

---

## **Passé marin des civelles d'*Anguilla anguilla* en migration dans l'estuaire de l'Adour**

**M.N. de Casamajor<sup>1\*</sup>, R. Lecomte-Finiger<sup>2</sup>, P. Prouzet<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>CERECA-Technopole Izarbel, Maison du Parc, 64210 Bidart, France

<sup>2</sup>Laboratoire d'Ichtyoécologie, EPHE-CNRS ESA8046, Université de Perpignan, 66860 Perpignan Cedex

<sup>3</sup>Laboratoire Halieutique d'Aquitaine – Ifremer, Technopole Izarbel, Maison du Parc, 64210 Bidart

\*: Corresponding author : [marie.noelle.de.casamajor@ifremer.fr](mailto:marie.noelle.de.casamajor@ifremer.fr)

---

### **Abstract:**

Along biometric characteristics, glass eel otoliths were collected during three migration seasons, in the Adour estuary, during the new moon of January. Microstructure reading and measurements of various growth zones bring information on glass eel larval life during their oceanic migration and the transition phase in estuary. The results show significant inter-annual variations of glass eels otolithometric characteristics from the point of view of their typology as of the various growth zones measured during transoceanic migration. The differences observed between the years on the typology level could be related to very fluctuating environmental conditions during recruitment. The differences in measurements carried out on the registered otolith zones would be more related to the oceanic conditions during the Atlantic crossing. Environmental conditions met during various phases of eel larvae migration influence their growth between birthplace and catching area in estuary.

**Keywords :** Otolith, Larval-phase, Oceanic-migration, Glass-eels, Biometry

# PASSÉ MARIN DES CIVELLES D'ANGUILLA ANGUILLA EN MIGRATION DANS L'ESTUAIRE DE L'ADOUR

*Marine larval past of glass eel *Anguilla anguilla* migrating in the Adour estuary*

M.N. de CASAMAJOR<sup>1</sup>, R. LECOMTE-FINIGER<sup>2</sup>, P. PROUZET<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CERECA-Technopole Izarbel - Maison du Parc - 64210 Bidart - France

<sup>2</sup>Laboratoire d'Ichtyoécologie, EPHE-CNRS ESA8046, Université de Perpignan, 66860 Perpignan Cedex

<sup>3</sup>Laboratoire Halieutique d'Aquitaine - Ifremer, Technopole Izarbel, Maison du Parc, 64210 Bidart  
marie.noelle.de.casamajor@ifremer.fr

OTOLITHE  
PASSÉ LARVAIRE  
MIGRATION OCÉANIQUE  
CIVELLE  
BIOMÉTRIE

**RÉSUMÉ.** – En parallèle aux caractéristiques biométriques, des otolithes de civelles ont été collectées au cours de 3 saisons de migration, dans l'estuaire de l'Adour, au moment de la nouvelle lune de janvier. La lecture des microstructures et les mesures des différentes zones de croissance apportent des informations sur le passé larvaire des civelles, d'une année sur l'autre, au cours de leur traversée océanique et de la phase de transition en estuaire. Les résultats de ces travaux montrent d'importantes variations des caractéristiques otolithométriques des civelles aussi bien du point de vue de leur typologie que des différentes zones de croissance mesurées au cours de la migration transocéanique. Les différences observées entre les années au niveau de la typologie pourraient être liées aux conditions environnementales lors du recrutement estuarien, fluctuantes d'une saison à l'autre. Les différences de mesures réalisées sur les zones inscrites dans l'otolithe seraient davantage liées aux conditions océaniques pendant la traversée de l'Atlantique. Les conditions environnementales rencontrées au cours des différentes phases de la migration des larves d'anguilles conditionnent leur croissance entre les zones d'éclosion et de capture en estuaire.

OTOLITH  
LARVAL PHASE  
OCEANIC MIGRATION  
GLASS EELS  
BIOMETRY

**ABSTRACT.** – Along biometric characteristics, glass eels otoliths were collected during three migration seasons, in the Adour estuary, during the new moon of January. Microstructure reading and measurements of various growth zones bring information on glass eel larval life during their oceanic migration and the transition phase in estuary. The results show significant inter-annual variations of glass eels otolithometric characteristics from the point of view of their typology as of the various growth zones measured during transoceanic migration. The differences observed between the years on the typology level could be related to very fluctuating environmental conditions during recruitment. The differences in measurements carried out on the otolith zones registered would be more related to the oceanic conditions during the Atlantic crossing. Environmental conditions met during various phases of eel larvae migration influence their growth between birthplace and catching area in estuary.

## INTRODUCTION

Les indices de recrutement des Anguilles européenne et américaine sont actuellement à un niveau très bas (Moriarty 1996, Nilo & Fortin 2001, Dekker 2003). Les principales causes sont d'origine anthropique (contamination chimique, dégradation des habitats et pêche) et naturelles (vitesse et direction des courants océaniques, climat) et sont invoquées pour expliquer cette diminution depuis le début des années 1980 (Castonguay *et al.* 1994, Knights 2001). La dégradation des habitats pendant la phase de grossissement peut engendrer une diminution des départs des géniteurs vers l'aire de reproduction dans la mer des Sargasses. La diminu-

tion de la vitesse du *Gulf Stream*, la modification de la productivité planctonique, le réchauffement global de la température, sont autant de facteurs provoquant une diminution du recrutement en civelles (Lavin *et al.* 1994, Taylor & Stephens 1998). Au sein de cette tendance générale, des travaux antérieurs témoignent d'une variabilité importante des caractéristiques biométriques des civelles, au cours de la saison, mais également d'une année sur l'autre (Haro & Krueger 1987, Jessop 1998, de Casamajor *et al.* 2000). Le facteur saisonnier a été étudié au préalable dans les travaux antérieurs (de Casamajor *et al.* 2001b) pour définir au mieux la stratégie d'échantillonnage. Pour s'affranchir de ce facteur, les otolithes de civelles ont été prélevées au même moment au cours de la saison

de migration, lors de la nouvelle lune de janvier. L'examen du passé larvaire des civelles à partir des microstructures est un outil apportant des informations sur les conditions dans lesquelles se déroule la migration les mois précédents la capture. Cette technique a déjà fait ses preuves sur de nombreuses espèces de Poissons (Pannella 1971, Lecomte-Finiger 1999). Le schéma de lecture sur les espèces du genre *Anguilla* a été largement validé (Lecomte-Finiger & Yahyaoui 1989, Araï *et al.* 2000, Cieri & McCleave 2001). Cette technique a permis de montrer que les civelles mettaient entre 7 et 9 mois pour effectuer les 6000 km qui séparent la mer des Sargasses des côtes européennes (Lecomte-Finiger & Yahyaoui 1989). Après une série de travaux sur les variations saisonnières des caractéristiques des civelles de l'estuaire de l'Adour, aussi bien d'un point de vue biologique, biométrique (de Casamajor *et al.* 2000) et otolithométrique (de Casamajor *et al.* 2001) que d'un point de vue halieutique à partir de travaux sur le comportement migratoire (de Casamajor 1998). A partir d'une bonne connaissance de la variabilité saisonnière des civelles, l'objectif de ce travail est de déterminer à partir d'un échantillonnage comparable sur 3 saisons (2000, 2001 et 2002) d'éventuelles modifications de la croissance des otolithes au cours des différentes phases de la migration larvaire entre la mer des Sargasses et les côtes européennes. Les mesures otolithométriques permettent de caractériser chaque étape de la traversée qui correspond à des événements biologiques particuliers tels que la métamorphose et le changement de milieu (Lecomte-Finiger 1999). Les variations inter-annuelles des caractéristiques biologiques des civelles pourraient, tout au moins en partie, fournir des indications sur les niveaux de recrutement, ainsi qu'une meilleure compréhension de la dynamique migratoire des individus sur nos côtes.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

*Cadre géographique* : Les otolithes proviennent de civelles échantillonnées dans l'estuaire de l'Adour, en amont de la limite de salure des eaux, dans la zone de propagation de la marée dynamique à 22km en amont de l'embouchure (Fig. 1) lors de pêches expérimentales (de Casamajor 1998). Ces campagnes se déroulent la nuit, pendant le flot avec un tamis circulaire à maille carrée de 1mm en fond de tamis tracté par un bateau. Les individus en migration sont acclimatés à l'eau douce au moment de leur capture. Des travaux récents montrent, que les civelles parviennent à ce niveau de l'estuaire en une journée, poussées par la marée derrière la zone de propagation du front de salinité (Prouzet *et al.* 2000).

*Caractéristiques biométriques des civelle* : Les civelles ont été échantillonnées au cours de trois saisons de migration. Pour comparer les saisons entre elles, tous les prélèvements ont été réalisés en janvier 2000, 2001 et 2002 au moment de la nouvelle lune de janvier. Dans la zone centrale de l'aire de répartition de l'Anguille européenne et pour la latitude de l'estuaire de l'Adour, janvier correspond au pic de migration, observé systématiquement sur une étude basée sur une dizaine de saisons de migration (de Casamajor 1998). La nouvelle lune représente le moment où le pic de capture apparaît, l'activité migratoire est la plus intense avec l'arrivée des flux en estuaire (de Casamajor *et al.* 1999). Les civelles prises au hasard sont tuées à l'essence de clou de girofle avant les mesures. La longueur (+/- 0,1mm - décimètre) et la masse (+/- 0,01g - Sartorius BP 310 S) sont pris en compte sur les individus frais pour éviter tout biais lié aux méthodes de conservation. Le stade de pigmentation est déterminé sous loupe binoculaire (type © Zeiss Stemi 2000C) selon la classification usuellement employée (Elie *et al.* 1982, Grellier *et al.* 1991). A leur arrivée en zone côtière, les civelles sont au stade  $V_A$ . Elles passent ensuite au stade  $V_B$  c'est le stade le plus fréquemment observé en estuaire (Lecomte-Finiger & Razouls 1981). Les civelles qui séjournent en estuaire présentent diffé-

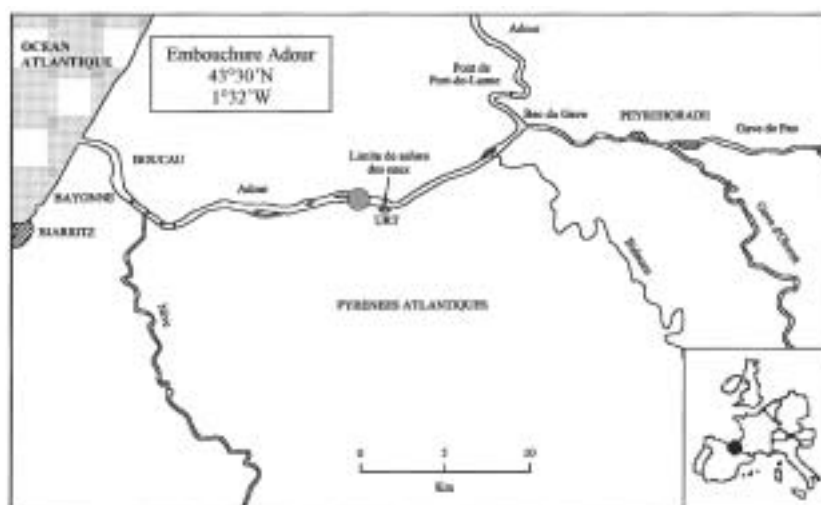


Fig. 1. – Localisation du site de capture des civelles étudiées ●.  
*Glass eels sampling site.*

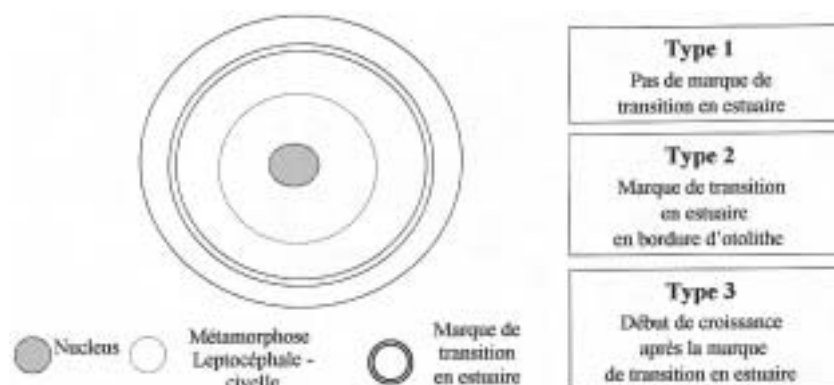


Fig. 2. – Classification des otolithes en fonction des différentes zones de croissance.  
*Otolith classification according to the different growth zones.*

rents niveaux de pigmentation, elles sont regroupées en stade VIA.

**Méthode d'examen des otolithes :** Les *Sagittae* sont prélevées. Chaque otolithe est ensuite inclus dans de la résine synthétique (type dentaire) puis poncé avec un papier abrasif fin (grain 1000). La zone polie est ensuite décalcifiée à l'EDTA (solution à 5 %) pour mettre en évidence les différentes structures inscrites dans l'otolithe. Des électrographies sont réalisées au microscope électronique à balayage (MEB-Hitachi S520) après métallisation à l'or (couche de 20nm). Le grossissement utilisé pour mesurer les différentes phases de croissance depuis le nucleus jusqu'au bord externe de l'otolithe est de 600 fois.

**Typologie des otolithes :** L'interprétation de ces électrographies permet une classification des otolithes et les mesures des différentes zones suivant la description définie par Lecomte-Finiger & Yahyaoui (1989). Cette interprétation à partir des structures observées correspond au schéma de développement larvaire admis par la majorité des scientifiques travaillant sur le genre *Anguilla* (Arai *et al.* 2000, Desauvay & Guérault 1997, Lecomte-Finiger 1994). Dans la partie centrale de l'otolithe (Fig. 2) le nucleus matérialise l'éclosion et le début de la vie larvaire des Anguilles. Depuis la Mer des Sargasses, jusqu'aux abords du plateau continental, l'otolithe poursuit sa croissance et une nouvelle marque s'inscrit matérialisant la métamorphose de leptocephale en civelle. La zone de croissance qui suit, correspond à la traversée du plateau continental. L'arrivée en estuaire s'inscrit par une double marque en bordure d'otolithe, appelée « zone de transition » et suivie d'une reprise de croissance de l'otolithe pour les civelles ayant séjourné en estuaire.

Les otolithes sont classés suivant 3 types (Fig. 2). Le type 1 correspond à l'absence de zone de transition « milieu marin et estuarien » ; le type 2, à la présence de cette zone de transition en bordure d'otolithe. Le type 3 témoigne d'un développement de l'otolithe après la transition en estuaire.

**Mesures des zones de croissance :** Les mesures (en  $\mu\text{m}$ ) des principales zones de croissance inscrites sur l'otolithe sont les suivantes (Fig. 3). La distance ( $R_m$ ) entre le nucleus et la métamorphose de leptocephale en ci-

velle, correspond à la croissance de l'otolithe pendant la traversée de l'Océan Atlantique. La distance ( $R_t$ ) depuis le nucleus jusqu'à la double marque qui matérialise la zone de transition en estuaire. Le rayon total de l'otolithe ( $R$ ) représente sa croissance de l'éclosion à la capture. Cette mesure inclut l'épaisseur ( $\epsilon$ ) de la zone de transition qui caractérise la traversée de l'estuaire. On calcule la distance ( $R_p = R_t - R_m$ ) correspondant à la traversée du plateau continental par les civelles.

**Traitement statistique :** Les 3 années d'échantillonnage ont été comparées. Pour déterminer si les différences observées sont significatives, pour la largeur des marques inscrites et la typologie, des tests statistiques ont été appliqués aux données. L'hypothèse nulle d'éga-

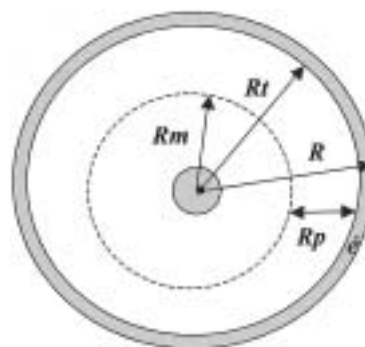


Fig. 3. – Paramètres mesurés dans les différentes zones de croissance inscrites sur les otolithes.

$R_m$  : distance entre le nucleus et la zone de métamorphose leptocephale-glass eels –  $R_t$  : distance entre le nucleus et la double marque –  $R$  : rayon total de l'otolithe –  $\epsilon$  : épaisseur de la zone de transition en estuaire –  $R_p$  : distance entre la métamorphose leptocephale-glass eels et la double marque.

*Parameters measured in the various zones of growth registered on otoliths.  $R_m$ : distance between nucleus and zone of leptocephalus-glass eels metamorphosis –  $R_t$ : distance between nucleus and double mark –  $R$ : total radius of the otolith –  $\epsilon$ : thickness of the zone of transition in estuary –  $R_p$ : distance between leptocephalus-glass eels metamorphosis and double mark.*

lité entre les échantillons a été testée. Les décisions statistiques ont été prises avec un risque d'erreur  $\alpha = 5\%$ .

Une analyse de variance à un facteur a permis de vérifier que les différences de longueur et de masse entre les années sont significatives. Pour étudier les variations des proportions des différents types d'otolithes au cours des 3 saisons de migration, un test du  $\chi^2$  de conformité a été utilisé.

Pour éliminer la variabilité individuelle liée au métabolisme de chaque civelle et mettre en évidence celle du phénomène étudié dans la comparaison des mesures des structures des otolithes, un estimateur rapport a été utilisé. La distance  $Rm$  est remplacée par le rapport  $Rm/R$  et  $Rp$  par  $Rp/R$  pour diminuer la variance au sein de l'échantillon. La variabilité inter-annuelle des mesures entre les 3 types d'otolithes est étudiée avec le test du rang médian à 2 niveaux de classification (Tate & Clelland 1959). Il s'agit de tester l'effet des mesures des otolithes suivant leurs types en se basant sur les médianes. Les informations otolithométriques sur l'année 2000 sont disponibles sur un faible effectif de civelles ce qui se traduit par un plan d'échantillonnage déséquilibré.

## RÉSULTATS

### Caractéristiques générales de l'échantillonnage

L'examen des caractéristiques biométriques montre, pour des civelles au même stade biologique, qu'il existe des différences entre les 3 saisons de migration (Tabl. I haut ; Fig. 4). Les variations inter-annuelles sont significatives aussi bien pour la longueur ( $F = 55,25 - ddl = 2 - p < 0,0001$ ) que pour la masse ( $F = 39,22 - ddl = 2 - p < 0,0001$ ). Les civelles de 2000 et 2002 sont plus lourdes et plus longues que celles de 2001. Les caractères biométriques des civelles de 2002 se si-

tuent en majorité au sommet du nuage de points alors que celles de 2001 se situent en bas. En 2000, les points sont en situation intermédiaire.

L'année 2001 se distingue également des 2 autres, par un pourcentage d'individus au stade  $V_B$  inférieur et un coefficient d'allométrie plus faible (civelles plus légères pour leur longueur). Leur caractéristiques otolithométriques présentent des tendances identiques à la biométrie (Tabl. I, bas). Les mesures des phases de croissance des otolithes sont inférieures en 2001 par rapport aux deux autres années. La marque de transition en bordure d'otolithe est bien visible sur les électronographies (Fig. 5). Elle permet de caractériser la transition en estuaire et de classer les otolithes en 3 groupes.

### Variations inter-annuelles

*Typologie des otolithes* – Le test du  $\chi^2$  réalisé sur ces données montre que l'hypothèse de conformité de la distribution est rejetée (Tabl. II), l'effectif des différents types d'otolithes est significativement différent entre les 3 échantillons, particulièrement en 2000.

Le tableau II montre que les 3 types d'otolithes ne se répartissent pas de la même façon au cours des 3 années : 2000 se distingue des 2 autres. En 2000 les otolithes de type 2 dominent dans l'échantillonnage alors qu'en 2001 et 2002, les otolithes de type 2 et 3 représentent des parts équivalentes dans l'échantillonnage. Les otolithes de type 1 sont faiblement représentés.

*Mesures des otolithes* – Le test du rang médian montre que les différences observées entre les mesures des otolithes  $R$ ,  $Rm/R$  et  $Rp/R$  sont significatives pour les années et les 3 types (Tabl. II). Ces

Table I. – Haut, Conditions d'échantillonnage et caractéristiques morpho-métriques générales des civelles des trois saisons de migration.

Top, Sampling conditions and glass eel morpho-metrics general characteristics for the three migratory seasons.

Bas, Mesures otolithométriques pour les trois saisons de migration et effectifs des différents types dans l'échantillonnage.

Bottom, Otolithometrics measurements for the three migratory seasons and number of the various types in the samples.

Date prélèvement	Date Nouvelle lune	Nombre d'individus	Longueur moyenne (cm) (Écart -type)	Poids moyen (g) (Écart -type)	Coefficient b $Y = aX^b$	% $V_B$
9 janvier 2000	9/01/2000	47	7,29 (0,36)	0,35 (0,06)	3,21	77,8
24 janvier 2001	24/01/2001	90	6,94 (0,41)	0,29 (0,06)	3,04	67
16 janvier 2002	13/01/2002	69	7,66 (0,42)	0,39 (0,08)	3,19	90

<i>Sagittae</i>	N	$Rm$ (écart-type)	$Rt$ (écart-type)	$Rp$ (écart-type)	$R$ (écart-type)	N	Type 1	Type 2	Type 3	$\chi^2$
Janvier 2000	36	110,9 (12,3)	180,5 (17,1)	69,6 (11)	185,1 (18,1)	36	11	21	4	$0,2 * 10^{-3}$
Janvier 2001	71	99,9 (8,95)	163,7 (15,5)	63,82 (14,5)	171,4 (15,2)	70	6	34	30	0,469
Janvier 2002	69	108,3 (9,52)	178,53 (17,4)	72,18 (14)	186,3 (15,8)	68	5	32	31	0,239
							$\chi^2$	0,003	0,518	0,015

Test de conformité sur les types d'otolithes  $\chi^2_{0,05} = 0,4 * 10^{-3}$   $ddl = 1$   $\chi^2_{0,05}$  théorique = 3,84



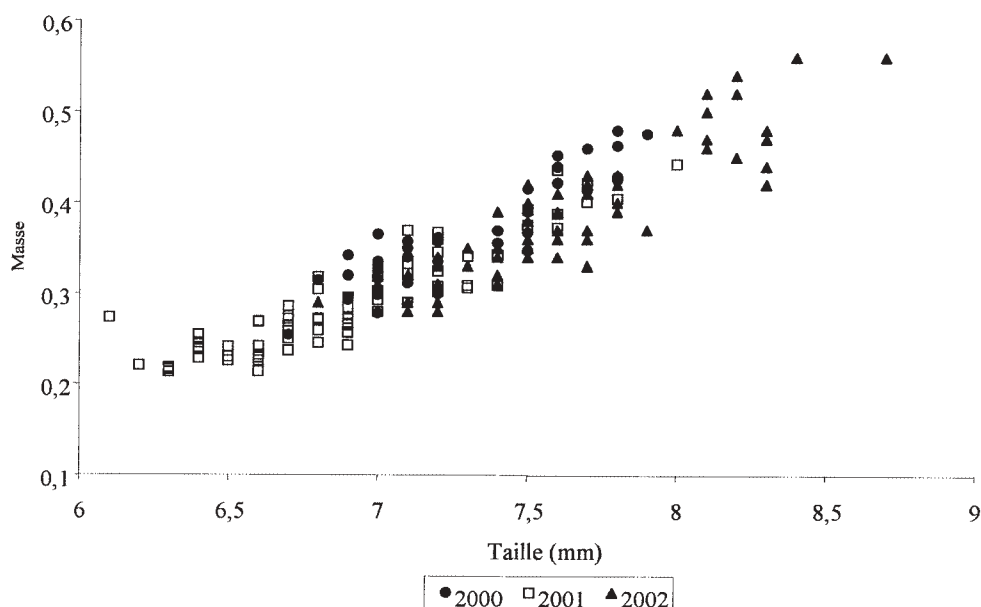


Fig. 4. – Nuage de points de la relation longueur-masse pour les civelles échantillonnées au cours des trois saisons de migration.

*Scatter plot of length-weight relationship for glass eels sampled during three seasons of migration.*

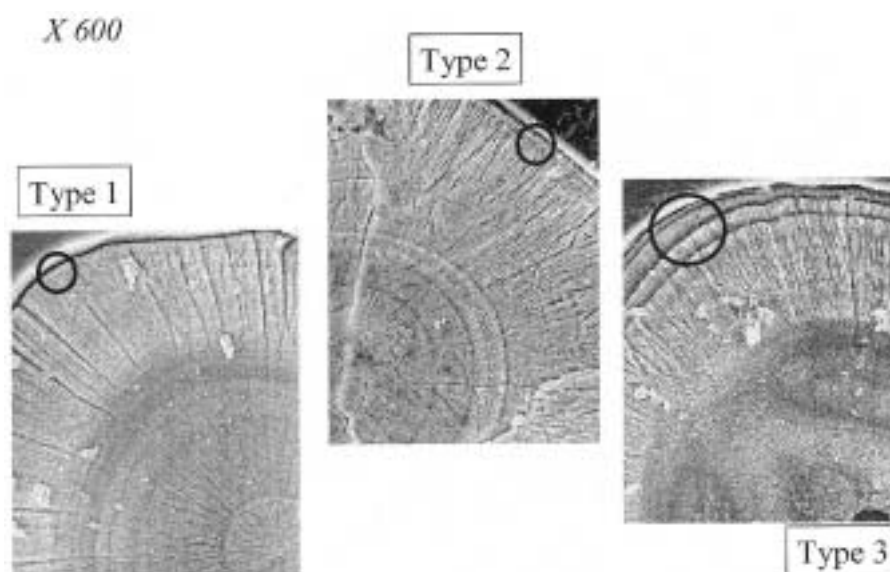


Fig. 5. – Classification des otolithes de civelles en 3 types en fonction de leur stade de développement.

Type 1 - Civelse n'ayant pas inscrit la marque de transition en estuaire – Type 2 Civelse présentant la marque de transition. – Type 3 Civelles ayant poursuivi sa croissance après la phase de transition.

*Classification of glass eel otoliths in 3 types according to their stage of development. Type 1– Glass eels not having registered the mark of transition in estuary – Type 2 Glass eels presenting the mark of transition – Type 3 Glass eels having continued its growth after the phase of transition.*

résultats traduisent une variabilité inter-annuelle de la croissance de l'otolithe au cours de la phase leptocéphale et civelle. Ainsi, on constate que du point de vue de la biométrie et des mesures de croissance de l'otolithe, 2000 et 2002 se ressemblent alors que d'un point de vue de la typologie

des otolithes se sont les années 2001 et 2002 qui présentent les même caractéristiques.

Ces résultats laissent supposer que les différences en terme d'effectif n'influencent pas la fiabilité de l'échantillonnage car l'année 2000 se distingue uniquement du point de vue de la typologie des

Table II. – Test du rang médian appliqué sur les médianes en fonction de l'année d'échantillonnage et des différents types d'otolithes.

*Test of the median rank applied to the medians according to the year and the various types of otolithes.*

		Type 1	Type 2	Type 3	$\chi^2$
<b>R</b>	2000	175	179,4		10,15
	2001	164,2	168,3	173,6	
	2002	192,2	188	185	
<b>Rp/R</b>	2000	0,36	0,37	0,36	9,85
	2001	0,43	0,37	0,36	
	2002	0,41	0,41	0,37	
<b>Rm/R</b>	2000	0,64	0,6	0,59	1,83
	2001	0,57	0,59	0,57	
	2002	0,59	0,57		

$\chi^2$  théorique = 9,49 ddl = 4 pour un risque  $\alpha = 0,05$ .

otolithes. Alors que 2001 se distingue des 2 autres années à la fois d'un point de vue biométrique et otolithométrique.

## DISCUSSION

Ces travaux montrent d'importantes fluctuations inter-annuelles des paramètres biologiques étudiés. Ceci suggère que les civelles qui arrivent au niveau de l'estuaire de l'Adour n'ont pas eu un passé larvaire identique d'une saison à l'autre au cours de leur traversée océanique.

### *Conditions de migration estuarienne*

D'après les travaux de Cieri & McCleave (2001), la marque de transition sur l'otolithe serait d'avantage d'ordre physiologique qu'environnementale. Cependant, les conditions d'entrée des civelles en estuaire conditionnent la vitesse de leur passage entre les 2 milieux. Des études antérieures sur les variations saisonnières de la typologie des otolithes, montrent de fortes différences de leurs proportions au cours de la saison de migration, avec une modification de la proportion des 3 types d'otolithes en fonction de leur date d'arrivée (de Casamajor *et al.* 2001). C'est pourquoi les 3 échantillonnages ont été réalisés, au moment de la nouvelle lune de janvier, afin de ne pas introduire de biais lié au cycle des saisons. Or, on observe une variabilité inter-annuelle significative. L'année 2000 se distingue des deux autres, par un pourcentage d'otolithes de type 1 fort et de type 3 faible. Ces différences pourraient s'expliquer, en partie, par des conditions environnementales plus ou moins favorables au moment de leur arrivée à l'embouchure de l'estuaire de l'Adour. En effet, un blocage thermique (faible température) ou hydrolo-

gique (crue) peut provoquer un blocage de la migration des civelles car les individus migrent uniquement quand les conditions environnementales sont favorables au déplacement vers les eaux continentales. Pendant ce temps, l'otolithe poursuit sa croissance tandis que la civelle est toujours en phase de jeûne et qu'elle vit sur ses réserves énergétiques (Pfeiler 1999). Sur les 3 saisons de migration étudiées, 2000 se caractérise par des conditions environnementales propices à la migration, sans blocage (de Casamajor & Prouzet 2001). Par contre, en 2001 et 2002, les conditions ont été beaucoup moins favorables. L'année 2001 est marquée par un recrutement particulièrement faible, avec des températures anormalement élevées pour la saison et une forte mortalité (de Casamajor & Prouzet 2002). Les civelles étaient en mauvaise condition, elles étaient maigres pour leur taille et très pigmentées. Ainsi, les individus échantillonnés ont pu séjourner une longue période en zone côtière avant de pénétrer en estuaire. Une forte différence thermique entre les eaux marines et continentales n'est pas favorable à la migration, de même qu'une forte chute de la température des eaux fluviales (Gandolfi *et al.* 1984). L'année 2002 est marquée par un blocage thermique (températures entre 2,5 et 5°C) de plus de 15 jours qui a stoppé la migration des civelles (de Casamajor & Prouzet 2003) et qui précède l'échantillonnage. Ainsi, les conditions environnementales au niveau de l'estuaire seraient prépondérantes sur les caractéristiques typologiques des otolithes.

### *Conditions de migration océaniques*

La variabilité inter-annuelle est observée aussi bien d'un point de vue biométrique qu'otolithométrique, pour ces 2 paramètres l'année 2001 se distingue des 2 autres. Les conditions de migration et de croissance des larves au cours de la traversée océanique pourraient être très différentes d'une année sur l'autre. Umezawa & Tsukamoto (1991) ont mis en évidence chez *A. japonica* l'influence de la température et de l'alimentation sur la formation des marques journalières dans les otolithes. Les facteurs d'origine océanique, comme les paramètres hydrodynamiques, physico-chimiques et nutritifs des masses d'eau dans l'Atlantique Nord pourraient expliquer, tout au moins en partie, cette variabilité inter-annuelle. Les travaux antérieurs (Désaunay & Guérault 1997) montrent une corrélation positive entre la croissance des larves léptocéphales et celle des otolithes. Par contre, cette corrélation n'existe pas pendant la phase civelle car elles cessent de s'alimenter et puisent sur leurs réserves, alors que les otolithes poursuivent leur croissance. Or, la zone de croissance de l'otolithe pendant la phase léptocéphale (*Rm*) représente la plus grande portion (en diamètre) de l'otolithe. Ceci expliquerait le fait que les caractéristiques otolithométriques et biométriques suivent des ten-

dances identiques en fonction des années. Ici, les conditions océaniques auraient été similaires en 2000 et 2002 et particulièrement défavorables en 2001. La croissance de l'otolithe varie en fonction de nombreux facteurs dont principalement, la température des masses d'eau mais également des disponibilités trophiques lors de la migration (Lecomte-Finiger 1999). Chaque zone de croissance présente des différences entre les 3 années, aussi bien le rayon total, le rayon à la métamorphose : leptocéphale – civelle, le rayon traversée du plateau. Ainsi, les rythmes de dépôt de l'otolithe seraient modifiés pendant toute la phase larvaire de l'Anguille même quand elle cesse de s'alimenter. Il est difficile de connaître avec exactitude le ou les facteurs responsables de ces fluctuations : origine trophique ou environnementale, action combinée. La modification inter-annuelle des courants en terme de direction et de vitesse pourrait également expliquer ces variations.

## CONCLUSIONS – PERSPECTIVES

Ces résultats montrent que le recrutement et la qualité des civelles à l'échelle locale sont conditionnés non seulement par les conditions environnementales au niveau de l'estuaire mais également par les conditions océaniques subies par les larves au cours de leur traversée de l'Atlantique Nord. Ces conditions sont probablement à l'origine de la variabilité inter-annuelle observée sur les 3 saisons de migration étudiées. Un examen plus approfondi des otolithes pourrait compléter les informations déjà collectées. L'examen des stries journalières, leur dénombrement et la mesure de leurs épaisseurs permettrait de voir si les différences de tailles résultent d'un temps de migration plus ou moins long ou bien d'une croissance de l'otolithe plus ou moins forte. Face à la variabilité observée, un échantillonnage sur un plus grand nombre d'années s'avère indispensable pour préciser et valider ces fluctuations. La mise en relation de ces résultats avec les variations de recrutement nécessite un recul sur une période beaucoup plus longue.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arai T, Otake T, Tsukamoto K 2000. Timing of metamorphosis and larval segregation of the Atlantic eels *Anguilla rostrata* and *Anguilla anguilla* as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Mar Biol* 137 : 39-45.
- Casamajor (de) MN 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 Dr. UPPA, 138p + Annexes.
- Casamajor (de) MN, Bru N, Prouzet P 1999. Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement vertical de migration de la civelle d'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Bull Fr Pêche Piscic* 355 : 327-347.
- Casamajor (de) MN & Prouzet P 2002. Campagne de pêche de la civelle sur l'estuaire de l'Adour en 2000/2001. Rap interne Ifremer 9p.
- Casamajor (de) MN, Prouzet P 2003. Campagne de pêche de la civelle sur l'estuaire de l'Adour en 2001/2002. Rap interne Ifremer 12p.
- Casamajor (de) MN, Prouzet P, Lazure P 2000. Identification des flux de civelles d'Anguille (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydrodynamiques de l'estuaire de l'Adour. *Aquat Living Resour* 13 : 411-420.
- Casamajor (de) MN, Lecomte-Finiger R, Prouzet P 2001. Passé larvaire des civelles *Anguilla anguilla* (Linné, 1758) en migration en zones côtière et estuarienne (Adour, golfe de Gascogne) à partir de l'examen des otolithes. *C R Acad Sc Paris Sér III*, 324 : 1011-1019.
- Castonguay M, Hodson PV, Couillard CM, Eckersley MJ, Dutil JD, Verreault G 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.
- Cieri MD, McCleave JD 2001. Validation of daily otolith increments in glass-phase American eels *Anguilla rostrata* (Lesueur) during estuarine residency. *J Exp Biol Ecol* 257 : 219-227.
- Dekker W 2003. Report of the ICES/EIFAC Working group on eels. Pasaia 7-11/10/2003, 210p.
- Désaunay Y, Guérault D 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae : a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. *J Fish Biol* 51 : 317-339.
- Elie P, Lecomte-Finiger R, Cantrelle I, Charlon N 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* L. (Poisson Téléostéen Anguilliforme). *Vie Milieu* 32 : 149-157.
- Gandolfi G, Pesaro M, Tongiorgi P 1984. Environmental factors affecting the ascent of elvers, *Anguilla anguilla* (L.), into the Arno River. – *Oebalia* 10 (N.S.) : 17-35.
- Grellier P, Huet J, Désaunay Y 1991. Stades pigmentaires de la civelle *Anguilla anguilla* (L.) dans les estuaires de la Loire et de la Vilaine. Rap IFREMER, DRV, 91.14-RH/Nantes, 18p.
- Haro AJ, Krueger WH 1987. Pigmentation, size and migration of elvers (*Anguilla rostrata* (Lesueur)) in a coastal Rhode Island stream, *Can J Zool* 66 : 2528-2533.
- Jessop BM 1998. Geographic and seasonal variation in biological characteristics of American eel elvers in the Bay of Fundy on the Atlantic coast of Nova Scotia. *Can J Zool* 76 : 2172-2185.
- Knights B 2001. Speculations on adaptative life strategies of Northern Hemisphere anguillids and the causes of decadal variations in recruitment. CEFAS "Detecting environmental change. Science & Society".



- Lavin A, Bryden H, Garcia MJ, Parilla G 1994. Decadal time changes in the circulation at 24°N in the Atlantic Ocean. *ICES-CM-1994/S.3*, 16p
- Lecomte-Finiger R 1994. Contribution de l'otolithométrie à l'étude de la dynamique de la migration larvaire de l'Anguille européenne *Anguilla anguilla*. *Bull Fr Pêche Piscic* 335 : 17-31.
- Lecomte-Finiger R 1999. L'otolithe : la « boîte noire » des Téléostéens. *Ann Biol* 38 : 107-122.
- Lecomte-Finiger R, Yahyaoui A 1989. La microstructure de l'otolithe au service de la connaissance et du développement larvaire de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*. *C R Acad Sci* 308 : 1-7.
- Lecomte-Finiger R, Razouls C 1981. Influence des facteurs hydrologiques et météorologiques sur la migration anadrome des civelles dans le Golfe du Lion. *Cah Lab Montereau* 12 : 13-16.
- Moriarty C 1996. The decline in catches of European eelver 1980-1992. *Arch Pol Fish* 4 : 245-248.
- Nilo P, Fortin R 2001. Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'Anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Univ Québec, Dept Sc Biol, 298p.
- Pannella G 1971. Fish daily growth layers and periodical patterns, *Science* : 1124-1127.
- Pfeiler E 1999. Developmental physiology of elopomorph leptocephali. *Com Bioch Ans Physiol* A123 : 113-128.
- Prouzet P, Sanchez F, Lazure P 2000. Modèle hydrodynamique à une dimension de l'estuaire de l'Adour : mise au point et calibration, application à la modélisation de la migration de la civelle dans l'estuaire. Rap interne Ifremer, DRV/RH/LHA.
- Tate MW, Clelland RC 1959. Nonparametric and shortcut statistics in the Social, Biological and Medical sciences. Interstate Printers and Publishers, Danville, Illinois, 168p.
- Taylor AH, Stephens JA 1998. The North Atlantic Oscillation and the latitude of the Gulf Stream. *Tellus* 50 : 134-142.
- Umezawa A, Tsukamoto K 1991. Factors influencing otolith increment formation in Japanese eel, *Anguilla japonica* T. & S., elvers. *J Fish Biol* 39 : 211-223.

Received October 18, 2004  
Accepted February 9, 2005