



ESPAÑA ESPACIO ATLÁNTICO  
FRANCE ESPACE ATLANTIQUE  
IRELAND ATLANTIC AREA  
PORTUGAL ESPAÇO ATLÁNTICO  
U.K. ATLANTIC AREA



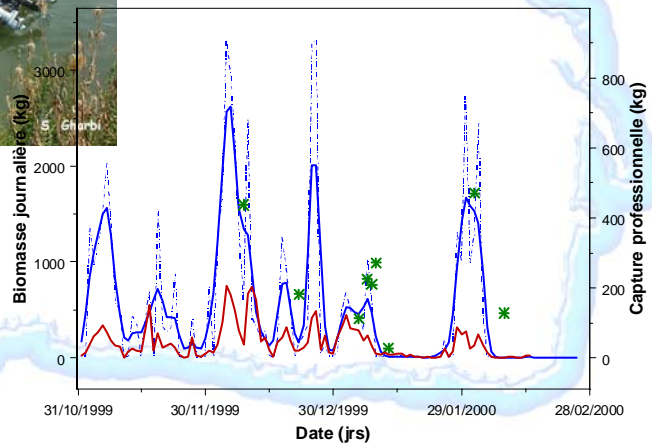
Indicang

Ifremer



# Rapport

Quantification de la biomasse saisonnière de civelles (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour et estimation du taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle au tamis poussé



**J.-C. Bouvet** IFREMER-LRHA  
**P. Prouzet** IFREMER-LRHA  
**N. Bru** UPPA-LMA/IFREMER-LRHA

Avec la collaboration de l'ADERA  
**M.-N. de Casamajor**  
**M. Lissardy**  
**F. Sanchez**

**Juillet 2006**

# SOMMAIRE

<b>1- INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2- BASES COMPORTEMENTALES ET HALIEUTIQUES .....</b>	<b>4</b>
<b>3- MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>5</b>
3.1. <i>LES DONNEES EXPLOITEES .....</i>	5
3.2. <i>CHOIX DU MODELE .....</i>	6
3.3. <i>PREDICTION DES TAUX D'EXPLOITATION JOURNALIERS .....</i>	7
3.4. <i>ESTIMATION DES BIOMASSES JOURNALIERES PAR LA METHODE DU « BOOTSTRAP » .....</i>	8
3.4.1- <i>Création des vecteurs aléatoires des taux d'exploitations journaliers .....</i>	9
3.4.2 - <i>Création des vecteurs aléatoires des biomasses journalières.....</i>	10
3.4.3 - <i>Trajectoires médianes et moyennes des biomasses journalières .....</i>	11
3.4.4. <i>Calcul de la biomasse saisonnière.....</i>	13
3.4.5. <i>Calcul du taux d'exploitation saisonnier.....</i>	13
<b>4. RESULTATS.....</b>	<b>15</b>
4.1. <i>PREDICTION DU TAUX D'EXPLOITATION JOURNALIER A PARTIR DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES .....</i>	15
4.2. <i>ESTIMATION DE LA BIOMASSE SAISONNIERE ET DU TAUX D'EXPLOITATION SAISONNIER DE LA PECHE PROFESSIONNELLE SUR L'ESTUAIRE DE L'ADOUR .....</i>	16
4.2.1. <i>Saison de pêche 1998/1999.....</i>	16
4.2.2. <i>Saison de pêche 1999/2000.....</i>	18
4.2.3. <i>Saison de pêche 2000/2001.....</i>	19
4.2.4. <i>Saison de pêche 2001/2002.....</i>	21
4.2.5. <i>Saison de pêche 2002/2003.....</i>	22
4.2.6. <i>Saison de pêche 2003/2004.....</i>	24
4.2.7. <i>Saison de pêche 2004/2005.....</i>	25
4.3. <i>COMPILATION DES RESULTATS DE BIOMASSES ET DE TAUX D'EXPLOITATION SAISONNIERS ESTIMES ENTRE LES SAISONS DE PECHE 1998/1999 ET 2004/2005 .....</i>	27
<b>5. DISCUSSION.....</b>	<b>28</b>
5.1. <i>LA COHERENCE DU MODELE ET DES ESTIMATIONS DE BIOMASSES EFFECTUEES .....</i>	28
5.2. <i>INFLUENCES DES CONTRAINTES UTILISEES POUR L'ESTIMATION DE LA BIOMASSE SAISONNIERE ET DU TAUX D'EXPLOITATION.....</i>	29
5.3. <i>VARIABILITE DE LA BIOMASSE SAISONNIERE ESTIMEE.....</i>	30
5.4. <i>ADAPTATION A D'AUTRES ESTUAIRES.....</i>	30
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>34</b>
<i>TABLEAU REGROUPANT LES DONNEES DE BIOMASSES, DE CAPTURES PROFESSIONNELLES ET LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES UTILISEES POUR LE MODELE LINEAIRE GENERALISE.....</i>	34
<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>35</b>
<i>MACROCOMMANDES SOUS SPLUS.....</i>	35
<b>ANNEXE 3 .....</b>	<b>37</b>
<i>ESTIMATION SAISONNIERE DE LA BIOMASSE ET DU TAUX D'EXPLOITATION DE LA PECHE PROFESSIONNELLE DANS LE CAS D'UNE BIOMASSE JOURNALIERE ESTIMEE POUR LES SORTIES SUPERIEURES A 5 KG DE CAPTURES AU TAMIS POUSSE.....</i>	37
<b>RESUME.....</b>	<b>38</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>38</b>

## 1- INTRODUCTION

Les travaux sur le comportement et la modélisation des flux de civelles dans l'estuaire de l'Adour ont été mis en place dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire appelé « Programme amphihalins » en 1995. Ce programme, sous la maîtrise d'ouvrage de l'Institution Adour a été financé par L'Europe (convention EC/FISH DG 14 99/023), les collectivités territoriales et l'Agence de l'Eau Adour Garonne.

Les premiers travaux de recherche ont été développés notamment dans le cadre de 2 thèses : De Casamajor (1998) et Bru (1998) ainsi que dans celui de 2 contrats de recherche coordonnés par IFREMER : « *Historique des captures de civelles, intensité actuelle de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indices de colonisation sur le bassin versant de l'Adour* » (Prouzet - coord. - 2002) et « *Etude de la civelle (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour : Pêche, biologie, comportement ; modélisations hydrodynamique et comportementale ; estimation des flux de civelles en estuaire* » (Prouzet –coord.- 2003).

Dans le cadre du GDR Adour, à partir de 2004, les travaux se sont focalisés par la suite sur l'impact des contaminants sur la biologie de l'espèce (Prouzet - coord.- 2005 et 2006) et sur la valorisation des modèles statistiques et numériques développés sur l'Adour pour estimer la biomasse journalière et saisonnière du flux de civelle dans le cadre du projet européen INDICANG coordonné par IFREMER (<http://www.ifremer.fr/indicang>). Ce projet entrepris dans le cadre du programme INTERREGIIIB a pour objectif général la mise en place d'une base d'indicateurs d'abondance et de recrutement sur l'Anguille européenne.

La méthode d'estimation journalière du flux de civelles entrant a été mise au point par les mathématiciens de l'UPPA-LMA et de l'UPMF-LabSad (Bru, Lejeune et Prouzet 2006<sup>1</sup>) en collaboration avec l'IFREMER. Au sein du projet INDICANG, en liaison avec les équipes des bassins versants concernés, la mise en place d'un protocole d'échantillonnage adapté a été effectuée sur l'Isle, la Loire (Sanchez *et al* 2005) et est en passe de l'être pour l'Oria (Espagne) (lettre INDICANG 4et 5).

La méthode d'estimation saisonnière du flux entrant de civelles en partie estuarienne développée sur l'Adour par le Laboratoire Ressources Halieutique d'Aquitaine de l'Ifremer, en partenariat avec l'UPPA-LMA et le LabSad (Bru et Lejeune 2004 ; Bru, Lejeune, Prouzet, 2004) a été appliquée sur l'Adour aux séries de captures et de variables environnementales collectées depuis 1998.

Le schéma ci-dessous décrit la chaîne d'observations et d'analyses nécessaire pour estimer la biomasse saisonnière et sa précision.

Cette quantification de la biomasse saisonnière de civelles se base sur la réalisation d'un modèle statistique de régression linéaire généralisée prenant en compte les captures des pêcheurs professionnels d'une part, et d'autre part des données de variables environnementales dont l'influence sur le comportement migratoire des civelles a été mise en évidence lors de précédentes études (Prouzet, 2003).

La biomasse ainsi que sa précision sont obtenues de deux façons : par application d'une méthode purement analytique et par application d'une méthode basée sur la simulation d'un ensemble de trajectoires obtenues par une méthode de type Bootstrap (Venables and Ripley 2002). C'est cette dernière méthode qui est décrite dans ce rapport qui complète le document de Bru et Lejeune (2004) mentionné précédemment.

Ces techniques d'extrapolation saisonnière sont en cours d'adaptation sur les bassins de l'Isle, de la Loire, de l'Oria (Espagne ) et du Minho (Portugal).

---

<sup>1</sup> Estimating daily glass eel abundance in an open estuary from sparse data in spatio-temporal sampling : application to the Adour (France) soumis pour publication..



## 2- BASES COMPORTEMENTALES ET HALIEUTIQUES

### Quelques aspects du comportement des civelles en estuaire

En estuaire, les civelles progressent vers l'amont grâce à un comportement de migration portée derrière la propagation du flot. En outre, les observations effectuées sur l'Adour ou bien en fluvium montrent qu'une partie des civelles se situe dans la colonne d'eau avant l'arrivée du flot et dès que le courant dirigé vers l'aval est inférieur à 0,3m/s environ.

En pleine eau, la civelle évite les lumières trop vives. Elle aura tendance à pénétrer d'autant plus en profondeur que la lumière au sein de la colonne d'eau est forte. Cela veut dire que le jour lorsque les eaux sont claires, la civelle progresse avec le flot, mais très près du fond et dans des zones où la lumière est très atténuée. La nuit, elle aura tendance à venir près de la surface par les nuits sans lune ou lorsque l'eau est très turbide.

### Quelles conséquences sur le succès de la pêche ?

Les conséquences de cette influence des variables hydrologiques et climatiques peuvent être fortes si les pêcheurs professionnels utilisent un tamis à main ou poussé qui ne prospecte que la partie superficielle de la colonne d'eau ou une partie de celle-ci.

Dans ces conditions, le succès de la pêche sera assuré si la civelle est présente sur le lieu de pêche, c'est à dire accessible (**ac**). Pour être capturée, il faut qu'elle soit vulnérable (**vul**) à l'engin de pêche. Si c'est le cas, elle sera disponible pour le pêcheur muni de l'engin de pêche déterminé prospectant un volume ou une aire (**a**) sur une aire ou dans un volume de répartition des individus (**A**).

Ainsi la capturabilité d'une civelle (**q**) peut se résumer comme le produit de 3 probabilités :

$q = ac * \frac{a}{A} * vul$ , c'est à dire le produit de la probabilité d'être présente sur les lieux de pêche (**ac**), par (**a/A**) la probabilité de voir la zone (aire ou volume) où le poisson réside balayée par l'engin de pêche et par (**vul**) efficacité de l'engin vis à vis du poisson recruté sur les lieux de pêche.

### Quelles sont les variables influant sur ces probabilités ?

**Accessibilité** : La probabilité qu'une civelle soit présente dans un estuaire est liée à l'abondance des flux de leptocéphales qui s'approchent du plateau continental. Cette abondance est plus forte d'octobre à avril pour les rivières du réseau INDICANG avec des variations du Nord au Sud. Sur l'Adour, la période de forte remontée va plutôt de mi-octobre à fin février. Il semble en outre, que les phases lunaires jouent sur la présence plus ou moins forte des civelles dans l'estuaire.

**Puissance de pêche de l'engin** : Elle va influencer sur le volume filtré durant un instant *t* par l'engin de pêche pour échantillonner une zone donnée de l'estuaire où le poisson est susceptible de se trouver. Cela dépendra de la taille de l'engin de pêche et de la vitesse avec lequel l'engin se déplace dans l'espace. Plus le rapport entre le volume échantillonné par l'engin de pêche et le volume où se disperse les poissons est petit et plus l'engin est efficace. L'ouverture de l'engin, le dispositif de concentration du poisson, le lieu où les civelles sont dispersées, la capacité à se mouvoir à différentes profondeurs sont autant de caractéristiques qui jouent sur cette puissance de pêche.

**Vulnérabilité** : Pour être capturée la civelle doit se trouver dans une zone que l'engin explore. La quantité de lumière transmise jouera un rôle sur l'évitement d'une plus ou moins forte proportion du flux. Celui-ci a tendance à migrer d'autant plus en profondeur, hors d'atteinte des tamis classiquement utilisés dans la plupart des estuaires, que la colonne d'eau est plus fortement éclairée.

On voit ainsi comment les variables hydroclimatiques jouent sur la quantité de civelle qui peut être capturée par un engin de pêche donné. Cela aboutira évidemment à faire fluctuer la proportion capturée et donc le taux d'exploitation.

Cela veut dire aussi que les résultats que nous allons trouver sur le taux d'exploitation ne sont pas généralisables à n'importe quelle pratique de pêche ni à n'importe quel environnement.

L'engin de pêche incriminé est un tamis poussé par le bateau et muni d'un manche ou non opérant dans une zone où la civelle a un comportement migratoire principalement de type porté et dans une zone de l'estuaire où les eaux ne sont plus fortement stratifiées. La stratification thermique ou haline nécessitant la modification du protocole d'échantillonnage, il est alors préférable d'éviter ces zones.



Bateau de pêche armé pour le drossage sur l'Isle (affluent de la Dordogne).

### **3- MATERIELS ET METHODES**

#### ***3.1. Les données exploitées***

Les données à l'origine du calcul de la biomasse saisonnière sont issues d'une part des données de capture professionnelle de civelles réalisées dans la partie maritime de l'estuaire de l'Adour par les marins pêcheurs et d'autre part des données issues d'échantillonnages scientifiques réalisés dans la même zone et permettant d'évaluer la biomasse de civelles migrante au cours d'une marée (Prouzet, 2002). Des données physiques et environnementales ont également été recueillies pour caractériser le milieu et les conditions de captures qui, nous l'avons vu ci-dessus, jouent sur la capturabilité du flux. L'ensemble des données issues des échantillonnages scientifiques a été compilé et associé aux captures journalières correspondantes. Un taux d'exploitation journalier est

calculé en faisant le rapport de la capture sur la biomasse. Le format des données est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 1** : Données de captures professionnelles et d'échantillonnages scientifiques effectués sur l'estuaire de l'Adour.

Saison	date (jours)	Biotot(kg)	Capture(kg)	Texp(%)	Lune	Coef.mar	Turbidité (NTU)	Temp (°C)	Débit (m3/s)	nb pêcheurs
S9899	11/02/99	79	4,6	5,82	NL	38	21,08	7,2	428,8	6
S9900	09/12/99	1597	36,79	2,30	NL	78	3,82	7,4	142,33	24
S9900	22/12/99	664	21,15	3,19	PL	100	28,02	7,3	440,6	17
S0001	21/12/00	134	14,7	10,97	NL	61	9,08	8,9	230	17
S0001	03/01/01	28	3	10,71	PQ	42	29,73	8,8	424,3	8
S0304	26/11/03	80	8,2	10,25	NL	102	7,38	9,0	178,7	7
S0405	08/12/04	375	13	3,47	NL	58	6,00	8,0	104,5	6
S0405	14/12/04	198	17,6	8,89	NL	93	9,00	9,0	94,55	6

Ce tableau de données est construit à partir de 43 campagnes d'estimation journalières du flux de civelles. Un sous-ensemble a été retenu sur la base des jours comprenant un nombre minimal de sorties ( nombre de pêcheurs minimum par marée égal à six). Ainsi le modèle est construit à partir d'une matrice de 32 jours de pêches scientifiques et professionnelles effectuées sur l'Adour entre les saisons de pêche 1998/1999 à 2004/2005 (voir tableau de données en Annexe1).

Afin d'avoir un modèle plus global et sachant que les variables hydroclimatiques ont des effets seuils, une codification de certaines variables a été effectuée à partir de la définition de modalités.

D'où le codage suivant :

- Codage de la marée en trois classes: 1 si  $x \leq 60$  ; 2 si  $60 < x < 86$  ; 3 si  $x \geq 86$
- Codage du débit en trois classes : 1 si  $x < 250$  ; 2 si  $250 \leq x < 400$  ; 3 si  $x \geq 400$
- Codage de la turbidité en deux classes : 1 si  $x \leq 13$  ; 2 si  $x > 13$
- Codage de la Lune : Pleine Lune (PL) ; Premier Quartier (PQ)  
Dernier quartier (DQ) ; Nouvelle Lune (NL)

### 3.2. Choix du modèle

Le choix du modèle linéaire généralisé s'est imposé compte-tenu de sa simplicité et de la prise en compte de variables quantitatives et qualitatives de distributions variées et non normales dans l'équation de la variable à expliquer. Celle-ci est constituée par le taux d'exploitation qui a été préféré à la biomasse journalière car présentant une meilleure corrélation linéaire avec les captures professionnelles. De plus il a été montré que les variables hydroclimatiques prises en compte influent directement sur le comportement de l'espèce et par conséquent sur sa capturabilité (cf. *paragraphe 2*).

Le modèle prédit un taux d'exploitation journalier à partir du logarithme des captures journalières et des valeurs de 4 variables environnementales codées: le coefficient de marée, la turbidité, le débit et la phase lunaire. Une interaction entre débit et phase lunaire est considérée de manière à prendre en compte d'une part la modulation de la luminosité nocturne par l'intensité du débit qui joue sur l'opacité de l'eau et d'autre part l'interaction entre débit fluvial et marée sous la dépendance du cycle lunaire.

D'où l'équation générale suivante :

$$T_{exp} \approx \ln Capt + MareeCod + TurbCod + DebCod : Lune \quad [\text{équation 1}]$$

avec :

- « *Texp* » : taux d'exploitation
- « *lnCapt* » : logarithme népérien des captures professionnelles en kilos
- « *MareeCod* » : coefficient de marée
- « *TurbCod* » : turbidité de l'eau (NTU)
- « *DebCod* » : débit codé
- « *DebCod:Lune* » : paramètre d'interaction entre les variables 'Débit' et 'Lune'

Equation génératrice du modèle (sous le logiciel SPLUS) :

```
glm.TAB <- glm(formula = Texp ~ lnCapt + TurbCod + MareeCod + Lune:DebCod, family
= poisson, data = TAB, link = log)
```

avec

- « formula » : équation du modèle comprenant la variable à expliquer et les variables explicatives du modèle
- « family » : loi choisie pour la distribution des erreurs ici la loi de Poisson (distribution discontinue dérivant de la loi binomiale)
- « link » : fonction de lien
- 

Une analyse de déviance couplée au modèle permet d'apprécier la part de variance expliquée par chaque facteur ou terme d'interaction.

### 3.3. Prédiction des taux d'exploitation journaliers

Pour chaque saison de pêche, le tableau de données entrant contient le logarithme des captures professionnelles et les quatre variables environnementales codées (tableau 2). Ce tableau est constitué pour la saison 1999/2000 (exemple donné au tableau 1) de 106 lignes correspondant aux 106 jours de pêche effective.

La turbidité est une donnée calculée d'après l'équation tirée des travaux du DGO établissant pour l'Adour une relation linéaire entre le débit et la quantité de matière en suspension d'après Coynel et Etcheber [*in* Prouzet (coord.) 2003]. Cette variable est ensuite recodée d'après un seuil de turbidité calculé en unités NTU (Nephelometric Unit) (cf. paragraphe 3.1.).

**Tableau 2 :** Variables environnementales codées et captures journalières sur la saison 1999/2000 (exemple partiel).

Jour	Lune	MareeC	TurbC	DebC	Captures	Ln(Captures)
28/01/2000	DQ	1	1	1	87,52	4,47
29/01/2000	DQ	1	1	1	66,28	4,19
03/02/2000	NL	2	1	2	35,85	3,58
12/01/2000	PQ	2	1	1	8,79	2,17
10/02/2000	PQ	2	1	1	2,67	0,98

L'application du modèle linéaire généralisé aux données de ce tableau permet d'aboutir à l'estimation d'un taux d'exploitation journalier prédit cf. exemple au tableau 3.

**Tableau 3 :** Taux d'exploitation journaliers prédits par le modèle sur la saison 1999/2000

Jour	Lune	MareeC	TurbC	DebC	Captures	TexpP
28/01/2000	DQ	1	1	1	87,52	0,11
29/01/2000	DQ	1	1	1	66,28	0,10
03/02/2000	NL	2	1	2	35,85	0,06
12/01/2000	PQ	2	1	1	8,79	0,13
10/02/2000	PQ	2	1	1	2,67	0,09

L'étape suivante consiste à attribuer un « taux d'exploitation » et un « écart-type médian » aux jours présentant la même combinaison de variables environnementales codées. Le calcul du taux d'exploitation médian est donc effectué à partir des taux d'exploitations prédits regroupés en fonction des combinaisons des quatre variables environnementales codées. « L'écart-type médian » correspond à l'espace interquartile divisé par la racine carrée du nombre de valeurs utilisées. Le tableau 4 présente un exemple des résultats obtenus.

**Tableau 4 :** 'Taux d'exploitation médian' et 'écart-type médian' associés à chaque jour de pêche

Jour	Lune	MareeC	TurbC	DebC	Capt	TexpIP	Texpmed	Sigmed
28/01/2000	DQ	1	1	1	87,52	0,11	0,07	0,02
29/01/2000	DQ	1	1	1	66,28	0,10	0,07	0,02
03/02/2000	NL	2	1	2	35,85	0,06	0,08	0,01
12/01/2000	PQ	2	1	1	8,79	0,13	0,09	0,02
10/02/2000	PQ	2	1	1	2,67	0,09	0,09	0,02

« Texpmed » : taux d'exploitation médian

« Sigmed » : 'écart-type médian'

### 3.4. Estimation des biomasses journalières par la méthode du « bootstrap ».

La méthode du '*bootstrap*' est une méthode de rééchantillonnage dont les bases ont été établies par Efron (1993). Le principe repose sur l'utilisation de l'échantillon des observations : ici le tableau des taux d'exploitation et des facteurs hydroclimatiques (captures, et variables environnementales) qui constitue la base pour réaliser un certain nombre d'échantillons, qualifiés « d'échantillons bootstrap » obtenus par tirage aléatoire d'observations de l'échantillon initial.

Ainsi, pour chaque jour de la saison de pêche et en fonction des combinaisons des variables hydroclimatiques, nous pouvons définir un taux d'exploitation médian ou moyen associé à un intervalle de confiance (cf. tableau 4). L'association de cette valeur centrale et de son incertitude à une loi de distribution (ici lognormale) permet de générer un vecteur aléatoire journalier de taux d'exploitation pour une combinaison de facteurs hydroclimatiques donnée qui, après prise en compte de la capture journalière, définit un vecteur journalier de biomasse dont les valeurs forment au cours de la saison une trajectoire de la biomasse journalière caractérisée par une valeur centrale et sa dispersion.

Pour une trajectoire donnée, la somme des biomasses journalières est une réalisation de la biomasse saisonnière. La réalisation de  $n$  trajectoires permet d'obtenir une variance de la biomasse journalière, mais aussi de la variance de la trajectoire moyenne qui constitue l'estimateur de la biomasse saisonnière.

L'ensemble des expressions pour le calcul de la biomasse saisonnière et de son incertitude présenté ci-après a été créé sous le logiciel *Mathcad 12*®.

### 3.4.1- Création des vecteurs aléatoires des taux d'exploitations journaliers

A partir d'un taux d'exploitation médian et de son écart-type, l'expression suivante permet de générer, pour chaque jour, un vecteur de taux d'exploitation basé sur « n » tirages aléatoires d'une distribution lognormale (n=900). L'équation à l'origine de la matrice 'Vectalea' fournissant les valeurs aléatoires des taux d'exploitation est la suivante :

$$\text{Vectalea}(n\text{jours}, n\text{traj}, \text{Texplmedian}, \text{sigmed}) := \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..n\text{jours} - 1 \\ \quad \text{Seed}(j + 1) \\ \quad \mu_{1j} \leftarrow \ln \left[ \frac{\text{Texplmedian}_j}{\sqrt{\frac{\text{sigmed}_j \cdot (\text{sigmed}_j)}{\text{Texplmedian}_j \cdot \text{Texplmedian}_j} + 1}} \right] \\ \quad \text{sig}_{1j} \leftarrow 2 \cdot \ln \left[ \sqrt{\frac{\text{sigmed}_j \cdot \text{sigmed}_j}{\text{Texplmedian}_j \cdot \text{Texplmedian}_j} + 1} \right] \\ \quad \text{nums} \leftarrow \text{anorml}(n\text{traj}, \mu_{1j}, \sqrt{\text{sig}_{1j}}) \\ \quad M^{(j)} \leftarrow \text{nums} \end{array}$$

avec

- « njours » : nombre de jours de la saison
- « ntraj » : nombre de trajectoires
- « Texplmédian, sigmed » : taux d'exploitation médian journalier et son 'écart-type médian'
- « M » : matrice de sortie des taux d'exploitation

Dans cette équation, la fonction 'anorml' renvoie un vecteur de 'ntraj' nombres aléatoires pris dans une distribution du taux d'exploitation journalier suivant une loi logarithmique. Les paramètres entrant de la loi sont la moyenne logarithmique 'mu1', l'écart-type logarithmique 'sig1' et le nombre de valeurs aléatoires générées 'ntraj'. L'ensemble de ces vecteurs est regroupé dans une matrice 'Vectalea' de 900 lignes et 106 colonnes. Ces 900 lignes correspondent aux neuf cents tirages aléatoires des taux d'exploitation effectués pour chacun des 106 jours de captures de la saison. Un exemple de sortie est donné au tableau 5.

Tableau 5 : Matrice des taux d'exploitation journaliers

	01/11/1999	02/11/1999	03/11/1999	04/11/1999	05/11/1999	06/11/1999
1	0,0572	0,0277	0,0284	0,0649	0,0651	0,0515
2	0,0537	0,0251	0,0267	0,0515	0,0575	0,0576
3	0,0567	0,0269	0,0269	0,0595	0,0581	0,0606
4	0,0501	0,0285	0,0260	0,0582	0,0569	0,0770
...	...	...	...	...	...	...
999	0,0740	0,0284	0,0288	0,0648	0,0529	0,0741

### 3.4.2 - Création des vecteurs aléatoires des biomasses journalières

La prise en compte des captures journalières permet ensuite de calculer à partir de cette matrice des taux d'exploitation, un tableau des vecteurs de biomasses journalières.

Equation de calcul de la biomasse journalière :

$$\text{Bio}(\text{ntraj}, \text{njours}, \text{Vectalea}, \text{captures}, \text{debit}, \text{maree}) := \begin{array}{l} \text{for } j \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \quad \text{for } i \in 0.. \text{ntraj} - 1 \\ \quad \quad \text{Biomasse}_{i,j} \leftarrow \text{captures}_j \text{ if } \text{captures}_j < 20 \\ \quad \quad \text{Biomasse}_{i,j} \leftarrow \text{captures}_j \text{ if } \text{debit}_j > 600 \wedge \text{maree}_j \leq 60 \\ \quad \quad \text{Biomasse}_{i,j} \leftarrow \frac{\text{captures}_j}{\text{Vectalea}_{i,j}} \text{ otherwise} \end{array}$$

Biomasse

**Estimbio = Bio(ntraj, njours, Vectalea, captures, debit, maree)**

avec

« Vectalea » matrice de données des taux d'exploitation journaliers

« captures » : vecteur de captures journalières

« débit » : débit journalier

« maree » : coefficient de marée

« Estimbio » : matrice résultat

Ce module algorithmique ramène, dans le cas de faibles captures ou de conditions environnementales empêchant la migration des civelles, la biomasse journalière à la valeur de la capture professionnelle journalière. En effet, les jours présentant des captures inférieures à 20 kilos sont assimilés à des jours où la biomasse de civelles est trop faible pour être correctement estimée par l'échantillonnage effectué par le déploiement de la pêcherie professionnelle<sup>2</sup>. De même des coefficients de marée inférieurs à 60 associés à des débits supérieurs à 600m<sup>3</sup>/s créés une situation de blocage hydrologique qui devrait engendrer la plupart du temps un enfouissement des civelles ou une migration près du fond et sur les berges (Prouzet, coord., 2002 e 2003). Un exemple de sortie est donné au tableau 6.

Tableau 6 : Matrice des biomasses journalières en kilos

	01/11/1999	02/11/1999	03/11/1999	04/11/1999	05/11/1999	06/11/1999
<b>1</b>	6,4	15,1	1361,9	921,4	1131,8	1795,3
<b>2</b>	6,4	15,1	1447,0	1161,2	1281,7	1604,1
<b>3</b>	6,4	15,1	1436,3	1005,3	1268,6	1525,4
<b>4</b>	6,4	15,1	1569,9	985,6	1109,8	1517,6
...	...	...	...	...	...	...
<b>999</b>	6,4	15,1	1451,0	1024,2	1085,2	1285,7

Ex : Les biomasses journalières estimées pour les deux premiers jours du mois de novembre sont égales à la capture (contraintes bloquant le calcul).

<sup>2</sup> Le seuil a été abaissé à 10kg voire à 5 kg après vérification de l'effort de pêche déployé. Les résultats sont donnés parallèlement à cette règle générale qui ne prend pas en compte l'intensité de l'effort de pêche journalier.

### 3.4.3 - Trajectoires médianes et moyennes des biomasses journalières

Des biomasses journalière moyenne et médiane ainsi que leurs intervalles de confiance associés peuvent être alors calculés à partir des vecteurs journaliers de biomasse. On peut alors tracer les trajectoires moyenne et médiane du flux total de civelles entrant dans l'estuaire au cours de la saison de pêche.

L'ensemble des calculs réalisés pour construire ces courbes se basent sur la matrice des biomasses journalières décrite dans le tableau 6.

a - biomasses journalières moyennes :

- Moyenne

$$\text{Vecmoyen}(\text{Estimbio}, \text{njours}) := \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{vecmq}_i \leftarrow \text{moyenne}(\text{Estimbio}^{(i)}) \\ \text{vecmo} \end{array} \right.$$

- Ecart-type

$$\text{Vecartype}(\text{Estimbio}, \text{njours}) := \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{ecart1}_i \leftarrow \text{écartype}(\text{Estimbio}^{(i)}) \\ \text{ecart1} \end{array} \right.$$

- Limite inférieure de l'IC (95%)

$$\text{Vmoymoins}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmo}, \text{vececart}) := \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{moymoins}_i \leftarrow \text{vecmq}_i - 1.96 \cdot \left( \frac{\text{vececart}}{\sqrt{\text{ntraj}}} \right)_i \\ \text{moymoins} \end{array} \right.$$

- Limite supérieure de l'IC (95%)

$$\text{Vmoyplus}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmo}, \text{vececart}) := \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{moyplus}_i \leftarrow \text{vecmq}_i + 1.96 \cdot \left( \frac{\text{vececart}}{\sqrt{\text{ntraj}}} \right)_i \\ \text{moyplus} \end{array} \right.$$

b - biomasses journalières médianes :

- Médiane

Vecmedian(Estimbio, ntraj, njours) :=

for	i ∈ 0.. njours - 1
	triEstimbio ← tri(Estimbio <sup>(i)</sup> )
	vecmed <sub>i</sub> ← triEstimbio <sub>trunc(<math>\frac{ntraj}{2}</math>)}</sub>
	vecmed

- Espace interquartile

q1 := sommetri<sub>trunc( $\frac{ntraj-1}{4}$ )}</sub>

q2 := sommetri<sub>trunc( $\frac{ntraj-1}{2}$ )}</sub>

q3 := sommetri<sub>trunc( $\frac{3(ntraj-1)}{4}$ )}</sub>

trunc( $\frac{1(ntraj)}{4}$ ) = 250      trunc( $\frac{ntraj}{2}$ ) = 500      trunc( $\frac{3(ntraj)}{4}$ ) = 750

Vespinter(Estimbio, ntraj, njours) :=

for	i ∈ 0.. njours - 1
	triEstimbio ← tri(Estimbio <sup>(i)</sup> )
	q1 <sub>i</sub> ← triEstimbio <sub>trunc(<math>\frac{ntraj}{4}</math>)}</sub>
	q3 <sub>i</sub> ← triEstimbio <sub>trunc(<math>\frac{3(ntraj)}{4}</math>)}</sub>
	espa <sub>i</sub> ← q3 <sub>i</sub> - q1 <sub>i</sub>
	espa

- Limite inférieure de l'IC(95%) :

Vmedinf(njours, ntraj, vecmedian, espace) :=

for	i ∈ 0.. njours - 1
	medmoins2 <sub>i</sub> ← vecmedian <sub>i</sub> - 2 · veccart <sub>i</sub> · $\sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot ntraj}}$
	medmoins2

- Limite supérieure de l'IC(95%) :

Vmedsup(njours, ntraj, vecmedian, espace) :=

for	i ∈ 0.. njours - 1
	medplus2 <sub>i</sub> ← vecmedian <sub>i</sub> + 2 · veccart <sub>i</sub> · $\sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot ntraj}}$
	medplus2

### 3.4.4. Calcul de la biomasse saisonnière

#### *a- Estimation à partir des jours de captures*

En effectuant la somme des biomasses journalières estimées sur la saison pour chaque trajectoire, on obtient un vecteur somme de  $n$  estimations de la biomasse saisonnière (  $n=900$  ) :

$$\text{Vecsomme}(\text{Testimbio}, n\text{traj}) := \left\{ \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n\text{traj} - 1 \\ \text{somme}_i \leftarrow \sum \text{Testimbio}^{(i)} \\ \text{somme} \end{array} \right.$$

Tableau 7 : Vecteur de biomasses saisonnières estimées

	<b>Biomasse saisonnière (Tonnes)</b>
1	57,72
2	59,76
...	...
n	57,79

Ce vecteur donne ainsi la possibilité de décrire la biomasse saisonnière en calculant les paramètres suivants :

- la biomasse saisonnière moyenne et l'intervalle de confiance de la distribution ( $\alpha = 0.05$ )
- la biomasse saisonnière médiane et son espace interquartile

#### *b - Extrapolation par lissage sur l'ensemble de la saison*

Le lissage s'effectue sur la série de données de biomasse journalière moyenne calculée précédemment (vecteur « vecmo »). Ce lissage s'effectue avec un noyau de Gauss pour lequel on définit une largeur de bande « b » correspondant à la fenêtre de jours pris en compte pour le calcul de chaque valeur de biomasse journalière. La macrocommande utilisée sous Mathcad© est la suivante : *lissagenoy(temps,biomasse,pas)* qui renvoie un vecteur de moyennes pondérées locales de la biomasse en utilisant un noyau Gaussien de largeur de bande égal à *pas*.

### 3.4.5. Calcul du taux d'exploitation saisonnier

Le taux d'exploitation saisonnier calculé est une estimation du prélèvement effectué par les marins pêcheurs professionnels sur la biomasse saisonnière moyenne estimée. A partir des données obtenues précédemment, deux méthodes peuvent être appliquées pour estimer ce taux :

#### *a – Première méthode*

Le taux d'exploitation se calcule en divisant la capture saisonnière totale par la biomasse moyenne saisonnière estimée :

$$\mathbf{Texp}_1 = \frac{\sum \mathbf{CapturesJournalières}}{\mathbf{BiomasseSaisonnaire}} \quad \mathbf{IC(95\%)} = [ ; ]$$

Un intervalle de confiance est ensuite estimé directement à partir de la variance de la biomasse saisonnière en partant de l'hypothèse que la somme des captures journalières est connue sans erreur.

*b – Seconde méthode*

Une moyenne d'un échantillon des taux d'exploitation journaliers calculés à partir des captures et biomasses journalières pour lesquelles une biomasse est estimée :

$$\mathbf{Texp}_2 = \frac{\sum_{j=1}^N \left( \frac{\mathbf{Capture}_j}{\mathbf{Biomasse}_i} \right)}{N} \quad \mathbf{IC(95\%)} = [ ; ]$$

Ce calcul permet d'obtenir le taux d'exploitation journalier moyen au cours de la saison avec un intervalle de confiance à 95%.

## 4. RESULTATS

### 4.1. Prédiction du taux d'exploitation journalier à partir des variables environnementales

Le tableau suivant présente la table d'analyse de variance résultant de l'application du modèle linéaire généralisé à l'équation 1:

$$T_{exp} \approx LnCapt + MareeCod + TurbCod + DebCod : Lune .$$

Des résultats plus complets sont donnés dans l'annexe 2, notamment sur la valeur des coefficients.

Tableau 8 : Table d'analyse de variance

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	F Value	Pr(F)
NULL			31	306.47		
lncapt	1	75.02	30	231.45	22.6	0.0001374
turbcod	1	81.75	29	149.70	24.6	0.0000860
mareecod	2	5.67	27	144.03	0.8	0.4411952
debcod:lune	8	77.69	19	66.34	2.9	0.0260035

Deux facteurs interviennent très significativement dans l'explication de la variance du taux d'exploitation : *lncapt* - logarithme népérien de la capture- et *turbcod* - classe de turbidité-. L'interaction *debcod :lune* participe significativement à l'explication de la variance totale alors que la variable 'marée codée' n'explique qu'une très faible part de celle-ci.

La figure 1 montre l'adéquation entre les taux d'exploitation observés et prédits et la dispersion des points par rapport à la diagonale, lieu des points où l'adéquation est totale.

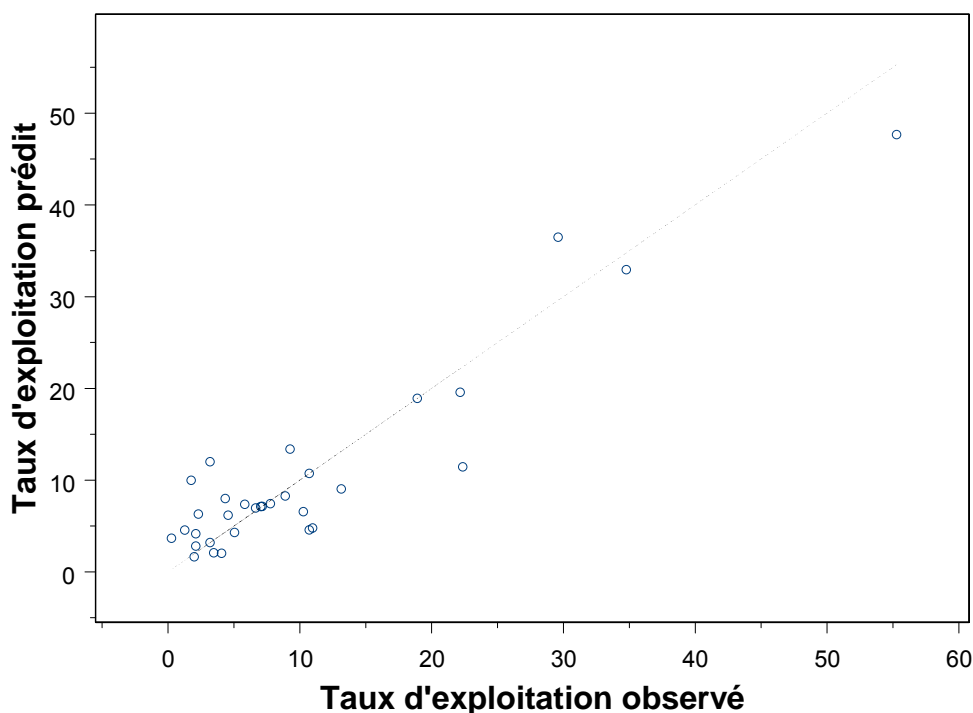


Figure 1 : Dispersion des taux d'exploitation observés et prédits par rapport à la diagonale.

Le coefficient de détermination  $R^2$  qui mesure la proportion de variance expliquée est très élevé  $R^2 = \text{SCE}(\text{régression})/\text{SCE}(\text{totale}) = 0.87$  et signifie que près de 90% de la variance totale est expliquée par ce modèle ( $r = 0,93$ ).

## 4.2. Estimation de la biomasse saisonnière et du taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle sur l'estuaire de l'Adour

### 4.2.1. Saison de pêche 1998/1999.

La figure 2 présente conjointement les biomasses journalières estimées et les captures professionnelles journalières réalisées au tamis poussé dans la partie en aval du Pont d'Urt (estuaire maritime)<sup>3</sup>. Les estimations ponctuelles effectuées lors des campagnes scientifiques sont également mentionnées. On peut noter l'adéquation existant entre ces points et la courbe lissée.

4 pics de remontée sont notés durant cette saison, le premier fin novembre, les 2 suivant au début et à la fin du mois de décembre et le dernier à la fin du mois de janvier.

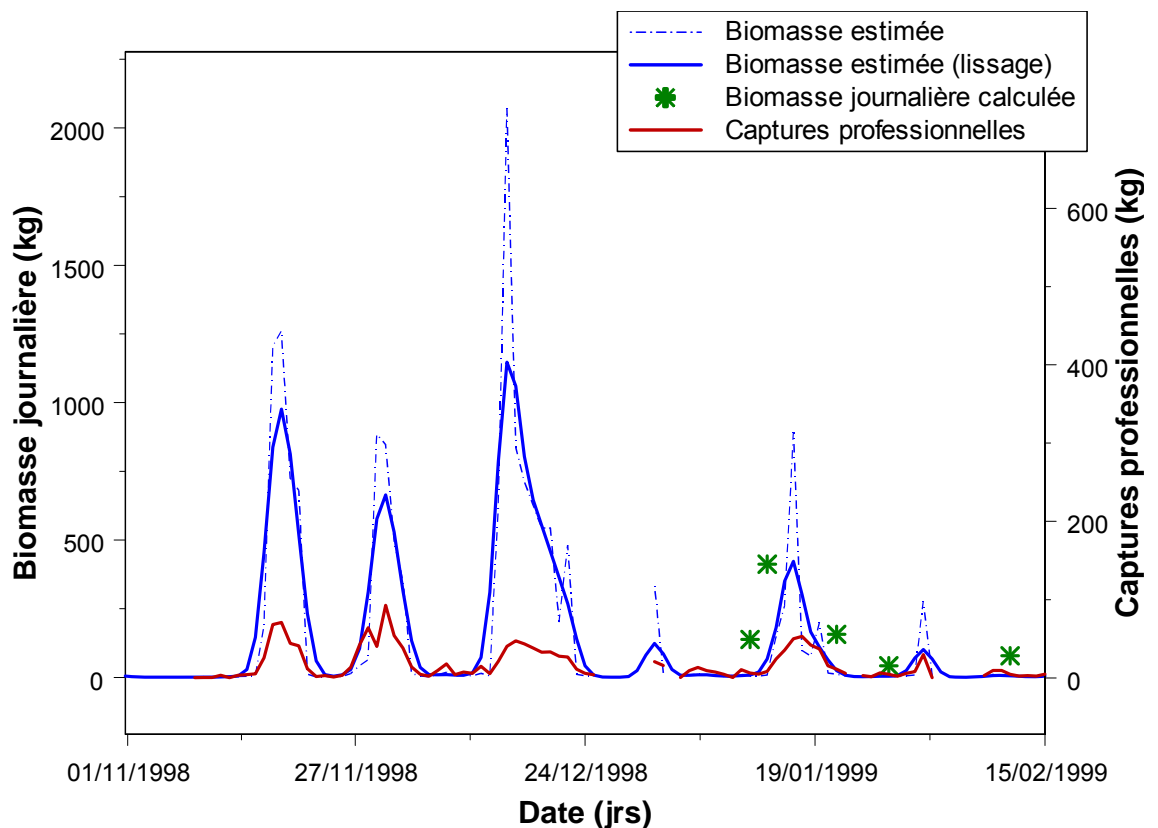


Figure 2 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 1998/1999

<sup>3</sup> Se référer aux rapports effectués sur cette pêcherie par l'IFREMER pour localiser les lieux de pêche.

### Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :

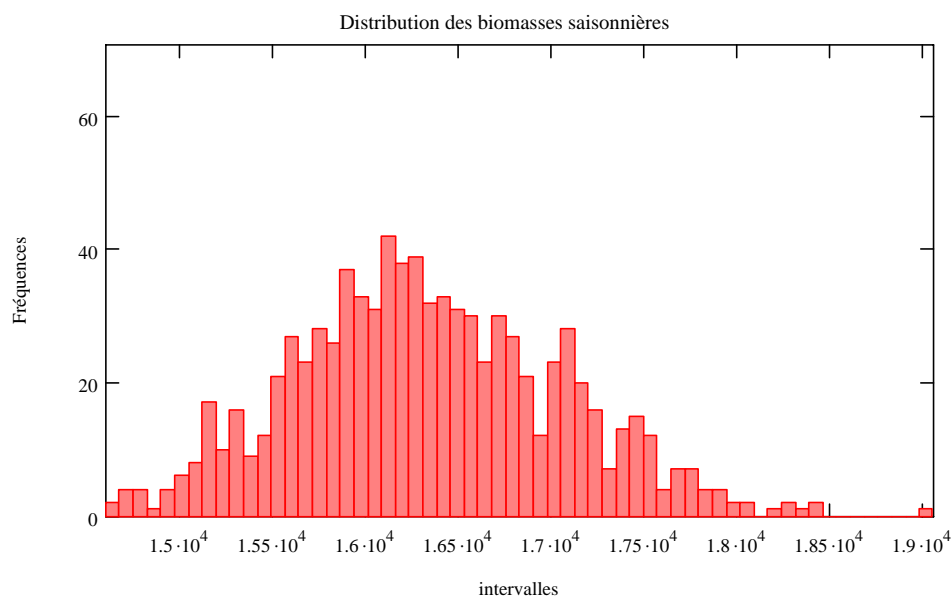


Figure 3 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières simulées

- Biomasse saisonnière moyenne = 16.4 tonnes IC (95%) = [14.9; 17.8]
- Biomasse saisonnière médiane = 16.4 tonnes EIQ<sup>4</sup> = 1.00
- Biomasse saisonnière lissée = 16.2 tonnes

### Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé :

- Capture saisonnière = 1.65 T
- Taux d'exploitation saisonnier : Texp1 = 10.1 % IC (95%) = [9.3 ; 11.1]
- Taux d'exploitation journalier moyen : Texp2 = 11.8 % IC(95%) = [6.8 ; 16.8]

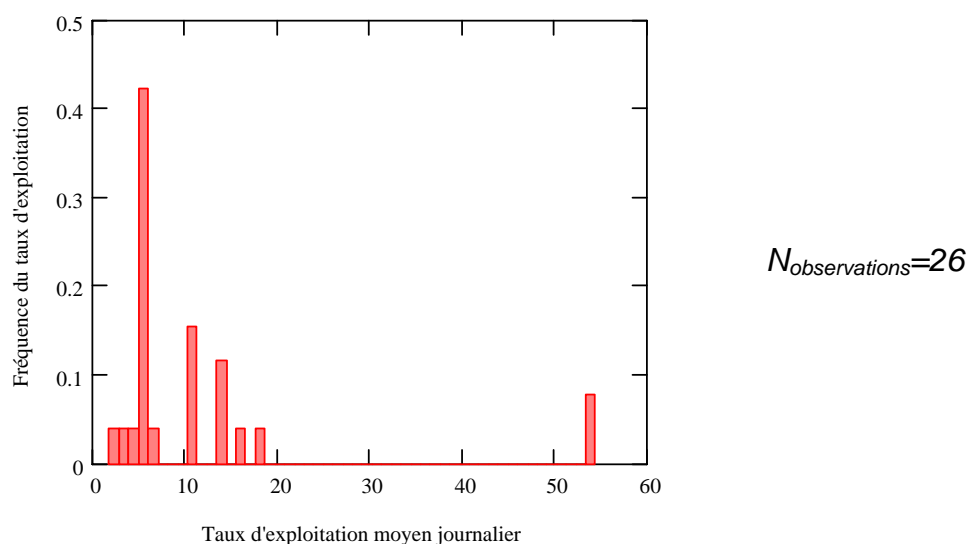


Figure 4 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers (Texp2)

<sup>4</sup> EIQ : espace inter-quartile ; distance entre la valeur des premier (25%) et troisième quartiles (75%).

#### 4.2.2. Saison de pêche 1999/2000.

La figure 5 montre la bonne adéquation entre la fluctuation de la biomasse journalière non lissée et les mesures indépendantes de la biomasse lorsque les estimations peuvent être effectuées (contraintes sur les captures et sur le couple débit-coefficient de marée respectées). 4 pics de remontée importants et supérieurs à 1500kg sont observés.

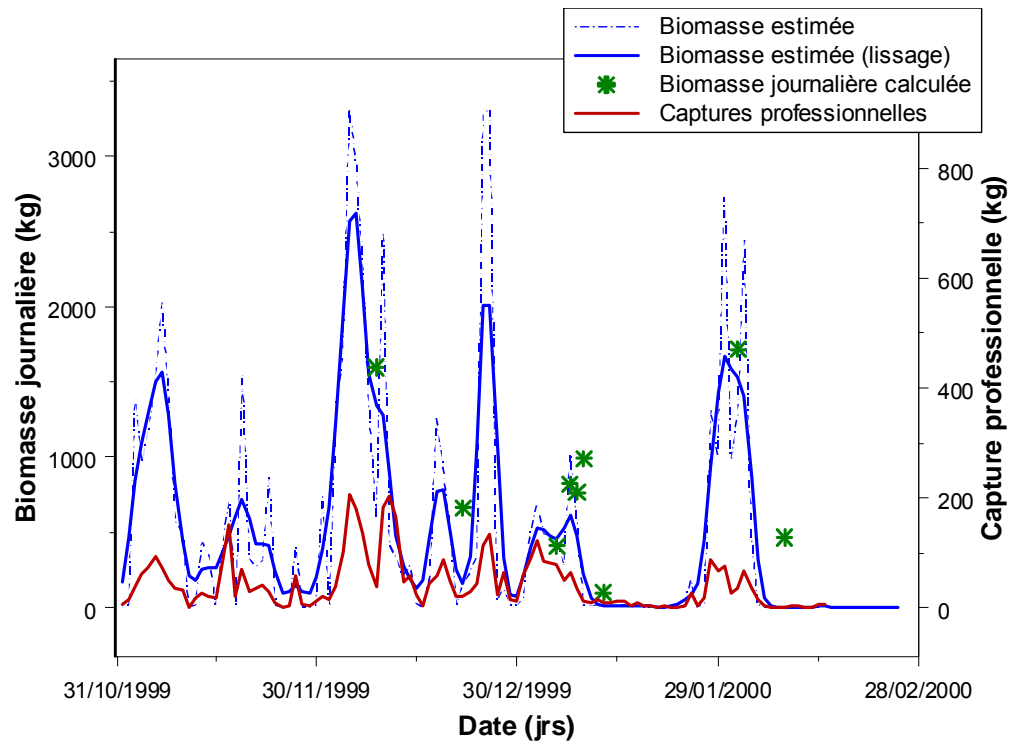


Figure 5 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 1999/2000

#### Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :

- Biomasse saisonnière moyenne = 59.2 tonnes IC (95%) = [56.7; 61.6]
- Biomasse saisonnière médiane = 58.7 tonnes EIQ= 1.81
- Biomasse saisonnière lissée = 58.8 tonnes

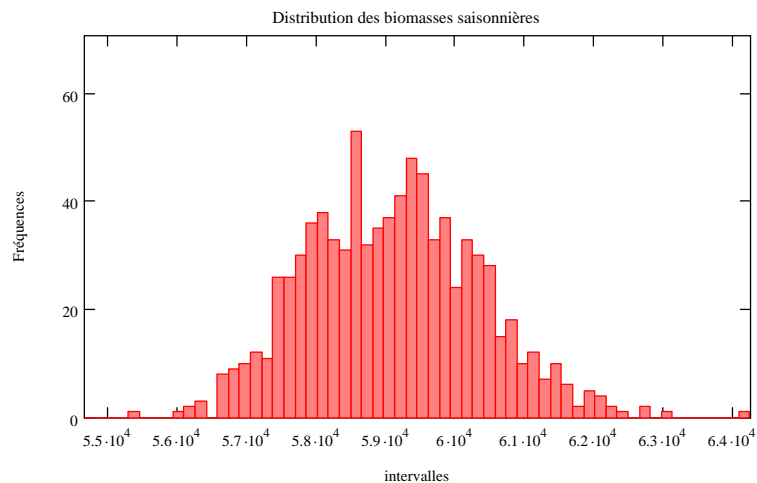


Figure 6 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières

### Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé:

- Capture saisonnière = 4.58 T
- Taux d'exploitation saisonnier :  $Texp1 = 7,8 \%$  IC (95%) = [7.4 ; 8.1]
- Taux d'exploitation journalier moyen :  $Texp2 = 12.1 \%$  IC (95%) = [8.8 ; 15.3]

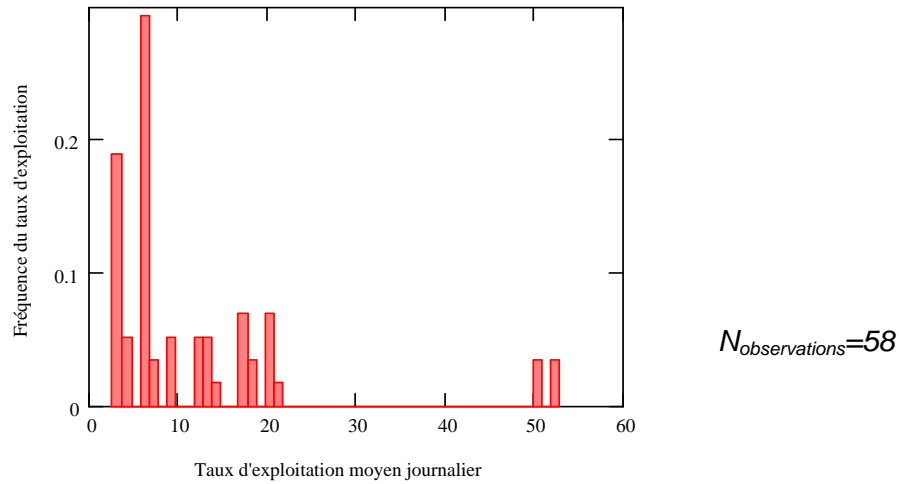


Figure 7 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers (Texp2)

#### 4.2.3. Saison de pêche 2000/2001

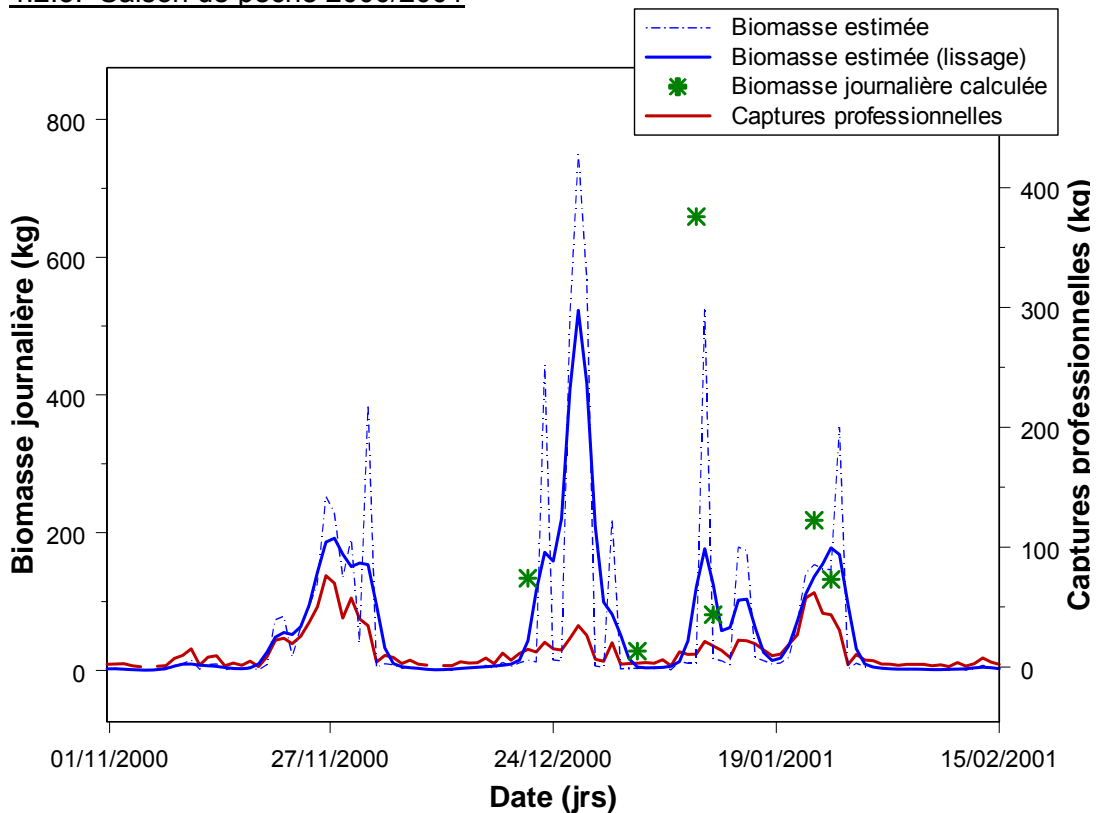


Figure 8 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 2000/2001

Pour cette saison de pêche, nous trouvons également une bonne cohérence entre les valeurs observées par les campagnes de pêche scientifiques et les biomasses journalières simulées avant lissage. Un pic de remontée important est recensé entre la fin du mois de décembre et le début du mois de janvier.

**Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :**

- Biomasse saisonnière moyenne = 6,6 tonnes    IC (95%) = [5,7;7,5 ]
- Biomasse saisonnière médiane = 6,5 tonnes    EIQ= 0,5
- Biomasse saisonnière lissée= 6.3 tonnes

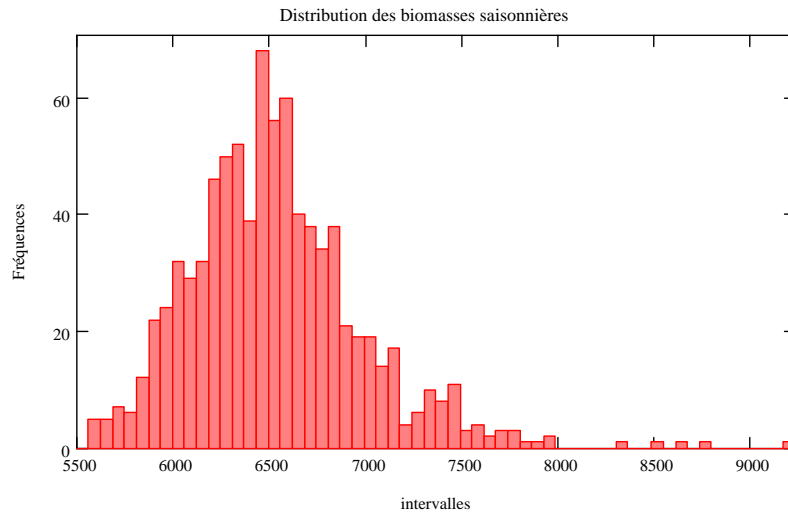


Figure 9 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières simulées

**Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé:**

- Capture saisonnière = 1.45 T
- Taux d'exploitation saisonnier : Texp1 = 21.9 %    IC (95%) = [19.4 ; 25.5]
- Taux d'exploitation journalier moyen : Texp2 = 23.2 %    IC (95%) = [17.2 ; 29.2]

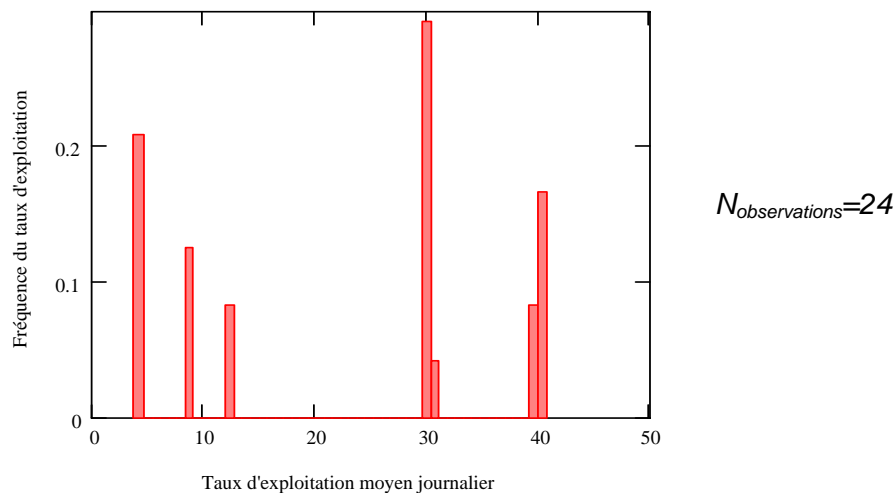


Figure 10 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers (Texp2)

#### 4.2.4. Saison de pêche 2001/2002

Un pic de remontée important et supérieur à 1 500kg (valeur lissée) est détecté. De manière générale, on constate des remontées très faibles qui coïncident à des captures très basses ne permettant pas d'avoir une idée très précise de la biomasse saisonnière pénétrant dans l'estuaire de l'Adour au cours de cette saison de pêche.

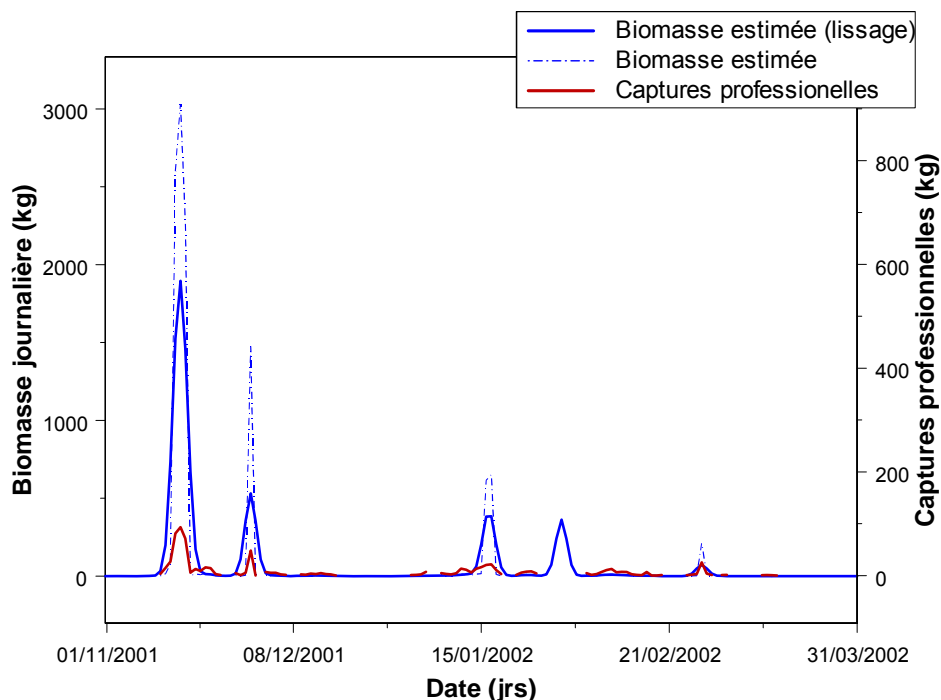


Figure 11 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 01/02

#### Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :

- Biomasse saisonnière moyenne = 12.28 tonnes IC (95%) = [6.34; 18.21]
- Biomasse saisonnière médiane = 11.71 tonnes EIQ= 3.69
- Biomasse saisonnière lissée= 10.97 tonnes

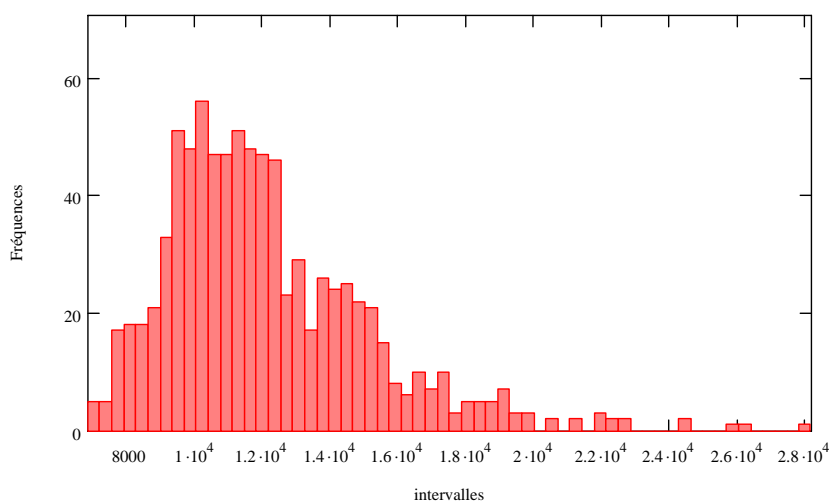


Figure 12 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières simulées

### Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé:

- Capture saisonnière = 0.77 T
- Taux d'exploitation saisonnier :  $Texp1 = 6.3 \%$  IC (95%) = [4.2;12.1]
- Taux d'exploitation journalier moyen :  $Texp2 = 7.8 \%$  IC (95%) = [1.0 ; 14.6]

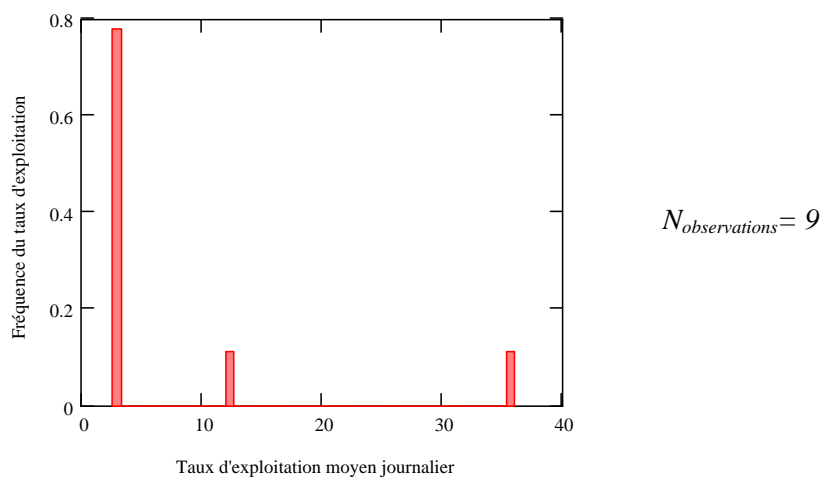


Figure 13 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers (Texp2)

#### 4.2.5. Saison de pêche 2002/2003

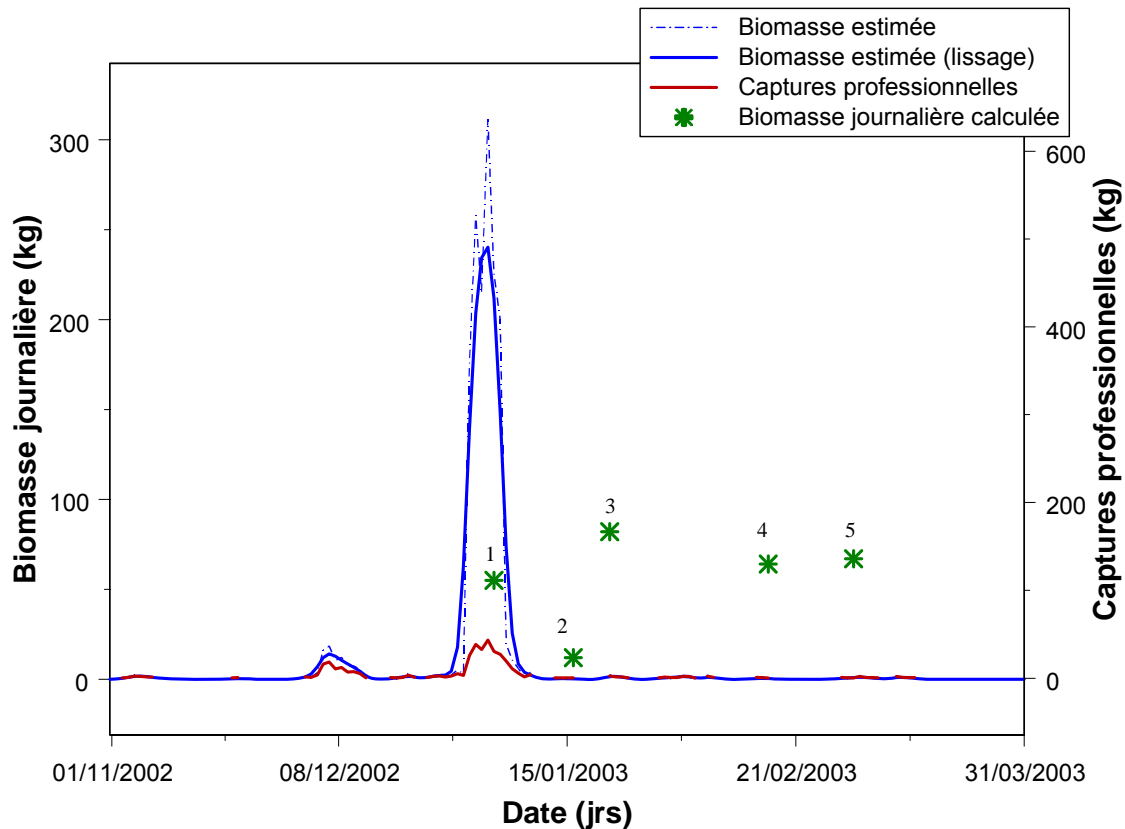


Figure 14 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 2002/2003

Au cours de cette saison de pêche caractérisée par une quasi-absence de prises, on observe un pic de remontée à partir de la simulation des biomasses observées et en conservant les contraintes de calcul mentionnées au paragraphe 3.4.2.

Une biomasse journalière n'a pu être estimée pour les jours d'échantillonnages expérimentaux correspondant aux valeurs de biomasses calculées pour les étiquettes 2, 3, 4 et 5. La capture journalière est en effet en dessous du seuil choisi de 20 kilos pour ces jours là alors que des remontées de civelles sont détectées par les campagnes scientifiques.

### Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :

- Biomasse saisonnière moyenne = 1.58 tonnes IC (95%) = [1.22 ; 1.95]
- Biomasse saisonnière médiane = 1.57 tonnes EIQ= 0.228
- Biomasse saisonnière lissée= 1.52 tonnes

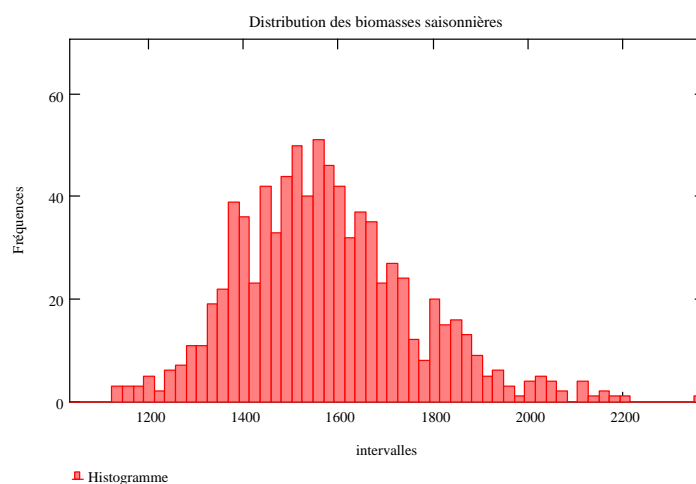
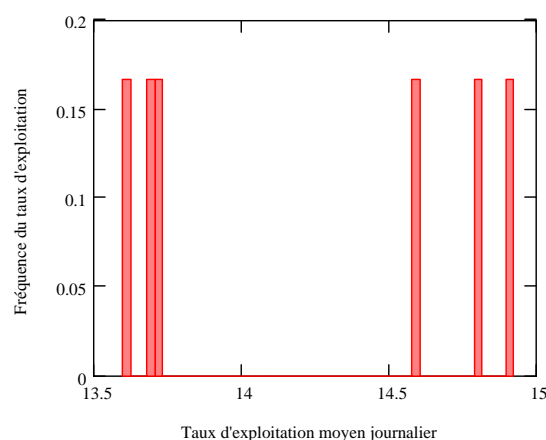


Figure 15 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières simulées

### Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé:

- Capture saisonnière = 0.39 T
- Taux d'exploitation saisonnier : Texp1 = 24.5 % IC (95%) = [19.9 ; 31.8]
- Taux d'exploitation journalier moyen : Texp2 = 14.2 % IC (95%) = [13.8 ; 14.7]



$N_{observations} = 6$

Figure 16 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers (Texp2)

#### 4.2.6. Saison de pêche 2003/2004

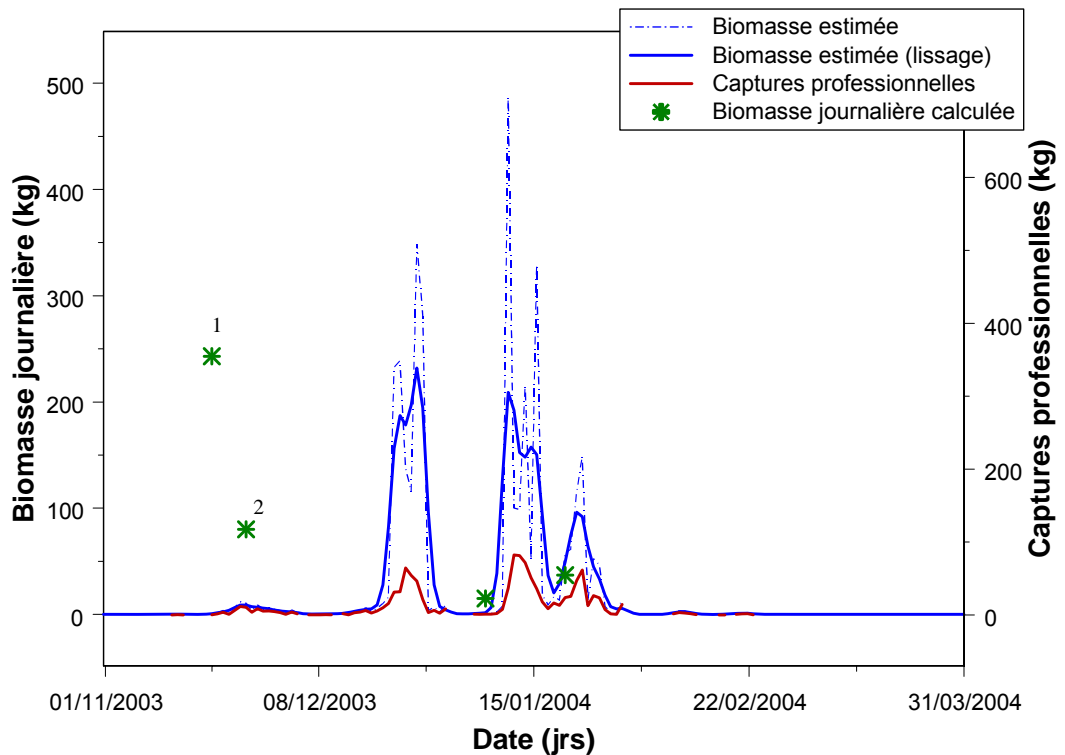


Figure 17 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 2003/2004

La biomasse journalière n'a pu être estimée pour les jours correspondants aux biomasses journalières observées pour les étiquettes 1, 2 compte-tenu de captures inférieures au seuil requis pour l'estimation. 2 pics de remontée de faible importance sont observés, mais le premier mis en évidence par les pêches scientifiques vers la mi-novembre n'a pu être détecté par la pêche professionnelle.

#### Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :

- Biomasse saisonnière moyenne = 3.39 tonnes IC (95%) = [3.14 ;3.63 ]
- Biomasse saisonnière médiane = 3.38 tonnes EIQ= 0.171
- Biomasse saisonnière lissée = 3.38 tonnes

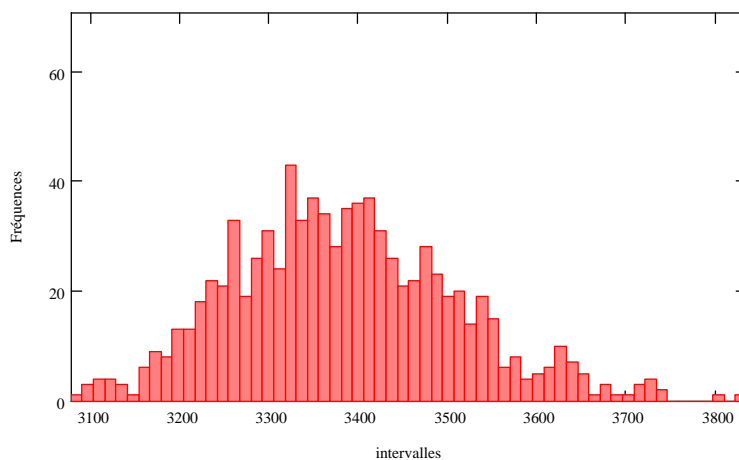


Figure 18 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières simulées

**Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé :**

- Capture saisonnière = 1.092 T
- Taux d'exploitation saisonnier :  $T_{exp1} = 32.2\%$  IC (95%) = [30.1 ; 34.8]
- Taux d'exploitation journalier moyen :  $T_{exp2} = 36.9\%$  IC (95%) = [26.0 ; 47.8]

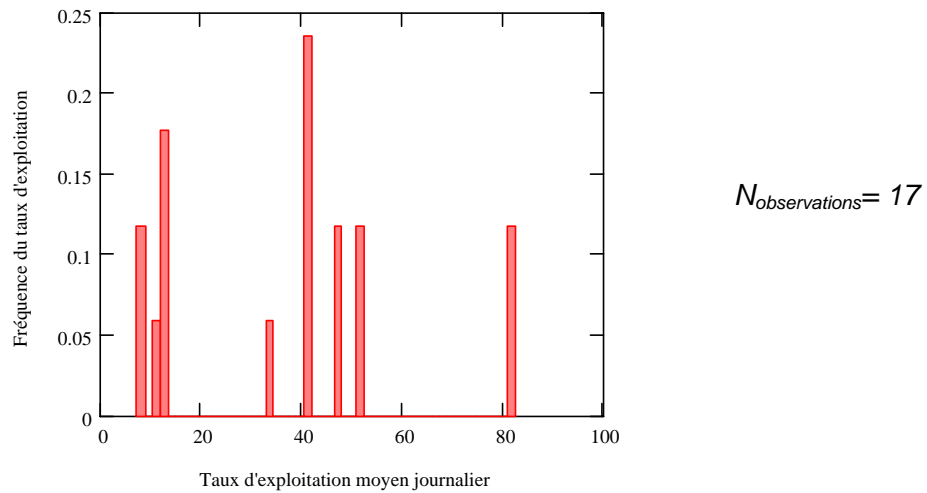


Figure 19 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers ( $T_{exp2}$ )

4.2.7. Saison de pêche 2004/2005

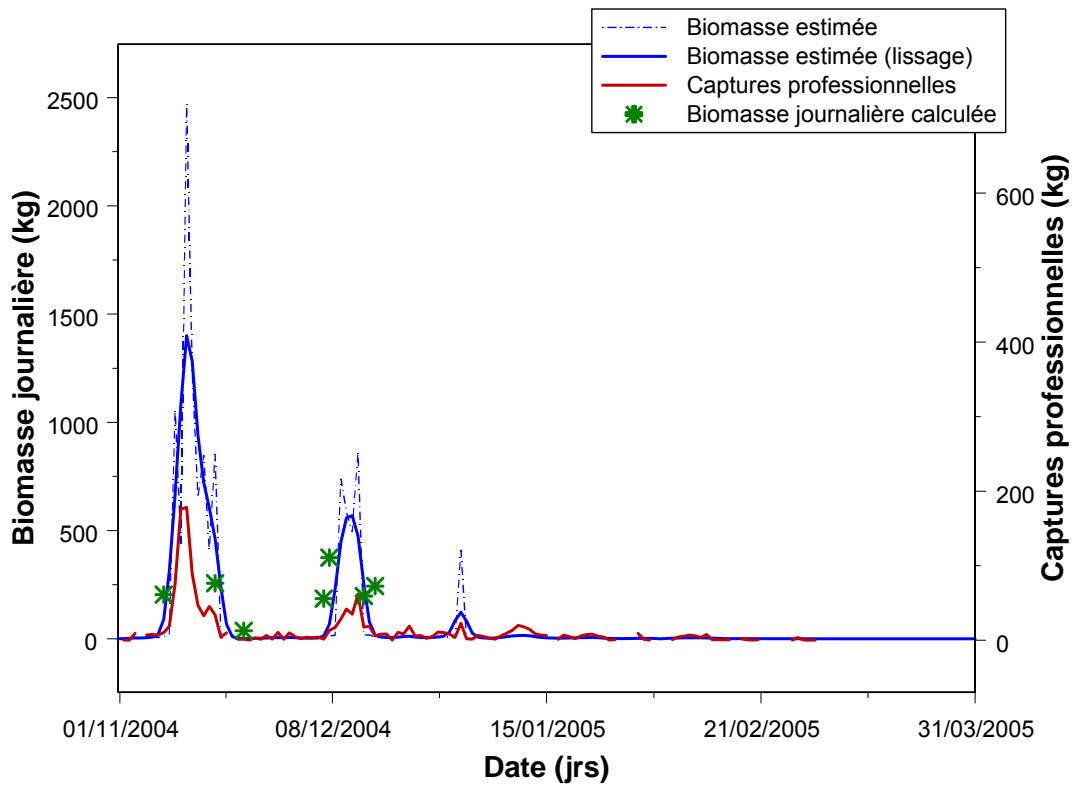


Figure 20 : Biomasses et captures journalières sur la saison de pêche 2004/2005

Au cours de cette saison de pêche 2 pics de remontée précoces sont détectés et les valeurs de biomasses journalières observées de manière indépendante, sont tout à fait cohérentes avec es valeurs de biomasses journalières simulées.

**Caractéristiques de la distribution des biomasses saisonnières simulées :**

- Biomasse saisonnière moyenne = 11.6 tonnes      IC (95%) = [10.23;12.94]
- Biomasse saisonnière médiane = 11.6 tonnes      EIQ= 0.878
- Biomasse saisonnière lissée = 11.4 tonnes

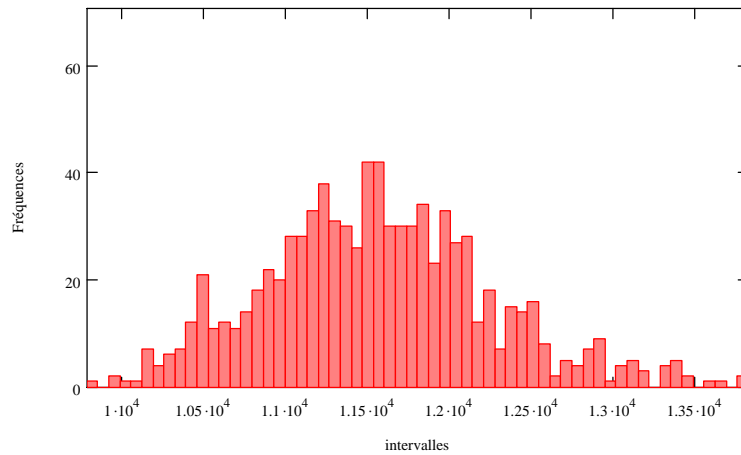


Figure 21 : Histogramme de fréquence des biomasses saisonnières simulées

**Taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle au tamis poussé:**

- Capture saisonnière = 1.398 T
- Taux d'exploitation saisonnier : Texp1 = 12.1 %      IC (95%) = [10.8 ; 13.7]
- Taux d'exploitation journalier moyen : Texp2 = 9.1%      IC (95%) = [4.2 ;14.0]

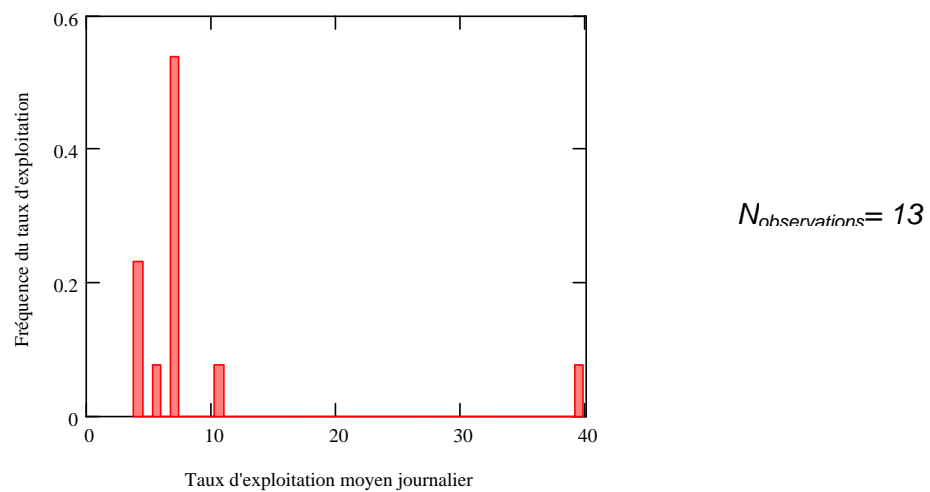


Figure 22 : Histogramme des taux d'exploitation journaliers (Texp2)

### 4.3. Compilation des résultats de biomasses et de taux d'exploitation saisonniers estimés entre les saisons de pêche 1998/1999 et 2004/2005

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des biomasses saisonnières et des taux d'exploitation estimés

Saison	BiomSais (T)*	Min	Max	BiomSais2 (T)**	Min2	Max2	captureTP (T)
1998/1999	16,4	14,9	17,8	19,3	17,9	20,7	1,655
1999/2000	59,2	56,7	61,6	64,1	61,6	66,5	4,579
2000/2001	6,6	5,7	7,5	14,4	11,8	17	1,446
2001/2002	12,3	6,3	18,2	16,4	10,5	22,4	0,77
2002/2003	1,6	1,2	2	2,2	1,8	2,6	0,388
2003/2004	3,4	3,2	3,6	7,1	4,4	9,8	1,092
2004/2005	11,6	10,2	12,9	15,6	14,2	17	1,398

Saison	Texp1 (%)	Min1	Max1	Texp2 (%)	Min2	Max2
1998/1999	10,1	9,3	11,1	11,8	6,8	16,8
1999/2000	7,8	7,4	8,1	12,1	8,9	15,1
2000/2001	21,9	19,4	25,5	23,2	17,6	28,8
2001/2002	6,3	4,2	12,1	7,8	1,1	14,5
2002/2003	24,5	19,9	31,8	14,2	13,8	14,7
2003/2004	32,2	30,1	34,8	36,9	26	47,8
2004/2005	12,1	10,8	13,7	9,1	4,2	14

\* : Biomasse journalière estimée pour les jours où la capture professionnelle est supérieure à 20 kg  
 \*\* : Biomasse journalière estimée pour les jours où la capture professionnelle est supérieure à 10 kg.

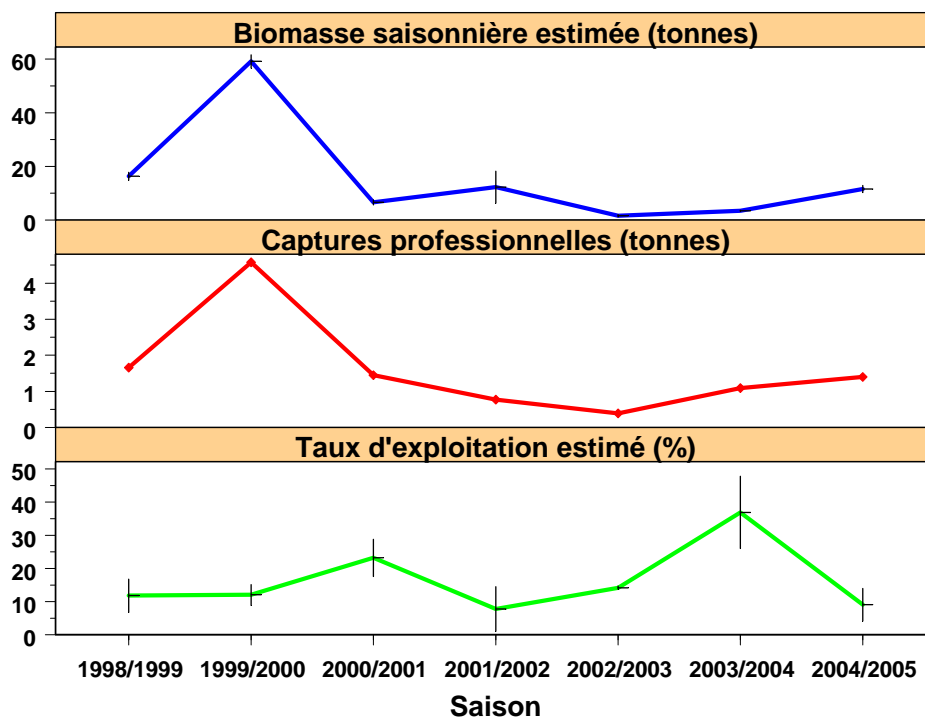


Figure 23 : Evolutions conjointes de la biomasse saisonnière de civelles (contrainte à 20kg), des captures professionnelles saisonnières au tamis poussé et du taux d'exploitation estimé de la pêche professionnelle dans l'estuaire maritime de l'Adour.

Les valeurs de biomasses saisonnières estimées sont généralement inférieures à vingt tonnes pour la période considérée (6 saisons de migration sur 7 étudiées) (figure 23). Seule la biomasse saisonnière de la saison 1999-2000 est très supérieure avec une valeur de l'ordre de 60 tonnes. Le minimum de la période considérée est estimé en 2002-2003 à une valeur de 1,6 tonnes.

Les captures professionnelles au tamis poussé suivent bien évidemment cette tendance, mais une analyse plus précise montre que les taux d'exploitation saisonniers estimés peuvent différer de manière importante du simple au double voire du simple au triple et qu'il est plus fort pour des biomasses faibles.

Sur l'ensemble de la période étudiée : 1998 à 2004, Le taux d'exploitation saisonnier moyen ( $T_{exp1}$ ) est de 16,4%. Le taux d'exploitation journalier moyen ( $T_{exp2}$ ) sur l'ensemble des saisons est également de 16,4%.

## 5. DISCUSSION

### 5.1. La cohérence du modèle et des estimations de biomasses effectuées

L'analyse de variance réalisée permet de montrer l'effet significatif de 2 facteurs : le volume des captures ( $InCapt$ ) et la turbidité ( $TurbCod$ ). La visualisation de la dispersion des taux d'exploitation en fonction des captures montre qu'il n'y a pas d'effet linéaire. En dessous d'une certaine densité d'individus dans l'estuaire l'efficacité des engins de pêche est faible même lorsque les conditions climatiques accroissent la vulnérabilité des civelles. La forte influence du facteur turbidité confirme les observations réalisées sur le comportement de la civelle dans l'estuaire de l'Adour (de Casamajor *et al* 1999) et montre que les taux d'exploitation les plus élevés correspondent aux eaux les plus turbides : valeurs du coefficient des 2 modalités  $\left[ \begin{matrix} -0,484 \text{ pour } <13 \text{ NTU} \\ +0,484 \text{ pour } >13 \text{ NTU} \end{matrix} \right]$ . Cela correspond à une présence du flux de civelles plus près de la surface et donc en densité plus forte dans la zone prospectée par les tamis poussés qui ne peuvent explorer, compte-tenu de leurs configurations sur l'Adour, qu'une tranche d'eau d'épaisseur inférieure à 1m50 à partir de la surface (cf. photo ci-dessous).



Les travaux réalisés par l'INRA (Bardonnnet *et al* 2005) montrent en effet que les civelles fuient des intensités lumineuses supérieures à  $10^{-10} \text{ W.cm}^{-2}$  surtout aux stades pigmentaires  $V_A$  et  $V_B$  qui caractérisent ces flux dans l'estuaire maritime durant la période de principale migration (de Casamajor *et al* 2000). Ces valeurs seuils très faibles sont

trouvées dans la colonne d'eau à une profondeur supérieure à 2 mètres (hors d'atteinte des tamis poussés) lorsque le ciel est noir et clair et la turbidité de 5 à 8 NTU<sup>5</sup>. L'influence du terme d'interaction (*MareeCod :Lune*) est plus difficile à analyser, mais vient affiner significativement l'ajustement du modèle aux observations.

L'équation ainsi déterminée nous a permis d'estimer des biomasses journalières sous réserve que les captures dépassent un certain seuil et que les conditions hydrodynamiques ne provoquent pas un blocage hydrodynamique (figure 24) .

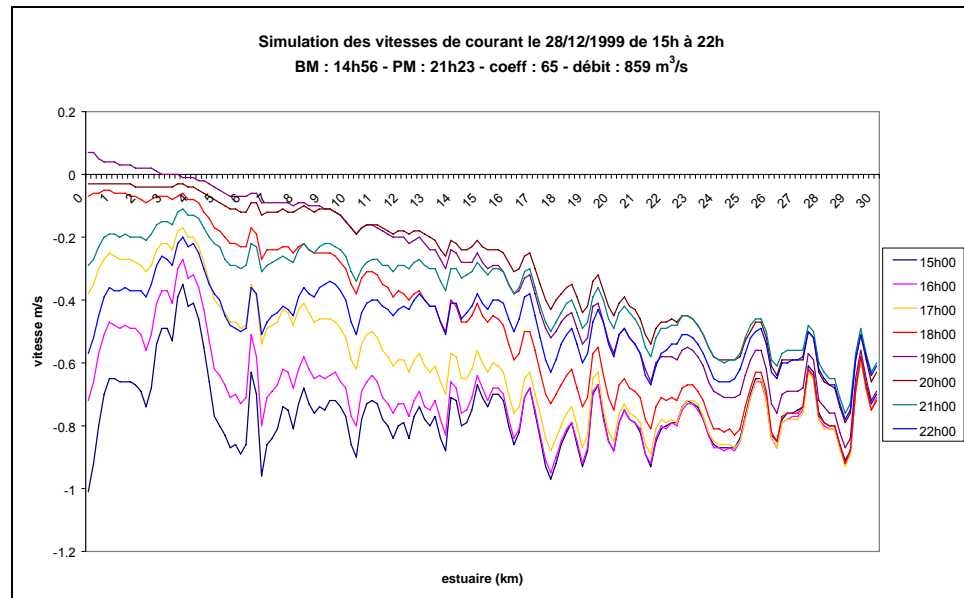


Figure 24 : Simulation des vitesses de courant le long de l'estuaire par le modèle 1D le 28/12/1999 illustrant une situation de blocage, d'après Prouzet *et al* 2003.

La visualisation conjointe des biomasses journalières estimées lors des campagnes scientifiques et des biomasses estimées, le même jour, par prédiction des taux d'exploitation à partir des captures et des variables hydroclimatiques<sup>6</sup>, montre que le modèle est cohérent et reproduit bien par la trajectoire moyenne saisonnière les valeurs de biomasses journalières estimées à partir des observations de terrain (e.g. figures 5,8 et 20).

## 5.2. Influences des contraintes utilisées pour l'estimation de la biomasse saisonnière et du taux d'exploitation.

Le tableau 9 et la figure 23 pourraient laisser penser que le taux d'exploitation de la pêche professionnelle est d'autant plus fort que la biomasse saisonnière est faible. En fait, il convient, avant toute conclusion hâtive, de bien prendre en compte le fait que l'estimation de biomasse saisonnière par la méthode employée est une valeur minimisée. En effet, plus le nombre de jours de captures journalières inférieures au seuil<sup>7</sup> requis pour le calcul

<sup>5</sup> Correspondant à la modalité 1 de la variable codée turbidité dans le modèle.

<sup>6</sup> Les simulations effectuées en faisant varier le couple débit-coefficient de la marée montrent qu'avec un débit supérieur à  $600\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , la marée se propage peu dans l'estuaire lorsque les coefficients sont inférieurs à 60.

<sup>7</sup> Nous avons pris un seuil de 20kg pour les captures journalières au tamis poussé ce qui correspond approximativement à une densité de 1 civelle par  $100\text{m}^3$  ; densité que l'on estime être à la limite de détection des tamis.

de la biomasse journalière est élevé (cf. algorithme § 3.4.2) plus le nombre de jours utilisé pour le calcul de la biomasse saisonnière sera faible. C'est l'explication qui peut être avancée pour la saison de pêche 2002/2003 où seulement 6 estimations de biomasse journalière ont pu être effectuées en prenant une contrainte de 20kg minimum pour les captures journalières. L'annexe 3 donne les résultats d'un autre compromis qui consiste à abaisser ce seuil à 5kg. Cela permet d'accroître fortement le nombre de jours de calcul. Par exemple, pour cette même saison de pêche nous triplons quasiment le nombre d'estimations de biomasse journalière (17 observations) ce qui permet de doubler la biomasse saisonnière (3,1 tonnes) et donc de diviser par 2 le taux d'exploitation global (12,4%). L'indicateur constitué par le taux d'exploitation moyen journalier est, par contre, moins affecté : 11,8% au lieu de 14,1%. Pour la saison 2003/2004, la même explication peut être avancée puisque l'application d'une contrainte à 5kg permet de doubler les observations et de presque tripler la biomasse saisonnière ce qui fait passer le taux d'exploitation saisonnier global à 13,2% au lieu de 32,2%. Pour cet exemple, le taux d'exploitation moyen journalier est beaucoup moins sensible à la modification de la contrainte puisque le taux d'exploitation moyen journalier est estimé à 25,4% au lieu de 36,9% (cf. tableau 9). Pour la saison 2000/2001, la prise en compte d'une contrainte à 5kg permet également de diviser par 3 le taux d'exploitation global saisonnier, mais aussi d'abaisser le taux d'exploitation moyen journalier qui passe de 23,2% à 14,4%.

Comme nous le voyons, la valeur de la contrainte définie par le poids minimal journalier de captures au-dessus duquel le calcul de la biomasse journalière peut être effectué (sinon la biomasse journalière est ramenée au poids de civelle capturé en estuaire) est un élément qui conditionne fortement l'estimation du taux d'exploitation global saisonnier surtout quand les flux de civelles remontant l'estuaire sont peu conséquents. Dans ces conditions, la méthode de calcul définie a tendance à sous-estimer la biomasse saisonnière et par voie de conséquence à surestimer le taux d'exploitation global. La valeur de ce seuil doit être l'objet d'une discussion entre les acteurs de la gestion qui peuvent être guidés dans leur choix par l'analyse de l'effort de pêche déployé dans la portion d'estuaire considéré. Pour l'Adour, il semble que le déploiement journalier d'une flottille de 5 unités semble suffisant à échantillonner correctement la partie maritime.

### **5.3. Variabilité de la biomasse saisonnière estimée.**

La diminution de la ressource en anguille dans son aire de répartition est un fait avéré et la chute a été constatée dès les années cinquante dans les zones scandinaves et dans les années soixante-dix dans la partie centrale de son aire de répartition (Anonyme 2003, Prouzet 2003). Les abondances répertoriées au travers des captures ne permettaient pas, à part quelques rivières comme La Vilaine (Briand *et al* 2003), d'avoir une idée de la biomasse migrant dans les estuaires ouverts comme ceux de l'Adour. Les biomasses répertoriées ces 7 dernières années indiquent que celles-ci sont variables et comprises entre 2 et 60 tonnes environ. Ces chiffres sont des minima car une partie du flux peut échapper totalement à la pêcherie dans la mesure où la migration vers l'amont se fait de jour à marée montante à proximité du fond. Les vitesses de migration estimées, de l'ordre de 0,4 à 0,5 m/sec montrent que certains groupes de civelles peuvent franchir de jour la zone de pêche avant que la flottille puisse se déployer sur zone la nuit (Prouzet *et al* 2005).

### **5.4. Adaptation à d'autres estuaires**

Cette méthode d'estimation de la biomasse saisonnière de civelles nécessite une bonne connaissance des captures professionnelles journalières. En associant ces captures aux variables environnementales, nous avons montré qu'il est possible d'estimer un taux d'exploitation journalier de civelles et d'en déduire une biomasse journalière. Le lissage

des données de biomasses journalières en prenant 3 jours comme fenêtre de lissage<sup>8</sup>, aboutit à une estimation des biomasses journalières pour l'ensemble des jours de la saison, puis à une biomasse saisonnière totale lorsque les jours sans capture ne sont pas trop nombreux.

A l'échelle d'un bassin versant, cette biomasse estimée peut être utilisée comme un indicateur absolu du flux migratoire de civelles pénétrant dans l'estuaire et peut être comparée à des indicateurs d'abondance issus du dénombrement des anguillettes ou bien de l'avancée du front de colonisation des anguilles inférieures à 30 cm (Rigaud et Lafaille <http://www.ifremer.fr/indicang/sites-thematiques/pdf/BT-anguille-jaune-v4.pdf>). Appliquée à plusieurs bassins-versants de la façade atlantique, cette méthode permettrait également une comparaison inter-bassins du recrutement annuel de cette espèce et participerait ainsi à aider à la gestion de la population d'Anguille européenne à l'échelle de son aire de répartition. C'est en tout cas un des objectifs poursuivis par le projet INTERREGIII B INDICANG (Prouzet 2004) dans le cadre duquel l'adaptation de cette méthode est faite sur les estuaires de la Loire, sur un affluent de la Dordogne l'Isle, sur l'Oria (rivière du Pays Basque espagnol) et sur le Minho (rivière du nord du Portugal).

---

<sup>8</sup> ce qui correspond à la vitesse de disparition d'un groupe de civelle de la zone exploitée par les tamis poussés (Bru, Lejeune et Prouzet, 2004)

## BIBLIOGRAPHIE

- Anonymous 2003.** Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels. 2-6 September 2002 Nantes, France. *ICES CM 2003/ACFM: 06*, 87 pages.
- Anonyme, 2006.** Confronter les indicateurs aux réalités des bassins. *La lettre d'INDICANG N° 4 et 5*, septembre 2006, 12 pages.
- Bardonnnet A., V. Bolliet, V. Belon, 2005.** Recruitment abundance estimation: Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **321**: 181-190.
- Briand C., Fatin D., Fontenelle G. et E. Feunteun, 2003.** Estuarine and fluvial recruitment of the European glass eel, *Anguilla anguilla*, in an exploited Atlantic estuary. *Fisheries Management and Ecology*, 2003, **10**, 377-384.
- Bru N., 1998.** Etude de quelques méthodes d'estimation non paramétriques de courbes. Application à l'évaluation de flux de civelles d'anguille. *Thèse de doctorat, Université de Pau*, 161 pages.
- Bru N. et Lejeune M., 2004.** Méthodologies statistiques appliquées à l'étude des flux de civelles d'Anguille. *LabSAD- Univ. P. Mendès-France*.30p.
- Bru N., M. Lejeune et P. Prouzet, 2004.** Estimations journalières et saisonnières de l'abondance d'un flux de civelles en estuaire ouvert : Application à l'Adour. In Ixième Colloque International d'Océanographie du golfe de Gascogne, Pau - juin 2004, (poster).
- Chambers J.M. et Hastie T.J. , 1992.** Statistical Models In S. *Chapman et Hall (Ed.)*. 608p.
- 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 de Doctorat, Université de Pau*, 164 pages.
- De Casamajor M.N., Bru N. et P. Prouzet, 1999.** Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement vertical de migration de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **355**, 327-347.
- Efron B. and Tibshirani R.J., 1993.** An introduction to the Bootstrap. *New York: Chapman & Hall*.
- Lissardy M., de Casamajor M.-N., Sanchez F., Prouzet P., Morandau G. et F.-X. Cuende, 2005.** Caractérisation et abondance des captures professionnelles estuariennes dans le bassin de l'Adour en 2004. *Rapport IFREMER-Institution Adour- ADERA*, 50 pages.
- Prouzet P. (coord.), 2002.** Historique des captures de civelles, intensité de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indices de colonisation sur le bassin versant de l'Adour. *Rapport final, IFREMER-LRHA. Projet EC/DG FISH (DG XIV) 99/023*, 148p. + annexes.

**Prouzet P., 2003.** Les pêches et les ressources estuariennes et continentales : Importance, évolution et contraintes anthropiques : un cas particulier, l'anguille. In *Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes. Académie des Sciences - rst 17, sous-chapitre 6.7, 235-248.*

**Prouzet P. (Coord), 2003.** Etude sur la civelle (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour. *Rapport IFREMER-LRHA –Institution Adour, 353p.*

**Prouzet P., 2004.** INDICANG : un projet pour synthétiser nos connaissances sur l'anguille et sur la qualité de ses habitats par la mise en réseau d'opérations de suivis régionaux à une échelle de dimension européenne. *Chroniques Européennes, 54 : 50-51.*

**Prouzet P., (coordinateur) 2005.** Rapport d'avancement des travaux du GDR Adour. *Convention IFREMER 03/1214842, 58 pages.*

**Prouzet P., (coordinateur) 2006.** Second rapport d'avancement des travaux du GDR Adour. *Convention IFREMER 03/1214842, 79 pages.*

**Prouzet P., Boussouar A., Sanchez F. et M.-N. de Casamajor, 2005.** Comportement migratoire des civelles (*Anguilla anguilla*) en estuaire : Modélisation et application à la vitesse de déplacement du flux et à sa disponibilité pour la pêche. *Colloque « golfe de Gascogne » Brest, 22 - 24 mars 2005, Poster.*

**Sanchez F., de Casamajor M.-N., Lissardy M., Bru N. et A. Boussouar, 2005.** Rapport d'étape INDICANG : Estimation journalière des flux migratoires de civelles dans l'estuaire de la Loire. *Convention –IFREMER-ADERA 4/5 210 333, 36 pages.*

**Venables W.N. and Ripley B.D., 2002.** Modern Applied Statistics with S. In *Statistics and Computing (4<sup>th</sup> Edition) Ed Springer, 495 pages.*

## ANNEXE 1

**Tableau regroupant les données de biomasses, de captures professionnelles et les variables environnementales utilisées pour le modèle linéaire généralisé**

Num	Saison	date	biotot	capture	Incapt	texp	mareecod	turbcod	debcod	lune	coef	turbidite	temp	debit
1	S9899	12/01/99	138	6	1,79	4,35	1	2	3	NL	40	32,18	6,67	403,5
2	S9899	14/01/99	412	8,2	2,10	1,99	1	1	2	NL	57	12,67	6,667	377,8
3	S9899	22/01/99	157	11,2	2,42	7,13	2	2	2	PQ	81	19,06	7,054	270,4
5	S9899	28/01/99	42	4,5	1,50	10,71	2	2	3	PL	66	29,84	8,753	745,9
6	S9899	11/02/99	79	4,6	1,53	5,82	1	2	3	NL	38	21,08	7,187	428,8
7	S9899	17/02/99	206	14,5	2,67	7,04	3	1	2	NL	101	7,44	6,402	300,5
10	S9899	17/03/99	203	13,5	2,60	6,65	3	1	2	NL	101	12,67	12,2	329,5
12	S9900	09/12/99	1597	36,79	3,61	2,30	2	1	1	NL	78	3,82	7,384	142,33
13	S9900	22/12/99	664	21,15	3,05	3,19	3	2	3	PL	100	28,02	7,332	440,6
14	S9900	05/01/00	409	77,31	4,35	18,90	2	2	2	NL	71	17,72	8,256	288,8
15	S9900	07/01/00	821	63,64	4,15	7,75	2	1	1	NL	78	12,03	7,761	234,3
16	S9900	08/01/00	763	34,67	3,55	4,54	2	1	1	NL	79	10,77	7,82	220,01
17	S9900	09/01/00	993	12,56	2,53	1,26	2	1	1	NL	78	9,86	7,863	206,82
18	S9900	12/01/00	95	8,79	2,17	9,25	2	1	1	PQ	65	8,32	7,104	191,97
19	S9900	01/02/00	1715	36,18	3,59	2,11	1	1	1	NL	48	4,15	7,056	119,27
20	S9900	08/02/00	464	1,2	0,18	0,26	3	1	1	NL	87	5,28	9,399	156,8
21	S0001	14/12/00	152	3,2	1,16	2,11	3	1	1	PL	98	5,85	10,25	231,1
22	S0001	21/12/00	134	14,7	2,69	10,97	2	1	1	NL	61	9,08	8,859	230
23	S0001	03/01/01	28	3	1,10	10,71	1	2	3	PQ	42	29,73	8,755	424,3
24	S0001	10/01/01	659	11,5	2,44	1,75	3	2	3	PL	94	82,47	8,29	674,5
25	S0001	12/01/01	81	18,1	2,90	22,35	3	2	3	PL	104	36,03	8,687	511,1
26	S0001	24/01/01	218	64,5	4,17	29,59	2	2	3	NL	73	26,02	9,257	473,9
27	S0001	26/01/01	132	45,9	3,83	34,77	2	2	3	NL	79	47,21	10,02	500,5
29	S0203	03/01/03	55	30,4	3,41	55,27	3	2	3	NL	88	83,91	11,3	784,7
31	S0203	22/01/03	82	2,6	0,96	3,17	3	2	2	DQ	86	24,86	8,7	362,7
35	S0304	26/11/03	80	8,2	2,10	10,25	3	1	1	NL	102	7,38	-	178,7
37	S0304	21/01/04	37	8,2	2,10	22,16	2	2	3	NL	85	24,45	-	591,9
38	S0405	09/11/04	204	10,3	2,33	5,05	2	1	1	NL	65	10,00	12,31	117,12
39	S0405	18/11/04	257	33,8	3,52	13,15	1	1	1	PQ	55	6,00	8,5	120,59
40	S0405	23/11/04	37	1,5	0,41	4,05	2	1	1	PL	71	8,00	9	140,5
42	S0405	08/12/04	375	13	2,56	3,47	1	1	1	NL	58	6,00	8	104,5
43	S0405	14/12/04	198	17,6	2,87	8,89	3	1	1	NL	93	9,00	9	94,55

- « biotot » : biomasse calculée du flux de civelles lors de la marée montante, pour le jour donné (kg)
- « capture » : captures professionnelles réalisées sur le même flux de civelles (kg)
- « texp » : taux d'exploitation de la pêche professionnelle correspondant au rapport des captures sur la biomasse calculée (%).
- « turbidité » : turbidité de l'eau (NTU)
- « temp » : température (°C)
- « debit » : débit (m<sup>3</sup>/s)

## ANNEXE 2

### Macrocommandes sous SPLUS

```
> glm(formula = texp ~ Incapt + turbcod + mareecod + debcod:lune, family = poisson(link = log),
data = TAB, na.action = na.exclude, control = list(epsilon = 0.0001, maxit = 50, trace = F))
```

Call:

```
glm(formula = texp ~ Incapt + turbcod + mareecod + debcod:lune, family = poisson(link = log), data
= TAB, na.action = na.exclude, control = list(epsilon = 0.0001, maxit = 50, trace = F))
```

Degrees of Freedom: 32 Total; 19 Residual

Residual Deviance: 66.33768

```
> glmstab<-glm(formula = texp ~ Incapt + turbcod + mareecod + debcod:lune, family = poisson(link =
log), data = TAB, na.action = na.exclude, control = list(
+ epsilon = 0.0001, maxit = 50, trace = F))
```

```
> summary(glmstab)
```

```
Call: glm(formula = texp ~ Incapt + turbcod + mareecod + debcod:lune, family = poisson(link = log),
data = TAB, na.action = na.exclude, control
= list(epsilon = 0.0001, maxit = 50, trace = F))
```

Deviance Residuals:

```
Min      1Q    Median      3Q      Max
-3.221249 -1.126763 5.63211e-009 0.6550286 2.847406
```

Coefficients: (4 not defined because of singularities)

	Value	Std.Error	t value
(Intercept)	2.25434381	0.38632843	5.8353040
Incapt	0.30226407	0.07806755	3.8718271
turbcod1	-0.48411496		-2.5139331
turbcod2	0.48411497		2.5139331
mareecod1	-0.6989518		
mareecod2	0.1021529		
mareecod3	0.5967989		
debcod1luneDQ	NA	NA	NA
debcod2luneDQ	-2.47011209	0.67911109	-3.6372725
debcod3luneDQ	NA	NA	NA
debcod1luneNL	-1.12263149	0.57207740	-1.9623769
debcod2luneNL	-1.21552410	0.47475899	-2.5602972
debcod3luneNL	-0.50329322	0.38451201	-1.3089142
debcod1lunePL	-1.29603542	0.65592712	-1.9758833
debcod2lunePL	NA	NA	NA
debcod3lunePL	-1.77335525	0.41408672	-4.2825697
debcod1lunePQ	0.06444239	0.58527227	0.1101067
debcod2lunePQ	-1.60601745	0.52641178	-3.0508767
debcod3lunePQ	NA	NA	NA

Null Deviance: 306.4665 on 31 degrees of freedom

Residual Deviance: 66.33768 on 19 degrees of freedom

Number of Fisher Scoring Iterations: 4

**Correlation of coefficients:**

	(Intercept)	Incapt	turbcod	mareecod1	mareecod2	debcod1luneDQ
Incapt	-0.1605662					
turbcod	-0.4058401	-0.3054684				
mareecod1	0.4190512	-0.2831468	-0.0355005			
mareecod2	0.1561816	-0.0941343	0.2561677	0.4635366		
debcod1luneDQ	NA	NA	NA	NA	NA	
debcod2luneDQ	-0.4601607	0.0825901	-0.0585159	-0.2684682	-0.3048554	NA
debcod3luneDQ	NA	NA	NA	NA	NA	NA
debcod1luneNL	-0.7879512	-0.3599572	0.7343114	-0.2767302	-0.0235733	NA
debcod2luneNL	-0.7554461	-0.4071618	0.4684744	-0.2976939	-0.1578219	NA
debcod3luneNL	-0.7476217	-0.3262970	0.1208212	-0.3418204	-0.2755875	NA
debcod1lunePL	-0.7255483	-0.0814274	0.5470011	-0.3170738	-0.1122953	NA
debcod2lunePL	NA	NA	NA	NA	NA	NA
debcod3lunePL	-0.7090181	-0.1810462	0.0148688	-0.3593075	-0.4385403	NA
debcod1lunePQ	-0.7363707	-0.3551580	0.7316852	-0.1798140	0.0880458	NA
debcod2lunePQ	-0.5972534	-0.0807054	0.0740504	-0.3496063	-0.1693060	NA
debcod3lunePQ	NA	NA	NA	NA	NA	NA

	debcod2luneDQ	debcod3luneDQ	debcod1luneNL	debcod2luneNL	debcod3luneNL	debcod1lunePL
debcod3luneDQ	NA					
debcod1luneNL	0.2831806	NA				
debcod2luneNL	0.3658916	NA	0.8549968			
debcod3luneNL	0.4692422	NA	0.7048677	0.8390796		
debcod1lunePL	0.2838392	NA	0.7355022	0.6554653	0.5518783	
debcod2lunePL	NA	NA	NA	NA	NA	NA
debcod3lunePL	0.4864186	NA	0.5874801	0.7328091	0.8723488	0.4963608
debcod1lunePQ	0.2368987	NA	0.8998332	0.7967808	0.6389939	0.6896243
debcod2lunePQ	0.3536519	NA	0.4922991	0.5735394	0.6632614	0.4146033
debcod3lunePQ	NA	NA	NA	NA	NA	NA

	debcod2lunePL	debcod3lunePL	debcod1lunePQ	debcod2lunePQ
debcod3lunePL	NA			
debcod1lunePQ	NA	0.5121180		
debcod2lunePQ	NA	0.6090335	0.4451309	
debcod3lunePQ	NA	NA	NA	NA

```
> anova(glmtab, test="F")
Analysis of Deviance Table
Poisson model
```

```
Response: texp
Terms added sequentially (first to last)
```

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	F Value	Pr(F)
NULL			31	306.4665		
Incapt	1	75.02062	30	231.4459	22.62162	0.0001374
turbcod	1	81.74836	29	149.6975	24.65029	0.0000860
mareecod	2	5.66788	27	144.0296	0.85454	0.4411952
debcod:lune	8	77.69195	19	66.3377	2.92839	0.0260035

```
> cor(TAB$txep,glmtab$fitted.values)^2
```

```
[1] 0.8658346
```

### ANNEXE 3

Estimation saisonnière de la biomasse et du taux d'exploitation de la pêche professionnelle dans le cas d'une biomasse journalière estimée pour les sorties supérieures à 5 kg de captures au tamis poussé.

Saison	BiomSais (T)***	Min2	Max2	captureTP (T)
1998/1999	21,9	20,4	23,4	1,655
1999/2000	65,6	63,1	68,1	4,579
2000/2001	19,3	13,9	24,7	1,446
2001/2002	20,4	14,5	26,3	0,77
2002/2003	3,1	2,5	3,7	0,388
2003/2004	8,2	5,5	10,9	1,092
2004/2005	21,3	19,8	22,8	1,398

Saison	Texp1 (%)	Min1	Max1	Texp2 (%)	Min2	Max2	Nbre jours (texp2)
1998/1999	7,6	7,1	8,1	10,2	7,9	12,6	62
1999/2000	7	6,7	7,3	10,5	8,2	12,9	80
2000/2001	7,5	5,9	10,4	14,4	10,7	18,2	55
2001/2002	3,8	2,9	5,3	4,5	2,7	6,3	37
2002/2003	12,4	10,5	15,2	11,8	9,7	13,9	17
2003/2004	13,2	10	19,6	25,4	17,6	33,1	33
2004/2005	6,6	6,1	7,1	7,5	5,5	9,5	57

\*\*\* : Biomasse journalière estimée pour les jours où la capture professionnelle est supérieure à 5 kg

## RESUME

Ce rapport décrit la mise en oeuvre d'une méthode d'estimation saisonnière de la biomasse des flux de civelles entrant dans l'estuaire de l'Adour.

Elle se base sur les résultats de sorties expérimentales aux plans d'échantillonnage standardisés afin de déterminer, pour des conditions hydroclimatiques précises, le taux d'exploitation exercé par la pêcherie professionnelle au tamis poussé. Elle permet ensuite de prédire le taux d'exploitation un jour déterminé à partir des captures et du niveau des différentes modalités des facteurs hydroclimatiques.

Cette méthode complète la méthode d'estimation journalière de la biomasse développée antérieurement sur cet estuaire.

L'application est faite sur 7 saisons de pêche professionnelle de 1998 à 2004. Les résultats obtenus montrent que les biomasses saisonnières fluctuent fortement entre 2 et 60 tonnes environ. Ces estimations doivent être considérées comme des *minima* surtout pour les saisons où les remontées sont peu importantes et très dispersées durant toute la saison de migration. Elles constituent cependant des ordres de grandeur crédibles pour évaluer le niveau de recrutement estuarien au cours de ces dernières années.

L'ensemble des méthodes et outils mis au point est en phase d'adaptation sur plusieurs bassins versants du réseau INDICANG : Loire, Isle, Oria et Minho.

**Mots clés :** Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) ; estimation de flux de civelles ; modèles numérique et statistique.

## SUMMARY

This technical report describes the implementation of a statistical method allowing to estimate the seasonal biomass of glass eels runs coming through the Adour estuary. This method is based on the results of experimental scientific surveys with standardized sampling designs in order to determine, for precise hydroclimatic conditions, the exploitation rate for the professional fisheries using the push sieve. Then, that allows to predict the daily exploitation rate from the catches and the level of the various hydroclimatic factors that given day. This method supplements the one previously developed to estimate the daily biomass on this estuary.

The application is made over 7 fishing seasons from 1998 to 2004. The results obtained show that the seasonal biomasses strongly fluctuate between 2 and 60 tons approximately. These estimates must be regarded as *minima* especially for fishing seasons characterized by weak and dispersed runs of glass eels. However, they constitute credible orders of magnitude to evaluate the level of recruitment in the Adour estuary during these recent years. The whole of the methods and tools finalized is fitting on several catchments of the INDICANG network : Loire (France), Isle (France), Oria (Spain) and Minho (Portugal).

**Key words :** European Eel (*Anguilla anguilla*); estimates of glass eel runs; numerical and statistical models.