

INTRODUCTION

Contexte général

Le Comité de gestion des poissons migrateurs (COGEPOMI) du bassin de l'Adour a adopté, le 28 avril 1999, un programme pluriannuel d'intervention (1999-2002) sur les poissons migrateurs du bassin de l'Adour. Ce programme reposait sur une double préoccupation : d'une part, le constat scientifique d'un déficit chronique en géniteurs de saumon et, d'autre part, la part très forte de la civelle dans l'économie des pêches professionnelles du bassin. Il a été décliné en trois axes :

- une opération expérimentale de reconstitution du stock de saumon ;
- l'acquisition de connaissances sur le comportement du saumon dans l'estuaire de l'Adour (en particulier, vulnérabilité du saumon à la pêche au filet, efficacité des relèves décalées, etc.) ;
- l'acquisition de connaissances sur la civelle appliquées à la gestion (et notamment l'estimation des flux de civelle entrant dans le bassin).

La maîtrise d'ouvrage de ce programme a été confiée, suite à une demande explicite de l'État, à l'Institution Adour, établissement public territorial du bassin.

Préoccupations particulières à la civelle

La civelle présente un poids prépondérant dans l'économie de la pêche professionnelle dans le bassin de l'Adour, et cette prédominance n'est pas sans poser des problèmes, parmi lesquels :

- la difficulté d'une gestion locale alors que le stock est européen (contrairement au saumon, par exemple, l'anguille n'est pas inféodée au bassin fluvial d'où proviennent ses géniteurs) ;
- la fragilité de l'espèce au niveau européen, reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique, et qui pourrait déboucher sur des restrictions de l'exploitation par pêche ;
- la complexité du partage de la ressource et des espaces exploités entre différentes catégories d'usagers.

Le programme proposé visait à répondre aux questions des gestionnaires, et particulièrement à celle sur l'impact de la pêche sur le devenir de ces ressources. Le problème majeur, en ce qui concerne le volet scientifique, est l'impossibilité d'établir une relation stock-recrutement ; il est donc nécessaire de développer d'autres approches (reposant sur des analyses des captures, sur des estimations directes, des modélisations, etc.).

Le défi relevé par les organismes de recherche était le suivant : « comment estimer au moindre coût un flux journalier de civelles transitant dans l'estuaire de l'Adour et en déduire le taux d'exploitation exercé par les marins pêcheurs utilisant le tamis poussé ? ». Le but affiché était la mise au point d'un protocole d'échantillonnage et d'une méthode de calcul utilisable non seulement pour l'Adour, mais pour les autres estuaires ouverts de la façade atlantique française dans la zone soumise à la propagation de la marée.

Pour atteindre cet objectif, diverses étapes ont été franchies :

- étudier le comportement de la civelle en fonction des conditions environnementales dans l'estuaire ; puis modéliser ces comportements afin de comprendre la pénétration des civelles dans l'estuaire en fonction du débit, du coefficient de la marée et leur présence près de la surface en fonction de la lumière pénétrant dans la colonne d'eau. La combinaison de ces comportements de migration longitudinale et verticale influant fortement sur la quantité de civelles accessible aux engins de pêche écrémant la surface de l'estuaire en zone maritime ;
- quantifier la quantité de civelles présente et surtout préciser la qualité de l'évaluation effectuée. La connaissance des captures effectuées dans la zone permettant d'estimer le taux d'exploitation effectué par la pêche aux tamis poussés ;
- rechercher des indicateurs de la qualité de la civelle, pour évaluer les individus ayant la meilleure aptitude à coloniser les zones continentales ;
- enfin, définir, élaborer et transmettre des outils utilisables par des structures techniques chargées de pérenniser ces suivis réclamés non seulement par les acteurs des COGEPOMI, mais aussi à une échelle plus large par l'Europe pour la mise en oeuvre de plans de restauration de cette espèce. Cette pérennité des suivis se fera dans le cadre du projet INDICANG¹ présenté à la Commission INTERREGIII « Espace Atlantique ».

Les programmes de recherche ont été menés dans une approche pluridisciplinaire, impliquant une large gamme d'équipes scientifiques ainsi que du personnel temporaire :

- IFREMER - Laboratoire halieutique d'Aquitaine (Bidart), et Direction de l'environnement littoral / Applications opérationnelles (Brest) ;
- INSA Toulouse - Laboratoire de statistiques et probabilités ;
- Institution Adour Mission « poissons migrateurs » ;
- Université de Grenoble - LabSAD ;
- Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) - Laboratoire de mathématiques appliquées (LMA), Laboratoire d'écologie moléculaire (LEM) ;
- Université de Perpignan - Laboratoire d'ichtyologie, École pratique des hautes études ;
- en collaboration avec l'Association pour le développement de l'enseignement et des recherches auprès des universités, des centres de recherche et des entreprises d'Aquitaine (ADERA), sous la responsabilité de divers laboratoires précités.

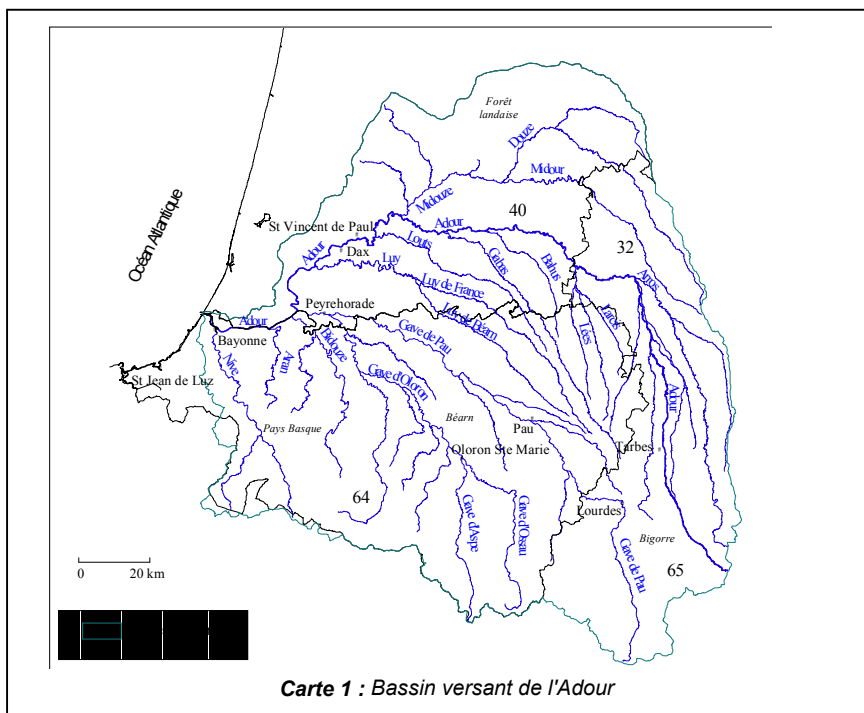
¹ INDICANG : mise en place d'un réseau d'indicateurs d'abondance et de colonisation sur l'anguille européenne dans le sud de la partie centrale de son aire de répartition.

PECHE DE LA CIVELLE DANS LE BASSIN DE L'ADOUR

La pêche de la civelle représente une activité sociale et économique de première importance et constitue, pour le golfe de Gascogne, une des toutes premières ressources ichthyologiques. Elle représente 34 millions d'euros à la première mise en marché pour la façade atlantique française.

En France, 1200 à 1500 entreprises de pêche fluviale, estuarienne et littorale dépendent de l'exploitation de l'anguille (et surtout de la civelle) pour assurer l'équilibre financier de leurs activités.

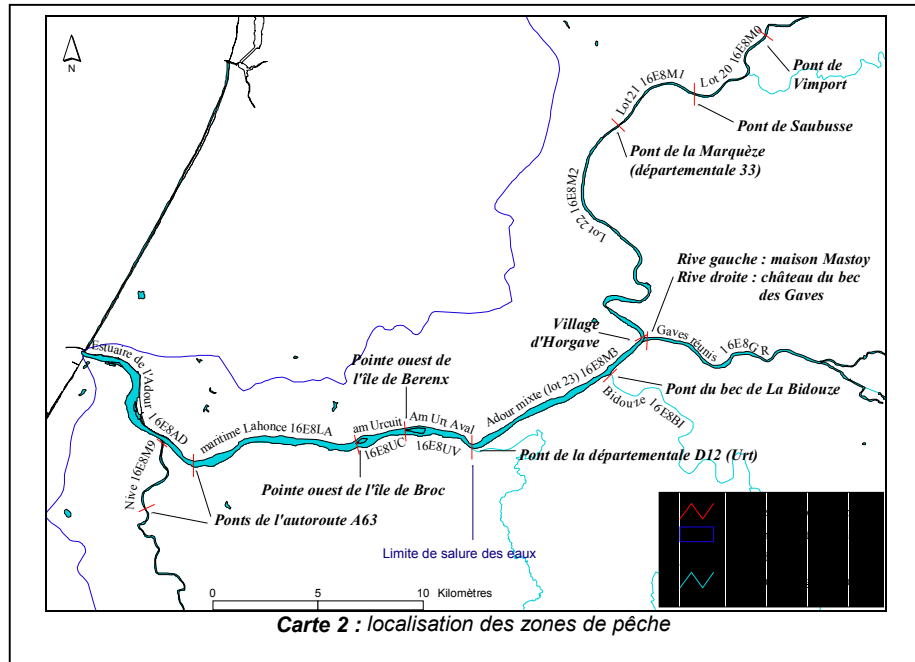
Dans le bassin de l'Adour (carte 1), la civelle fait l'objet d'une pêche amateur et professionnelle. Les pêcheurs professionnels (environ 70 marins de l'estuaire et 130 fluviaux) sont très dépendants de cette activité qui représente environ 70% du chiffre d'affaires total de la pêcherie de poissons migrateurs. Et 60 à 70% des entreprises de pêche n'exploitent que cette espèce.



Carte 1 : Bassin versant de l'Adour

Pratique de la pêche professionnelle à la civelle

L'accès au droit de pêche fait l'objet d'un contingentement par des systèmes de licences (zone maritime des estuaires, eaux douces du domaine public) ou par une gestion locale (eaux douces privées, par exemple sur les courants côtiers landais). La zone de pêche exploitée par les marins pêcheurs se situe dans le bas Adour (carte 2).



Carte 2 : localisation des zones de pêche

Pour les besoins du suivi, l'aire exploitée par les marins pêcheur de l'estuaire est divisée en plusieurs parties :

- dans la partie maritime² correspond à un découpage déterminé par l'IFREMER et le CRTS3 (16E8AD pour l'estuaire) ;
- en eau douce, sur le domaine public fluvial, le découpage respecte les "lots", dont les limites sont fixées par le cahier des charges d'exploitation du droit de pêche de l'Etat.

La pêche s'exerce du 1^{er} novembre au 31 mars, à toute heure, et elle est limitée par des relèves décennales (zone maritime) ou hebdomadaires (eau douce).

Sur les courants landais et sur le littoral, la pêche de la civelle est surtout le fait de pêcheurs à pied.

Jusqu'en 1995, la pêche

professionnelle de la civelle dans l'estuaire de l'Adour se différencie des pratiques de pêche dans les autres estuaires français. Elle se pratiquait généralement en zone fluviale, à l'aide d'un tamis manœuvré à la main depuis la berge ou le bateau et en surface uniquement. Après 1995, apparaît dans l'estuaire maritime, comme sur d'autres estuaires antérieurement, une pratique de pêche utilisant 2 tamis de taille réglementaire (1,2 m de diamètre et 1,3 m de profondeur) dressés sur le plat-bord du bateau et poussés en surface par celui-ci.

² La partie maritime de l'estuaire est la portion comprise entre la limite transversale de la mer (en aval) et la limite de salure des eaux (en amont, à une vingtaine de kilomètres de l'embouchure de l'Adour).

³ Centre régional de traitement des statistiques des pêches maritimes.

Les données de pêche issues des déclarations obligatoires sur les fiches de pêche (zone maritime et mixte) sont répertoriées par le CRTS et l'IFREMER et sont intégrées dans une base de données amphihalins validée par l'IFREMER et l'ADERA-CERCA (Exemple 1).

Exemple 1 : Extrait de la table de données de pêche.

début	fin	lieu ancien	lieu CRTS	engin	nb eng	heures	sortie	espèce	nbcapt	pdscapt	capt/sortie
01/01/1985	31/01/1985	UAM	16E8M3	615	1		4	2299		10000	2500
01/01/1985		UAM	16E8M3	615	1		1	2299		0	0
02/01/1985		UAM	16E8M3	615	1		1	2299		0	0
02/01/1985		UAM	16E8M3	615	1		1	2299		0	0
02/01/1985		UAM	16E8M3	615	1		1	2299		0	0
02/01/1985		UAM	16E8M3	615	1		1	2299		1000	1000

Cette base de données permet d'accéder à des informations telles que les captures journalières, la répartition des captures en fonction du lieu de pêche ou la répartition des captures par types d'engins (tableau 1). Celle-ci est variable d'une année sur l'autre et fonction, principalement, des conditions hydroclimatiques (débit, turbidité, température de l'eau).

Tableau 1 : répartition des captures des marins pêcheurs de l'estuaire selon le type d'engin.

saison	tamis à main	tamis poussé	indéterminé
1999-2000	49%	51%	
2000-2001	21%	79%	
2001-2002	65%	25%	10%

Evolution historique des captures

Grâce à l'étude des carnets de pêche journaliers, deux grandes périodes peuvent être distinguées depuis le début du XXe siècle : la première est caractérisée par des prises moyennes par sortie comprises généralement entre 4 et 10 kg, avec pour certaines saisons (1930, 1967, 1969, 1973 ou 1975), des valeurs qui dépassent les 10 kg pour la campagne ; après le début des années quatre-vingts, les captures par sortie sont, inférieures ou voisines de 4 kg.

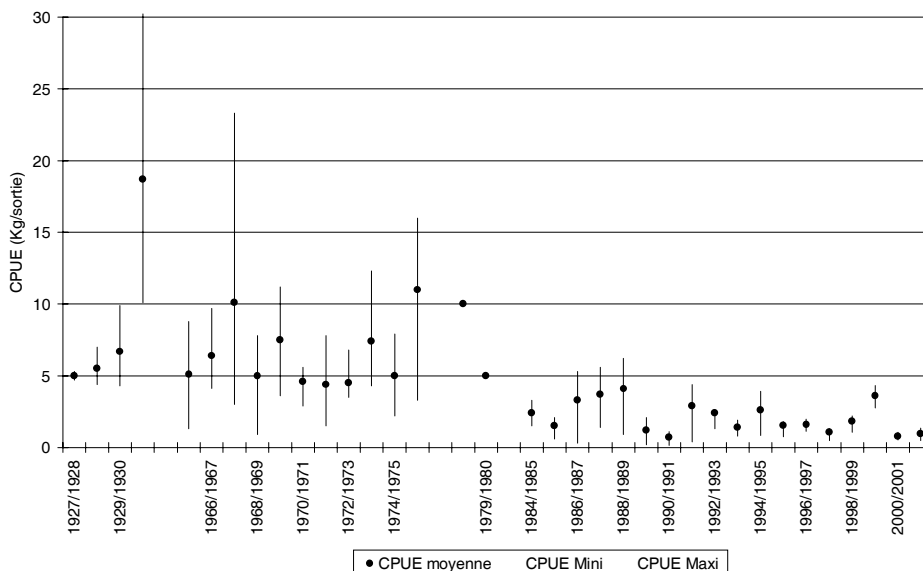


Figure 1 : Captures de civelle au tamis à main, par sortie de pêche, pour les différentes campagnes (valeurs moyennes, minimales et maximales).

MODELISATION HYDRODYNAMIQUE EN DEUX DIMENSIONS

La migration d'un flux de civelles ne peut se comprendre que par la schématisation de la dynamique de circulation des masses d'eau dans l'estuaire. C'est pourquoi, des efforts importants ont été consentis pour mettre au point un modèle bidimensionnel (couplage de deux modèles : 2D horizontal et 1D curviligne) dans l'estuaire de l'Adour. Ce modèle permet de générer les dissymétries du courant dans la section transversale ainsi que les variations de la hauteur d'eau. Il traite le problème des îles et des confluences. Sa finesse de résolution permet de l'utiliser pour mieux comprendre le comportement des poissons amphihalins (dont l'anguille). Elle permettra *a fortiori* d'utiliser les résultats de ce modèle pour estimer les vitesses de courant et ultérieurement les risques d'inondations du lit majeur de l'Adour.

Pour que le modèle fonctionne, il faut préciser les conditions initiales sur tout le domaine ainsi que les conditions aux limites qui sont fournies en amont par le débit du fleuve et en aval par la hauteur d'eau de la marée au Boucau.

Le modèle hydrodynamique utilise une interface nommée "Erreka" à partir de laquelle sont renseignés les paramètres de simulation comme les débits de l'Adour et des principaux affluents ; le coefficient de frottement ; la vitesse du vent ou la résistance de l'air.

Ce modèle intègre la bathymétrie du fleuve avec les coordonnées géographiques des rives et des îles en mode point. Tous les autres paramètres sont à renseigner en fonction de la simulation voulue (date, heure de début, pas de temps maximal, etc.).

Une fois ces conditions précisées, le modèle calcule, pour l'ensemble des triangles du maillage :

- la pression et la hauteur d'eau à chaque sommet ;
- la vitesse aux sommets et au barycentre de chaque triangle.

Une phase de calage et de calibration, qui consiste à ajuster les paramètres du modèle (coefficient de frottement) par rapport à la réalité physique du fleuve, a été réalisée à partir de campagnes de courantométrie sur l'Adour à différents endroits du fleuve. Cela permet d'obtenir une bonne estimation de l'évolution et de l'hétérogénéité transversale des vitesses de courant (Figures 2 et 3).

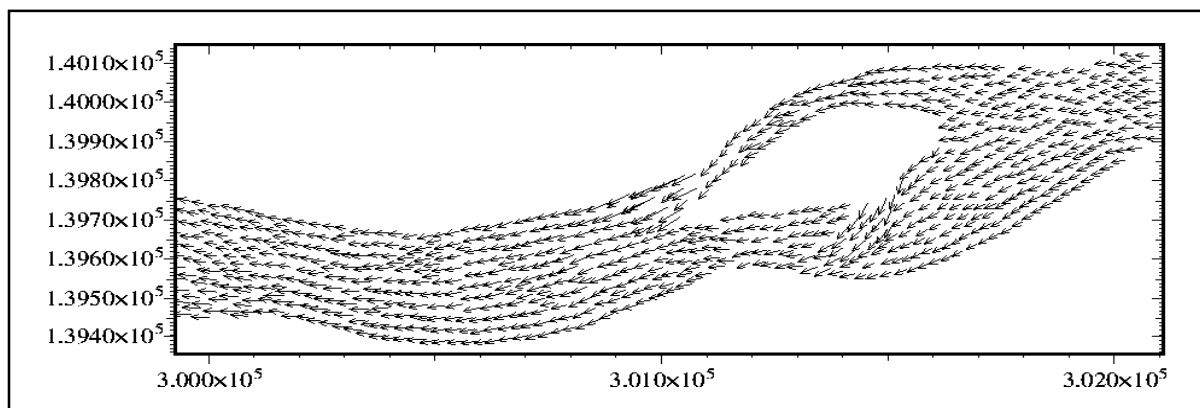


Figure 2 : Vitesses calculées au niveau de l'île de Broc à un instant donné

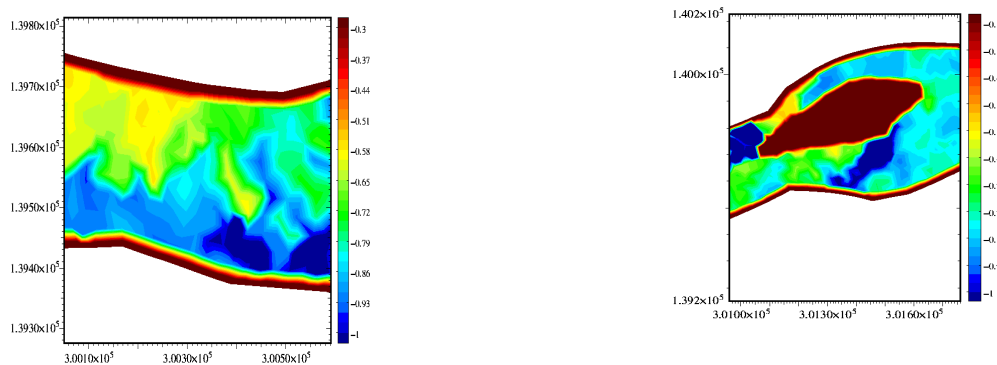
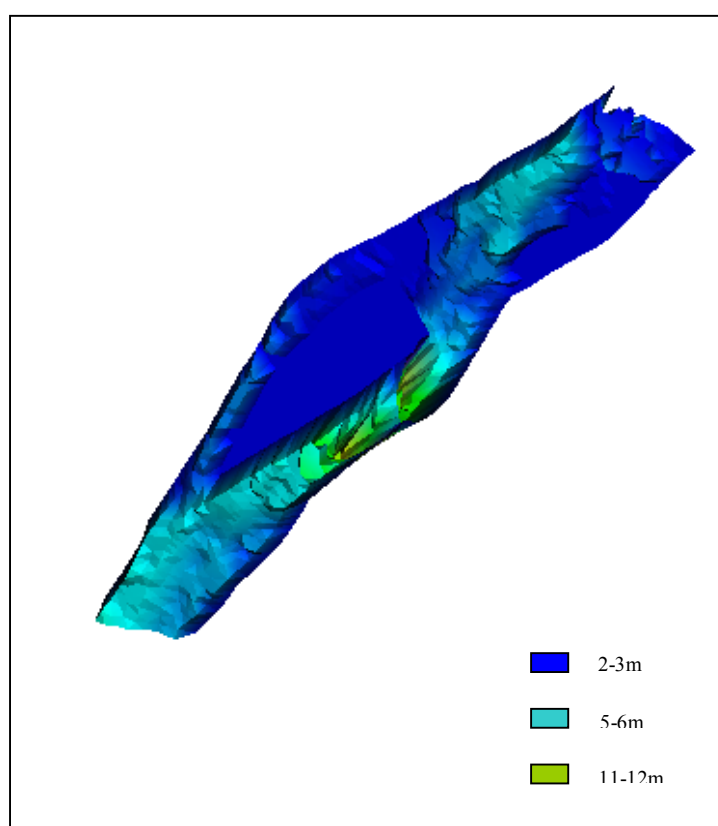


Figure 3 : Dissymétrie du courant au niveau de l'île de Broc.

Sur l'Adour, le modèle a été utilisé également pour établir le cahier des charges de la confection d'un barrage déflecteur pour le ramassage des déchets flottants (photo 1). Le bras gauche de l'île est caractérisé par des fonds assez importants compris entre 11-12 m. A la demande de l'Institution Adour, des simulations ont été effectuées pour trois conditions de coefficient de marée (39, 74 et 102) et de débit fluvial (180, 300 et 800 m³/s). Les vitesses moyennes calculées (sens amont-aval) dans la colonne d'eau variaient au maximum entre -1,1 et -1,4 m/s.



Photo 1 : Barrage flottant installé sur le bras gauche de l'île de Berenx sur l'Adour (cliché : Institution Adour)



Bathymétrie 3D au niveau de l'île de Berenx.

MODELE COMPORTEMENTAL

Concept

Les premières analyses effectuées par les biologistes et les mathématiciens montrent un effet très marqué des phases lunaires et de la turbidité sur le comportement des civelles dans la colonne d'eau. L'intensité du coefficient de marée n'a pas un effet simple sur la variabilité des captures de civelles. Les travaux réalisés ont montré qu'il s'agit d'un effet combiné du coefficient de marée et de l'intensité du débit fluvial. C'est pourquoi un modèle hydrodynamique calculant la vitesse moyenne d'avancée du front de marée dynamique (lieu d'inversion du sens du courant) est utilisé comme base pour simuler la dispersion des flux de civelles. Ces analyses indiquent que les blocages hydrologiques provoquent des fortes concentrations dans l'estuaire.

Si les fortes concentrations de civelles dans la colonne d'eau sont conditionnées par le blocage de la marée en aval suivi d'une nouvelle propagation de la marée dans l'estuaire, l'accessibilité des civelles aux engins de pêche est contrôlée en partie par la pénétration de la lumière dans l'eau : plus la colonne d'eau est éclairée par la clarté nocturne et plus la civelle migre en profondeur. Compte-tenu des travaux effectués, les biologistes ont proposé aux mathématiciens le schéma comportemental (figure 4).

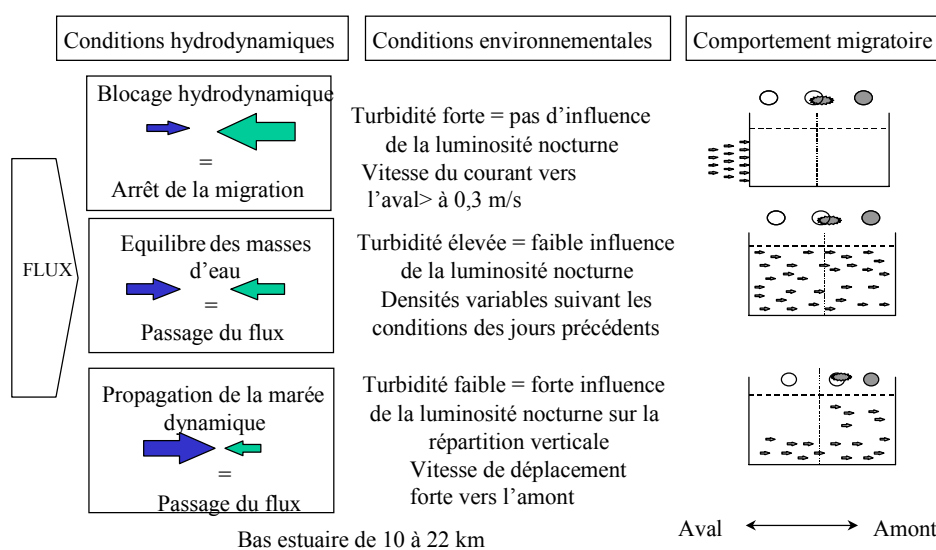


Figure 4 : Schéma explicatif du comportement migratoire de la civelle dans la partie maritime de l'estuaire de l'Adour .

Dans la composante horizontale : L'intensité du courant se traduit par des conditions plus ou moins favorables à la migration des civelles. Celles-ci ne migrent plus quand la vitesse maximale pendant le flot est supérieure à $-0,3$ m/s. Quand le débit fluvial diminue et les coefficients de marée augmentent, la marée se propage à nouveau dans l'estuaire et le flux de civelles pénètre dans la zone étudiée. C'est au cours de ces épisodes hydrologiques qui succèdent aux fortes crues que l'on observe les plus fortes densités de civelles. En l'absence de crues, celles-ci pénètrent en faible densité dans l'estuaire au rythme des marées et le traverse rapidement en 2 à 3 jours environ. Rien n'indique, pour le moment, qu'elles le font de manière active. Au contraire, les observations les plus récentes faites sur l'accumulation des civelles au voisinage du front de la marée dynamique laissent supposer qu'elles se déplacent plutôt passivement dans l'estuaire.

Dans la composante verticale : La localisation verticale des civelles résulte principalement de l'action des facteurs turbidité et phase lunaire. L'eau trouble favorise les déplacements sur toute la colonne d'eau, quelle que soit la phase du cycle lunaire. Les eaux claires favorisent plutôt les passages en profondeur surtout pendant la pleine lune. La nébulosité intervient comme un facteur modulateur de la luminosité nocturne qui peut atténuer la pénétration de la clarté lunaire durant les premiers et derniers quartiers. Les mouvements verticaux dans la colonne d'eau sont plutôt actifs et résultent d'un comportement lucifuge.

Simulation des déplacements de civelles à l'aide d'un modèle comportemental

En intégrant les différents facteurs qui jouent sur la migration longitudinale et verticale des civelles (cf. figure 4), ce modèle permet de voir comment les individus migrent dans le milieu en fonction des conditions environnementales dans l'estuaire.

Le modèle utilise les résultats de la simulation hydrodynamique unidimensionnelle pour le transport horizontal d'une particule soumise à des contraintes majeures : la particule assimilée à une civelle se plaque au fond dès que le courant est dirigé vers l'aval avec une vitesse supérieure à $0,3$ m.s⁻¹ ; elle migre près du fond ou évite de diffuser dans la couche d'eau superficielle dès que l'éclairement de la colonne d'eau dépasse un certain seuil qui dépend en conditions nocturnes de la turbidité et de la phase lunaire.

La possibilité d'une migration diurne est envisagée très près du fond si le flot se propage, mais le modèle permet de faire enfouir la civelle dans le sédiment durant le jour. Cela permet de tester cette hypothèse comportementale en confrontant les résultats obtenus avec ceux de l'observation des captures.

Au départ de la simulation, on « injecte » une densité de civelle de 50 g.100 m⁻³ à l'embouchure (ce qui semble cohérent avec les observations effectuées plus en amont lors des campagnes de prélèvement). Il est possible de « réinjecter » cette quantité toutes les 6 heures pour générer un déplacement de plusieurs groupes en attente du flot à l'embouchure.

A titre d'exemple, voici la simulation du déplacement d'un flux de civelles pour la période du 09/11/1999 au 12/11/1999. Ces dates correspondent à l'observation de deux pics de captures, l'un au tamis poussé en zone maritime le 09/11 et l'autre au tamis à main en zone fluviale le 12/11 (figure 5).

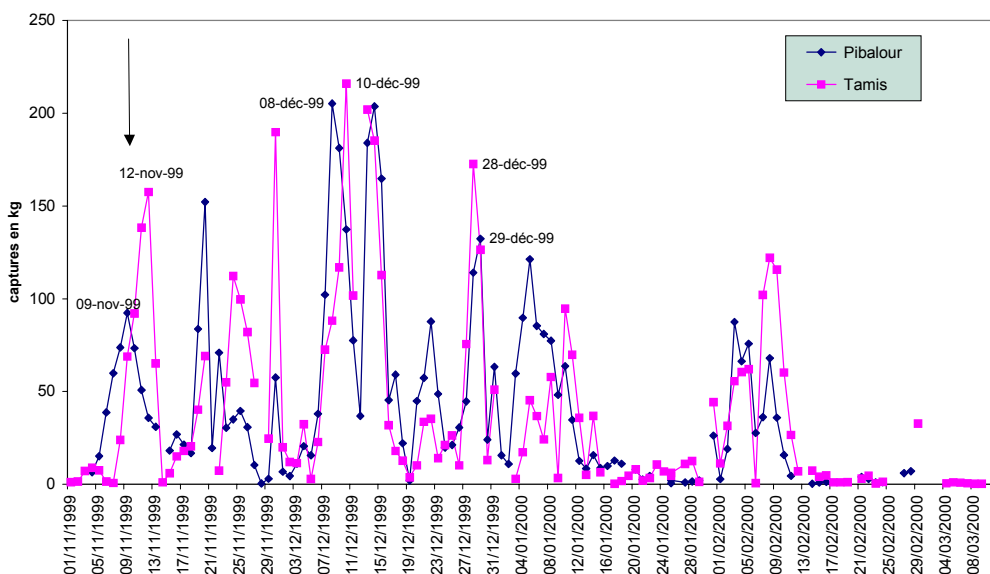


Figure 5 : Captures journalières au tamis poussé et au tamis à main pour la saison de pêche 99/2000.

En partant de l'hypothèse que le pic observé en zone fluviale appartient au même flux que celui capturé en zone maritime, le temps de remontée des civelles pour atteindre la zone fluviale (distance parcourue de 20 km environ) est de 2 ou 3 jours.

La simulation est menée pour les deux types de comportement possibles de la civelle :

- elle migre très près du fond le jour pendant le flot (figures 6 à 9) ;
- elle reste enfouie dans le sédiment (figures 10 à 13).

La simulation démarre le 08/11/1999 pour faire coïncider l'arrivée du flux en zone maritime avec le pic de captures observé aux tamis poussés le 09/11/1999.

Les conditions hydrologiques entre le 09/11 et le 12/11 sont reportées dans le tableau 2.

Tableau 2 : conditions hydrologiques entre le 09/11/1999 et le 12/11/1999.

date	Heure de flot	coefficient	Débit (m ³ /s)	Vitesse moyenne du courant estimée (m/s) par le modèle 1D
Du 08/11 au 09/11	BM : 22h43 – PM : 4h57	86	140	0,5
09/11	BM : 10h57 – PM : 17h15	85	140	
Du 09/11 au 10/11	BM : 23h14 – PM : 5h29	83	145	0,5
10/11	BM : 11h30 – PM : 17h46	80	145	
Du 10/11 au 11/11	BM : 23h44 – PM : 6h00	78	137	0,5
11/11	BM : 11h30 - PM : 18h17	74	137	
12/11	BM : 00h15 – PM : 6h33	70	129	0,4
	BM : 12h36 – PM : 18h50	66	129	

Simulation du déplacement d'un flux de civelles avec migration près du fond durant le jour

En partant de l'hypothèse que les civelles migrent près du fond le jour durant le flot (figures 6 à 9), le modèle estime, pour des conditions hydrodynamiques moyennes (vitesse moyenne de courant estimé à 0,5 m/s), que les civelles pourraient remonter l'estuaire sur une distance de 20 km environ en 2 ou 3 jours. Dans le modèle, le flux de civelles arrive en zone maritime le 09/11/1999 (entre 13 et 20 km). Ce même flux atteint la zone fluviale le 12/11/1999. Le modèle prévoit un temps de remontée identique à celui estimé par l'analyse du déplacement des pics de captures journaliers observés en zone maritime le 9 novembre et le 12 novembre en zone fluviale.

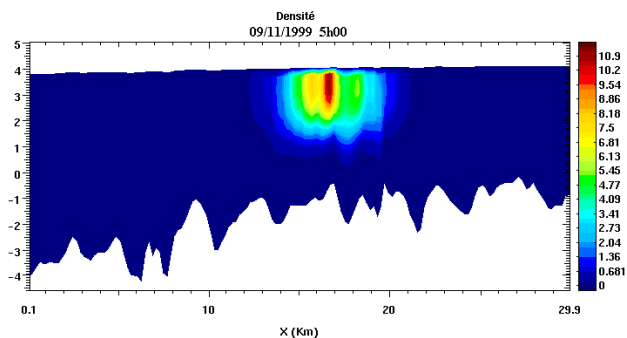


Figure 6 : Arrivée du flux de civelle le 09/11/1999 à 5h00 entre 13 et 20 km (zone maritime)

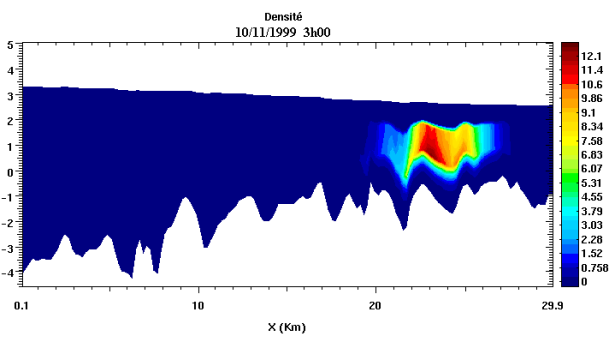


Figure 7 : Déplacement du flux le 10/11/1999 : localisation entre 20 et 25 km de la mer à 3h00.

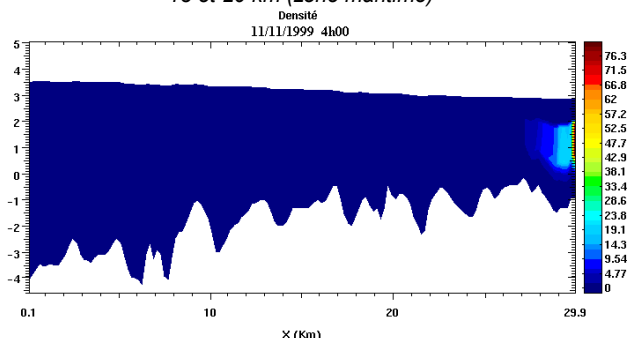


Figure 8 : Présence du flux le 11/11/1999 à 4h00 au - delà de Horgave (à 30 km de la mer)

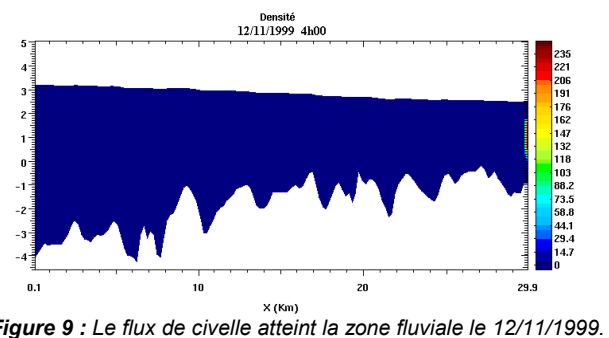


Figure 9 : Le flux de civelle atteint la zone fluviale le 12/11/1999.

Simulation du déplacement d'un flux de civelles avec enfouissement des civelles le jour

Si les civelles adoptent un comportement d'enfouissement le jour même durant le flot, la montée s'effectue à un rythme plus lent (figures 10 à 13). Le flux de civelles arrive en zone maritime le 09/11/1999 (entre 8 et 13 km). Ce même flux n'atteint pas encore le Bec des Gaves (Horgave) lors de la marée du 13/11/1999 à 2h00, ce qui laisse supposer qu'il serait en zone fluviale entre le 14/11/1999 et le 15/11/1999. Le temps de remontée par le modèle est estimé alors à 5 voire 6 jours si les civelles s'enfouissent dans le sédiment le jour. Ce qui ne correspond pas aux observations effectuées sur les captures aux tamis poussés.

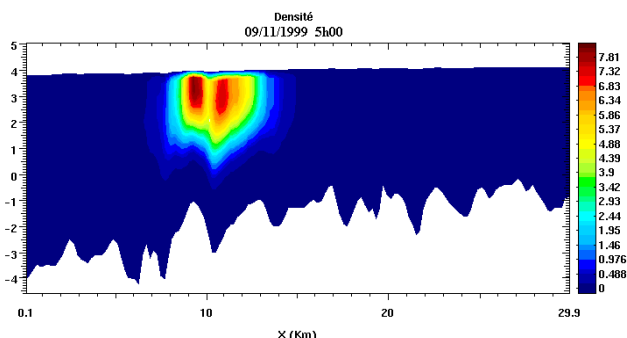


Figure 10 : Arrivée du flux de civelle le 09/11/1999 à 5h00 entre 8 et 13 km (zone maritime)

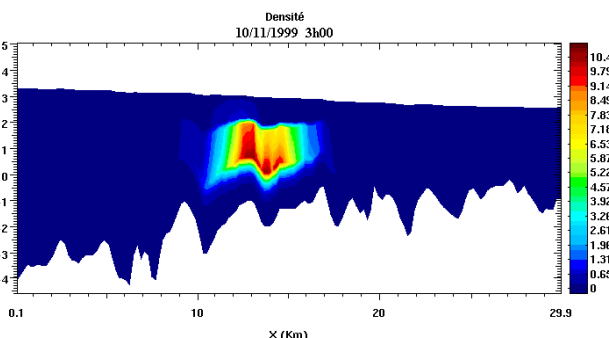


Figure 11 : Présence du flux de civelle le 10/11/1999 à 3h00 entre 10 et 15 km (zone maritime)

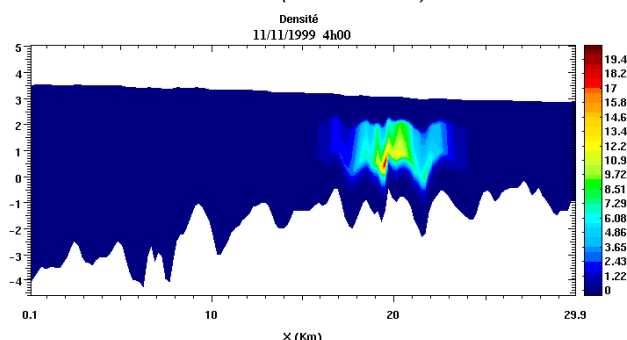


Figure 12 : Localisation du flux de civelle dans la colonne d'eau entre 17 et 22 km (zone maritime) le 11/11/1999 à 4h00

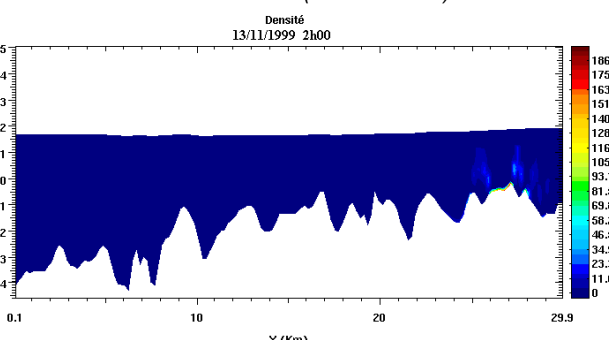


Figure 13 : Reprise de la migration lors du flot le 13/11/1999 à 2h00 – Le flux n'a pas encore atteint Horgave situé à 30 km.

ESTIMATIONS DE FLUX JOURNALIER

Une des questions récurrentes posées par les gestionnaires aux niveaux national et européen est : combien de civelles sont prélevées par la pêche professionnelle ? En d'autres termes peut-on estimer le taux d'exploitation effectué par une pêcherie dans des estuaires ouverts, de grandes dimensions, de manière fiable et en mobilisant des moyens parcimonieux pour pouvoir effectuer ces suivis fréquemment. C'est la réponse à cette question qui a motivé les travaux décrits brièvement dans ce chapitre.

Les méthodes mathématiques sont développées à partir d'un schéma d'échantillonnage imposé par les biologistes des pêches et se calquant sur le comportement migratoire de l'espèce. Il peut être schématisé de la manière suivante : pendant le flot, sur une station de référence, le bateau filtre, simultanément à l'aide d'un tamis de surface et d'un tamis de fond, le volume d'eau selon trois transects positionnés en rives (droite et gauche) et au milieu dont la durée pour chacun est de 5 minutes. Le volume d'eau échantillonné est ainsi divisé en 6 zones de calcul correspondant aux 3 transects effectués en surface et aux 3 de fond.

Première méthode

La méthode d'estimation développée utilise un modèle sinusoïdal de la vitesse, qui est une approche simplifiée du modèle hydrodynamique 1D, pour établir un modèle stochastique de variation de la densité observée (en g.100m⁻³) en fonction de la vitesse du courant de flot, un jour donné.

Le calcul de la biomasse est effectué pour chaque sous-zone à partir d'une formulation prenant en compte la densité moyenne sur une zone et l'intégrale de la vitesse au cours du flot. Une formule approchée du coefficient de variation, en prenant constante la variance du terme d'erreur dans le temps pour le modèle liant les densités aux vitesses, est proposée.

Des estimations de biomasse sont fournies et comparées aux captures professionnelles (figure 14) effectuées dans les secteurs concernés par l'échantillonnage.

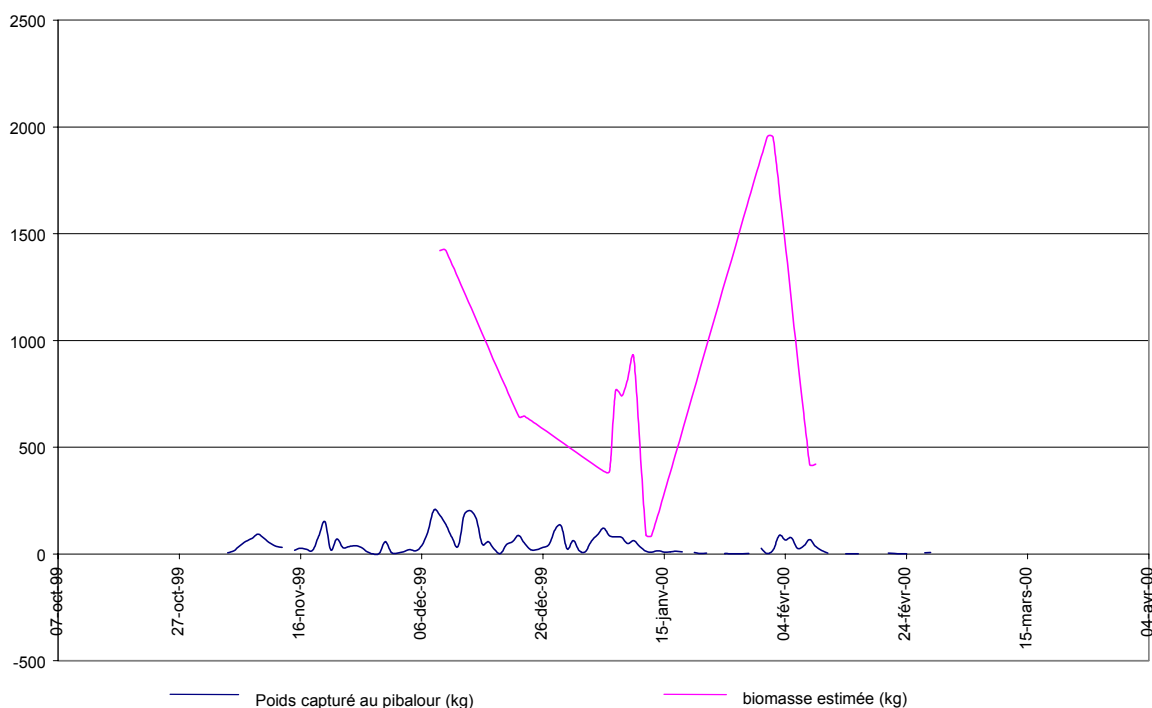


Figure 14 : Evolution de la biomasse estimée de civelles et du poids de civelles capturé par la pêche professionnelle en zone maritime : saison de migration 1999/2000.

Cela permet d'aboutir à des ordres de grandeur de taux d'exploitation journaliers dont les médianes sont comprises entre 6 et 26% pour les saisons de pêche 1998/1999, 1999/2000 et 2000/2001.

Les estimations fournies par cette méthode sont généralement précises, sauf pour l'estimation de faibles biomasses (limites méthodologiques liées à la puissance de l'outil d'échantillonnage), et s'avèrent peu sensibles à la méthodologie de « découpage » de la tranche d'eau.

Deuxième méthode

La méthode proposée relie les densités de civelles observées à la concentration locale initiale, via un modèle statistique obtenu par agrégation des concentrations locales, afin d'exprimer la biomasse d'un flux montant de civelles en fonction de cette concentration initiale.

Cette concentration locale initiale constitue la condition de bord du modèle de transport hydrodynamique d'un flux de civelles se présentant à l'estuaire (cela correspond en simplifié à la densité de civelles que l'on injecte de manière artificielle dans la maille du modèle comportemental à l'embouchure). Dans ce cadre, elle peut être alors définie par un faible nombre de paramètres dont les estimateurs permettent de déduire ceux de la biomasse dont la variance est ensuite approchée à partir des covariances des estimateurs des paramètres de la concentration initiale locale.

Les estimations fournies par cette seconde méthode sont généralement du même ordre de grandeur que ceux fournis par la première méthode. L'écart-type asymptotique n'excède généralement pas la biomasse estimée. Ce qui signifie que la précision avec laquelle la biomasse est évaluée, rend celle-ci utilisable comme indicateur d'abondance par les gestionnaires.

MISE AU POINT DE BIOMARQUEURS D'EXPOSITION DES ANGUILLES A LA POLLUTION EN ESTUAIRE

Ces travaux contribuent à répondre à la question suivante : comment peut-on apprécier chez un individu le stress physiologique et la répercussion sur son organisme lorsqu'il est soumis à des perturbations physico-chimiques de son milieu naturel de production ? Pour cela, deux biomarqueurs d'exposition des anguilles à ces types de pollutions ont été mis au point.

Biomarqueurs

Le premier biomarqueur est le suivi de l'induction du gène *cyp1a1*, induction qui conduit à la production de l'enzyme de détoxification à cytochrome P4501A1. Les suivis de la synthèse de cette enzyme et de l'induction de l'activité enzymatique qui en découle ont précédemment fait l'objet de nombreuses études, notamment chez les poissons comme la truite et le saumon. Ils y sont communément présentés et utilisés comme biomarqueurs d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les milieux estuariens étant fréquemment contaminés par des HAP, le suivi de l'induction du gène *cyp1a1* chez l'anguille semble être un biomarqueur indiqué. Par ailleurs, le choix s'est porté sur un biomarqueur en amont de l'induction protéique, au niveau de l'induction génique. En effet, par rapport aux réponses obtenues avec les suivis de la synthèse protéique et de l'induction de l'activité enzymatique, le délai entre le début ou la fin de l'exposition à la pollution et la réponse du biomarqueur sera raccourci.

Le deuxième biomarqueur est le suivi de l'induction de gènes *mdr*. Les gènes *mdr* ont particulièrement été étudiés chez les mammifères. Les protéines codées par ces gènes (P-glycoprotéines ou P-gp) ont été découvertes du fait de leur implication dans la résistance des cellules cancéreuses aux traitements chimiothérapeutiques. Dans ce cas, la surexpression de P-gp dans la membrane cellulaire évite l'accumulation des drogues en les transportant activement à l'extérieur des cellules. Des protéines apparentées aux P-gp semblent être présentes chez le poisson (guppy et flétan) dans les organes d'excrétion (foie, vésicule biliaire, etc.). Cette localisation suggère un rôle d'excrétion des P-gp chez le poisson, par exemple l'excrétion de molécules xénobiotiques (produits phytosanitaires notamment). Cette constatation implique que les P-gp pourraient participer à la résistance des poissons aux polluants.

Construction des outils moléculaires

Des fragments du gène *cyp1a1* ont été amplifiés *in vitro* chez *Anguilla anguilla* en se basant sur la séquence complète du gène *cyp1a1* de *Anguilla japonica*. En ce qui concerne les gènes *mdr*, les travaux se sont basés sur la séquence des gènes humains et murins notamment pour obtenir des fragments correspondants chez l'anguille. Plusieurs séquences différentes ont été obtenues, ce qui suggère la présence de gènes différents.

Validation des biomarqueurs

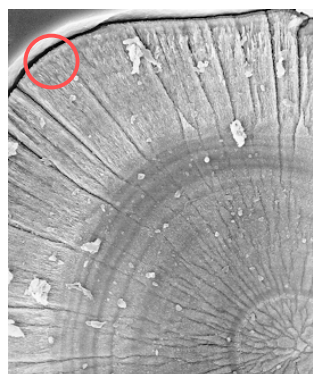
Une étude en conditions semi-contrôlées est actuellement en cours afin de suivre les modalités d'expression des systèmes de détoxification étudiés grâce aux sondes moléculaires obtenues pour chaque biomarqueur. Dans ce but, des anguillettes ont été maintenues en aquarium dans des conditions variables de stress chimique, c'est-à-dire en présence d'un inducteur spécifique du gène *cyp1a1*, la β -naphthoflavone, ou bien en présence de sédiments plus ou moins pollués des estuaires de la Ria de Bilbao et de l'Adour.

ÉTUDES OTOLITHOMETRIQUES

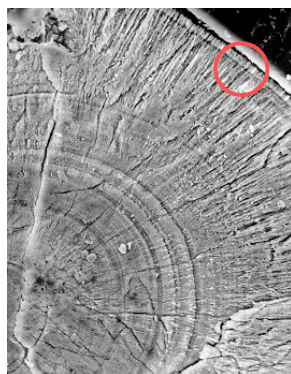
Elles ont été entreprises pour caractériser les civelles en migration dans le bassin de l'Adour à partir du plus gros des 3 otolithes : la *Sagittae*. Ces études permettent de mieux caractériser l'hétérogénéité des temps de résidence en estuaire et le moment de la pénétration de la civelle dans le bassin, l'analyse simple de la pigmentation s'avérant parfois très insuffisante. Elles permettent aussi de replacer les flux de civelles remontant l'estuaire de l'Adour dans le cadre plus général de l'aire de colonisation de l'espèce en Atlantique.

- **Typologie des otolithes** : L'analyse par microscopie électronique a permis de classer les otolithes en 3 catégories en fonction de leur temps de résidence en estuaire. Le type 1 (absence d'une double marque en bordure d'otolithe) : civelle fraîchement arrivée en estuaire ou encore résidente en mer ; le type 2 (présence d'une double marque) : civelle ayant séjourné en estuaire et le type 3 (développement de l'otolithe au-delà de la phase de transition) : civelle acclimatée à l'estuaire.

Il apparaît que le stade dit "estuarien" (stade pigmentaire Vb, le plus commun dans les captures) regroupe en fait des civelles qui sont en estuaire depuis un temps très variable. La typologie des otolithes montre qu'il se produit un mélange des individus provenant de différents flux lors de la traversée de l'estuaire.



Type 1



Type 2



Type 3

 Inscription de la marque de transition en estuaire et reprise de croissance

- **Mesures des zones de croissance** pendant la migration océanique : ces mesures réalisées sur chaque otolithe de civelles permettent de caractériser les zones de croissance pendant la phase leptocephale au cours de la traversée de l'Atlantique, pendant la phase civelle au cours de la traversée du plateau continental et au cours de la phase de passage en estuaire.

Quelle que soit la date d'arrivée des civelles, la croissance pendant la phase leptocephale et la phase civelle est identique. Les diminutions observées de la longueur et du poids des civelles au cours de la saison seraient d'avantage liées à leurs origines (zones ou dates de ponte en mer des Sargasses) plutôt qu'aux conditions qu'elles rencontrent lors de la traversée océanique.

- **Dosages isotopiques de l'oxygène ^{18}O et du carbone ^{13}C** : L'échantillon de civelles de l'Adour, dans la partie centrale de l'aire de répartition, a été intégré dans un pool de 8 estuaires répartis entre la Suède et le Maroc sur la façade européenne, l'objectif étant de caractériser par des dosages d'isotopes stables de l'Oxygène et du Carbone, les conditions thermiques de migration des civelles et d'identifier d'éventuelles voies de migration.

A l'échelle européenne, les variations des teneurs en ^{18}O et ^{13}C dans les otolithes montrent un gradient croissant en fonction de la latitude. Ce qui semble indiquer que les différentes larves subissent des conditions environnementales différentes lors de leurs traversées. Cela confirme les observations portant sur la génétique et la biométrie et qui indiquent que la population d'anguille européenne n'est pas aussi homogène que l'on aurait pu le supposer au départ.

CONCLUSIONS

Outre l'intérêt que ces travaux représentent pour une meilleure compréhension de la plasticité du comportement et des mécanismes physiologiques mis en jeu pour s'adapter aux perturbations naturelles ou anthropiques de l'environnement, les résultats obtenus ont permis de mieux adapter la réglementation de la pêche en estuaire, de mesurer l'efficacité des engins de pêche et de définir des méthodes et des outils d'estimation des flux de migrants.

Les études entreprises ont atteint l'ensemble des objectifs assignés par le COGEPOMI et les partenaires financiers :

- elles ont permis de mieux comprendre comment se faisait la migration d'un flux de civelles dans un estuaire soumis à la propagation de la marée dynamique dans la zone non stratifiée. En particulier, le rôle prépondérant des effets conjugués du débit, du coefficient de marée et de la turbidité sur la présence ou non des civelles en surface a bien été montré ;
- cette compréhension est utile pour le gestionnaire car elle permet d'expliquer les modifications de capturabilité (vulnérabilité de la civelle à l'engin de pêche) des individus présents dans l'estuaire et, par conséquent, de l'efficacité de la pêche. Cette variation d'efficacité avait été déjà signalée par les professionnels, elle est confirmée et quantifiée par les études entreprises ;
- ces travaux ont permis non seulement de décrire le phénomène comportemental, mais aussi de le modéliser puis de le simuler. Cette modélisation, difficile car devant schématiser des phénomènes hydrauliques à l'échelle d'un maillage très fin (dissymétrie du courant dans la section transversale notamment, prise en compte des confluences et des îles) a fait intervenir des méthodes mathématiques nouvelles qui permettent de simuler l'hétérogénéité des courants et des hauteurs d'eau avec réalisme comme en témoignent les résultats des campagnes de validation sur le terrain. Le modèle hydrodynamique d'écoulement a été mis à la portée des utilisateurs par l'élaboration d'une interface baptisée « Erreka » ;
- le simulateur comportemental élaboré à partir des observations et des connaissances acquises permet de visualiser l'avancée d'un groupe de civelles dans l'estuaire et son comportement dans la colonne d'eau. Il permet également de tester l'hypothèse d'une migration diurne en comparant les vitesses de déplacement simulées avec les déplacements des pics de captures observés successivement en zones maritime et fluviale. Cette réponse est également importante pour le gestionnaire car elle permet d'apprécier le degré d'échappement d'un flux de civelles à toute pêche en zone maritime. Les vitesses de migration estimées et confortées par l'observation des pics de captures sont de l'ordre de 2 à 3 jours en conditions normales de flot et de débit pour une distance de 20 km environ ;
- cet aspect descriptif a été complété par la mise au point d'une technique d'estimation du flux journalier de civelles en estuaire. Par la mise en place d'un plan d'échantillonnage de la veine d'eau, il est désormais possible et ce, pour des estuaires de dimensions importantes, d'évaluer l'abondance des civelles qui transitent en un point donné durant le flot. Cette méthode robuste est extrapolable à d'autres sites et sera utilisée dans d'autres estuaires dans le cadre du projet INDICANG ;
- par ce biais, le gestionnaire sait, maintenant, qu'il dispose d'un outil lui permettant de mesurer le taux d'exploitation exercé un jour donné par la pêche professionnelle aux tamis poussés ;
- l'étape suivante consiste à estimer l'abondance saisonnière des civelles. Les partenaires du programme « Amphihalins Adour » ont dressé et défini le cadre conceptuel de cette évaluation en prenant comme objectif de développer une méthode à la fois suffisamment précise pour qu'elle soit d'une quelconque utilité pour la gestion, robuste pour qu'elle soit transférable à des structures techniques et parcimonieuse afin qu'elle soit utilisée de manière récurrente avec un coût de mise en oeuvre raisonnable et compatible avec les financements publics. Cette méthode nécessite à la fois des statistiques de pêche précises, la mise en oeuvre de suivis expérimentaux et la prise en compte d'un minimum de paramètres physiques identifiés comme modulateurs du comportement migratoire de la civelle en estuaire (débit, coefficient de marée, température, turbidité, nébulosité et phase lunaire).

Rédaction : Mohamed Amara (UPPA-LMA), Elena Aubry (UPPA-LMA), Ahmed Boussouar (ADERA-CERECA), Noëlle Bru (Univ. de Grenoble), LabSAD), Christine Cagnon (UPPA-LEM), François-Xavier Cuende (Institution Adour), Marie-Noëlle de Casamajor (ADERA-CERECA), Muriel Lissardy (ADERA-CERECA), Claude Mouchès (UPPA-LEM), Patrick Prouzet (IFREMER Saint-Pée-sur-Nivelle), Florence Sanchez (ADERA-CERECA), David Trujillo (UPPA-LMA).

Réalisation : Institution Adour, IFREMER, ADERA-CERECA - Décembre 2003.

Ce programme a été réalisé grâce au soutien financier des partenaires suivants :

