



# **Estimation du potentiel reproducteur en anguilles argentées de la Loire amont: saisons de migration 2001-05 à 2008-09**

Rapport final

Acou Anthony, Boury Pauline, Boisneau Catherine,  
Bodin Mathieu & Feunteun Eric

CRESCO, Dinard - Muséum National d'Histoire Naturelle

---

Avril 2010



Association  
Interdépartementale  
des Pêcheurs  
Professionnels  
du Bassin de la Loire

Acou A., Boury P., Boisneau C., Bodin M. & Feunteun E. 2010. Estimation du potentiel reproducteur en anguilles argentées de la Loire amont: saisons de migration 2001-05 à 2008-09. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, CRESCO, Dinard.

Cette étude a été réalisée par le Muséum National d'Histoire Naturelle (Département Milieux et Peuplements Aquatiques, UMR 7208 BOREA, CRESCO Dinard). La direction a été assurée par Eric Feunteun (Professeur MNHN) assisté d'Anthony Acou (Ingénieur de Recherche) avec la collaboration de l'Association Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels du bassin de la Loire AIPPBLB (Philippe Boisneau & Mathieu Bodin).

Cette étude a été co-financée par la Région des Pays de la Loire, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne ainsi que la Direction Régionale de l'Environnement des Pays de la Loire.

Nous tenons à remercier vivement Catherine Boisneau (Maître de Conférences, Université de Tours) & Mathieu Bodin (AIPPBLB) pour leurs aides précieuses sur le terrain, ainsi que l'ensemble des pêcheurs professionnels de la Loire pour leur collaboration, sans qui cette étude n'aurait pu être réalisée.

## Sommaire du rapport

<b>1. Introduction</b> .....	6
<b>2. Matériels et méthodes</b> .....	7
2.1. Site d'étude : le bassin versant de la Loire .....	7
2.2. Technique de pêche .....	7
2.3. Protocole de marquage .....	9
2.4. Suivi des captures .....	10
2.5. Taux de recapture et estimation du flux d'anguilles argentées .....	11
2.6. Caractérisation des anguilles argentées .....	11
2.6.1. Caractères morphologiques externes .....	11
2.6.2. Caractères anatomiques internes .....	12
<b>3. Résultats</b> .....	15
3.1. Variations spatio-temporelles des caractéristiques des anguilles argentées .....	15
3.2. Critères d'argenture .....	18
3.3. Captures réalisées par les pêcheries .....	20
3.4. Taux de recapture .....	24
3.5. Estimation des flux .....	26
3.6. Comparaison des critères morphologiques entre les anguilles argentées marquées et recapturées .....	28
3.7. Qualité des anguilles argentées .....	30
<b>4. Discussion</b> .....	33
<b>5. Références bibliographiques</b> .....	38

## Liste des figures

Figure 1: Localisation des pêcheries impliquées dans l'expérience de capture/marquage/recapture réalisée en 2008-09 sur la Loire amont.....	8
Figure 2 : Schéma d'un guideau en pêche.....	9
Figure 3 : Cavité générale d'une anguille argentée femelle laissant apparaître le cœur (C), le foie (F), la vésicule biliaire (Vb), le tractus digestif (T), la vessie natatoire (Vn) et les gonades paires rubanées (Gd et Gg).....	13
Figure 4 : Photographique du Nématode parasite <i>Anguillicola crassus</i> . a) vessie natatoire légèrement infestée ; b) <i>A. crassus</i> adultes de différentes tailles. ....	14
Figure 5 : Structures de taille et poids des anguilles argentées marquées au cours des 5 saisons de dévalaison. ....	16
Figure 6 : Boîtes à moustaches représentant pour chaque saison, la médiane, les 1 <sup>er</sup> et 3 <sup>ème</sup> quartiles ainsi que l'intervalle de la taille des anguilles argentées femelles observées pour chaque saison en fonction de la date et la distance à la mer. ....	17
Figure 7 : Distribution de l'IO des anguilles argentées mâles (à gauche) et femelles (à droite) capturées entre 2001-02 et 2008-09.. ....	18
Figure 8 : Distribution de l'indice de la nageoire pectorale des anguilles argentées mâles (à gauche) et femelles (à droite) capturées entre 2001-02 et 2008-09. ....	19
Figure 9 : Boîtes à moustaches des CPUE (nombre d'anguilles argentées capturées par nuit et engin de pêche) au cours des saisons de dévalaison. ....	21
Figure 10 : Variation temporelle des captures d'anguilles argentées (CPUE) réalisées par les pêcheurs professionnels et débit journalier moyen observé à Montjean/Loire.....	22
Figure 11 : Relations entre les CPUE (nombre d'anguilles argentées capturées.nuit <sup>-1</sup> .engin <sup>-1</sup> ) et les débits (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) pour les 5 saisons de dévalaison ainsi que sur l'ensemble de la période d'étude (2001-09). ....	23
Figure 12 : Taux de recapture des anguilles argentées obtenu pour chacune des sessions de marquage (n = 23) entre 2001-02 et 2008-09 et débit de la Loire observé le jour du marquage. ....	25
Figure 13 : Evolution du taux de recapture cumulé en fonction du nombre jours post-marquage pour les 5 saisons de migration et l'ensemble de la période d'étude (2001-09). ....	25
Figure 14 : Distribution des tailles, des index oculaires (IO) et des indices de la nageoire pectorale (ILP) des anguilles argentées femelles marquées et recapturées au cours des 5 saisons de migration. ....	29
Figure 15 : Variation de la qualité des anguilles argentées femelles sur l'ensemble de la période d'étude. ....	32

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Type de marques utilisées au cours de la saison 2008-09.....	10
Tableau 2 : Variations interannuelles de la taille et du poids moyens $\pm$ écart-type (e.t.), du sex ratio des anguilles argentées marquées entre 2001 et 2009 sur la Loire.....	15
Tableau 3 : Fréquence d'anguilles argentées mâles et femelles par classes d'IO. 18	
Tableau 4 : Fréquence d'anguilles argentées mâles et femelles par classes d'ILP. 19	
Tableau 5 : Caractéristiques des captures d'anguilles argentées par les pêcheries sur la Loire pour les 5 saisons de dévalaison entre 2001 et 2009.....	20
Tableau 6 : Statistiques des expériences de marquage/recapture réalisées sur l'ensemble de la période d'étude.....	24
Tableau 7 : Estimations annuelles du nombre d'anguilles argentées produites par la Loire amont pour les saisons 2001-02 à 2008-09. ....	26
Tableau 8 : Fréquence d'anguilles argentées femelles recapturées au cours des 5 saisons de dévalaison par classes de RGS définies à partir des données de la littérature. ....	30
Tableau 9 : Fréquence d'anguilles argentées femelles recapturées au cours des saisons de dévalaison 2003-04 à 2008-09 par classes de RHS définies à partir des données de la littérature. ....	30

## 1. Introduction

Une étude de capture-marquage-recapture réalisée entre 2001 et 2005 par l'équipe du Professeur E. Feunteun en collaboration avec les pêcheurs professionnels au guideau de la Loire, a permis d'estimer les flux d'anguilles argentées produites par la Loire et ses affluents en amont d'Ancenis. Entre 2001 et 2004, soit pour 3 saisons de pêche d'avalaison, le nombre annuel d'anguilles argentées migrantes était relativement stable puisqu'il variait entre 352 000 et 383 000 individus. Pour la saison 2004-2005, une chute importante du flux de migrantes fut observée puisque l'estimation était de 135 000 individus (Boury et al., 2003). A ce jour, la raison de cette chute brutale du nombre d'anguilles argentées n'est pas totalement claire. Elle pourrait correspondre, avec un effet retard d'une dizaine d'années, à la chute de recrutement en civelles et anguilles jaunes observées dans les parties aval de la Loire. Ainsi, la population d'anguilles ligériennes serait, comme la majorité des sous-populations européennes, en déclin. Cependant, cette saison de dévalaison 2004-2005 était caractérisée par des conditions environnementales peu propices à la migration des anguilles argentées (les débits journaliers moyens étaient relativement faibles et les crues peu marquées). Ainsi, il est difficile de conclure si cette chute est ponctuelle (effet crue) ou si elle est révélatrice d'un réel déclin (effet baisse de recrutement). C'est pourquoi il est nécessaire, quatre années après cette étude, de réaliser une nouvelle estimation de flux annuel d'anguilles argentées produit par la Loire, pour confirmer ou non cette tendance.

Depuis son inscription en 2007 à l'annexe II de la « Convention on International Trade in Endangered Species » (CITES), l'anguille européenne a désormais le statut d'espèce menacée. Dans ce contexte, l'estimation du nombre d'anguilles argentées quittant un bassin versant après y avoir réalisé sa croissance est une référence fondamentale pour comprendre le fonctionnement d'une sous-population d'anguilles et relativiser les impacts anthropiques (en particulier la pression de pêche) lors de la dévalaison. Cela permet de juger de la productivité des différents bassins versants et donc de leur contribution au stock de reproducteurs. Dans le cadre du plan de restauration de l'anguille européenne défini par règlement européen (N° 1100/2007) lors du Conseil du 18 Septembre 2007, elle permet également d'orienter localement, à l'échelle d'un bassin versant, les mesures nécessaires pour assurer les cibles de gestion fixées, à savoir un taux d'échappement d'au moins 40% de la biomasse « pristine » en anguilles argentées (futurs reproducteurs) vers le lieu de reproduction. Cette étude s'inscrit donc directement dans le cadre de la mise en œuvre du plan de gestion Anguilles de la Loire. La méthodologie utilisée ici étant reproductible et validée par le projet européen INDICANG, cette étude pourra être utile à d'autres gestionnaires de grands bassins versants en France et en Europe, ce qui permettrait de combler la quasi absence d'estimations quantitatives de flux d'anguilles argentées en Europe.

Ces estimations quantitatives doivent également être accompagnées d'un objectif de qualité. En effet, la phase continentale des anguilles est longue (entre 3 et 15 ans). Elles sont donc particulièrement exposées aux parasitoses (*Anguillicola crassus*, Lefebvre et al., 2003), xénobiotiques (métaux lourds, PCB, etc. Robinet & Feunteun, 2002 ; Belpaire et al., 2008) ou toxines liées à l'eutrophisation (hépatotoxines du type Microcystine-LR, Acou et al., 2008). Toutes ces atteintes peuvent sérieusement altérer leur succès reproducteur, c'est-à-dire leur réelle capacité à atteindre la zone de fraie, se reproduire, et produire une descendance viable. Ainsi, la population d'anguilles argentées de la Loire sera également caractérisée d'un point de vue qualitatif sur la base de critères biométriques (taille, poids, sexe, maturité, coefficient de condition), anatomiques internes (Rapport Hépat-Somatique, Rapport Gonado-

Somatique) et en terme de charge parasitaire dans la vessie natatoire (contamination par *A. crassus*).

Le présent document a pour objectif, pour la saison d'avalaison 2008-09 :

- i) d'estimer le nombre d'anguilles argentées migrantes transitant dans la partie aval du bassin versant de la Loire (amont d'Ancenis)
- ii) de relativiser l'exploitation qu'elles subissent par la pêche professionnelle
- iii) de préciser le déroulement et les modalités de dévalaison
- iv) de caractériser d'un point de vue qualitatif les anguilles argentées migrantes
- v) et enfin d'évaluer la variabilité du nombre et de la qualité des anguilles argentées produites par la Loire au cours des 5 saisons de migration (2001-02, 2002-03, 2004-05 et 2008-09).

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Site d'étude : le bassin versant de la Loire

Le bassin versant de la Loire est le plus grand bassin hydrographique français (117 054 km<sup>2</sup>) soit 1/5<sup>ème</sup> du territoire français. Il s'étend du sud-est du Massif Central jusqu'à l'océan Atlantique (Figure 1). Le cours principal, la Loire, est le plus long de France (1012 km) et prend sa source à 1408 m d'altitude au Mont-Gerbier-de-Jonc (Ardèche). Son débit moyen à Montjean sur Loire (au milieu de la zone d'étude ; Figure 1) est de 806 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Les principaux affluents de la Loire sont l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne et la Maine (formée par la confluence de la Sarthe grossie du Loir et de la Mayenne). Plus en aval, à Nantes, la Sèvre Nantaise se jette dans la Loire estuarienne (Figure 1).

### 2.2. Technique de pêche

L'étude s'appuie sur un réseau de pêcheries uniques en Europe qui exploitent l'anguille d'avalaison à l'aide d'un même engin, le guideau. Le guideau s'apparente à un chalut qui mesure 25 m de long sur 10 m de large et 5 m de haut (Figure 2). Ses mailles sont décroissantes entre l'entrée (120 mm) et l'extrémité (20 mm), et est prolongé par une poche amovible (maille 10 mm) dans laquelle les anguilles sont recueillies. Il est amarré à deux poteaux métalliques horizontaux reliés à un treuil, ce qui permet de le manœuvrer depuis le bateau (appelé aussi « toue »). Contrairement au chalut, le bateau reste immobile malgré le courant grâce à un système d'ancrage et de câbles. C'est donc le courant qui ouvre les poches du filet dans lequel s'engouffrent les anguilles argentées. Les caractéristiques techniques et les dimensions des guideaux étant fixées dans le temps, il y a peu de variation dans la puissance de pêche, ni entre les bateaux ni entre les saisons de pêche pour un même bateau. La capturabilité varie seulement en fonction du débit du fleuve, puisqu'une augmentation de débit et par conséquent de la section mouillée du cours d'eau diminue la proportion d'eau filtrée par le guideau.

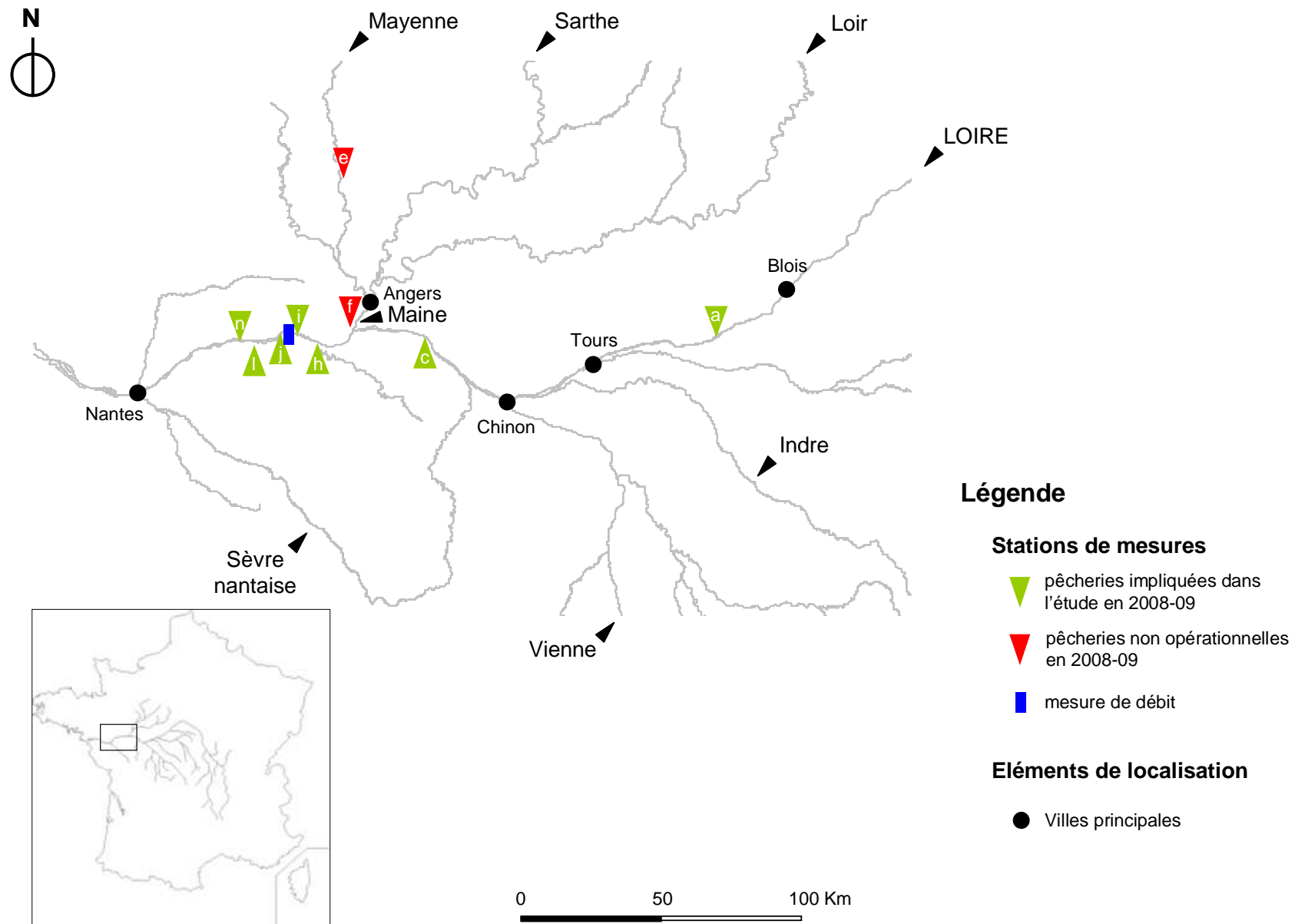


Figure 1: Localisation des pêcheries impliquées dans l'expérience de capture/marquage/recapture réalisée en 2008-09 sur la Loire amont.



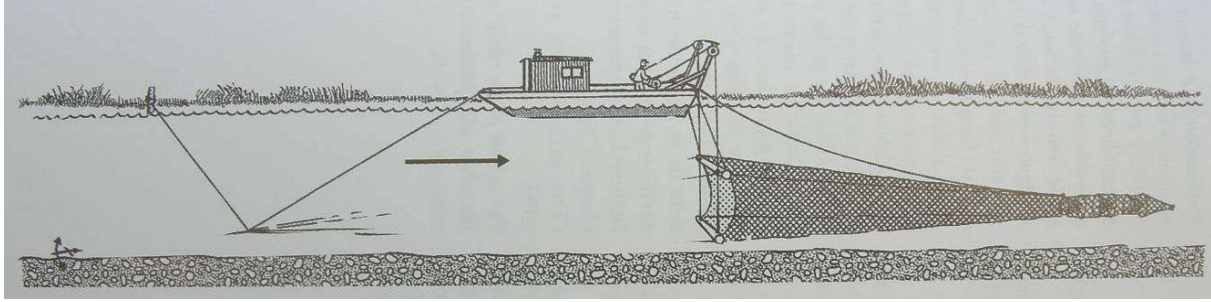


Figure 2 : Schéma d'un guideau en pêche (Source : Guide des engins de pêche fluviale et lacustre, CSP, 2003).

Les pêcheries utilisant les guideaux sont réparties le long du cours principal de la Loire entre l'amont de Tours (Indre-et-Loire), Angers (Maine-et-Loire) et Varades (Loire-Atlantique). Deux pêcheries sont situées au niveau de la confluence de grands bassins, comme l'Indre en rive gauche et la Maine en rive droite. La zone d'expérimentation de capture/marquage/recapture correspond à la répartition de la plupart des pêcheries professionnelles, elle s'étend donc de Saint Mathurin sur Loire (à l'est d'Angers) à Ancenis, couvrant 75 km de linéaire de cours d'eau. Les pêcheries au guideau participant à l'étude étaient au nombre de 12 en 2001-02, 10 (dont une sur la Mayenne) en 2002-03 et 2003-04, 7 en 2004-05 et en 2008-09 (Figure 1).

### 2.3. Protocole de marquage

Le protocole a consisté, comme pour les autres années, à réaliser plusieurs campagnes de marquage au cours de la saison de manière à tester la variabilité temporelle et spatiale des taux de recapture. Une campagne de marquage a été définie comme une session de marquage dans une pêcherie et à une date donnée. En fonction des années, entre 2 et 6 campagnes ont été réalisées. Pour cette année 2008-09, ce sont 5 campagnes de marquage qui ont été réalisées correspondant aux vagues migratoires successives observées pendant cette saison, et au sein de 2 pêcheries (C et F ; Figure 1) situées à l'amont de la zone d'expérimentation pour augmenter les chances de recaptures.

Les deux premières sessions de marquage ont eu lieu les 29 et 30 octobre 2008 pendant la première crue ligérienne au niveau de la pêcherie C (Figure 1). Les trois autres sessions ont eu lieu les 21, 22 et 23 janvier 2009 au cours d'une crue des affluents de la Loire (Mayenne, Oudon, Sarthe et Loir). A cette période, la pêcherie C avait stoppé son activité ce qui impliquait de modifier le protocole prévu initialement. Cela a consisté à marquer des anguilles capturées dans les pêcheries encore opérationnelles (pêcheries I et J), et de les relâcher plus en amont au niveau de la confluence Loire/Maine à Angers (pêcherie F ; Figure 1). Suite à un problème d'alimentation en oxygène qui a eu lieu lors d'un transfert, environ 40% des anguilles argentées marquées le 22 janvier 2008 (N = 161 ind. marquées au total) sont mortes par asphyxie. Les anguilles ayant survécu à cet épisode ont toutes été remises à l'eau. Un doute concernant leur réelle capacité à migrer de nouveau nous a conduit à exclure ce lot d'anguilles marquées de nos analyses pour l'estimation des flux. Enfin, plusieurs campagnes de marquage ont été annulées au dernier moment. La première était prévue à Amboise le 26/10/08 suite à une crue de l'Allier, mais le colmatage complet du guideau lié à la présence d'algues filamenteuses a empêché toute capture. Une seconde, prévue le 15/11/08 suite à une importante crue cévenole, n'a pu être réalisée en raison de la dangerosité des conditions de pêche (crue très rapide). Enfin, une troisième aurait dû être réalisée le 22/12/08, mais finalement la crue de la Loire amont était plus faible qu'annoncée. Au final, et au gré des

problèmes rencontrés (crues, transferts, etc.), ce sont 4 campagnes de marquage au sein de 2 pêcheries qui ont été réalisées pour cette saison 2008-09, avec un minimum de 187 anguilles argentées marquées par campagne (Tableau 1).

Le marquage des anguilles argentées, échantillonnées dans chaque pêcherie de manière aléatoire, a été réalisé au niveau de la nageoire dorsale avec de la peinture acrylique rouge et/ou verte. Une étude expérimentale a montré que la peinture acrylique (de couleur rouge ou verte) était visible au minimum 3 mois et que le marquage n'engendrait aucune mortalité (Boury, 2001). Des combinaisons de couleur injectées à l'aplomb et/ou au milieu de la nageoire dorsale ont été utilisées pour distinguer les sites et sessions de marquage (Tableau 1).

Tableau 1 : Type de marques utilisées au cours de la saison 2008-09.

Site	Date	Nb d'ind. marqués	Couleur(s) utilisée(s)	Localisation(s) sur la nageoire dorsale
C	29/10/2008	222	verte	aplomb
C	30/10/2008	204	rouge	aplomb
F	21/01/2009	187	rouge	aplomb et milieu
*F	22/01/2009	161	rouge	milieu
F	23/01/2009	193	rouge et verte	aplomb et milieu

\* session de marquage entachée par des mortalités et non considérée pour l'estimation des flux

Les anguilles marquées ont été recapturées dans 5-6 pêcheries localisées à l'aval des sites de marquage. La recherche des individus marqués a été réalisée par les pêcheurs eux-mêmes au cours de chaque relève de filet. Afin d'augmenter les chances de recapture, tous les pêcheurs impliqués étaient informés en temps réel des lieux et dates des différentes séances de marquage. Les anguilles recapturées étaient immédiatement stockées et annotées sur les carnets de pêche, avec les informations qui concernent les dates et heures de pêche, ainsi que le code couleur utilisé. Elles ont ensuite été récupérées et sacrifiées par l'équipe scientifique dans l'attente de dissection.

#### 2.4. Suivi des captures

Tous les pêcheurs participant à l'étude ont recensé tout au long des saisons les captures quotidiennes de chaque guideau, les anguilles argentées étant comptées une à une à l'issue de chaque pêche. Les captures journalières d'anguilles argentées ainsi que l'effort de pêche ont été consignés dans un carnet de pêche, les captures nulles ont donc été différenciées des jours sans pêche. Le nombre de captures a été rapporté à une unité commune d'effort de pêche pour la CPUE (Capture Par Unité d'Effort), permettant ainsi une comparaison des captures dans l'espace (entre les pêcheries) et dans le temps (entre les années). Les CPUE ont été calculées et exprimées en nombre d'anguilles capturées par nuit et par engin de pêche.

## 2.5. Taux de recapture et estimation du flux d'anguilles argentées

Pour respecter les principes énoncés par Petersen dans le cadre d'une expérience de marquage/recapture, à savoir :

- la probabilité de capture ne doit pas varier dans le temps
- tous les individus marqués doivent avoir la même probabilité de capture
- le nombre d'individus marqués doit être significatif.

et suivant les travaux de Verrault et al. (2001), nous avons fait l'hypothèse que les anguilles argentées émigraient en même temps pendant la campagne de marquage. Les taux de recapture (en %) ont été calculés pour chaque campagne de marquage. Ils ont été exprimés en proportion d'anguilles marquées recapturées dans les différentes pêcheries. La taille de la population a été estimée, pour chaque campagne de marquage, à l'aide de l'indice de Petersen :

$$N = (nm \times n^{mc}) / nmc$$

avec :

- N est la taille de la population estimée
- $nm$  est le nombre d'individus marqués
- $n^{mc}$  est le nombre d'individus capturés
- $nmc$  est le nombre d'individus recapturés

La taille de la population a été estimée pour chaque pic de migration. Ainsi, le flux total annuel correspondait à la somme des estimations de flux par vague (ou pic) de migration. Certains pics de migration n'ayant pas pu être associés à des marquages car le nombre d'individus capturés par nuit était insuffisant, les taux de recapture de ces pics étaient les moyennes des taux réalisés sur l'ensemble de la saison.

## 2.6. Caractérisation des anguilles argentées

Chaque saison, différents paramètres ont été mesurés sur les anguilles argentées pour caractériser leur état d'avancement dans l'argenture (index oculaire et indice de la nageoire pectorale) et leur qualité (coefficient de condition, maturation des gonades et parasitoses). Les paramètres morphologiques externes, qui ne nécessitaient pas le sacrifice des individus, ont été mesurés sur les anguilles argentées destinées à l'expérience de capture/marquage/recapture. Ces anguilles marquées ont été prélevées au hasard dans les bateaux viviers des différentes pêcheries puis anesthésiées grâce à un mélange composé à 10% de d'huile essentielle de clou de girofle (Eugénol) et d'éthanol à 70°. Une fois les mesures effectuées, toutes les anguilles ont été placées dans bacs de réveil avant d'être remises à l'eau. Ensuite, toutes les anguilles argentées marquées recapturées dans les pêcheries ont été sacrifiées et analysées au laboratoire au fur et à mesure des collectes. Sur ce lot d'anguilles recapturées, les paramètres morphologiques externes et internes ont pu être mesurés.

### 2.6.1. Caractères morphologiques externes

La longueur totale (Lt) des individus a été mesurée au mm près grâce à un ichthyomètre. Le poids total (Pt) a été mesuré au gramme près grâce à une balance. Ces deux variables ont été utilisées pour calculer le coefficient de condition de la manière suivante :

$$\text{coefficient de condition} = 10^6 \times [\text{Pt}/(\text{Lt})^3]$$

Le coefficient de condition constitue une évaluation rapide de l'état physiologique des individus et permet d'appréhender de manière relative le potentiel énergétique des anguilles considérées.

L'index oculaire (IO), défini par Pankhurst (1982) comme la relation entre la longueur totale de l'anguille et la taille moyenne de ses deux yeux, a été calculé de la manière suivante :

$$\text{IO} = \{((A_D + B_D)/4 \times ((A_G + B_G)/4) \times \pi/\text{Lt}\} \times 100$$

avec A et B qui sont les diamètres oculaires horizontaux et verticaux des yeux droit (D) et gauche (G). Les diamètres oculaires ont été mesurés au dixième de millimètre près à l'aide d'un pied à coulisse. Un index oculaire de 6.5 est, selon Pankhurst (1982), la plus faible valeur, à partir de laquelle les anguilles entament leur migration. Plus récemment Marchelidon et al. (1999) ou Acou et al. (2003) ont estimé cette valeur seuil à 8.0. Des études ont montré que la valeur moyenne des indices oculaires chez les anguilles jaunes est moitié moins importante que chez les anguilles argentées (Durif, 2003 ; Acou et al., 2005).

La longueur maximale de la nageoire pectorale gauche a été mesurée au dixième de millimètre près grâce à un pied à coulisse. Cette longueur, ensuite pondérée par la longueur totale de l'individu permet de calculer un indice de la nageoire pectorale (ILP, exprimé en %) selon la formule :

$$\text{ILP} = (\text{Lp}/\text{Lt}) \times 100$$

avec Lp qui est la longueur de la nageoire pectorale et Lt la longueur totale de l'individu. Un accroissement de l'ILP a été observé entre le stade jaune (ILP < 4%) et argenté (ILP ≥ 5%) (Durif 2003). Ainsi, comme l'IO, l'ILP traduit l'avancement des individus dans la préparation à la migration transocéanique.

## 2.6.2. Caractères anatomiques internes

En plus des caractères morphologiques externes, les anguilles argentées recapturées ont été disséquées pour effectuer le prélèvement des gonades, du foie et de la vessie natatoire (Figure 3).

Le poids des gonades a été mesuré au gramme près pour calculer le rapport gonado-somatique (RGS) de la manière suivante :

$$\text{RGS (en \%)} = (\text{Pg}/\text{Pt}) \times 100$$

avec Pg qui est le poids des deux gonades. Le RGS permet d'évaluer la maturité des gonades chez les anguilles argentées mâles (RGS > 0.2%) et femelles (RGS > 1%) au moment de la migration d'avalaison (Fontaine, 1994 ; Marchelidon et al., 1999 ; Acou et al., 2003 ; Durif 2003).

La détermination du sexe d'un échantillon de 682 anguilles argentées (Lt min/max : 351-1100 mm) échantillonnées entre 2001-02 et 2008-09 a été réalisée par observation macroscopique des gonades paires, selon les termes décrits par Colombo et al. (1984). Les femelles présentent une gonade rubanée (Figure 3) tandis que la gonade mâle se présente comme un filament aplati comportant des structures lobulées. Quand cela était nécessaire, les gonades ont été imbibées d'alcool à 90° pour les « révéler par coagulation » de leur albumen et faciliter ainsi la détermination des sexes. Les individus < 460 mm étaient de sexe mâle tandis que ceux ≥ 470 étaient des femelles. Le sexe des anguilles argentées marquées (non disséquées) a été caractérisé en attribuant le sexe mâle aux individus < 460 mm et le sexe femelle aux individus ≥ 470 mm.

Le poids du foie a été mesuré au gramme près pour calculer le rapport hépato-somatique (RHS) selon la formule :

$$\text{RHS (en \%)} = (\text{Pf/Pt}) \times 100$$

avec Pf qui est le poids du foie.

Le poids du foie n'ayant pas été mesuré au cours des saisons 2001-02 et 2002-03, la comparaison interannuelle de RHS n'a été réalisée qu'à partir de la saison 2003-04. Le foie est un organe essentiel pour le métabolisme d'accumulation des réserves lipidiques (Fontaine 1994 ; Durif 2003). Le RHS des anguilles argentées peut varier entre 0.5 et 5% en fonction des sexes et des individus (Durif, 2003). Du stade jaune à argenté, le RHS va passer en moyenne de  $1.72 \pm 0.59\%$  à  $1.24 \pm 0.30\%$  car l'anguille cesse de se nourrir avant son départ en migration (Durif, 2003).

Enfin, les vessies natatoires ont été disséquées pour déterminer le niveau d'infestation par le parasite *Anguillicola crassus* (Figure 4). Le nombre d'*A. crassus* présent dans les vessies a été déterminé. La parasitose a été décrite en utilisant les paramètres classiques de prévalence annuelle (proportion d'anguilles parasitées par le nématode pour une saison donnée) et d'intensité moyenne en *A. crassus* (nombre moyen de parasites par anguilles infectées d'une saison donnée), tels que décrits par Bush et al. (1997).

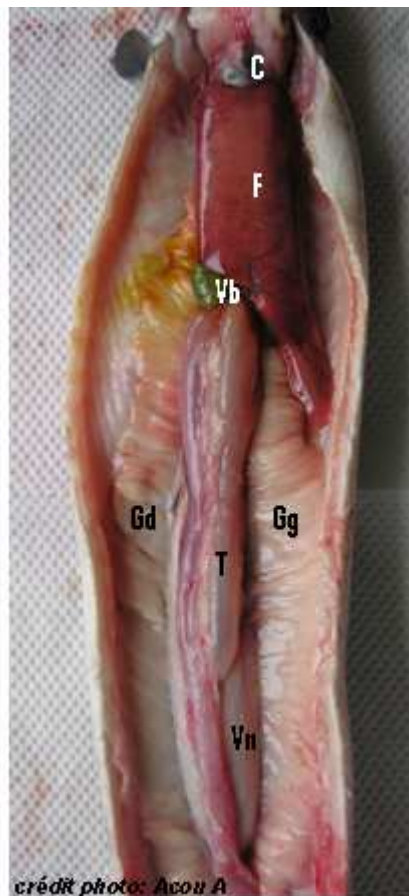


Figure 3 : Cavité générale d'une anguille argentée femelle laissant apparaître le cœur (C), le foie (F), la vésicule biliaire (Vb), le tractus digestif (T), la vessie natatoire (Vn) et les gonades paires rubanées (Gd et Gg).



Figure 4 : Photographique du Nématode parasite *Anguillicola crassus*. a) vessie natatoire légèrement infestée ; b) *A. crassus* adultes de différentes tailles.

### 3. Résultats

#### 3.1. Variations spatio-temporelles des caractéristiques des anguilles argentées

Sur l'ensemble de la période d'étude, les tailles et poids moyens des anguilles argentées étaient  $407.8 \pm 25.4$  mm et  $110.2 \pm 23.3$  g respectivement pour les mâles, et  $783.3 \pm 97.2$  mm et  $940.9 \pm 355.6$  mm respectivement pour les femelles (Tableau 2). Les tailles moyennes variaient significativement au cours des saisons (Anova :  $F = 57,34$  ;  $ddl = 5273$  ;  $P < 0.001$ ), avec globalement une chute significative des tailles moyennes entre les deux premières saisons (2001-02 et 2002-03) et les deux suivantes (2003-04 et 2004-05), et enfin une augmentation significative pour la saison 2008-09 (Tableau 2 ; Figure 5). Concernant le poids moyen, la même tendance significative ( $P < 0.001$ ) a été observée au cours des saisons (Tableau 2 ; Figure 5). Le sex ratio variait significativement au cours des saisons (test du  $\chi^2$ ,  $P < 0,001$ ) mais restait très largement dominé par les femelles, puisque la proportion de femelles variait entre 93,1% et 99,8% pour les saisons 2004-05 et 2003-04 respectivement (Tableau 2).

Tableau 2 : Variations interannuelles de la taille et du poids moyens  $\pm$  écart-type (e.t.), du sex ratio des anguilles argentées marquées entre 2001 et 2009 sur la Loire.

		2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2008-09	Total
♀	Nb	1597	1183	1069	746	961	5556
	lt moy. (mm)	787.7	784.9	754.3	764.5	815.2	783.3
	lt e.t.	93.6	97.0	92.4	110.4	90.3	97.2
	wt moy. (g)	957.7	950.9	824.6	892.7	1053.8	940.9
	wt e.t.	337.4	354.7	327.9	389.3	357.7	355.6
	♂	Nb	52	18	2	35	6
lt moy. (mm)		407.2	405.1	427.5	409.9	402.8	407.8
lt e.t.		23.7	29.0	50.2	26.5	16.9	25.4
wt moy. (g)		112.9	115.1	137.0	101.5	114.0	110.2
wt e.t.		22.8	24.2	45.3	21.5	19.2	23.3
Sex ratio (% de ♀)		96.8	98.5	99.8	93.1	99.4	97.9

La taille moyenne des anguilles argentées femelles avait tendance à augmenter au cours du temps pour les 3 premières saisons de dévalaison. Cependant, seule la relation linéaire de la saison 2001-02 était significative ( $P < 0.001$  ; Figure 6). A l'inverse, la taille moyenne diminuait significativement avec le temps ( $P < 0.001$ ) pour les saisons 2004-05 et 2008-09 (Figure 6). Enfin, la taille moyenne augmentait significativement avec la distance à la mer lors des saisons 2001-02, 2004-05 et 2008-09 (Figure 6).

Nombre d'anguilles argentées

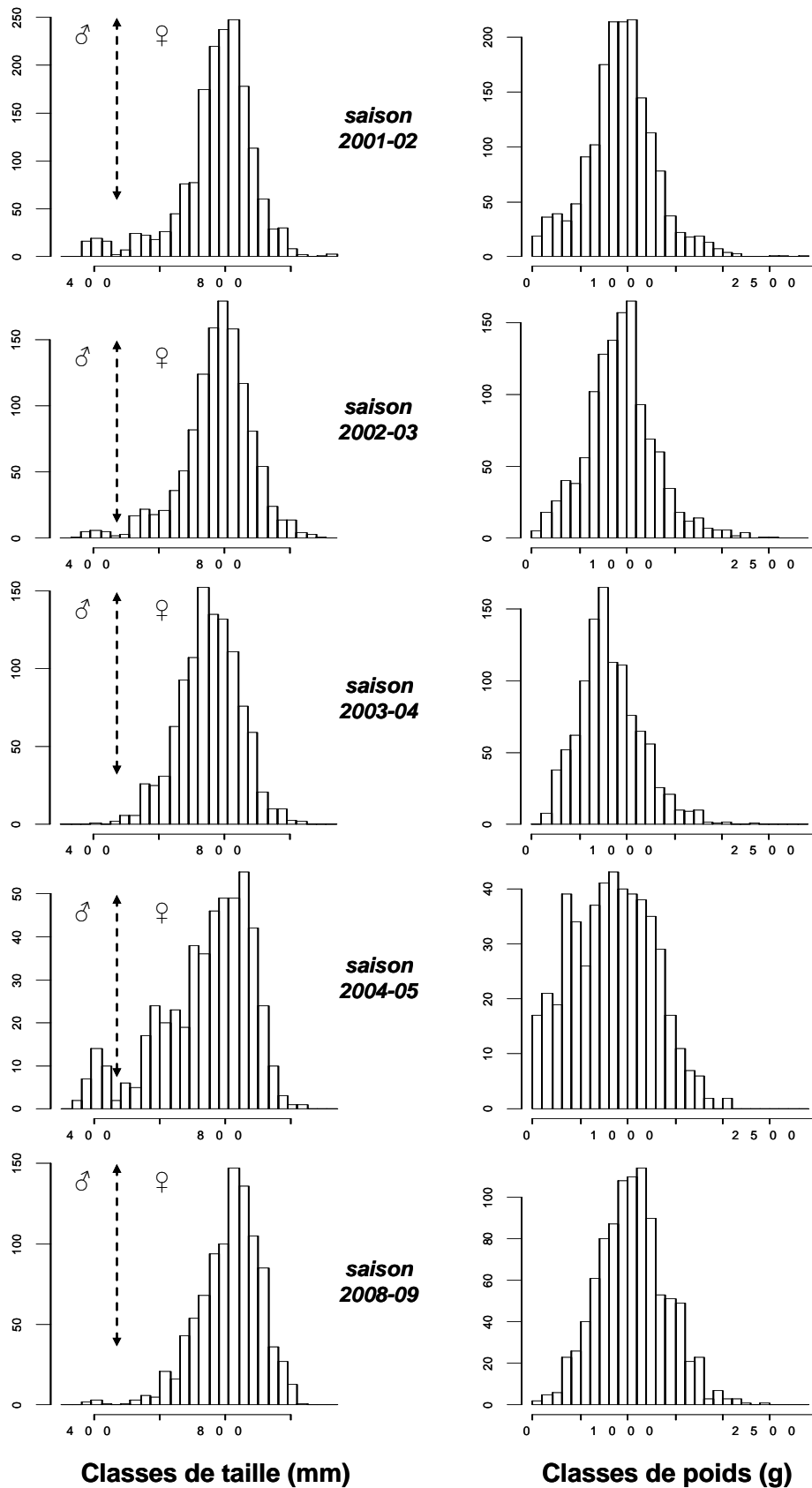
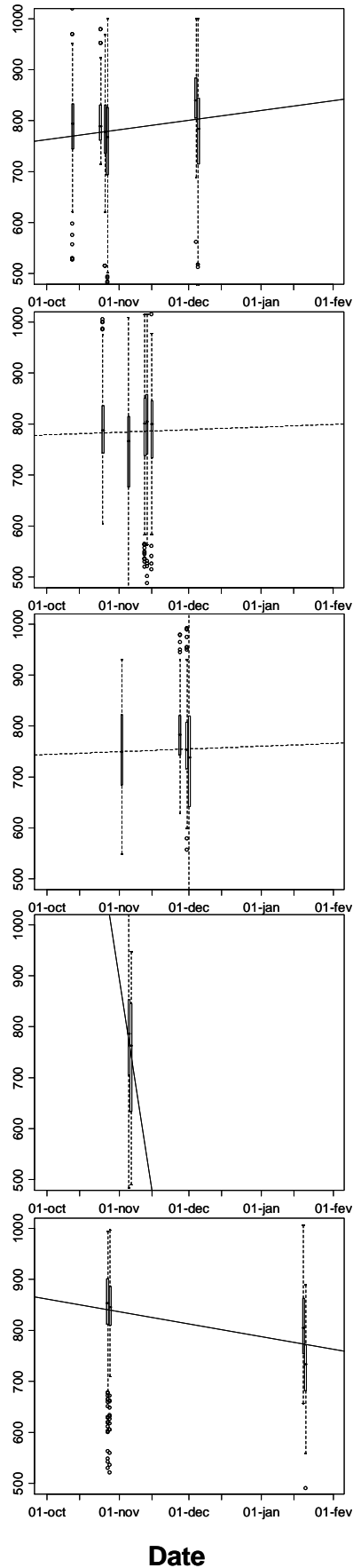


Figure 5 : Structures de taille et poids des anguilles argentées marquées au cours des 5 saisons de dévalaison. La taille seuil de 470 mm qui permet de discriminer les sexes est figurée.



**Taille des anguilles argentées femelles (mm)**



**Date**

**saïson  
2001-02**

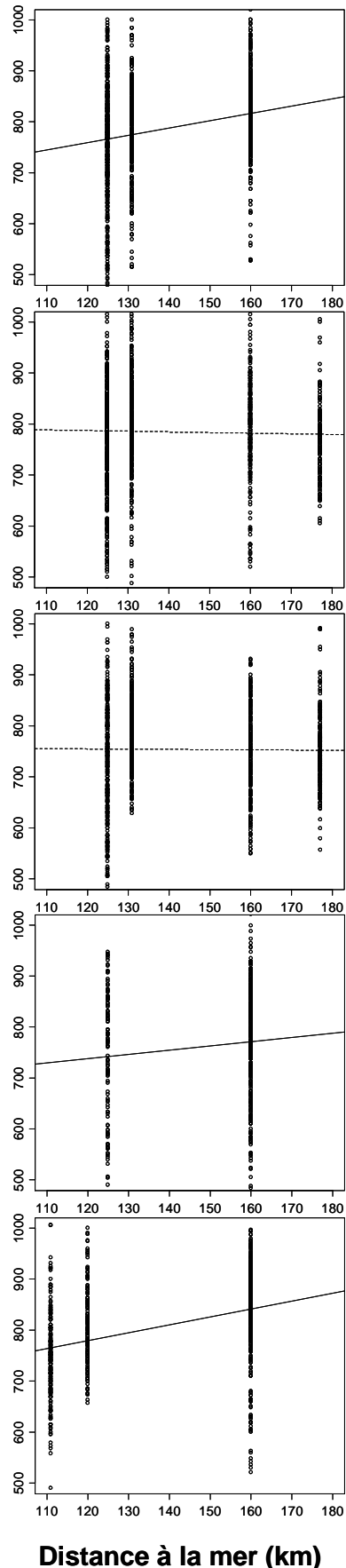
**saïson  
2002-03**

**saïson  
2003-04**

**saïson  
2004-05**

**saïson  
2008-09**

**Taille des anguilles argentées femelles (mm)**



**Distance à la mer (km)**

Figure 6 : Boîtes à moustaches représentant pour chaque saison, la médiane, les 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles ainsi que l'intervalle de la taille des anguilles argentées femelles observées pour chaque saison en fonction de la date et la distance à la mer. Les ronds vides représentent les « outliers ». Les tendances linéaires significatives ( $P < 0.001$ ) sont figurées en trait plein.

### 3.2. Critères d'argenture

L'indice oculaire (IO) moyen observé pour l'ensemble des captures était  $9,53 \pm 1,67$  ( $N = 1813$  ; min-max : 2,13-18,19). L'IO moyen des femelles ( $9,53 \pm 1,66$  ;  $N = 1786$ ; 3,59-18,19) n'était pas différent (Anova :  $F = 3,1$  ; ddl = 1811 ;  $P = 0,08$ ) de celui des mâles ( $8,96 \pm 2,08$  ;  $N = 27$  ; 2,13-12,18). La très grande majorité (82%) de la fraction dévalante possédait un indice supérieur à 8.0 (Tableau 3). Seuls 50 individus, qui représentaient 2,7% des captures totales, avaient un IO inférieur à la valeur seuil de 6,5.

La comparaison interannuelle des IO des mâles, qui a porté sur les deux premières saisons faute de données ou d'effectifs trop faibles, n'a révélé aucune différence significative (Anova :  $F = 2,9$ , ddl = 20,  $P = 0,09$  ; Figure 7). Quelle que soit la saison considérée, les IO moyens des femelles se situaient toujours au-delà de 9 (Figure 7). Les IO moyens de femelles des saisons 2003-04 et 2008-09 étaient significativement plus importants que ceux observés pour les autres saisons (Anova :  $F = 7,9$  ; ddl = 1781 ;  $P < 0,001$  ; Figure 7).

Tableau 3 : Fréquence d'anguilles argentées mâles et femelles par classes d'IO. Les valeurs d'IO de 6,5 et 8,0 correspondent aux valeurs seuil minimales d'argenture telles que définies par Pankhurst (1982) et Marchelidon et al. (1999) respectivement.

	mâles		femelles		total	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%
$IO \leq 6,5$	1	3.7	48	2.7	49	2.7
$6,5 < IO \leq 8,0$	7	25.9	271	15.2	278	15.3
$IO > 8,0$	19	70.4	1467	82.1	1486	82.0

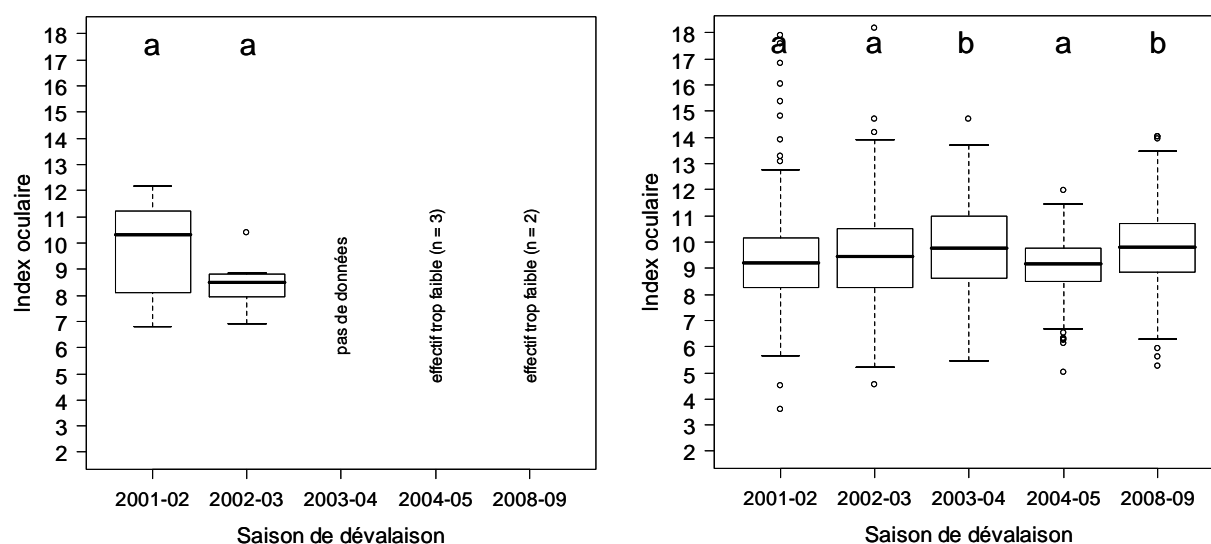


Figure 7 : Distribution de l'IO des anguilles argentées mâles (à gauche) et femelles (à droite) capturées entre 2001-02 et 2008-09. Pour une valeur d'indice particulière, une lettre différente signifie une différence significative des indices moyens entre les différentes saisons de dévalaison (Post-test de Tukey ;  $P < 0,001$ ).

L'indice de la nageoire pectorale (ILP) moyen de l'ensemble des anguilles capturées était  $5.11 \pm 0.48$  ( $N = 904$  ; 3.29-7.69). L'ILP moyen des mâles ( $5.59 \pm 0.60$  ; 4.60-7.69) était significativement plus élevé (Anova :  $F = 23.1$ ,  $ddl = 902$ ,  $P < 0.001$ ) que celui des femelles ( $5.10 \pm 0.47$  ; 3.29-7.13). Selon Durif (2003), l'ILP moyen des anguilles jaunes est inférieur à 4 alors que celui des anguilles dont l'argenteure est en place est supérieur à 5. Dans notre cas, 95.5% des mâles et seulement 56.1% des femelles présentaient un ILP supérieur à 5 (Tableau 4).

Aucune différence significative de l'ILP moyen des mâles observé au cours des saisons n'a été observée (Anova ;  $F =$  ;  $ddl = 19$  ;  $P = 0.63$  ; Figure 8). Pour les femelles, l'ILP moyen était toujours supérieur à 5 (Figure 8). L'ILP moyen des femelles capturées au cours de la saison 2002/2003 était significativement plus élevé que ceux des autres saisons (Anova :  $F = 34.12$  ;  $ddl = 878$  ;  $P < 0.001$  ; Figure 8)

Tableau 4 : Fréquence d'anguilles argentées mâles et femelles par classes d'ILP. Les valeurs seuil présentées permettent de définir, selon Durif (2003), le stade jaune ( $\leq 4.0$ ), le stade en cours d'argenteure ( $4.0 < ILP \leq 5.0$ ) et le stade argenté ( $ILP > 5.0$ ).

	mâles		femelles		total	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%
ILP $\leq 4.0$	0	0.0	8	0.9	8	0.9
$4.0 < ILP \leq 5.0$	1	4.5	379	43.0	380	42.0
ILP $> 5.0$	21	95.5	495	56.1	516	57.1

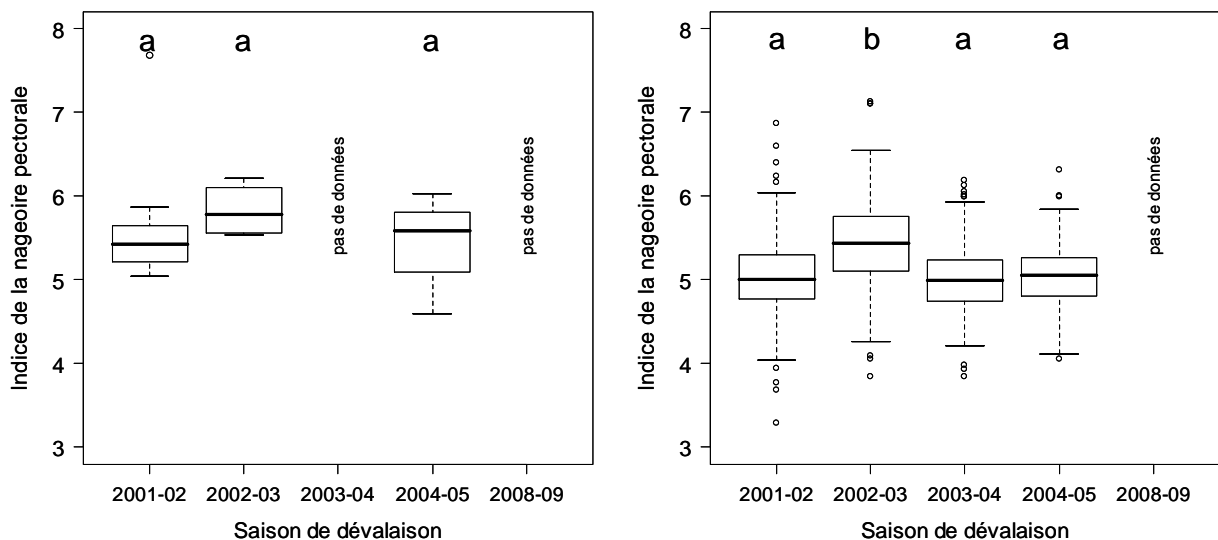


Figure 8 : Distribution de l'indice de la nageoire pectorale des anguilles argentées mâles (à gauche) et femelles (à droite) capturées entre 2001-02 et 2008-09.

### 3.3. Captures réalisées par les pêcheries

Au cours de l'étude, le nombre de pêcheries impliquées dans l'étude est passé de 12 en 2001-02 à 7 pour la saison 2008-09 (Tableau 5). Logiquement, l'effort de pêche total annuel a diminué régulièrement entre les saisons 2001-02 (647 nuits de pêche) et 2008-09 (231 nuits de pêche). De même, l'effort de pêche médian annuel a presque été divisé par deux entre les saisons 2001-02 (50% des guideaux pêchaient environ 52 nuits) et 2008-09 (28 nuits de pêche pour la même proportion de guideaux). Le nombre total d'anguilles argentées capturées étaient relativement stables pour les 3 premières saisons : il variait entre 48642 (45.3 tonnes) et 44223 (36.4 tonnes) anguilles argentées. Pour les deux dernières saisons, ce chiffre diminua de manière importante puisque ce sont seulement 19290 (16.0 tonnes) et 17371 (18.2 tonnes) anguilles argentées qui ont été capturées.

Tableau 5 : Caractéristiques des captures d'anguilles argentées par les pêcheries sur la Loire pour les 5 saisons de dévalaison entre 2001 et 2009.  $N_{\text{pêche}} :$  nombre de pêcheries opérationnelles pendant la saison ;  $EP_{\text{tot}}$  : effort de pêche total exprimé en nombre de nuit de pêche ;  $EP_{\mu\pm\text{et}}$  : effort de pêche moyen  $\pm$  écart type par guideau, exprimé en nombre de nuit de pêche par engin ;  $EP_{\text{med}}$  : effort de pêche médian par guideau, exprimé en nombre de nuit de pêche par engin ;  $N_{\text{ind}}$  : nombre total d'anguilles argentées capturées ; Tonnage : poids total d'anguilles argentées capturées (en tonnes) ;  $CPUE_{\mu\pm\text{et}}$  : CPUE moyenne journalière  $\pm$  écart type exprimée en nombre d'anguilles argentées.pêcheur<sup>-1</sup>.nuit<sup>-1</sup> ;  $CPUE_{\text{med}}$  : CPUE médiane journalière ;  $CPUE_{\text{min}}$  et  $CPUE_{\text{max}}$  : CPUE minimale et maximale observées.

Saison	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2008-09
$N_{\text{pêche}}$	12	10	10	7	7
$EP_{\text{tot}}$	647	402	409	323	231
$EP_{\mu\pm\text{et}}$	53.9 $\pm$ 18.5	36.5 $\pm$ 17.2	40.9 $\pm$ 44.5	35.9 $\pm$ 24.1	25.7 $\pm$ 14.9
$EP_{\text{med}}$	51.5	42.0	44.5	36.0	28.0
$N_{\text{ind}}$	48 642	40 583	44 223	19 290	17 371
Tonnage	45.3	38.1	36.4	16.0	18.2
$CPUE_{\mu\pm\text{et}}$	83.9 $\pm$ 196.3	79.7 $\pm$ 99.2	87.1 $\pm$ 148.5	42.8 $\pm$ 103.2	59.4 $\pm$ 91.8
$CPUE_{\text{med}}$	19.1	23.0	20.0	13.1	14.5
$CPUE_{\text{min}}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$CPUE_{\text{max}}$	1360.3	342.4	730.5	673.0	579.4

Les CPUE observées sur l'ensemble de la période d'étude, qui correspond à tous les jours effectifs de pêche où des captures nulles et non nulles ont été réalisées entre le 1<sup>er</sup> Octobre et le 15 février des saisons 2001-02 à 2008-09, variaient significativement au cours du temps (Anova sur les CPUE log-transformées :  $F = 2,94$  ;  $n = 440$  ;  $P < 0,05$ ). Plus précisément, les CPUE moyennes et médianes de la saison 2002-03 étaient significativement plus importantes que celles obtenues pour la saison 2004-05 (Test de Tukey :  $P < 0,05$ ). Les CPUE observées pour l'année 2008-09 ne variaient pas significativement par rapport aux 4 autres saisons (test de Tukey :  $P > 0,05$  ; Figure 9).

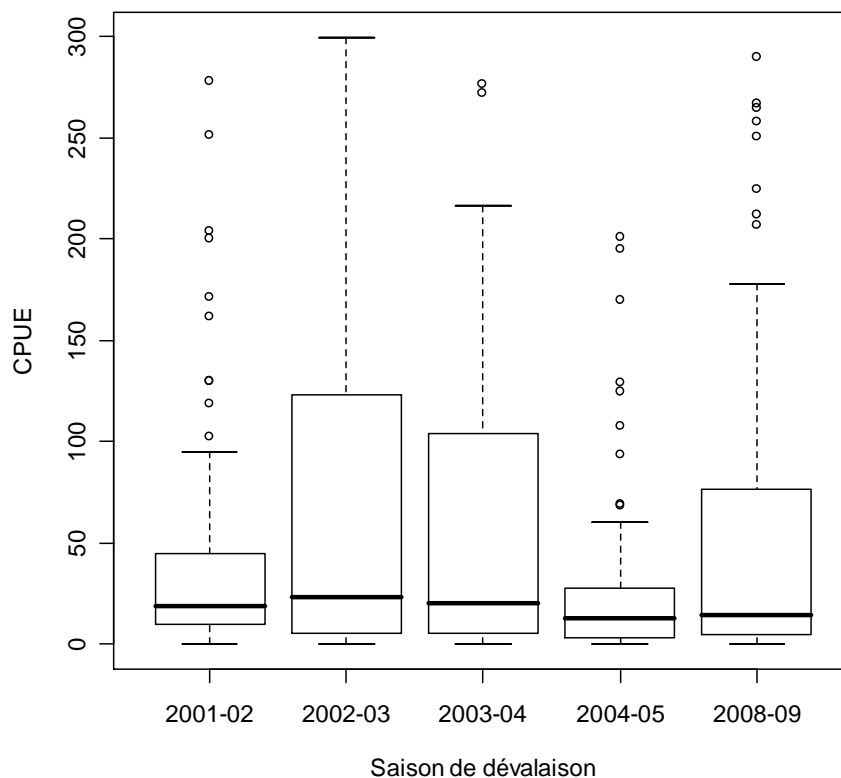


Figure 9 : Boîtes à moustaches des CPUE (nombre d'anguilles argentées capturées par nuit et engin de pêche) au cours des saisons de dévalaison. L'intervalle a été réduit à des valeurs de CPUE de 300 anguilles.nuit<sup>-1</sup>.engin<sup>-1</sup> pour faciliter la lecture du graphique. 13 CPUE « outliers » (valeurs min-max : 409-1360 anguilles.nuit<sup>-1</sup>.engin<sup>-1</sup>) ne sont pas figurées.

Chaque année, les CPUE étaient très variables au cours de la saison ce qui témoigne que la migration n'est pas un phénomène continu. La plupart des pics de CPUE étaient liés à des pics de débit (Figure 10). En fonction des saisons, le nombre de pics de captures variait entre 3 (saison 2002-03) et 6 (saison 2008-09) même si des captures pouvaient être réalisées tout au long de la saison (Figure 10). Les CPUE n'étaient pas liées significativement au débit sur l'ensemble de la période d'étude (Figure 11). Cependant, des relations significatives de type polynomial entre les CPUE et les débits étaient observées pour les saisons 2001-02, 2002-03, 2003-04 et 2004-05 (Figure 11). Sur l'ensemble de la période d'étude, les CPUE maximales étaient observées pour des valeurs de débit comprises entre 400 et 1900 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Les valeurs minimales de CPUE étaient plus fréquemment observées quand les débits étaient ≤ 200 et > 2200 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Figure 11).

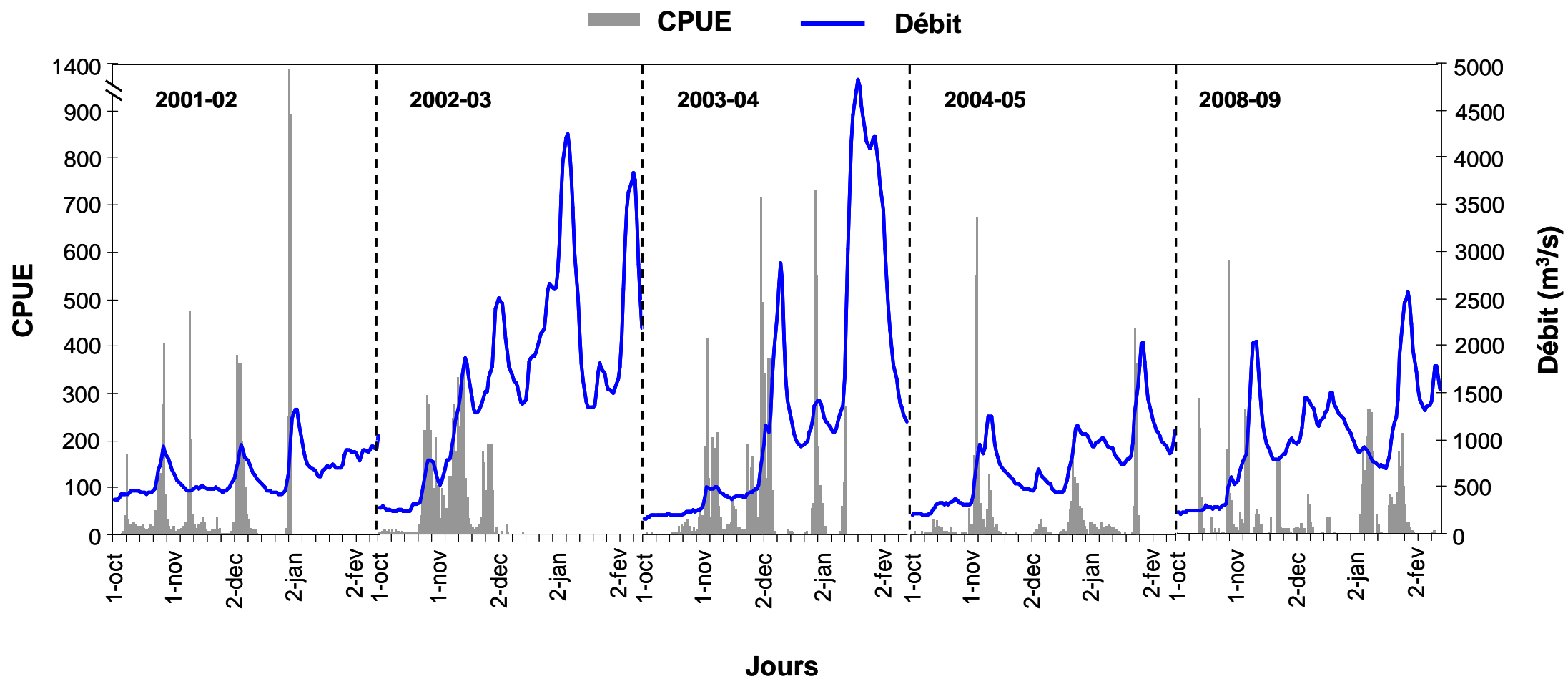


Figure 10 : Variation temporelle des captures d'anguilles argentées (CPUE) réalisées par les pêcheurs professionnels et débit journalier moyen observé à Montjean/Loire. Les CPUE sont exprimées en nombre d'anguilles argentées capturées par pêcheur et par nuit.

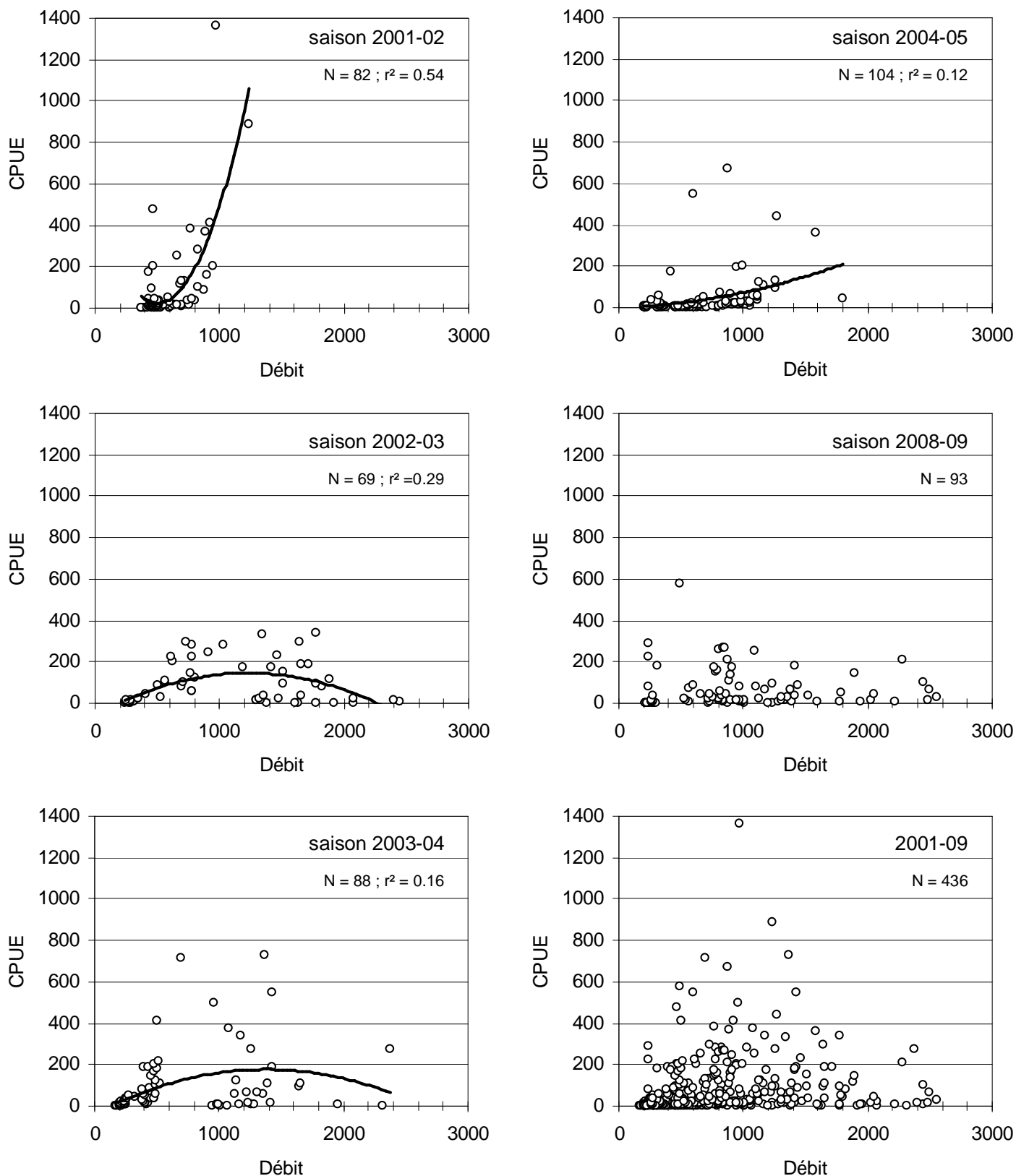


Figure 11 : Relations entre les CPUE (nombre d'anguilles argentées capturées.nuit<sup>-1</sup>.engin<sup>-1</sup>) et les débits (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) pour les 5 saisons de dévalaison ainsi que sur l'ensemble de la période d'étude (2001-09). Les r<sup>2</sup> des tendances polynomiales significatives (P < 0.05) sont figurées.

### 3.4. Taux de recapture

Au cours des 23 expériences de marquage/recapture menées entre les saisons 2001-02 et 2008-09, ce sont 5231 anguilles argentées qui ont marquées (Tableau 6). En fonction des captures réalisées dans les pêcheries et du nombre de pics de migration, le nombre d'anguilles argentées marquées variait entre un minimum de 503 individus pour la saison 2004-05 et un maximum de 1649 individus pour la saison 2001-02. Le taux de recapture moyen global observé était de  $13.4 \pm 4.3$  % (Tableau 6). Il variait entre 12.2% et 14.5% en fonction des saisons, mais cette variabilité n'était pas significative (test de Kruskal-Wallis :  $\chi^2 = 1.29$  ;  $P = 0.86$ ). Cependant, les variations de débit le jour du marquage expliquaient environ 30% de la variabilité du taux de recapture observée sur l'ensemble de la période d'étude (relation négative exponentielle :  $R^2 = 0.29$  ;  $P < 0.005$  ; Figure 12). En particulier, les taux de recapture les plus faibles étaient observés quand le jour du marquage le débit de la Loire excédait  $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Figure 12). Enfin, le taux de recapture variait également beaucoup entre les pêcheries et les dates puisqu'il variait entre 7% et 23%.

Tableau 6 : Statistiques des expériences de marquage/recapture réalisées sur l'ensemble de la période d'étude. Site<sub>m</sub>: site où a eu lieu le marquage ; N<sub>m</sub> et N<sub>r</sub> : nombres d'anguilles argentées marquées et recapturées ; T<sub>r</sub> : taux de recapture.

saison	Site <sub>m</sub>	N <sub>m</sub>	N <sub>r</sub>	T <sub>r</sub> (%)	Débit (m <sup>3</sup> /s) au marquage	N <sub>m</sub> total	N <sub>r</sub> total	Taux de recapture (%) moyen ± et
2001-02	C	141	22	15.6	466	1649	251	14.5 ± 3.5
	C	159	20	12.6	691			
	F	341	70	20.5	828			
	G	341	58	17.0	929			
	C	254	36	14.2	763			
	G	205	24	11.7	889			
	F	208	21	10.1	889			
2002-03	E	151	22	14.6	615	1201	153	13.0 ± 6.3
	F	200	46	23.0	784			
	G	200	34	17.0	779			
	C	250	20	8.0	1460			
	F	200	16	8.0	1640			
	G	200	15	7.5	1880			
2003-04	C	255	33	12.9	485	1072	128	12.2 ± 3.0
	F	300	42	14.0	690			
	G	300	21	7.0	964			
	E	217	32	14.7	1140			
2004-05	C	358	48	13.4	898	503	70	14.3 ± 1.3
	G	145	22	15.2	863			
2008-09	C	222	21	9.5	603	806	101	12.7 ± 5.1
	C	204	29	14.2	562			
	F	187	36	19.2	1100			
	F	193	15	7.8	1230			
<i>Total et moyenne</i>						<i>5231</i>	<i>703</i>	<i>13.4 ± 4.3</i>



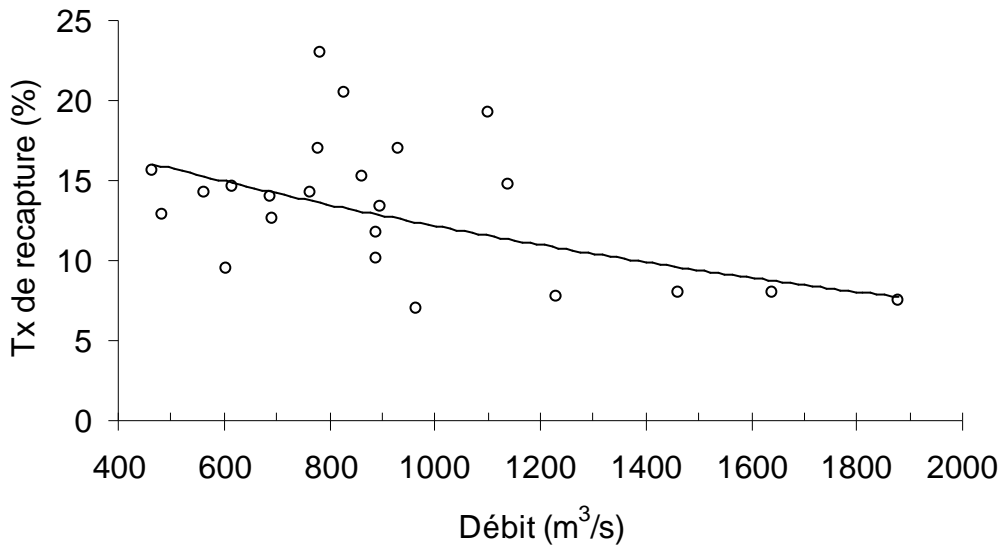


Figure 12 : Taux de recapture des anguilles argentées obtenu pour chacune des sessions de marquage (n = 23) entre 2001-02 et 2008-09 et débit de la Loire observé le jour du marquage. La tendance exponentielle significative ( $P < 0.05$ ) est figurée en trait plein.

Sur les 703 anguilles recapturées, seulement 10 étaient des mâles, ce qui correspond à 1.4% des recaptures totales. Toutes les anguilles ont été recapturées à l'aval des sites de relâcher. Enfin, sur l'ensemble de la période d'étude, 80% des recaptures totales annuelles étaient réalisées deux jours après la session de marquage (Figure 13). 8 jours étaient nécessaires pour réaliser 90% des recaptures (Figure 13).

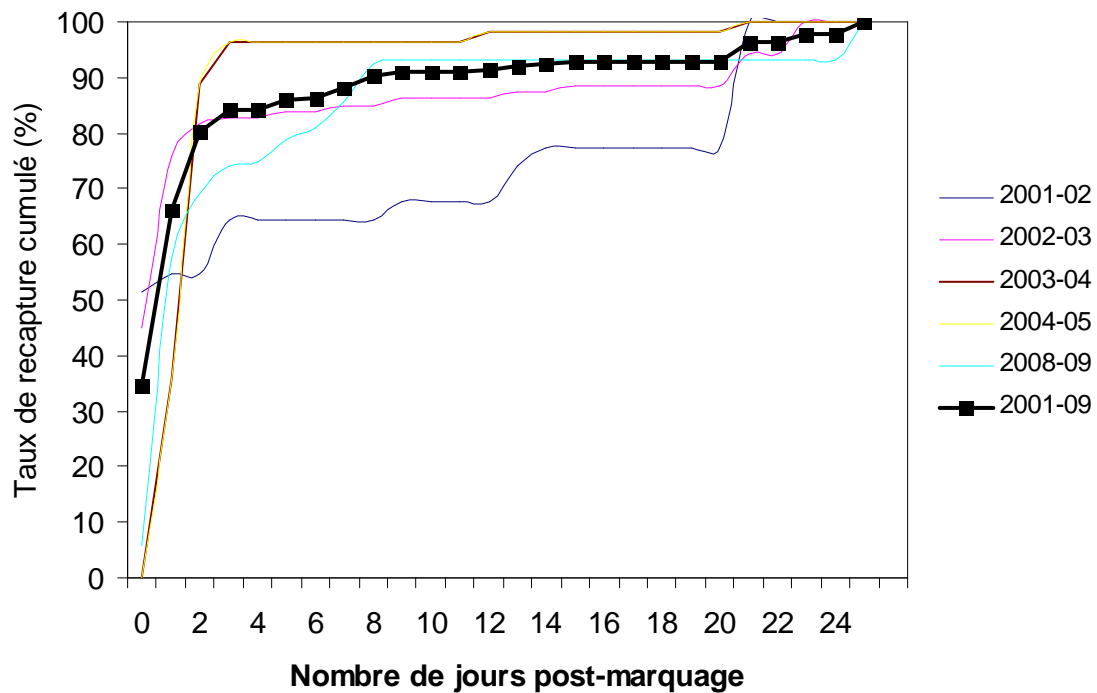


Figure 13 : Evolution du taux de recapture cumulé en fonction du nombre jours post-marquage pour les 5 saisons de migration et l'ensemble de la période d'étude (2001-09).

### 3.5. Estimation des flux

Etant donné la grande variabilité des patrons de migration observés, les flux d'anguilles migrantes ont été estimés le plus souvent possible au cours des saisons et des pics de captures. Les caractéristiques des pics de migration, déterminés graphiquement chaque saison à partir de la Figure 10, sont présentées dans le Tableau 7. Les captures totales étaient très variables en fonction des pics de migration car elles variaient entre 370 et 22 135 anguilles argentées (Tableau 7). Pour chaque pic, entre 0 et 3 sessions de marquage ont été réalisées, ce qui correspond à un nombre total de session par saison qui varie entre 2 (saison 2004-05) et 7 (saison 2001-02). Sur l'ensemble de la période d'étude, 23 sessions de marquage ont été réalisées. Le nombre moyen estimé d'anguilles argentées par campagne de marquage, qui s'élevait environ à 107 500 individus, variait entre 3 700 et 316 000 individus. Le nombre moyen estimé d'anguilles argentées par pic de migration (55 000 individus) était également très variable puisqu'il était compris entre 2600 et 214 000 anguilles argentées en décembre 2004 et novembre 2002 respectivement. Le nombre total d'anguilles argentées estimé par marquage/recapture était relativement homogène les 3 premières saisons, puisqu'il variait entre 352 000 (saison 2001-02) et 383 000 anguilles argentées (saison 2003-04) (Tableau 7). Ce nombre chuta considérablement en 2004-05 (135 000 ind.) pour finalement se stabiliser à 150 000 ind. pour la saison 2008-2009 (Tableau 7).

Tableau 7 (cf. page suivante): Estimations annuelles du nombre d'anguilles argentées produites par la Loire amont pour les saisons 2001-02 à 2008-09. Début/fin de pic : début et fin de chaque pic de captures utilisé pour réaliser les estimations. N : Nombre d'anguilles argentées capturées par les pêcheries ; n° marq : campagne de marquage au sein de chaque pic de capture ; date : date de la campagne de marquage ;  $T_r$  : taux de recapture exprimé en proportion d'anguilles recapturées par campagne de marquage (en %) ; \* indique qu'un  $T_r$  annuel moyen a été appliqué pour les estimations ;  $N_c$  : estimation du nombre d'anguilles argentées par campagne de marquage ;  $N_p$  : estimation du nombre d'anguilles argentées par pic de migration ;  $N_s$  : estimation arrondie du nombre total d'anguilles argentées par saison.

saison	n° pic	début pic	fin du pic	N	n° marq	date	T <sub>r</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>p</sub>	N <sub>s</sub>
2001-02	1	01-oct	21-oct	4790	1	12-oct	0.156	30700	30700	352 000
	2	22-oct	02-nov	11865	2	24-oct	0.126	94327		
	2	22-oct	02-nov		3	26-oct	0.205	57800	73962	
	2	22-oct	02-nov		4	27-oct	0.170	69758		
	3	03-nov	24-nov	9269			0.145*		63802	
	4	25-nov	28-dec	16726	5	04-dec	0.142	118011		
	4	25-nov	28-dec		6	05-dec	0.117	142868	142182	
	4	25-nov	28-dec		7	05-dec	0.101	165667		
	5	29-dec	15-fev	5992			0.145*		41245	
2002-03	1	01-oct	01-nov	17708	1	25-oct	0.146	121541	99266	356 000
	1	01-oct	01-nov		2	28-oct	0.230	76991		
	2	02-nov	05-nov	2446	3	05-nov	0.170	14388	14388	
	3	06-nov	19-nov	16745	4	12-nov	0.080	209313		
	3	06-nov	19-nov		5	13-nov	0.080	209313	213964	
	3	06-nov	19-nov		6	14-nov	0.075	223267		
	4	20-nov	15-fev	3684			0.130*		28313	
2003-04	1	01-oct	11-nov	13881	1	5-nov	0.129	107262	107262	383 000
	2	12-nov	21-nov	1805			0.122*		14829	
	3	22-nov	17-dec	22135	2	01-dec	0.140	158107		
	3	22-nov	17-dec		3	02-dec	0.070	316214	208141	
	3	22-nov	17-dec		4	04-dec	0.147	150103		
	4	18-dec	10-jan	5953			0.122*	48908	48908	
	5	11-jan	15-fev	449			0.122*	3689	3689	
2004-05	1	01-oct	25-oct	936			0.143*		6550	135 000
	2	26-oct	08-nov	9462	1	06-nov	0.134	70571	66467	
	2	26-oct	08-nov		2	07-nov	0.152	62363		
	3	09-nov	03-dec	1125			0.143*		7873	
	4	04-dec	17-dec	370			0.143*		2589	
	5	18-dec	20-jan	4082			0.143*		28565	
	6	21-jan	15-fev	3315			0.143*		23198	
2008-09	1	01-oct	25-oct	944			0.127*		7448	150 000
	2	26-oct	20-nov	9585	1	29-oct	0.095	101327	84377	
	2	26-oct	20-nov		2	30-oct	0.142	67426		
	3	21-nov	03-jan	1657			0.127*		13073	
	4	04-jan	18-jan	1430			0.127*		11282	
	5	19-jan	15-fev	3740	3	21-jan	0.193	19427	33774	
	5	19-jan	15-fev		4	23-jan	0.078	48121		

### 3.6. Comparaison des critères morphologiques entre les anguilles argentées marquées et recapturées

Les distributions par saison des tailles, index oculaires et indices de la nageoire pectorale des anguilles argentées marquées et recapturées sont présentées sur la Figure 14. Pour les saisons 2001-02 et 2002-03, les distributions de tailles, IO et ILP des anguilles argentées marquées et recapturées étaient significativement différentes, avec des valeurs médianes systématiquement plus élevées chez les anguilles marquées par rapport aux anguilles recapturées (Figure 14). A partir de 2003-04, et exceptées les comparaisons de tailles et index oculaire réalisées pour les saisons 2003-04 et 2008-09 respectivement, les distributions des variables testées étaient homogènes entre anguilles argentées marquées et recapturées. Ce résultat suggère que les anguilles argentées recapturées étaient représentatives des anguilles marquées et par conséquent que la probabilité de capture ne variait pas en fonction des caractéristiques des individus.

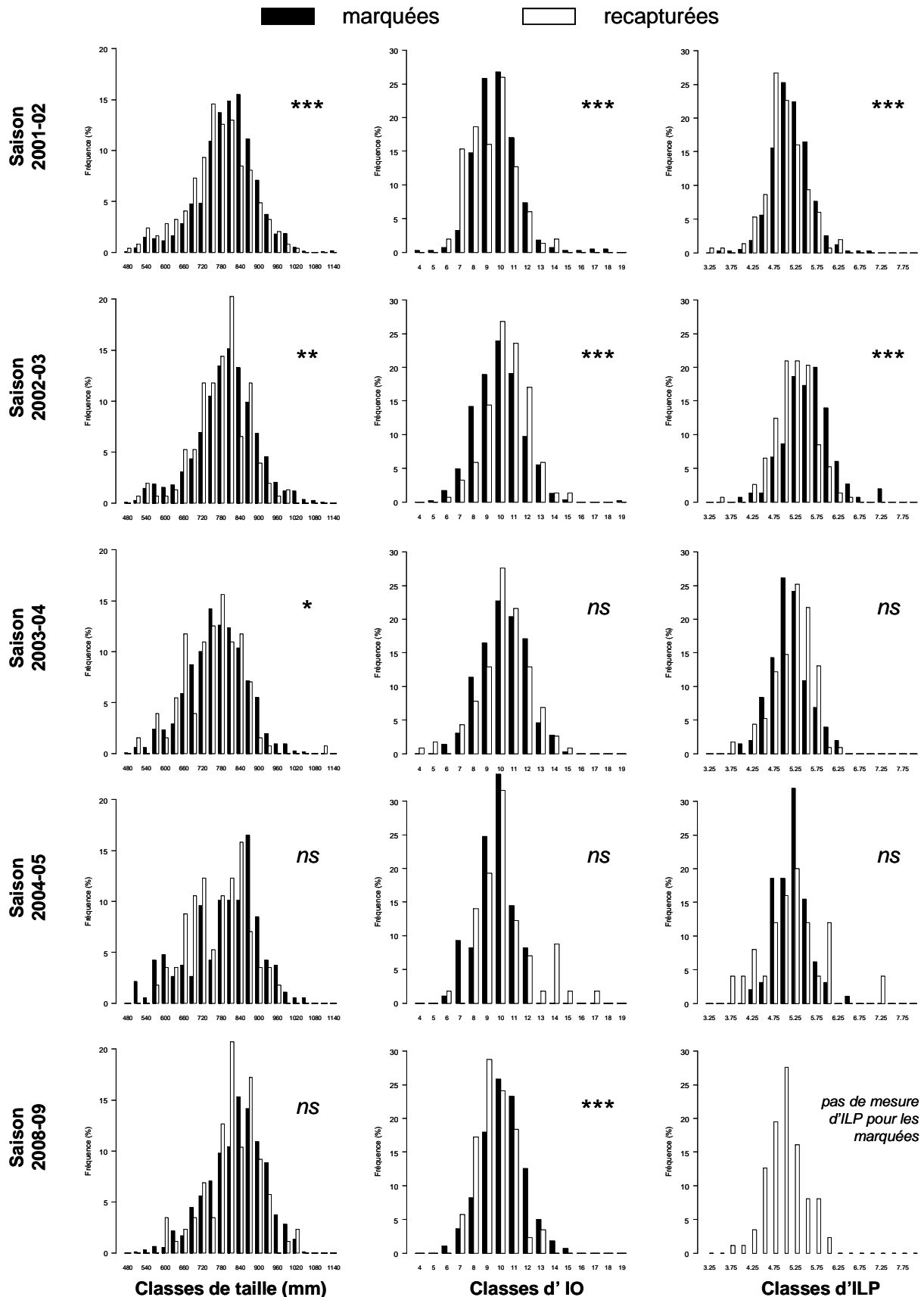


Figure 14 : Distribution des tailles, des index oculaires (IO) et des indices de la nageoire pectorale (ILP) des anguilles argentées femelles marquées et recapturées au cours des 5 saisons de migration. La probabilité associée au test de Kruskal-Wallis est mentionnée : ns : non significatif ; \* =  $P < 0.05$  ; \*\* =  $P < 0.01$  ; \*\*\* =  $P < 0.001$ .

### 3.7. Qualité des anguilles argentées

Le coefficient de condition moyen observé sur l'ensemble de la période d'étude des anguilles était  $0.195 \pm 0.024$  ( $N = 672$  ;  $0.113-0.410$ ). Aucune variation interannuelle du coefficient de condition n'a été observée sur l'ensemble de la période d'étude (Anova :  $F = 2.06$  ;  $ddl = 4$  ;  $P > 0.05$  ; Figure 15).

Le rapport gonado-somatique (RGS) moyen sur l'ensemble de la période d'étude des anguilles argentées femelles recapturées était  $1.68 \pm 0.39\%$  ( $N = 633$  ;  $0.15-7.22\%$ ). La majorité des anguilles femelles possédait un RGS compris entre 1.5 et 2.0% tandis que le RGS de 98.4% des anguilles femelles disséquées était supérieur à 1.0% (Tableau 8), ce qui traduit un avancement important dans le processus de maturation des gonades. Le RGS moyen variait significativement au cours du temps (Anova :  $F = 4.6$  ;  $ddl = 4$  ;  $P < 0.01$ ). Les anguilles échantillonnées lors des saisons 2002-03 à 2004-05 présentaient en effet des RGS moyens significativement plus faibles ( $1.62 \pm 0.24\%$ ) que ceux des anguilles capturées au cours des saisons 2001-02 et 2008-09 ( $1.65 \pm 0.50\%$  ; Figure 15).

Tableau 8 : Fréquence d'anguilles argentées femelles recapturées au cours des 5 saisons de dévalaison par classes de RGS définies à partir des données de la littérature.

Classes de RGS (%)	Nb de ♀	Nb de ♀ (%)
$RGS \leq 1.0$	10	1.6
$1.0 < RGS \leq 1.5$	150	23.7
$1.5 < RGS \leq 2.0$	413	65.2
$RGS > 2.0$	60	9.5
<i>total</i>	<i>633</i>	<i>100</i>

Le rapport hépato-somatique (RHS) moyen sur l'ensemble de la période d'étude des anguilles argentées femelles recapturées était  $1.34 \pm 0.25\%$  ( $N = 234$  ;  $0.66-2.12\%$ ). La majorité (93.6%) des anguilles femelles possédait un RHS supérieur à 1%, tandis que seulement 6.4% des femelles possédaient un RHS inférieur ou égal à 1% (Tableau 9). Le RHS moyen variait significativement au cours du temps (Anova :  $F = 7.7$  ;  $ddl = 2$  ;  $P < 0.001$ ). LE RHS des anguilles argentées capturées au cours de la saison 2003-04 ( $1.39 \pm 0.24\%$ ) était significativement plus élevé que celui des anguilles capturées les 2 saisons suivantes ( $1.29 \pm 0.25\%$  ; Figure 15).

Tableau 9 : Fréquence d'anguilles argentées femelles recapturées au cours des saisons de dévalaison 2003-04 à 2008-09 par classes de RHS définies à partir des données de la littérature.

Classes de RHS (%)	Nb de ♀	Nb de ♀ (%)
$RHS \leq 1.0$	15	6.4
$1.0 < RHS \leq 1.5$	164	70.1
$RHS > 1.5$	55	23.5
<i>total</i>	<i>234</i>	<i>100</i>

Sur l'ensemble de la période d'étude, 67.12% des anguilles argentées femelles étaient parasitées par au moins un *Anguillicola crassus*. La prévalence du parasite dans la vessie natatoire variait significativement au cours des saisons (test du Chi<sup>2</sup> ; P < 0.05). Elle était relativement homogène les trois premières saisons (67.5 ± 1.6%), augmentait sensiblement en 2004-05 (82.4%) pour finalement diminuer de manière importante en 2008-09 (56.3% ; Figure 15). Comme pour la prévalence, l'abondance d'*A. crassus* était significativement plus élevée (Anova : F = 3.44 ; ddl = 4 ; P < 0.01) en 2004-05 (5 ± 7 parasites par vessie) que pour toutes les autres saisons (6 ± 6 parasites par vessie ; Figure 15).

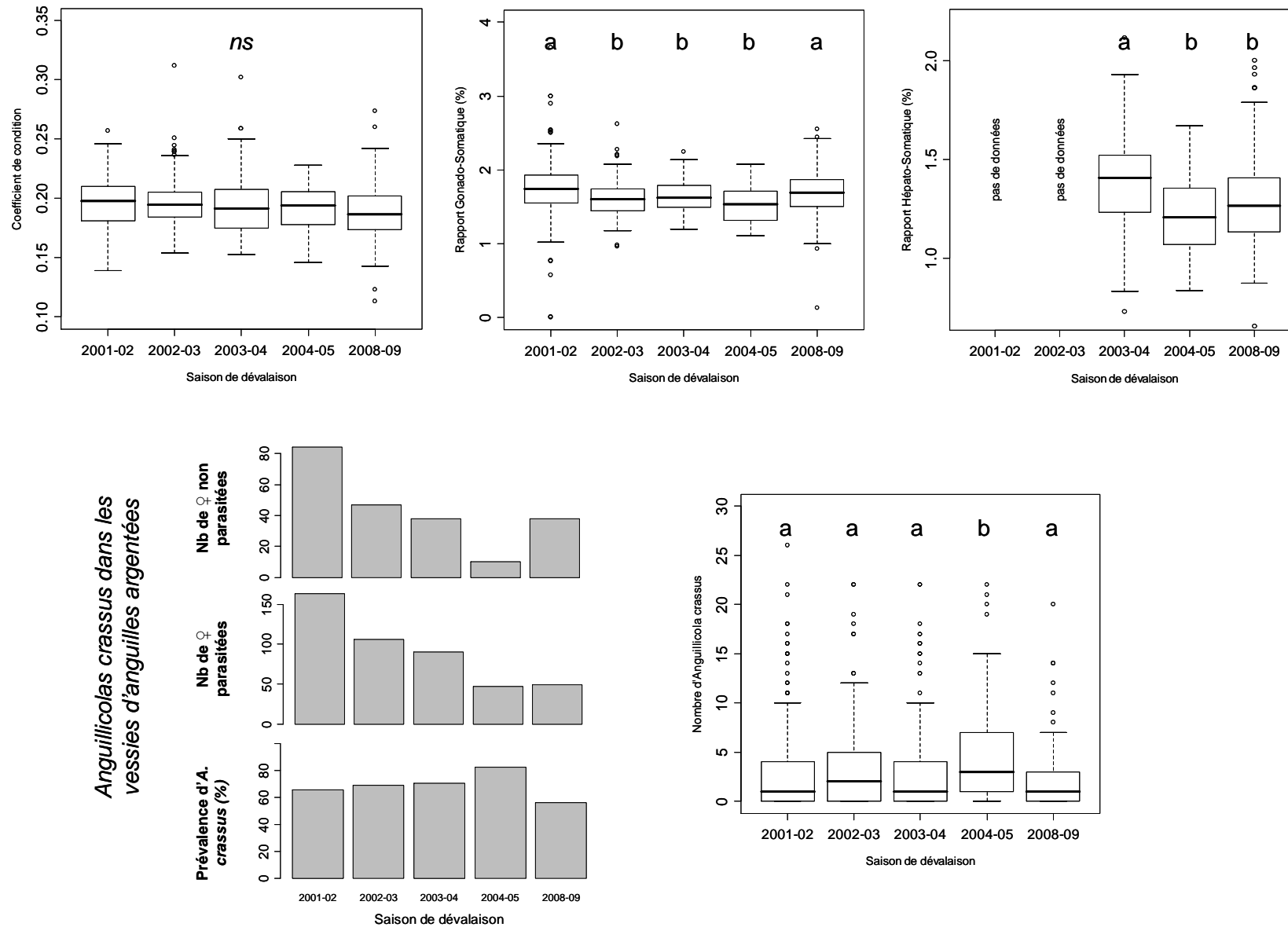


Figure 15 : Variation de la qualité des anguilles argentées femelles sur l'ensemble de la période d'étude. Une lettre différente signifie une différence significative des variables moyennes entre les différentes saisons de dévalaison (Post-test de Tukey ;  $P < 0,05$ ). ns = non significatif.



## 4. Discussion

### *Caractéristiques des anguilles argentées*

Sur l'ensemble de la période d'étude (de 2001-02 à 2008-09), les tailles et poids des 5669 anguilles argentées capturées étaient en moyenne  $778 \pm 108$  mm et  $927 \pm 374$  g respectivement. Les distributions de ces deux variables étaient bimodales (Figure 5). Elles reflétaient le dimorphisme sexuel entre les anguilles mâles ( $< 460$  mm) et femelles ( $\geq 470$  mm) qui a été confirmé par l'examen macroscopique des gonades. Comme cela a déjà été montré dans la littérature (Vollestad et al., 1988 ; Acou et al., 2003), les mâles s'argentent en moyenne à des tailles beaucoup plus faibles ( $407.8 \pm 25.4$  mm, min-max : 348-460 mm) que les femelles ( $783 \pm 97.2$  mm, 470-1138 mm). Le sex ratio observé était très largement dominé par les femelles (98% en moyenne ; Tableau 2). Ce résultat n'est pas surprenant dans la mesure où les femelles sont dominantes dans les sous-populations d'anguilles des grands hydrosystèmes (Acou et al., 2003 ; Feunteun et al., 2003 ; Robinet et al., 2007). Cependant, la proportion de mâles observée dans cette étude est probablement sous-estimée pour deux raisons essentielles. Premièrement, parce que la migration d'avalaison des mâles est généralement plus précoce (deuxième moitié de l'été ; Haraldstad et al., 1985) et intervient donc un peu avant l'ouverture légale de la pêche professionnelle (1<sup>er</sup> Octobre). Ensuite, parce que les mâles sont plutôt localisés dans les zones aval des grands hydrosystèmes (Feunteun et al., 2003), c'est-à-dire à l'aval de notre zone d'étude (Ancenis). Ainsi, les résultats (structure de population et estimation de flux) présentés dans cette étude sont représentatifs de la production de la Loire amont (i.e. amont de la limite de marée dynamique située à Ancenis).

La taille moyenne des femelles à l'argenteure augmente généralement avec la taille du bassin versant. Par exemple, elle avoisine 600 mm dans les petits bassins versants ( $< 100$  km<sup>2</sup>) comme le Frémur ( $590 \pm 97$  mm ; Laffaille et al., 2006) ou l'Oir ( $591.1 \pm 68.5$  mm ; Acou et al., 2009). Dans les lacs ou lagunes, la taille des femelles varie entre 600 et 700 mm (Feunteun et al., 2003), tandis que dans les grands systèmes comme la Loire elle dépasse très largement 700 mm (cette étude :  $783 \pm 97.2$  mm). Vollestad (1992), en comparant les tailles des anguilles argentées échantillonnées dans 38 sites répartis sur l'ensemble de l'aire de distribution de l'espèce, a estimé que la taille moyenne des femelles argentées en Europe était 632.3 mm (min-max : 450-863). Ailleurs dans le monde, l'anguille femelle japonaise *A. japonica* mesure à maturité  $614 \pm 40.5$  mm (Tzeng et al., 2003), tandis que les tailles les plus élevées sont observées dans le Saint-Laurent pour l'espèce américaine *A. rostrata* (853 mm ; Verreault et al., 2003) ou en Tasmanie avec *A. australis* (945 mm ; Sloane, 1984). Parce que la fécondité augmente avec la taille des individus, la Loire est donc un hydrosystème qui produit des anguilles qui sont parmi les plus fécondes en Europe, et elles s'apparentent de ce point de vue à la mer Baltique. A titre d'exemple, la plus grande anguille argentée ligérienne capturée au cours de l'étude mesurait 1138 mm pour 2897 g. La taille maximale d'anguille européenne relevée dans la littérature est une femelle échantillonnée dans un lac hollandais qui mesurait 1330 mm (Dekker et al., 1998).

Avant d'entamer son ultime migration de reproduction, l'anguille doit obligatoirement se métamorphoser, pour s'adapter, alors qu'elle est encore en eau douce, aux conditions marines profondes (Fontaine, 1994). Parmi ces transformations morphologiques externes, la mesure du développement de l'œil et de la nageoire pectorale sont des paramètres quantitatifs qui ont été largement étudiés (Pankhurst, 1982 ; Durif 2003 ; Acou et al., 2003 ; Acou et al. 2005). Ils permettent de caractériser les individus qui ont achevé ce processus de métamorphose appelé

argenture. Le développement de l'œil, ou hypertrophie oculaire, s'accompagne de nombreux changements structurels de la rétine comme par exemple la diminution de la densité de cônes qui est une adaptation à la vie en eaux profondes (Pankhurst & Lythgoe, 1983). De même, on voit bien l'intérêt des anguilles argentées de partir en migration avec des nageoires pectorales bien développées pour gagner en efficacité de nage. Environ 97% des anguilles argentées mâles et femelles de la Loire (Tableau 3) présentaient une hypertrophie oculaire ( $IO > 6.5$  ; Pankhurst 1982), tandis que 99% des individus présentaient un indice de la nageoire pectorale supérieur à la valeur seuil de 4.0 (Tableau 4) qui caractérise les individus aux nageoires pectorales développées (Durif, 2003). Ainsi, toutes les anguilles échantillonnées au cours de cette étude étaient des anguilles argentées, c'est-à-dire des individus qui avaient achevé leur argenture, et qui étaient donc prêtes à migrer en mer.

### *Structuration spatio-temporelles des captures*

Pour une majorité de saisons (2001-02, 2004-05 et 2008-09), la taille moyenne des anguilles argentées femelles augmentait significativement avec la distance à la mer (Figure 6). Ce résultat est lié à la distribution spatiale des anguilles sur le gradient amont/aval du cours d'eau. En effet, les plus grandes femelles sont généralement dominantes dans les têtes de bassin versant alors que les mâles ou les plus petites femelles prédominent dans les zones aval (Haraldstad et al., 1985 ; Vollestad, 1992). Ainsi, les femelles de taille moyenne sont capturées plus rapidement dans les pêcheries situées à l'aval du bassin versant. Puis au fur et à mesure du temps et des crues, les grandes femelles arrivent progressivement au niveau des pêcheries. Les patrons temporels observés étaient moins clairs. En effet, la taille moyenne des anguilles argentées augmentait significativement au cours de la saison en 2001-02, n'était pas significative en 2002-03 et 2003-04, et diminuait significativement au cours de la saison en 2004-05 et 2008-09 (Figure 6). La variabilité interannuelle des périodes de crues explique probablement ce résultat. En effet, les vagues de captures correspondent aux vidanges successives des différents affluents caractérisés par des régimes hydrologiques distincts selon leur position sur le cours d'eau. Par exemple en 2008-09, des crues de la Loire amont eurent lieu beaucoup plus tôt dans la saison (crue de l'Allier le 26 octobre et crue cévenole le 15 novembre) que celles des affluents situés plus à l'aval (crues de la Mayenne, Sarthe, Loir et Oudon le 18 janvier), ce qui explique cette relation négative entre la taille moyenne et le temps. Ainsi, c'est la synchronisation ou non des crues de la Loire amont et des différents affluents qui explique l'évolution temporelle des tailles moyennes. Par ailleurs, des processus de sédentarisation et/ou reprise de migration peuvent également influencer ces résultats (Feunteun et al., 2000).

### *Effort de pêche et CPUE*

L'effort de pêche total annuel a presque été divisé par 3 entre les saisons 2001-02 (647 nuits de pêche) et 2008-09 (232 nuits de pêche ; Tableau 5). Ce résultat est lié au fait d'une part que 5 pêcheries parmi les 12 existantes en 2001-02 ont cessé leur activité. D'autre part, le nombre de jours effectifs de pêche a également considérablement chuté entre les saisons 2001-02 et 2008-09 (50% des guideaux étaient en pêche pendant 52 et 28 nuits respectivement), principalement en raison d'un dispositif réglementaire (la relève hebdomadaire) qui interdit depuis 2007 la pêche le week end. Il est probable que les crues « sévères » et rapides rencontrées en 2004-05 et 2008-09 (par exemple la crue cévenole du 15 novembre 2008) qui rendaient l'activité trop dangereuse, ont également contribué à ce résultat.

Les CPUE, exprimées en nombre d'anguilles argentées capturées par pêcheur et par nuit, variaient significativement sur l'ensemble de la période d'étude (Figure 9). Plus précisément, les CPUE des saisons 2002-03 ( $87.1 \pm 148.5$  anguilles) étaient significativement plus élevées que celles obtenues en 2004-05 ( $42.8 \pm 103.3$  anguilles). Cependant, les CPUE observées en 2008-09 ( $59.4 \pm 91.8$ ) ne variaient pas significativement par rapport aux 4 autres saisons. Ainsi, la chute importante des captures amorcées entre 2003-04 et 2004-05 n'est ni confirmée, ni infirmée. L'analyse des CPUE sur les 5 années ne permet donc pas de conclure au déclin de l'abondance d'anguilles argentées de la Loire amont. Cependant, les tailles moyennes des anguilles argentées femelles augmentaient significativement entre les saisons 2001-02 ( $787.7 \pm 93.6$  mm) et 2008-09 ( $815.2 \pm 90.3$  mm ; Tableau 2). Cette tendance reflète une baisse significative du nombre d'individus plus jeunes au profit de spécimens plus âgés, ce qui traduit probablement des difficultés de recrutement de la population depuis quelques années, et va donc dans le sens d'une chute de l'abondance. Quoi qu'il en soit, seule l'acquisition de séries temporelles de captures et de structures de population complémentaires permettront de confirmer ou non cette tendance.

### *Prélèvement de la pêcheur*

Sur le territoire français, Castelnaud (2001) estime que le prélèvement en anguilles jaunes et argentées s'élève à 302 tonnes. Il existe peu de pêcheries professionnelles qui ciblent l'anguille argentée. Par exemple, les grands hydrosystèmes comme la Seine, le Rhin, l'Adour, la Gironde, la Garonne et la Dordogne en sont dépourvus (Prouzet, 2005). Il n'y qu'en Loire et en Somme qu'on trouve des pêcheries aux guideaux. Les 9 pêcheries de la Somme capturent entre 11 et 21 tonnes d'anguilles argentées par an pour un linéaire de 192 km (ICES/EIFAC, 2003). Sur la Loire, les pêcheries ligériennes ont débarqué en moyenne  $31 \pm 13$  tonnes (min : 16 tonnes en 2004-05 ; max : 45 tonnes en 2001-02) pour un linéaire de 1020 km. En Europe, il existe 3 estimations de taux d'échappement. En Irlande, l'échappement est en moyenne supérieur à 60% sur l'Erne (Matthews et al., 2001) et aussi sur la rivière Shannon (McCarthy & Cullen, 2000). En mer Baltique, Moriarty & Dekker (1997) estiment également à 60% le taux d'échappement en anguilles argentées. Sur l'ensemble de la période d'étude, le prélèvement total annuel des pêcheries, qui correspond aux taux de recapture des anguilles argentées marquées, variait entre 12.2% (saison 2003-04) et 14.5% (saison 2001-02) pour une moyenne de  $13.4 \pm 4.3$  % (Tableau 6). Cela signifie que la pêcheur ligérienne permet un échappement en anguilles argentées compris entre 85.5 et 87.8%. La pression de pêche exercée sur la fraction de population dévalante de la Loire est donc la plus faible connue à ce jour en Europe. De plus, cette valeur surestime la pression de pêche car la pêcheur commence après le début de la dévalaison (mâles plus précoces) et s'arrête avant la fin de la période. En effet, les pêcheurs désarment leurs bateaux vers la fin décembre car ils se concentrent ensuite sur la pêche aux lamproies puis aux aloses. Un modèle statistique a été développé sur la Loire pour prédire les pics de migration des anguilles argentées, et plus précisément cibler les fenêtres environnementales optimales au cours desquelles l'activité migratoire des anguilles est maximale (Acou et al., 2009). Ce modèle pourrait utilement être utilisé pour estimer plus précisément le prélèvement de la pêcheur, non pas sur la période de pêche, mais sur la période totale de migration.

### *Estimation des flux de migrantes*

Le nombre total d'anguilles argentées estimé par marquage/recapture était relativement homogène les 3 premières saisons, puisqu'il variait entre environ 352 000 (saison 2001-02) et 383 000 anguilles argentées (saison 2003-04) (Tableau 7). Ce nombre chuta considérablement en 2004-05 (135 000 ind.) pour finalement se stabiliser à 150 000 individus pour la saison 2008-2009 (Tableau 7). Les CPUE annuelles étaient fortement corrélées à celles des flux (corrélation de Spearman,  $r = 0.90$  ;  $P < 0.05$ ), ce qui suggère que les tendances interannuelles de chacun des estimateurs étaient homogènes. Comme cela a été dit auparavant, ces estimations de flux doivent être considérées comme des estimations minimales parce que la période de pêche ne couvre pas totalement les périodes complètes de migration d'avalaison. Mais également parce que l'estimation ne prend en compte tous les individus qui ont grandi dans les affluents ou marais (Brière, Grand Lieu) situés à l'aval de la zone d'étude. Malgré cela, la Loire contribue de manière considérable au renouvellement du stock européen. En effet, le Frémur (60 km<sup>2</sup>, Bretagne) produit environ 700 individus par an, dont une majorité de mâles (Laffaille et al., 2006), tandis qu'une moyenne de 400 anguilles argentées (majoritairement des femelles) quittent l'Oir (87 km<sup>2</sup>, Normandie) chaque année (Acou et al., 2009). Une seule estimation de flux d'anguilles argentées dans les grands hydrosystèmes est disponible dans la littérature : c'est l'étude de Caron et al. (2000) menée en 1996-97 sur le Saint-Laurent (Québec). Le flux d'*A. rostrata* moyen a été estimé à environ 475 000 individus. Ramenée à la taille du bassin versant, la production de la Loire (entre 1.2 et 3.3 reproducteurs par km<sup>2</sup>) est bien supérieure à celle du Saint-Laurent (0.3 reproducteur par km<sup>2</sup>), ce qui suggère que la Loire est un système productif avec un rendement en anguilles argentées important.

### *Qualité des anguilles argentées*

Plus de 98% des anguilles argentées femelles disséquées présentaient des valeurs de RGS supérieures à 1.0% (en moyenne :  $1.68 \pm 0.39\%$  ; 0.15-7.22%), ce qui traduit un avancement important dans le processus de maturation des gonades et confirme les résultats obtenus avec les critères morphologiques externes (index oculaire et indice de la nageoire pectorale). Sur l'ensemble de la période d'étude, le RHS des femelles était  $1.34 \pm 0.25\%$  (0.66-2.12%), et environ 94% des femelles possédaient un RHS supérieur à 1%. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Durif (2003) qui avait analysé sur 9 bassins versants français (Loire, Rhin, Nive, etc.) l'évolution de ce paramètre (moyenne observée du RHS :  $1.28 \pm 0.26\%$  ; 0.77-2.45%). Comme Durif (2003), nous avons observé des variations interannuelles de RGS et de RHS. En effet, les RGS des anguilles femelles capturées au cours des saisons 2002-03 à 2004-05 étaient significativement plus faibles ( $1.62 \pm 0.24\%$ ) que ceux des anguilles capturées en 2001-02 et 2008-09 ( $1.65 \pm 0.50\%$  ; Figure 15). De même, le RHS des anguilles argentées capturées au cours de la saison 2003-04 ( $1.39 \pm 0.24\%$ ) était significativement plus élevé que celui des anguilles capturées les 2 saisons suivantes ( $1.29 \pm 0.25\%$  ; Figure 15). Ces résultats traduisent probablement des conditions environnementales et trophiques différentes pendant la phase de croissance des anguilles. A l'inverse, le coefficient de condition était très stable sur l'ensemble de la période d'étude, et sa valeur moyenne observée sur l'ensemble de la période d'étude ( $0.195 \pm 0.024$  ; 0.113-0.410) était relativement élevée par rapport à celles estimées dans d'autres bassins versants comme le Frémur ou l'Oir (0.168 et 0.196 respectivement ; Acou et al., 2009) ou en encore dans les neuf sites ( $0.190 \pm 0.003$ ) échantillonnés par Durif (2003). Ainsi, comme le révèle l'analyse du coefficient de condition, les anguilles argentées de la Loire possèdent un potentiel énergétique important quand elles

entament leur migration d'avalaison. Enfin, un dernier critère qualitatif, qui consistait à analyser la parasitose par *A. crassus* des vessies natatoires a montré que les valeurs de prévalence (67% en moyenne) et d'intensité du parasite ( $5.4 \pm 6.4$  parasites par vessie) étaient modérées comparées à celles obtenues par exemple sur le bassin versant du Frémur (76% de prévalence et intensité moyenne  $8.1 \pm 8.5$  parasites ; A. Acou données non publiées). En conclusion de cette partie, il semble donc que les anguilles argentées produites par la Loire soient des femelles fécondes avec un grand potentiel énergétique. Cependant, de nombreux paramètres qui pourraient altérer le succès reproducteur des individus doivent encore être testés (PCB, métaux lourds, etc.) pour réellement déterminer la qualité des anguilles argentées ligériennes. Dans le cadre du programme européen EELIAD (European Eel in the Atlantic : Assessment of their Decline ; EELIAD.com) qui a débuté fin 2009, des anguilles argentées ont été échantillonnées dans 11 sites en Europe (de la Suède à l'Espagne) dont la Loire, pour caractériser leur maturité et statut hormonal (dosage de stéroïdes sexuels plasmatiques), leur statut physiologique (K, RGS, RHS, taux de lipides, etc.) et sanitaire (*A. crassus*, virus Evex, métaux lourds et PCB). Ces analyses qui sont en cours seront très utiles pour élaborer un indice de la qualité des anguilles argentées et évaluer de manière relative la qualité des anguilles argentées de la Loire par rapport à des individus issus d'autres bassins versants européens.

## 5. Références bibliographiques

- Acou A., Lefebvre F., Contournet P., Poizat G., Panfili J. & Crivelli A.-J. (2003). Silvering of female eels (*Anguilla anguilla*) in two sub-populations of the Rhone Delta. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture, 368 : 55-68.
- Acou A., P. Boury, P. Laffaille, A.-J. Crivelli & E. Feunteun. (2005). Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.). Archiv für Hydrobiologie, 164: 237-255.
- Acou A., Robinet T., Mounaix B., Brient L., Gérard C., Le Rouzic B. & Feunteun E. (2008). Evidence of silver eels contamination by microcystin-LR at the onset of their seaward migration: what consequences for spawning success? Journal of Fish Biology, 72 : 753-762.
- Acou A., Boisneau C. & Feunteun E. (2009). Prédiction des pics de dévalaison des anguilles argentées à partir des données environnementales : état des connaissances et développement d'un modèle opérationnel sur la Loire pour la gestion du turbinage. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, CRESCO, Dinard. 96 pp. + annexes.
- Acou A, Gabriel G., Laffaille P. & Feunteun E. (2009). Differential production and condition indices of premigrant eels (*Anguilla anguilla*) in two small Atlantic coastal catchments of France. In Eels at the Edge: Science, Status, and Conservation Concerns (Casselman, J.M. & Cairns, D. K., eds), pp 157-174. American Fisheries Society Symposium 58.
- Belpaire C., Goemans G., Geeraerts C., Quataert P. & Parmentier K. (2008). Pollution fingerprints in eels as models for chemical status of rivers. ICES Journal of Marine Science, 65 : 1-9.
- Boury, P. (2001). Tests de différents systèmes de marquage de masse sur des anguilles européennes (*Anguilla anguilla* L.) en milieu contrôlé. Laboratoire d'Ecologie du Paysage Université de Rennes 1, 23 pages.
- Boury P. & Feunteun E. (2005). Estimation du potentiel reproducteur en anguilles argentées de la Loire : résultats des trois premières années d'étude 2001-2002-2003. Université de la Rochelle, 17 p.
- Bush A.O., Lafferty K .D., Lotz J.M. & Shostak A.W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al revisited. Journal of Parasitology, 83 : 575-583.
- Caron F., Verreault G. & Rochard E. (2000). Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) quittant le bassin versant du Saint-Laurent et de son taux d'exploitation. Société de la faune et des parcs du Québec. 45 p.
- Castelnaud G. (2001). Localisation de la pêche, effectifs de pêcheurs et production des espèces amphihalines dans les fleuves français. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture, 357 : 439-460.

- Colombo G., G. Grandi & R. Rossi. (1984). Gonad differentiation and body growth in *Anguilla anguilla*, L. Journal of Fish Biology, 24 : 215-228.
- Dekker W., Van Os B. & Van Willigen J. (1998). Minimal and maximal size of eel. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture, 349 : 195-197.
- Durif C. (2003). La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: Caractérisation des fractions dévalantes, phénomènes de migration et franchissement des obstacles. Doctorat de l'Université en Ecologie Aquatique, Université de Toulouse II, 357 pp.
- Feunteun E., A. Acou, P. Laffaille & A. Legault. (2000). European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57 : 1627-1635.
- Feunteun E., P. Laffaille, T. Robinet, C. Briand, A. Baisez, J.M. Olivier & A. Acou. (2003). A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Towards a general theory. In: Aida K, K. Tsukamoto, K. Yamauchi (eds) Eel Biology. Springer-Verlag, Tokyo, pp. 191-213.
- Fontaine Y.A. (1994). L'argenture de l'anguille: Métamorphose, Anticipation, Adaptation. Bulletin Français de la Pêche et Pisciculture, 335 : 171-185.
- Haraldstad O., L.A. Vollestad & B. Jonsson. (1985). Descent of European silver eels, *Anguilla anguilla* L., in a Norwegian watercourse. Journal of Fish Biology, 26 : 37-41.
- ICES (2003). Report of the ICES/EIFAC working group on eels. Sukarrieta, Spain, Advisory Committee on Fishery Management: 207 pages.
- Laffaille P., Acou A., Guillouet J., Mounaix B. & Legault A. (2006). Patterns of silver eel (*Anguilla anguilla* L.) sex ratio in a catchment. Ecology of Freshwater Fish, 15 : 583-588.
- Lefebvre F., Acou A., Poizat G. & Crivelli A.-J. (2003). Anguillicolosis among silver eels: a 2-year survey in 4 habitats from Camargue. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 368 : 97-108.
- Marchelidon J., Le Belle N., Hardy A., Vidal B., Sbaihi M., Burzawa-Gerard E., Schmithz M. & Dufour S. (1999). Etude des variations de paramètres anatomiques et endocriniens chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) femelle, sédentaire et d'avalaison: Application à la caractérisation du stade argenté. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 355 : 349-368.
- Matthews, M. A., Evans D. and *al.* (2001). Erne Eel Enhancement Programme. EU Programme for Peace & Reconciliation Project N°EU15, Northern Regional Fisheries Board, Donegal: 348 pages.
- McCarthy T.K. & Cullen P. (2000). Eel fishing in the River Shannon: Eel population changes, fishery management options and fishery conservation issues. A synthesis report on the

- River Shannon eel Management Programme 1992-2000. Electricity Supply Board, Dublin. 21 pp.
- Moriarty C. & Dekker W. (Eds.) (1997). Management of the European eel. Fisheries Bulletin 15, 110 pp.
- Pankhurst N.W. (1982). Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel, *Anguilla anguilla* L. Journal of Fish Biology, 21 : 417-428.
- Pankhurst N. W. & Lythgoe J.N. (1983). Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). Journal of Fish Biology, 23 : 229-240.
- Prouzet P. (2005). Approche Ecosystémique de la gestion de l'anguille Européenne (*Anguilla anguilla*) à l'échelle européenne. Colloque Ifremer 2005.
- Robinet T. & Feunteun E. (2002). Sublethal effects of exposure to chemical compounds: a cause for the decline in Atlantic eels? Ecotoxicology, 11 : 265-277.
- Robinet T., Acou A., Boury P. & Feunteun E. (2007). Concepts for characterizing spawning biomass of the european eel (*Anguilla anguilla*) in catchments. Vie et milieu - Life and environment, 57 : 201-211.
- Sloane R.D. (1984). Preliminary observations of migrating adult freshwater eels (*Anguilla australis australis* Richardson) in Tasmania. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 35 : 471-476.
- Tzeng W.-N., Iizuka Y. et al. (2003). Identification and growth rates comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). Aquaculture, 216 : 77-86.
- Verreault G., Pettigrew P. et al. (2003). The exploitation of the migrating silver American eel in the St. Lawrence River estuary, Québec, Canada. American Fisheries Society Symposium, 33 : 225-234.
- Vollestad L.A. & B. Jonsson. (1988). A 13-year study of the population dynamics and growth of the European eel *Anguilla anguilla* in Norwegian river: Evidence for density dependent mortality and development of a model for predicting yield. Journal of Animal Ecology, 57 : 983-997.
- Vollestad L.A. (1992). Geographic variation in age and length at metamorphosis of maturing european eel: environmental effects and phenotypic plasticity. Journal of Animal Ecology, 61 : 41-48.