

FLUCTUATIONS DES CAPTURES DE CIVELLES (*ANGUILLA ANGUILLA* L.) ET ANALYSE DE LA VARIATION DE LEUR CAPTURABILITÉ DANS L'ESTUAIRE DE L'ADOUR.

M.N. DE CASAMAJOR (1), N. BRU (2) et P. PROUZET (3)

(1) Université de Pau et des Pays de l'Adour, Laboratoire d'Ecologie, 64000 Pau, France.

(2) Université de Pau et des Pays de l'Adour, Laboratoire de Mathématiques appliquées, Avenue de l'Université, 64000 Pau, France.

(3) IFREMER, Laboratoire Halieutique d'Aquitaine, B.P.3, 64310 Saint-Pée-sur-Nivelle, France.

Reçu le 11 octobre 1999

Accepté le 28 août 2000

Received 11 October, 1999

Accepted 28 August, 2000

RÉSUMÉ

L'analyse des captures de civelles par sortie de 1927 à nos jours, dans l'estuaire de l'Adour, montre une nette diminution par paliers successifs de cet indice. La période de pêche de 1985 à 1993 est plus particulièrement analysée de manière à voir l'influence de la variabilité des facteurs hydroclimatiques sur le niveau de captures par sortie. Cette analyse est faite pour le mois de janvier, où l'accessibilité des individus par la pêcherie est en moyenne maximale.

Compte tenu des modes de pêche : tamis à main ou poussé en surface, seuls les individus présents dans la couche d'eau superficielle sont accessibles, d'où, la grande importance du comportement migratoire des civelles dans la colonne d'eau sur le succès de la pêche. On montre l'influence de la phase lunaire et de la température sur la variabilité des captures de cette dernière période et l'absence de relations avec les coefficients de marée.

Les derniers travaux effectués sur cet estuaire, *in situ*, confirment ces observations en montrant l'importance de l'intensité lumineuse sur le comportement migratoire des individus dans la colonne d'eau.

Mots-clés : capturabilité, civelle, estuaire de l'Adour, phase lunaire.

FLUCTUATIONS OF GLASS-EELS (*ANGUILLA ANGUILLA* L.) CATCHES AND VARIABILITY OF THEIR CATCHABILITY IN THE ADOUR ESTUARY.

ABSTRACT

Analysis of glass eels catches from 1927 to 1998 in the Adour estuary showed different periods of successive decrease. Fishing periods between 1985 to 1993 were studied in order to observe impact of hydroclimatic conditions on the level of catch per unit of effort. This study took place in January when glass eels accessibility by the fishery was generally the highest.

With hand and trawl netting that filtered the upper part of the water column, only individuals located close to the surface were accessible. Consequently, factors acting on the migration of glass eels in the water column have a great importance on the fishing success. Among environmental conditions, moon phase and temperature influence were determinant factors on catch variability but a lack of relationship between tide coefficient and catches is found.

These studies showed the importance of night brightness on the migratory behaviour of glass eels and consequently on the accessibility of that species by the fishery.

Key-words : catchability, glass eels, migratory behaviour, Adour estuary.

INTRODUCTION

L'exploitation de la civelle en France constitue la principale source de revenus pour les pêcheurs d'estuaire. Sur l'Adour, elle représente la base du chiffre d'affaires pour les professionnels (PROUZET *et al.*, 1994a). On observe pour l'Adour, comme pour l'ensemble des pays européens ainsi que sur les côtes américaines une diminution des prises de civelles (CASTELNAUD *et al.*, 1994 ; CASTONGUAY *et al.*, 1994 ; PROUZET *et al.*, 1994a ; DEKKER, 1997). Les études réalisées sur l'Adour ont pour objectif de quantifier les flux en migration de manière à évaluer les taux d'exploitation.

Les variations de captures de civelles sont étudiées à partir des prises des marins pêcheurs professionnels (BRU *et al.*, 1996 ; DE CASAMAJOR *et al.*, 1996). En présence d'un flux de civelles, l'intensité des prises est fortement conditionnée par l'accessibilité des civelles au tamis de surface utilisé par la pêche professionnelle. L'accessibilité varie en fonction de conditions hydroclimatiques. On considère ici deux paramètres environnementaux pouvant influencer sur les déplacements de civelles vers la surface.

La phase lunaire est souvent considérée comme un facteur secondaire par rapport au coefficient de marée (GASCUEL, 1987). Nous différencions ces deux aspects en considérant la phase lunaire sous l'angle de la luminosité nocturne. Ce paramètre est connu du point de vue de son influence sur les déplacements verticaux des poissons (APPENZELLER et LEGGETT, 1995 ; GIBSON, 1978 ; LEVY, 1990).

Certains auteurs ont mis en évidence l'influence de la température de l'eau. Notamment, MCGOVERN et MCCARTHY (1992) ont montré que si l'amplitude des variations thermiques excède 3 à 4°C, il y a inhibition des remontées de civelles. L'influence de la variation de température sur la capturabilité des civelles est connue des pêcheurs professionnels de l'Adour (DE CASAMAJOR *et al.* 1996), mais de façon empirique.

Ces données sont complétées par un échantillonnage expérimental du flux dans la colonne d'eau. Cela permet une étude plus fine du comportement des individus en migration en réponse aux fluctuations des conditions du milieu. Les variations de densités observées en surface et en profondeur lors d'une saison de migration sont étudiées en relation avec le cycle lunaire et la turbidité de l'eau qui agit sur la transmission de la lumière nocturne dans la colonne d'eau. Une synthèse du comportement vertical de migration de la civelle est présentée pour l'ensemble des travaux menés sur l'Adour.

Cadre géographique et hydrodynamique

L'Océan Atlantique et la chaîne des Pyrénées provoquent une augmentation des précipitations du Nord au Sud et d'Ouest en Est sur le bassin versant de l'Adour. Ainsi, les précipitations permettent à l'Adour de garder un débit moyen soutenu toute l'année de 300 m³/s (varie en moyenne entre 100 et 500 m³/s). Son régime au niveau de l'estuaire est de type pluvio-nival au début de la saison de migration des civelles et nivo-pluvial en fin de saison.

Le front de salinité est marqué de l'embouchure de l'Adour à Bayonne (fig. 1). La marée saline poursuit sa progression vers l'amont, mais sans stratification entre les eaux marines et fluviales. Elle ne progresse pas en amont d'Urt, dans la zone principalement exploitée (fig. 1). La marée dynamique se propage amplement dans cette zone, avec un retard de plus de 3 heures par rapport aux heures de marée à l'embouchure.

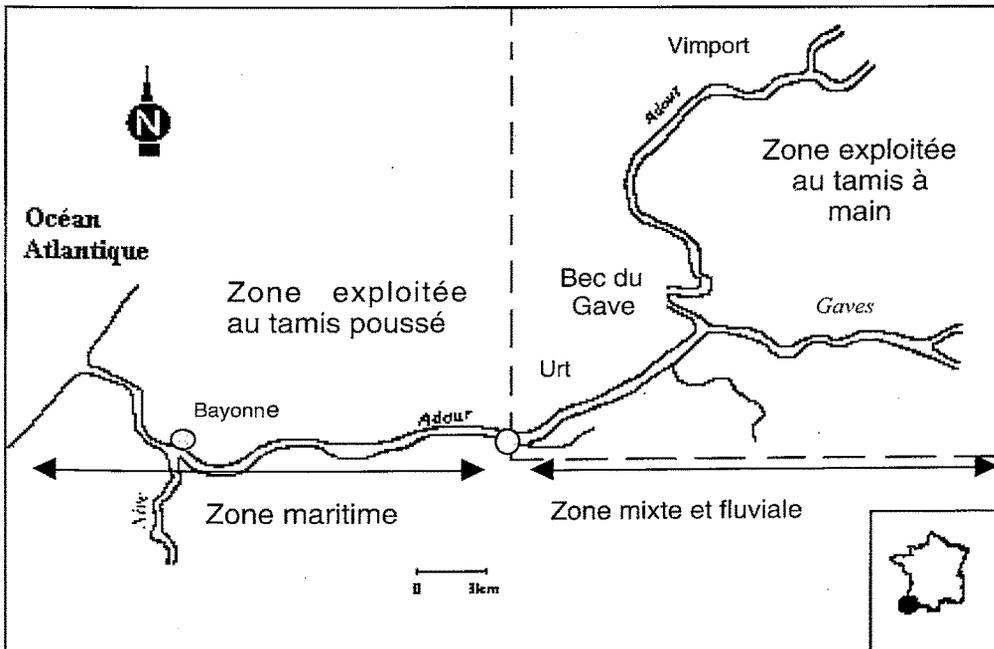


Figure 1

Présentation de la zone de pêche exploitée au tamis dans l'estuaire de l'Adour.

Figure 1

Location of the fishing area in the Adour estuary.

L'hydrodynamique résultant de l'intensité de ces deux composantes influence la présence ou l'absence des civelles dans cette portion de l'estuaire. Celui-ci est simulé par un modèle unidimensionnel, adapté à l'estuaire de l'Adour (LAZURE, 1998).

La Figure 2 présente une simulation des conditions hydrologiques « moyennes » dans l'estuaire c'est-à-dire les plus fréquemment rencontrées au cours de la saison de migration (débits autour de 300 m³/s et coefficient entre 60 et 70). Le courant de flot se fait sentir dans la zone exploitée au tamis à main environ 3 heures après le moment de la basse mer à l'embouchure. La propagation du flot se produit avec un retard croissant jusqu'au Bec du Gave. En amont, la marée se traduit par une élévation du niveau d'eau, mais le flot ne parvient pas, le courant reste toujours négatif et dirigé vers la mer.

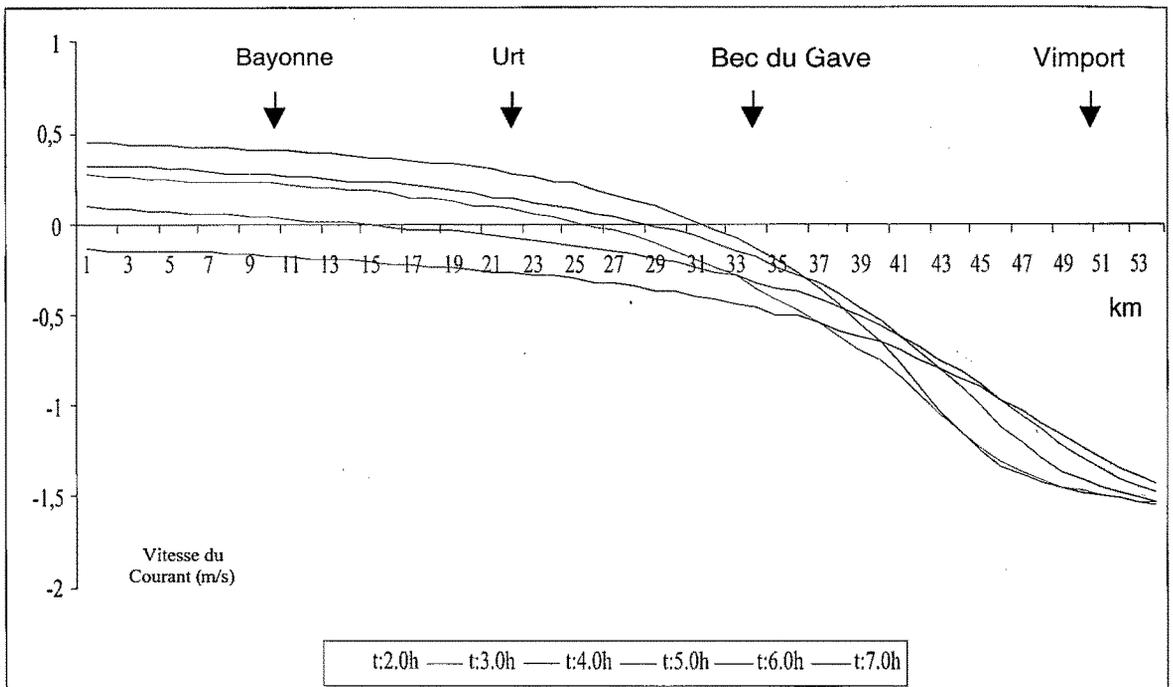


Figure 2

Simulation du modèle hydrodynamique en condition moyenne de débit et de coefficient de marée.

Temps exprimé en heure après l'étale de Basse Mer

(Vitesses négatives : écoulement amont - aval ; Vitesses positives : écoulement aval - amont).

Figure 2

Simulation of the propagation of the dynamic tide (normal conditions).

Time expressed in hours after the slack of low tide

(Negative speeds : drainage upstream - downstream ; Positive speeds: drainage downstream-upstream).

La Figure 3 montre des simulations des conditions de blocage hydrologique telles qu'elles se produisent dans l'estuaire de l'Adour au cours de la saison de pêche. Ce phénomène apparaît surtout quand les débits varient autour de 1000 m³/s et quand les coefficients de marée sont faibles. Dans ce cas, les courants restent négatifs, sens dirigé vers l'aval, quelle que soit l'heure de la marée. Ces conditions sont particulièrement défavorables à la pénétration des civelles dans l'estuaire. Celles-ci, d'après les premières observations faites en fluvium (ROGET, 1998) ont du mal à nager contre un courant supérieur à 0,2 m/s.

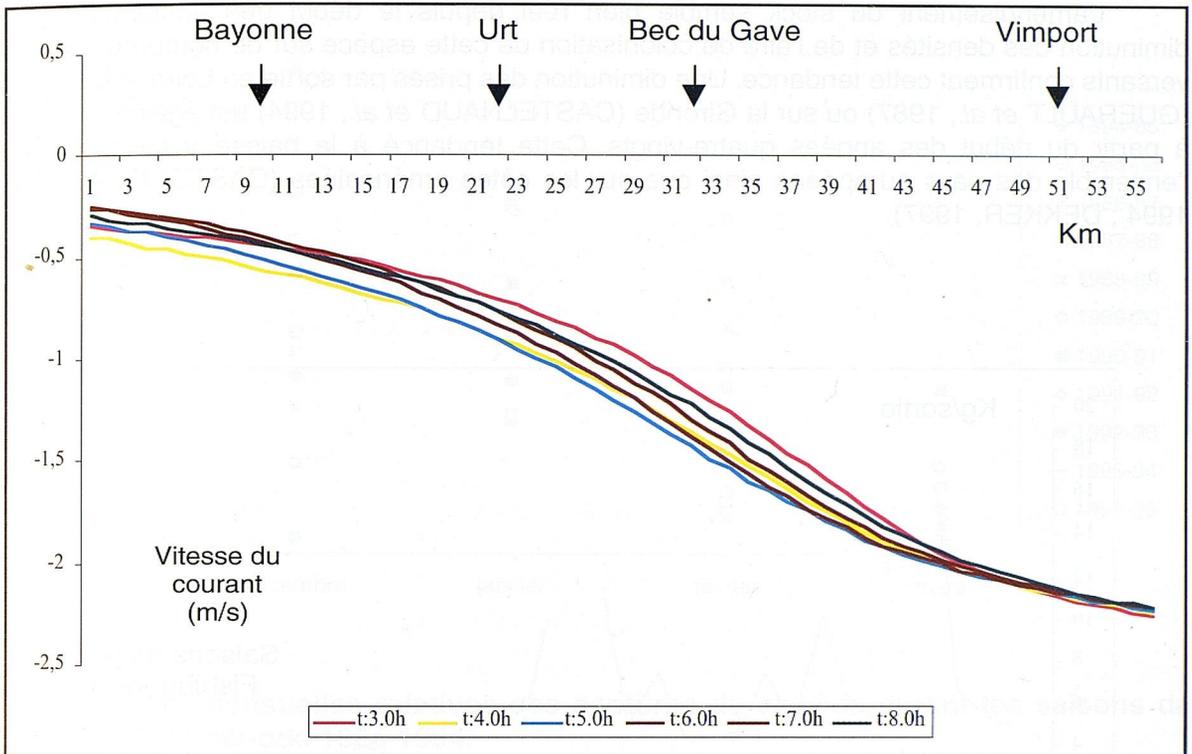


Figure 3

Simulation du modèle hydrodynamique en condition de crue.

Temps exprimé en heure après l'étalement de Basse Mer.

(Vitesses négatives : écoulement amont - aval ; Vitesses positives : écoulement aval - amont).

Figure 3

Simulation of the propagation of the dynamic tide with high floods.

Time expressed in hours after the slack of low tide.

(Negative speeds : drainage upstream - downstream ; Positive speeds: drainage downstream - upstream).

Historique des captures

L'engin de pêche utilisé sur l'Adour (tamis à main) n'a pas changé depuis le début du siècle en zone fluviale (22 km de l'embouchure, Figure 1). On voit apparaître en 1995, l'utilisation du tamis poussé en surface (1 de chaque bord) par le moteur du bateau, en zone maritime (entre Bayonne et Urt principalement). Un certain nombre de carnets de pêche ont pu être répertoriés depuis les années vingt¹ (PROUZET *et al.*, 1994a ; CHARLON, 1980). L'analyse des observations récoltées, depuis cette époque, montre que deux grandes périodes, séparées par le début des années 80, peuvent être distinguées.

La première est caractérisée par des prises moyennes par sortie comprise généralement entre 4 et 10 kg (Figure 4), avec pour certaines saisons (1930, 1967, 1969, 1973 ou 1975), des valeurs qui dépassent les 10 kg. Après le début des années quatre-vingts, les captures par sortie sont inférieures ou voisines de 4 kg (Figure 4). Ces dix dernières années, l'analyse des captures effectuées par les marins pêcheurs, montre que cette évolution à la baisse est beaucoup plus qu'une simple tendance.

¹ D'après Bordoef (1929), une quantité importante de civelles était expédiée Outre-Bidassoa au début de ce siècle, entre 100 et 500 tonnes suivant les années de 1915 à 1928. Cette production était destinée à la conserve, mais aussi à la fabrication de colle ou utilisée comme « rogue » pour appâter le poisson.

L'amenuisement du stock semble bien réel depuis le début des années 80 et la diminution des densités et de l'aire de colonisation de cette espèce sur de nombreux bassins versants confirment cette tendance. Une diminution des prises par sortie en Loire et en Vilaine (GUERALT *et al.*, 1987) ou sur la Gironde (CASTELNAUD *et al.*, 1994) est également notée à partir du début des années quatre-vingts. Cette tendance à la baisse est valable pour l'ensemble des pays européens ainsi que sur les côtes américaines (CASTONGUAY *et al.*, 1994 ; DEKKER, 1997).

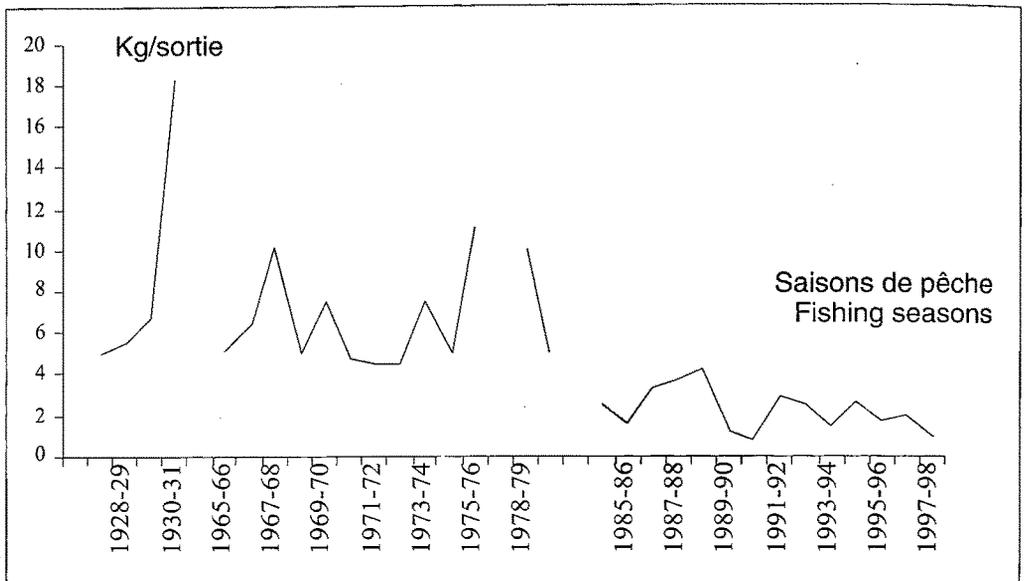


Figure 4

Variations de la moyenne des captures de civelles par sortie au cours de différentes campagnes de pêche sur l'Adour de 1928 à nos jours.

Figure 4

Mean catch variations of glass-eels during the 1928-1997 period on the Adour river. (d'après PROUZET & *al.*, 1994).

Évolution récente des captures par unité d'effort

La collecte des données de captures journalières s'effectue auprès des marins pêcheurs professionnels de l'Adour. Celles des pêcheurs fluviaux et amateurs ne sont pas prises en compte dans ce travail car elles sont moins précises et non validées. La collaboration entre les marins pêcheurs professionnels avec les organismes de recherche, l'INRA et l'IFREMER, depuis plus de 10 ans, permet d'obtenir une bonne fiabilité des données (PROUZET *et al.*, 1995). Les jours de pêche nulle sont pris en compte et validés avec les pêcheurs professionnels.

Les prises sont généralement faibles en novembre et mars (Figure 5). Les pics de captures apparaissent entre décembre et février ; janvier étant le mois où les captures sont en moyenne les plus conséquentes.

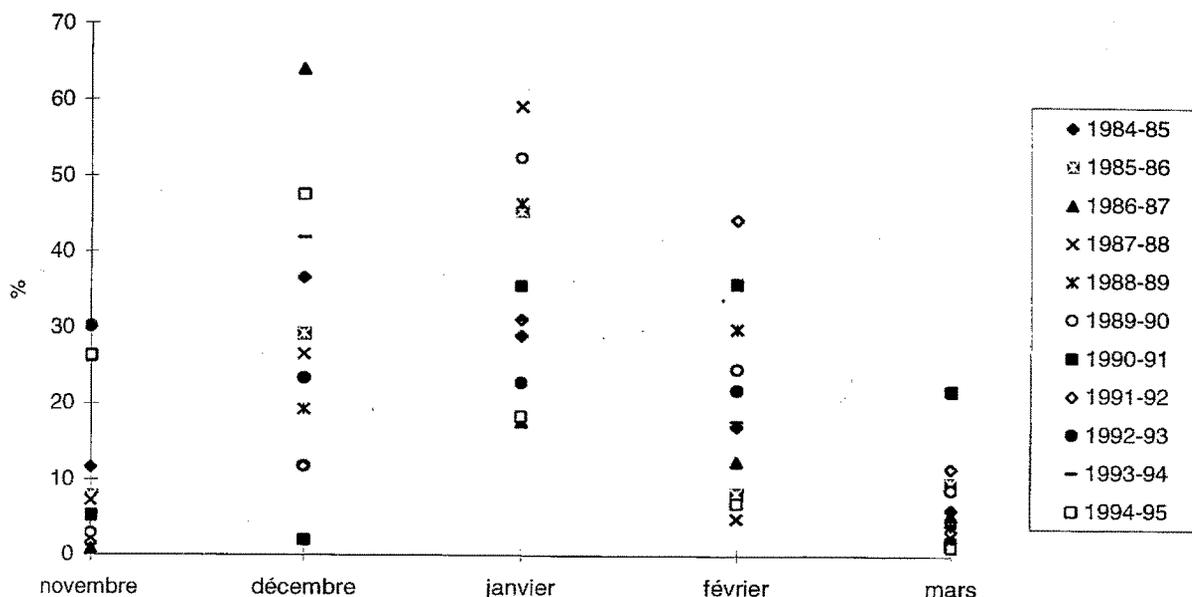


Figure 5

Variabilités mensuelles relatives des captures de civelles durant les saisons de pêche de la période 1984-1994.

Figure 5

Relative monthly variability of glass eels catches during the different fishing seasons of the 1984-1994 period.

On note cependant, une forte variabilité selon les campagnes (Figure 5). Nous considérons :

- Les saisons précoces, la majorité des captures sont réalisées en décembre : 1984-85, 1986-87, 1992-93, 1993-94, 1994-95 ;

- Les saisons tardives, la majorité des captures sont faites en février : 1990-91, 1991-92 ;

- Les saisons « moyennes », la majorité des captures sont effectuées en janvier : 1985-86, 1987-88, 1988-89, 1989-90.

BRU (1998) arrive à des conclusions identiques par une analyse statistique de ces saisons de pêche basée sur une ACP fonctionnelle.

Influence des conditions environnementales sur les captures de civelles

Préambule – Comme nous l'avons signalé précédemment, les engins de pêche utilisés sur l'Adour ne prélèvent que les individus situés en surface. Le succès de la pêche est fonction de la densité des civelles en surface et donc de leur comportement dans la colonne d'eau. Nous étudions ici les conditions environnementales qui agissent sur la variabilité des captures journalières.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Captures par Unité d'Effort

On utilise comme indicateur d'abondance les captures par sortie journalières et un autre indice qui est le rapport de la CPUE journalière sur la CPUE annuelle. C'est la CPUE centrée (CPEUC) qui permet de lisser l'effet de la variabilité inter annuelle des flux de civelles. Elle s'exprime en kilogrammes par sortie. Ce sont des rapports sans dimension physique. Nous étudions 9 campagnes de pêche, de 1985 à 1993, caractérisées par la seule pêche au tamis à main.

Facteurs environnementaux

Coefficients de marée – Phases lunaires - L'influence des facteurs environnementaux sur la variabilité des captures est étudiée au mois de janvier quand l'accessibilité du flux est maximale. En étudiant les captures de janvier, nous nous plaçons dans l'hypothèse de « plein recrutement » au sens halieutique du terme (voir Figure 5).

Les valeurs de coefficients de marée prises en compte sont des moyennes par jour lunaire sur les 9 campagnes. Cela explique que l'on ne note pas de dissymétrie de la variation des coefficients sur ce cycle de marée reconstitué. Les CPEUC sont regroupées autour des phases lunaires. Les phases de nouvelle lune (NL) et de pleine lune (PL) sont des situations opposées du point de vue de l'intensité de la lumière. Les nuits de nouvelle lune correspondent aux nuits les plus obscures alors que les nuits de pleine lune correspondent aux nuits les plus claires. Par contre, ces 2 périodes correspondent aux plus forts coefficients de marée. Les phases de dernier quartier (DQ) et de premier quartier (PQ) correspondent à des situations d'intensité lumineuse intermédiaires et de coefficients de marée moyens.

Analyse statistique sur les températures de l'air - La station de Biarritz Parme, Météo-France relève les températures de l'air à une vingtaine de kilomètres des zones de pêche. Les données journalières de température de l'eau de l'estuaire de l'Adour ne sont pas disponibles pour la période englobant les séries de captures professionnelles de 1985 à 1993. Cependant, la température de l'air influence la température des eaux superficielles qui fluctuent de manière journalière. Par conséquent, elle peut paraître déterminante pour favoriser la présence des civelles en surface.

Pour préciser l'éventuelle liaison entre les températures de l'air et les CPUE au cours de la saison de migration, nous avons utilisé une méthode d'analyse de données fonctionnelles qui est en fait une généralisation de l'analyse canonique classique. Pour plus de détails, nous renvoyons à BRU (1998). Sommairement, les principes de cette méthode sont les suivants :

On s'affranchit de la trop forte variabilité des valeurs de mesures qui peut cacher une liaison entre ces deux variables en effectuant un lissage préliminaire de chaque série de données ;

On centre les données lissées de CPUE et de température et on obtient deux matrices X et Y ;

On construit les matrices de variance-covariance associées à chaque variable et on les « pénalise » de façon à les rendre inversibles (BRU 1998). On les note $\Gamma_1(\lambda_1)$ et $\Gamma_2(\lambda_2)$.

On se ramène ensuite à la recherche des q premières valeurs propres $(\eta_l)_{l=1,\dots,q}$ et des vecteurs propres associés $(Z_l)_{l=1,\dots,q}$ de la matrice :

$$W = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} X \Gamma_X^{-1}(\lambda_1) X' + \frac{1}{n} Y \Gamma_Y^{-1}(\lambda_2) Y' \right),$$

où X' désigne la matrice transposée de X .

Pour discuter de l'évolution conjointe entre les variables températures de l'air et CPUE de civelles, on s'intéresse à la suite des coefficients de corrélations carrés donnés par la relation, et à l'interprétation graphique de l'évolution des q premiers couples de facteurs canoniques

$$(\theta_l, \varphi_l)_{l=1,\dots,q} \text{ où } \theta_l = \frac{1}{n} Z_l' \Gamma_X^{-1}(\lambda_1) X.$$

RÉSULTATS

Influence du cycle lunaire et du coefficient de marée

L'analyse des CPUEC met en évidence l'effet des phases lunaires sur l'importance des captures. En moyenne, il n'y a accroissement des captures par unité d'effort sur la période considérée qu'au moment de la nouvelle lune (NL). Celles-ci diminuent par la suite, à l'approche du premier quartier et ce, quel que soit le coefficient de marée, puis restent relativement stables jusqu'à la nouvelle lune suivante. Nous pouvons tout au plus déceler une légère montée des CPUEC à l'approche et durant le dernier quartier de lune (Figure 6).

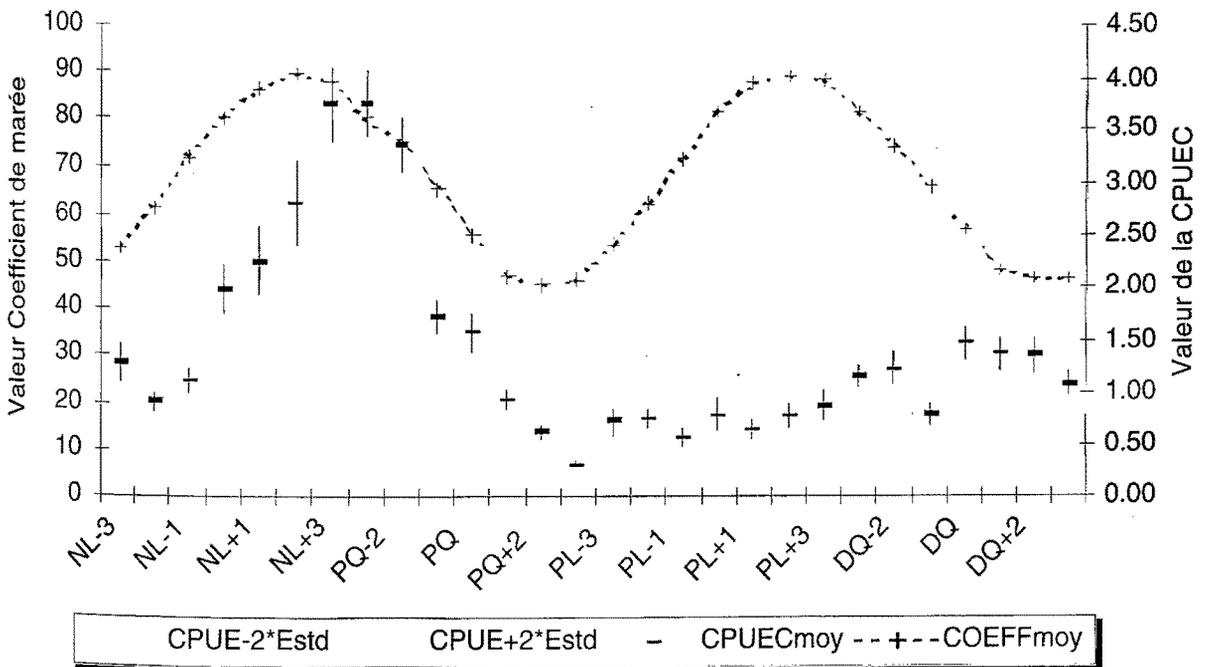


Figure 6

Variations des CPUEC moyennes du mois de janvier et de leurs écarts-standards selon les phases lunaires et le coefficient de marée en janvier.

Figure 6

Variations of the mean CPUEC of January according to lunar period and tide coefficients.

Le graphique de dispersion des CPUEC et des coefficients de marée par jour lunaire montre clairement que ces deux variables sont indépendantes (Figure 7). Nous retrouvons les plus fortes captures au moment de la pleine lune et du premier quartier.

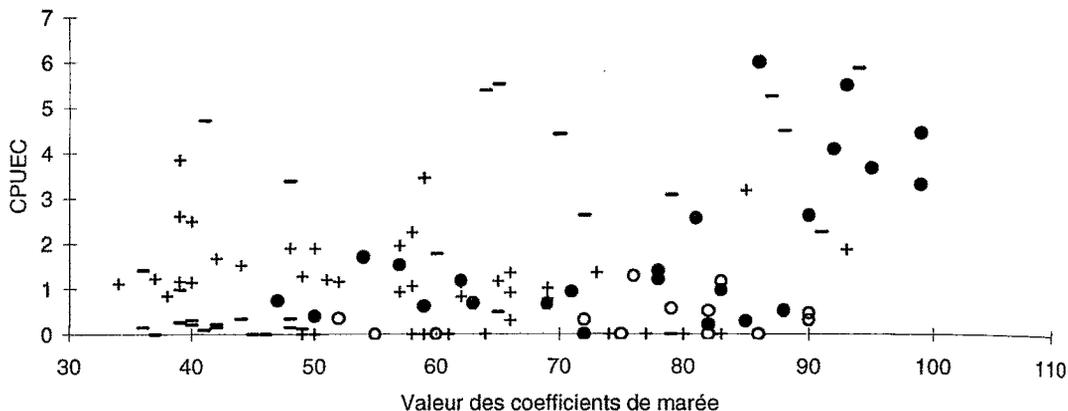


Figure 7
Association entre le coefficient de marée et la moyenne des CPUEC de janvier en fonction des phases lunaires.
 ○ PL (pleine lune) - + DQ (dernier quartier) - ● NL (nouvelle lune) - PQ (premier quartier).

Figure 7
Scatter plot of tide coefficient and mean CPUEC in January according to moon phases.
 ○ PL (full moon) - + DQ (last quarter) - ● NL (new moon) - PQ (first quarter).

Influence des températures de l'air

L'évolution conjointe entre les deux variables, températures de l'air et captures de civelles, n'est pas facile à appréhender au premier abord du fait de la forte variabilité des valeurs de mesure de chacune de ces variables. Nous arrivons toutefois à déceler un phénomène de seuil pour le mois de janvier autour de 6-7°C (Figure 8).

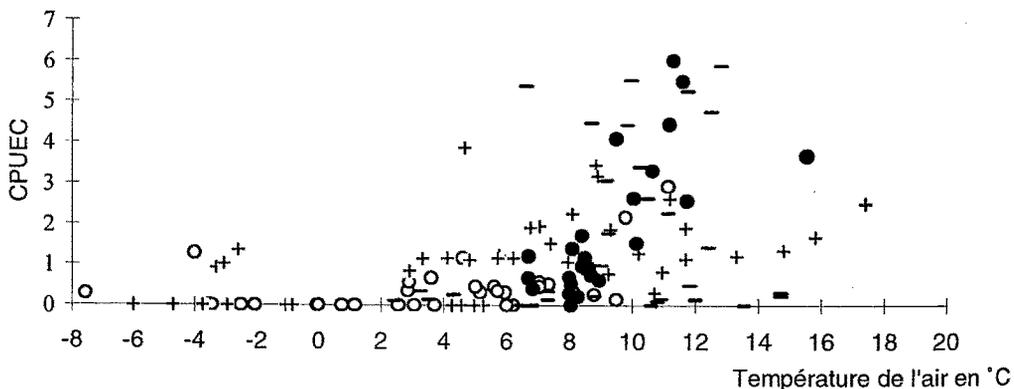


Figure 8
Variations conjointes des CPUEC et de la température de l'air en fonction des phases lunaires en janvier.
 ○ PL (pleine lune) - + DQ (dernier quartier) - ● NL (nouvelle lune) - PQ (premier quartier)

Figure 8
Associations among CPUEC, air temperature and moon phases in January.
 ○ PL (full moon) - + DQ (last quarter) - ● NL (new moon) - PQ (first quarter)

Les captures sont souvent nulles quand les températures sont négatives quelle que soit la phase lunaire (Figure 8). Pour des températures supérieures, on observe de fortes prises particulièrement en situation lunaire favorable (Figure 8).

L'analyse canonique permet de synthétiser les effets d'une variable sur l'autre par la visualisation du premier couple canonique (Figure 9). Ici, la relation entre la température et les CPUE est forte ($R^2 = 0,72$).

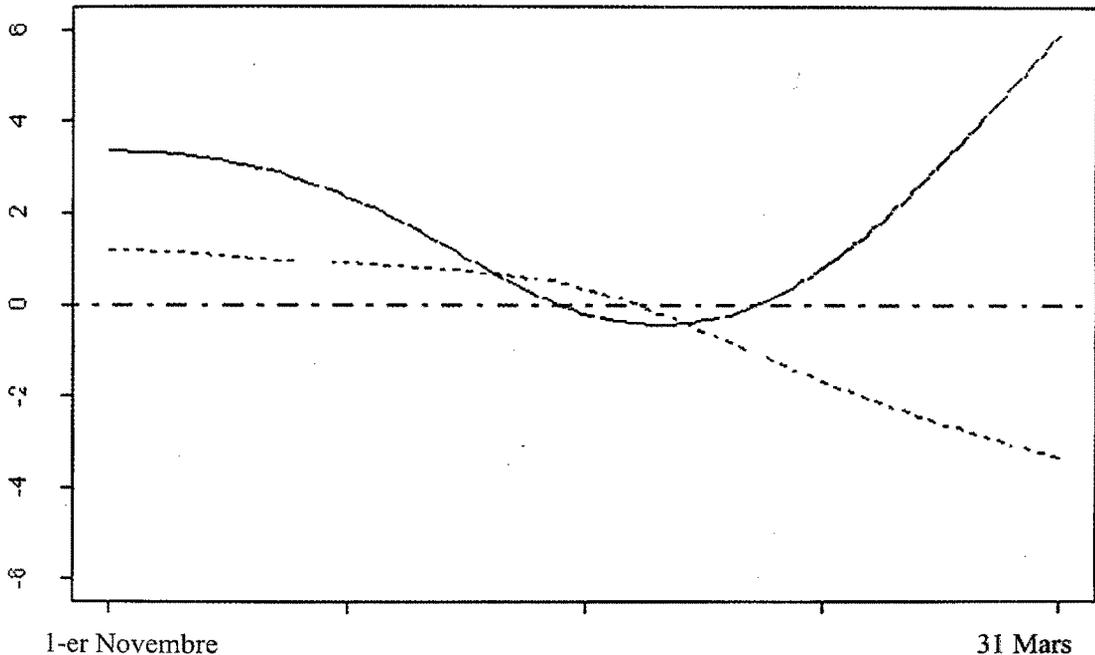


Figure 9

Premier couple de facteurs canoniques :

= facteur associé aux CPUE ; = facteur associé à la température.

Figure 9

First couple of canonical factors :

= factor associated to cpue ; = associated to air temperature.

After (BRU, 1998).

Ce premier couple de facteurs traduit les relations entre les températures de l'air et la capturabilité des civelles en début et fin de saison de pêche. On remarque qu'un effet différentiel important pour les CPUE en début de saison est associé à un effet différentiel de grande amplitude pour la température de l'air, ces deux effets étant de même signe. De la même façon, un effet différentiel important pour les CPUE en fin de saison est associé à un effet de grande amplitude pour la température de l'air, mais en sens opposé (Figure 9).

DISCUSSION

Limites des données utilisées

L'utilisation de données issues de la pêche au tamis à main ne permet d'avoir au mieux qu'un indice d'abondance pour une population d'individus situés en surface. L'analyse des prises et de l'effort développé ne permet pas de tirer des conclusions sur l'influence des facteurs de l'environnement qui agissent sur la progression longitudinale des civelles dans l'estuaire car les pêcheurs se positionnent dans la zone favorable aux captures.

En ce qui concerne la température, nous ne prenons en compte que la température de l'air. L'interprétation des fluctuations de ce paramètre doit être considérée avec précaution car elles n'agissent qu'indirectement sur les civelles en migration.

Influence des facteurs environnementaux sur les captures

Importance de la luminosité nocturne

Il y a une relation de cause à effet entre le cycle lunaire et celui de la marée. D'après de nombreux auteurs, l'apparition des forts coefficients de marée correspond à une augmentation des captures et à une intensification du flux migratoire (FERNANDEZ et VASQUEZ, 1978 ; CHARLON, 1980 ; SORENSEN et BIANCHINI, 1986 ; ROCHARD, 1992). Il est parfois difficile de dissocier réellement à partir de ces travaux, les effets des cycles de marée et de la clarté lunaire. L'influence du coefficient de marée est considérée comme dominante face à celle de la lune (TESCH, 1977 ; CANTRELLE, 1981 ; GASCUEL, 1985). Sur l'Adour, ce n'est pas ce qui est observé, l'augmentation des captures est notée seulement au moment de la nouvelle lune (Figure 8). Il est souvent bien difficile de faire la part des choses entre l'influence de la marée et la succession des phases lunaires. Cependant, les observations collectées sur les captures ne laissent place à aucune ambiguïté (Figure 6). Une périodicité similaire des captures est montrée pour une population d'anguilles sédentaires du lac de Grand-Lieu dans un secteur non soumis à l'influence des marées (ADAM et ELIE, 1994). L'augmentation des captures en surface au moment de la nouvelle lune est déjà signalée par TZENG (1985) sur *A. japonica* à Taiwan.

Influence de la température de l'air

L'influence de la température est mal connue sur le comportement migratoire de la civelle. L'effet seuil observé à partir des valeurs des températures de l'air autour de 6-7°C dans l'Adour (Figure 8) est également observé à partir des températures de l'eau sur d'autres estuaires français, mais plutôt autour de 12°C (ELIE, 1979 ; DESAUNAY *et al.*, 1987). Cet effet n'apparaît pas sur des valeurs lissées de novembre à mars. Cependant, le traitement statistique réalisé sur ces données permet de mettre en évidence de novembre à décembre une augmentation des captures par rapport à la moyenne associée à un réchauffement de la température de l'air. D'autre part, en mars, une diminution des captures par rapport à la moyenne est associée à un réchauffement de la température de l'air. Or, le froid peut provoquer un blocage temporaire des remontées de civelles (ELIE, 1979). Le résultat peut paraître contradictoire avec l'observation d'ELIE (1979) concernant l'effet du froid sur le blocage des captures. En fait, la contradiction n'est qu'apparente et liée au régime de l'Adour à cette période. Un réchauffement des températures de l'air provoque une fonte des neiges et l'apport d'« eau blanche » très froide, connue par la pêcherie professionnelle. Cette eau constitue une forte part de l'écoulement total et matérialise le passage d'un régime pluvio-nival à un régime nivo-pluvial (FISCHER, 1930).

Influence des conditions environnementales sur le comportement des civelles

Préambule – Afin de conforter les observations obtenues uniquement sur les captures qui peuvent être influencées fortement par les variations de capturabilité, nous avons mené des investigations à différentes hauteurs de la colonne d'eau au cours des campagnes expérimentales. Nous présentons les résultats de la campagne d'échantillonnage réalisée sur l'Adour au cours de la saison de migration 1997/1998. Ce travail étudie la répartition des densités de civelles dans la colonne d'eau en surface et en profondeur pour caractériser le comportement lucifuge des civelles en migration dans l'estuaire.

MATÉRIELS & MÉTHODES

Densités de civelles - La campagne d'échantillonnage se déroule dans la zone maritime de l'estuaire sur quatre ou cinq stations, entre Bayonne et Urt, au cours de 23 sorties (Figure 1). Les individus sont prélevés au cours du flot simultanément en surface et en profondeur à l'aide de deux tamis tractés par le bateau (DE CASAMAJOR, 1998). Un débitmètre (General Oceanic) mesure à l'entrée du tamis de surface la vitesse du courant. Ces mesures permettent par la suite de connaître le volume d'eau filtrée par l'engin et de déterminer la densité de civelles (en $g/100m^3$) dans la couche d'eau échantillonnée (D_F = Densité fond et D_s = Densité surface). Cette vitesse est également utilisée pour le tamis du fond car des observations au niveau de la zone d'échantillonnage ont montré l'homogénéité des vitesses de courant de la surface au fond. La proportion de civelles au fond ($P_F = D_F/D_T$) est exprimée en pourcentage par rapport à la densité totale ($D_T = D_F + D_s$). Cet estimateur rapport permet de lisser la variabilité de l'importance des flux migratoires au cours des échantillonnages.

Facteurs environnementaux - La turbidité est mesurée en NTU (Unité de Mesure Néphélométrique) au cours de chaque échantillonnage, en surface et en profondeur. Chaque sortie est caractérisée par une phase lunaire (PL = pleine lune, DQ = dernier quartier, NL = nouvelle lune, PQ = premier quartier).

Modélisation des densités - La matrice de données se compose de 102 observations collectées lors des 23 sorties. Un découpage des données en classes est réalisé (Tableau I).

Tableau I

Decoupage des variables en classes.

Table I

Modalities of the different factors used.

Variable	Modalités	Intervalle de classe	Effectif
Phases lunaires	Pleine Lune	+ /- 3 à 4 jours	28
	Dernier Quartier	Autour du	27
	Nouvelle Lune	Changement de	19
	Premier Quartier	lune	28
Turbidité (NTU)	Turbidité faible	De 10 à 40	62
	Turbidité Forte	De 40 à 184	40
P_F densité fond (en % du total)	Densité faible	< à 30%	25
	Densité moyenne	30 à 70%	30
	Densité forte	> 70%	47

A partir de ce découpage, nous construisons un tableau de contingence (Tableau II). Chaque cellule contient le nombre d'observations pour chaque combinaison des modalités des variables. On utilise le modèle linéaire généralisé pour étudier les interactions entre les 3 modalités de P_F et les 2 modalités de turbidité (*turb*) et 4 modalités de phases lunaires (*lune*). Cette méthode a déjà été utilisée pour étudier la variabilité des captures d'Aloses dans l'estuaire de l'Adour en fonction des conditions hydroclimatiques (PROUZET *et al.* 1994b ; BADIA et PROUZET, 1996).

Tableau II

Répartition des observations par combinaison des modalités des variables densités fond-totale (P_F), phase lunaire (*lune*) et turbidité (*turb*).

Table II

Dispersion of observations according to modalities of bottom/total densities (P_F), rate of moon phases (*lune*) and turbidity (*turb*).

Phase lunaire (<i>lune</i>)	Turbidité (<i>turb</i>)	Rapport des densités fond-totale (P_F)		
		Faible	Moyen	Fort
Pleine lune (<i>PL</i>)	Faible	0	2	21
	Forte	3	2	0
Dernier quartier (<i>DQ</i>)	Faible	2	3	5
	Forte	10	4	3
Nouvelle lune (<i>NL</i>)	Faible	4	8	0
	Forte	3	2	2
Premier quartier (<i>PQ</i>)	Faible	0	1	16
	Forte	3	8	0

On considère le modèle minimum représentant les termes indépendants du modèle et le terme d'interaction que l'on peut qualifier de terme de nuisance entre la turbidité et la phase lunaire : $P_F + turb + lune + turb * lune$, et le modèle complet représentant le modèle minimum + les termes d'interactions d'ordre 2 et 3 : $P_F * lune$, $P_F * turb$ et $P_F * lune * turb$. On considère les parts de déviance qui sont apportées par l'incorporation de chaque terme, un par un dans le modèle (procédure pas à pas).

$F_{ij} \sim P_{F_i} + turb + lune + turb * lune + P_{F_i} * turb + P_{F_i} * lune + P_F * lune * turb$
avec F_{ij} : fréquence de la cellule ij du tableau de contingence.

RÉSULTATS

Le modèle retenu est le modèle d'interaction d'ordre 2. Ce choix est lié à la faible part de déviance apportée par l'interaction d'ordre 3 ($P_F * lune * turb$). Il permet d'allier parcimonie et fort niveau d'ajustement.

Tableau III

Analyse de déviance pour le modèle ($\sim P_F + turb + lune + turb * lune + P_F * turb + P_F * lune$).

Table III

Deviance analysis for the model ($\sim P_F + turb + lune + turb * lune + P_F * turb + P_F * lune$).

Facteurs	Deg. Liberté	Déviance	Différence de Deg. Liberté	Différence de Déviance	P(Chi2)
			23	118,4	
Lune	3	2,38	20	110,85	0,497
P_F	2	7,56	18	106,06	0,022
Turb	1	4,78	17	103,68	0,028
Turb*lune	3	12,21	14	91,47	0,0066
$P_F * turb$	2	35,7	12	55,79	0
$P_F * lune$	6	26,05	6	29,74	0,21.E(-3)

Le modèle minimum représente une faible part de la déviance totale expliquée par le modèle (Tableau III). Par contre, la part de déviance la plus forte est liée aux interactions entre P_F*turb et P_F*lune . La plus grande part de déviance par degré de liberté est apportée par l'interaction entre P_F et $turb$. Ces interactions d'ordre 2 apportent 56 % de la déviance totale du tableau de contingence. La déviance résiduelle représente une faible part de la déviance totale (29,74).

La représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées par le modèle choisi confirme que ce dernier reproduit correctement la matrice de données.

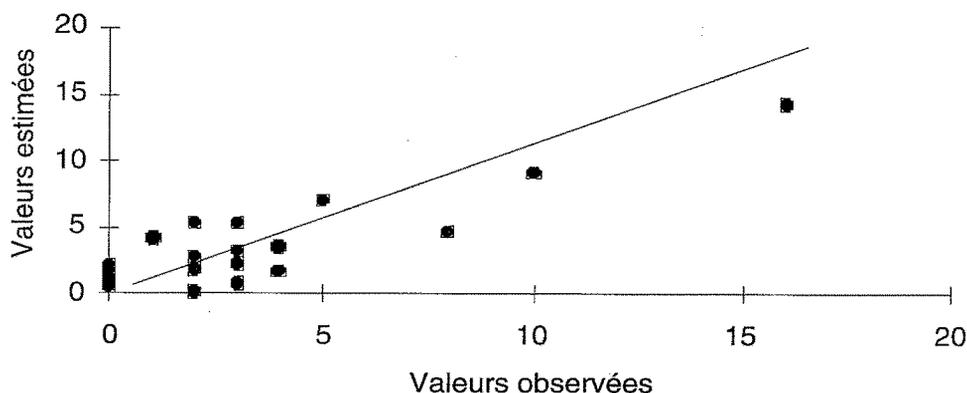


Figure 10

Représentation des valeurs observées en fonction des valeurs estimées par le modèle.

Figure 10

Observed values according to estimated values by the model.

($\sim P_F + turb + lune + turb * lune + P_F * turb + P_F * lune$)

DISCUSSION

La prise en compte de la turbidité et du cycle des phases lunaires sur la répartition des individus dans la colonne d'eau complète les éléments apportés par l'analyse des CPU EC. En effet, la présence des civelles en surface dépend de la phase lunaire, mais également de la turbidité des eaux. Les autres facteurs du milieu connus comme induisant des déplacements verticaux de poissons ne peuvent pas être évoqués ici : l'alimentation, car le tractus digestif n'est pas fonctionnel chez la civelle (LEE et LEE, 1989) ; la stratification des masses d'eau car la colonne d'eau est homogène (DE CASAMAJOR, 1998).

La turbidité est un paramètre important pour caractériser le comportement vertical des civelles ainsi que le montre la forte déviance associée au terme d'interaction d'ordre 2 ($P_F * turb$) du modèle précédent. En effet, elle provoque une atténuation de la quantité de lumière pénétrant dans la colonne d'eau. Ce facteur est peu étudié dans la bibliographie, par contre le débit fluvial est souvent pris en compte (GASCUEL, 1992 ; MCGOVERN et MCCARTHY, 1992 ; DOMINGOS, 1992). Les relations entre les débits et les captures par unité d'effort sur l'Adour n'ont pas été clairement mises en évidence (BRU *et al.*, 1996 ; DE CASAMAJOR *et al.*, 1996). Le débit modifie la turbidité par un apport de particules en suspension. Il influe à la fois sur la présence du flux dans l'estuaire et sur un comportement de remontée des civelles dans la colonne d'eau, mais son action ne peut être dissociée de celle du coefficient de marée. GIBSON (1978) évoque l'effet inhibiteur de la clarté lunaire et modulateur de la nébulosité. De manière similaire, DE CASAMAJOR (1998) signale l'effet de la luminosité sur le comportement des civelles qui agit comme un filtre de l'onde lumineuse au même titre que la concentration des matières en suspension dans l'eau.

Compte tenu du comportement lucifuge des individus lors de leur traversée de l'estuaire (CANTRELLE, 1981), il est tentant de relier cycle lunaire et intensité de la clarté nocturne. TZENG (1985) signale également l'influence négative du clair de lune sur les captures de civelles. Il y a alors inhibition des remontées dans la colonne d'eau, elles poursuivent leur migration par le fond.

Certains auteurs observent deux pics de captures, après la nouvelle lune et la pleine lune (FERNANDEZ et VASQUEZ, 1978 sur *A. rostrata* à Cuba ; JELLYMAN, 1979 en Nouvelle-Zélande sur *Anguilla* spp ; TZENG, 1985) lorsque les prises sont effectuées avec des engins qui peuvent exploiter les individus en profondeur. Ce n'est pas le cas sur l'Adour.

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Les séries historiques de captures témoignent d'une réelle diminution des prises depuis la fin des années quatre-vingts. Elles montrent l'intérêt de mettre en place des programmes de recherche sur le comportement des flux en migration pour évaluer les taux d'exploitation dans un souci de gestion à long terme de la ressource.

L'étude des carnets de la pêche professionnelle ne permet de caractériser que les conditions environnementales entraînant une variabilité des captures en présence d'un flux constant. En complément, l'influence des facteurs environnementaux sur la répartition des individus dans la colonne d'eau est étudiée à partir des densités mesurées au cours de l'échantillonnage expérimental. L'intensité de lumière nocturne émise par la lune et la clarté de l'eau sont les principaux facteurs qui expliquent les déplacements migratoires en surface ou en profondeur. La localisation des civelles résulte de leur comportement lucifuge.

Dans le cadre de futurs travaux, il est envisagé d'étudier les facteurs environnementaux qui modulent l'accessibilité des civelles dans l'estuaire. Au cours de la campagne d'échantillonnage 1997/1998, nous avons observé en condition de crue (blocage hydrologique de l'onde de marée en bas de l'estuaire), un arrêt du flux de civelles en aval de la zone exploitée par la pêche professionnelle. Ce phénomène se traduit, dès que le flot se propage à nouveau, par une augmentation des densités dans la zone exploitée (déblocage du flux de civelles). Cependant, ces observations devront être précisées par de nouveaux échantillonnages en condition de blocage - déblocage. Au moment de la décrue, les eaux sont turbides et favorables au comportement de remontées des civelles dans la colonne d'eau, ce qui expliquerait certains pics de captures. Cela sera réalisé par la mise au point de modèles hydrologiques (modèles bidimensionnels) complétés par des modèles comportementaux des flux de civelles.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM G. et ELIE P., 1994. Mise en évidence des déplacements d'anguilles sédentaires (*Anguilla anguilla* L.) en relation avec le cycle lunaire dans le lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335, 123-132.
- APPENZELLER A.R. et LEGGETT W.C., 1995. An evaluation of light-mediated vertical migration of fish based on hydroacoustic analyses of the diel vertical movements of rainbow smelt (*Osmerus mordax*). *Can. J. Fish. Aquat.*, 52, 504-511.
- BADIA J. et PROUZET P., 1996. Modèles loglinéaires pour l'étude des associations entre captures par unité d'effort et variables hydroclimatiques. *Aquat. Living Resour.*, 9, 217-223.
- BORDOEUF, 1929. Hécatombe de piballes. *Bull. fr. Piscic.*, (9), 226-227.
- BRU N., 1998. Etude de quelques méthodes d'estimation non-paramétrique de courbes. Application à l'évaluation des flux de civelles d'anguille. *Thèse 3^{ème} cycle UPPA*, 160 p.

- BRU N., DOSSOU-GBETE S. et TRUONG-VAN B., 1996. Analyse exploratoire des captures de civelles d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Lab.Math.Appli.*, UPPA, 32 p.
- CANTRELLE I., 1981. Etude de la migration et de la pêche des civelles (*Anguilla anguilla* L. 1758) dans l'estuaire de la Gironde. *Thèse doc. 3ème cycle*, Université de Paris VI, 238 p.
- CASAMAJOR (de) M.N., 1998. Comportement migratoire de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour en fonction de la variabilité des conditions environnementales. *Thèse 3ème cycle UPPA*, 139 p.
- CASAMAJOR (de) M.N., BRU N. et PROUZET P., 1999., Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement migratoire de la civelle (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 355, 327-347.
- CASTELNAUD G., GUERULT D., DESAUNAY Y. et ELIE P., 1994. Production et abondance de la civelle en France au début des années 90. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335, 263-287.
- CASTONGUAY M., HODSON P.V., COUILLARD C.M., 1994.- Why is recruitment of the american eel, *Anguilla rostrata* declining in the St Lawrence river and gulf? *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 51(2), 479-488.
- CHARLON N., 1980. Etude des populations de civelles de la région du bassin de l'Adour. INRA, Saint-Pée-sur-Nivelle (651330), 35 p.
- DEKKER, 1997. Long-term trends in the glasseels immigrating at Den Oever, the Netherlands. *Eifac/ICES*, Ijmuiden, 23-27 Septembre 1996.
- DESAUNAY Y., GUERULT D. et BEILLOIS P., 1987. Dynamique de la migration anadrome de la civelle (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de la Loire : rôle des facteurs climatiques vis à vis de la pêche et du recrutement. *C.I.E.M.*, CM 1987/M, 18.
- ELIE P., 1979. Contribution à l'étude des montées de civelles d'*Anguilla anguilla* Linné (Poisson, Téléostéen, Anguilliforme), dans l'estuaire de la Loire : Pêche, Ecologie, Ecophysiologie et Elevage. *Thèse Doct. 3ème cycle*, Université de Rennes, 381 p.
- FISCHER J., 1930. Le régime de l'Adour et de ses affluents. *Rev. Géogr. Pyrén. Sud-Ouest*, 1(1), 75-97.
- GASCUEL D., 1985. Contribution à l'étude écologique des estuaires du littoral atlantique français : la faune accompagnatrice de la civelle. *Thès. doc. Ing.*, Univ. de Rennes I, 330 p.
- GASCUEL D., 1987. La civelle d'Anguille dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise. Biologie, Ecologie, Exploitation. *Les publications du département d'halieutique (4/1)*, 559 p.
- GIBSON R.N., 1978. Lunar and tidal rhythms in fish. In *Rhythmic Activity of Fishes*, J.E. Thorpe, London New-York San Francisco, 212 p.
- GUERULT D., BEILLOIS P., et DESAUNAY Y., 1987. L'exploitation de la civelle (*Anguilla anguilla*) en Loire et en Vilaine : indices d'abondance et indicateurs halieutiques. *C.I.E.M.*, CM 1987/M, 19.
- FERNANDEZ J. et VASQUEZ J., 1978. Las pesquerias de angulas en la provincia de holguin. *Rev. Cub. de Invest. Pesq.*, 3(2), 48-61.
- JELLYMAN D.J., 1979. Upstream migration of glass-eels (*Anguilla* spp.) in the Waikato River. *N.Z. J. Mar. Freshwater Res.*, 13(1), 13-22.
- LAZURE P., 1998. Mise en oeuvre du modèle hydrodynamique 1D. *Rapport interne*, IFREMER Brest, 7 p.
- LEE T.W. et LEE K.S., 1989. Daily growth increments and lunar pattern in otolith of the eel, *Anguilla japonica*, in the freshwater. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 22(1), 36-40.
- LEVY D.A., 1990. Sensory mechanism and selective advantage for diel vertical migration in juvenile Sockeye Salmon, *Oncorhynchus nerka*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1796/1802.

- MCGOVERN P. et MCCARTHY T.K., 1992. Elvers migration in the River Corrib system, western Ireland. *Irish Fisheries Investigations Series A (Freshwater)*, 36, 25-32.
- PROUZET P. et MARTINET J.P., 1992. Les pêches estuariennes du bassin de l'Adour zones, métiers et espèces de 1985 à 1991. *IFREMER/DRV/RH/St-Pee-sur-Nivelle*, 79 p.
- PROUZET P., MARTINET J.P. et CUENDE F.X., 1994a. Les pêches estuariennes du bassin de l'Adour de 1985 à 1991. *Repère Océan*, IFREMER (6), 31-48.
- PROUZET P., MARTINET J.P. et BADIA J., 1994b. Caractérisation biologique et variation des captures de la grande alose (*Alosa alosa*) par unité d'effort sur le fleuve Adour (Pyrénées Atlantiques, France). *Aquat. Living Resour.*, 7, 1-10.
- PROUZET P., MARTINET J.P. et CUENDE F.X., 1995. Rapport sur la pêche des marins pêcheurs dans l'estuaire de l'Adour en 1994. *Rapport IFREMER/DRV/RH/ St PEE*, 30 p.
- ROCHARD E., 1992. Mise au point d'une méthode de suivi de l'abondance des amphihalins dans le système fluvio-estuarien de la Gironde, application à l'étude écobioologique de l'esturgeon *Acipenser sturio*. *Thèse. doc.*, Univ. Rennes I, 296 p.
- ROGET C., 1998. Observations préliminaires sur l'activité de nage des civelles d'Anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) en ruisseau artificiel. *Mémoire de Maîtrise*, INRA-UPPA, 21 p.
- SHELDON M.R. et MCCLEAVE J.D., 1985. Abundance of glass eels of the american eel, *Anguilla rostrata*, in mid-channel and near shore during estuarine migration. *Naturaliste Can.*, 112, 425-430.
- SORENSEN P.W. et BIANCHINI M.L., 1986. Environmental correlates of the freshwater migration of elvers of the American eel in a Rhode Island Brook. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115, 258-268.
- TESCH F.W., 1977. The eel : Biology and Management of Anguillid Eels. *Chapman and Hall*, London, 423 p.
- TZENG W.N., 1985. Immigration timing and activity rhythms of the eel *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 47/48, 11-28.