



GUIDE

pour le suivi
de l'ichtyofaune
dans l'estuaire de la Seine

GUIDE

pour le suivi de l'ichtyofaune dans l'estuaire de la Seine

COORDINATION : Jérémie Lobry ⁽¹⁾

AUTEURS : Jérémie Lobry ⁽¹⁾, Mario Lepage ⁽¹⁾, Julien Dublon ⁽¹⁾, Alain Lechêne ⁽¹⁾, Eric Feunteun ⁽²⁾,
Sylvain Duhamel ⁽³⁾

⁽¹⁾ Irstea, Unité de recherche Ecosystèmes estuariens et poissons migrateurs amphihalins

⁽²⁾ Muséum National d'Histoire Naturelle

⁽³⁾ Cellule de Suivi du Littoral Normand

Crédit photo (couverture) : C. Dégremont, GIP Seine-Aval.

Sommaire

I. INTRODUCTION	3
1. Préambule	3
2. Observation, suivi, contrôle...	3
II. LES POISSONS DANS LES ESTUAIRES	4
1. Production secondaire et halieutique	4
2. Le rôle des estuaires pour les poissons	4
III. UN PROTOCOLE DE BASE AUTOUR DU SUIVI DCE	6
1. Une option privilégiée	6
2. Rappel des principaux éléments du protocole	6
3. Éléments d'analyse critique	8
IV. MÉTHODE(S) COMPLÉMENTAIRE(S)	9
1. Pour prendre en compte l'habitat	9
2. Mieux appréhender la variabilité temporelle	12
3. Mieux traiter les captures	13
4. Utilisation de données complémentaires	14
V. CONCLUSIONS	15
VI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	16

I.INTRODUCTION

MOTS-CLÉS

Long terme (> 10 ans)

Ensemble de l'estuaire (de Poses à la Baie de Seine)

Aspects fonctionnels (dont trophique)

Echelle Habitats (cf. outil SIG 'Habitats Fonctionnels')

Protocole 'a minima'

Complémentarité des approches

1. Préambule

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une Stratégie d'Observation à Long Terme de l'estuaire de la Seine, l'objectif de ce travail est de proposer des éléments concrets pour la mise en place d'un protocole minimal de suivi de l'ichtyofaune dans l'estuaire de la Seine. Cette stratégie d'observation doit autant que possible permettre **une approche fonctionnelle de la biodiversité et reposer sur les démarches existantes.**

Il n'existe évidemment pas un protocole « miracle » unique et indiscutable permettant de considérer l'ensemble de l'ichtyofaune, tenant compte à la fois des aspects fonctionnels, de la dimension de l'habitat, de l'ensemble des échelles spatiales et temporelles de structuration du peuplement et qui soit à la fois facilement mis en œuvre, aisément reproductible, comparable aux démarches existantes sur d'autres milieux et d'autres estuaires... c'est donc une véritable stratégie d'échantillonnage combinant éventuellement plusieurs types de protocoles qu'il convient de considérer qui, pour être efficace, doit être bâtie autour d'un socle fondamental.

A l'issue du séminaire « Stratégie à Long Terme en Milieu Estuarien » qui s'est tenu à Rouen les 21 et 22 octobre 2009, il a été proposé de capitaliser sur la mise en place à l'échelle nationale de la stratégie de suivi développée dans le cadre de la DCE.

Ce document présente les propositions des auteurs en termes de mise en place d'une stratégie de suivi à long terme de l'ichtyofaune dans l'estuaire de la Seine. Les données sur l'estuaire de l'ichtyofaune de l'estuaire de la Seine et plusieurs figures sont issues du fascicule Seine-Aval 2.5 « Poissons, habitats et ressources halieutiques : Cas de l'estuaire de la Seine » (Morin *et al.*, 2010) auquel nous conseillons au lecteur intéressé de se reporter pour une vision plus complète.

2. Observation, suivi, contrôle...

La mise en place d'un protocole de suivi environnemental et l'exploitation des données qui en découlent sont d'autant plus efficaces et pertinentes que le suivi a été mis en place avec un objectif donné (voir par exemple Osenberg & Schmitt, 1996). Ainsi, la DCE distingue-t-elle les contrôles de surveillance destinés à évaluer périodiquement l'état écologique des masses d'eau sur la base de divers éléments de qualité (dont l'ichtyofaune dans les estuaires) et les contrôles opérationnels destinés à évaluer l'impact d'une pression ou d'une source de pression particulière détériorant la qualité d'une masse d'eau et exigeant la mise en place de mesures de gestion afin de restaurer l'état écologique des masses d'eau. Les deux objectifs sont différents et il est vraisemblable que les protocoles mis en œuvre seront différents. Plus largement, les échelles

spatiales et temporelles diffèrent largement selon que l'on se place dans le contexte d'un suivi des impacts du changement climatique à l'échelle d'un écosystème, du suivi de la (re)colonisation d'un habitat modifié, ou de l'évaluation de l'impact d'un aménagement localisé ou d'un changement de la qualité de l'eau.

Là encore, que l'on s'intéresse aux effets de l'oxygène ou de la contamination chimique n'implique pas le même protocole d'échantillonnage. Un même protocole ne pourra répondre à l'ensemble des objectifs ce qui implique que la question posée et l'objectif suivi doivent autant que possible être définis en amont.

Dans le cadre de la démarche mise en place sur la Seine, il s'agit avant tout de **proposer des éléments pour la construction d'une stratégie d'échantillonnage de l'ichtyofaune** avec un objectif d'**observation à long terme de la diversité ichtyofaunistique et de son évolution** dans le contexte du changement climatique et d'un aménagement continu de l'estuaire conjuguant à la fois des projets de développement économique et des projets de « restauration » écologique.

LE PROBLÈME DU SUIVI DE LA BIODIVERSITÉ

Nécessite une approche fonctionnelle, pragmatique et opérationnelle de la biodiversité

En premier lieu, une telle stratégie a vocation à **caractériser l'évolution de l'ichtyofaune de l'ensemble de l'estuaire de la Seine sur le long terme en tenant compte des différentes échelles spatiales et temporelles nécessaires pour appréhender de façon pertinente l'assemblage de poissons.** Au sens large, appréhender l'ichtyofaune dans un contexte de suivi à long terme de la biodiversité sous-entend une certaine exhaustivité et nécessite, au minimum, de considérer l'ensemble du peuplement (Argillier & Lepage, 2010). Pour autant, il n'est pas raisonnable de vouloir construire un protocole pertinent pour l'ensemble des espèces cibles (Rotherham *et al.*, 2007). Par conséquent, nous proposons de développer une approche fonctionnelle, pragmatique et opérationnelle de la biodiversité. Ainsi, seule une fraction de l'assemblage, que l'on jugera représentative des fonctions écologiques associées à l'estuaire pour les poissons, peut être considérée en première approche. Généralement, et c'est vrai dans le contexte de la DCE, on se focalise essentiellement sur les fonctions de nourriceries et d'alimentation pour les poissons euryhalins d'origine marine ou fluviale, de maintien des populations résidentes et de support à la migration des espèces migratrices amphihalines.

Ce faisant, un tel suivi devra permettre de caractériser à l'échelle de l'estuaire l'état de l'ichtyofaune et son évolution. Il est donc un support à des études plus localisées dans l'espace et le temps (par exemple des études de l'impact d'un aménagement ou d'un projet de restauration d'habitats) qui seront ainsi avantageusement resituées dans leur contexte. De plus, les informations acquises sur le fonctionnement du peuplement de poissons pourraient servir de base de connaissance, qui fait en général défaut, lors de catastrophes écologiques d'origine accidentelle (nauffrage, fuite de produits toxiques, etc.)

Enfin, nécessairement stratifié sur le plan spatial (et temporel), un tel suivi pourra fournir des éléments à une appréhension spatialisée de l'assemblage de poissons qui pourront être articulés avec la démarche de SIG "Habitats Fonctionnels" mise en œuvre par le GIP Seine-Aval.

II. LES POISSONS DANS LES ESTUAIRES

1. Production secondaire et halieutique

Sur le plan écologique, les estuaires en général et les grands estuaires en particulier sont associés à une production secondaire et supérieure remarquable, notamment en regard des faibles taux de productivité primaire qu'on leur attribue généralement du fait de la forte turbidité de leurs eaux.

Associée à cette productivité secondaire et supérieure, l'ichtyofaune est un compartiment emblématique des écosystèmes estuariens. Selon leur espèce, leur taille ou leur stade de vie, les poissons peuvent se situer à différents niveaux du réseau trophique estuarien depuis les consommateurs primaires (larves et jeunes stades, mulets...) et secondaires (petits pélagiques) jusqu'aux plus hauts niveaux trophiques (bars, anguille...).

Du fait de cette variabilité dans les niveaux trophiques et, pour de nombreux poissons, de leur position trophique généralement plus élevée que les autres compartiments écologiques, l'ichtyofaune peut refléter les altérations d'origine naturelle ou anthropique de l'environnement et elle apparaît comme un élément intégrateur de la qualité de son environnement (Whitfield & Elliott, 2002). Par ailleurs, son utilisation comme indicateur présente divers avantages : elle est entre autres présente dans tous les milieux aquatiques (hormis les plus pollués), elle est relativement facile à identifier et permet un échantillonnage non destructeur dans un certain nombre de cas. En outre, les poissons ont, comparativement aux autres groupes taxonomiques, une espérance de vie relativement longue et fournissent donc un « enregistrement » temporel assez long du stress environnemental avec un niveau d'intégration important. Enfin, ce groupe taxonomique est caractérisé par une diversité élevée des caractéristiques morphologiques, biologiques, écologiques, comportementales et fonctionnelles qui lui permet d'être relié à différentes composantes de l'écosystème susceptibles d'être affectées par les perturbations anthropiques.

Par ailleurs, la production halieutique associée au milieu estuarien est extrêmement importante. De nombreuses espèces d'intérêt halieutique dépendent des zones estuariennes pour tout ou partie de leur cycle de vie. On estime ainsi, que, globalement, 87% de la valeur produite par les pêcheries professionnelles et de loisirs dépend d'espèces réalisant tout ou partie de leurs cycles de vies dans des habitats côtiers et estuariens (www.oecd.org). Dans les années 1990, 75% des débarquements aux Etats-Unis étaient composés de poissons dépendant des estuaires (Chambers, 1992 ; Fodrie & Mendoza, 2006). 41 % du tonnage des captures commerciales réalisées en Manche orientale proviennent d'espèces dépendantes des estuaires (Goinard, 1993).

2. Le rôle des estuaires pour les poissons

Les estuaires peuvent jouer différents rôles essentiels dans le cycle de vie des poissons (Beck *et al.*, 2001 ; Able, 2005). Les fonctions des milieux estuariens vis-à-vis de l'ichtyofaune sont essentiellement de trois ordres : ils constituent une zone de nurserie, une zone d'alimentation et une voie migratoire (Elliott & Hemingway, 2002). L'estuaire peut parfois aussi servir d'aire de ponte. C'est le cas pour les espèces qui y effectuent l'ensemble de leur cycle écologique (ex. le gobie buhotte *Pomatoschistus minutus*) mais aussi pour certaines espèces marines qui peuvent venir pondre en estuaire bien qu'elles le fassent préférentiellement en zone marine (ex. l'anchois *Engraulis encrasicolus*, le hareng *Clupea harengus*). Pour un certain nombre d'autres espèces d'origine marine, la ponte s'effectue en zone côtière voire à l'embouchure des estuaires et ce sont les larves qui pénètrent dans les estuaires (de façon généralement passive) pour s'y nourrir et croître. C'est le cas notamment pour la sole *Solea solea*, le bar *Dicentrarchus labrax* ou le maigre *Argyrosomus regius*. Les estuaires sont ainsi des habitats essentiels (Langton *et al.*, 1996) pour de nombreuses espèces de poissons.

VARIABILITÉ SPATIALE ET SAISONNIÈRE DU PEUPLEMENT

*Un peuplement hétérogène et variable...
...dans l'espace (habitats) et le temps
(saisons, année, hydrologie)*

La richesse et la productivité biologique ainsi que la diversité fonctionnelle des communautés écologiques estuariennes sont largement liées à la diversité des habitats (au sens large) de ces milieux. Le double gradient longitudinal (salinité) et latéral (submersion), la bathymétrie, la variété des substrats sédimentaires, la présence d'abris rocheux naturels ou non ou de végétaux déterminent une diversité d'habitats qui vont conditionner la présence et l'abondance des poissons ainsi que la réalisation de certaines fonctions écologiques (Pihl *et al.*, 2002).

Dans le même temps, la variabilité temporelle de l'ichtyofaune s'articule à différentes échelles de temps : la marée, la saison ou l'année.

L'expérience et les résultats de différentes études (voir par exemple Lobry *et al.*, 2006 sur la Gironde) amènent à considérer classiquement de 2 à 3 saisons hydrologiques et donc autant de structures de peuplement caractéristiques (Figure 1).

- Une période de production minimale, classiquement l'hiver (débits élevés, températures froides) entre Novembre et Février. Le peuplement est dominé par les espèces "résidentes" (ex. gobies), les espèces marines "d'eau froide" (ex. merlan) et quelques amphihalins (ex. flets, anguilles dont civelles). L'assemblage est caractérisé par un petit nombre d'espèces et des biomasses faibles.
- Une période de transition, classiquement au printemps, période de recrutement pour de nombreuses espèces entre mars et juin. L'assemblage est caractérisé par une grande variabilité du nombre d'espèce et des tailles observées en fonction des périodes relatives d'échantillonnage et de recrutement.

- Une période de croissance ou de fin de croissance, classiquement en été/automne (débits plus faibles, températures élevées), entre juillet et octobre, caractérisée par des densités élevées de juvéniles d'espèces marines (bars, soles...) qui sont entrés en estuaire au printemps et terminent leur croissance de la première année. C'est typiquement la période de l'année durant laquelle la richesse spécifique est la plus élevée et les biomasses/abondances les plus fortes.

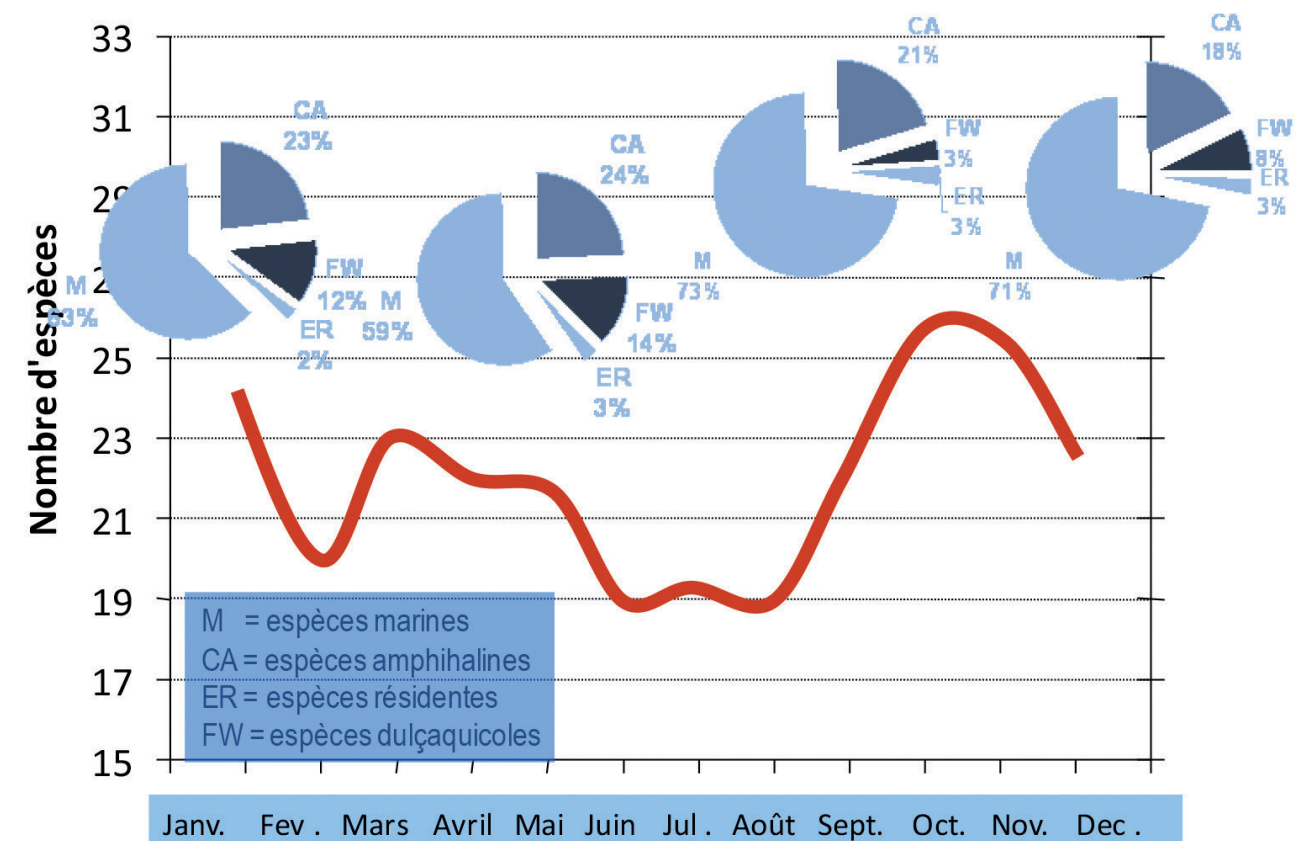


Figure 1: Fluctuations saisonnières du nombre d'espèces capturées dans les échantillonnages au chalut menés entre 1994 et 1999 et de la composition en guildes des assemblages (Lobry, 2004)

III. UN PROTOCOLE DE BASE AUTOUR DU SUIVI DCE

Norme AFNOR/T9

afnor

NORMALISATION

"Qualité écologique des milieux aquatiques"

Procédure XP T 90-701

"Echantillonnage au chalut à perche des communautés de poissons dans les estuaires"

1. Une option privilégiée

Les éléments clés de la qualité et de la pertinence d'une telle démarche d'observation sont (1) la **pérennité du suivi** et (2) la **comparabilité sur le long terme** des observations réalisées. Cela suppose de construire un protocole de base sur lequel pourront se greffer des approches optionnelles dont la mise en œuvre pourra éventuellement varier dans le temps. Le protocole standard doit répondre à minima à l'objectif mentionné plus haut et être autant que possible facile à mettre en œuvre et raisonnablement coûteux.

Différentes stratégies peuvent être envisagées.

1. Construire un protocole spécifique à l'estuaire de la Seine
2. Pérenniser les démarches existantes
3. Construire autour des démarches existantes et compléter certains aspects

Le protocole mis en œuvre dans le cadre du suivi DCE a vocation à devenir un standard dans les estuaires. Il est important de garder une méthode de référence afin de permettre un suivi sur le long terme et des comparaisons inter-estuaires. Il apparaît donc pertinent d'utiliser **le protocole DCE comme base pour construire une approche plus complète** tant sur le plan spatial (ex. meilleure prise en compte de la diversité des habitats) que temporel (fréquence plus soutenue) ou fonctionnel (meilleure appréhension de certains caractères fonctionnels de l'ichtyofaune).

Le présent document ne reprend pas entièrement les éléments de base contenus dans le protocole DCE et propose uniquement des éléments visant à mieux prendre en compte certains aspects et des approches complémentaires et/ou spécifiques à l'estuaire de la Seine. Pour mémoire, le protocole DCE a fait l'objet d'une démarche de normalisation AFNOR (Norme AFNOR/T95F - Procédure XP T 90-701).

2. Rappel des principaux éléments du protocole

PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Le protocole repose sur la réalisation de deux campagnes par masse d'eau de transition (MET) et par an, au printemps et en automne.

Durant chaque campagne, 6 à 8 traits de chalut par zone haline dans l'ensemble de la MET (cf. Figure 2) doivent être réalisés. Les traits de chaluts sont répartis de façon homogène sur la zone haline. L'ensemble des milieux chalutables présents dans l'estuaire est pêché (zone intertidale, chenal, vasière, banc de sable, lit du fleuve...). Le choix du positionnement exact sur ces différents milieux se fait aléatoirement en fonction des conditions de navigation et de chalutage.

La durée des traits est fixée à 15 minutes ; ils doivent être répartis entre le flot et le jusant.

L'engin utilisé est un chalut à perche (Figure 3). La taille de la perche est de 3 m (CP3m). Si les conditions de navigation ne permettent pas une bonne répartition spatiale des traits sur la zone avec une embarcation lourde et le CP3m, il est alors recommandé d'utiliser un plus petit chalut (CP1,5m) et une embarcation plus légère. Le maillage du CP3m est de 20 mm étirées au cul du chalut.

Dans le cadre du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS), les campagnes doivent avoir lieu 3 années de suite par plan de gestion de 6 ans.

L'ensemble des données collectées permet de calculer l'indicateur ELFI (Delpech et al., 2010) utilisé pour évaluer l'état écologique des MET françaises

FAUNE CIBLÉE

Le chalutage permet d'échantillonner essentiellement la faune benthique et démersale mais pas uniquement. En effet, les forts courants, la faible profondeur de la plupart des zones estuariennes et les phases de filage et de virage durant lesquelles le chalut traverse la colonne d'eau permettent de capturer aussi des poissons pélagiques en quantité non négligeable. L'expérience montre que si d'un point de vue quantitatif, l'image du peuplement pélagique fournie par le chalut à perche est complètement biaisée, d'un point de vue qualitatif (présence-absence et suivi des abondances relatives), il offre une vision satisfaisante. Les analyses long terme du protocole Transect mis en œuvre sur la Gironde depuis 1979 et des suivis au chalut à perche menés sur les nourriceries côtières par Ifremer montrent ainsi une proportion assez importante (>10%) de pélagiques.

Si le compartiment initialement ciblé est bien l'ichtyofaune, la faune chalutée comprend aussi une fraction importante d'invertébrés benthiques (crustacés et mollusques).

Enfin, les estuaires constituant essentiellement des zones de nourriceries pour les poissons et, du fait du maillage relativement fin associé au CP3m, le protocole échantillonne essentiellement des juvéniles de poissons.

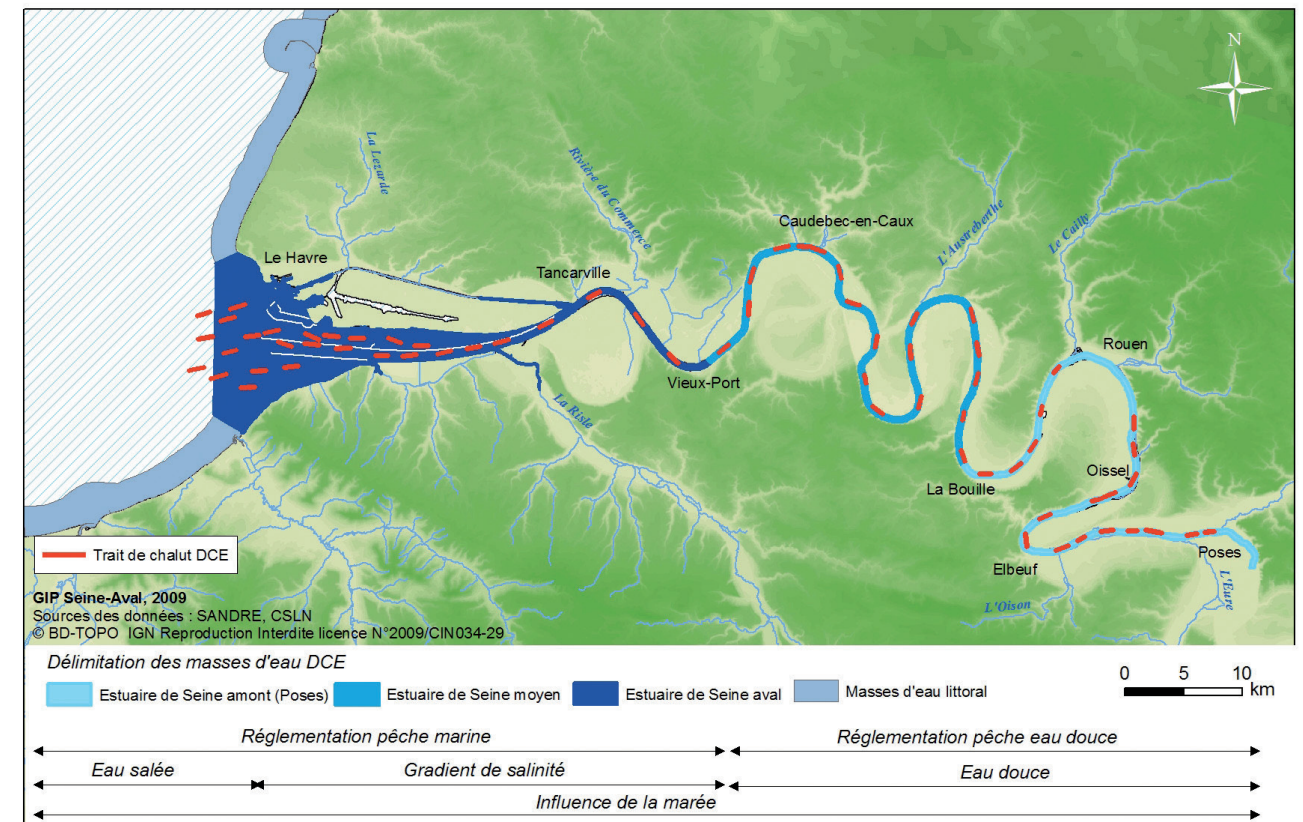




Figure 2 : Distribution des traits de chalut effectués dans l'estuaire de la Seine dans le cadre des campagnes DCE (source GIP Seine Aval)



Figure 3 : Illustrations du chalut à perche utilisé dans le cadre des campagnes de suivi DCE et de sa mise en œuvre (source : Irstea)

3. Eléments d'analyse critique

Tableau 1 : Intérêts et limites du protocole DCE pour le suivi de la diversité ichtyofaunistique en estuaire

	INTÉRÊTS 	LIMITES 
VARIABILITÉ	<ul style="list-style-type: none">• Protocole standardisé (normalisé)• Pérénnité du suivi• Comparabilité sur le long terme (Seine et autres estuaires)	<ul style="list-style-type: none">• Un peu rigide, contraint• Fréquence assez basse
HABITATS	<ul style="list-style-type: none">• Estuaire : Poses → Baie de Seine	<ul style="list-style-type: none">• Mauvaises prise en compte des habitats latéraux et substrats durs
BIODIVERSITÉ	<ul style="list-style-type: none">• Poissons, crustacés, mollusques• Juvéniles + adultes	<ul style="list-style-type: none">• Vision partielle du peuplement (ex. pélagiques, amphihalins)• Essentiellement juvéniles grandes espèces
INDICES	<ul style="list-style-type: none">• Quantitatif (nombre, taille...)• Quelques aspects fonctionnels (nourricerie poissons marins, qualité trophique habitat benthique, productivité secondaire...)	<ul style="list-style-type: none">• Appréhension limitée traits fonctionnels

Le Tableau 1 synthétise les principaux intérêts du protocole mis en place pour le suivi du compartiment "Poissons" dans le cadre du RCS de la DCE. Il met en regard les principales limites classiquement admises du protocole.

4 aspects sont distingués : la variabilité associée à la mise en œuvre du protocole, sa prise en compte de l'estuaire et des habitats estuariens, son appréhension de la biodiversité et le type d'indices auquel il donne accès.

Il apparait que ce protocole respecte les contraintes soulignées plus haut à savoir :

- il offre une garantie de pérennité du suivi ;
- il permet d'appréhender une fraction représentative de l'ichtyofaune ;
- et ce, avec une fréquence compatible avec un suivi sur le long terme.

Cependant, mis au point pour permettre une appréhension cohérente des différents estuaires français, il reste assez général et peu adapté au cas spécifique de la Seine et des démarches entreprises en Seine qui se caractérisent notamment par (1) une plus grande prise en compte de l'hétérogénéité des habitats (habitats latéraux et substrats durs) et (2) une attention particulière à la fraction pélagique du peuplement.

Par ailleurs, pour certains observateurs, la fréquence d'échantillonnage semble finalement assez basse pour permettre d'appréhender les évolutions à moyen terme.

Dans ce contexte, il semble pertinent d'envisager un certain nombre de méthodes complémentaires.

IV. MÉTHODE(S) COMPLÉMENTAIRE(S)

Cette section vise à lister un certain nombre de propositions de nature à compléter la vision de la diversité ichtyofaunistique offerte par le protocole DCE. Elle vise aussi à soulever un certain nombre de questions qui devront être tranchées en fonction des objectifs que l'on souhaite assigner au suivi.

1. Pour prendre en compte l'habitat

STRATIFIER L'ÉCHANTILLONNAGE PAR "HABITATS"

Une stratification pertinente pourra être construite sur la base de l'outil SIG 'Habitats Fonctionnels' mis en place par le GIP Seine-Aval.

Afin de compléter le protocole DCE, il s'avère nécessaire de construire un protocole stratifié sur le plan spatial. Le protocole DCE prenant en compte le gradient de salinité, il est nécessaire de considérer les autres facteurs structurants abiotiques (bathymétrie/topographie, sédiment, zones enrochées, habitats végétaux...).

Un défi majeur sera de mieux considérer les habitats latéraux (hauts de vasières, étiers et zones humides annexes) qui devront être explorés au moyen d'engins complémentaires. En effet, l'échantillonnage au chalut concerne essentiellement le milieu subtidal de substrat meuble qui ne représente en surface que 47% des habitats de l'estuaire (Figure 4).

Par ailleurs, il est particulièrement important de bien prendre en compte l'estuaire (au sens écologique et non géographique) dans son ensemble (facilement délimité en amont par le barrage de Poses) et de ne pas se limiter à un secteur géographiquement délimité. L'expérience girondine montre qu'un suivi géographiquement délimité offre une vision partielle de l'évolution du système, en particulier dans le cas où les conditions hydrologiques évoluent. Pour la partie aval de l'estuaire de la Seine, la question de la limite peut être posée. Historiquement, la baie de Seine est suivie depuis longtemps. La zone estuarienne, en Seine, sur le plan écologique et hydrologique, déborde largement dans la baie de Seine et est probablement très imparfaitement contenue dans les limites de la masse d'eau de transition définies dans le cadre de la DCE. Il semble donc que la zone pertinente pour le suivi s'étende de Poses à la Baie de Seine. La limite aval reste à préciser. Il s'agira d'articuler la démarche avec les autres suivis mis en place par les différents acteurs et notamment Ifremer sur la Baie de Seine.

PRENDRE EN COMPTE L'HABITAT LATÉRAL

Tenir compte de la diversité des habitats et notamment des habitats "latéraux" implique de mettre en œuvre des protocoles d'échantillonnages complémentaires avec des engins adaptés. Les estrans meubles peuvent être échantillonnés avec succès au moyen d'un chalut à perche comparable à celui utilisé dans le cadre du protocole DCE mis en œuvre depuis une embarcation à faible tirant d'eau (ex. barge) et/ou équipé d'un bras articulé permettant une mise en œuvre latérale de l'engin. Ce type de mise en œuvre est assez régulièrement pratiquée lors des échantillonnages poissons (et benthos) en Loire (cf. dernières mises en œuvre des protocoles DCE et suivis poissons).

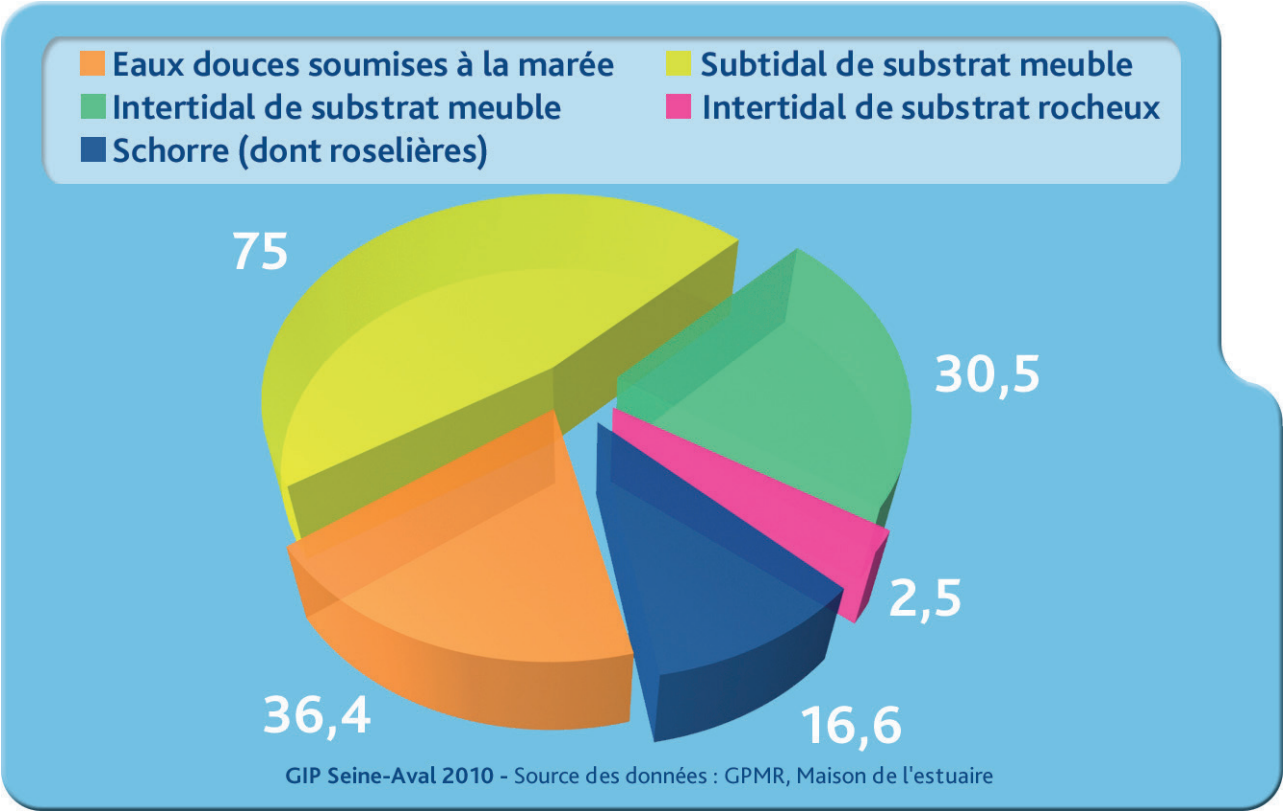


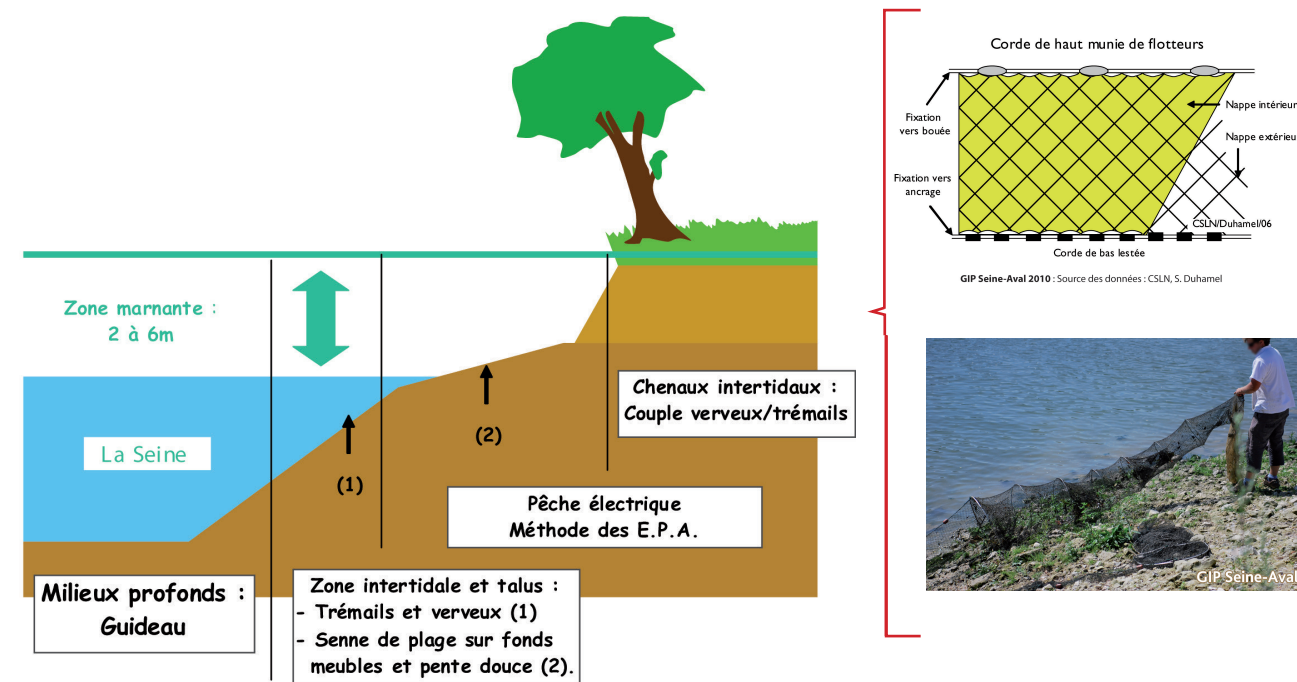
Figure 4 : Surfaces en km² des principaux habitats présents en 2004 dans l'estuaire de la Seine (d'après Morin et al., 2010)

Pour les filandres, les zones humides annexes et les secteurs non chalutables (roches, végétaux, habitats particuliers), le chalut à perche devra être suppléé par d'autres engins plus adaptés aux habitats en question. **Les engins de type verveux sont notamment bien adaptés à l'échantillonnage des habitats latéraux en zones limniques et saumâtre.** Un protocole particulier, couplant l'utilisation d'un verveux ou d'une seine fines mailles et d'un tramail, a été développé en Baie du Mont Saint Michel (Lafaille, 2000) pour capturer les poissons circulant dans les chenaux de l'estran. Ce protocole a été appliqué en Loire et dans la Seine (travaux CSLN) pour montrer les fonctionnalités écologiques des estrans vis-à-vis des poissons.

En particulier, dans le fascicule Seine Aval 2.5 (Morin *et al.*, 2010), les auteurs proposent un protocole multi-engins pour échantillonner les habitats de la partie limnique de l'estuaire et, en particulier les habitats latéraux (Figure 5). Ce protocole peut être envisagé dans la partie saumâtre de l'estuaire. Parmi les engins mis en œuvre, nous insistons sur l'emploi du verveux petite mailles (5 mm), assez classiquement utilisé dans les zones estuariennes, et éventuellement du filet trémail.

Le choix des sites ne pourra pas être basé sur un critère d'exhaustivité. Il conviendra donc de sélectionner quelques sites témoins. Idéalement, ces sites devront être sélectionnés afin d'être représentatifs du gradient de salinité et des types d'habitats latéraux.

Les filandres et les hauts de vasières, notamment, pourront être échantillonnés au verveux 5mm.



GIP Seine-Aval 2010 : Source des données : S.Duhamel

Figure 5 : Méthodes d'échantillonnage appliquées dans la partie limnique de l'estuaire de la Seine entre 2002 et 2005 dans le cadre du programme Seine-Aval sur ces aspects (d'après Morin *et al.*, 2010)

PRENDRE EN COMPTE L'HABITAT PÉLAGIQUE

Bien évidemment, un protocole axé sur des pêches au chalut à perche et au verveux est plutôt destiné à caractériser la faune benthique et démersale. Pour autant, l'expérience montre que si d'un point de vue quantitatif, l'image du peuplement pélagique fournie par le chalut à perche est complètement biaisée, d'un point de vue qualitatif (présence-absence et suivi des abondances relatives), il offre une vision satisfaisante et cela est encore plus vrai si on ajoute le verveux. Les analyses long terme du protocole Transect mis en œuvre sur la Gironde depuis 1979 et des suivis au chalut à perche menés sur les nurseries côtières par Ifremer montrent ainsi une proportion assez importante (>10%) de pélagiques.

On peut cependant envisager de compléter l'échantillonnage avec la mise en œuvre d'engins tels les tamis à civelles destinés à échantillonner en sub-surface sur quelques mètres de profondeur. Ce type d'engin est par exemple classiquement mis en œuvre dans la Gironde et dans la partie haute de l'Escaut. Plus classiquement, le guideau, sorte de chalut pélagique utilisé en station fixe à contre-courant a été mis en œuvre avec succès dans l'estuaire de la Seine (Figure 6).

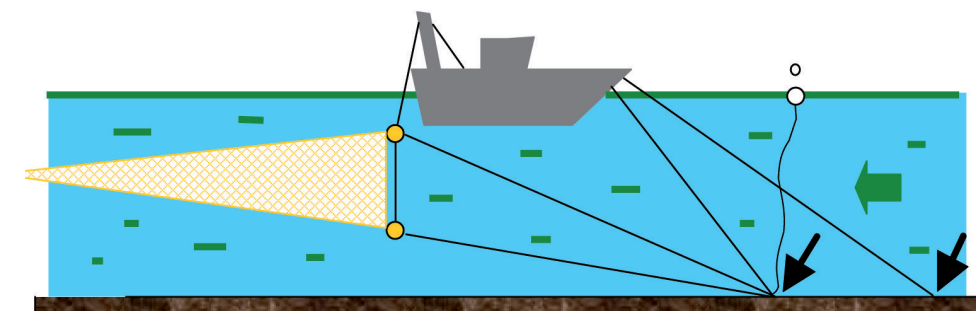
ASSURER LA COHÉRENCE DES ENGINS MIS EN ŒUVRE

L'image globale du peuplement obtenue en suivant une stratégie donnée ne pourra être comparée qu'à une autre image obtenue avec la même combinaison d'engins.

La mise en œuvre de différents protocoles et plus particulièrement de différents engins pose le problème de la comparabilité des captures et donc de l'intercalibration des engins. Les expériences menées à l'échelle européenne dans le cadre de la DCE ne permettent pas de conclure pour le moment. Le chantier est ouvert. Il devra être tenu compte dans l'analyse et l'interprétation des données des différences de sélectivité des engins, en particulier quand il s'agira de comparer la faune des zones latérales (filandres et marais) et la faune de la partie axiale. On pourra par exemple veiller à adapter le maillage à la fraction de l'assemblage que l'on souhaite échantillonner dans ces milieux sachant que les verveux sont aussi très performants pour capturer les individus de grande taille.

Différents engins sont ainsi régulièrement mis en œuvre dans d'autres contextes estuariens dans le cadre de différents suivis. On peut par exemple citer un travail important sur des estuaires australiens (Rotherham *et al.*, 2008) qui préconise la mise en œuvre de deux types d'engins : chalut à perche et filets sans pour autant préciser la complémentarité entre les deux engins.

Dans tous les cas, il est important de bien considérer que la mise en place d'une stratégie multi-engins doit s'envisager dans sa globalité. En effet, les captures obtenues avec un chalut à perche ne peuvent que marginalement être comparées avec celles d'un verveux, d'un guideau ou d'un filet, l'image globale du peuplement obtenue en suivant une telle stratégie ne pourra être comparée qu'à une autre image obtenue avec la même combinaison d'engins.



GIP Seine-Aval 2010 - Source des données : S. Duhamel



Figure 6. Méthode d'échantillonnage au guideau appliquée dans l'estuaire de la Seine (d'après Morin *et al.*, 2010)

2. Mieux appréhender la variabilité temporelle

La variabilité temporelle de l'ichtyofaune s'articule à différentes échelles de temps dont il faut tenir compte.

LA MARÉE ET LA SALINITÉ

Dans la partie de l'estuaire soumise à marée et plus particulièrement dans la partie de l'estuaire soumise à marée de salinité, le moment de la marée auquel s'effectue l'échantillonnage, dans le cas de l'utilisation d'un engin actif type chalut ou plus encore dans le cas d'un engin utilisé en station fixe (ex. guideau), peut être déterminant sur la structure des captures. En effet, un même point géographique peut endurer une grande amplitude de valeurs de salinité. Il peut ainsi être intéressant, en fonction des objectifs que l'on peut assigner au suivi, de **réfléchir à standardiser le moment de l'échantillonnage par rapport à la marée**. En particulier, pour des approches en lien avec des démarches de cartographie et de modélisation d'habitats, il peut s'avérer intéressant de disposer de captures réalisées à des moments "comparables" de la marée, **par exemple à Pleine Mer + ou - 2h**, étant entendu que cela diminue la fenêtre temporelle disponible pour réaliser l'ensemble des échantillons. Dans tous les cas, il est souhaitable de fixer une fenêtre de coefficients de marées pertinents pour le déroulement de la campagne.

LA VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

L'expérience et les résultats de différentes études amènent à considérer classiquement de 2 à 3 saisons hydrologiques et donc autant de structures de peuplement caractéristiques.

- Une période de production minimale, classiquement l'hiver (débits élevés, températures froides) entre Novembre et Février. Le peuplement est dominé par les espèces "résidentes" (ex. gobies), les espèces marines "d'eau froide" (ex. merlan) et quelques amphihalins (ex. flets, anguilles dont civelles). L'assemblage est caractérisé par un petit nombre d'espèces et des biomasses faibles.
- Une période de transition, classiquement au printemps, période de recrutement pour de nombreuses espèces entre mars et juin. L'assemblage est caractérisé par une grande variabilité du nombre d'espèce et des tailles observées en fonction des périodes relatives d'échantillonnage et de recrutement.
- Une période de croissance ou de fin de croissance, classiquement en été/automne (débits plus faibles, températures plus élevées), entre juillet et octobre, caractérisée par des densités élevées de juvéniles d'espèces marines (bars, soles...) qui sont entrés en estuaire au printemps et terminent leur croissance de la première année. C'est typiquement la période de l'année durant laquelle la richesse spécifique est la plus élevée et les biomasses/abondances les plus fortes.

Le protocole proposé par l'Irstea dans le cadre de la DCE préconise **d'échantillonner au printemps et en automne**. Échantillonner l'hiver, bien qu'intéressant d'un point de vue fonctionnel et fonctionnement du réseau trophique (ex. compétition poissons/oiseaux pour la ressource benthique), paraît accessoire d'un point de vue du suivi de l'ichtyofaune.

Si une seule saison devait être retenue, il faudrait se **focaliser sur l'automne**, saison au cours de laquelle la plupart des campagnes Ifremer de suivi des nourriceries ont été effectuées. On peut imaginer, à **intervalles réguliers, mettre en place des campagnes haute-fréquence** (ex. tous les 2 mois) pour "recaler" périodiquement les échantillonnages plus légers dans leur contexte temporel. Idéalement, on pourrait partir sur une campagne de ce type pour "caler" les saisons qui seront préférentiellement suivies.

La période estivale, qui n'est pas prise en compte dans les contrôles de surveillance DCE, a tout de même un intérêt certain en tant que période d'échantillonnage car c'est pratiquement la seule période de l'année où peuvent se manifester des épisodes hypoxiques en estuaire y compris au niveau des zones latérales. Le réseau de mesure haute fréquence peut détecter, le cas échéant, la durée de chaque épisode hypoxique et la fréquence de ces événements au cours des mois d'été. Un suivi du peuplement de poisson à cette période pourrait permettre d'évaluer l'impact de ces événements sur le fonctionnement de l'écosystème.

Par ailleurs, les travaux de Rotherham *et al.* (2008) tendent à montrer que la variabilité entre répliquats d'un même site (i.e. la variabilité spatiale à petite échelle) est supérieure à la variabilité temporelle. Ce qui suggère que tant que les échantillons sont récoltés la même saison, les différences observées peuvent être raisonnablement imputées à de la variabilité spatiale et non à de la variabilité temporelle. L'échantillonnage doit donc être réalisé autant que possible dans un laps de temps allant de quelques jours à la semaine sans que cela soit une contrainte absolue. Il s'agit cependant de considérer des conditions de marée comparables.

On peut imaginer, à intervalles réguliers, mettre en place des campagnes haute-fréquence (ex. tous les 2 mois) pour "recaler" périodiquement les échantillonnages saisonniers dans leur contexte temporel.

LA VARIABILITÉ INTER-ANNUELLE

La fréquence du protocole DCE (3 années de suite par périodes de 6 ans) résulte d'un compromis coût-efficacité et apparaît trop lâche pour de nombreux observateurs. L'analyse des tendances des séries temporelles, notamment dans des milieux aussi variables que les estuaires, nécessite un recul important. Sur la Gironde, les premières interprétations robustes des tendances sont apparues au bout de 10 ans de données avec un protocole stabilisé. Les premiers éléments significatifs sur le changement climatique ont nécessité 20 ans de données. La prise en compte de la variabilité inter-annuelle nécessite donc de nombreuses données. Aussi, idéalement, on pourrait envisager de compléter les 3 années sans données entre les campagnes DCE ou de chercher un compromis coût-efficacité qui pourrait correspondre empiriquement à une formule du type **4 à 5 ans de campagnes tous les 6 ans**.

L'enjeu majeur reste la stabilité. Une stratégie de suivi à long terme ne peut supporter de modifications que s'il s'agit d'ajouts. On peut donc imaginer stabiliser un socle commun qui reposerait sur la mise en œuvre standardisée et régulière d'au moins un engin, qui devrait être, de façon cohérente, le chalut à perche DCE.

L'enjeu majeur reste la stabilité. Une stratégie de suivi à long terme ne peut supporter de modifications que s'il s'agit d'ajouts.

3. Mieux traiter les captures

IDENTIFIER L'ENSEMBLE DES CAPTURES

Un des objectifs majeurs que doit poursuivre un suivi à long terme de l'ichtyofaune est le suivi de la diversité spécifique de l'assemblage. Aussi, il est fondamental d'être aussi exhaustif que possible dans le recensement des espèces capturées. Il est indispensable, autant que faire se peut, d'**identifier les individus jusqu'à l'espèce**. **L'ensemble des composantes de la faune capturée doit être pris en compte, traité et inventorié de manière équivalente**. L'expérience montre (Vilaine, Gironde, nourriceries côtières) que la prise en compte seule d'une fraction de l'assemblage (ex. espèces commerciales, poissons plats ou espèces benthiques et démersales...) rend l'exploitation des données difficile voire impossible à long terme. Le biais dans l'image de l'assemblage de poissons est dû au biais lié à la sélectivité des engins et à la stratégie d'échantillonnage (nombre de stations, saison, stratification par habitat ou non). Il est donc nécessaire de standardiser la méthode et de tirer le maximum d'information des échantillons réalisés.

Les problèmes d'identification fréquemment rencontrés concernant notamment les mugilidés et les gobiidés et essentiellement les juvéniles doivent être traités au cas par cas. Il est certain que les opérateurs procédant à l'identification des espèces doivent posséder une solide expérience dans ce domaine mais une identification minutieuse en laboratoire permet en général d'obtenir un résultat à l'espèce.

Par ailleurs, l'échantillonnage au chalut à perche, préconisé ici, permet d'accéder à une fraction de la faune souvent mal prise en compte par les autres suivis (suivi de la faune benthique notamment) : les macrocrustacés benthiques (crevettes, crabes...) ainsi que les gros mollusques (coquillages...) et céphalopodes (seiche, calmar, sépiole...). Des travaux intéressants à ce sujet sont réalisés par la Cellule de Suivi du Littoral Normand dans le cadre des études relatives à Port 2000. Il paraît pertinent de recenser cette fraction des captures dans le cadre du suivi de l'ichtyofaune.

Cela est cohérent d'un point de vue halieutique (certaines de ces espèces ont une valeur halieutique) et écologique (ces espèces contribuent largement à la dynamique fonctionnelle de la communauté). **Il est donc important de traiter les macro-crustacés, mollusques benthiques et céphalopodes**. Nous pourrions alors éventuellement parler de la **macrofaune aquatique vagile**.

TRAITER LES CAPTURES

Le suivi de la dynamique des cohortes, des biomasses, du poids moyen des individus et des tailles moyennes par espèce ou à l'échelle de la communauté sont souvent considérés comme des indicateurs de suivi de l'état des peuplements de poissons. Leur calcul nécessite d'acquérir certaines mensurations au moment des captures. En plus d'être **identifiés et comptés, tous les poissons capturés doivent être mesurés**. Eventuellement, les mensurations des crustacés pourraient être notées mais les mensurations des poissons doivent être privilégiées. En cas d'effectifs importants, **un sous-échantillonnage peut être effectué**. Le rapport des poids (sous-échantillon/capture totale) sert de coefficient de conversion. Le détail de la méthode de sous-échantillonnage et de mesure des individus devra être fourni au moment de la rédaction d'un cahier des charges plus précis. L'ensemble des individus d'une même espèce devra être pesé afin de disposer de **biomasses capturées par espèce pour chaque échantillon**.

ÉTABLIR DES POINTS DE RÉFÉRENCE

Certaines relations-clés sont essentielles pour l'analyse et le traitement des données de suivis ichtyofaunistiques. Ces relations sont parfois difficiles à établir de manière systématique mais il peut être pertinent de les « mettre à jour » à intervalles réguliers. La fréquence reste à déterminer (**ex. une fois tous les 4/5 ans**). Parmi ces relations, on peut citer :

- **La taille à maturité** pour les principales espèces¹ afin de pouvoir déterminer, sur la base des mensurations, le pourcentage de juvéniles dans l'assemblage ; cette information pourrait également renseigner sur une acquisition précoce ou au contraire tardive de la maturité sexuelle. Ces informations peuvent être ensuite interprétées en terme de fonctionnement d'une population (phénomène compensatoire) ;
- **La relation taille-poids (L-W)** pour les principales espèces. Cette relation sert à calculer des poids individuels et/ou à comparer les captures avec des données pour lesquelles on ne dispose que des tailles des poissons ;
- **Les clés tailles-âge** pour les principales espèces. L'établissement de ces clés consiste à identifier l'âge des individus au moyen de la lecture d'otolithes ou d'écaillés et de le relier à la taille de ces mêmes individus. Cette relation permet de suivre les cohortes dans le temps à partir du suivi des classes de taille.

QUELQUES ÉLÉMENTS POUR UNE APPROCHE PLUS FONCTIONNELLE

Les éléments décrits ci-avant sont des éléments d'un suivi ichtyofaunistique caractéristique. Nous avons souligné quelques aspects de standardisation. Nous évoquons ici quelques éléments de nature à proposer un angle plus fonctionnel au suivi. La prise en compte de ces éléments n'a pas forcément vocation à être récurrente bien qu'il faille garder à l'esprit qu'il faut avoir recueilli une certaine quantité de données avant de pouvoir caractériser des tendances. La pertinence de ces propositions devra être discutée au cas par cas d'autant qu'elles ne constituent pas le corps du suivi.

- **Des indices écophysologiques** : différents travaux (ex. travaux de Camille Gilliers et Jonathan Selleslagh) ont souligné l'intérêt de l'utilisation d'indices de condition (ex. indice de Fulton, facteur de condition, rapport ARN/ADN, acides gras) ou d'indices de croissance (ex. croissance récente des otolithes) pour caractériser la qualité écologique des zones de nourriceries. Les travaux de Camille Gilliers (Gilliers, 2004 ; Gilliers *et al.*, 2006a ; Gilliers *et al.*, 2006b) en particulier soulignaient de faibles performances biologiques pour les juvéniles de soles dans l'estuaire de la Seine. **Un suivi Long Terme à basse fréquence de ces indicateurs (indices de condition et indices de croissance récente) pour un nombre limité d'espèces (ex. la sole) pourrait permettre de caractériser l'évolution de la qualité écologique du milieu**.

¹ Les espèces principales devront être définies sur la base (1) des résultats des premiers échantillonnages en privilégiant les espèces dominantes et (2) sur la base des connaissances des experts en privilégiant les espèces d'intérêt halieutiques et/ou patrimoniales.

- **Des indicateurs de contamination** : divers marqueurs peuvent être mis en relation avec la contamination chimique (métallique et/ou organique) du milieu. En premier lieu, des dosages de contaminants peuvent être régulièrement effectués dans plusieurs organes de certaines espèces-cibles (ex. flet). Ces dosages permettent dans une certaine mesure de caractériser la qualité chimique du milieu mais il est parfois difficile d'en tirer des informations d'un point de vue biologique et écologique. Plus spécifiquement, plusieurs travaux s'intéressent aux liens entre certaines marques externes des poissons (ex. nécroses...) ou certaines déformations des crustacés (ex. déformations exo-squelettiques des crevettes blanches en Gironde et plus généralement en Europe – travaux Thèse Mélanie Béguer) et la contamination du milieu. Les travaux de Girard et Elie 2009 présentés à Seine-Aval sur le développement d'un Indice anatomo-morphologique et parasitaire pour l'évaluation de l'état de santé des poissons de Seine mériteraient d'être appliqués sur une base régulière. Un tel suivi à long terme pourrait se révéler d'une très grande valeur pour mieux comprendre des relations pressions-impacts. De plus, des formations adaptées à cette thématique ont été mise en place depuis 2010 et près de 70 personnes ont déjà été formées à la reconnaissance des anomalies. **Certaines anomalies anatomo-pathologiques et certaines marques peuvent être repérées assez simplement. Leur recensement peut illustrer l'impact de la contamination du milieu sur les organismes et plus largement sur l'ichtyofaune (et les macrocrustacés).**
- **Le niveau trophique** : la fonction de nourricerie et plus généralement la fonction d'alimentation étant des fonctions caractéristiques et essentielles des estuaires pour les poissons, il peut être pertinent de compléter, au moins ponctuellement, le suivi par des données sur le réseau trophique associé aux principales espèces. Il pourra être caractérisé via des données de régime alimentaire obtenues par la méthode des contenus stomacaux. L'information sur les régimes alimentaires des principales espèces ainsi que sur les taux de consommation permettrait d'appréhender, en complément des suivis effectués sur les autres composantes biotiques de l'écosystème, des notions de disponibilité des ressources trophiques, de capacité d'accueil et renforcerait la définition de l'habitat des espèces suivies.
- **La diversité génétique** : un élément fondamental d'une appréhension moderne de la biodiversité réside dans la mise en place d'une approche fonctionnelle mais aussi dans la prise en compte des capacités évolutives des communautés et donc de la variabilité et de la diversité génétique. Il pourrait alors s'agir, à intervalles réguliers, de bancariser des données génétiques et/ou de conserver des échantillons pour des analyses génétiques afin d'évaluer les évolutions sur certaines espèces ou groupes fonctionnels. Plus largement, cette approche pose la question d'une éventuelle conservation des échantillons. Cette action, bien que coûteuse, s'avère extrêmement utile lorsqu'il s'agit de revisiter, *a posteriori*, certaines évolutions.

- **La performance des nourriceries** s'évalue, localement, à partir de l'abondance des espèces fréquentant l'estuaire au stade juvénile pour s'y alimenter, de leurs performances de croissance approchées par l'examen des histogrammes de fréquence de taille (éventuellement prises à deux périodes de l'année), de la condition, etc. L'évaluation de la performance des nourriceries doit également s'évaluer par l'utilisation de traceurs chimiques fixés dans les otolithes. La signature chimique doit s'évaluer chaque année puis celle-ci peut être recherchée dans les centres des otolithes de poissons adultes. Cela nécessite, comme pour la génétique, une conservation des échantillons pour une analyse *a posteriori*.

4. Utilisation de données complémentaires

L'échantillonnage mis en œuvre, quel qu'il soit, ne donne évidemment qu'une vision partielle du peuplement. Afin de compléter l'échantillonnage et d'obtenir une vue d'ensemble du peuplement un peu plus complète, d'autres sources de données peuvent être recherchées.

En particulier, une étude pourrait être menée sur la possibilité d'utiliser des données de suivis halieutiques (CPUE ou débarquement) en baie de Seine. Elles auraient l'avantage (1) de replacer les données issues de l'échantillonnage dans un contexte géographique plus large et (2) d'accéder à des fractions de peuplement différentes (ex. poissons adultes ou espèces de grande taille). De telles données peuvent être difficilement accessibles à une échelle géographique précise.

Enfin, les migrateurs amphihalins (hors anguille) sont assez classiquement mal échantillonnés en zone estuarienne. De fait, il est nécessaire d'utiliser d'autres sources de données pour caractériser cette partie de l'assemblage de poissons. **Les suivis au barrage de Poses peuvent alors compléter avantageusement la vision du peuplement fournie par les données d'échantillonnage en estuaire.**

V. CONCLUSIONS

- Le présent document a essentiellement pour but d'évoquer des pistes de construction d'une stratégie de suivi qui serait avantageusement bâtie autour du protocole mis en place dans le cadre de la DCE. Les pistes proposées devront être discutées et leur opérationnalité devra être évaluée. Idéalement plusieurs auteurs dont Underwood et Chapman (2003) ou Rotherham et al. (2007) suggèrent de mettre en place des études pilotes et des analyses statistiques des résultats obtenus au préalable à la mise en œuvre des démarches d'observations. De tels travaux pourraient être engagés à partir de données existantes si elles sont suffisamment représentatives ou à partir d'une campagne expérimentale dont le protocole serait calé pour étudier statistiquement les effets du protocole.
- Bien évidemment, ce document n'est pas exhaustif et d'autres pistes peuvent et pourront compléter les propositions. Tout comme le protocole DCE, une stratégie de suivi est par ailleurs possiblement vouée à évoluer sur certains aspects. Cependant, il est essentiel de garder à l'esprit que la qualité première d'un suivi est de maintenir un protocole de base constant dans la durée.
- La stratégie que nous proposons dans le présent document s'articule autour de quelques points clé :
- Un socle minimum
 - Chalut à perche (chenal), maille 20 mm + verveux (zones intertidales, filandres, substrats rocheux), maille 5 mm
 - Stratification selon habitat (gradients longitudinal et latéral)
 - 2 saisons
 - Tous les ans ...ou presque
 - Traitement standard des captures + anomalies anatomo-pathologiques
 - Des compléments pertinents basse fréquence
 - Etablissement de points de référence
 - Mesures d'indices écophysiologiques
 - Evaluation des régimes alimentaires
 - Possibilités de mesures de la diversité génétique
 - Utilisation de la chimie des otolithes
 - Des options à débattre
 - Appréhension du compartiment pélagique (guideau ?)
 - Utilisation de petites mailles (en + CP 20 mm)
 - Calage sur des saisons hydrologiques

On est ici assez loin de l'objectif initial d'observation de la biodiversité et de son évolution. La biodiversité est beaucoup plus large (Argillier & Lepage 2010) mais, en focalisant sur les fonctions majeures associées aux estuaires et en tenant compte de certains traits d'histoire de vie et de certains indicateurs de qualité biologique et écologique, on se place clairement dans une logique fonctionnelle qui semble pertinente dans le cadre d'une stratégie d'observation en milieu estuarien.

VI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Able, K.W., 2005. A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64: 5-17.

Argillier, C. & Lepage, M., 2010. Que peut-on attendre de la directive cadre européenne sur l'eau en matière de connaissance sur la biodiversité ? *Revue SET* 3: 84-87.

Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F. & Weinstein, M.R., 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience* 51: 633-641.

Chambers, J.R., 1992. Coastal degradation and fish population losses. In: Stroud, R.H. (Ed.), *Stemming the Tide of Coastal Fish Habitat Loss, Proceedings of a Symposium on Conservation of Coastal Fish Habitat*. National Coalition for Marine Conservation, Savannah, Georgia, Baltimore, Maryland, pp. 14.

Delpech, C., Courrat, A., Pasquaud, S., Lobry, J., Le Pape, O., Nicolas, D., Boët, P., Girardin, M. & Lepage, M., 2010. Development of a fish-based index to assess the ecological quality of transitional waters: The case of French estuaries. *Marine Pollution Bulletin* 60: 908-918.

Elliott, M. & Hemingway, K. (Eds), 2002. *Fishes in Estuaries*. Blackwells, London.

Fodrie, F.J. & Mendoza, G., 2006. Availability, usage and expected contribution of potential nursery habitats for the California halibut. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68: 149-164.

Gilliers, C., 2004. Recherche d'indicateurs se la qualité des écosystèmes : Application aux nourriceries côtières et estuariennes des poissons plats. Thèse de doctorat, Université du Littoral-Côte d'Opale, 198 pp.

Gilliers, C., Le Pape, O., Desaunay, Y., Bergeron, J.P., Schreiber, N., Guerault, D. & Amara, R., 2006a. Growth and condition of juvenile sole (*Solea solea* L.) as indicators of habitat quality in coastal and estuarine nurseries in the Bay of Biscay with a focus on sites exposed to the Erika oil spill. *Scientia marina* 70: 183-192.

Gilliers, C., Le Pape, O., Desaunay, Y., Morin, J., Guerault, D. & Amara, R., 2006b. Are growth and density quantitative indicators of essential fish habitat quality? An application to the common sole *Solea solea* nursery grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69: 96-106.

Goinard, N., 1993. Importance économique des espèces à écophase estuarienne dans les pêcheries du golfe de Gascogne. Rapport Université de Nantes/Ifremer.

Laffaille, P., 2000. Relations entre l'ichtyofaune et les marais salés macrotidaux : l'exemple de la baie du Mont Saint-Michel., Université de Rennes 1, 202 pp.

Langton, R.W., Steneck, R.S., Gotceitas, V., Juanes, F. & Lawton, P., 1996. The interface between fisheries research and habitat management. *North American Journal of Fisheries Management* 16: 1-7.

Lobry, J., 2004. « Quel référentiel de fonctionnement pour les écosystèmes estuariens ? » - Le cas des cortèges de poissons fréquentant l'estuaire de la Gironde. doctorat, Université de Bordeaux I, Bordeaux, 195 pp.

Lobry, J., Lepage, M. & Rochard, E., 2006. From seasonal patterns to a reference situation in an estuarine environment: Example of the small fish and shrimp fauna of the Gironde estuary (SW France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70: 239-250.

Morin, J., Duhamel, S. & De Roton, G., 2010. Poissons, habitats et ressources halieutiques : cas de l'estuaire de la Seine, *Fascicules Seine-Aval* 2.5, 75 pp.

Osenberg, C.W. & Schmitt, R.J., 1996. Detecting ecological impacts caused by human activities. In: Schmitt, R.J. & Osenberg, C.W. (Eds), *Detecting ecological impacts: Concepts and applications in coastal habitats*. Academic Press, San Diego, pp. 3-16.

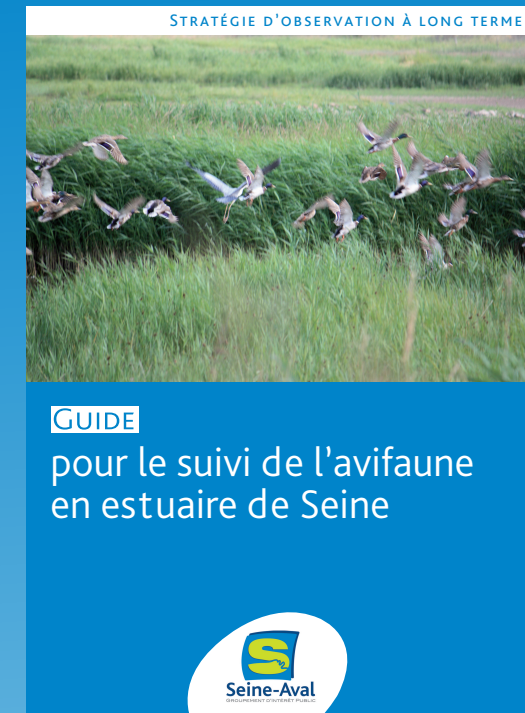
Pihl, L., Cattrijsse, A., Codling, I., Mathieson, S., Mclusk, D.S. & Roberts, C., 2002. Habitat use by fish in estuaries and other brackish areas. In: Elliott, M. & Hemingway, K.L. (Eds), *Fishes in estuaries*. Blackwell, London, pp. 10-53.

Rotherham, D., Gray, C.A., Underwood, A.J., Chapman, M.G. & Johnson, D.D., 2008. Developing fishery-independent surveys for the adaptive management of NSWs estuarine fisheries, NSW Department of Primary Industries - Fisheries Final Report Series, 106, 135 pp.

Rotherham, D., Underwood, A.J., Chapman, M.G. & Gray, C.A., 2007. A strategy for developing scientific sampling tools for fishery-independent surveys of estuarine fish in New South Wales, Australia. *ICES Journal of Marine Science* 64: 1512-1516.

Underwood, A.J. & Chapman, M.G., 2003. Power, precaution, Type II error and sampling design in assessment of environmental impacts. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 296: 49-70.

Whitfield, A.K. & Elliott, A., 2002. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future. *Journal of Fish Biology* 61: 229-250.



Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Pôle régional des savoirs
115, boulevard de l'Europe
76100 Rouen

www.seine-aval.fr

Le GIP Seine-Aval est financé par :

