

Modélisation de la capture de civelles dans l'estuaire de la Seudre par l'utilisation du modèle GEMAC

Traitement des données des saisons 2008-2009 et 2009-2010

Cédric BRIAND, Eric BUARD, Audrey POSTIC-PUIVIF

Septembre 2012

Résumé :

La pêcherie du système Seudre – Charente – Pertuis Charentais a fait l'objet d'une analyse sur les années 2006-2010, et les données de captures et d'effort ont été décrites séparément pour les navires à poste fixes et pour les navires mobiles. Sur la Seudre les données recueillies ont été utilisées pour effectuer la calibration du modèle GEMAC. Les abondances de l'estuaire ont été estimées à partir de la capture des postes fixes, en amont de l'estuaire, sous plusieurs hypothèses quand à la dynamique temporelle des captures. La meilleure calibration du modèle GEMAC est obtenue - conformément avec les observations de terrain - pour une capture des postes fixes effectuée essentiellement autour de la pleine mer. Le taux d'exploitation sur la Seudre est de 76% en 2008-2009 et 81% en 2009-2010. Les hypothèses sous jacentes au modèle et les résultats sont discutés.

Mots-clés: impact, civelles, traitement des données de captures, GEMAC, modélisation, taux d'échappement, taux d'exploitation, Charente, Seudre.

Avant-propos :

Les bassins versants de la Charente et de la Seudre représentent des territoires d'importance pour les poissons migrateurs amphihalins comme les anguilles, les lamproies, les aloses ou les grands salmonidés. Ces espèces présentent un enjeu patrimonial fort et il est aujourd'hui indispensable de mener des actions pour leur gestion et leur sauvegarde. Pour cela, une cellule d'animation des poissons migrateurs de la Charente et de la Seudre (Cellule Migrateurs) a été mise en place en 2008 avec l'EPTB Charente, le Groupement régional des fédérations de pêche Poitou-Charentes et le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole (CREAA). Les principales actions de cette cellule sont la connaissance de l'état des populations des espèces migratrices, la restauration de la continuité écologique ainsi que la communication et la sensibilisation des acteurs du territoire.

Parmi les actions du suivi de l'état des populations, la quantification de l'impact de la pêche professionnelle sur le stade civelle a été effectué dès 2009. Ce suivi est d'ailleurs une mesure de gestion du PLAGEPOMI 2008-2012 (SH01). C'est aussi une des demandes du plan national de gestion de l'anguille élaboré en 2009 (Plan National de gestion de l'anguille, 2009) d'après le règlement européen (règlement R(CE) 1100/2007). L'objectif étant de savoir si les taux d'échappements de civelles assurent la pérennité de l'espèce et répondent aux exigences européennes, qui prévoient un retour de 40% de la biomasse pristine. Plusieurs approches de modélisation ont été mises en place pour évaluer ces taux d'échappement, dont le modèle GEMAC qui s'applique au stade civelle (ICES, 2008). Il a été adapté dans la Gironde (large estuaire), dans la Vilaine (petit estuaire) ou la pêche est concentrée au bas d'un barrage (Beaulaton L. *et al.*, 2007), ainsi que dans le Tibre en Italie (Ciccotti E., 2007).

Remerciements :

Nous souhaitons ici remercier le Comité Régional des Pêches et des Elevages Marins (CRPMEM) Poitou-Charentes ainsi que l'antenne de Marennes-Oléron située à Bourcefranc (ancien CLPMEM Marennes-Oléron) pour leur aide et leur expertise locale sans laquelle le modèle n'aurait pas pu être construit. De même nous remercions les pêcheurs professionnels qui nous permis d'embarquer à bord des navires et de collecter des informations indispensables.

La récupération des données, leur correction, et la construction d'un jeu de données cohérent est une étape indispensable à la modélisation. Ce travail a été effectué grâce aux compétences d'Alde Grandpierre de la DTTM17 à La Rochelle. Son expertise et son assistance ont été très appréciées dans le cadre de ce travail. Nous remercions également Jean-Louis Larraux de la DDTM17 pour son aide à la saisie des données.

Nous tenons aussi à remercier Aurélie Nadeau d'IFREMER pour son expertise qui a permis de qualifier le comportement des pêcheurs et la répartition de l'effort de pêche dans les Pertuis Charentais.

Sommaire

1. Introduction.....	2
1.1 Cadre de l'étude.....	2
1.2 Objectifs de l'étude.....	2
2 Description des estuaires et de la pêche locale	2
2.1 Description des estuaires	2
2.2 Description de l'activité de pêche à la civelle et de la flottille.....	5
3 Le modèle GEMAC	6
3.1 Indice de Recrutement.....	6
3.2 Modélisation du temps de pigmentation.....	6
3.3 Sédentarisation.....	6
3.4 Mortalité naturelle.....	7
3.5 Mortalité par pêche.....	7
4 Les données.....	8
4.1 Calculs des vitesses de courant.....	8
4.2 Calculs du volume de l'estuaire.....	9
4.3 Engins de pêche et surface pêchante.....	10
4.4 Temps de pêche et filtrations.....	10
4.5 Effort de pêche	13
4.6 Captures.....	13
4.7 Captures par unité d'effort.....	14
4.8 Taux d'exploitation de la pêcherie fixe.....	16
4.9 Estimation de stock en estuaire.....	17
5 Calibration du modèle.....	18
5.1 Calage du modèle et paramètres GEMAC optimisés pour la Seudre.....	18
5.2 Principaux résultats du modèle.....	19
5.3 Pourcentages de jaunes par recrue (% Y/R) sur la Charente et la Seudre :	20
6 Discussion:	22
6.1 Collecte des données :	22
6.2 Tendances du taux d'exploitation sur l'estuaire de la Seudre :	22
6.3 Comparaison aux autres estuaires (Gironde, Vilaine, Adour):.....	22
6.4 Perspectives et limites du modèle :.....	22
7 Conclusion:	23
8 Bibliographie :.....	24

1. Introduction

1.1 Cadre de l'étude

Le « Plan de Gestion Anguille de la France » prévoit la mise en place de quotas à la pêche professionnelle dès la saison 2009-2010. Les pêcheurs professionnels de Charente et Seudre ont exprimé en 2009 leur volonté de connaître leur impact direct sur les flux de civelles. Le CRPMEM et le CLPMEM MO ont donc demandé à la Cellule Migrateurs Charente de travailler sur cette question.

En 2009, une implémentation locale du modèle GEMAC a été effectuée au niveau des estuaires de la Seudre et de la Charente afin de connaître l'impact de la pêche sur le stade civelle (**Bertrand, 2009**). Ce travail a été réalisé en collaboration avec Cédric Briand de l'Institution de la Vilaine (EPTB Vilaine) et Audrey Postic-Puiviv de l'EPTB Charente. Les données des pêcheries professionnelles de civelles des saisons 2006-2007 et 2007-2008 ont été étudiées. Les données depuis 1995 ont été récoltées mais seules les dernières saisons sont utilisables. La validation des déclarations de captures jointes à des mesures sur le terrain et aux variables environnementales a permis de réaliser l'implémentation du modèle GEMAC.

1.2 Objectifs de l'étude

Depuis 2008, les saisies des captures sont faites par France Agrimer, organisme choisi par l'Etat pour récolter et analyser les données de captures. Cependant, aucun retour précis n'est fait de la part de celui-ci. Pour continuer l'analyse des taux d'échappement pour les saisons 2008-2009 et 2009-2010, il a donc été nécessaire d'assurer la saisie des fiches de pêche. Cette saisie a été faite par la Cellule Migrateurs Charente en étroite collaboration avec Alde Grandpierre, de la DDTM17

Les imprécisions et les incertitudes ont été corrigées par une ancienne enquêtrice d'IFRMER et par le CLPMEM MO.

Le modèle GEMAC a donc pu être de nouveau utilisé par Cédric Briand pour établir les taux d'échappement de ces deux saisons de pêche.

2 Description des estuaires et de la pêche locale

2.1 Description des estuaires

Le bassin versant de la Charente (10 000 km²) se localise au sud de la région Poitou-Charentes, entre le bassin de la Loire au nord et celui de la Garonne au sud (Figure 1). C'est le plus petit fleuve français (365 kilomètres). Il influence directement le bassin Marennes-Oléron (156 km²) en apportant, été comme hiver, 90% de l'eau douce. La Seudre est un petit fleuve de Charente-Maritime de 45 km de long, drainant 380 km² de bassin versant. Le plus grand ensemble de marais maritime français compris d'eaux salées se trouve sur en aval de la Seudre (**Verger F., 2005**). Son débit de crue est d'environ 20 m³/seconde (**Masson D., 1997**). Le bras de mer de la Seudre est soumis à l'influence de l'eau douce provenant de son bassin versant. Le mélange eau de mer et eau douce n'est pas homogène (stratification) ni sur la longueur de son cours, ni sur la profondeur (**Masson D., 1997**).

Toute la zone comprise entre le pertuis d'Antioche et le pertuis de Maumusson (Figure 1), apparaît comme un milieu favorable au développement des wadden (étendue soumise à marée) occupée en grande partie par la conchyliculture. Verger (2005) a séparé cette zone en plusieurs sections dont il détaille la sédimentologie. Au-dessus de l'estuaire de la Charente, au niveau de la baie d'Yves, le sédiment est relativement grossier dû à l'exposition aux fortes houles d'ouest. La sédimentation est plus vaseuse au niveau de l'estuaire de la Charente. Ensuite, entre Bourcefranc-le-Chapus et l'île d'Oléron (détroit du Chapus), le pertuis se resserre vers le sud. Ce détroit est un goulet de marée qui a pour effet de creuser au sud une zone de 6 à 8m de profondeur. Le dernier secteur correspond à la baie de Ronce avec 3 accès ; le détroit du Chapus, l'estuaire de la Seudre et le pertuis de Maumusson. Le chenal du Coureau parcourt toute cette zone du sud du pertuis d'Antioche jusqu'à l'estuaire de la Seudre et au pertuis de Maumusson. Son fond est formé d'affleurements rocheux mais aussi de sables et graviers. Le pertuis de Maumusson livre à chaque flot une eau qui pénètre dans la baie de Ronce et dans la Seudre. Ce goulet de marée connaît un régime

hydraulique variable selon la marée et les vents. Ce régime est caractérisé par une légère prépondérance du jusant sur le flot en durée comme en vitesse. Il a pu être estimé à environ 170 000 000 m³ pour le flot et 220 000 000 m³ pour celui du jusant par marée de vive-eau moyenne. Au niveau de la zone la plus étroite du pertuis de Maumusson, la profondeur maximale est de 23m.

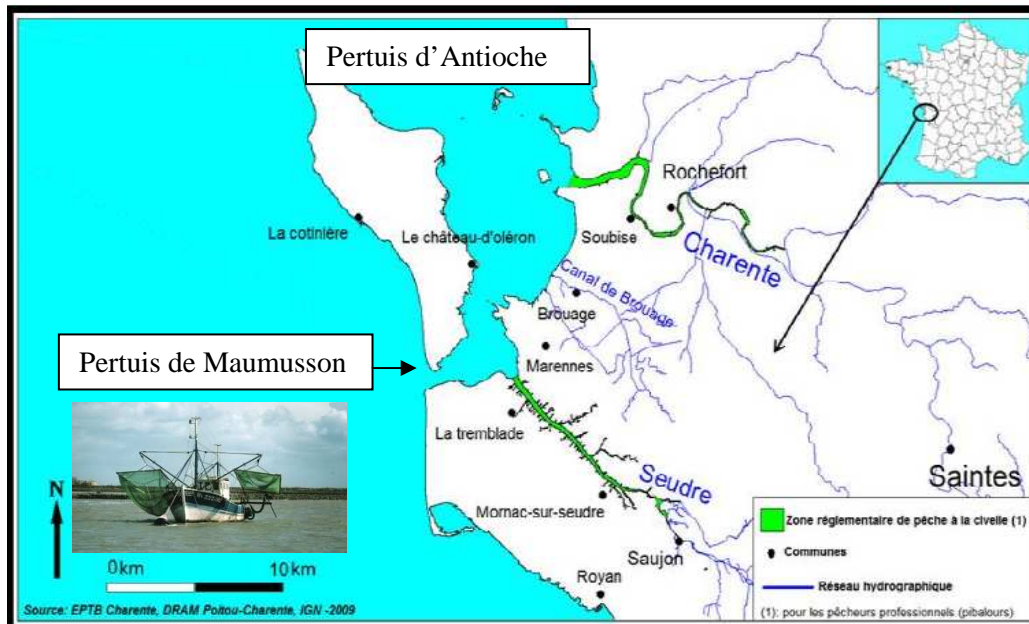


Figure 1 : La Charente et les pertuis (en vert : les zones de pêche).

La zone de pêche réglementaire de la civelle sur la Charente s'étend de la limite transversale de la mer à Port des Barques (alignement centre de la tour du feu aval de la rive gauche avec le centre du fort de la pointe) à la limite de salure des eaux (Carillon, confluent de la Boutonne) (DDTM17), sur un linéaire de 24 km. La plupart des pêcheurs ne vont pas au-dessus de Tonnay-Charente. Cependant, il y a des zones interdites à la pêche : la zone de mouillage du Club nautique Rochefortais du port neuf, de l'ouest du quai des Grues (1,3 kilomètres en aval du pont suspendu de Tonnay-Charente) à l'est du camping municipal (700 mètres en amont du pont), le canal des Blanchets, de la pelle aval à l'embouchure sur la Charente et 100 mètres de part et d'autre de celle-ci. Et plus largement, la pêche est interdite dans les ports (zone portuaire concédée, qui peut s'étendre au-delà des digues et installations) et à moins de 50 mètres d'un barrage.

Les zones de débarquement autorisées des civelles sont : Rochefort (port de commerce et Port Neuf), Tonnay-Charente (port de commerce), Saint-Nazaire-sur-Charente (port de Fontaine-Lupin) et Soubise (port).



Figure 2: La Charente et le pertuis d'Antioche. Source Google Maps. (en rouge : la zone de pêche)

La zone de pêche réglementaire de la civelle pour la Seudre s'étend sur une longueur de 18 km (Figure 3), de l'Eguille sur Seudre jusqu'au pont de la Seudre. Les postes fixes sont placés entre l'Eguille sur Seudre et Mornac sur Seudre.



Figure 3: La Seudre et le pertuis d'Antioche. Source Google Maps. En rouge : la zone de pêche. En vert : la zone des postes fixes

2.2 Description de l'activité de pêche à la civelle et de la flottille.

L'activité de pêche à la civelle est encadrée par deux arrêtés :

- Arrêté du ministre de l'Agriculture et de la Pêche (2063.DPMCM.RR) du 15 septembre 1993 instituant un régime commun de licences pour la pêche dans les estuaires et la pêche des poissons migrateurs (JORF du 3.10.1993)

- Arrêté du 7 août 2009 relatif aux dates de pêche de l'anguille (*Anguilla anguilla*) pour les pêcheurs maritimes (JORF du 22.8.2009) NOR: AGR M0915063A qui précise :

- La pêche de l'anguille est interdite en dehors des unités de gestion fixées par arrêté du préfet de région après avis du COGEPOMI ;
- Interdiction de la pêche de l'anguille < 12 cm pour la pêche de loisir ;
- Quotas de pêche de civelle répartis par unité de gestion et par saison de pêche;
- Une part des captures doit être affectée au repeuplement ;
- Pêche de l'anguille argentée interdite (sauf autorisations spéciales) ;
- Obligation de déclarations statistiques ;
- Pêche de l'anguille jaune autorisée sous conditions notamment pour les professionnels justifiant d'une antériorité.

La délibération du CNPMM n°B41/201 relative aux conditions d'exercice de la pêche dans les estuaires et de la pêche des poissons migrateurs précise les points suivants :

- Navire de pêche professionnelle avec soit une licence de pêche communautaire et un PME, soit être armé en Conchyliculture Petite Pêche (CPP) et disposer d'antériorité de pêche dans les estuaires acquises en tant que CPP au titre de la campagne précédente ;
- Mesures techniques (Figure 4):
 - Tonnage: inférieur ou égal à 10 UMS (Unité de Mesure Standard) ou Tjb (Tonnage jauge brute) sauf antériorités, 15 UMS ;
 - Longueur hors tout (HT) inférieur ou égal à 12m ;
 - Puissance : inférieure ou égale à 73 kW (100 CV)
 - Les engins de pêche : le grand tamis mesure 1,20m de diamètre et 1,30 m de profondeur au plus, le pibalour supporte un filet dont la surface ne dépasse pas dépasser 7 m²

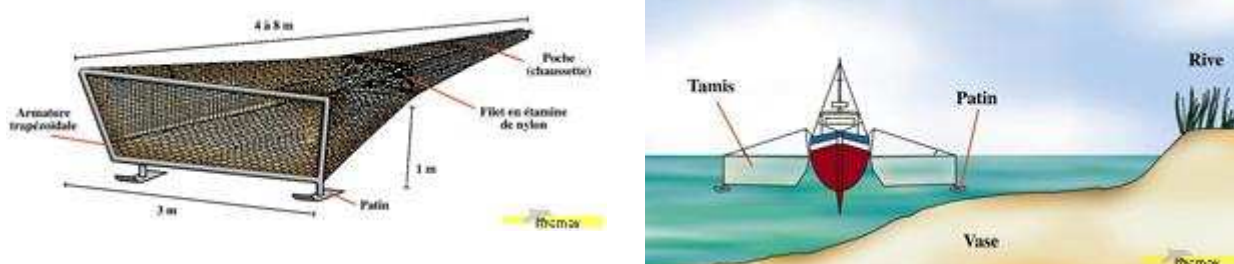


Figure 4: Schémas d'un pibalour (gauche), filet dédié à la pêche à la civelle et d'un chalutier (droite) pouvant tracter 2 tamis simultanément (IFREMER, 2011) (patin uniquement en Gironde)

L'activité de pêche à la civelle sur les Pertuis Charentais s'organise autour des estuaires de la Seudre et de la Charente. Mais elle est aussi observée au niveau du canal de Brouage où il reste 4 navires en activité en 2008 et 2009. De nombreux pêcheurs pêchent à la fois en Charente et en Seudre. Lorsqu'ils déclarent à l'échelle du rectangle statistique 20E8¹ et non du sous rectangle statistique 20E8SE² ou 20E8CH³, il est

¹ Rectangle statistique définis par l'Europe englobant la Seudre, la Charente, le canal de Brouage et une partie de la Gironde

² Sous rectangle statistique représentant l'estuaire de la Seudre

³ Sous rectangle statistique représentant l'estuaire de la Charente

difficile de quantifier les débarquements et l'effort journalier par estuaire. C'est pourquoi, la localisation des ports d'exploitation (de débarquements), des comportements de pêche des différents pêcheurs qui y opèrent, ainsi que l'évolution de cette flottille dans le temps sont des notions importantes qui sont analysées. Il faut noter aussi que des pêcheurs qui dépendent du quartier maritime de La Rochelle pêchent aussi en Sèvre Niortaise.

En Seudre, une dizaine de navires sont fixes, amarrés, et disposés surtout en aval de l'Eguille-sur-Seudre (Figure 3). Les tamis sont identiques à ceux des navires mobiles.

3 Le modèle GEMAC

Le modèle GEMAC (Glass Eel Model to Assess Compliance) simule la dynamique des captures d'un lot de civelles recrutée un jour donné et leur devenir au travers de leur mortalité naturelle (M), de la mortalité par pêche (F), et de la sédentarisation (S) journalières et de la migration (T). Son but est d'évaluer l'impact de la pêcherie sur la population de civelles afin de savoir comment les pêcheries affectent le pourcentage de civelles sédentarisées avec différents niveaux de recrutement (conditions prêtes ou actuelles) et suivant plusieurs scénarios de gestions. Il peut-être appliqué à n'importe quel estuaire en Europe, si les données sur les captures de pêche sont de bonne qualité (Beaulaton L. *et al.*, 2007). Il a été développé sous R, une introduction au modèle est disponible dans le projet SLIME <http://www.diadfish.org/english/SLIME.html> (Dekker *et al.*, 2006).

3.1 Indice de Recrutement.

Les données concernant le recrutement quotidien ne sont pas complètes. Un modèle de recrutement annuel fournit le niveau total de recrutement pour une année donnée (Briand *et al.*, 2006). Puis ce recrutement a été décliné à un niveau mensuel et journalier. Cette modélisation a été réalisée à l'aide d'un index qui contient la latitude, la longitude, la surface du bassin, le débit, les températures et l'indice d'Oscillation Nord Atlantique (NAO). L'indice de recrutement journalier $R_{0d,j}$ est ensuite multiplié par un paramètre d'échelle R_{0j}

$$R_{d,j} = R_{0j} * R_{0d,j}$$

3.2 Modélisation du temps de pigmentation.

Les stades pigmentaires informent sur le vieillissement relatif des civelles (Élie, 1979 ; Cantrelle, 1981 ; Gascuel, 1987 ; McGovern et McCarthy, 1992 ; De Casamajor, 1998). Le rôle majeur de la température et secondaire de la salinité dans leur action sur le temps de pigmentation a été montré sur la Vilaine (Briand *et al.*, 2004). A partir de cette étude, la modélisation de la structure des temps de pigmentation via des fonction gamma cumulative a été réalisée (Briand *et al.*, 2005) grâce aux chroniques journalières de température et de salinité en Charente et en Seudre.

3.3 Sédentarisation.

Les civelles se sédentarisent dans l'estuaire en fonction de leur temps de pigmentation. La sédentarisation moyenne correspond à l'adoption d'un comportement benthique typique des anguilles jaunes. A partir de cet instant les anguilles ne sont plus accessibles par les navires de pêche professionnels ou « pibalours ». Le taux de sédentarisation est calculé à partir d'une fonction Gamma (Γ) à partir des paramètres p_{10} et p_{11} . La proportion de civelles se sédentarisant chaque jour dans chaque secteur pour une classe de pigmentation correspond à la probabilité conditionnelle $\text{prob}_{d,\pi,j}$.

³ Sous rectangle statistique représentant l'estuaire de la Charente

$$\text{prob}_{d,\pi,j} = 1 - \frac{1 - \Gamma(\varphi_\pi, p_{10}, p_{11})}{1 - \Gamma(\varphi_\pi - \varphi'_{d,j}, p_{10}, p_{11})}$$

Le taux de sédentarisation ($S_{d,\pi,j}$) est donc déduit de la proportion ($\text{prob}_{d,\pi,j}$)

$$S_{d,\pi,j} = \ln(1 - \text{prob}_{d,\pi,j})$$

3.4 Mortalité naturelle.

La mortalité journalière instantanée est fixée à 0.01.

3.5 Mortalité par pêche.

Le taux de filtration d'une pêcherie est considéré comme une estimation de la mortalité par pêche (F_j) pour une année considérée (j). Son estimation nécessite la connaissance des volumes sur la zones de pêche (ψ_0) et du volume filtrée par la pêcherie (ψ_{dj}). Le taux de filtration est supérieur à 1 si le volume filtré par la pêcherie est supérieur au volume de la zone de pêche. La liaison entre l'effort de pêche et le taux de filtration est réalisée grâce a un facteur de capturabilité (ou concentration) appelé ψ . La mortalité par pêche (F) a donc été calculée grâce à l'équation ci-dessous. Le facteur de concentration est calculé pour toutes les années.

$$F_j = \psi^* (\psi_{dj} / \psi_0)$$

La mortalité par pêche des postes fixes F' a été calculée grâce à l'estimation de la section de l'estuaire. Chaque pibalour échantillonne une section ζ (14 m²) de l'estuaire ζ_0 . Le taux d'exploitation d'un pibalour s'écrit $\frac{\zeta}{\zeta_0}$. La section de l'estuaire ζ_0 varie en fonction du coefficient de marée et du moment de la marée.

Pour k pibalours pêchant en séquence le taux s'écrit $\tau = \tau' (1 - (1 - \frac{\zeta}{\zeta_0})^k)$.

Avec τ' = facteur de concentration pour les pibalours à poste fixe (équivalent de ψ ci-dessus).

Au bilan la mortalité de la pêcherie de pibalours s'écrit :

$$F' = -\log(\tau' (1 - \frac{\zeta}{\zeta_0})^k) = -\log(1 - \tau' * \tau) \text{ pour } \tau < 1$$

$F' = -\log(\varepsilon)$ pour $\tau \geq 1$ (cas théorique lorsque la section du pibalour est supérieure à la section modélisée pour l'estuaire, cela arrive lorsqu'on modélise le niveau basse mer pour de grands coefficients).

En fonction du niveau de la marée, le taux de filtration d'un pibalour varie beaucoup. Pour cette raison, différentes hypothèses concernant le moment de la marée ou se fait le passage du stock au niveau des postes fixes sont effectuées lors de la calibration du modèle.

Cette approche diffère de celle utilisée lors de la première tentative de modélisation de la Seudre (**Bertrand, 2009**). Compte tenu du fait que les captures ne diminuent pas du premier pibalour aux suivants, des méthodes statistiques de déplétion n'ont pas pu être utilisées.

Le stock résidant en estuaire au niveau des postes fixes est calculé à partir de la connaissance des captures des postes fixes et du taux d'exploitation. Le stock en estuaire correspond au stock de l'amont de l'estuaire auquel s'ajoute la capture des postes mobiles.

$$N_{dj} = C_{dj} + C'_{dj} / \tau_{dj}$$

- **Dynamique de la population de civelle (Mortalité et sédentarisation):**

Les effectifs sont stockés dans une matrice de dimensions d,j,π , avec d = jour, j = année, π = classe de temps pigmentaire. La dynamique de la population de civelle est écrite classiquement suivant le modèle de (**Beverton and Holt, 1957**) avec une migration nulle car la zone de pêche est petite et n'a pas été compartimentée. Le premier processus du modèle est le recrutement.

$$N_{d,j} = R_{d,j} \quad d=\text{jour}, j=\text{année}$$

C'est-à-dire qu'à chaque jour on fait rentrer des civelles dans l'estuaire. Ces civelles n'ont pas de temps pigmentaire.

Le second processus est le vieillissement pigmentaire et pour tout triplet d, π, j on calcule le produit matriciel, à l'aide d'une matrice des taux de transition calculée à partir des salinités et températures de l'estuaire.

$$N_{d,\pi,j} = \sum_{\pi} (N_{d,\pi,j} * T_{d,\pi, \pi,j})$$

Le troisième processus concerne les mortalités et la migration. Les mortalités naturelles, par pêche et la sédentarisation conduisent à la « disparition » de civelles de la fraction exploitable du stock. Les mortalités par pêche et filtrations industrielles dépendent du jour et du compartiment, les sédentarisation sont découpées suivant le même schéma mais varient aussi en fonction du temps pigmentaire.

$$N_{d,\pi,j} = N_{d-1,\pi,j} e^{-Z^{d\pi j}} \text{ Avec } Z \text{ taux instantané de disparition } Z_{d\pi j} = M + F_{dj} + F'_{dj} + S_{d\pi j}$$

Enfin les effectifs de civelles mortes ou sédentarisées ont été évaluées et stockées dans des matrices. Ce calcul intervient sur les effectifs avant leur « disparition » et migration hors de la zone de pêche.

$$N_{dj} = \sum_{\pi} N_{d\pi j} \quad \text{nombre de civelles}$$

$$C_{dj} = \sum_{\pi} N_{d-1, \pi, j} F_{dj} (1 - e^{-Z^{d\pi j}}) / Z_{d\pi j} \quad \text{capture journalière}$$

$$C'_{dj} = \sum_{\pi} N_{d-1, \pi, j} F'_{dj} (1 - e^{-Z^{d\pi j}}) / Z_{d\pi j} \quad \text{capture journalière des postes fixes}$$

$$CS_{dj} = \sum_{\pi} N_{d-1, \pi, j} S_{d\pi j} (1 - e^{-Z^{d\pi j}}) / Z_{d\pi j} \quad \text{sédentarisation journalière}$$

$$CM_{dj} = \sum_{\pi} N_{d-1, \pi, j} M (1 - e^{-Z^{d\pi j}}) / Z_{d\pi j} \quad \text{mortalité naturelle journalière}$$

- **Sortie du modèle:**

Pour chaque année j , l'échappement ($ESC_{FF'}$) correspond au nombre de civelles sédentarisées (CS) et aux civelles restant le dernier jour ($d=n$). Les civelles sédentarisées ne sont plus accessibles à la pêche. L'échappement calculé pour un niveau de mortalité de la pêche aux tamis donné (F) et de la pêche aux postes fixes (F') correspond à :

$$ESC_{FF'} = \sum_d CS_{dj} + \sum_a N_{d=n,a,j}$$

La modélisation de la mortalité totale revient à connaître la proportion de civelles sédentarisées (jeunes anguilles jaunes) par recrue relative dans des conditions sans impact anthropique (%YpR). Elle correspond au rapport de l'échappement avec pression de pêche (F non nul) sur l'échappement pour des conditions sans pression de pêche, soit un taux instantané de mortalité par pêche égal à zéro ($F=0$).

$$\%YpR = \frac{(\text{échappement})_F}{(\text{échappement})_{F=0}}$$

4 Les données

4.1 Calculs des vitesses de courant.

Les vitesses de courant sont nécessaires pour calculer les volumes filtrés par les postes fixes. La vitesse moyenne du flot a été mesurée à l'aide de sondes Doppler lors d'une campagne en 2004. Le débit de la Seudre, très faible, n'a pas d'influence sur les vitesses de courant. La vitesse est modélisée en fonction du coefficient de marée par un modèle linéaire (1) $V=0,004 * \text{coefficient} + 0,07$ (Figure 5). Cette vitesse est

confirmée par une mesure de terrain au niveau des postes fixes en 2008 où la vitesse était dans l'intervalle de confiance du modèle.

Les vitesses obtenues devraient être surestimées car le modèle utilise des données collectées à 10 kilomètres en aval des postes fixes. Mais comme la vitesse dépend aussi des contraintes de forçages, la brusque surélévation du fond au niveau des postes fixes rend cette surestimation probablement peu importante (**Bertrand, 2009**). Pour une vitesse moyenne de flot pour un coefficient de 70 ($0,35 \text{ m.s}^{-1}$) et un temps de flot de 5,3 h, les civelles peuvent parcourir une distance de 6,6 km. Elles ont donc la capacité, si elles restent dans la veine d'eau pendant toute la durée du flot, de parcourir l'ensemble de l'estuaire en trois jours.

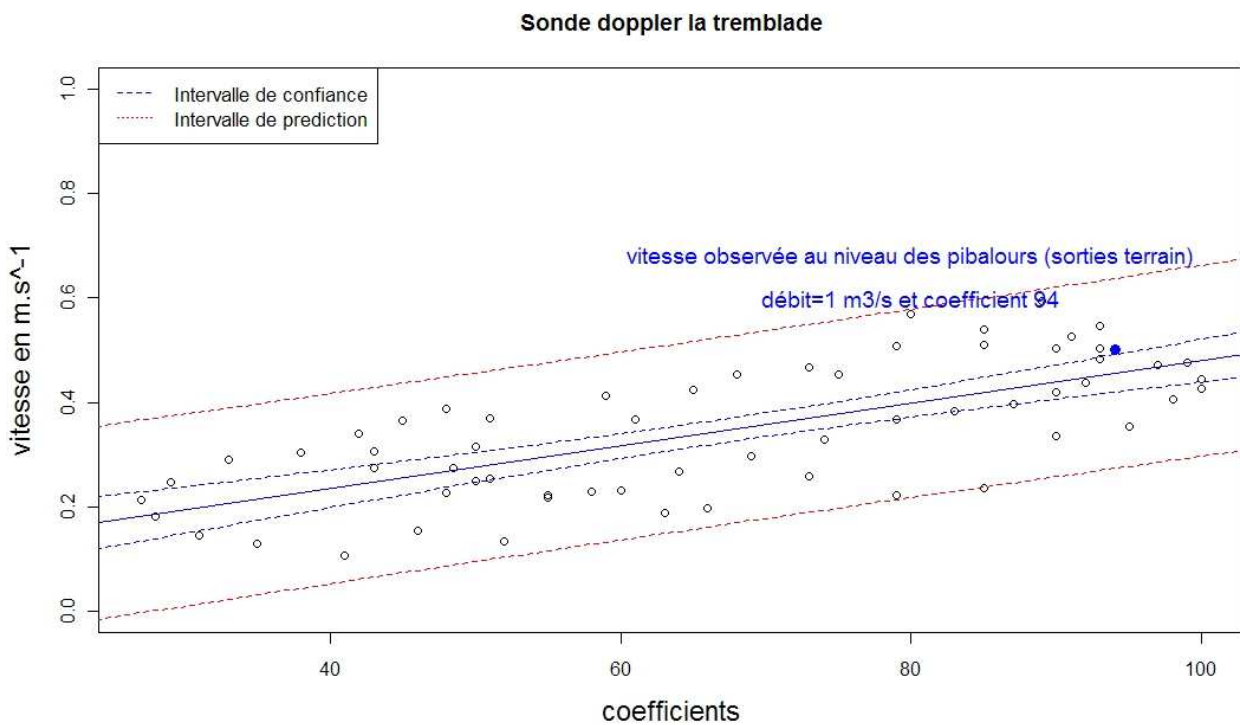


Figure 5. Modèle linéaire des vitesses moyennes observées en 2004 en fonction des coefficients suivant le modèle linéaire suivant : $\text{vitesse moyenne} = 0,004 * \text{coefficient} + 0,07$

4.2 Calculs du volume de l'estuaire.

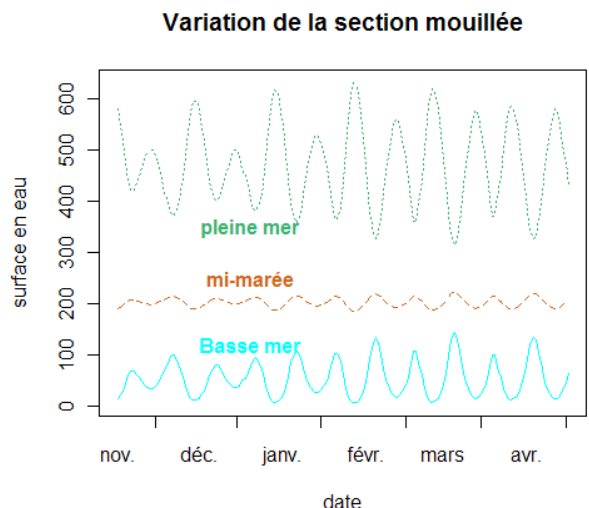
Le volume de l'estuaire estimé à pleine mer est de $22,24 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Le volume de l'estuaire à basse mer est de $15,83 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pour un coefficient de marée de 80. Le volume utilisé dans le modèle ψ_0 (cf page 2) est la moyenne des volumes à pleine mer et à basse mer. $\psi_0 = 18,92 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

La section de pêche au droit de la zone de pêche des pibalours se calcule de la manière suivante pour les conditions de pleine mer et basse mer :

$$\begin{aligned} h_{pm} &= 3.8917 + (0.0225 * \text{coef}) \\ h_{bm} &= 3.7642 + (-0.0301 * \text{coef}) \\ h_{mi} &= (h_{bm} + h_{pm}) / 2 \quad \# \text{ mi maree} \end{aligned}$$

La section mouillée se calcule à l'aide d'un polynôme d'ordre 2:

$$s = 14.927 * h^2 + 3.1411 * h + 2.4618$$



4.3 Engins de pêche et surface pêchante.

Le pibalour est l'engin de pêche spécifique des estuaires de Charente, de Gironde et de la Seudre. Une dérogation spécifique permet l'utilisation de cet engin de pêche. C'est un grand tamis de 14 m² d'ouverture dressé en double sur les cotés du navire (**Léauté J.P., 2002**). Les techniques de pêche utilisées ne sont pas exactement les mêmes au niveau des deux estuaires. Sur la Seudre on observe dix navires fixes ou postes fixes et des bateaux navigants, tous équipés de pibalours, alors qu'en Charente, seuls les bateaux navigants sont retrouvés (Figure 7 et 7). Les bateaux navigants peuvent régler la profondeur de leur engin de pêche et atteindre des profondeurs de 5 mètres. Les postes fixes sont situés dans la partie amont de la zone de pêche réglementaire de la Seudre. Ils filtrent des volumes dépendant uniquement des conditions hydrodynamiques (coefficient et débits).



Figure 7. Navire de pêche fixe armé de ses pibalours dans l'estuaire de la Seudre).



Figure 6. Navire de pêche mobile armé de ses pibalours dans l'estuaire de la Seudre

Leurs volumes filtrés sont donc inférieurs aux bateaux navigants car comme ils ne suivent pas la marée dynamique leur temps de pêche est inférieur et leur vitesse de filtration dépend uniquement de l'interaction entre les débits et les coefficients de marée. Depuis la saison de pêche 2006-2007, les dix postes fixes n'ont pas changé d'emplacement.

4.4 Temps de pêche et filtrations.

Le temps de pêche des navires est calculé par jour. Le temps de pêche moyen pour la saison 2009-2010 s'établit autour de 5 heures de pêche (Figure 8).

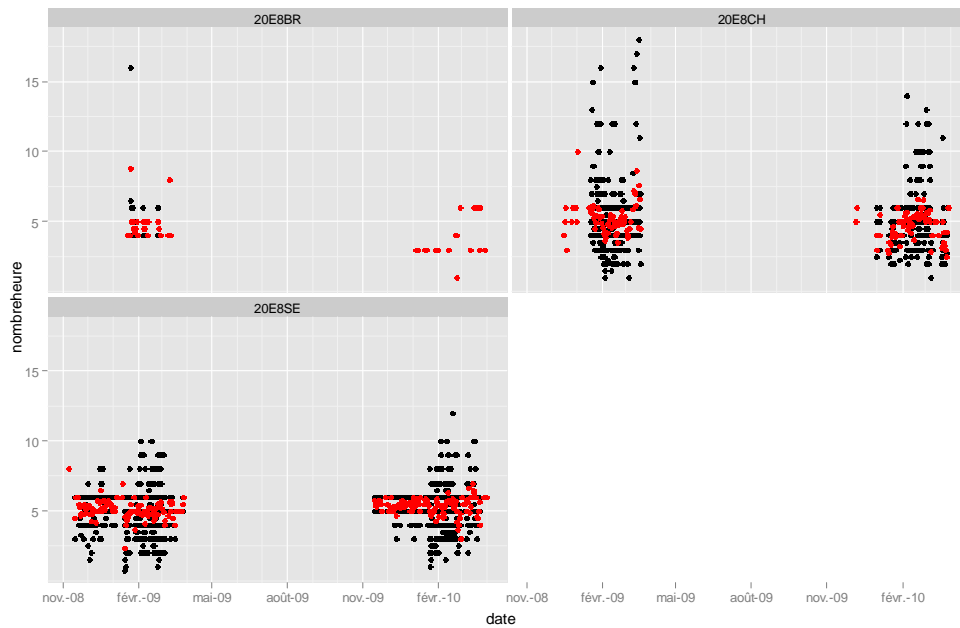


Figure 8. Nombre d’heures de pêche par secteur pour Brouage, Charente et Seudre, en rouge données moyennes.

Le temps de pêche des postes fixes dépend de la durée du nettoyage des tamis. Il est inversement proportionnel au coefficient de marée car le temps de nettoyage augmente avec la durée de la marée. Le nettoyage d’un tamis prends environ 3 minutes et le nettoyage est effectué une fois en petit coefficient mais jusqu’à 6 fois pour un gros coefficient de marée. Le temps de pêche des postes fixes est modélisé en fonction de la durée de pêche (qui dépend du coefficient) et du temps de nettoyage. Le calcul du temps de pêche (en heures) des bateaux navigants intervient dans le calcul de la filtration des postes fixes mais n’intervient pas directement dans la calibration du modèle. Au final ce sont les données observées qui ont été utilisées dans le modèle.

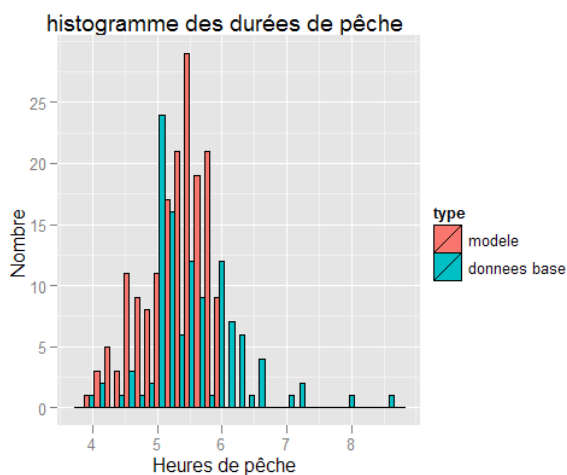


Figure 9. Durées de pêche modélisées et observées (postes fixes)

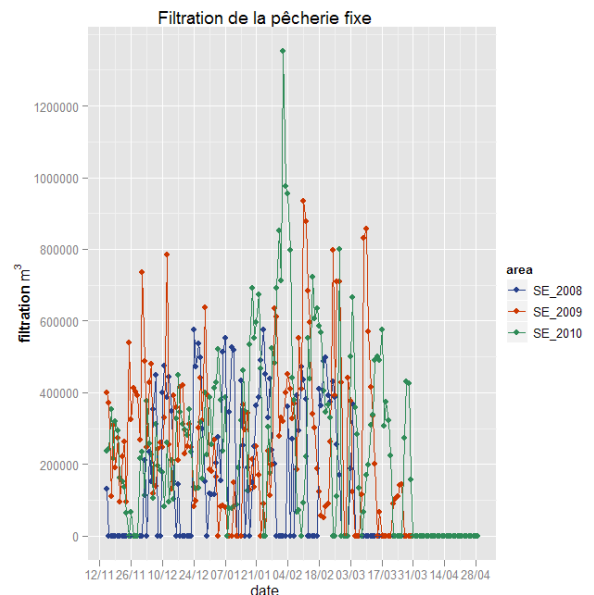


Figure 10. Filtration de l’estuaire par les pibalours (postes fixes)

Le volume filtré par les navires a été établi à partir des résultats expérimentaux obtenus lors du stage de Loïc Bertrand en 2009 (Tableau 1. Volumes filtrés retenus pour calibrer le modèle GEMAC.

Tableau 1. Volumes filtrés retenus pour calibrer le modèle GEMAC

Date	Temps de pêche	Fleuve	Type de navire	Volume filtré (m ³)	Volume (m ³ / heure)	Vitesse du navire ou vitesse moyenne lors du flot
27/02/2009	04:25:00	Seudre	mobile	305401	69147,39	1,37 m/s ou 2,66 nœuds
21/02/2009	02:44:00	Charente	mobile	166464	60901,46	1,20 m/s ou 2,34 nœuds
27/02/2009	05:15:00	Seudre	fixe	108350	20638	0,48m/s

Le temps de filtration des navires mobiles est calculé à partir de la filtration horaire d'un navire (69 147 m³/h) et du temps de pêche cumulé de la pêcherie. Le temps de pêche cumulé de la pêcherie correspond à la somme des temps de pêche des navires (Figure 11). Les temps de pêche des navires sont récupérés à partir des données collectées pour l'étude, en moyenne ils sont autour de 5 h par jours.

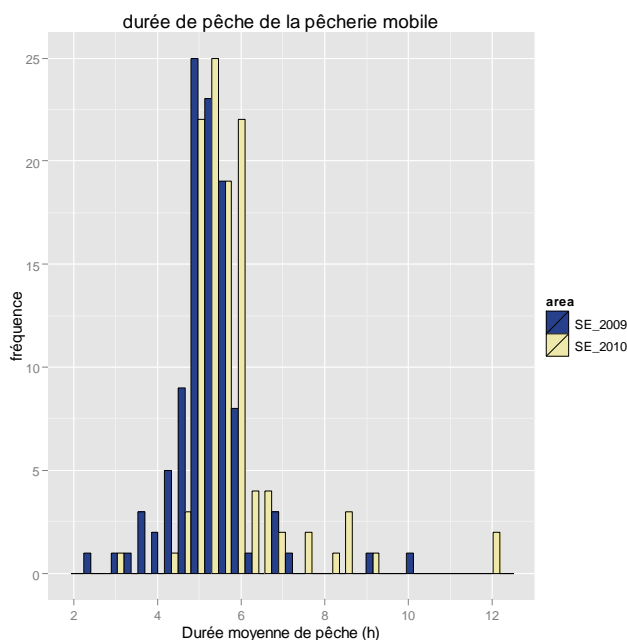


Figure 11. Histogramme des durées moyennes journalières de la pêche mobile

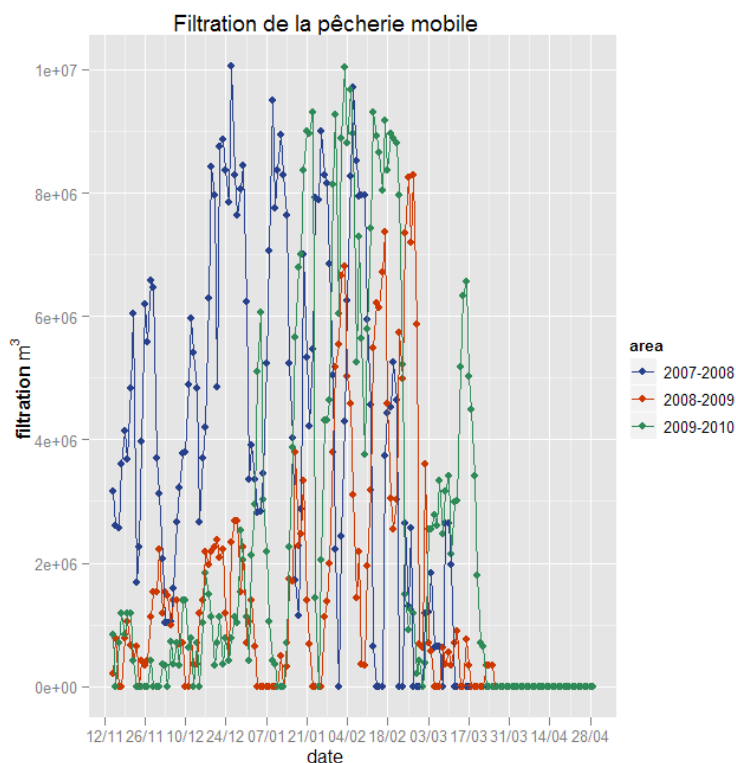


Figure 12. Filtrations (m³) de la pêcherie de Seudre pour les années 2008-2009 et 2009-2010

La pêcherie fixe compte entre 3 400 et 7 500 heures de pêche par saison ce qui correspond à un volume estimé de 235 à 523 millions de m³ filtrés. Les vitesses de courant beaucoup plus faibles (de l'ordre de 0,4 m/s) au niveau des postes fixes expliquent la différence entre les filtrations cumulées des deux types de navires alors que les temps de pêche cumulés ne diffèrent que d'un facteur deux.

Tableau 2. Temps de pêche cumulés et volumes filtrés par les pêcheries fixes et mobiles de la Seudre.

Saison	2007 2008	2008 2009	2009 2010
Navires mobiles			
Temps de pêche cumulé (h)	7579.8	3402.6	5828.5

Navires à poste fixe	Filtration cumulée (10^6 m ³)	523.9166	235.1873	402.8668
	Temps de pêche cumulé (h)		1931	2137
	Filtration cumulée (10^6 m ³)	21.52	36.22	40.92

4.5 Effort de pêche

L'effort de pêche sur la Seudre a été calculé à partir de l'ensemble des navires pour 2008-2009. Pour 2009-2010 il doit être redressé.

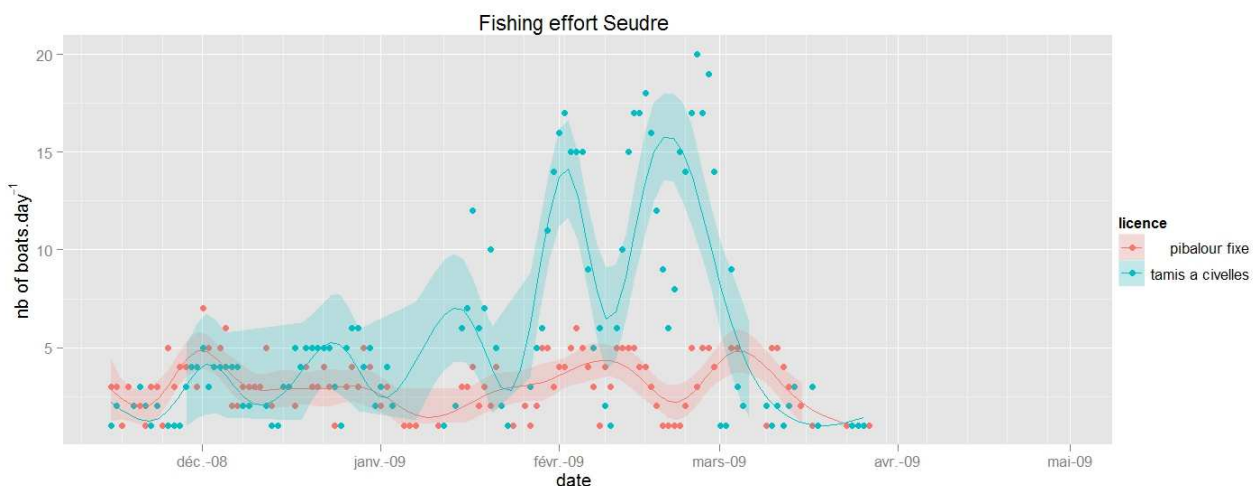


Figure 13. Nombre de navires par jour dans la Seudre pour la saison 2008-2009.

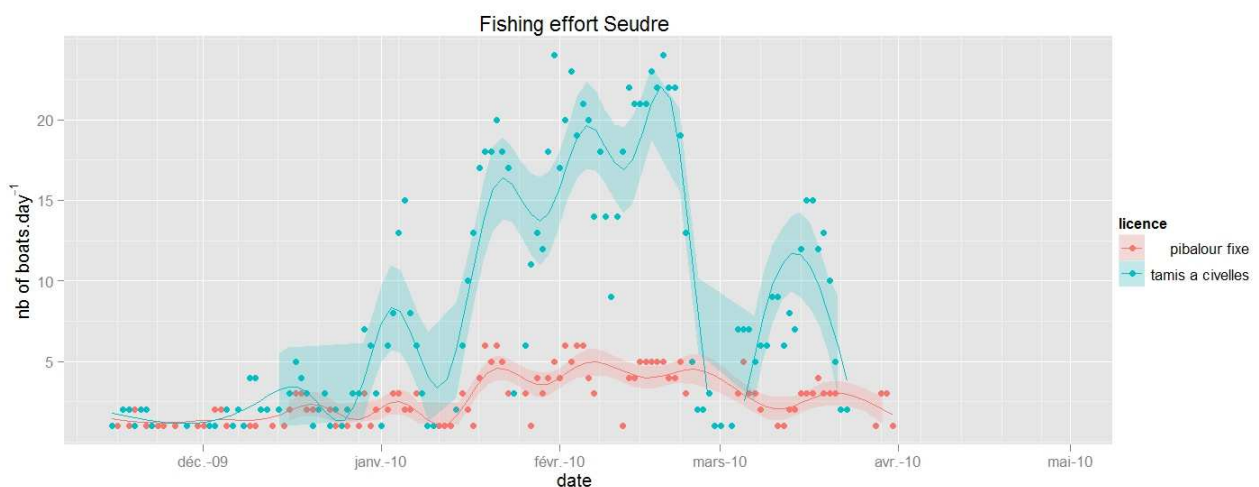


Figure 14. Nombre de navires par jour dans la Seudre pour la saison 2009-2010.

Le nombre total de navires ayant pêchés s'établit à 29 navires pour 2009 et 47 pour 2010. Il est difficile de qualifier le réalisme de ce nombre compte tenu du fait que les licences sont attribuées par quartier maritime et que les captures sont souvent rapportées au niveau de la zone englobant la Charente, la Seudre et Brouage. La présence de navires exerçant la pêche alternativement sur plusieurs secteurs rend difficile l'expertise précise au niveau local (**Bertrand, 2009**).

4.6 Captures

Les captures ne sont corrélées significativement aux coefficients de marée qu'en 2008, la corrélation n'est pas significative en 2009 et 2010. Les captures particulièrement faibles en décembre 2008 et janvier 2009 coïncident avec une baisse de l'effort mais pas avec une CPUE plus faible. De même, en 2010 on

trouve des captures totales très faibles en début de saison. Ces dernières correspondent à la fois à des CPUE très faibles et un effort limité. On peut en conclure que les civelles sont probablement peu abondantes au début de 2010 alors qu'en 2009 c'est plus un effet conjoncturel qui a limité la pêche.

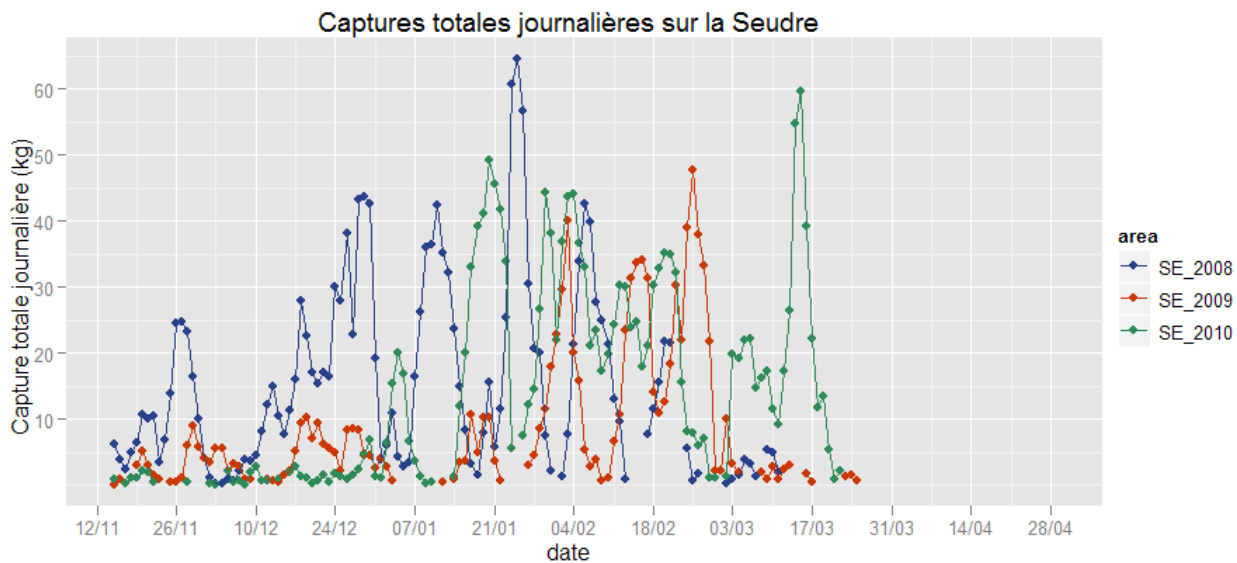


Figure 15. Capture totale journalière des civelliers de la Seudre pour trois saisons de pêche.

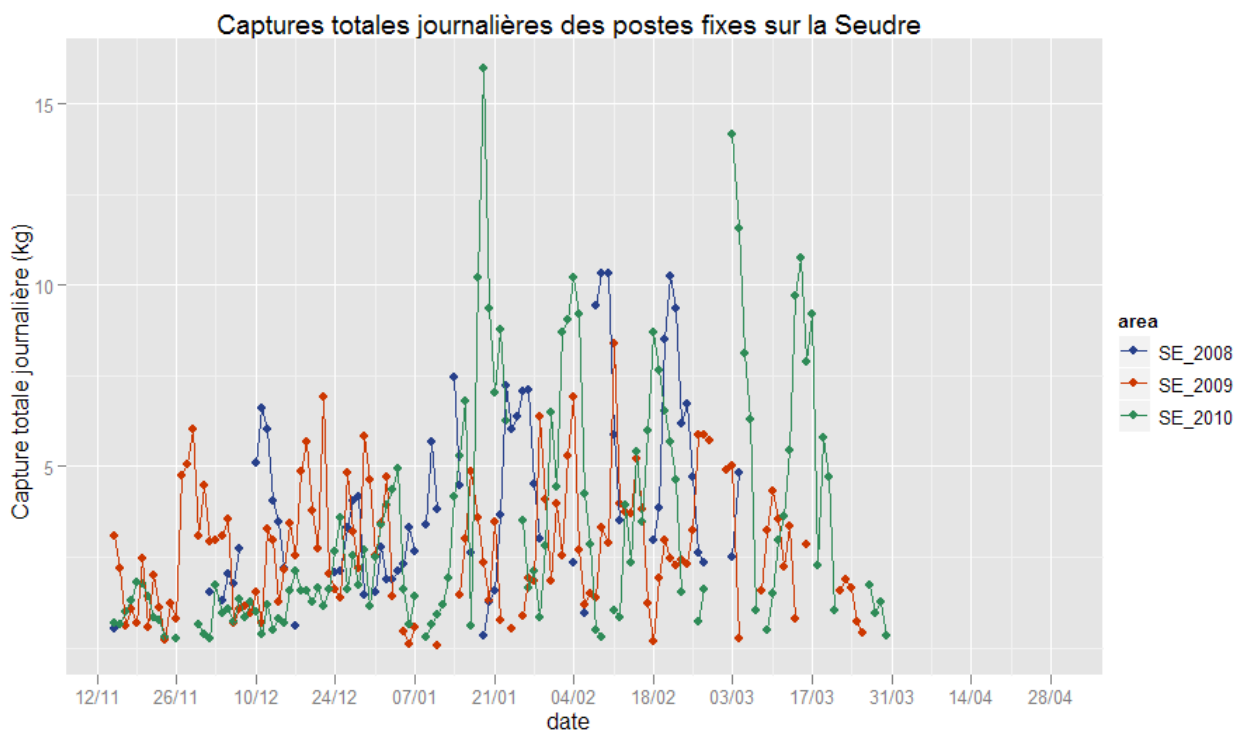


Figure 16. Capture totale journalière des navires à poste fixe de la Seudre pour trois saisons de pêche.

4.7 Captures par unité d'effort

Les captures par unité d'effort sont plus faibles en 2009 (1,15 kg.jour⁻¹) qu'en 2010 (1,4 kg.jour⁻¹). Pour les navires mobiles les CPUE s'établissent à 1,18 et 1,37 kg.jour⁻¹ pour 2009 et 2010 respectivement. Pour les navires à poste fixes, les CPUE sont de 0,9 kg.jour⁻¹ pour les deux saisons de pêche. Les faibles CPUE sont principalement observées en décembre 2010 (Figure 17). Les CPUE de 2008 sont semblables, en

moyenne sur la saison 2007-2008 : la pêche mobile avait une CPUE de 1,67 kg.jour⁻¹ et les postes fixes se situaient à un niveau de 0,95 kg.jour⁻¹ (Figure 19, **Bertrand, 2009**).

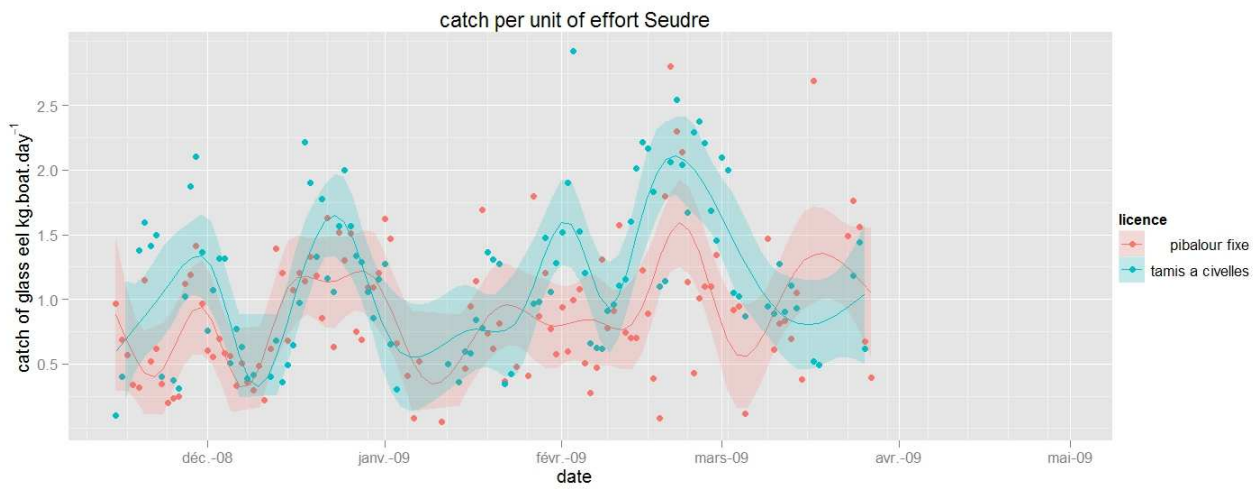


Figure 17. CPUE dans la Seudre pour la saison 2008-2009.

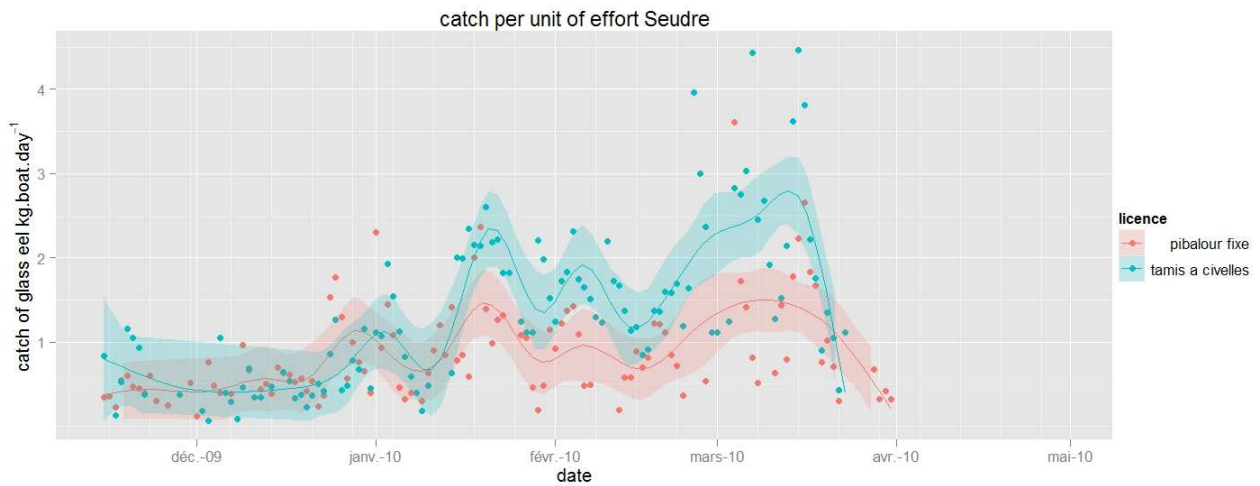


Figure 18. CPUE dans la Seudre pour la saison 2009-2010.

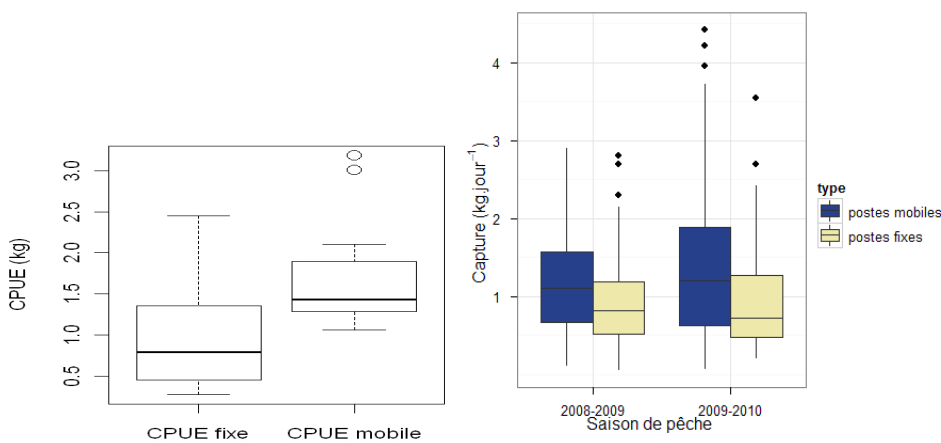


Figure 19. Box-plot des CPUE dans la Seudre. A gauche travail de Bertrand (2009) à droite données 2008-2009 et 2009-2010.

Tableau 3. Résultats détaillés par mois pour les saisons 2008-2009 et 2009-2010 sur la Seudre.

	Octobre	Novem.	Décem.	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	total
Saison 2008-2009									
Poids total (kg)	0	68.5	208.5	153	717	70.9	0	0	1217.9 (PM 906 PF 310)
CPUE (kg.sortie ⁻¹)	0	0.91	0.95	0.86	1.48	0.92	0	0	1.15
nombre de pêcheurs	0	10	14	24	28	16	0	0	32
Saison 2009-2010									
Poids total (kg)	0	19.5	85.1	654.3	789.9	517.8	0	0	2066.5 (PM 1674 PF 393)
CPUE (kg.sortie ⁻¹)	0	0.51	0.53	1.59	1.33	2.05	0	0	1.4
nombre de pêcheurs	0	6	13	36	42	26	0	0	47

4.8 Taux d'exploitation de la pêche fixe.

Le taux d'exploitation est calculé par un modèle d'exploitation séquentielle pour les navires (voir partie 3.5) en utilisant comme base la surface de filtration (14 m²). Le taux d'exploitation dépend de la surface de tamis (fixée pour le calcul à 14 m²) divisée par la section de l'estuaire. La section de l'estuaire varie entre 50 m² et 500 m² entre la basse mer et la pleine mer. La valeur à mi marée s'établit à 200 m². Si on fait l'hypothèse d'une distribution aléatoire des civelles, un pibalour peut pêcher 7 % du stock à mi-marée. Le taux d'exploitation pour 9 pibalours va s'établir à $\Rightarrow 1-(1-0.07)^9 = 0.48\%$. Le taux d'exploitation varie de manière importante au cours de la marée (Figure 20).

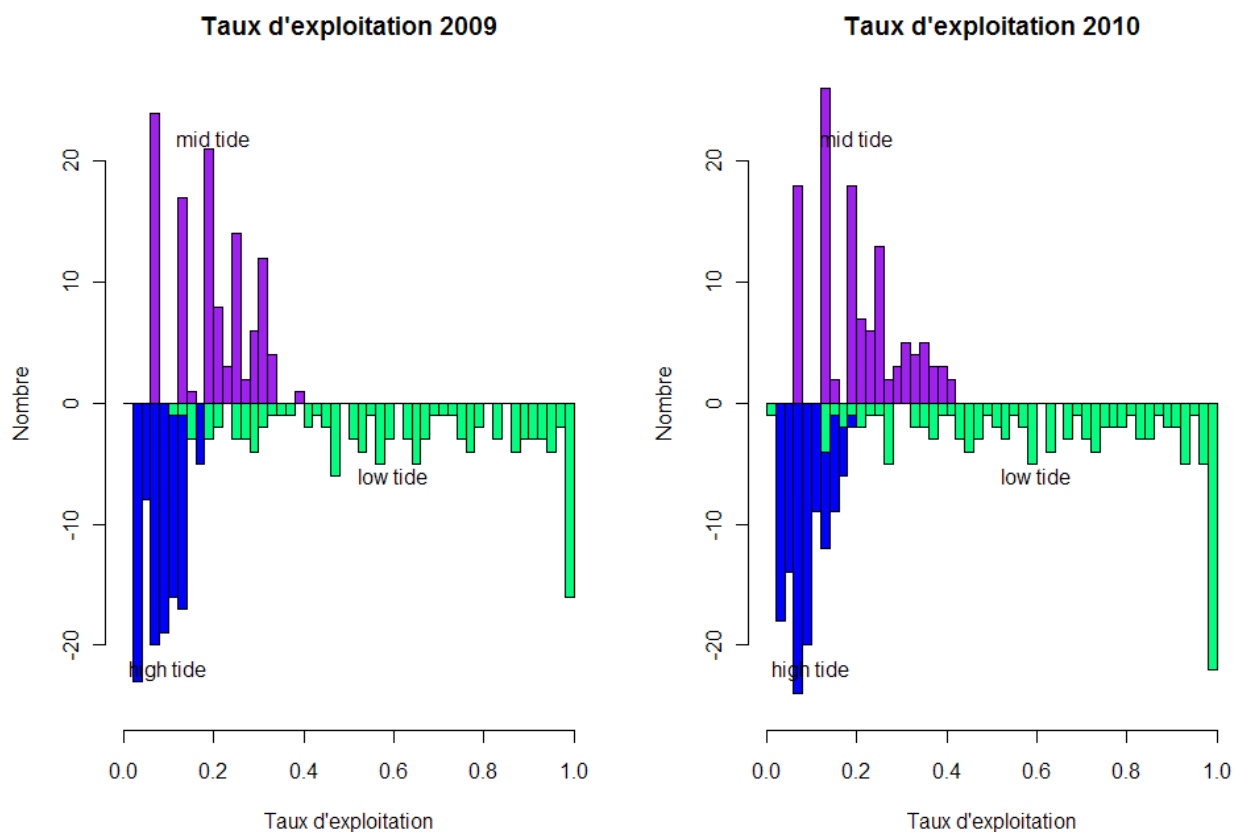


Figure 20. Histogrammes des fréquences de taux d'exploitation observés en 2009 et 2010. Le taux d'exploitation calculé dépend du coefficient de marée et du nombre de navires à poste fixe pêchant la civelle un jour donné.

L'expérience des pêcheurs indique que l'exploitation des civelles a plutôt lieu à partir de la mi-marée. La moyenne du taux d'exploitation est de l'ordre de 20% à mi marée. Ce niveau correspond aux grands coefficients de marée quand l'exploitation des civelles est possible.

A pleine mer du fait du remplissage de l'estuaire et de la diminution de la section relative du pibalour par rapport à celle de l'estuaire, le taux d'exploitation diminue de 8% en moyenne pour l'ensemble de la pêche de postes fixes (Figure 20).

Par rapport aux hypothèses effectuées en 2009 (**Bertrand, 2009**) l'utilisation d'un modèle de pêche séquentielle augmente la valeur du taux d'exploitation. Si on se base uniquement sur les volumes, les navires fixes filtrent en moyenne 1,1% à 1,2 % de l'estuaire en 2009 et 2010. Au maximum, ils filtrent 5 à 7% du volume de l'estuaire, quand les vitesses de courant sont importantes.

4.9 Estimation de stock en estuaire.

Pour prendre en compte l'incertitude liée à la variabilité des taux d'exploitation en fonction du moment de la marée, plusieurs hypothèses sont effectuées (Figure 21). Le stock est plus important si on fait l'hypothèse que le stock est pêché à pleine mer. Pour chaque hypothèse, une calibration du modèle est effectuée.

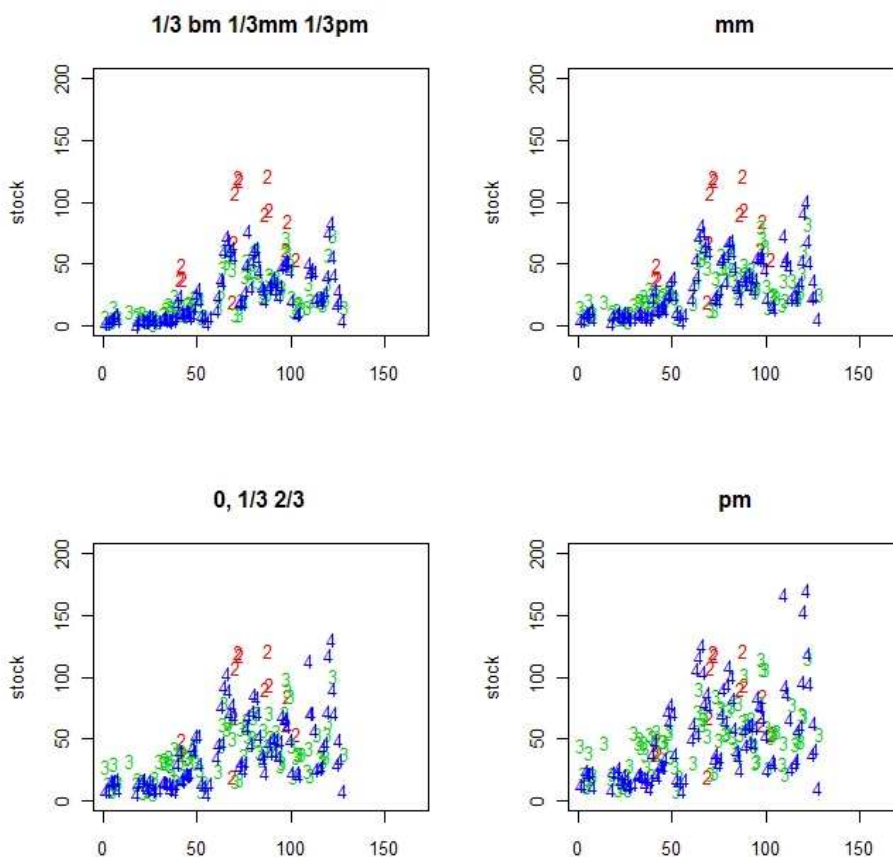


Figure 21. Estimation de stock faite par plusieurs hypothèses. 1/3bm 1/3mm 1/3 pm= l'exploitation des civelles par les pibalours se fait pour 1/3 à basse mer, 1/3 à mi-marée, 1/3 à pleine mer. Mm= le taux d'exploitation est calculé à partir de la section de l'estuaire à mi-marée, 0 1/3 2/3 = 1/3 de l'exploitation se fait à mi-marée, les deux tiers restants sont effectués à pleine mer, pm = l'exploitation se fait à pleine mer.

5 Calibration du modèle

5.1 Calage du modèle et paramètres GEMAC optimisés pour la Seudre

Le calage du modèle a été effectué sur les variables :

- ✓ captures totales journalières des navires mobiles,
- ✓ captures totales journalières des postes fixes,
- ✓ CPUE,
- ✓ stock,
- ✓ captures totales des navires fixes,
- ✓ capture totale des navires mobiles.

Il a été effectué pour quatre scénarios d'estimation de stock en estuaire. Ci-dessous, les paramètres optimisés selon un unique scénario en 2009 (Tableau 4) et les paramètres optimisés selon 4 scénarios en 2011 (Tableau 5).

Tableau 4. Valeur des paramètres optimisés en 2009.

	Charente		Seudre	
	Paramètres initiaux	Paramètres optimisés	Paramètres initiaux	Paramètres optimisés
R_0 (2006-2007)	50	91,6	50	25
R_0 (2007-2008)	50	87,9	50	56,8
ψ	1	0,95	1	1,68 (4.15 ⁴)
ψ' (postes fixes) ⁵	60901	20000	1	3,13 (2.23)
ψ_{0j} (m ³)			2*10 ⁷	14245000

Tableau 5. Valeur des paramètres optimisés en 2011. (bm=basse mer, mm=mi-marée, pm=pleine mer)

Scénario	Paramètre	Valeur initiale	Valeur optimisées	SCE finale
1/3 bm 1/3 mm 1/3 pm	$R_{0j=2008-2009}$	50	23.4	6.97
	$R_{0j=2009-2010}$	50	41.2	
	ψ	1	6.22	
	τ'	1	0.29	
0 bm 1/3 mm 2/3 pm	$R_{0j=2008-2009}$	50	25.94	6.25
	$R_{0j=2009-2010}$	50	44.35	
	ψ	1	2.92	
	τ'	1	0.62	
0 bm 1 mm 0 pm	$R_{0j=2008-2009}$	50	25.82	7.15
	$R_{0j=2009-2010}$	50	44	
	ψ	1	2.69	
	τ'	1	0.38	
0 bm 0 mm 1 pm	$R_{0j=2008-2009}$	50	27.4	5.84
	$R_{0j=2009-2010}$	50	44.6	
	ψ	1	1.78	
	τ'	1	0.53	

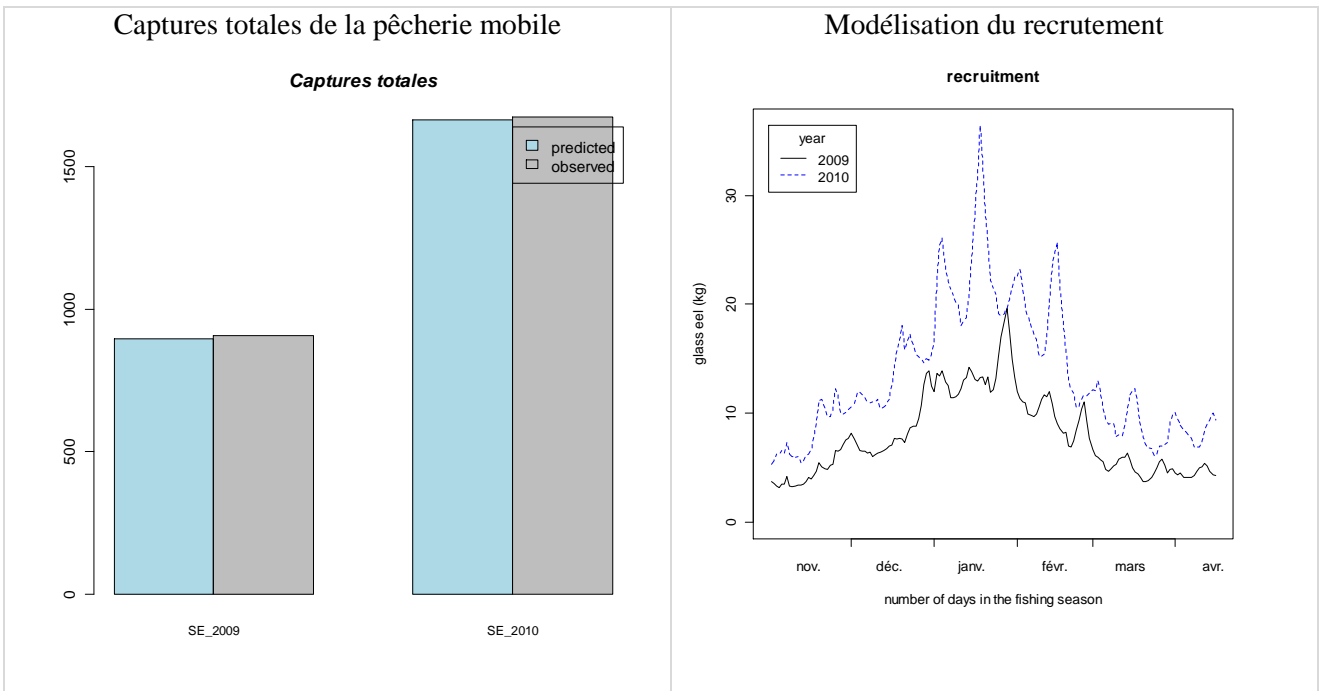
Les captures postes fixes sont forcément plus larges que prévues en début de calibration. La meilleure calibration est lorsqu'on suppose que le stock est capturé entièrement à pleine mer.

⁴ Comme l'optimisation a aussi été faite sur le volume de l'estuaire (ψ_{0j}), les coefficients corrigés correspondent au facteur de multiplication de l'effort (ψ) tel qu'écrit dans l'équation $F = \psi^* (\psi_{dj} / \psi_{0j})$.

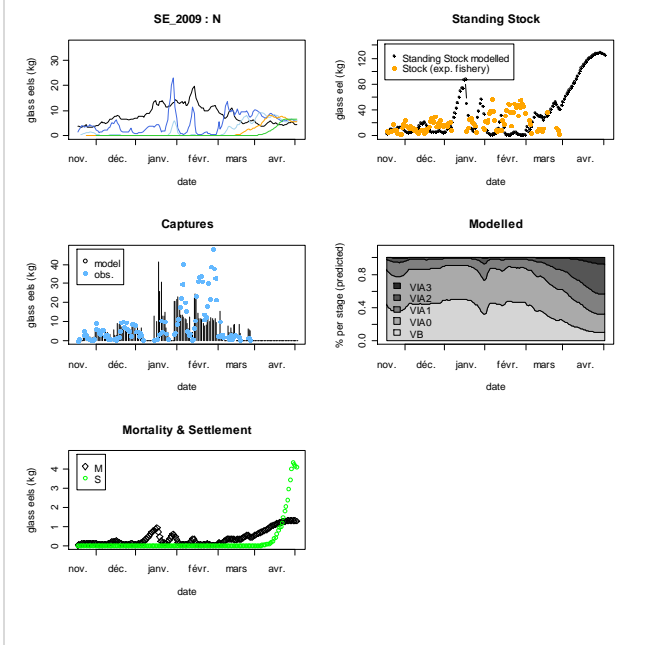
⁵ Correspond au facteur de concentration mais pour les postes fixes.

5.2 Principaux résultats du modèle.

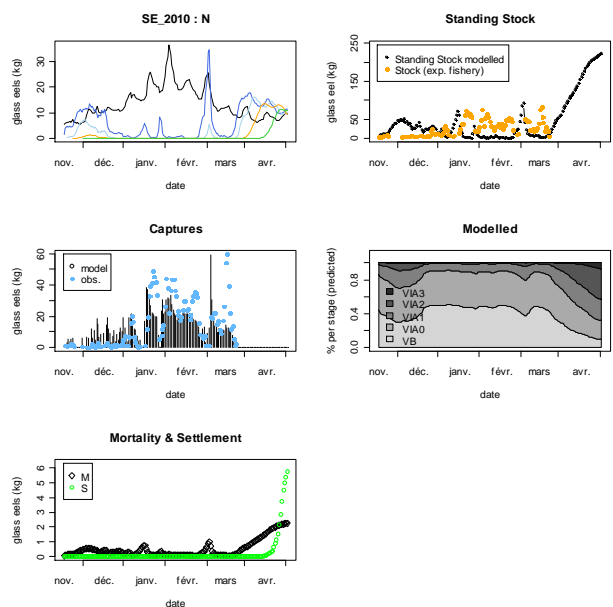
Ci-dessous quelques illustrations des résultats pour le modèle calibré avec le scénario 1/3 1/3 1/3.



Principaux résultats du modèle (de haut en bas et de gauche à droite), stock en place, capture postes mobiles, mortalité naturelle et sédentarisation, stock observé et prédit par le modèle, structure en stades pigmentaires. Résultats pour 2009

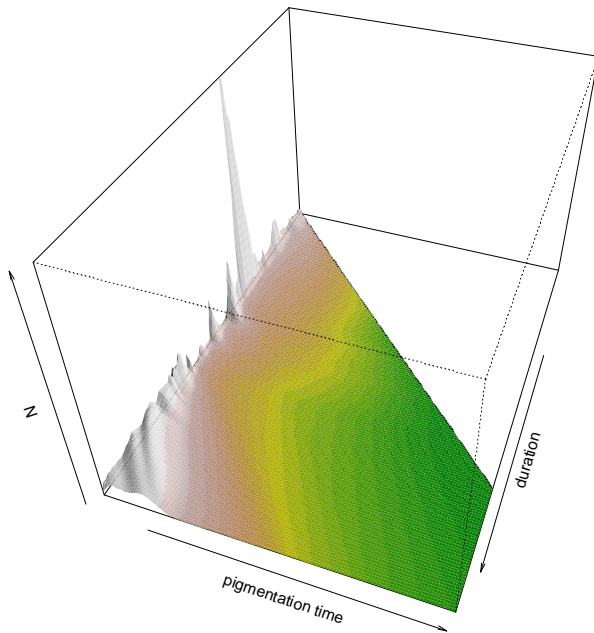


Résultats pour 2010



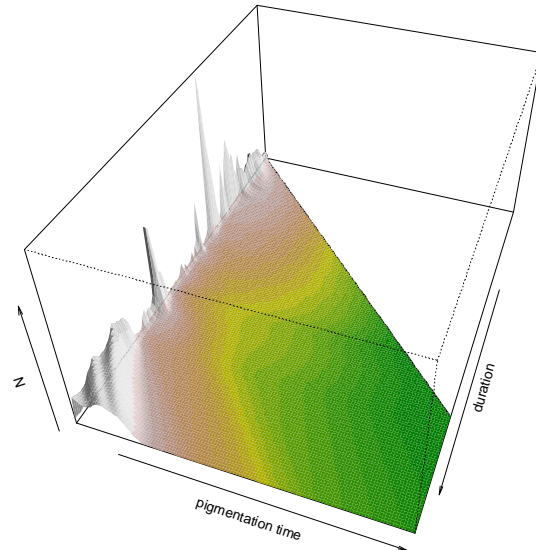
Stock de l'estuaire en fonction de la date et du temps pigmentaire. D'après le modèle, les civelles n'ont pas l'occasion de subir d'accumulation ou de vieillissement pigmentaire.

N SE_2009

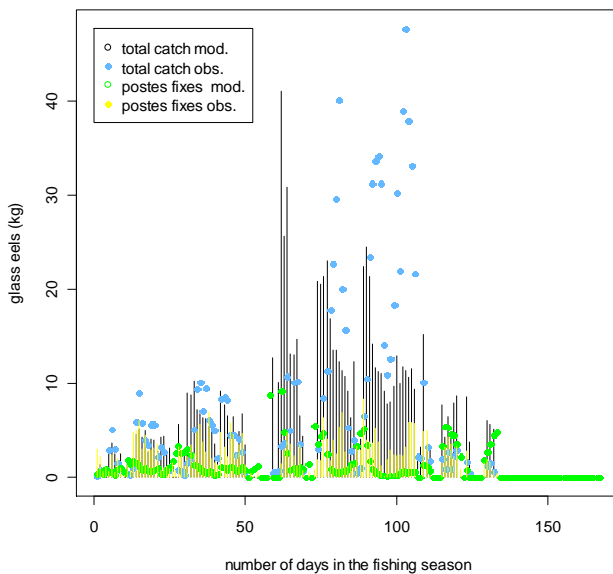


L'échappement se limite à la fin de la saison.

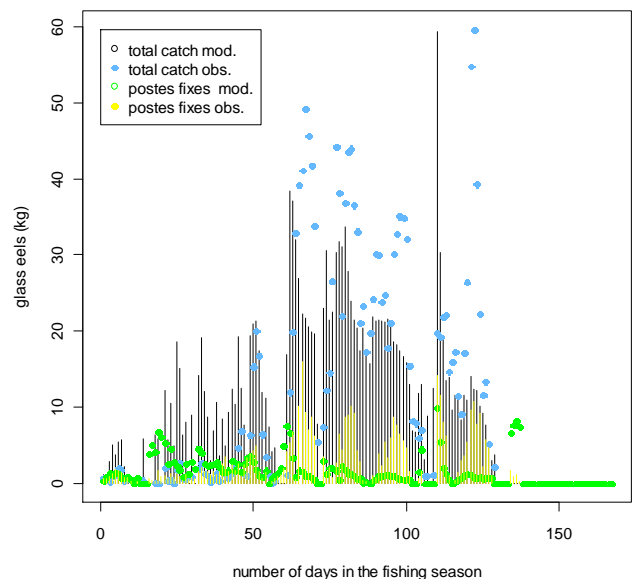
N SE_2010



SE_2009 Seudre



SE_2010 Seudre



Captures observées et prédites pour les postes fixes et les postes mobiles.

5.3 Pourcentages de jaunes par recrue (%Y/R) sur la Charente et la Seudre :

Le % SPR (Spawning Potential Ratio) correspond au nombre de géniteurs par civelle, divisé par le SPR lorsque que les mortalités anthropiques sont nulles ($SPR_{A=0}$). Lorsqu'on néglige la densité dépendance au stade jaune le $\%SPR = -\ln A$ avec A correspondant au taux de mortalité instantané cumulé lors de la phase de vie continentale (ICES, 2010). Cette mortalité cumulée par phase de vie est une des valeurs qu'il faudra déterminer par Unité de Gestion Anguille (ICES 2010). La limite de mortalité telle que fixée par le règlement anguille est au maximum de 60% SPR (40% de biomasse lorsque le stock est à son niveau

historique : biomasse pristine). Mais du fait du déclin du stock, et suivant les règles de gestion du CIEM cette limite devrait être abaissée encore⁶ (ICES, 2011).

$$\%SPR = \%YpR * \%SpY * \%GpS$$

- % YpR le pourcentage d'anguilles jaunes par civelles,
- % SpY le pourcentage d'argentée par anguille jaune, qui prend en compte les mortalités d'origine anthropiques au stade jaune,
- % GpS le pourcentage de géniteurs par anguille argentée qui prend en compte les mortalités des turbines et des pêcheries d'anguille d'avalaison.

Comme ces pourcentages sont multiplicatifs le %YpR admissible est forcément inférieur s'il existe des mortalités dans les autres phases de vie.

Tableau 6.- Principaux résultats des modélisations de 2009. Les valeurs en italique (2006-2007) sont basées sur des données incertaines.

	Seudre		Charente	
	<i>2006-2007⁷</i>	2007-2008	2006-2007	2007-2008
Recrutement (kg)	<i>1800</i>	3300	5288	5550
Captures totales	<i>1450</i>	2242	3351	3885
Civelles échappement (kg)	<i>219</i>	735	1287	972
Taux d'exploitation (%)	<i>81</i>	68	63	70
%SPR	<i>20</i>	37	33	25

Tableau 7.- Principaux résultats des modélisations de 2011 pour différentes hypothèses de calcul du stock en place de l'estuaire. En gras et vert, meilleure calibration et modèle le plus probable, il suppose que la capture des postes fixes s'effectue autour de la pleine mer.

	1/3bm 1/3mm 1/3pm		1/3mm 2/3pm		mm		pm	
	2008-09	2009-10	2008-09	2009-10	2008-09	2009-10	2008-09	2009-10
Recrutement (kg)	1324	2262	1486	2434	1461	2413	1550	2448
Captures totales mobiles (kg)	896	1664	895	1660	877	1629	926	1662
Captures totales fixes (kg)	197	256	264	362	273	374	248	330
Civelles échappement (kg)	166	257	212	294	212	291	247	308
Taux d'exploitation ⁸ (%)	82	85	79	83	79	83	76	81
%SPR	22	22	25	23	25	23	28	24

⁶ La règle de gestion est qu'en dessous d'une limite correspondant à la Biomasse de précaution (Bpa) on diminue de manière linéaire la mortalité. Par exemple on la diminue de moitié si le stock est à 50% de Bpa. Le recrutement en 2011 est autour de 4% de son niveau d'avant la chute (ICES, 2011), c'est-à-dire 4% du niveau correspondant à Bpa. Cette chute est probablement moins importante pour le stock car dans le passé, toutes les civelles ne survivaient pas du fait de la saturation des bassins versants (densité dépendance). Les données de pêche électrique indiquent que les densités d'anguilles jaunes (correspondant aux arrivées des années 2000) sont à 40% de leur niveau des années 1980. Compte tenu de ce chiffre le **%SPR devrait être revue à la hausse et être proche de 85%**. Il n'y a pas eu de décision formelle de la part de la commission européenne sur le niveau de mortalité, mais le plan de gestion Français indique que le stock devrait être géré à la fois par rapport à une cible en Biomasse et une cible en mortalité.

⁷ Données jugées insuffisantes pour une modélisation complète (Bertrand, 2009)

⁸ $(\text{result}\$SPR\$\text{sumC} + \text{result}\$SPR\$\text{sumCI}) / \text{result}\$SPR\$\text{sum recruit}$

6 Discussion:

6.1 Collecte des données :

La collecte des données pour les saisons 2008-2009 et 2009-2010 a été réalisée par la DDTM17 et la saisie a été assurée par la Cellule Migrateurs Charente sous Access. Les informations ont ensuite été vérifiées (notamment les secteurs de pêche précis) par les secrétaires du CLPMEM MO, Alde Grandpierre (DDTM17) et Aurélie Nadeau (IFREMER). Les données ont ensuite été transmises à Cédric Briand qui a réalisé l'analyse avec le modèle GEMAC. Les données de la saison 2010-2011 ont été récoltées et saisies directement par la DDTM17 en juillet 2011 grâce à un emploi saisonnier. Pour les années à venir, le CRPMEM s'est positionné pour poursuivre cette saisie de la même manière. De plus, le CRPMEM prévoit de rappeler aux pêcheurs de justifier au mieux le secteur de pêche (Charente ou Seudre) pour la saison 2011-2012.

6.2 Tendances du taux d'exploitation sur l'estuaire de la Seudre :

La collecte de données supplémentaires permet de valider les résultats obtenus lors d'une seule année de collecte en Seudre (2007-2008). Les taux d'exploitation de 2007 à 2010 sont en légère augmentation (68% puis 76 et 81%). Les résultats de la saison 2006-2007 sont considérés comme non modélisables. Cette évolution peut s'expliquer de la manière suivante :

- les méthodes différentes de calibration du modèle ont été utilisées pour les deux premières saisons (2006-2007 et 2007-2008) et pour les deux dernières (2008-2009 et 2009-2010).
- pour les deux premières saisons, la calibration du stock en place sur la base des volumes filtré aura eu tendance à sous estimer le taux d'exploitation des pibalours en postes fixes, et donc à augmenter le stock en place et diminuer le taux d'exploitation global. La calibration sur la base de pêcheries séquentielles est jugée plus juste que la méthode utilisée par Bertrand (2009), et les chiffres des deux premières années sont probablement sous évalués.
- la mise en place du plan de gestion de l'anguille par la France et d'une gestion par quota a conduit à l'abandon des mesures de gestion basées sur la saison de pêche. Globalement l'effort de pêche a diminué sur l'estuaire de la Seudre, du fait des plans de sortie de flotte et de la fermeture progressive du marché asiatique par la CITES, mais la saison de pêche a augmenté. Dans les contextes de forte exploitation, la diminution de l'effort nominal ne se traduit pas nécessairement par une diminution de la mortalité, car une partie des captures se fait « en concurrence » entre les pêcheurs (**Beaulaton et Briand, 2007**). Dans ces contextes, parmi les mesures de gestion, c'est bien la saison de pêche qui permet d'obtenir le plus d'efficacité en terme de diminution de mortalité. Une poursuite de la diminution des quotas pourrait cependant finir par se traduire par un effet équivalent (diminution de la saison de pêche).

6.3 Comparaison aux autres estuaires (Gironde, Vilaine, Adour):

Les taux d'échappement calculés sur la Charente et la Seudre sont inférieurs à ceux observés en Gironde (54%) et supérieur à ceux observés en Vilaine (2%). Les taux d'exploitation actuels ne sont pas conformes aux exigences du plan de gestion pour l'anguille.

6.4 Perspectives et limites du modèle :

Le modèle GEMAC est basé sur trois piliers distincts, le premier est l'estimation du stock en place, le second la mortalité par pêche, et le troisième le recrutement.

L'estimation des stocks en place par les pibalours est globalement jugée robuste. En effet, l'incertitude autour du taux d'exploitation pour différentes dynamiques de captures au cours du cycle de marée a fait l'objet d'un développement particulier qui montre que globalement l'incertitude a peu d'effet sur le résultat. A l'estimation du stock en place en amont de l'estuaire, on rajoute la capture des pibalours mobiles pour donner une estimation du stock présent, un jour donné, pour l'ensemble de l'estuaire. Les calculs des vitesses de courant montrent que les civelles mettent probablement plusieurs jours pour arriver jusqu'aux postes fixes.

Pour un jour donné, on peut tester des alternatives du type :

$$\text{stock}(d) = \text{stock_amont}(d) + \text{capture_mobile}(d)$$

ou

$$\text{stock}(d) = \text{stock_amont}(d) + \text{capture_mobile}(d)/2 + \text{capture_mobile}(d-1)/2.$$

Au final, cette répartition des captures sur une ou plusieurs journées n'a que peu d'effet sur le niveau du stock et les résultats du modèle.

La pêche fait l'objet de reports entre la Seudre et la Charente et même si la saisie des données de capture a fait l'objet d'une attention particulière, des erreurs de report, ou de saisie, ou de rapportage auront une grande influence sur les résultats du modèle. Seules des données de qualité, et un bon remplissage des fiches de pêche, peuvent conduire à des estimations fiables. A ce titre le report de captures nulles et le détail des zones de pêche sont importantes. Ces données ne sont pas jugées comme prioritaires pour l'instant au plan national et les données recueillies dans le cadre du plan de gestion de l'anguille ne sont pas adaptées à des exercices de modélisation par estuaire.

Le recrutement joue un grand rôle dans l'estimation du taux d'exploitation. Le coefficient d'ajustement global du recrutement qui permet de prédire à la fois le stock en place et les captures est forcément bien calibré. Par contre, les variations saisonnières et journalières du recrutement ne décrit pas forcément bien les variations journalières des captures. Le processus de recrutement vers la Seudre via le Pertuis Charentais fait probablement l'objet d'une dynamique complexe, et ce d'autant plus qu'une partie de l'exploitation a lieu en dehors de l'estuaire de la Seudre. Cette exploitation n'est pas décrite dans le modèle.

Le taux d'échappement du modèle est très sensible aux arrivées en dehors de la saison de pêche. Ce résultat, également observé sur la Vilaine, nécessite une connaissance des arrivées tardives par d'autres moyens, captures expérimentales ou suivi de passe. Dans l'état, le résultat obtenu est donc un résultat « moyen » qui fait l'hypothèse que la dynamique de recrutement sur la Seudre est globalement identique à celle modélisée à partir des données de la Vilaine et de la Gironde. Mais un raffinement du modèle, s'il permettra de mieux ajuster les captures journalières, ne changera pas beaucoup les résultats.

Une dernière hypothèse est faite dans le modèle. L'ensemble de l'estuaire est soumis au taux d'exploitation et il n'y a pas de zone de refuge en amont ou sur les marais. Ce postulat est probablement juste avant mars, lorsque les taux d'exploitation sont importants, et que les civelles mettent du temps à faire leur évolution pigmentaire, et à gagner le comportement de nage à contre courant. Lors de cette période, elles doivent avoir tendance, pour les phases de coefficients descendants, à retourner dans l'estuaire sous l'effet de la migration centrée sur un rythme tidal. Pour le mois de mars, il est probable qu'un échappement plus important existe. Cependant, les résultats des montées observées à la passe de ne semblent pas indiquer que cet échappement soit très important. Du 15 avril au 15 juillet 2010, 23,8 kg soit 71 700 civelles environ sont montées au-dessus de l'écluse de Ribérou grâce à la passe. Selon le modèle, 308 kg (taux d'échappement) ont du sortir de la pêcherie. Même s'il on considère qu'une partie des civelles « échappées » est aussi passée avant le 15 avril à Ribérou, il y a néanmoins un écart important avec les 23,8 kg récoltés à la passe. La quantité de civelles ayant passée au-dessus de l'écluse représente 7,7% du stock qui a traversé la pêcherie.

7 Conclusion:

En premier lieu, il faut préciser que la collecte des données est de plus en plus performante depuis 2006 grâce aux différentes structures participantes et au travail de précision des secteurs.

Comme pour l'analyse des données des saisons 2006-2007 et 2007-2008 (**Bertrand, 2009**), les captures des postes fixes des saisons 2008-2009 et 2009-2010 ont permis un calcul précis des taux d'exploitation et d'échappement. De plus, le travail réalisé en prenant en compte la marée permet d'améliorer la précision du modèle (pleine mer).

Ces taux, de 76 et 81% respectivement pour 2008-2009 et 2009/2010, montrent que l'échappement est faible sur cet estuaire. Les résultats de la passe de Saujon le confirment.

Ce taux sera de nouveau calculé pour les saisons ultérieures pour suivre son évolution. Le suivi de la passe de Ribérou est aussi suivi annuellement. Il serait intéressant par la suite de suivre les entrées de civelles et anguillettes en marais de la Seudre pour connaître l'échappement en marais dans la zone de la pêcherie maritime professionnelle.

8 Bibliographie :

- Beaulaton, L. & C. Briand. 2007. Effect of management measures on glass eel escapement. *ICES Journal of Marine Science* **64**: 1402-1413.
- Bertrand L. 2009. Etude de l'impact de la pêche à la civelle sur les estuaires de la Seudre et de la Charente dans le cadre du règlement Européen R(CE) 1100/2007. Rapport de stage de master 2 Pro dynea « dynamique des écosystèmes aquatiques ». Université de Pau et des Pays de l'Adour. 72p.
- Beverton, R. J. H.; Holt, S. J. (1957), On the Dynamics of Exploited Fish Populations, Fishery Investigations Series II Volume XIX, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Briand, C., D. Fatin, E. Ciccotti & P. Lambert. 2005. A stage structured model to predict the effect of temperature and salinity on glass eel *Anguilla anguilla* pigmentation development. *Journal of Fish Biology* **67**: 993-1009.
- Briand, C., D. Fatin, G. Fontenelle & E. Feunteun. 2006. Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (Vilaine river, Southern Brittany). *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture* **378**: 67-86.
- Cantrelle, I. 1981. Étude de la migration et de la pêche des civelles (*A. anguilla* L., 1758) dans l'estuaire de la Gironde. Thèse 3-ème cycle, Université de Paris VI, Paris. 238 pp.
- Ciccotti, E. 2007. New ecological methods for the assessment of glass eel (*Anguilla anguilla*) recruitment, for the sustainable management of this resource report n. 6A21, Università Degli Studi Di Roma, Italy.
- De Casamajor, M.N. 1998. Comportement migratoire de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour en fonction de la variabilité des conditions environnementales. Thèse docteur de troisième cycle, Université de Pau et des pays de l'Adour, Pau. 138 pp.
- Dekker, W., M. Pawson, A. Walker, R. Rosell, D. Evans, C. Briand, G. Castelnaud, P. Lambert, L. Beaulaton, M. Åström, H. Wickström, W.R. Poole, T. McCarthy, M. Blaszkowski, G.A. De Leo & D. Bevacqua. 2006. Restoration of the European eel population; pilot studies for a scientific framework in support of sustainable management: SLIME.
- Elie, P. 1979. Contribution à l'étude des montées de civelles d'Anguilla anguilla L. (poisson téléostéen anguilliforme) dans l'estuaire de la Loire : pêche, écologie, écophysologie et élevage. Thèse de 3-ème cycle, Université de Rennes.
- Gascuel, D. 1987. La civelle d'anguille dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise : biologie, écologie, exploitation, rapport global. pp. 204, Publications Département Halieutique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Rennes.
- ICES. 2008. Report of the 2008 session of the joint ICES/EIFAC Working Group on Eels. Leuven (Belgium). September 2008; ICES CM 2008/ACOM:15.
- ICES. 2010. Report of the 2010 session of the joint ICES/EIFAC Working Group on Eels. September 2010; ICES CM 2009/ACOM:18. 198pp and country reports.
- Léauté, J.-P. Coordinateur, 2002. Caractéristiques des petites pêches côtières et estuariennes de la côte atlantique du sud de l'Europe. pp. 93, Projet PECOSUDE.
- Masson, D. 1997. La gestion de l'eau douce en Seudre. pp. 253-256 Acte de congrès, IFREMER.
- McGovern, P. & T.K. McCarthy. 1992. Elver migration in the river Corrib system, western Ireland. *Irish Fisheries Investigations* **36**: 25-32.

Plan de Gestion Anguille de la France. 2008. En application du règlement R (CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007. pp. 115.

Verger, F. 2005. Marais maritimes et estuaires du littoral français, Paris. 335 pp.