

**PREMIÈRE CARACTÉRISATION DES HISTOIRES DE VIE
DES ANGUILLES (*ANGUILLA ANGUILLA*) OCCUPANT LA ZONE AVAL
DU BASSIN VERSANT GIRONDE-GARONNE-DORDOGNE :
APPORT D'UNE MÉTHODE DE MICROCHIMIE**

par

Françoise DAVERAT (1), Pierre ÉLIE (1) & Michel LAHAYE (2)

RÉSUMÉ. - Les mouvements des fractions de populations d'anguille du bas bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne et de sa zone côtière au travers de masses d'eau de différentes salinités ont été étudiés au moyen d'une méthode de microchimie des otolithes. Cette étude avait pour but de caractériser des types d'histoire de vie des anguilles et d'évaluer l'ampleur des échanges de fractions de population entre compartiments de salinité distincte. Ainsi, trente-cinq anguilles provenant du bassin d'Arcachon, des Pertuis charentais, de l'estuaire de la Gironde et de la Garonne ont été analysées avec la méthode de spectrométrie à dispersion d'onde (WDS). Sur chaque otolithe un transect d'analyses correspondant à l'histoire de vie de chaque poisson a été réalisé afin de rendre compte de la teneur en strontium et en calcium depuis le primordium jusqu'au bord de l'otolithe. Ces premiers résultats montrent que l'on peut distinguer cinq types d'histoires de vie. Trois d'entre eux sont associés à des individus sédentaires à leur lieu de capture. Deux autres sont associés à un changement majeur de milieu halin des anguilles au cours de leur vie.

ABSTRACT. - Microchemistry contribution to a first approach to the diversity of life histories of eels from the lower part of the Gironde-Garonne-Dordogne watershed.

By the means of microchemistry of otolith techniques, we intended to follow the movements of eel populations from the lower part of Gironde-Garonne-Dordogne watershed, through water masses of various salinity in order to both characterise the type of life strategy and evaluate the level of exchanges between fractions of population. Therefore, thirty five eel otoliths from Arcachon lagoon, Pertuis charentais, Gironde estuary (mesohaline zone) and Garonne river (freshwater zone without tide influence) were collected and analysed with the Wavelength Dispersive Spectrometry technique. On each otolith a transect analysis was performed from the primordium to the edge, which corresponds to the life history of each eel. The level of the ratio strontium/calcium shown along the transects reveals the migration through different water masses from the birth to date of capture. As a matter of fact, this ratio Sr/Ca is supposed to reach the value of 8×10^{-2} for an otolith of a fish living in a marine habitat while freshwater eels have a ratio of 2×10^{-2} , and estuarine get values in between those extreme levels. The first results reveal that among individuals sampled in the different habitats covered by the study, a total of five life history types can be distinguished. Three types of life history is related to fish that has been living in the same place where it has been collected. All the individuals from Garonne and from Arcachon have Sr/Ca profiles in relation to either entirely freshwater or entirely marine life. 70% of the sample from Pertuis Charentais and from Gironde estuary have Sr/Ca profiles related to estuarine life. Meanwhile, two other life history types are related to 30% of individuals from the Gironde estuary and consistent with a change in environment during their growth phase. Some of them have experimented a first part of life in a freshwater environment before moving to an estuarine environment while the other type has experimented a first part of life in a marine environment before moving to an estuarine environment.

Key words. - Anguillidae - *Anguilla anguilla* - European eel - France - Otolith - Sr/Ca.

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L. 1758) est un poisson migrateur amphihalal qui se reproduit en milieu océanique dans la mer des Sargasses. Les larves leptocéphales traversent l'Atlantique pour rejoindre les côtes de l'Europe et de l'Afrique du Nord où elles se métamorphosent en civelles. Les civelles colonisent tous les milieux littoraux (marais, herbiers, lagunes) et les bassins versants. La phase de croissance dans les milieux continentaux (estuaires, fleuves, rivières,...) qui dure de 4 à 18 ans (Bertin, 1951 ; Tesch, 1979, 1991), est suivie par une deuxième métamorphose dite "argente" qui conduit les anguilles à la maturation sexuelle,

complètement achevée au terme de leur retour sur leur aire de ponte en mer des Sargasses. Cette espèce est actuellement menacée, ses stocks sont en déclin. La chute d'abondance continentale amorcée depuis au moins deux décennies a été confirmée à l'échelle de son aire de répartition par un travail de synthèse (Eifac-Ciem) mené par Moriarty (1997). Ce constat amène de plus en plus les équipes scientifiques à cibler leurs efforts sur la compréhension et la qualification du déroulement de la phase continentale du cycle à l'échelle des unités de fonctionnement que représentent les bassins versants. Ce type de connaissances est en effet à même de contri-

(1) CEMAGREF, 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Gazinet cedex, FRANCE. [francoise.daverat@cemagref.fr]

(2) CeCAMA ICMCB 87, Avenue du Docteur Schweitzer, 33608 Pessac cedex, FRANCE.

buer à l'amélioration des modalités de gestion de l'espèce et de ses habitats continentaux.

Or, il semble apparaître de plus en plus nettement que, lors de la phase continentale du cycle, différentes stratégies d'histoire de vie (notamment localisations successives au sein des habitats disponibles) peuvent apparaître (Adam et Élie, 1994). L'hétérogénéité spatiale des valeurs de la sexe ratio laisse penser que de telles différences pourraient être liées au sexe (Oliveira *et al.*, 2001). Cette hypothèse reste cependant à vérifier et à relativiser vis-à-vis de l'influence des milieux sur la croissance et les caractéristiques des individus y résidant (Mounaix et Fontenelle, 1994 ; Adam, 1997).

Ce type de considérations doit être pris en compte dans l'analyse qualitative des fractions de population (âges, sexes, stades) et quantitative du stock en place à l'échelle d'un bassin versant avec la nécessité d'identifier les caractéristiques des anguilles "produites" par les divers compartiments de ce bassin. À ce sujet, il apparaît nettement que pour les zones profondes (fleuve, estuaire, zone côtière), les connaissances, tant biologiques que méthodologiques, sont très fragmentaires (Elie, 1984 ; Fernandez-Delgado, 1989).

La microchimie des otolithes s'est révélée très utile pour étudier des aspects de l'écologie de l'espèce difficilement accessibles par des méthodes de marquage ou de télémétrie. Depuis une vingtaine d'année, les otolithes ont été utilisés en tant que marqueurs internes, fournissant des informations sur les paramètres environnementaux du milieu de vie du poisson (température, salinité, composition fine), tout au long de la durée de la vie de l'individu (Campana, 1999 ; Campana *et al.*, 2000). En effet, les modifications des caractéristiques de l'eau du milieu de vie sont enregistrées par bio-minéralisation dans le carbonate de calcium de l'otolithe. En choisissant des marqueurs pertinents des caractéristiques du milieu de vie, les types de migrations d'une espèce à une échelle individuelle peuvent être donc être appréhendés (Secor, 1999).

Le rapport strontium (Sr) sur calcium (Ca) est un marqueur qui a été largement utilisé pour suivre les mouvements des poissons diadromes au travers de masses d'eaux de salinité différentes (Secor et Rooker, 2000 ; Secor *et al.*, 2001). En effet, ce rapport est un indicateur pertinent du niveau de la salinité du milieu. Des corrélations entre la teneur en strontium de l'eau et la salinité permettent de reconstruire les salinités rencontrées par le poisson au cours de la formation et de la croissance de l'otolithe. Ce type de corrélations est spécifique d'une espèce et peut être affecté par l'ontogénie (Bath *et al.*, 2000)

Cet outil a été largement utilisé pour étudier la biologie de l'anguille (Tzeng *et al.*, 1997, 2000, 2002, 2003 ; Tsukamoto *et al.*, 1998 ; Arai *et al.*, 1999).

À partir d'anguilles européennes et japonaises collectées dans différents milieux de vie continentaux, les auteurs distinguent ainsi des anguilles d'eau douce, des anguilles estuariennes et des anguilles marines.

Tzeng *et al.* (1997, 2000) décrivent ainsi, pour l'anguille européenne et pour l'anguille japonaise, trois types d'histoires de vie différentes à partir des courbes exprimant la valeur du rapport Sr/Ca depuis le primordium jusqu'au bord de l'otolithe. Ces types correspondent à une histoire de vie marine, une histoire en eau douce et une histoire de vie correspondante à une anguille estuarienne. Sans définir de types, Tsukamoto et Arai (2001) montrent que pour des anguilles japonaises capturées en mer, en estuaire et en eau douce, dans des sites différents, il existe plusieurs histoires de vie. En particulier, parmi les anguilles estuariennes, les auteurs mettent en évidence des profils différents d'un individu à l'autre qui correspondraient à des comportements différents : anguilles sédentaires et anguilles migrant d'un milieu à un autre.

Notre travail s'inscrit dans un projet d'étude du fonctionnement des fractions de populations occupant la zone aval et côtière du système fluvio-estuarien de la Gironde, Garonne et Dordogne. Il s'agit ici, à l'échelle de la zone aval d'un bassin versant de caractériser les fractions de population occupant les différents milieux de vie (littoraux, estuariens, fluviaux).

L'importance des échanges de population entre les milieux littoraux, estuariens et fluviaux pour ces fractions de populations sera mesurée. La distinction entre les anguilles en phase de croissance, résidentes des milieux considérés, et les anguilles en transit anadrome ou catadrome sera discutée.

Dans cet ensemble, les objectifs spécifiques de ce premier travail sont les suivants :

1. Déterminer à l'échelle de l'aval d'un bassin versant, la diversité des différentes stratégies d'histoires de vie présentes dans cette fraction de population.
2. Évaluer la possibilité de distinguer les anguilles des différents milieux.
3. Interpréter ces signatures en terme de comportement sédentaire ou nomade.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'échantillonnage

La zone géographique prise en compte (Fig. 1) va des premiers obstacles majeurs en amont (barrages de Tuillères sur la Dordogne et Golfech sur la Garonne) aux zones côtières du Pertuis Charentais sous influence du panache estuarien de la Gironde. La zone d'étude est caractérisée par un gradient de salinité allant de 330/00 à 00/00, très fluctuant à l'échelle de la marée et de la saison (Castaing, 1981 ; Sottolichio, 1999). L'estuaire de la Gironde se situe parmi les plus grands d'Europe et comprend trois zones : polyhaline, mésohaline et oligohaline. L'influence de la marée dynamique est ressentie jusqu'en zone fluviale, sur la Dordogne et sur la

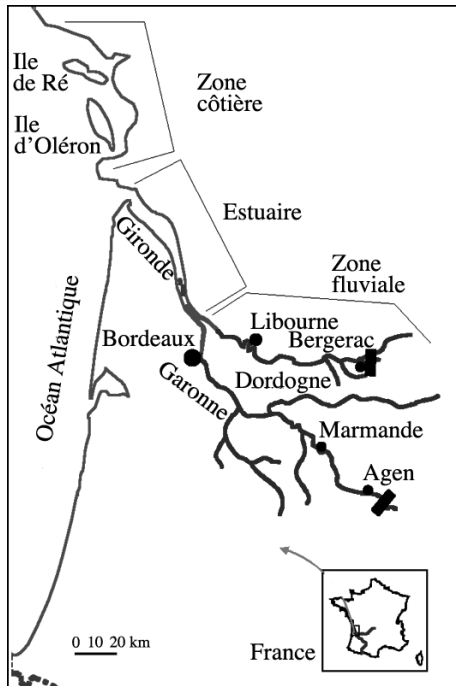


Figure 1. - Zone géographique prise en compte dans cette étude. [Location of sites involved in the present study.]

Garonne. Les anguilles colonisent l'ensemble de ces milieux (herbiers, parcs à huîtres du Pertuis Charentais, vasières et îles de l'estuaire, zone fluviale de la Garonne et de la Dordogne).

Matériel examiné

Trente-cinq anguilles ont été collectées dans l'ensemble des différents milieux de la zone d'étude : fleuve (Garonne), estuaire (Gironde), zone côtière est de l'île d'Oléron et Bassin d'Arcachon au cours de l'année 2002 (Tab. I). Les anguilles de Garonne, de la côte de l'île d'Oléron et du Bassin d'Arcachon ont été pêchées à l'aide de nasses, et celles de l'estuaire à l'aide d'un chalut benthique grande ouverture à petit maillage. Dix anguilles provenant du bassin d'Arcachon, cinq anguilles provenant des parcs à huîtres de l'île d'Oléron, sept anguilles provenant de la Garonne, pêchées entre Marmande et Agen, ainsi que treize anguilles pêchées dans toutes les zones de l'estuaire ont été analysées.

Les anguilles ont été euthanasiées dans une solution d'eugenol, mesurées, pesées et disséquées. Le sexe a été déterminé par examen macroscopique des gonades.

La procédure de préparation des échantillons ainsi que les conditions d'analyses sont analogues à celles qui sont décrites par Tzeng *et al.* (1997).

Préparation des otolithes

Les otolithes sont extraits dans des conditions limitant

toute contamination en utilisant des instruments en plastique ou en verre rincés à l'acide nitrique et à l'eau miliQ. Ils sont stockés à sec dans des microtubes décontaminés à l'acide nitrique et rincés à l'eau miliQ. Les otolithes droits sont enrobés dans une résine époxy.

La face convexe des otolithes est polie dans la direction dorso-ventrale selon le plan sagittal, jusqu'à atteindre le plan du primordium. Les échantillons sont dégrossis au papier de carbure de silicium 1200 puis, polis successivement avec de la suspension diamant de grain $3\ \mu\text{m}$, $1\ \mu\text{m}$ puis $0,25\ \mu\text{m}$. Les échantillons sont nettoyés au bain ultrasons d'eau bidistillée à chaque changement de grain. Une image des otolithes a été prise afin de faciliter le positionnement des lignes de mesures à la microsonde.

Analyse microchimique

Les échantillons sont ensuite métallisés avec une couche d'or d'épaisseur $2,5\ \text{nm}$ afin de permettre l'écoulement des charges.

La microsonde X Cameca SX 100 a été utilisée pour déterminer la ratio massique et atomique Sr/Ca dans les otolithes des anguilles. Les paramètres utilisés pour la microsonde sont les suivants :

Les standards utilisés sont le SrFCl sur le TAP pour le strontium et l'andradite sur le PET pour le calcium. Le temps de comptage sur la raie La du strontium est de 150 s et de 60 s sur la raie $K\alpha$ du calcium. Le bruit de fond du strontium n'est mesuré que du côté droit du pic pour éviter l'interférence avec le calcium. Le temps de comptage est le même que sur le pic, pour chaque point, afin d'optimiser la statistique de comptage. Les conditions d'excitation sont de 15 KeV, 10 nA, le diamètre du faisceau a été fixé à $8\ \mu\text{m}$. Les points de mesure espacés de $20\ \mu\text{m}$ ont été pris selon un axe primordium partie postérieure de l'otolithe.

Pour chaque otolithe, la série de points obtenue permet de calculer le rapport massique Sr/Ca (wt%). En prenant des points d'analyse à intervalle de $20\ \mu\text{m}$ partant du primordium et recoupant perpendiculairement les marques de croissance jusqu'au bord (rayon de l'otolithe), le transect de mesures correspond à la durée de la vie du poisson de l'éclosion jusqu'à sa capture.

Estimation de l'âge

Afin d'estimer l'âge des anguilles, les otolithes ont été nettoyés, décalcifiés à l'EDTA 5%, colorés au bleu de toluidine 5% selon une méthode adaptée (Adam, 1997 ; Graynoth, 1999). Après ce traitement, la lecture sous lumière transmise permet de visualiser les zones bleues opaques qui sont interprétées comme des marques saisonnières d'arrêt de croissance. Pour chaque individu, ces marques ont été comptées le long de l'axe d'analyses Sr/Ca, permettant d'attribuer chaque point d'analyse à un âge donné.

Lieu de pêche	Réf.	Taille (mm)	Poids (g)	Sexe	Âge	Type d'histoire de vie	Âge du changement de milieu
Bassin d'Arcachon	1	272	29	M	4	Marine	
Bassin d'Arcachon	2	291	45	I	4	Marine	
Bassin d'Arcachon	4	277	30	I	4	Marine	
Bassin d'Arcachon	5	262	25	I	6	Marine	
Bassin d'Arcachon	6	295	41	F	5	Marine	
Bassin d'Arcachon	7	340	62	F	7	Marine	
Bassin d'Arcachon	8	285	41	I	5	Marine	
Bassin d'Arcachon	9	274	30	I	6	Marine	
Bassin d'Arcachon	10	375	94	F	10	Marine	
Bassin d'Arcachon	3	620	492	F	15	Marine	
Oléron	19	685	535	F	16	Estuarienne	
Oléron	20	420	127	F	6	Marine	
Oléron	24	555	272	F	4	Marine	
Oléron	28	382	86	F	4	Marine	
Oléron	29	367	85	F	5	Estuarienne	
Gironde z polyhaline	40	640	502	F	7	Résidente	
Gironde z polyhaline	48	540	265	F	8	Nomade type 1	3
Gironde z polyhaline	53	420	102	F	8	Résidente	
Gironde z mésohaline	rej5	335	60	F	8	Résidente	
Gironde z polyhaline	57	320	450	I	8	Nomade type 1	2
Gironde z polyhaline	70	550	388	F	7	Nomade type 1	2
Gironde z polyhaline	272	406	104	F	6	Résidente	
Gironde z mésohaline	273	402	93	F	7	Nomade type 1	2
Gironde z mésohaline	274	438	158	M	6	Résidente	
Gironde z mésohaline	275	542	361	F	8	Nomade type 1	3
Gironde z mésohaline	276	455	177	F	6	Nomade type 1	3
Gironde z polyhaline	ov01 est6	535	266	F	10	Fluviale argentée	
Garonne	352	557	265	F	13	Fluviale	
Garonne	353	419	132	F	16	Fluviale	
Garonne	382	537	276	F	7	Fluviale	
Garonne	383	360	65	F	5	Fluviale	
Garonne	384	457	142	F	5	Fluviale	
Garonne	385	502	188	F	7	Fluviale	
Garonne	386	465	135	F	6	Fluviale	
Estuaire Gironde Blaye	381	570	442	F	10	Nomade type 5	3

Tableau I. - Caractéristiques des anguilles ayant servi à l'analyse. M : Male ; F : Femelle ; I : Indéterminé. [Analysed specimens characteristics. M: Male; F: Female; I: Indetermined fish.]

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Les résultats sont présentés sous forme d'un profil qui représente les valeurs du rapport Sr/Ca en fonction de la distance par rapport au centre de l'otolithe, chaque point étant placé à 20 μm du précédent. Sur ces courbes, les marques d'arrêt de croissance saisonnières ont été placées en correspondance au transect d'analyses en abscisse (Morisson,

2003). La première partie de la courbe de 0 à 200 μm (Fig. 2), qui correspond à la vie de l'anguille depuis l'éclosion jusqu'à la métamorphose en civelle, est commune à tous les individus. Cette première partie forme un pic à une distance moyenne de 150 μm du primordium, vraisemblablement associé à la métamorphose leptocéphale-civelle. En effet, la chute du strontium correspondrait au remaniement des protéines de l'anguille. Pour tous les échantillons analysés, la

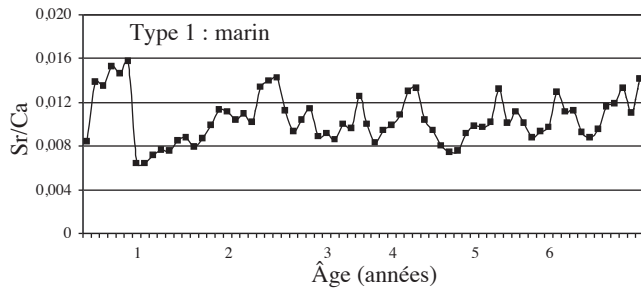


Figure 2. - Profil individuel de Sr/Ca d'une anguille pêchée dans le Bassin d'Arcachon (l'abscisse est l'âge avec pour référence la marque civelle équivalent à un an). [Changes in otolith Sr/Ca along a line transect from the core to the edge of sagittal otolith of a specimen collected in Arcachon lagoon.]

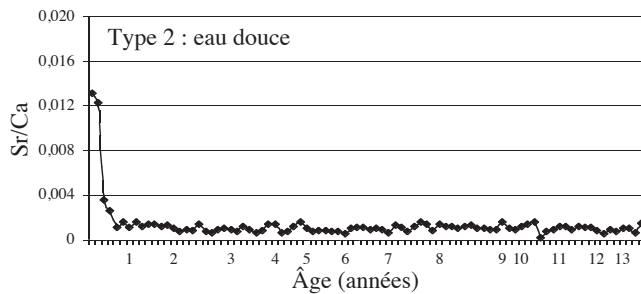


Figure 3. - Profil individuel correspondant à une anguille pêchée en Garonne (l'abscisse est l'âge avec pour référence la marque civelle équivalent à un an). [Changes in otolith Sr/Ca along a line transect from the core to the edge of sagittal otolith of a specimen collected in Garonne river.]

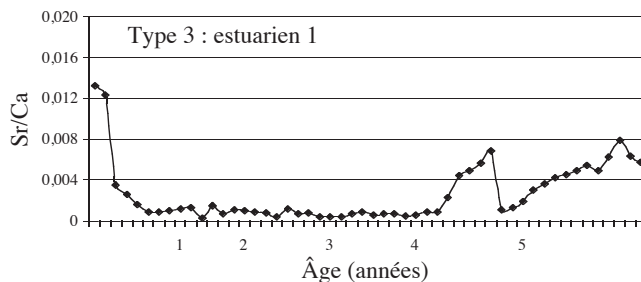


Figure 4. - Profil individuel correspondant à une anguille pêchée en zone mésohaline de l'estuaire de la Gironde (l'abscisse est l'âge avec pour référence la marque civelle équivalent à un an). [Changes in otolith Sr/Ca along a line transect from the core to the edge of sagittal otolith of a specimen collected in the Gironde estuary.]

partie centrale correspondante au stade leptocéphale a une teneur en strontium élevée (environ 8×10^{-3}). La ratio Sr/Ca atteint ensuite un pic (jusqu'à 16×10^{-3}) associé à la métamorphose, puis chute de façon importante, phénomène aussi observé par Tzeng (1996), Arai *et al.* (1997) et Tsukamoto et Arai (2001). En dehors du cœur de l'otolithe, une grande variété de valeurs de Sr/Ca ont été observées pour les anguilles provenant d'habitats très différents.

Parmi tous les individus analysés provenant de quatre compartiments différents, on peut nettement distinguer cinq types de profils Sr/Ca.

Les dix individus provenant du bassin d'Arcachon ont des valeurs de Sr/Ca comprises entre 3×10^{-3} et 8×10^{-3} avec des oscillations entre ces deux valeurs extrêmes (Fig. 2). Ceci suggère que ces individus soient résidents de ce milieu côtier qui comporte des oscillations saisonnières de la salinité dues aux apports d'eau douce de la Leyre en période de crue. Ainsi, les profils Sr/Ca trouvés chez des anguilles provenant du Bassin d'Arcachon nous permettent de les classer en type marin ou résidentes marines.

Dans le cas des sept individus pêchés en Garonne les valeurs du rapport Sr/Ca sont très stables au cours du temps et inférieures à une valeur de 2×10^{-3} (Fig. 3). Ce résultat semble montrer que ces anguilles ont migré en milieu fluvial assez rapidement au stade civelle (aucune trace de résidence estuarienne) et ont résidé dans un milieu d'eau douce jusqu'au moment de leur capture. Ces anguilles ont des profils de type fluvial, ce sont des résidentes fluviales.

Les individus pêchés en estuaire ne présentent pas tous des profils du rapport Sr/Ca identiques. Parmi les onze individus pêchés en estuaire, il semble que l'on puisse distinguer quatre histoires de vie différentes.

La première est représentée par cinq individus qui présentent un profil comportant des valeurs très contrastées, allant de 2×10^{-3} à 8×10^{-3} , décrivant des oscillations de grande amplitude entre le minimum et le maximum de la même forme que le profil individuel présenté en figure 6. La caractéristique commune de ces sept profils est la forme de la courbe décrivant des oscillations de plus ou moins grande amplitude. Parmi cette catégorie d'individus, les poissons de la zone aval de l'estuaire ont des valeurs de Sr/Ca plus élevées que les poissons de zone amont. D'autre part, les oscillations de la valeur du rapport Sr/Ca observées ont une plus grande amplitude pour les zones aval. Cette histoire de vie peut s'interpréter par une résidence en milieu estuarien. En effet, les fluctuations du Sr/Ca correspondent aux différentes zones de croissance de l'otolithe ce qui a été déjà observé pour des anguilles résidentes des milieux saumâtres en mer Baltique (Tzeng *et al.*, 1999). Or, la salinité dans l'estuaire subit des fluctuations saisonnières importantes avec une plus grande amplitude en aval qu'en amont, fluctuations pouvant aller jusqu'à 20 points de salinité de différence entre les périodes d'étiages et les périodes de crues pour les zones les plus contrastées (Castaing, 1981). On peut émettre l'hypothèse que ces anguilles soient résidentes dans les zones estuariennes d'où elles ont été prélevées et que les fluctuations de salinité qu'elles subissent en résidant dans l'estuaire sont reflétées par les valeurs du Sr/Ca de leurs otolithes. On les appellera des anguilles résidentes d'estuaire.

La seconde histoire de vie est illustrée par un deuxième type de profil rencontré parmi les anguilles provenant de l'estuaire de la Gironde. Ce profil présente une première partie de courbe avec des valeurs de Sr/Ca faibles et stables, inférieures à 2×10^{-3} puis, une deuxième partie pour laquelle

les valeurs du Sr/Ca oscillent entre 2 et 8×10^{-3} (Fig. 4). Ce type a été rencontré chez six individus pêchés dans des zones aval de l'estuaire de la Gironde. De telles évolutions des valeurs du Sr/Ca peuvent s'interpréter comme suit : la civelle après son arrivée en estuaire passe rapidement en eau douce puis revient en estuaire après une longue période. Cela peut correspondre à des civelles ayant effectué une migration soit vers la partie la plus amont de l'estuaire ou la partie fluviale ou bien encore vers des petits cours d'eau se jetant directement dans l'estuaire avec un séjour de plus d'un an dans ces habitats, et qui seraient ensuite retournées passivement ou activement en estuaire aval pour y achever leur croissance.

Le troisième type d'histoire de vie rencontré en estuaire est associé au profil rencontré pour l'instant chez un seul individu pêché en estuaire amont (Fig. 5). La première partie de la courbe, correspondant à la vie continentale, présente des valeurs de Sr/Ca élevées oscillant entre 8×10^{-3} et 14×10^{-3} puis, la valeur de Sr/Ca chute brusquement pour atteindre 4×10^{-3} . Celle-ci se maintient ensuite à ce niveau en oscillant faiblement. Le changement de forme de la courbe peut s'interpréter comme un changement de milieu et émettre l'hypothèse que cette anguille a d'abord migré au stade civelle vers un milieu marin où elle a résidé la première

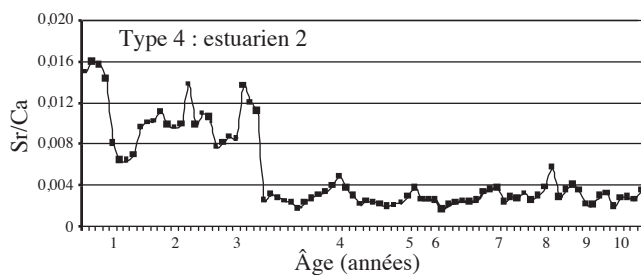


Figure 5. - Profil individuel correspondant à une anguille pêchée en zone oligohaline (l'abscisse est l'âge, avec pour référence la marque civelle correspondant à 1 an). [Changes in otolith Sr/Ca along a line transect from the core to the edge of sagittal otolith of a specimen collected in the oligohalin zone of the estuary.]

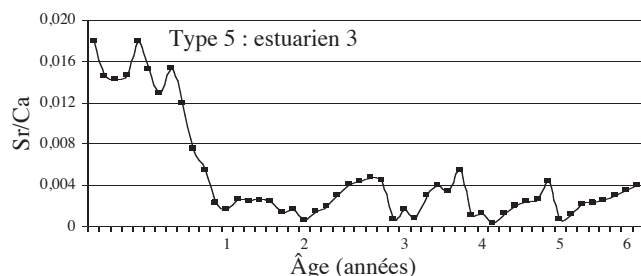


Figure 6. - Profil individuel correspondant à une anguille pêchée en zone mésohaline (l'abscisse est la distance en microns à partir du premier point). [Changes in otolith Sr/Ca along a line transect from the core to the edge of sagittal otolith of a specimen collected in the Gironde estuary.]

partie de sa vie avant de rejoindre la zone mésohaline ou oligohaline du système estuarien. Pour ces anguilles ayant changé de milieu halin au cours de leur phase de croissance, ce changement intervient au plus tôt au bout d'un an et au plus tard au bout de trois ans.

Le quatrième type d'histoire de vie correspond à une seule anguille pêchée en zone oligohaline de l'estuaire qui présentait un profil Sr/Ca de type fluvial, il s'agissait d'une anguille femelle argentée d'avalaison (Durif, 2003).

Parmi les cinq individus pêchés dans les parcs à huîtres de l'île d'Oléron, trois ont des profils de type marin avec des valeurs du Sr/Ca comprises entre 8×10^{-3} et 12×10^{-3} . Ces profils peuvent être interprétés comme une résidence des anguilles considérées dans la zone côtière de l'île d'Oléron. Les deux autres individus ont des profils de type estuarien avec des valeurs de Sr/Ca comprises entre 2×10^{-3} et 4×10^{-3} . Ces résultats sont plus difficilement interprétables. Il est probable que ces anguilles aient effectué leur croissance dans une zone estuarienne ouverte sur les Pertuis (Seudre, Charente), puis qu'elles aient été pêchées dans les parcs peu de temps après leur déplacement de l'estuaire vers les Pertuis. Les anguilles pêchées dans le Bassin d'Arcaçhon, présentent une homogénéité d'histoires de vie, qui semble montrer une sédentarité dans cet hydrosystème. Parmi les anguilles pêchées en un même point du Pertuis Charentais, autre type de milieu marin, deux stratégies coexistent avec possibilité de changement de milieu de croissance ou sédentarité.

DISCUSSION

Tsakamoto *et al.* (2002) ont déjà montré que les anguilles européennes n'ont pas une croissance obligatoire en eau douce et que certains individus passent toute leur phase de croissance en eau saumâtre ou marine. Les résultats présentés dans cette étude confirment la présence d'anguilles qui n'ont effectué aucun passage en eau douce au cours de leur cycle de vie.

À l'échelle d'un bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne, il existe plusieurs types de profils Sr/Ca qui correspondent à un séjour dans des milieux de salinité différentes lors de la phase de croissance et donc à plusieurs types d'histoires de vie. Dans cette étude, on retrouve les trois grands types décrits par Tzeng *et al.* (2003) comme marin (type 1), fluvial (type 2) et estuarien (type 3), ainsi que deux autres types d'histoires de vie correspondant à des individus nomades (type 4 et 5).

C'est dans le compartiment estuarien que l'on retrouve la plus grande diversité de profils Sr/Ca. Si sur un ensemble de treize poissons, six d'entre eux sont supposés présenter une certaine sédentarité, sept individus ont expérimenté un grand

changement de milieu de vie (du point de vue de la salinité).

Au niveau du bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne, il semble ressortir que le signal Sr/Ca permette de mettre en évidence deux stratégies différentes avec des individus qui se sédentarisent pendant leur phase de croissance et d'autres qui changent de milieu de vie. Ce phénomène a déjà été exposé par Tsukamoto et Arai (2001). Cependant, ces auteurs ont observé des échantillons provenant de localisations très discontinues et sans lien physique. Ces changements de milieu sont plus faciles à observer chez des anguilles prélevées en estuaire, milieu de transition entre la zone côtière et la zone fluviale. La présence de deux types d'anguilles nomades, c'est-à-dire migrant de l'aval vers l'amont ou migrant de l'amont vers l'aval tout en changeant de compartiment halin, semble montrer que la colonisation des milieux par l'anguille en phase de croissance n'est pas forcément anadrome et répondrait plutôt à un phénomène de diffusion. La présence simultanée d'anguilles nomades et d'anguilles sédentaires a été évoquée pour d'autres espèces telles que *Anguilla rostrata*, *A. diffenbachi* et *A. australis*. Arai (2003, comm. pers.) a mis en évidence des changements multiples de milieu halin avant la phase d'argenture pour quelques rares individus. Or, pour les individus de la Gironde présentés ici, un seul changement est observé. Ce changement unique, apparaissant pour une tranche d'âge assez réduite (au bout d'un à deux ans), suggère une forte influence de la taille et implique une modification du comportement. L'estuaire, zone très productive présente un attrait trophique majeur pour les anguilles.

Du point de vue de l'écologie de l'espèce, l'avantage de plusieurs stratégies de croissance semble évident puisque la coexistence d'individus "nomades" et d'individus sédentaires augmente les chances de survie et d'optimisation de l'exploitation de l'espace et des ressources trophiques. La population des anguilles d'un bassin versant se structurerait donc de façon plus complexe que celle qui est admise à l'heure actuelle. En effet, cette dernière consiste, à partir d'un contingent de civelles entrant dans un bassin versant donné, en une colonisation de celui-ci par un mouvement des individus uniquement aval-amont, donc unidirectionnel.

Dans une situation pour laquelle, les stocks d'anguilles européennes ont été fortement réduits, le repli des fractions de populations vers l'aval des bassins versants, zones très productives, apparaît comme une solution de résilience pour l'espèce comme le suggère Tsukamoto *et al.* (2002). Ces auteurs montrent que la migration de l'anguille dans des milieux continentaux est probablement une capacité acquise au cours de l'évolution pour coloniser une plus grande aire de répartition et que la boucle de migration à partir d'un ancêtre marin peut être plastique. En situation de stock à un niveau très bas, les anguilles pourraient accomplir leur cycle de vie sans passer par une migration en eau douce.

Les premiers résultats présentés ici ont des conséquences

pour la gestion de l'espèce. En effet, l'évaluation de la proportion d'individus "nomades" pourrait donner l'échelle de gestion efficace pour les fractions de population d'anguilles du bassin versant (Secor, 1999 ; Secor *et al.*, 2001). L'évaluation de la production de chaque contingent "nomade" et sédentaire, en termes de quantité et de qualité d'individu a aussi des répercussions sur la dynamique de population en son entier (sexe ratio, fécondité).

Remerciements. - Cette étude bénéficie d'un soutien financier du GIS GRISAM. Nous tenons également à remercier les pêcheurs professionnels qui ont participé à l'échantillonnage et en particulier M. Lalanne, M. Demeiné, M. Huguet et M. Lavigne, ainsi que M. Bigot et M. Ballion marins du Cemagref pour leur aide technique.

RÉFÉRENCES

- ADAM G., 1997. - L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758) : dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. Thèse de doctorat, 353 p. Univ. Paul-Sabatier, Toulouse III.
- ADAM G. & P. ÉLIE, 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.
- ARAI T., OTAKE T., LIMBONG D. & K. TSUKAMOTO, 1999. - Early life history and recruitment of the tropical eel *Anguilla bicolor pacifica*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Mar. Biol.*, 133: 319-326.
- ARAI T., OTAKE T. & K. TSUKAMOTO, 1997. - Drastic changes in otolith microstructure and microchemistry accompanying the onset of metamorphosis in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 161: 17-22.
- BATH G.E., THORROLD S.R., JONES C.M., CAMPANA S.E., MCLAREN J.W. & J.W.H. LAM, 2000. - Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64: 1705-1714.
- BERTIN L., 1951. - Les anguilles. Variation, croissance, euryhalinité, toxicité, hermaphroditisme juvénile et sexualité, migrations, métamorphoses (Bibliothèque scientifique ed.), 188 p. Paris: Payot.
- CAMPANA S.E., 1999. - Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 188: 263-297.
- CAMPANA S.E., CHOUINARD G.A., HANSON J.M., FRECHET A. & J. BRATTEY, 2000. - Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fish. Res.*, 46: 343-357.
- CASTAING P., 1981. - Le transfert à l'Océan des suspensions estuariennes, cas de la Gironde. Thèse de doctorat, 530 p. Univ. Bordeaux I.
- DURIF C., 2003. - La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Thèse de doctorat, 359 p. Univ. Paul-Sabatier, Toulouse III.
- ÉLIE P. & C. RIGAUD, 1984. - Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine : examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome. Tomes 2 et 3. 172 p. Rapport Cemagref/Univ. Rennes 1.

- FERNANDEZ-DELGADO C.H., HERRERA M. & M. BELLIDO, 1989. - Age and growth of yellow eels, *Anguilla anguilla*, in the estuary of the Guadalquivir river (South-West Spain). *J. Fish Biol.*, 34: 561-570.
- GRAYNOTH E., 1999. - Improved otolith preparation, ageing and back-calculation techniques for New Zealand freshwater eels. *Fish. Res.*, 42: 137-146.
- MORIARTY W., 1997. - Management of the European eel. *Fish. Bull.*, 15: 1-110.
- MORISSON W.E., SECOR D.H. & P.M. PICCOLI, 2003. - Estuarine habitat use by Hudson river american eels as determined by otolith strontium:calcium ratios. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 33: 87-99.
- MOUNAIX B. & G. FONTENELLE, 1994. - Anguilles estuariennes et fluviales : apports de l'otolithométrie. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335: 67-80.
- OLIVEIRA K., MCCLEAVE J.D. & G.S. WIPPELHAUSER, 2001. - Regional variation and the effect of lake: river area on sex distribution of American eels. *J. Fish Biol.*, 58: 943-952.
- SECOR D.H., 1999. - Specifying divergent migrations in the concept of stock: the contingent hypothesis. *Fish. Res.*, 43: 13-34.
- SECOR D.H. & J.R. ROOKER, 2000. - Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fish. Res.*, 46: 359-371.
- SECOR D.H., ROOKER J.R., ZLOKOVITZ E. & V.S. ZDANOWICZ, 2001. - Identification of riverine, estuarine, and coastal contingents of Hudson River striped bass based upon otolith elemental fingerprints. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 211: 245-253.
- SOTTOLICHIO A., 1999. - Modélisation de la dynamique des structures turbides (bouchon vaseux et crème de vase) dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de doctorat, 184 p. Univ. Bordeaux I.
- TESCH F.W., 1979. - The Eel: Biology and Management of anguillid Eels. 434 p. London: Chapman and Hall.
- TESCH F.W., 1991. - Anguillidae. In: The Freshwater Fishes of Europe (Hoestlandt H., ed.), pp. 288-437. Wiesbaden: AULA-Verlag.
- TSUKAMOTO K., AOYAMA J. & M.J. MILLER, 2002. - Migration, speciation and the evolution of diadromy in anguillid eels. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 1989-1998.
- TSUKAMOTO K. & T. ARAI, 2001. - Facultative catadromy of the eel *Anguilla japonica* between freshwater and seawater habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 220: 265-276.
- TSUKAMOTO K., NAKAI I. & W.V. TESCH, 1998. - Do all freshwater eels migrate? *Nature*, 396: 635.
- TZENG W.N., 1996. - Effects of salinity and ontogenetic movements on strontium: calcium ratios in the otoliths of the Japanese eel *Anguilla japonica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 199: 111-122.
- TZENG W.N., IIZUKA Y., SHIAO J.C., YAMADA Y. & H. OKA, 2003. - Identification and growth rates comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Aquaculture*, 216: 77-86.
- TZENG W.N., SEVERIN K.P. & H. WICKSTROM, 1997. - Use of otolith microchemistry to investigate the environmental history of European eel *Anguilla anguilla*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 149: 73-81.
- TZENG W.N., SEVERIN K.P., WICKSTROM H. & C.H. WANG, 1999. - Strontium bands in relation to age marks in otoliths of European eel *Anguilla anguilla*. *Zool. Stud., Taipei*, 38: 452-457.
- TZENG W.N., SHIAO J.C. & Y. IIZUKA, 2002. - Use of otolith Sr:Ca ratios to study the riverine migratory behaviors of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 245: 213-221.
- TZENG W.N., WANG C.H., WICKSTROM H. & M. REIZENSTEIN, 2000. - Occurrence of the semi-catadromous European eel *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. *Mar. Biol.*, 137: 93-98.