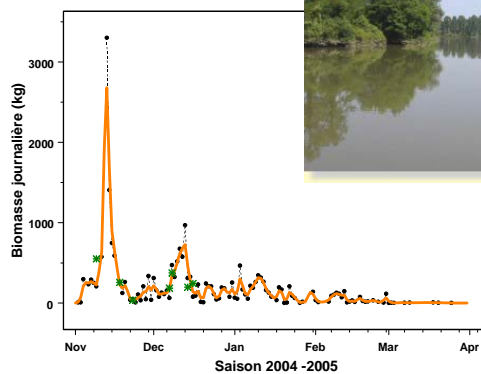




Laboratoire Ressources Halieutiques d'Aquitaine - Bidart

Ifremer

Quantification par une méthode analytique 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 de 1998 à 2005



Cellule d'Étude et de Recherche en Environnement Côtier en Aquitaine



N. BRU

UPPA-LMA, Ifremer - Laboratoire Ressources Halieutiques d'Aquitaine

J.C. BOUVET, P. PROUZET

IFREMER-HGS-Laboratoire Ressources Halieutiques d'Aquitaine

Avec la participation de l'ADERA/Cereca

M.N. De Casamajor, F. Sanchez, M. Lissardy

Décembre 2006

SOMMAIRE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCTION | 3 |
| 2 | BASES COMPORTEMENTALES ET HALIEUTIQUES | 4 |
| 3 | MATERIELS ET METHODES | 6 |
| 3.1 | Les données de captures | 6 |
| 3.2 | Les données scientifiques | 6 |
| 3.3 | Compilation des données pour l'estimation saisonnière..... | 7 |
| 3.4 | Choix de l'outil de prédiction..... | 8 |
| 3.4.1 | La variable à prédire..... | 8 |
| 3.4.2 | Les variables explicatives..... | 9 |
| 3.5 | Modélisation du taux d'exploitation en fonction des variables explicatives | 9 |
| 3.5.1 | Paramétrage du modèle | 9 |
| 3.5.2 | Choix du modèle | 9 |
| 3.6 | Prédiction du taux d'exploitation journalier | 10 |
| 3.6.1 | Evaluation des taux d'exploitation journaliers sur une saison | 10 |
| 3.6.2 | Suppression des valeurs aberrantes de taux d'exploitation journaliers..... | 11 |
| 3.7 | Prédiction de la biomasse journalière | 11 |
| 3.7.1 | Evaluation des biomasses journalières sur une saison | 11 |
| 3.7.2 | Correction des valeurs de biomasses journalières estimées | 12 |
| 3.7.3 | Extrapolation des biomasses journalières estimées..... | 12 |
| 3.8 | Prédiction de la biomasse saisonnière | 13 |
| 3.8.1 | Estimation à partir de la série brute de biomasses journalières..... | 13 |
| 3.8.2 | Estimation à partir de la série lissée de biomasses journalières..... | 13 |
| 4 | RESULTATS | 15 |
| 4.1 | Estimation du taux d'exploitation journalier | 15 |
| 4.2 | Estimation de la biomasse saisonnière de civelles de 1998 à 2004 | 16 |
| 4.2.1 | Construction des courbes de biomasses journalières sur chaque saison | 16 |
| 4.2.2 | Calcul des biomasses saisonnières estimées et de leur précision..... | 17 |
| 4.3 | Estimation du taux d'exploitation saisonnier | 18 |
| 5 | DISCUSSION | 20 |
| 5.1 | Cohérence du modèle vis à vis du comportement des civelles..... | 20 |
| 5.2 | Précision de la biomasse saisonnière et du taux d'exploitation saisonnier | 20 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.3 | Utilisation du modèle et adaptation à différents estuaires | 22 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 23 |
| | ANNEXES | 25 |

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 INDICANG¹ coordonné par IFREMER (<http://www.ifremer.fr/indicang>). Ce projet entrepris dans le cadre du programme INTERREGIIB² 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) 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) (lettres INDICANG 4 et 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.

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 basée sur la simulation d'un ensemble de trajectoires obtenues par une méthode de type Bootstrap (Bouvet *et al*, 2006) et par application d'une méthode purement analytique. C'est cette dernière méthode qui est décrite dans ce rapport qui complète et met à jour 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).

¹ IndicAng est un projet européen visant à mettre en place des indicateurs sur l'Anguille européenne. Ce projet est programmé sur trois années, de 2004 à 2007.

² Interreg IIB est l'initiative communautaire du Fonds européen de développement régional (FEDER) en faveur de la coopération entre régions de l'Union européenne pour la période 2000-2006 ; « b » correspond à une coopération de type transnationale.

2 BASES COMPORTEMENTALES ET HALIEUTIQUES

Un peu de biologie 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 est 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.

Dans la colonne d'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 un tamis 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 dispersent 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 (voir photo) 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 halinement stratifiées. La stratification thermique ou haline nécessitant la modification du protocole d'échantillonnage, il est alors préférable d'éviter ces zones.



Tamis d'un mètre vingt de diamètre utilisé sur l'Adour



Embarcation montrant des engins de pêche pour le drossage (pêche au tamis poussé)

3 MATERIELS ET METHODES

La méthode appliquée ici vise à estimer le flux entrant de civelles en estuaire à travers le calcul d'une biomasse journalière puis d'une biomasse saisonnière. Les données à l'origine du calcul de la biomasse sont issues d'une part des données de captures professionnelles 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 (coordonateur), 2002].

3.1 Les données de captures

Le premier jeu de données est constitué à partir des captures professionnelles maritimes pour l'ensemble des saisons de pêche étudiées. Il correspond ainsi aux captures journalières déclarées par les pêcheurs pour chaque saison de pêche.

Le Tableau '1' présente la série de capture obtenue pour la saison 1999-2000.

Tableau 1 : Données de captures professionnelles maritimes sur l'Adour pour la saison 1999-2000

| Date | Capture professionnelle (kg) |
|----------|------------------------------|
| 01/11/99 | 6,39 |
| 02/11/99 | 15,07 |
| 03/11/99 | 38,64 |
| 04/11/99 | 59,78 |
| 05/11/99 | 73,66 |
| ... | ... |
| ... | ... |
| 31/03/00 | 0 |

Ces captures professionnelles correspondent aux captures journalières réalisées par les marins pêcheurs sur des lots de pêche identifiés en zone maritime durant la saison de pêche, du 1^{er} novembre de l'année 'n' au 31 mars de l'année 'n+1', (Sanchez & al, 2006).

3.2 Les données scientifiques

Des échantillonnages scientifiques journaliers ont été réalisés sur la zone d'exercice de la pêche professionnelle maritime. Ils ont été effectués pour l'ensemble des saisons de 1998 à 2005, excepté sur la saison 2001-2002, à raison d'une dizaine de campagnes journalières par saison de pêche. Des données physiques et environnementales ont également été recueillies pour caractériser le milieu et les conditions de captures qui jouent sur la capturabilité du flux. Elles concernent le débit, la turbidité, la 'température' auxquelles viennent s'ajouter la 'phase lunaire' et le 'coefficient de marée'.

Le tableau '2' représente les données recueillies durant ces campagnes.

Tableau 2 : Données partielles issues des échantillonnages scientifiques effectués sur l'estuaire de l'Adour

| Saison | date (jours) | Biomasse (kg) | Phase lunaire | Coef.marée | Turbidité (NTU) | Température (°C) | Débit (m3/s) |
|--------|--------------|---------------|---------------|------------|-----------------|------------------|--------------|
| S9899 | 11/02/99 | 79 | NL | 38 | 21,08 | 7,2 | 428,8 |
| S9900 | 09/12/99 | 1597 | NL | 78 | 3,82 | 7,4 | 142,33 |
| S9900 | 22/12/99 | 664 | PL | 100 | 28,02 | 7,3 | 440,6 |
| S0001 | 21/12/00 | 134 | NL | 61 | 9,08 | 8,9 | 230 |
| | | | | | | | |
| S0001 | 03/01/01 | 28 | PQ | 42 | 29,73 | 8,8 | 424,3 |
| S0304 | 26/11/03 | 80 | NL | 102 | 7,38 | 9,0 | 178,7 |
| S0405 | 08/12/04 | 375 | NL | 58 | 6,00 | 8,0 | 104,5 |
| S0405 | 14/12/04 | 198 | NL | 93 | 9,00 | 9,0 | 94,55 |

3.3 Compilation des données pour l'estimation saisonnière

L'ensemble des données issues des échantillonnages scientifiques a été 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 3 : Association des captures professionnelles journalières aux données de campagnes d'échantillonnage

| Saison | date (jours) | Biotot (kg) | Capture prof. (kg) | Texp (%) | Phase lunaire | Coef. de marée | 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 |
| | | | | | | | | | | |

Le regroupement des données aboutit au calcul de taux d'exploitation journaliers

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 cinq, et associé à une capture supérieure à 1 kilo. On estime en effet qu'un nombre inférieur de pêcheur n'est pas représentatif de la capture moyenne pouvant être effectuée un jour donné par l'ensemble des pêcheurs de la zone. 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 complet en Annexe1).

Un taux d'exploitation journalier est calculé à partir des biomasses journalières estimées et des captures professionnelles journalières.

3.4 Choix de l'outil de prédiction

Les données obtenues et identifiées dans le tableau 3 apportent une information suffisante permettant d'établir un modèle entre une variable à prédire et un ensemble de variables explicatives.

Le choix d'une approche orientée présente les avantages suivants :

- Si toutes les variables nécessaires sont mis à disposition, le modèle fournira toujours une prédiction complète, pour toutes les combinaisons envisagées.
- Une prédiction rapide pourra être fournie en temps réel à partir des données actualisées.

Les inconvénients principaux de l'utilisation d'un tel outil sont la difficulté du choix des variables et du paramétrage du modèle ainsi qu'une dépendance unique sur la fourniture de jeux de données complets et fiables.

L'ensemble des études portant sur le comportement des civelles et qui ont été effectuées en amont du développement de cette méthode (Prouzet, 2003), renforce ici le choix d'un tel outil.

3.4.1 La variable à prédire

La biomasse journalière est apparue comme la variable à prédire par défaut. Cependant, en tenant compte du fait que les captures professionnelles disponibles représentent une information capitale pour la construction d'un indicateur, une variable liée à cette biomasse mais permettant d'utiliser les captures a été recherchée. Le choix s'est ainsi orienté vers le 'taux d'exploitation journalier'. Celui est en outre plus influencé par les variables environnementales que ne l'est la 'biomasse'. Les variables environnementales ont en effet une influence directe sur la capturabilité des civelles (voir § 2).

La figure suivante montre l'histogramme de répartition associé aux taux d'exploitation calculés dans le tableau de synthèse des données de campagnes scientifiques (tableau 3) :

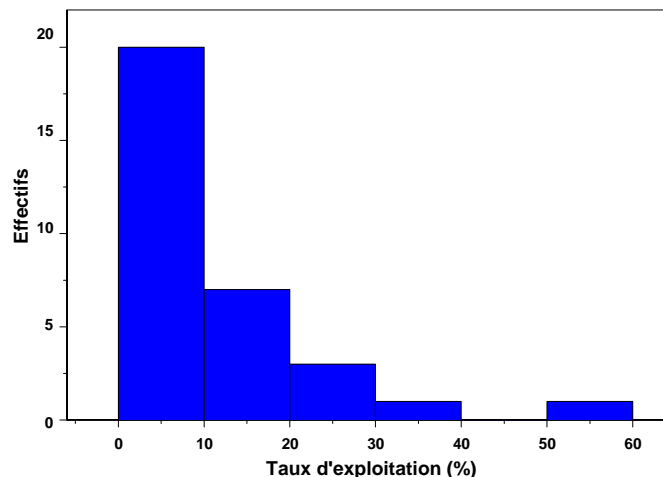


Figure 1 : Histogramme de répartition des taux d'exploitation journaliers

Le taux d'exploitation moyen est de 10.2% et l'écart-type de la distribution égal à 11.7%. Cette variable montre une sur-dispersion de ses valeurs qui sera prise en compte pour le choix du modèle.

3.4.2 Les variables explicatives

Un certain nombre de variables environnementales ont été retenues pour leur influence sur la capturabilité des civelles et ont été relevées lors des campagnes d'échantillonnages. La 'turbidité', le 'débit', le 'coefficient de marée' et la 'phase lunaire' sont ainsi les variables explicatives qui seront étudiées pour construire le modèle prédictif. Les graphiques de type 'boxplot' montrent l'influence de ces variables sur le taux d'exploitation et sont présentés en Annexe '2a'.

3.5 **Modélisation du taux d'exploitation en fonction des variables explicatives**

A l'issue de l'analyse descriptive des variables, le modèle le plus adapté semble correspondre au modèle linéaire généralisé, permettant de prédire un taux d'exploitation journalier en fonction d'une combinaison de variables environnementales avec les captures professionnelles. Le choix s'oriente vers le modèle le plus parcimonieux pour lequel les variables explicatives ont un pouvoir prédictif significatif.

3.5.1 Paramétrage du modèle

La famille de loi choisie repose sur l'observation des valeurs de la variable à prédire, le taux d'exploitation, conduisant au choix d'une loi de distribution de type 'Gamma'. Cette loi est utilisable préférentiellement pour une variable dépendante continue et positive à support vers $[0, +\infty[$. Le taux d'exploitation répond en partie à ces conditions, sauf celle de support. La fonction de lien choisie, la fonction 'inverse', correspond à la fonction par défaut associée au choix d'une loi de distribution de type 'gamma'³. Les paramètres d'entrée du modèle et l'équation génératrice sont fournis en Annexe 2b.

3.5.2 Choix du modèle

A l'issue de l'analyse descriptive des données du tableau '3', suivi d'une étude des différentes combinaisons possibles des variables explicatives, le modèle finalement retenu est caractérisé par les variables suivantes :

$$\text{texp} \sim \text{turbcod} + \text{capture}^{0.678} + \text{marecod} + \text{debcod:lune} + \text{capture:lune}$$

« texp » : taux d'exploitation

« capture » : captures professionnelles en kilos

« marecod » : coefficient de marée codé

« turbcod » : turbidité codée de l'eau (NTU)

« capture :lune » : paramètre d'interaction entre les variables 'capture' et 'lune'

« debcod :lune » : paramètre d'interaction entre les variables 'débit codé' et 'lune'

Le coefficient de puissance de la variable 'capture' est calculé en établissant une relation linéaire entre les logarithmes népériens des variables 'texp' et 'capture'.

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. Le codage choisi est le suivant:

³ Une transformation par une fonction logarithmique de la variable dépendante pour se ramener à une loi gaussienne n'a cependant pas permis d'obtenir les meilleurs résultats de prédiction.

- Codage de la marée en trois classes: 1 si $x < 60$; 2 si $60 < x < 86$; 3 si $x > 86$
- Codage du débit (m3/s) en trois classes : 1 si $x < 250$; 2 si $250 < x < 400$; 3 si $x > 400$
- Codage de la turbidité (NTU) en deux classes : 1 si $x < 13$; 2 si $x > 13$
- Codage de la Lune : Pleine Lune (PL) ; Premier Quartier (PQ) Dernier quartier (DQ) ; Nouvelle Lune (NL)

3.6 Prédiction du taux d'exploitation journalier

L'ensemble des algorithmes et calculs statistiques ont été effectués sous le logiciel *SPLUS vers. 6.1*©. Un résumé non exhaustif du programme et des différentes étapes aboutissant à l'estimation d'une biomasse saisonnière de civelles est présenté en Annexe 3. La saison 1999-2000 sera prise ici en exemple.

3.6.1 Evaluation des taux d'exploitation journaliers sur une saison

L'application du modèle sur une saison donnée nécessite la création d'un tableau d'entrée contenant l'ensemble des variables explicatives précédemment décrites afin d'obtenir un taux d'exploitation prédit pour chaque jour de pêche sur la saison. Ce tableau contient uniquement les jours de captures :

Tableau 4 : Extrait du tableau d'entrée contenant les variables explicatives du modèle pour la saison 1999-2000

| date | capture | debit | coef | turbidite | lune | debcod | mareecod | turbcod |
|------------|---------|--------|------|-----------|------|--------|----------|---------|
| 01/11/1999 | 6,39 | 112,29 | 48 | 6,4 | DQ | 1 | 1 | 1 |
| 02/11/1999 | 15,07 | 107,18 | 50 | 6,5 | NL | 1 | 1 | 1 |
| 03/11/1999 | 38,64 | 137,6 | 59 | 6,5 | NL | 1 | 1 | 1 |
| 04/11/1999 | 59,78 | 162,13 | 69 | 6,8 | NL | 1 | 2 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

L'équation générant les taux d'exploitation journaliers à partir de ce tableau est fournie en Annexe 3, partie « 3 ».

On obtient ainsi une courbe de taux d'exploitation estimé représentée en Figure 1.

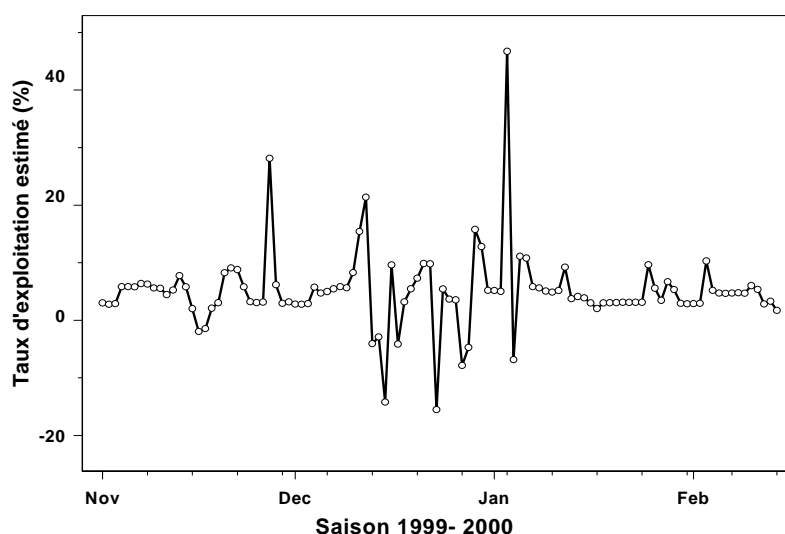


Figure 2 : Série de taux d'exploitation journaliers pour la saison 1999 – 2000

3.6.2 Suppression des valeurs aberrantes de taux d'exploitation journaliers

La prédiction faite par le modèle pouvant engendrer des valeurs de taux d'exploitation incohérentes, négatives ou supérieures à cent, un « nettoyage » est opéré sur la série de valeurs obtenue à l'étape antérieure (voir Annexe 3, partie « 4 »). Il en résulte une série de taux d'exploitation estimés positifs et inférieurs à cent pour la saison considérée.

La figure suivante présente les deux séries de valeurs obtenues avant et après cette étape de nettoyage des valeurs :

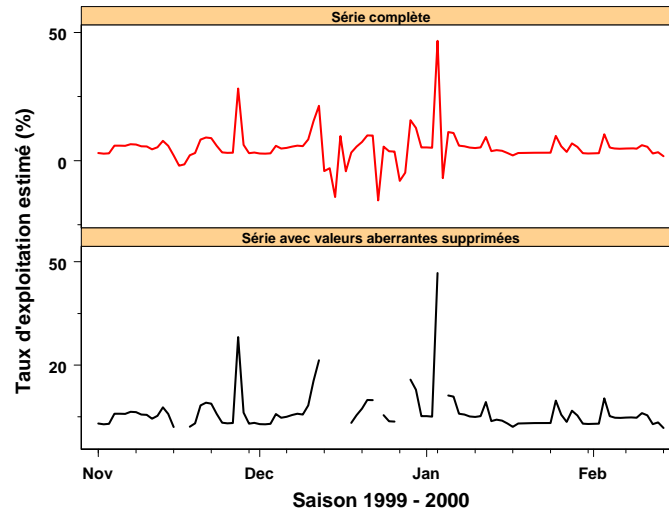


Figure 3 : Séries de taux d'exploitation estimé obtenues pour la saison 1999-2000

3.7 **Prédiction de la biomasse journalière**

3.7.1 Evaluation des biomasses journalières sur une saison

L'estimation de la biomasse journalière s'obtient directement en divisant la capture par le taux d'exploitation prédit pour un jour donné (voir annexe 3, partie 6).

On obtient ainsi la série de biomasses estimées représentée sur la figure suivante :

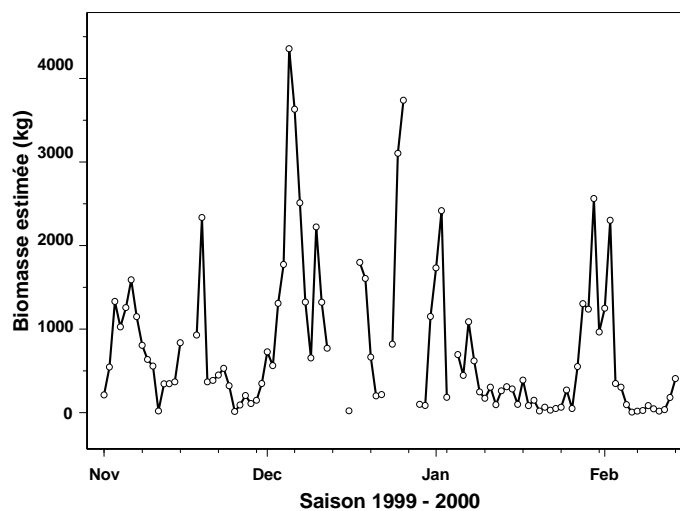


Figure 4 : Série de biomasses journalières estimées pour la saison 1999 – 2000

3.7.2 Correction des valeurs de biomasses journalières estimées

Comme pour la série de taux d'exploitation estimés, il est possible d'obtenir à cette étape un certain nombre de valeurs aberrantes de biomasses journalières. Des valeurs trop fortes s'obtiennent en effet pour un faible taux d'exploitation journalier prédit (~1,5%) associé à une capture forte (~100kg).

La connaissance du comportement des civelles pour des conditions hydrodynamiques particulières nous permet d'écarter les valeurs de biomasse associées à des jours de blocages hydrodynamiques. Ceux-ci se manifestent pour des jours dont le coefficient de marée est inférieur à 60 associé à un débit fluvial supérieur à 600 m³/s. Le modèle utilisé repose sur des hypothèses physiques et biologiques qui ne sont plus respectées dans ces conditions.

La figure suivante présente la série de biomasses dont les valeurs obtenues dans ces conditions critiques ont été écartées (voir Annexe 3, partie « 6 » et « 7 ») :

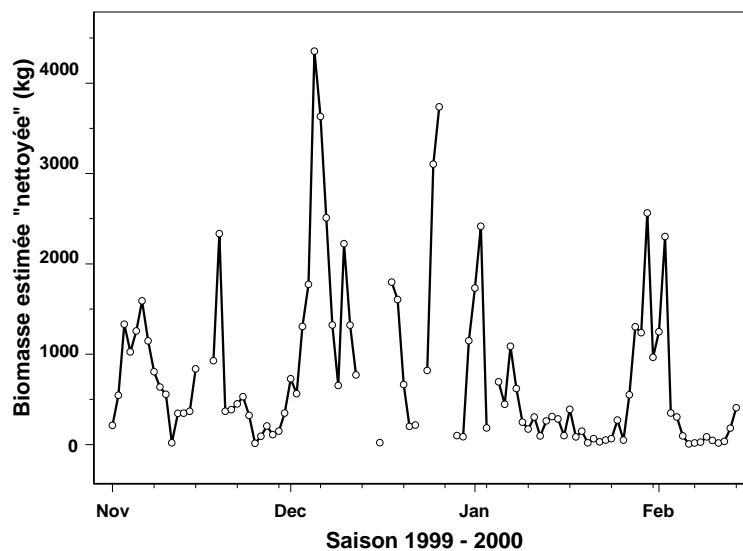


Figure 5 : Série de biomasses journalières estimées et « nettoyées » pour la saison 1999 – 2000

3.7.3 Extrapolation des biomasses journalières estimées

Une extrapolation des valeurs de biomasse journalière est réalisée sur l'ensemble de la saison en effectuant un lissage. Celui-ci s'effectue avec un noyau de Gauss pour lequel on définit une largeur de bande « b » (voir Annexe 3, partie « 8 »). Il est réalisé sur la série de biomasses journalières nettoyée et permet ainsi d'obtenir une estimation de la biomasse pour les jours sans capture professionnelle.

La figure suivante représente la courbe de biomasses journalières obtenue par lissage :

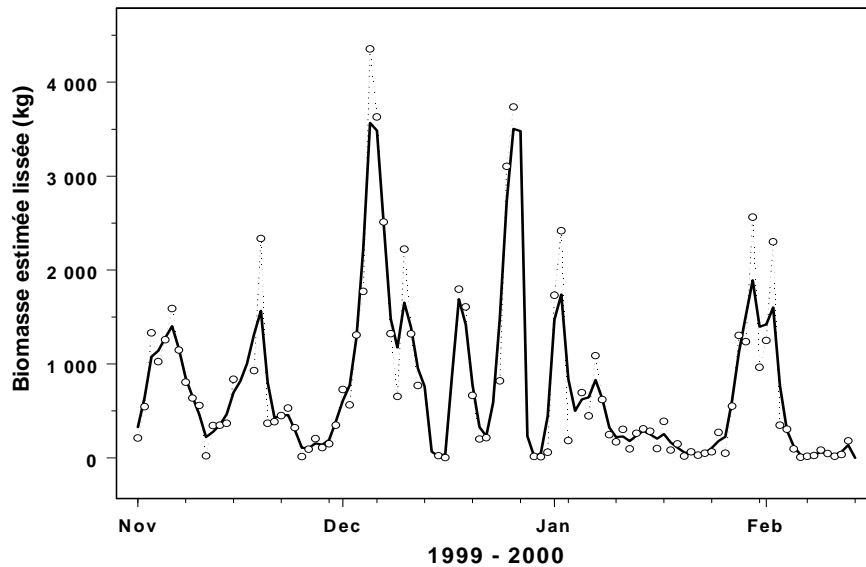


Figure 6 : Série lissée des biomasses journalières estimées pour la saison 1999 – 2000

3.8 Prédiction de la biomasse saisonnière

L'estimation de la biomasse saisonnière est réalisée en effectuant la somme des biomasses journalières estimées sur une saison.

3.8.1 Estimation à partir de la série brute de biomasses journalières

Cette première méthode consiste à effectuer une somme des biomasses journalières estimées uniquement à partir des jours de capture professionnelle (voir § 2.4.2).

$$\hat{B}_{sais} = \sum_{i=1}^n \hat{B}_i \quad i=1, \dots, n : \text{jours de capture professionnelle dans la saison}$$

3.8.2 Estimation à partir de la série lissée de biomasses journalières

L'estimation s'effectue ici à partir de la série la plus complète de biomasses journalières en effectuant la somme des valeurs de biomasses journalières lissées (voir § 2.4.3). On obtient ainsi une biomasse saisonnière estimée pour l'ensemble des jours de la saison (du premier au dernier jour de capture effective).

$$\hat{B}_{sais} = \sum_{i=1}^n \hat{B}_i(\text{lissée}) \quad n : \text{nombre de jours de la saison}$$

Un intervalle de confiance à 95% est obtenu pour chacune des deux méthodes d'estimation de la biomasse saisonnière (Bru et al, 2004).

L'équation générale est défini par :

$$V(\hat{\mathbf{B}}_{sais}) = V\left(\sum_{i=1}^n \hat{\mathbf{B}}_i\right) = \sum_{i=1}^n V(\hat{\mathbf{B}}_i) + 2 \sum_{i < j} \text{cov}(\hat{\mathbf{B}}_i, \hat{\mathbf{B}}_j) = \sum_{i=1}^n V(\hat{\mathbf{B}}_i) + 2 \times 0.18 \times V(\hat{\mathbf{B}}) \times (n-1)$$

'n' correspond aux nombres de jours de la saison où une biomasse journalière $\hat{\mathbf{B}}_i$ à pu être estimée.

Ainsi l'intervalle de confiance correspond à :

$$\mathbf{IC}_{sais}(\hat{\mathbf{B}}) (95\%) = \hat{\mathbf{B}} - 2\sigma(\hat{\mathbf{B}}); \hat{\mathbf{B}} + 2\sigma(\hat{\mathbf{B}})$$

4 RESULTATS

4.1 Estimation du taux d'exploitation journalier

Le tableau suivant présente les résultats d'analyse de variance résultant de l'application du modèle linéaire généralisé (voir Equation 1, § 2.2).

Tableau 5 : Table d'analyse de variance

| | Df | Deviance | Resid. Df | Resid. Dev | F Value | Pr(F) |
|---------------|----|----------|-----------|------------|----------|-----------|
| NULL | | | 31 | 34.53762 | | |
| turbcod | 1 | 9.571799 | 30 | 24.96582 | 18.74638 | 0.0005176 |
| capture^0.678 | 1 | 3.184725 | 29 | 21.78110 | 6.23729 | 0.0237957 |
| mareecod | 2 | 0.939055 | 27 | 20.84204 | 0.91957 | 0.4187631 |
| debcod:lune | 8 | 7.043849 | 19 | 13.79819 | 1.72442 | 0.1682470 |
| capture:lune | 3 | 1.294773 | 16 | 12.50342 | 0.84527 | 0.4890608 |

Les deux premiers facteurs interviennent très significativement dans l'explication de la variance du taux d'exploitation : -*turbcod*- variable codée de la turbidité et - *capture*^{0.678} - variable représentant la capture élevée à la puissance $\alpha=0.678$. Les trois autres variables permettent d'affiner le modèle, mais participent peu à l'explication de la variance et de manière non significative.

La figure suivante 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 :

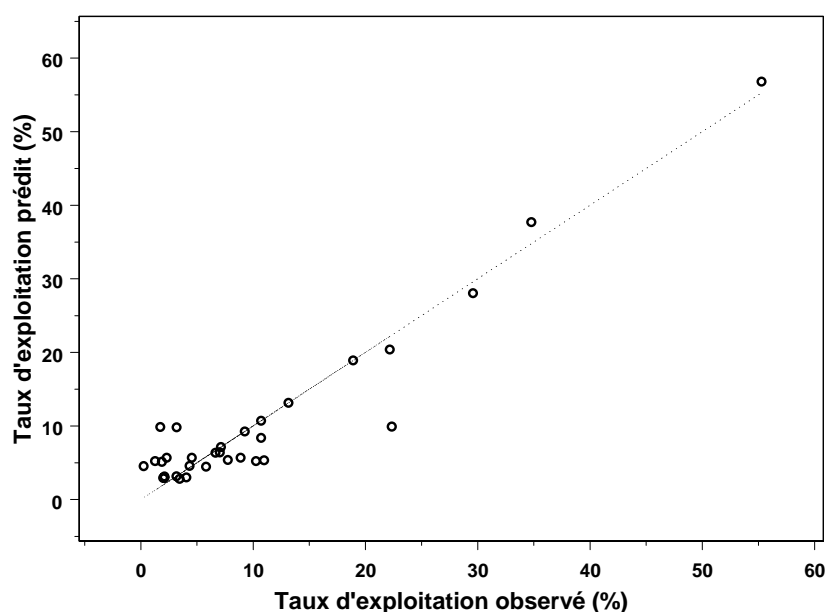


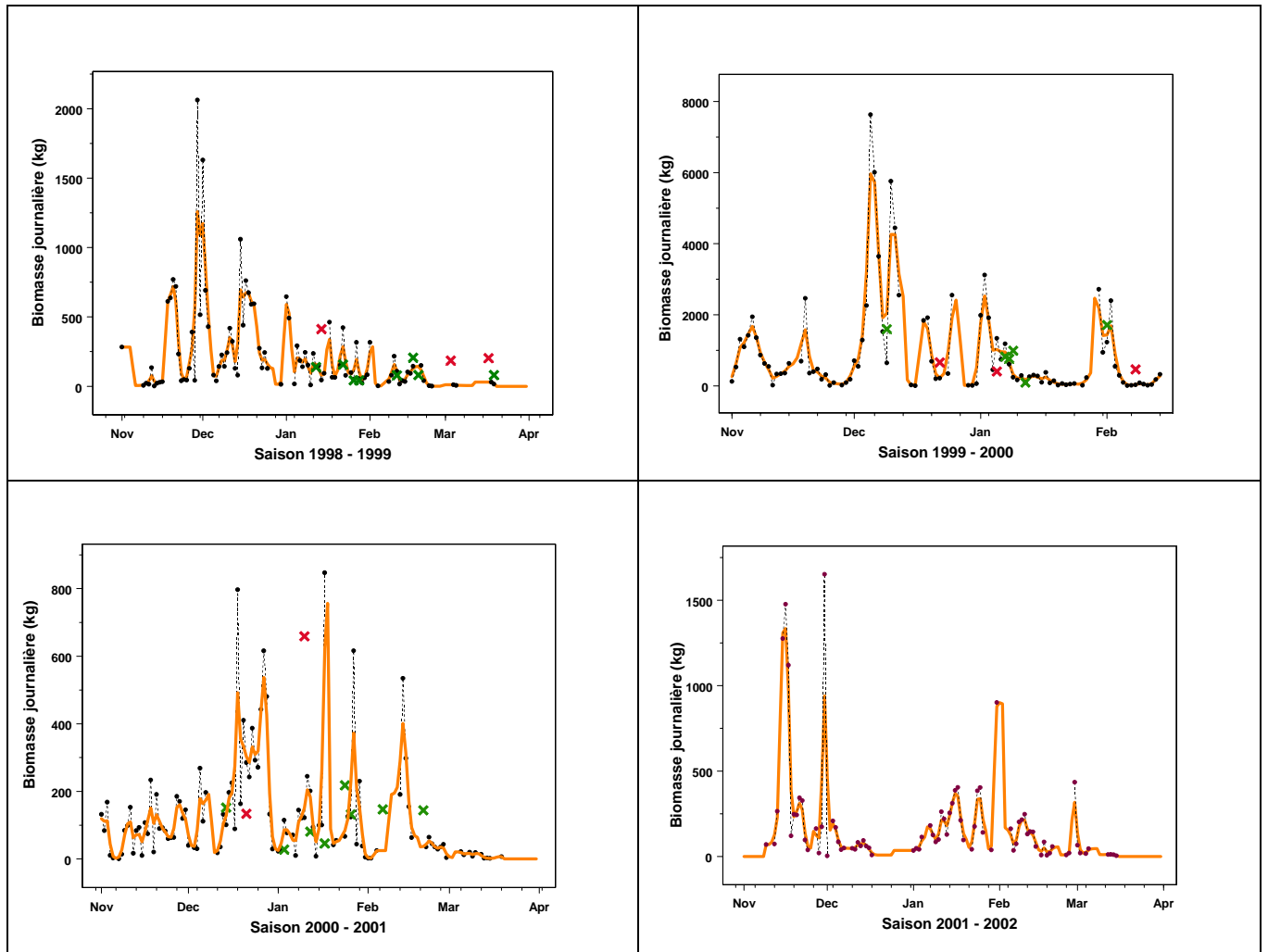
Figure 7 : Dispersion des taux d'exploitation observés et prédits.

Le coefficient de détermination R^2 qui mesure la proportion de variance expliquée est élevé, $R^2 = \text{SCE}(\text{régression})/\text{SCE}(\text{totale}) = 0.90$, et signifie que 90% de la variance totale est expliquée par ce modèle ($r = 0,95$).

4.2 Estimation de la biomasse saisonnière de civelles de 1998 à 2004

4.2.1 Construction des courbes de biomasses journalières sur chaque saison

La figure '8' regroupe les différentes séries de biomasses journalières estimées pour les saisons 1998/1999 à 2004/2005. Chaque série permet de comparer les valeurs estimées avec les valeurs observées issues des campagnes d'échantillonnages (exception faite pour la saison 2001/2002 pour laquelle il n'y a pas eu de campagne scientifique d'échantillonnage).



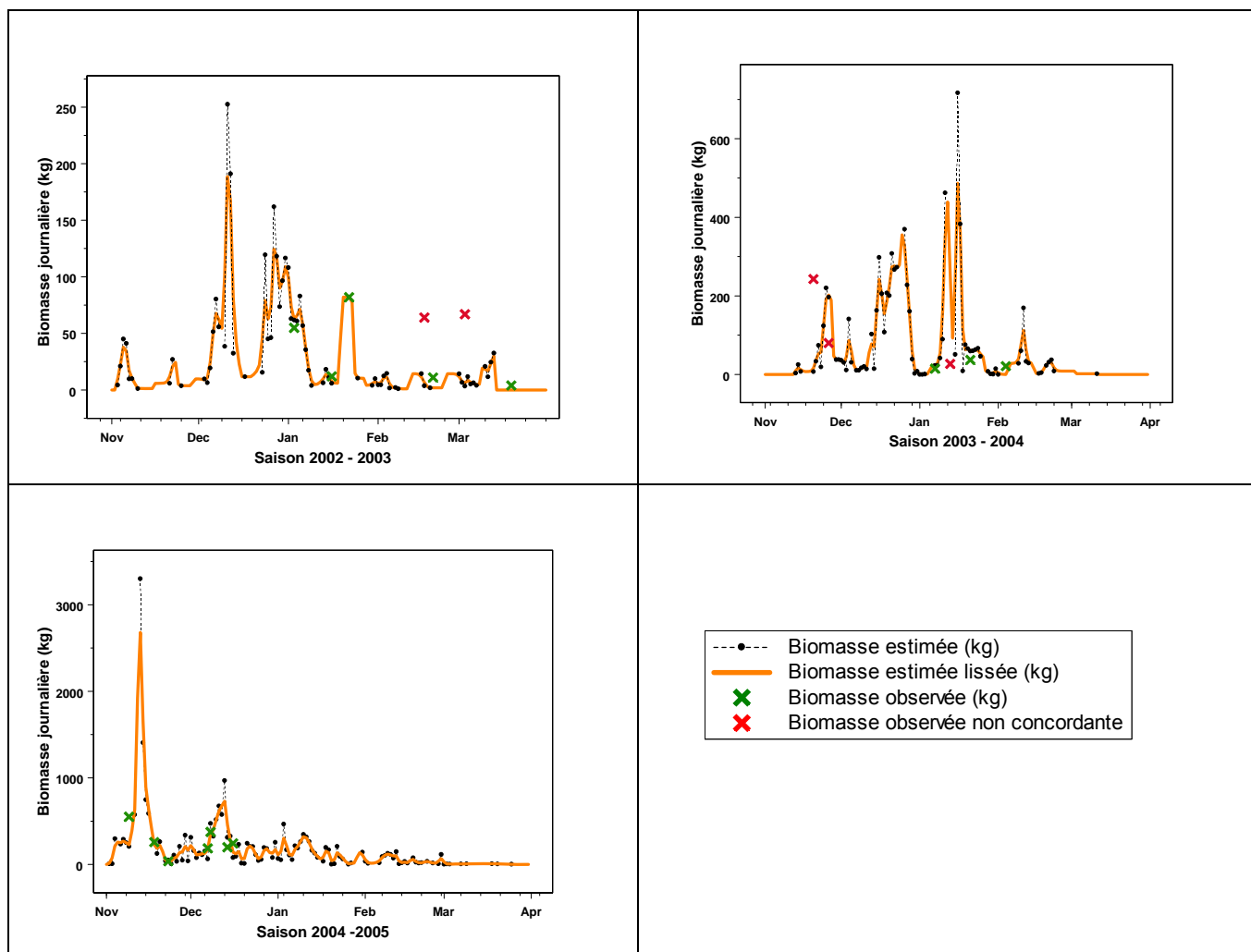


Figure 8 : Séries de biomasses journalières estimées et valeurs de biomasses observées pour les saisons 1998/1999 à 2004/2005

On constate de manière globale l'apparition des pics de plus forte amplitude sur les mois de novembre, décembre et janvier suivant les saisons. On observe également sur l'ensemble des saisons une bonne juxtaposition des valeurs prédites de biomasse journalière avec les valeurs observées (voir légende). On notera cependant, notamment en fin de saison, des estimations journalières inférieures aux valeurs observées. A l'inverse on observe sur certains jours une estimation journalière très supérieure à la biomasse observée. L'exemple du 13 janvier 2004 montre une biomasse estimée égale à 258 kg pour une biomasse observée de 27 kg.

Enfin les variations journalières de ces séries de biomasse sont synchrones avec les variations des séries de captures associées (voir Annexe 5).

4.2.2 Calcul des biomasses saisonnières estimées et de leur précision

Le tableau '6' présente les résultats d'estimation de la biomasse saisonnière de civelles suivant les deux méthodes décrites précédemment. La première s'appuie uniquement sur les jours de capture professionnelle (voir § 2.5.1). La seconde correspond à l'estimation de la biomasse saisonnière de civelles calculée pour l'ensemble des jours de la saison à partir des biomasses journalières lissées (voir § 2.5.2).

Tableau 6 : Estimation saisonnière de la biomasse de civelles pour chaque saison

| Saison | Methode 1 | | | Methode 2 | | |
|-----------|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| | biomSais (T) | ICinf(95%) | ICsup(95%) | biomSais (T) | ICinf(95%) | ICsup(95%) |
| 1998/1999 | 25,2 | 20,6 | 29,8 | 28,2 | 24,2 | 32,1 |
| 1999/2000 | 84,7 | 68,8 | 100,7 | 96,9 | 82,8 | 110,9 |
| 2000/2001 | 13,5 | 11,7 | 15,3 | 15,5 | 13,8 | 17,2 |
| 2001/2002 | 16,2 | 12,5 | 20 | 20,6 | 17 | 24,1 |
| 2002/2003 | 2,3 | 1,8 | 2,7 | 3 | 2,6 | 3,5 |
| 2003/2004 | 7,5 | 5,9 | 9 | 8,7 | 7,2 | 10,2 |
| 2004/2005 | 26,5 | 18,4 | 34,5 | 27,7 | 20,7 | 34,7 |

La figure suivante représente les estimations de biomasses saisonnières de civelles calculées à partir de l'ensemble des jours de la saison considérée (méthode 2).

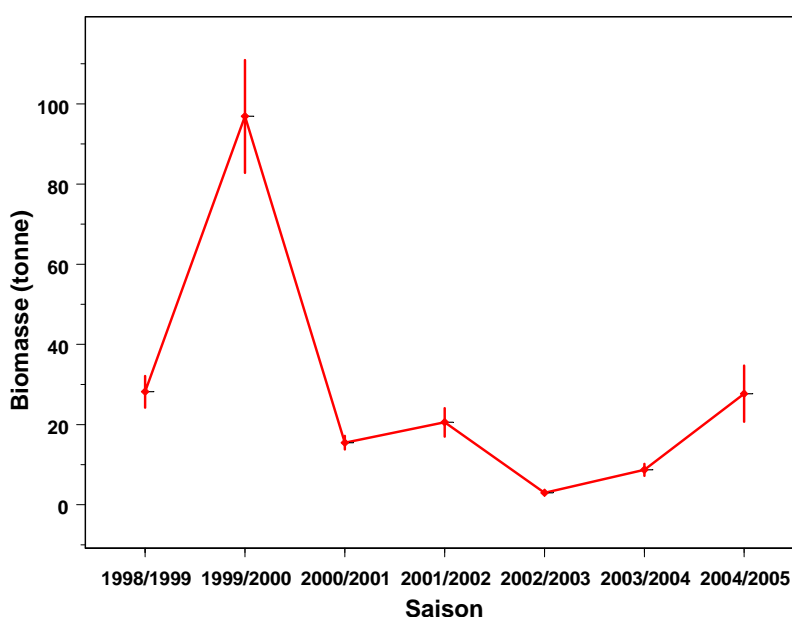


Figure 9 : Estimation de la biomasse saisonnière de civelles de 1998 à 2004

Les valeurs de biomasse saisonnière estimée se situent entre 3 et 28.2 tonnes pour six des sept saisons étudiées. L'estimation pour la saison 1999-2000 montre une valeur plus forte de l'ordre de 96 tonnes. La médiane de la biomasse saisonnière estimée est de 20.6 tonnes.

4.3 Estimation du taux d'exploitation saisonnier

L'estimation du taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle en zone maritime s'effectue en divisant la capture professionnelle par la biomasse estimée pour une saison donnée.

Le tableau suivant présente les taux d'exploitations saisonniers obtenus à l'issue de l'estimation de la biomasse saisonnière.

Tableau 7 : Tableau de données présentant la capture professionnelle, la biomasse saisonnière et le taux d'exploitation calculé de la pêche professionnelle par saison de 1998 à 2004.

| Saison | Capture Prof.(T) | Biomasse estimée(T)* | Taux d'expl. (%) |
|-----------|------------------|----------------------|------------------|
| 1998/1999 | 1,655 | 28,2 | 5,9 |
| 1999/2000 | 4,579 | 96,9 | 4,7 |
| 2000/2001 | 1,446 | 15,5 | 9,3 |
| 2001/2002 | 0,77 | 20,6 | 3,7 |
| 2002/2003 | 0,388 | 3 | 12,9 |
| 2003/2004 | 1,092 | 8,7 | 12,6 |
| 2004/2005 | 1,398 | 27,7 | 5,0 |
| | moy=1,618 | moy=28,7 | moy=7,7 |
| | med=1,4 | med=20,6 | med=5,9 |

* : Biomasse estimée à partir des biomasses journalières lissées (méthode 2)

La figure suivante présente les courbes associées aux valeurs présentées dans ce tableau.

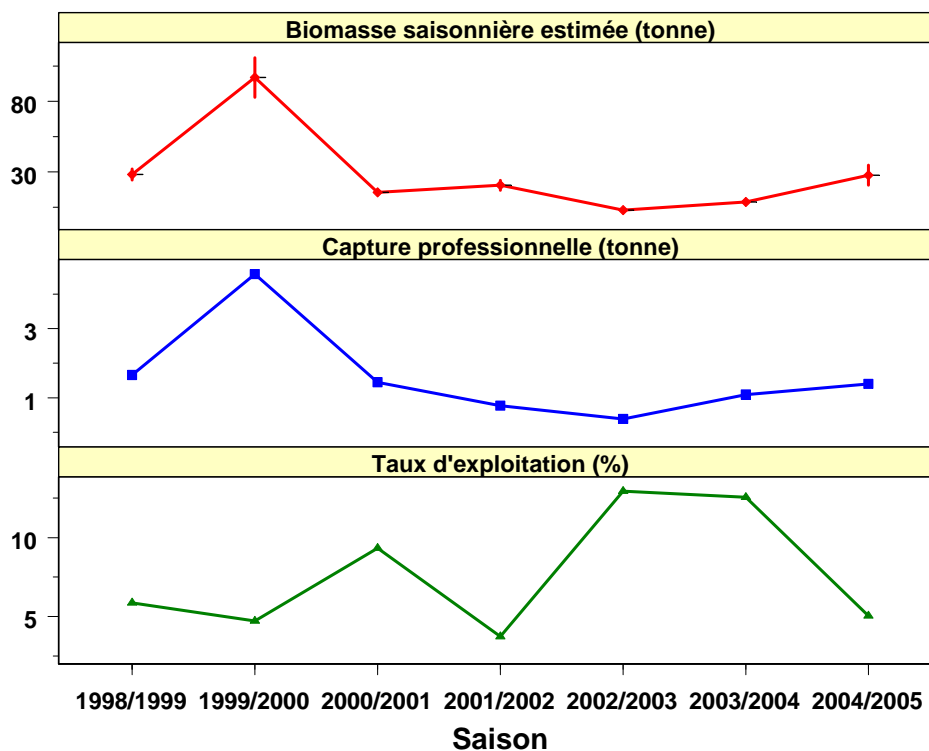


Figure 10 : Evolution comparée de la biomasse saisonnière estimée, de la capture professionnelle en zone maritime et du taux d'exploitation associé sur l'ensemble des saisons 1998/1999 à 2004/2005.

On constate une évolution comparable au cours du temps de la biomasse estimée et de la capture professionnelle. Les maxima et minima s'observent respectivement pour les saisons 1999/2000 et 2002/2003. Le taux d'exploitation saisonnier de la pêche professionnelle varie entre 3.7% et 12.9% et présente une moyenne annuelle de 7.7%.

5 DISCUSSION

5.1 Cohérence du modèle vis à vis du comportement des civelles

Le tableau d'analyse de variance décrit dans la partie '*Resultats*' permet de mettre en évidence la prévalence de deux facteurs pour la prédiction d'un taux d'exploitation journalier : le poids des captures et la turbidité.

La capture professionnelle, représente ainsi le premier facteur explicatif du modèle. Il contribue en particulier à prédire un taux d'exploitation de plus en plus faible lorsque la capture tend vers zéro, ceci indépendamment des conditions environnementales.

La turbidité qui constitue le second facteur explicatif de ce modèle intervient directement sur la capturabilité des civelles. Pour cette variable, la visualisation des signes des coefficients des modalités⁴ montre que le taux d'exploitation croît avec la turbidité. Ceci a été justifié par plusieurs études (Bardonnnet *et al*, 2005 ; De Casamajor *et al*, 1999), qui mettent en évidence le caractère lucifuge des civelles. Une turbidité croissante limite la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et permet aux civelles d'être plus présentes en surface. Elles sont ainsi accessibles et vulnérables vis à vis d'un engin de pêche prospectant jusqu'à une profondeur maximale de 1m50. Les trois autres variables environnementales choisies, la 'marée', le 'débit' et la 'phase lunaire' interviennent moins fortement dans la prédiction du taux d'exploitation, malgré la mise en évidence de leur réelle influence sur le comportement des civelles (Prouzet *et al*, 2003).

Ces deux facteurs, la 'Capture professionnelle' et la 'Turbidité' constituent ainsi la base du modèle prédictif.

5.2 Précision de la biomasse saisonnière et du taux d'exploitation saisonnier

La juxtaposition des résultats de prédiction avec les valeurs observées lors des campagnes d'échantillonnages (voir Figure 7), confirme une prévision cohérente des biomasses journalières pour la plupart des jours étudiés.

On constate néanmoins des valeurs de biomasses journalières estimées très inférieures aux valeurs observées. Plusieurs explications peuvent être fournies comme une capture journalière très faible entraînant une minimisation de la biomasse (même si la biomasse augmente quand le taux d'exploitation diminue). Cette faible capture est justifiée certains jours par des conditions environnementales défavorables ou plus simplement par la présence d'un faible nombre de pêcheurs. Pour exemple, un seul bateau était en pêche le 03/03/03 pour une capture de 0.5kg et une biomasse estimée résultante de 6 kg. Pourtant la biomasse observée ce jour là était de 67kg. La suppression de l'estimation du taux d'exploitation journalier un jour donné, le modèle ayant prédit une valeur aberrante (voir § 3.3.2), constitue une autre explication. Dans ce dernier cas le lissage ne suffit généralement pas à rattrapper l'estimation, celui ci s'effectuant sur des valeurs voisines généralement trop faibles ou trop éloignées.

Il est nécessaire de considérer cette biomasse saisonnière estimée comme étant une valeur minimale aux vues des deux points suivants :

- Le modèle utilisé ici fournit pour chaque année une valeur prédite de la biomasse saisonnière quantifiant la migration nocturne des civelles durant le flot du 1er novembre de l'année 'n' au 31 mars de l'année 'n+1'. La partie du flux qui migre de jour à proximité du fond à une vitesse suffisante pour franchir la zone de pêche (Prouzet *et al*, 2005) n'est donc pas prise en compte dans les calculs.

- Il semble également que les estimations journalières de la mi février à fin mars suivant les années, soient sous-estimées du fait de l'arrêt progressif du nombre de sorties

⁴ Voir annexe 3 ; les signes des modalités sont à inverser du fait que l'on utilise une fonction de lien inverse au signe négatif (-1/mu).

réalisées par les pêcheurs durant cette période, comme le montrent les valeurs de biomasses observées supérieures aux estimations durant cette période (voir Figure 7).

Contrairement à la première méthode d'estimation de biomasse développée par le Laboratoire LRHA en partenariat avec l'UPPA (Bouvet et al, 2006) qui impose une valeur seuil de capture journalière pour le calcul de la biomasse, ce modèle prédit une biomasse journalière pour la totalité des jours de la saison. Les contraintes imposées portent sur la suppression des valeurs de biomasses trop fortes et sur les jours de blocage hydrodynamique (voir Figure 11).

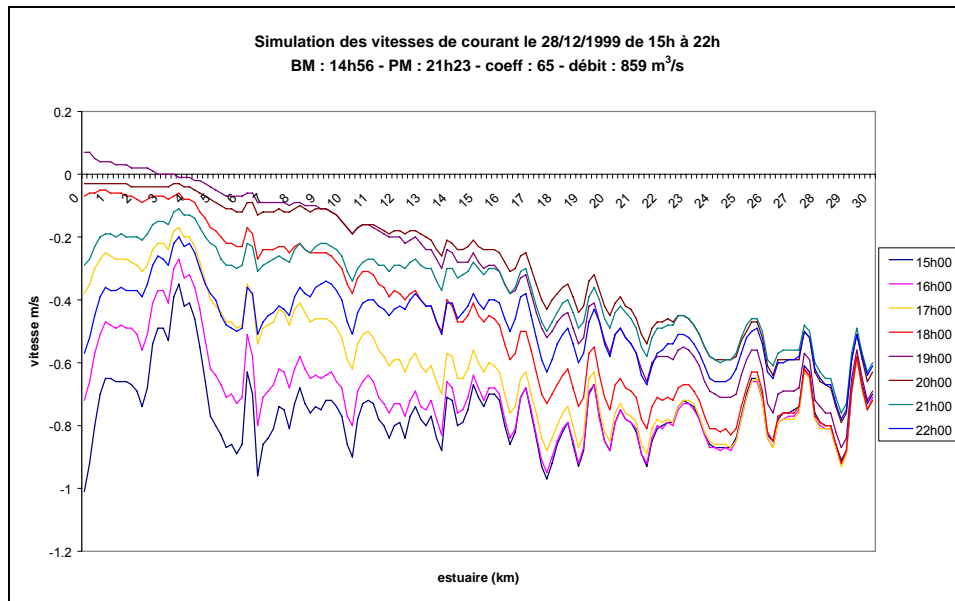


Figure 11 : Simulation des vitesses de courant le long de l'estuaire par le modèle 1D le 28/12/1999 illustrant une situation de blocage hydrodynamique (Prouzet et al, 2003).

Le nombre de jours pour l'estimation d'une biomasse journalière reste suffisamment important (90 jours sur 151 en moyenne par saison) pour estimer après lissage une biomasse saisonnière.

Ce modèle prédit ainsi une biomasse minimale de civelles correspondant au flux de civelles qui traverse l'estuaire de l'Adour au cours de la principale saison de migration.

La Figure '9' tend à montrer que le taux d'exploitation évolue de façon inverse à celui de la biomasse. La capture ayant une variation saisonnière moins importante en proportion que la biomasse, ceci explique l'influence directe de la biomasse sur le taux d'exploitation. Cependant, l'observation comparée des taux d'exploitation journaliers avec les captures professionnelles, ou la biomasse journalière, pour une saison donnée (*Annexe 6*), montre que ce taux est beaucoup plus fluctuant d'un jour à l'autre et dépendant des conditions environnementales qui agissent directement sur la capturabilité.

Le taux d'exploitation de la pêche professionnelle est ainsi estimé en moyenne à 7.7% pour les sept saisons étudiées. Associé à une biomasse minimale, ce taux doit par conséquent être considéré comme maximal. Enfin ce taux d'exploitation décrit l'impact de la pêche professionnelle maritime sur le stock de civelles migrant et ne s'intéresse pas aux autres prélèvements, notamment celui généré par la pêche professionnelle et amateur située plus en amont, notamment en zone fluviale avec des engins qui sont différents.

5.3 Utilisation du modèle et adaptation à différents estuaires

La construction de ce modèle repose sur l'utilisation d'un jeu de données unique. Par conséquent l'application des protocoles liés à l'acquisition de données doit être respecté avec beaucoup de rigueur afin de minimiser les erreurs de prévision du modèle.

En ce qui concerne le jeu de données utilisé ici pour l'estimation saisonnière, il convient de préciser qu'un ajustement a pu être effectué sur des valeurs du tableau de données initial, et ce notamment à l'aide d'un modèle hydrodynamique. Celui-ci à en effet permis d'extrapoler des vitesses de courant nécessaire à l'estimation de la densité de civelles au cours du temps (Prouzet, 2002). Trois calculs de valeurs ont ainsi pu être affinés grâce à la réduction de l'intervalle de précision (Annexe 7).

L'application à différents estuaires repose sur l'adaptation éventuelle des techniques d'échantillonnage et sur une reparamétrisation du modèle. Concernant les estuaires de l'Adour, de la Loire et de la Gironde (Isle), le même protocole a été choisi (Sanchez, 2005).

Dans le cadre du projet « Indicang », ce modèle de prédiction du taux d'exploitation donnant accès au calcul d'une biomasse saisonnière est en cours d'évaluation pour les estuaires de la Gironde, de la Loire, de l'Oria (Espagne) et du Minho (Portugal).

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme, 2006. Confronter les indicateurs aux réalités des bassins. *La lettre d'INDICANG N° 4 et 5*, septembre 2006, 12 pages.

Bardonnat 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.

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, UPPA*, 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 IXème 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., 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.

Lissardy M., de Casamajor M.-N., Sanchez F., Prouzet P., Morandeau 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/CERECA*, 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. (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., Boussouar A., Sanchez F. et de Casamajor M.-N.,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.

Sanchez F., de Casamajor M.-N., Lissardy M., Bru N. et J.C.Bouvet, 2006. Rapport d'étape INDICANG : Estimation journalière des flux migratoires de civelles sur l'Adour. *Convention –IFREMER-ADERA 4/5 210 333*, 78 pages.

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

ANNEXES

Annexe 1

Tableau regroupant les données de biomasse, de capture professionnelle et les variables environnementales utilisées pour le modèle linéaire généralisé (chaque ligne correspond à la réalisation d'une campagne d'échantillonnage).

| 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 | 32,2 | 6,7 | 403,5 |
| 2 | S9899 | 14/01/99 | 412 | 8,2 | 2,10 | 1,99 | 1 | 1 | 2 | NL | 57 | 12,7 | 6,7 | 377,8 |
| 3 | S9899 | 22/01/99 | 157 | 11,2 | 2,42 | 7,13 | 2 | 2 | 2 | PQ | 81 | 19,1 | 7,1 | 270,4 |
| 4 | S9899 | 28/01/99 | 42 | 4,5 | 1,50 | 10,71 | 2 | 2 | 3 | PL | 66 | 29,8 | 8,8 | 745,9 |
| 5 | S9899 | 11/02/99 | 79 | 4,6 | 1,53 | 5,82 | 1 | 2 | 3 | NL | 38 | 21,1 | 7,2 | 428,8 |
| 6 | S9899 | 17/02/99 | 206 | 14,5 | 2,67 | 7,04 | 3 | 1 | 2 | NL | 101 | 7,4 | 6,4 | 300,5 |
| 7 | S9899 | 17/03/99 | 203 | 13,5 | 2,60 | 6,65 | 3 | 1 | 2 | NL | 101 | 12,7 | 12,2 | 329,5 |
| 8 | S9900 | 09/12/99 | 1597 | 36,79 | 3,61 | 2,30 | 2 | 1 | 1 | NL | 78 | 3,8 | 7,4 | 142,33 |
| 9 | S9900 | 22/12/99 | 664 | 21,15 | 3,05 | 3,19 | 3 | 2 | 3 | PL | 100 | 28,0 | 7,3 | 440,6 |
| 10 | S9900 | 05/01/00 | 409 | 77,31 | 4,35 | 18,90 | 2 | 2 | 2 | NL | 71 | 17,7 | 8,3 | 288,8 |
| 11 | S9900 | 07/01/00 | 821 | 63,64 | 4,15 | 7,75 | 2 | 1 | 1 | NL | 78 | 12,0 | 7,8 | 234,3 |
| 12 | S9900 | 08/01/00 | 763 | 34,67 | 3,55 | 4,54 | 2 | 1 | 1 | NL | 79 | 10,8 | 7,8 | 220,01 |
| 13 | S9900 | 09/01/00 | 993 | 12,56 | 2,53 | 1,26 | 2 | 1 | 1 | NL | 78 | 9,9 | 7,9 | 206,82 |
| 14 | S9900 | 12/01/00 | 95 | 8,79 | 2,17 | 9,25 | 2 | 1 | 1 | PQ | 65 | 8,3 | 7,1 | 191,97 |
| 15 | S9900 | 01/02/00 | 1715 | 36,18 | 3,59 | 2,11 | 1 | 1 | 1 | NL | 48 | 5,0 | 7,1 | 119,27 |
| 16 | S9900 | 08/02/00 | 464 | 1,2 | 0,18 | 0,26 | 3 | 1 | 1 | NL | 87 | 6,0 | 9,4 | 156,8 |
| 17 | S0001 | 14/12/00 | 152 | 3,2 | 1,16 | 2,11 | 3 | 1 | 1 | PL | 98 | 5,8 | 10,2 | 231,1 |
| 18 | S0001 | 21/12/00 | 134 | 14,7 | 2,69 | 10,97 | 2 | 1 | 1 | NL | 61 | 9,1 | 8,9 | 230 |
| 19 | S0001 | 03/01/01 | 28 | 3 | 1,10 | 10,71 | 1 | 2 | 3 | PQ | 42 | 29,7 | 8,8 | 424,3 |
| 20 | S0001 | 10/01/01 | 659 | 11,5 | 2,44 | 1,75 | 3 | 2 | 3 | PL | 94 | 82,5 | 8,3 | 674,5 |
| 21 | S0001 | 12/01/01 | 81 | 18,1 | 2,90 | 22,35 | 3 | 2 | 3 | PL | 104 | 36,0 | 8,7 | 511,1 |
| 22 | S0001 | 24/01/01 | 218 | 64,5 | 4,17 | 29,59 | 2 | 2 | 3 | NL | 73 | 26,0 | 9,3 | 473,9 |
| 23 | S0001 | 26/01/01 | 132 | 45,9 | 3,83 | 34,77 | 2 | 2 | 3 | NL | 79 | 21,0 | 10,0 | 500,5 |
| 24 | S0203 | 03/01/03 | 55 | 30,4 | 3,41 | 55,27 | 3 | 2 | 3 | NL | 88 | 83,9 | 11,3 | 784,7 |
| 25 | S0203 | 22/01/03 | 82 | 2,6 | 0,96 | 3,17 | 3 | 2 | 2 | DQ | 86 | 24,9 | 8,7 | 362,7 |
| 26 | S0304 | 26/11/03 | 80 | 8,2 | 2,10 | 10,25 | 3 | 1 | 1 | NL | 102 | 7,4 | | 178,7 |
| 27 | S0304 | 21/01/04 | 37 | 8,2 | 2,10 | 22,16 | 2 | 2 | 3 | NL | 85 | 24,4 | | 591,9 |
| 28 | S0405 | 09/11/04 | 550 | 10,3 | 2,33 | 1,87 | 2 | 1 | 1 | NL | 65 | 10,0 | 12,3 | 117,12 |
| 29 | S0405 | 18/11/04 | 257 | 33,8 | 3,52 | 13,15 | 1 | 1 | 1 | PQ | 55 | 6,0 | 8,5 | 120,59 |
| 30 | S0405 | 23/11/04 | 37 | 1,5 | 0,41 | 4,05 | 2 | 1 | 1 | PL | 71 | 8,0 | 9,0 | 140,5 |
| 31 | S0405 | 08/12/04 | 375 | 13 | 2,56 | 3,47 | 1 | 1 | 1 | NL | 58 | 6,0 | 8,0 | 104,5 |
| 32 | S0405 | 14/12/04 | 198 | 17,6 | 2,87 | 8,89 | 3 | 1 | 1 | NL | 93 | 9,0 | 9,0 | 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 (m3/s)

- 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)

Annexe 2

2.a Boxplots associés à l'analyse des variables du tableau 3

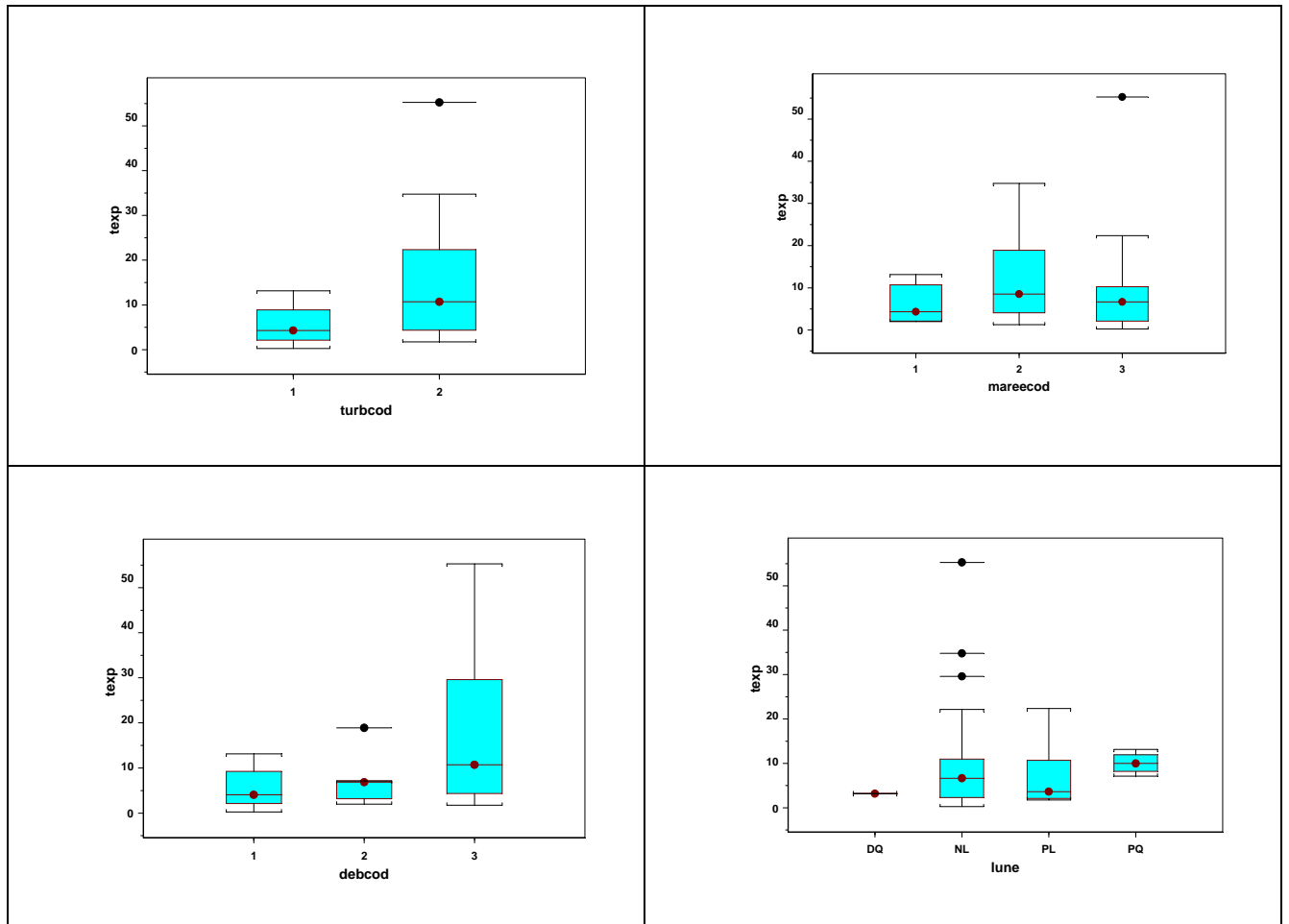


Figure 2a : Boxplots du taux d'exploitation en fonction des variables environnementales codées

Mise en évidence de l'influence des variables environnementales sur les valeurs du taux d'exploitation (test de Kruskal-wallis) :

Kruskal-Wallis rank sum test

data: **texp and turbcod** from data set TAB
Kruskal-Wallis chi-square = 5.3704, df = 1, p-value = 0.0205
alternative hypothesis: two.sided
différence significative au seuil d'erreur de 5%.

Kruskal-Wallis rank sum test

data: **texp and debcod** from data set TAB
Kruskal-Wallis chi-square = 5.2478, df = 2, p-value = 0.0725
alternative hypothesis: two.sided

Kruskal-Wallis rank sum test

```
data: texp and mareecod from data set TAB
Kruskal-Wallis chi-square = 1.4522, df = 2, p-value = 0.4838
alternative hypothesis: two.sided
```

Kruskal-Wallis rank sum test

```
data: texp and lune from data set TAB
Kruskal-Wallis chi-square = 2.533, df = 3, p-value = 0.4694
alternative hypothesis: two.sided
```

2.b Paramètres et équation génératrice du modèle (sous le logiciel SPLUS) :

Les paramètres d'entrée du modèle sont les suivants:

- « formula »: équation du modèle comprenant la variable à expliquer et les variables explicatives du modèle
- « data » : tableau de données sur lesquelles s'applique le modèle
- « family » : loi de distribution des erreurs (loi Gamma)
- « link » : fonction de lien (fonction inverse négative $-1/\mu$)

Glm (formula=texp ~ turbcod+capture^0.678+mareecod+debcod:lune+capture:lune, data = MAT, family =Gamma (link=inverse))

Annexe 3

Programme d'estimation saisonnière de la biomasse de civelles. Ce programme est non exhaustif et fourni un résumé des différentes étapes du programme.

(La totalité du programme peut être fournie et les objets explicités sur demande aux auteurs)

```
#1# Application d'un GLM sur le tableau de données expérimentales
#####
MAT<-TAB* # tableau de donnée d'entrée issu des échantillonnages
          # scientifiques (voir tableau 3)

hist(MAT$tepx, xlab="Taux d'exploitation de civelles en zone maritime
calculé à partir des jours de campagne
expérimentale", title="Distribution du Taux d'exploitation de la civelle
sur la base des différentes saisons de migration")

glm1tepx<-glm(tepx~turbcod+capture^0.678+mareecod+debcod:lune+capture:lune,
data = MAT, family =Gamma (link=inverse), na.action = na.exclude)

for (i in 1:length(MAT$tepx))
{
  MAT$tepxfit[i]<-glm1tepx$fitted.values[i]
}

#2# Evaluation de la qualité du modèle
#####

anova(glm1tepx, test="F")
summary.aov(glm1tepx)
summary(glm1tepx)

plot(glm1tepx)
plot(glm1tepx$residuals, ylab="Residuals")

list(CoefCorr=cor(MAT$tepx, MAT$tepxfit, na.method="omit"), CoefCorrCarre=cor(
MAT$tepx, MAT$tepxfit, na.method="omit")^2)

glmMAT<-predict.glm(glm1tepx, type="response", se.fit=T, ci.fit=T)
glmMAT

#3# Evaluation du Taux d'exploitation sur la saison choisie nettoyée
#####

SAISON<-TAB9900*

glmsaison<-
  predict.glm(glm1tepx, newdata=SAISON, type="response", se.fit=T, ci.fit=T, pi
  .fit=T)

SAISON$TexpPred<-glmsaison$fit

#4# Nettoyage : suppression des valeurs aberrantes fortes ou négatives
pour Texp
#####

nb<-length(SAISON$TexpPred)
j<-0
```

```

for (i in 1:nb)
{
  if (SAISON$TexPred[i]>100 | SAISON$TexPred[i]<0)
  {
    SAISON$TexPredBis[i]<-NA
    SAISON$TexpSE[i]<-NA
    j<-j+1
  }
  else
  {
    SAISON$TexPredBis[i]<-SAISON$TexPred[i]
    SAISON$TexpSE[i]<-glmsaison$se.fit[i]
  }
}

#5# Validation de Texp calculé sur la saison donnée par comparaison des distributions
#*****

par(mfrow=c(2,1))
hist(MAT$teexp,xlab="Taux Exploitation civelles calculé sur la base des campagnes expérimentales sur plusieurs saisons",xlim=c(0,100),ylim=c(0,70),nclass=10)
hist(SAISON$TexPredBis,xlab="Taux Exploitation civelles estimé sur la saison __ étudiée",ylim=c(0,70),xlim=c(0,100),nclass=10)

list(Moyennetexp=mean(MAT$teexp),MoyenneTexPredsaison=mean(SAISON$TexPredBis[SAISON$TexPredBis!="NA"]),MedianTexp=median(MAT$teexp),MedianTexpPredsaison=median(SAISON$TexPredBis[SAISON$TexPredBis!="NA"]))
.....

#6# Calcul de la biomasse estimée
#*****

for (i in 1:length(SAISON$capture))
{
  SAISON$biomasse[i]<-SAISON$capture[i]/SAISON$TexPredBis[i]*100
  SAISON$SEBio[i]<-
  SAISON$TexpSE[i]*SAISON$capture[i]*100/SAISON$TexPredBis[i]^2
}

BASECIV<-TAB9900ent*

BASECIV$biomasse[SAISON$IndicJour]<-SAISON$biomasse
BASECIV$biomasse[(max(SAISON$IndicJour)+1):length(BASECIV$IndicJour)]<-NA
BASECIV$SEBio[SAISON$IndicJour]<-SAISON$SEBio
BASECIV$SEBio[(max(SAISON$IndicJour)+1):length(BASECIV$IndicJour)]<-NA
BASECIV$TexPredBis[SAISON$IndicJour]<-SAISON$TexPredBis
BASECIV$TexPredBis[(max(SAISON$IndicJour)+1):length(BASECIV$IndicJour)]<-NA
for (i in 1:length(BASECIV$IndicJour))
{
  if(BASECIV$coef[i]<60 & BASECIV$debit[i]>600)
  {
    BASECIV$biomasse[i]<-BASECIV$capture[i]
    #BASECIV$bioma[i]<-BASECIV$capture[i]
    BASECIV$SEBio[i]<-0
  }
  #else {BASECIV$bioma[i]<-BASECIV$biomasse[i]}
}
}

```

```

par(mfrow=c(2,1))

#7# Nettoyage des valeurs de biomasse trop fortes
#*****

SAISON2<-BASECIV[BASECIV$biomasse!="NA",]
SAISON2
for (i in 1:length(SAISON2$biomasse))
{
  if (SAISON2$TexpPredBis[i]<1.5 & SAISON2$capture[i]>100)
    SAISON2$biomasse[i]<-NA
}

for (i in 1:length(SAISON2$biomasse))
{
  if (SAISON2$biomasse[i]>10000)
  {
    SAISON2$biomasse[i]<-NA
    SAISON2$SEBio[i]<-NA
  }
}
SAISON2

SAISON2<-SAISON2[SAISON2$biomasse!="NA",]
SAISON2<-SAISON2[SAISON2$IndicJour!="NA",]

BASECIV$biomasse[SAISON2$IndicJour]<-SAISON2$biomasse

#8# Calcul de biomasse les jours où pas de capture par lissage
#*****

JourPred<-BASECIV$IndicJour[min(SAISON2$IndicJour):max(SAISON2$IndicJour)]
lissage2Pred<-
  ksmooth(SAISON2$IndicJour,SAISON2$biomasse,kernel="normal",bandwidth=2,
  x.points=JourPred)

BASECIV$BioPred[min(JourPred):max(JourPred)]<-lissage2Pred$y
BASECIV$BioPred[(length(BASECIV$BioPred)+1):(length(BASECIV$IndicJour))]<-0
BASECIV$BioPred[0:(min(JourPred)-1)]<-0

#9# Estimations saisonnières de biomasse
#*****

# méthode 1 : estimation biomasse

length(SAISON2$biomasse)
sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)
mean(SAISON2$biomasse)

# méthode 3 : estimation biomasse

EstimBioSais<-sum(BASECIV$BioPred)
EstimBioSais
length(BASECIV$BioPred)

# méthode 2 : estimation biomasse

BioTot<-mean(SAISON2$biomasse)*length(BASECIV$BioPred)

```

```

BioTot

#par(mfrow=c(1,1))
#plot(BASECIV$date[1:max(SAISON2$IndicJour)],BASECIV$capture[1:max(SAISON2$
  IndicJour)]/BASECIV$BioPred[1:max(SAISON2$IndicJour)]*100,type="l",xlab=
  "Saison _/_", ylab="Taux d'exploitation journalier estimé sur la
  saison")
#median(BASECIV$capture[1:max(SAISON2$IndicJour)]/BASECIV$BioPred[1:max(SAI
  SON2$IndicJour)]*100)

## graphe du lissage et de la biomasse calculée pour les jours
  d'échantillonnage scientifique ##

# méthode 1 : calcul de la variabilité et intervalle de confiance
int<-var(SAISON2$biomasse)*0.18*2*(length(SAISON2$biomasse)-1)
VarBio<-int+sum((SAISON2$SEBio^2)/length(SAISON2$biomasse),na.rm=T)
sqrt(VarBio)
sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)-1.96*sqrt(VarBio)
sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)+1.96*sqrt(VarBio)

# méthode 2 : calcul de la variabilité et intervalle de confiance
VarBioTot<length(BASECIV$BioPred)^2*VarBio/length(SAISON2$Biomasse)^2*(leng
  th(BASECIV$BioPred)-length(SAISON2$Biomasse))/(length(BASECIV$BioPred)-
  1)
sqrt(VarBioTot)
BioTot-1.96*sqrt(VarBioTot)
BioTot+1.96*sqrt(VarBioTot)

# méthode 3 : calcul de la variabilité et intervalle de confiance
int<-var(BASECIV$BioPred)*0.18*2*(length(BASECIV$BioPred)-1)
VarEstimBio<-int+sum(BASECIV$SEBioPred^2/length(BASECIV$BioPred),na.rm=T)
sqrt(VarEstimBio)
EstimBioSais-1.96*sqrt(VarEstimBio)
EstimBioSais+1.96*sqrt(VarEstimBio)

#10# Estimations saisonnières de captures et taux d'exploitation
#*****

CaptSais<-sum(BASECIV$capture,na.rm=T)
CaptSais
TexpSais<-CaptSais/EstimBioSais*100
TexpSais
TexpSaisBis<-CaptSais/sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)*100
TexpSaisBis
#fin.....

#11# Biomasses saisonnières estimées et IC(95%):
#METHODE 1#, saison brute:
sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)
sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)-1.96*sqrt(VarBio)
sum(SAISON2$biomasse,na.rm=T)+1.96*sqrt(VarBio)
#METHODE 3#, saison complète lissée:
EstimBioSais
EstimBioSais-1.96*sqrt(VarEstimBio)
EstimBioSais+1.96*sqrt(VarEstimBio)

#-----
#12# Taux d'exploitation saisonnier estimé (%):
TexpSais

```

* : ligne de programme à modifier pour chaque nouvelle estimation saisonnière.

Annexe 4

Coefficient des modalités des variables du modèle linéaire généralisé et ANOVA

```
Call: glm(formula = texp ~ turbcod + capture^0.678 + mareecod + debcod:lune +
  capture:lune, family = Gamma(link = inverse), data = MAT, na.action =
  na.exclude)
```

Deviance Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.960549 -0.3283876      0  0.2227371  0.9379431
```

Coefficients: (5 not defined because of singularities)

| | Value | Std. Error | t value |
|------------------|--------------|-------------|------------|
| (Intercept) | 0.089553398 | 0.117083382 | 0.7648686 |
| turbcod1 | 0.059876445 | 0,04832321 | -1.2390827 |
| turbcod2 | -0.059876446 | 0,04832321 | -1.2390828 |
| l(capture^0.678) | -0.018777494 | 0.031530290 | -0.5955383 |
| mareecod1 | 0,1120405 | | |
| mareecod2 | -0,05189749 | | |
| mareecod3 | -0,06014305 | | |
| debcod1luneDQ | NA | NA | NA |
| debcod2luneDQ | 0.381742043 | 0.248529995 | 1.5359999 |
| debcod3luneDQ | NA | NA | NA |
| debcod1luneNL | 0.147525057 | 0.148740520 | 0.9918283 |
| debcod2luneNL | 0.124123768 | 0.117221673 | 1.0588807 |
| debcod3luneNL | 0.116691457 | 0.109535680 | 1.0653283 |
| debcod1lunePL | 0.252146495 | 0.223065326 | 1.1303706 |
| debcod2lunePL | NA | NA | NA |
| debcod3lunePL | 0.169729370 | 0.143303736 | 1.1844030 |
| debcod1lunePQ | 0.118405943 | 0.189848894 | 0.6236852 |
| debcod2lunePQ | 0.291993723 | 0.175130494 | 1.6672923 |
| debcod3lunePQ | NA | NA | NA |
| luneDQcapture | NA | NA | NA |
| luneNLcapture | 0.003996674 | 0.007201549 | 0.5549742 |
| lunePLcapture | 0.005262820 | 0.010757389 | 0.4892284 |
| lunePQcapture | -0.002945346 | 0.010137383 | -0.2905430 |

(Dispersion Parameter for Gamma family taken to be 0.5105945)

```
Null Deviance: 34.53762 on 31 degrees of freedom
Residual Deviance: 12.50342 on 16 degrees of freedom
Number of Fisher Scoring Iterations: 5
```

Correlation of Coefficients:

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|------------|------------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| | (Intercept) | turbcod | l(capture^0.678) | mareecod1 | mareecod2 | debcod1luneDQ | debcod2luneDQ | debcod3luneDQ |
| turbcod | -0.5436584 | | | | | | | |
| l(capture^0.678) | -0.5645714 | 0.2599778 | | | | | | |
| mareecod1 | 0.4921697 | -0.0543160 | -0.1185289 | | | | | |
| mareecod2 | 0.6216492 | -0.1475378 | -0.4383528 | 0.8502751 | | | | |
| debcod1luneDQ | NA | NA | NA | NA | NA | | | |
| debcod2luneDQ | -0.3149797 | 0.0191668 | 0.0339152 | -0.3108555 | -0.2970035 | NA | | |
| debcod3luneDQ | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | |
| debcod1luneNL | -0.7392271 | 0.6573247 | -0.0141608 | -0.4835526 | -0.4349485 | NA | 0.2843919 | NA |
| debcod2luneNL | -0.7423614 | 0.3261206 | 0.0360841 | -0.5835680 | -0.5775395 | NA | 0.3579206 | NA |
| debcod3luneNL | -0.5252565 | 0.0336808 | -0.2926687 | -0.6182196 | -0.4896362 | NA | 0.3799935 | NA |
| debcod1lunePL | -0.6302391 | 0.4725586 | 0.2261560 | -0.3908485 | -0.4151526 | NA | 0.2079429 | NA |
| debcod2lunePL | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| debcod3lunePL | -0.5298443 | 0.0201941 | 0.0253401 | -0.5649282 | -0.4684500 | NA | 0.3047143 | NA |
| debcod1lunePQ | -0.6600489 | 0.5094061 | 0.0790982 | -0.6162118 | -0.5334297 | NA | 0.2669380 | NA |
| debcod2lunePQ | -0.4551321 | -0.0039571 | -0.0789719 | -0.6859656 | -0.5283831 | NA | 0.3078463 | NA |
| debcod3lunePQ | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| luneDQcapture | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| luneNLcapture | 0.5699710 | -0.2953037 | -0.9948133 | 0.0949241 | 0.4369764 | NA | -0.0306566 | NA |
| lunePLcapture | 0.4613275 | -0.2084163 | -0.8139103 | 0.1182960 | 0.3333576 | NA | -0.0258200 | NA |
| lunePQcapture | 0.6018863 | -0.2305335 | -0.8535802 | 0.4628797 | 0.6670399 | NA | -0.1245418 | NA |

| | | | | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | debcod1luneNL | debcod2luneNL | debcod3luneNL | debcod1lunePL | debcod2lunePL | debcod3lunePL | debcod1lunePQ |
| debcod2luneNL | 0.8065376 | | | | | | |
| debcod3luneNL | 0.7096751 | 0.8666878 | | | | | |
| debcod1lunePL | 0.5997319 | 0.5368920 | 0.4112560 | | | | |
| debcod2lunePL | NA | NA | NA | NA | | | |
| debcod3lunePL | 0.4915840 | 0.6048392 | 0.6575315 | 0.3977327 | NA | | |
| debcod1lunePQ | 0.7515509 | 0.6702027 | 0.5942413 | 0.5304569 | NA | 0.4760583 | |
| debcod2lunePQ | 0.5006075 | 0.6052657 | 0.6971504 | 0.3437550 | NA | 0.5575423 | 0.6346598 |
| debcod3lunePQ | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| luneDQcapture | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| luneNLcapture | -0.0119768 | -0.0689847 | 0.2774804 | -0.2344284 | NA | -0.0123906 | -0.0834868 |
| lunePLcapture | 0.0130700 | -0.0186047 | 0.2464752 | -0.2243902 | NA | -0.3884254 | -0.0759264 |
| lunePQcapture | -0.1375641 | -0.2073334 | 0.0488010 | -0.3076841 | NA | -0.1983411 | -0.4569317 |

| | | | | | |
|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | debcod2lunePQ | debcod3luneP | luneDQcapture | luneNLcapture | lunePLcapture |
| debcod3lunePQ | NA | | | | |
| luneDQcapture | NA | NA | | | |
| luneNLcapture | 0.0947756 | NA | NA | | |
| lunePLcapture | 0.0488849 | NA | NA | 0.8042137 | |
| lunePQcapture | -0.2535157 | NA | NA | 0.8407188 | 0.7027440 |

Analysis of Deviance Table

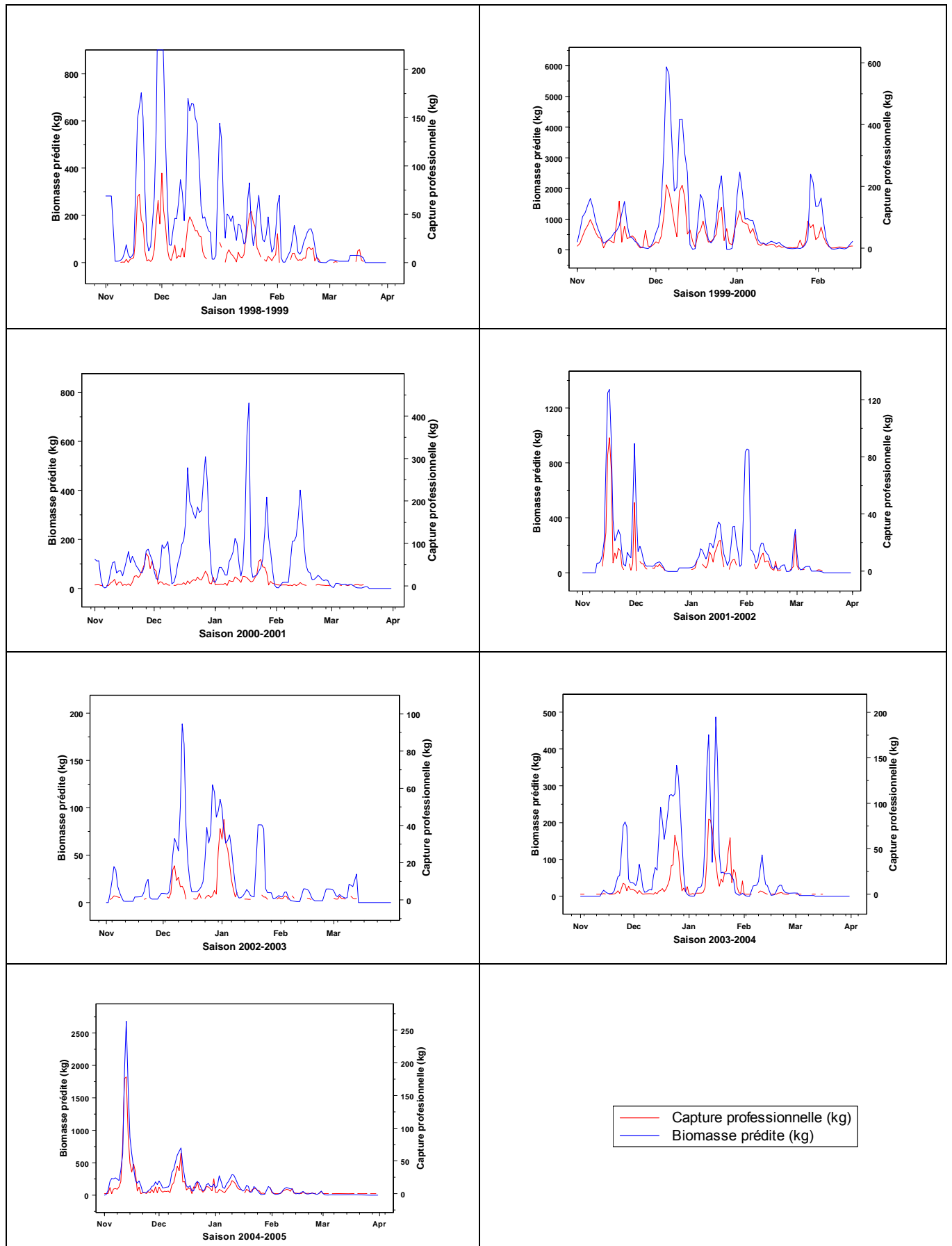
Gamma model
 Response: texp
 Terms added sequentially (first to last)

| | | | | | | |
|------------------|----|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | Df | Deviance | Resid.Df | Resid.Dev | F value | Pr(F) |
| NULL | | | 31 | 34.53762 | | |
| turbcod | 1 | 9.571799 | 30 | 24.96582 | 18.74638 | 0.0005176 |
| l(capture^0.678) | 1 | 3.184725 | 29 | 21.78110 | 6.23729 | 0.0237957 |
| mareecod | 2 | 0.939055 | 27 | 20.84204 | 0.91957 | 0.4187631 |
| debcod:lune | 8 | 7.043849 | 19 | 13.79819 | 1.72442 | 0.1682470 |
| capture:lune | 3 | 1.294773 | 16 | 12.50342 | 0.84527 | 0.4890608 |

\$CoefCorrCarre:
 [1] 0.901769

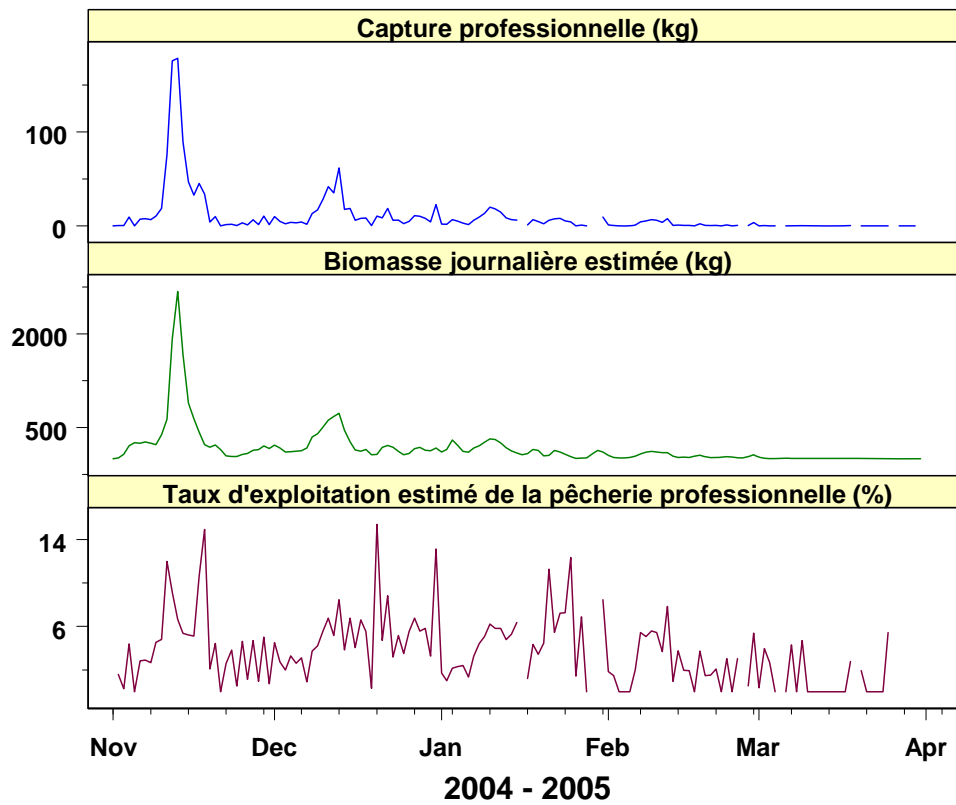
Annexe 5

Graphiques saisonniers des séries de biomasses prédites associées aux séries de captures professionnelles de la saison 1998-1999 à la saison 2004-2005



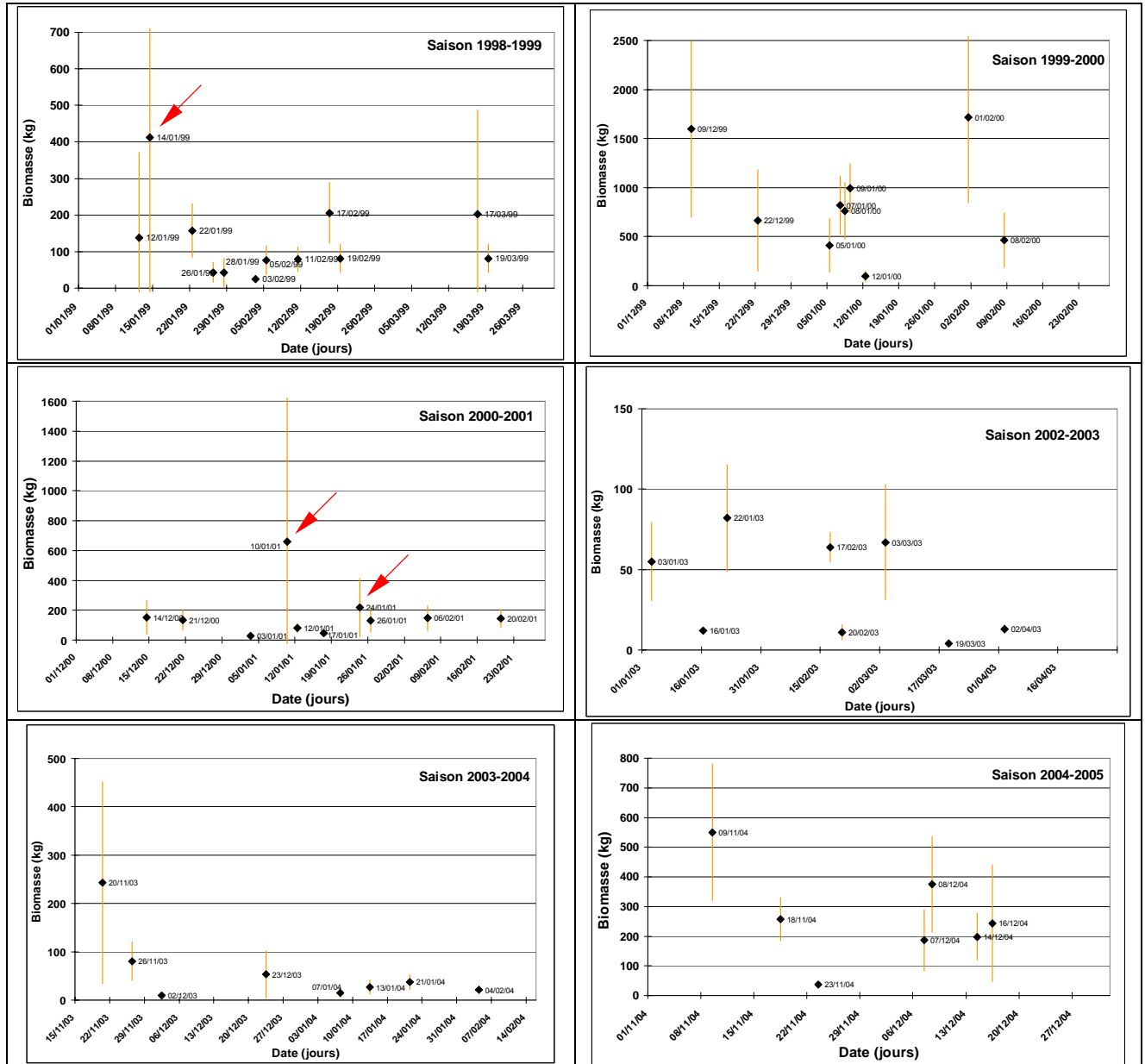
Annexe 6

Capture professionnelle, biomasse journalière estimée et taux d'exploitation estimé de la pêcherie professionnelle sur la saison de pêche 2004 – 2005

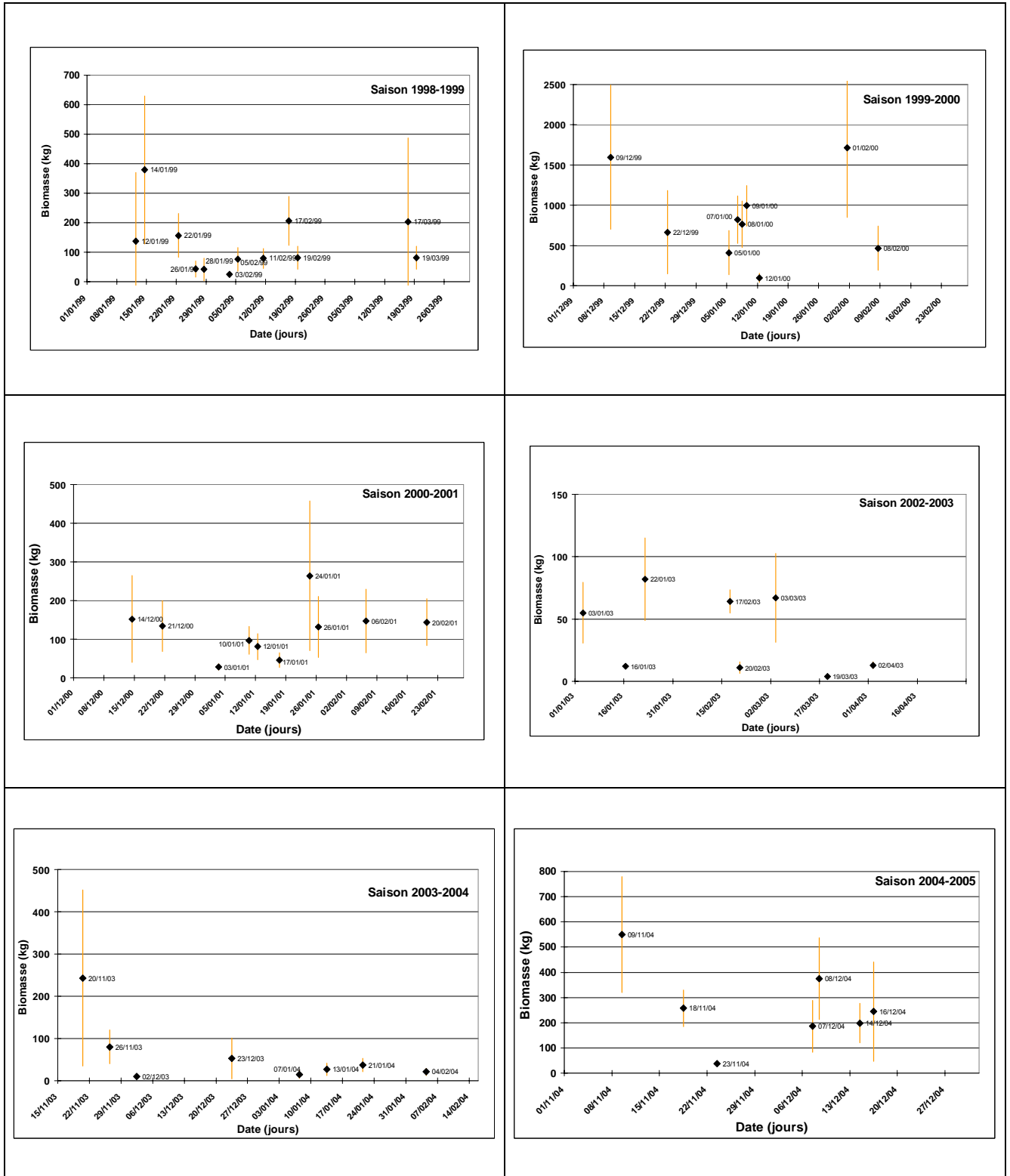


Annexe 7

Estimations journalières de la biomasse de civelles franchissant l'estuaire de l'Adour à partir des campagnes d'échantillonnages réalisées entre 1998 et 2005



Estimations journalières corrigées* de la biomasse de civelles franchissant l'estuaire de l'Adour à partir des campagnes d'échantillonnages réalisées entre 1998 et 2005



* :les valeurs corrigées concernent les trois jours suivants : 14/01/99, 10/01/01, 24/01/01.

RESUME

Ce rapport décrit la mise en oeuvre de la méthode analytique d'estimation saisonnière de la biomasse des flux de civelles entrant dans l'estuaire de l'Adour développée par N.Bru et P.Lejeune. (Bru et Lejeune, 2004).

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 pêche 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.

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 3 et 96 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 ; modèle statistique.

SUMMARY

This technical report describes the implementation of an analytic method allowing to estimate the seasonal biomass of glass eels runs coming through the Adour estuary and developed by N.Bru and P.Lejeune. (Bru & Lejeune, 2004).

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 3 and 96 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; statistical model.