juvenile Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*). *Limnol. Oceanogr.* 42, 102-111
- Thorrold, S.R., Jones, C.M., Campana, S.E., McLaren, J.W., and Lam, J.W.H. (1998) Trace element signature in otoliths record natal river of juvenile American shad (*Alosa sapidissima*). *Limnol. Oceanogr.* 43, 1826-1835
- Trancart, T. (2011a) Analyse comparative des stratégies de colonisation des bassins versants par les poissons migrants thalassotokes. . In *Sciences et environnement spécialité écologie aquatique*, Université de Bordeaux I
- Trancart, T., Lambert, P., Rochard, E., Daverat, F., Coustillas, J., and Roqueplo, C. (2012) Alternative flood tide transport tactics in catadromous species: *Anguilla anguilla*, *Liza ramada* and *Platichthys flesus*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*
- Trancart, T., Lambert, P., Rochard, E., Daverat, F., Roqueplo, C., and Coustillas, J. (2011) Swimming activity responses to water current reversal support selective tidal-stream transport hypothesis in juvenile thinlip mullet *Liza ramada*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 399, 120-129
- Whitfield, A.K., Elliott, M., Basset, A., Blaber, S.J.M., and West, R.J. (2012) Paradigms in estuarine ecology – A review of the Remane diagram with a suggested revised model for estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 97, 78-90
- Wirjoatmodjo, S., and Pitcher, T.J. (1984) Flounders follow the tides to feed: evidence from ultrasonic tracking in an Estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 19, 231-241

Zucchetto, M., Franco, A., Torricelli, P., and Franzoi, P. (2010) Habitat distribution model for European flounder juveniles in the Venice lagoon. *J. Sea Res.* 64, 133-144

9. ANNEXES

- 1) Mode opératoire du marquage externe et intra péritonéal des anguilles, flets et mulot (EPBX_TLK_401 v2)
- 2) Caractéristiques des poissons utilisés pour la télémétrie
- 3) Fiche d'information concernant la manip Thalassotok (500 exemplaires diffusés aux riverains et lors des contacts sur le terrain)

N° de version	Date	Rédacteur (Nom, qualité, visa)	Vérificateur(s) (Nom, qualité, visa)	Approbateur (Nom, qualité, visa)
1	18.04.08	Durozoi et Coustillas	Gazeau-Nadin	Lambert et Rochard
MISES A JOUR				
Version	Date	Modifications apportées par rapport à la précédente version		
2	27/03/09	Modification prophylaxie, traitement antiseptiques et marquage flets		

OBJET et DOMAINE d'APPLICATION

Ce mode opératoire s'applique au sein l'Unité « Ecosystèmes estuariens et poissons migratoires amphihalins ».

Il précise la méthodologie pour le marquage externe de juvéniles de flets, et le marquage intra péritonéale pour les juvéniles de mulot porc et pour l'anguille, dans le cadre du programme Thalassotok, et le suivi par télémétrie acoustique des juvéniles en migration.

Cette étude est applicable à toute personne impliquée dans l'étude par le Cemagref.

DOCUMENTS de REFERENCE

EPBX_TLK_101

EPBX_TLK_401 (version 1)

CONTENU de la PROCEDURE : logigramme, note explicative

LOGIGRAMME de CONSTRUCTION d'une PROCEDURE

Qui ?	Quoi ?	Comment ?	Résultats
RESPONSABLES	CHRONOLOGIE des TACHES	Documents, Outils...	Enregistrements, visas, renvois à d'autres procédures...

		Préparation du matériel et du plan de travail		
		Anesthésie des individus		
		Marquage au PitTag (facultatif)		
		Marquage externe et intra péritonéal		
		Réveil		

NOTE EXPLICATIVE de la PROCEDURE

Préparation

Liste du matériel

- Fils de suture (Ethicon à résorption lente 3/0 avec aiguille montée)
 - Instruments chirurgicaux (pince « Mathieu », canules, ciseaux à bout rond, pinces, scalpel avec lames de 10)
 - Aiguilles stériles
 - Bétadine, mercurochrome, fucidine et pommade ophtalmique Atébémixine
 - Alcool à 90°
 - Sopalin
 - Gants latex (taille M)
 - Compresses stériles
 - Pansements à l'acide hyaluronique pour les flets
 - Lingettes
 - Bulleur à piles
 - 3 bacs ou poubelles (anesthésie, réveil, traitement peroxyde)
 - Ichtyomètre
 - balance
 - « Berceau »
 - Champ opératoire si possibilité de mise en œuvre
 - Eugénol, peroxyde activé, antibiotique Longamox
 - Flacons, béccher, seringues de 1 et 2 ml, aiguilles, etc ...
- 9.1.1.1. Précautions pour le marquage intra-péritonéale
- Désinfection des instruments de chirurgie et du plan de travail à l'alcool à 90°
 - Désinfection de la zone à inciser et de la zone suturée à la Bétadine (**attention aux branchies, l'iode est très toxique**)
 - Application de Fucidine en pommade sur la plaie et d'Atébémixine pour les flets
 - Traitement antibiotique au Longamox ainsi qu'avec l'Atébémixine

9.1.1.2. Préparation du plan de travail :

- 1- Désinfecter le plan de travail (pulvérisation de Déso-germe ou alcool à 90° le cas échéant pendant 15 min)) et rincer abondamment par la suite (min 10 min)
- 2- Préparer deux poubelles pour l'anesthésie : un bac anesthésiant et un bac réveil avec un bulleur, eau du bac des individus ou eau de rivière en milieu naturel, et une poubelle pour un traitement au peroxyde. Activer les bulleurs.
- 3- Mettre 20 L d'eau dans chaque poubelle (sauf pour le bac de réveil où le volume d'eau a peu d'importance : mettre plus de 20l).
- 4- Sortir tous les instruments nécessaires à la chirurgie ou au marquage externe et les laisser à désinfecter dans bac d'alcool à 90°. Les émetteurs et montages pour les flets seront préalablement immergés dans de l'alcool à 90° 48h avant la pose des émetteurs.
- 5- Préparer l'ichtyomètre, avec des lingettes imbibées d'eau.
- 6- Préparer un bidon à portée de main afin d'hydrater les poissons pendant le marquage (mettre une petite quantité (dose pour l'anesthésie/3) dans le bidon.
- 7- Mettre en route la balance et sortir les fiches terrain.
- 8- Sortir les fils de suture, les traitements désinfectant (mercurochrome, fucidine, bétadine, atébémixine), que tout soit à portée de main.
- 9- Préparer la dose d'antibiotique à injecter avant de sortir les individus du bac anesthésiant (sinon perte de temps inutile). Ceci doit être réaliser par l'assistant en plus de la surveillance des divers bacs pour l'anesthésie, le traitement peroxyde et le réveil.
- 10- Tous les manipulateurs doivent porter des gants et se désinfecter fréquemment les mains au manu gel.



Préparation de l'eugénol

Doses prescrites

	Eugénol en ml	Alcool 90° en ml.	Eau en litre
Flet	0.3	3	10
Mulet	0.3	3	10
Anguille	1,5	10	10

Ces doses pourront être ajustées en fonction de l'endormissement du poisson et de l'appréciation des manipulateurs.

Les différents stades de l'anesthésie :

- 1- Perte partielle de l'équilibre avec activité de nage « normale »
- 2- Perte totale de l'équilibre avec activité de nage « normale »
- 3- Perte partielle de l'activité de nage
- 4- Perte totale de l'activité de nage avec de faibles mouvements operculaires
- 5- Absence de mouvements operculaires

Pour l'anesthésie : 2 bacs devront être préparés: un bac « anesthésiant » contenant la dose anesthésique prescrite et un bac « réveil » avec un bulleur. Une personne vérifie durant toute la période de marquage l'état des poissons dans les bacs anesthésiant et de réveil.

Marquage intra-péritonéal Anguille :

- 1- Aller chercher 4 à 5 anguilles dans leur bac.
- 2- Les mettre dans le bac d'anesthésiant, préalablement préparé

Dosage : 1.5 ml d'eugénol / 10ml d'alcool/10L d'eau

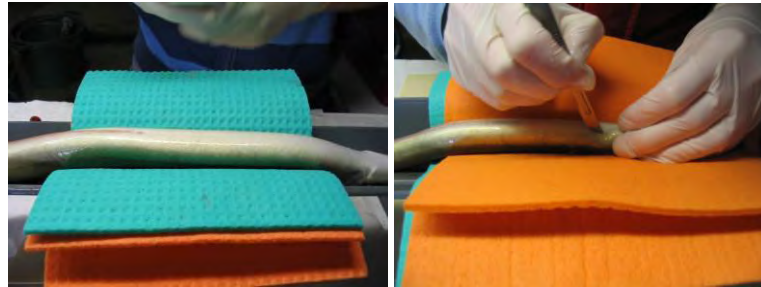
- 3- Attendre qu'elles aient atteint le stade 4 de l'anesthésie.
- 4- Désinfecter le dos des anguilles avec de la Bétadine, insérer le Pit-Tag sur le dos des anguilles puis désinfecter le point d'entrée avec de la Bétadine (attention qu'il n'y ait pas de contact entre la Bétadine et les branchies des individus)



- 5- Mettre l'anguille sur l'ichtyomètre, sur le dos, avec les lingettes imbibées d'eau sur les yeux et surtout les ouïes.
- 6- Arroser abondamment les lingettes éponges placées sous et sur les individus et arrosage régulier au cours de la manip par l'assistant ou l'opérateur (eau + faible dose d'eugénol).

 Groupeement de Bordeaux Ecosystèmes estuariens et poissons migrateurs amphihalins	Projet Thalassotock	Réf : EPBX_TLK_401
	Mode Opérateur	Version : 1
	Marquage externe et intra péritonéal des anguilles, flets et mulets	Date : 02/04/09 Page : 110/117

7- Zone à inciser : 3-4 cm en avant de l'anus. 1 peu plus latéralement par rapport à l'axe médian (angle environ 25° par rapport à l'axe médian).



8- Désinfecter la zone à inciser avec de la Bétadine.

9- Faire incision avec scalpel (lame de 10), le moins d'incision possible jusqu'à l'arrivée dans la cavité intra péritonéale (incision environ 1cm), couper tout le plancher musculaire. Pour élargir l'incision sans risquer d'endommager, le faire avec la lame du scalpel à l'envers. La lame du scalpel doit être changée régulièrement (toutes les deux anguilles pour une incision facile et nette). Pour limiter les risques d'endommager les organes, il est indispensable de pratiquer une boutonnière pour insérer la canule et finir l'incision du plancher musculaire en toute sécurité.



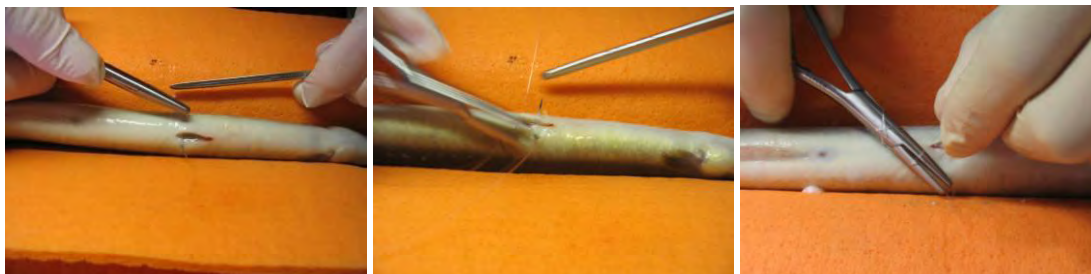
10- Prendre la marque désinfectée à l'alcool à 90° (pendant les 48h précédant la manip) et l'insérer dans l'incision [rq : faire glisser la marque en avant de la plaie car elle aura tendance à glisser d'elle-même vers la partie postérieure de l'organisme suite au marquage].



11- Injecter l'antibiotique dans la plaie (Longamox : 0.5 ml pour poisson d'environ 50-100g).

Changer l'aiguille à chaque poisson.

12- Avec les pinces Mathieu, prendre une aiguille montée (perpendiculairement et au dessus du chat) et la canule pour faire le premier point de suture. Implanter l'aiguille à environ 2-3 mm de l'incision. Les sutures peuvent être des points simples ou des sutures en U (conseillées car limitent les risques de rejet de marques).



13- Recommencer la même opération, pour faire un deuxième point sur l'incision voir un troisième (2U ou 1U plus un simple suivant les dimensions de la plaie).

14- Faire les nœuds de chirurgien : deux doubles nœuds, puis nœud de chirurgien.

15- Couper les fils pas trop près de l'incision pour ne pas endommager l'épiderme près de



l'incision.

16- Mettre de la Bétadine.

17- Mettre un point de colle cyanoacrylate sur les points de suture (éviter si possible d'en répandre sur les bourrelets de la plaie).

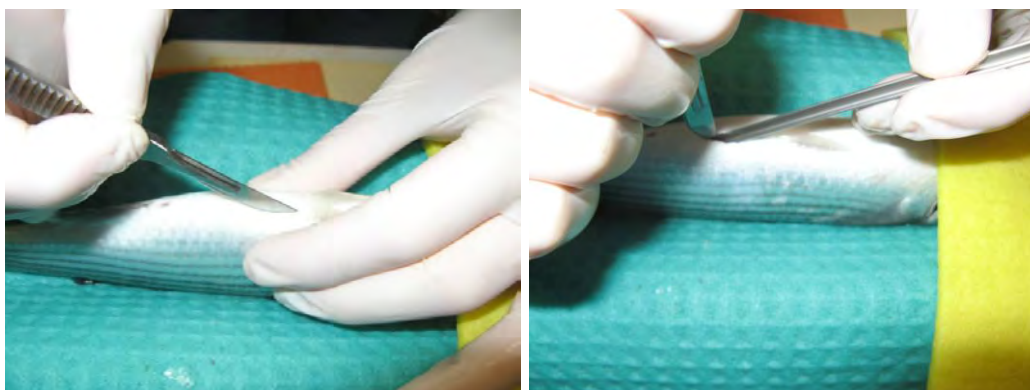
18- Bétadine.

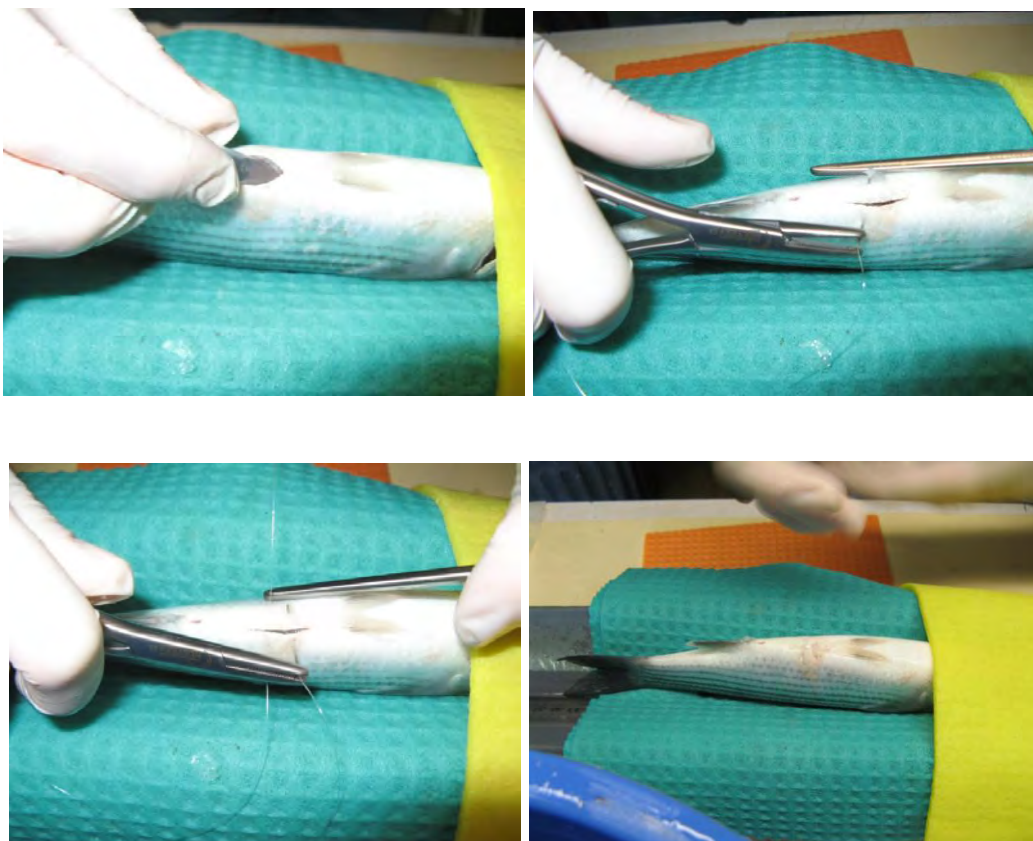
19- Mettre de la Fucidine.

20- Mettre l'anguille dans son bac de réveil muni d'un bulleur (la durée du réveil de l'individu sera proportionnelle au temps qu'il a fallu pour endormir l'individu).

Marquage intra-péritonéal Mulet :

Le marquage intra péritonéal est le même pour les mulets, l'incision se fait en avant du port anal sur la ligne medio-ventrale entre les deux muscles, légèrement latéralement pour éviter d'endommager les vaisseaux capillaires.





Marquage externe sur le flet

Pour le marquage externe, les émetteurs doivent être préalablement préparés au laboratoire. Avec du kevlar et du néoprène, collé à l'émetteur et qui permet de protéger l'épiderme du poisson des frottements de l'émetteur. Il est possible de réaliser ce marquage sans la pièce de néoprène (cf. illustration ci-dessous de droite marquage sur la sole réalisé par Marie-Laure Bégout (Ifremer)).



- 1- Aller chercher 2 à 3 individus dans leur bac.
- 2- Les mettre dans leur bac d'anesthésiant (dosage 0.3ml d'eugénol, 3ml d'alcool et 10L d'eau) avec l'eau de leur bac.
- 3- Attendre qu'ils aient atteint le stade 4 de l'anesthésie.
- 4- Désinfecter la zone avec de la Bétadine, insérer le Pit-tag sur le côté latéral en face de la cavité intra péritonéale, désinfecter avec de la Bétadine.



- 5- Placer le flet sur le dos.
- 6- La zone à inciser (ou à perforer) se situe en face, du côté opposé à la cavité intra péritonéale, dans le muscle, dans les ptérigiophores (partie centrale de la nageoire dorsale).
- 7- Prendre les aiguilles placées dans le caoutchouc et la pièce de pansement à l'acide hyaluronique collée dessous (aiguilles stériles).
- 8- Désinfecter la zone à marquer avec de la Bétadine.



9- Insérer les aiguilles au travers du poisson.



10- Une fois les aiguilles insérées, placer le flet sur le ventre. Faire passer les fils de l'émetteur dans les aiguilles. Passer de la pommade ophtalmique avec antibiotique (Atébémixine) sur les fils avant de les faire glisser.



11- Bien serrer les deux fils, faire deux nœuds de chirurgien (ne pas hésiter à serrer fort car dans le cas où les nœuds se relâcheraient, les risques d'infection issus du frottement du néoprène sur la peau du poisson sont accrus).



 Groupeement de Bordeaux Ecosystèmes estuariens et poissons migrateurs amphihalins	Projet Thalassotock	Réf : EPBX_TLK_401
	Mode Opératoire	Version : 1
	Marquage externe et intra péritonéal des anguilles, flets et mulets	Date : 02/04/09 Page : 115/117

- 12- Couper les fils qui dépassent, mettre un point de colle cyanoacrylate sur les nœuds sur le patin.
- 13- Désinfecter avec de la Bétadine et mettre un peu d'atébémixine autour de la plaie.
- 14- Injecter la dose d'antibiotique Longamox dans la cavité intra péritonéale de l'individu.
- 15- Mettre le flet dans le bac de réveil.

Après chaque manip de marquage, les individus sont traités au peroxyde activé par baignade à 60ppm pendant 30 minutes au maximum. Surveiller les poissons pendant ce traitement pour voir s'ils le supportent bien. Le traitement s'effectue dans une grande poubelle avec un bulleur.

ANNEXE 2 : Liste des poissons équipés d'émetteurs

ESPECE	ID_POISSON	Date de lâcher	L	P	SITE_CAPTURE	SITE_LACHER
Anguille	A1	3/6/09 10:50	435	139	Oissel amont	Oissel
Anguille	A2	3/6/09 10:50	348	84	Oissel amont	Oissel
Anguille	A3	3/6/09 10:50	450	164	Oissel amont	Oissel
Anguille	A4	3/6/09 10:50	405	130	Oissel amont	Oissel
Anguille	A5	3/6/09 10:50	475	154	Oissel amont	Oissel
Anguille	A6	3/6/09 11:25	440	156	Oissel amont	Oissel
Anguille	A7	3/6/09 11:25	385	99	Oissel	Oissel
Anguille	A8	3/6/09 11:25	432	142	Oissel	Oissel
Anguille	A9	3/6/09 11:25	370	82	Oissel	Oissel
Anguille	A10	3/6/09 11:25	354	87	Oissel	Oissel
Anguille	A11	3/6/09 11:25	381	96	Oissel	Oissel
Anguille	A12	30/6/09 9:45	349	81	Amont direct calle portique 37/38	calle Oissel
Anguille	A13	30/6/09 9:45	435	153	Amont amont portique 37/38	calle Oissel
Anguille	A14	30/6/09 9:45	385	101	Amont direct calle portique 37/38	calle Oissel
Anguille	A15	30/6/09 11:00	473	163	Amont direct calle portique 37/38	calle Oissel
Anguille	A16	30/6/09 11:00	415	96	Amont direct calle portique 37/38	calle Oissel
Anguille	A17	30/6/09 12:25	370	89	Bouée 23 (aval Oissel)	calle Oissel
Anguille	A18	30/6/09 12:25	380	100	Bouée 23 (aval Oissel)	calle Oissel
Anguille	A19	30/6/09 12:25	450	146	Entre bouée 23 et portique 41/42	calle Oissel
Anguille	A20	30/6/09 12:25	384	101	Portique 41/42	calle Oissel
Anguille	A21	30/6/09 12:25	413	142	Portique 41/42	calle Oissel
Breme	B1	2/6/09 12:15	350	711	Oissel	Oissel
Breme	B2	2/6/09 14:00	395	1030	Oissel	Oissel
Breme	B3	3/6/09 16:55	440	1355	Oissel	Oissel
Breme	B4	3/6/09 16:55	240	219	Oissel	Oissel
Breme	B5	29/6/09 11:45	370	775	Bras mort Oissel	calle Oissel
Breme	B6	29/6/09 11:55	440	1400	Bras mort Oissel	calle Oissel
Breme	B7	29/6/09 14:10	475	1495	Bras mort Orival	calle Oissel
Breme	B8	29/6/09 14:10	230	215	Bras mort Orival	calle Oissel
Breme	B9	29/6/09 15:00	475	1407	Bras mort Orival	calle Oissel
Breme	B10	29/6/09 15:15	415	1185	Bras II zone 5	calle Oissel
Flet	F1	5/6/09 12:30	255	190	Andelle	Poses
Flet	F2	24/6/09 12:20	255	183	réserve naturelle de l'estuaire de	Calle Oissel
Flet	F3	2/7/09 11:10	177	73	Aval pont 1 piétons Andelle	Site de
Flet	F4	2/7/09 11:10	205	102	Aval pont 1 piétons Andelle	Site de
Flet	F5	2/7/09 11:10	195	88	Aval pont 1 piétons Andelle	Site de
Flet	F6	2/7/09 11:10	166	58	Aval pont 1 piétons Andelle	Site de
Flet	F7	2/7/09 11:10	176	75	Aval pont 1 piétons Andelle	Site de
Flet	F8	2/7/09 11:10	235	160	Aval pont 1 piétons Andelle	Site de
Flet	F9	3/7/09 11:15	201	92	Amont pont 1 piétons andelle	Site de
Mulet	M1	3/6/09 14:15	490	1261	Oissel	Oissel
Mulet	M2	3/6/09 14:15	475	1203	Oissel	Oissel
Mulet	M3	3/6/09 15:30	500	1410	Oissel	Oissel
Mulet	M4	3/6/09 16:00	505	1494	Oissel	Oissel
Mulet	M5	4/6/09 16:05	480	1096	Orival	Oissel
Mulet	M6	4/6/09 16:05	480	1300	Orival	Oissel
Mulet	M7	4/6/09 16:05	503	1330	Orival	Oissel
Mulet	M8	4/6/09 16:05	490	1390	Orival	Oissel
Mulet	M9	4/6/09 16:05	510	1653	Orival	Oissel
Mulet	M10	4/6/09 17:25	400	990	Oissel	Oissel
Mulet	M11	29/6/09 10:50	460	1320	Bras mort Oissel	calle Oissel
Mulet	M12	29/6/09 10:50	525	1610	Bras mort Oissel	calle Oissel
Mulet	M13	29/6/09 13:15	475	1280	Bras mort Orival	calle Oissel
Mulet	M14	29/6/09 13:20	485	1340	Bras mort Orival	calle Oissel
Mulet	M15	1/7/09 13:50	510	1545	Bras mort Orival	calle Oissel
Mulet	M16	1/7/09 14:00	504	1590	Bras mort Orival	calle Oissel
Mulet	M17	2/7/09 14:00	503	1680	Bras mort Oissel	Aval direct
Mulet	M18	2/7/09 15:25	450	958	Bras mort Orival	Aval direct
Mulet	M19	2/7/09 15:25	450	958	Bras mort Orival	Aval direct
Mulet	M20	2/7/09 15:25	425	935	Bras mort Orival	Aval direct

Recherches en cours : déplacements et utilisation des habitats aquatiques par les juvéniles de flets, d'anguilles et de mulets sur l'estuaire amont de la Seine (secteur entre Poses et Rouen)



Afin de caractériser de quelle façon les trois espèces de poissons migrateurs amphihalins qui se reproduisent en mer (Flet : *Platichthys flesus*, Anguille européenne : *Anguilla anguilla* et Mulet porc : *Liza ramada*) utilisent les eaux douces lors de leur croissance, une expérience de télémétrie est mise en œuvre en milieu naturel par le **GIP Seine Aval** et le **Cemagref**.

Cette expérience consiste à suivre à distance les déplacements et les comportements de poissons équipés d'un émetteur acoustique. Cet émetteur est placé par opération dans la cavité abdominale pour les anguilles et les mulets et est donc invisible au premier coup d'œil. Seule la cicatrice est visible sur le ventre de l'animal (Photos 1 et 2). Chez les flets, l'émetteur est fixé à l'extérieur sur le dos du poisson, à côté de la nageoire (Photo 3).



Photo 1 : chez l'anguille

Cicatrice laissée par l'implantation interne de l'émetteur



Photo 2 : chez le mulet porc



Photo 3 : Émetteur visible en position externe sur un flet.



Photo 4

Des hydrophones (photo 4), immergés à poste fixe à différents points de la zone d'étude permettront de capter les signaux émis par les émetteurs, propres à chaque poisson, et de suivre ainsi leurs déplacements. Au total, 50 hydrophones vont être installés. De plus, des équipes du Cemagref et de la Cellule de Suivi du Littoral Normand localiseront régulièrement les poissons en bateau et relèveront les caractéristiques des habitats aquatiques colonisés. Les zones d'étude seront : l'estuaire amont de la Seine entre Poses et Rouen.

Ces expérimentations débuteront en Mai 2009. Les juvéniles de flets, anguilles et mulets seront capturés par pêche électrique, pêche au guideau et pêche au filet. Une fois capturé, chaque individu sera anesthésié, équipé de l'émetteur, puis relâché dans le milieu. L'expérience prendra fin en septembre 2009.



En cas de capture d'un poisson porteur d'un émetteur, il convient de le relâcher rapidement et avec précaution.

Toutes les informations portant sur ces poissons (taille, état général, etc....) et sur les conditions de capture (date, heure, engin) pourront être utiles à l'amélioration des connaissances sur l'écologie de ces espèces.

Merci de prévenir le responsable terrain du Cemagref par téléphone au **06 30 92 41 08** (en cas d'absence, laissez vos coordonnées de façon à nous permettre de vous recontacter) ou par courrier à l'adresse suivante :

Cemagref, Unité Ecosystèmes estuariens et poissons migrateurs amphihalins
50 avenue de Verdun – 33612 Cestas Cedex

Merci de votre collaboration ...



**Mai à
septembre**



2009



Pour en savoir plus, n'hésitez pas à contactez les scientifiques du Cemagref : Coustillas Julien (06 30 92 41 08) et Eric Rochard (05 57 89 08 00)

Crédit photo couverture : GIP Seine-Aval, C. Dégremont
Pour tout renseignement, veuillez contacter la coordination scientifique : cdegremont@seine-aval.fr

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.

Le GIP Seine-Aval est financé par :

