

Marseille Fos



L'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans le canal d'Arles à Bouc

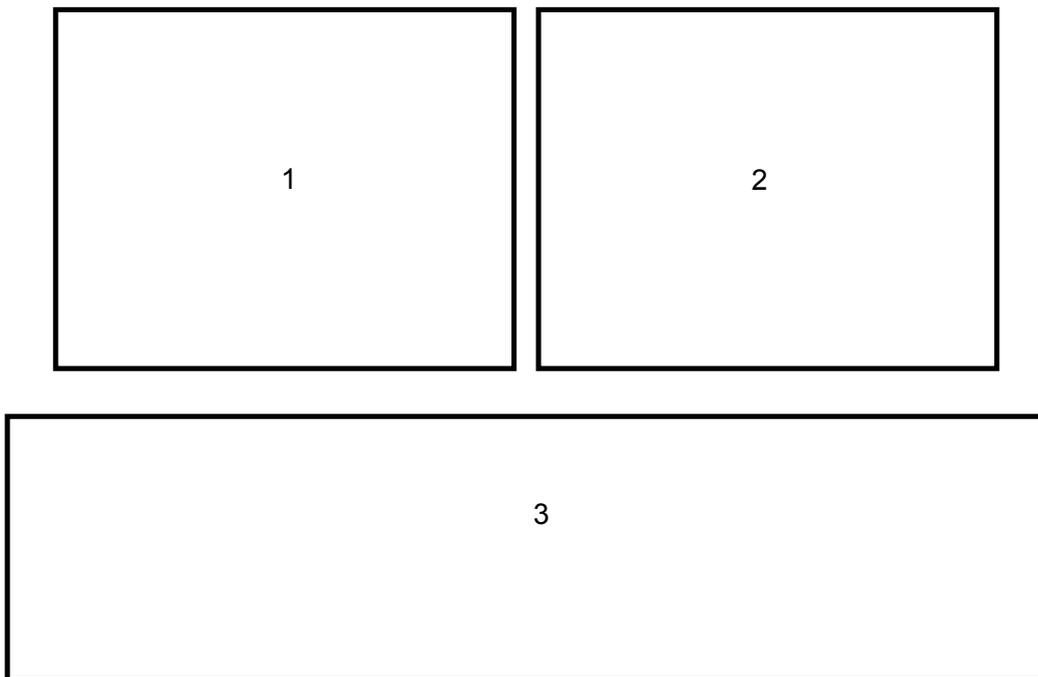
État des lieux et premiers résultats de la passe-piège installée sur le barrage à sel

Campagne 2011/2012



CAMPTON P., CRIVELLI A.J., LABEL I.

juillet 2012



- 1 : Anguilles capturées dans la passe piège (MRM)
- 2 : Dispositif de capture (MRM)
- 3 : Barrage anti-sel de Fos sur Mer vu de l'aval (MRM)

Commande n° CO1107655H

RESUME

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la mise en place du plan de gestion des espaces naturels du Grand Port Maritime de Marseille alors que les enjeux concernant l'Anguille européenne tant au niveau du bassin Rhône-Méditerranée (PLAGEPOMI) qu'au niveau européen (règlement CE n°1100/2007) sont particulièrement importants.

Une passe piège à anguilles a été installée le 19 octobre 2007 par le Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) sur le barrage anti-sel de Fos-sur-Mer situé sur le canal d'Arles à Bouc, l'objectif étant de favoriser la recolonisation de ce canal et des marais situés aux alentours par les civelles dont la migration anadrome était visiblement freinée par l'ouvrage.

Lors de la campagne de suivi 2011/2012 (1^{er} avril 2011 au 31 mars 2012), 22 848 anguilles et 4 963 civelles ont été capturées puis relâchées en amont du barrage dans le canal d'Arles à Bouc.

Ainsi, les flux migratoires des anguillettes en 2011 sont comparables à ceux des années précédentes : très peu d'individus capturés en janvier et février, puis augmentation de l'activité migratoire de mai à novembre alors que la température de l'eau est supérieure à 12°C.

Le profil de la migration des civelles est similaire à celui des anguillettes (remontée en grande quantité (2 366 individus) au mois de novembre 2011 en raison des importantes précipitations qui ont eu lieu à cette période). En 2012, très peu d'anguillettes et de civelles ont été capturées en janvier février (résultat identique aux années précédentes de suivi). Les remontées sont plus importantes au mois de mars, liées au réchauffement de l'eau du canal.

La taille moyenne des individus capturés à la passe est inférieure à 300 mm et la majorité des civelles mesure entre 50 et 79 mm avec un stade de pigmentation assez avancé.

Les pêches réalisées dans le canal d'Arles à Bouc afin de suivre sa recolonisation par les anguilles ont montré de très faibles captures par unité d'effort. On observe une diminution par rapport aux pêches réalisées en 2007, 2008, 2009 et 2010. Les anguilles pêchées étaient en majorité infectées par le nématode *Anguillicola crassus*. En 2012, les pêches seront réalisées du 8 au 13 octobre.

La recolonisation par les anguilles du canal d'Arles à Bouc et des marais avoisinant *via* le fonctionnement de la passe piège du barrage anti-sel ne peut s'effectuer que sur du long terme (plusieurs années). Il est donc nécessaire de continuer le suivi les années à venir notamment pour cerner les facteurs conditionnant la migration des anguilles.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CONTEXTE DE L'ETUDE	2
I. Contexte biologique	2
I.1. Présentation de l'Anguille européenne (Anguilla anguilla)	2
I.1.1. Taxonomie et répartition	2
I.1.2. Cycle de vie	2
I.1.3. Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles	5
I.2. Identification des menaces	7
I.2.1. Les menaces naturelles	7
I.2.2. Les menaces d'origine anthropique	9
I.3. Situation actuelle du stock d'Anguille européenne	11
II. Contexte institutionnel	13
II.1. Le règlement européen n° 1100/2007 en faveur de l'Anguille	13
II.1.1. Plan de gestion national	13
II.1.2. Volet local Rhône Méditerranée	14
II.2. DCE, SDAGE, Code de l'environnement et Loi sur l'eau	14
II.2.1. La Directive Cadre Européenne sur l'eau	14
II.2.2. Le SDAGE	14
II.2.3. Code de l'environnement, LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques n° 2006/1772 du 30/12/2006)	15
II.3. Le PLAGEPOMI	17
II.4. Le Grenelle de l'environnement	18
II.5. Le plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau	19
III. Contexte géographique	20
III.1. Le canal d'Arles à Bouc	20
III.2. Le barrage anti-sel	21
III.3. La passe piège à anguilles	21
METHODOLOGIE	22
I. Suivi des anguilles de la passe	22
I.1. Fonctionnement du système de capture	22
I.2. Protocole de suivi de la passe	22
I.2.1. Intervention sur la passe-piège	22
I.2.2. Traitement des anguilles et des civelles lors des relèves de la passe-piège	22
I.2.3. Analyses des civelles en laboratoire	23
I.2.4. Relève des paramètres du milieu	23
I.2.5. Lecture de l'âge et parasitisme des anguillettes	23
I.2.6. Autres analyses	24
II. Pêches d'évaluation dans le canal	25
II.1. Méthode et stratégie d'échantillonnage	25
II.2. Traitement des anguilles capturées	27
II.2.1. Évaluation du parasitisme à <i>Anguillicola crassus</i>	27
II.2.2. Indice d'argenteure	27

RESULTATS ET INTERPRETATIONS	28
I. Captures de la passe piège	28
I.1. Fonctionnement de la passe piège	28
I.1.1. Période de suivi	28
I.1.2. Fréquence de suivi	28
I.1.3. Perméabilité du bac de captures	29
I.2. Caractérisation de la migration des anguilles	30
I.2.1. Déroulement de la migration	30
I.2.2. Influence des facteurs environnementaux	32
I.2.3. Caractérisation des individus	33
I.3. Caractérisation de la migration des civelles	36
I.3.1. Déroulement de la migration	36
I.3.2. Influence des facteurs environnementaux	38
I.3.3. Caractérisation des individus	39
II. Colonisation du canal d'Arles à Bouc	41
II.1. Conditions d'échantillonnage	41
II.2. Données antérieures	42
II.3. Analyse des résultats	42
II.3.1. Captures par unité d'effort (CPUE)	42
II.3.2. Caractérisation de la population du canal	43
II.3.3. Autres captures	47
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	48
REFERENCES	49
LISTE DES FIGURES	56
LISTE DES TABLEAUX	58
ANNEXES	

INTRODUCTION

Suite au constat du déclin prononcé du stock européen d'anguilles (diminution de plus de 50 % depuis les années 1980 pour les anguilles et de 95 % pour les civelles), mais également des indices de reproduction et d'échappement sur l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce, l'Union Européenne a établi un règlement (règlement CE1100/2007 du 18/09/2007) visant à ramener le volume du stock d'anguilles à ses niveaux historiques et à permettre la migration des civelles (ICES, 2006 ; Parlement Européen, 2006 ; Feunteun, 2002). Chaque Etat-membre doit mettre en œuvre les mesures de gestion et d'évaluation des résultats adaptées aux situations locales. Le plan français (qui inclut le volet Rhône-Méditerranée) a ainsi été approuvé par l'Union Européenne le 15 février 2010.

En particulier, le suivi des captures de passes à anguilles doit permettre de mieux connaître la dynamique migratoire de l'espèce, d'améliorer et de qualifier le recrutement et de collecter des données qui alimenteront le « tableau de bord Anguille » du bassin Rhône-Méditerranée et plus largement le réseau de surveillance européen de cette espèce.

De 1993 à 2003, l'objectif principal du Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée était le retour de l'Alose sur le Bas-Rhône en aval de l'Ardèche et ses affluents de rive droite (Gardon, Cèze, Ardèche). Cet objectif a été atteint et fin 2003, le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) du bassin Rhône-Méditerranée & Corse (RMC) a validé le deuxième volet 2004-2009 du Plan Migrateurs. Il prévoyait l'extension du programme aux affluents de rive gauche du Rhône et aux fleuves côtiers méditerranéens ainsi qu'aux autres espèces amphihalines, dont l'Anguille (COGEPOMI RMC, 2004). Le PLAN de GESTION des POISSONS Migrateurs (PLAGEPOMI) 2010-2014 a été signé par le préfet coordonnateur de bassin le 16 décembre 2010 et les objectifs définis pour l'Anguille reprennent les dispositions du volet Rhône-Méditerranée du plan de gestion Anguille de la France. Ainsi, sur le plan de la restauration de la continuité écologique des cours d'eau, des zones d'actions prioritaires et des ouvrages prioritaires ont été définis. Il est également envisagé de mettre en place des dispositifs de suivi sur des rivières et lagunes index (COGEPOMI RMC, 2011).

Le Grand Port Maritime de Marseille a mis en place depuis 2007 son premier plan quinquennal de gestion des espaces naturels (PGEN) de la couronne agri-environnementale de la zone industrielle et portuaire de Fos-sur-Mer. L'objectif principal de ce plan de gestion est de conserver la diversité des paysages, des habitats et des espèces. Afin d'y parvenir, le PGEN se décline en un plan d'actions sectoriel qui répond aux objectifs à atteindre (objectifs permettant eux-mêmes d'atteindre l'objectif principal) :

- Maintien d'un état de conservation satisfaisant les habitats et les espèces ;
- Gestion de la ressource en eau et des zones humides ;
- Maintien des activités traditionnelles respectueuses de l'environnement (chasse, pêche, agriculture) ;
- Communication sur la gestion des milieux et du site ;
- Amélioration des connaissances.

Une des actions prioritaires est la mise en place d'une passe-piège à anguilles sur le barrage anti-sel situé sur le canal d'Arles à Bouc (construite en octobre 2007) afin de faciliter la recolonisation de ce canal par l'Anguille, mais aussi de recueillir des informations précieuses sur la dynamique de population de l'espèce dans les hydrosystèmes d'eau douce côtiers méditerranéens aujourd'hui peu connue.

La passe piège fait l'objet d'un suivi par l'Association MRM depuis son installation en octobre 2007 (Campton *et al.*, 2009a ; Campton *et al.*, 2010 ; Campton *et al.*, 2011). Le présent document synthétise les résultats du suivi qui s'est déroulé du mois d'avril 2011 au mois d'avril 2012.

CONTEXTE DE L'ETUDE

I. Contexte biologique

I.1. Présentation de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

I.1.1. Taxonomie et répartition

L'Anguille fait partie de la super classe des Ostéichthyens et du super ordre des Elopomorphes, un taxon de Téléostéens phylogénétiquement ancien. Le genre *Anguilla* compte 15 espèces dans le monde, dont deux se localisent dans l'Atlantique Nord : l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (fig.1) et l'Anguille américaine (*Anguilla rostrata*), qui ne diffèrent physiquement que par leur nombre de vertèbres (Ege, 1939 in Imbert, 2008).



Figure 1 : Anguille européenne (ONEMA)

Même si des hybridations sont possibles entre les deux espèces (Daemen *et al.*, 2001 ; Wirth & Bernatchez, 2001), les récents travaux concernant la diversité génétique tendent à montrer une ségrégation bien établie entre les deux espèces (Als *et al.*, 2011).

L'Anguille européenne fait partie des trois espèces thalassoques présentes en France, avec le mulot porc (*Liza ramada*) et le flet commun (*Platichthys flesus*). Elle présente une large distribution géographique, de l'Europe septentrionale (Islande, îles Feroe) en passant par l'Europe occidentale et méridionale (Açores, Canaries, Maroc) et l'ensemble du bassin méditerranéen (annexe 1). Elle est présente sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse (RM & C) avec des densités qui diminuent en s'éloignant de la mer (Chancerel, 1994 ; Elie & Rigaud, 1984 ; Ximenes *et al.*, 1986 ; Tzeng *et al.*, 1995 ; Feunteun *et al.*, 1998).

Adulte, elle mesure de 30 cm à 1 m (1,5 m au maximum), pèse jusqu'à 3 kg et présente un fort dimorphisme sexuel. Les mâles sont de plus petite taille (30 à 40 cm) ce qui implique que toutes les anguilles supérieures à 50 cm sont des femelles (Bruslé & Quignard, 2006). L'Anguille passe la majeure partie de sa vie (4 à 12 ans) dans les eaux continentales. On la rencontre par ailleurs dans des milieux aussi variés que les fleuves, les rivières, les lacs de plaine ou bien encore dans les eaux saumâtres des lagunes (Crivelli, 1998).

I.1.2. Cycle de vie

L'Anguille est le seul grand migrateur thalassotoque européen. Cette espèce amphihaline de type catadrome a un cycle de vie unique et encore mystérieux sur de nombreux points, *a fortiori* en région méditerranéenne (fig.2).

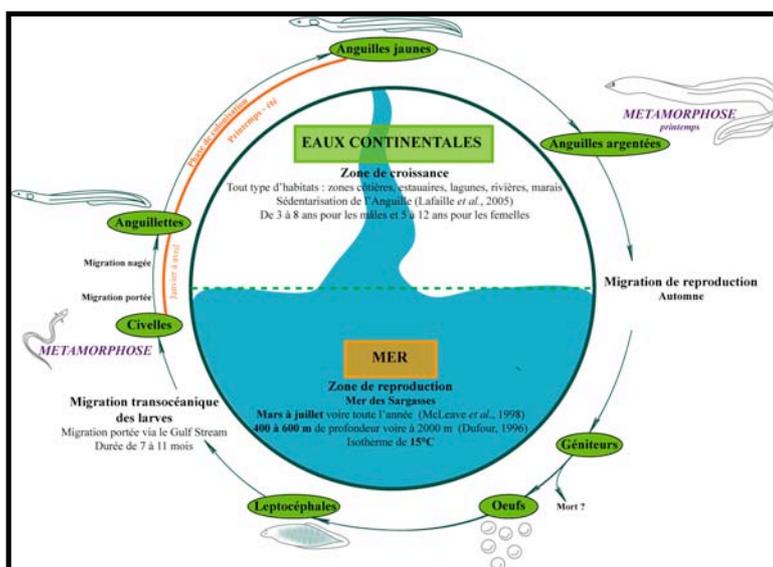


Figure 2 : Cycle de vie de l'Anguille (MRM)

✓ **L'acte de ponte**

La ponte se déroulerait entre mars et juillet selon certains, toute l'année selon d'autres (McLeave *et al.*, 1998 ; Tesch & Wegner, 1990), à une profondeur entre 400 et 600 mètres et à un isotherme de 15°C. Pour d'autres encore, la ponte pourrait avoir lieu bien plus profondément, aux environs de 2 000 mètres (Robins *et al.*, 1979 ; Dufour, 1996). La physiologie des reproducteurs (peau épaisse, pupilles dilatées, ligne latérale marquée) et la nécessité de fortes pressions pour déclencher la libération des gamètes en milieu expérimental laissent supposer que la reproduction s'effectue en effet à des profondeurs importantes (plusieurs centaines de mètres) dans la zone épipélagique (Klecker *et al.*, 1983).

L'endroit exact de cette reproduction n'est pas connu, mais se localiserait dans la mer des Sargasses. Il est communément admis que cette aire de ponte est unique et que l'ensemble des anguilles européennes appartient au même stock, formant ainsi une population panmictique (Wirth & Bernatchez, 2001 ; Als *et al.*, 2011), autrement dit une population où tous les géniteurs sont susceptibles de se croiser et de se reproduire au hasard.

On ignore ce que deviennent les adultes après la reproduction, l'hypothèse la plus vraisemblable étant qu'ils meurent tous et donc, que ce poisson ne se reproduira qu'une seule fois dans sa vie (espèce sémelpare) (Tesch, 1977 ; Westerberg, 1979 in Acou, 2006).

✓ **Stade leptocéphale**

On suppose que les œufs pondus sont pélagiques, qu'après éclosion, les leptocéphales, en forme de feuille de saule (fig.3), se nourrissent de plancton et sont portées par les courants océaniques (Gulf-Stream) de manière passive tout en effectuant des migrations verticales dans la colonne d'eau (Tesch & Wegner, 1990).

La dispersion des larves se fait aléatoirement (par les courants océaniques atlantiques venant longer les côtes européennes). Cependant, d'après l'analyse de l'ADN nucléaire, il pourrait exister plusieurs groupes. Il se distinguerait un groupe « mer du Nord », un « groupe atlantique » et un « groupe méditerranéen » (Wirth & Bernatchez, 2001).

Figure 3 : Leptocéphale (cpie authie)



Ces milliers de larves leptocéphales accomplissent ainsi un voyage de 6 000 km pendant 200 jours selon les uns et 470 à 560 jours selon les autres (Tesch *et al.*, 1986 ; Tesch & Niermann, 1992 ; Lecomte Finiger, 1994 ; Antunes & Tesch, 1997 ; McLeave *et al.*, 1998 ; Tesch, 1998).

Le courant des Açores (composante Nord de la convergence subtropicale) conduit alors une partie des larves vers la Méditerranée. Cette phase de migration océanique reste cependant floue puisque des particules inertes situées dans le Golf Stream mettent 3 ans à effectuer la même traversée (Kettle & Haines, 2006).

✓ **Stade civelle**

À l'approche du plateau continental et à une longueur moyenne de 6 cm, les leptocéphales subissent leur première métamorphose. Leur corps s'allonge et devient cylindrique, c'est le stade civelle (fig.4). D'abord transparentes, elles entament une migration anadrome influencée par plusieurs facteurs environnementaux (température, dessalure, lune...) et cessent de s'alimenter.



Figure 4 : Civelles (MRM)

Cette migration est passive dans un premier temps, utilisant les courants de marée (transport tidal sélectif) puis active par la suite. Elle a lieu essentiellement de janvier à juin sur la façade méditerranéenne française (Finiger, 1976). Le pic d'abondance en civelles au niveau des Saintes-Maries-de-la-Mer (commune de l'estuaire du petit Rhône) est observé entre janvier et mars (Crivelli *et al.*, 2009). Les civelles se pigmentent progressivement jusqu'à atteindre le stade anguille jaune (Elie *et al.*, 1982, *in* Edeline, 2005).

La totalité des individus ne migre pas vers des zones de croissance plus en amont. En effet, certains d'entre eux (sous l'influence de multiples facteurs) se sédentarisent dans les estuaires ou les eaux de transitions littorales (Daverat *et al.*, 2005), alors que d'autres migrent vers des zones de croissance plus en amont (jusqu'à 1 000 m d'altitude), ou alternent entre les secteurs d'eau douce et d'eau salés.

✓ **Stade anguille jaune**

En général, on parle d'anguille jaune (fig.5) lorsque l'individu en question atteint une certaine taille (au-delà de 30-40 cm) (Tesch, 2003). En deçà, on parle d'« anguillettes ». Le stade « anguille jaune » correspond à la phase au cours de laquelle l'anguille se différencie sexuellement, qu'elle acquiert la taille et les réserves nécessaires à la migration de ponte et à la maturation des gonades (Van den Thillart *et al.*, 2004 ; Van Ginneken *et al.*, 2005 *in* Edeline, 2005).



Figure 5 : Anguille jaune (MRM)

Les anguilles jaunes sont généralement sédentarisées, mais des conditions hydroclimatiques particulières (obligeant les anguilles à changer de territoire) peuvent provoquer des mouvements migratoires. Elles effectuent leur croissance aussi bien dans les milieux côtiers que dans les estuaires, marais, fleuves, rivières et ruisseaux.

✓ **Stade anguille argentée**

Au terme de sa période continentale, l'Anguille subit une métamorphose (l'argenture) qui accompagne l'acquisition de la maturité sexuelle (fig.6). Cette métamorphose intervient à un moment particulier, déterminé notamment par la croissance des individus (plus la croissance est rapide plus cette métamorphose intervient tôt) (Adam *et al.*, 2008). L'argenture marque la fin de la phase de croissance.

Des changements physiologiques (changement de couleur, augmentation de la taille des yeux, de la taille des nageoires pectorales et de l'épaisseur de la peau...) préparent l'Anguille à son retour vers la mer des Sargasses. Il s'effectue à l'âge de 4 à 20 ans pour les femelles et 2 à 15 ans pour les mâles, ce qui correspond à des tailles comprises entre 50 et 100 cm pour les femelles et 35 à 46 cm pour les mâles (Durif *et al.*, 2009, *in* Van den Thillart *et al.*, 2009).



Figure 6 : Anguille argentée (MRM)

La dévalaison des anguilles débute généralement à l'automne et se poursuit jusqu'au début du printemps. Les anguilles dévalent en se laissant porter par le courant de l'eau. Elles l'utilisent comme stimulus à leur dévalaison, on parle de rhéotaxie (Bruijs & Durif, 2009 ; Crivelli, 1998). Le pic de dévalaison est différent selon la situation de la zone de croissance des individus au niveau de l'aire de répartition de l'espèce. Ainsi, pour les individus se situant au centre de l'aire de répartition et sur les côtes méditerranéennes, ce pic de migration de dévalaison interviendrait entre l'automne et l'hiver (Gosset *et al.*, 2000 ; Amilhat *et al.*, 2009).

1.1.3. Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles

✓ **Capacités de nage et de franchissement**

L'Anguille possède des capacités de nage inférieures aux autres espèces migratrices. Un obstacle franchissable pour les salmonidés par exemple pourra être infranchissable pour les anguilles et à l'inverse, un obstacle infranchissable pour les salmonidés pourra être franchissable sans difficulté par les anguilles. Il en est de même pour les dispositifs de franchissement : beaucoup de passes à poissons conçues pour les salmonidés ou aloses ne seront pas adaptées aux anguilles en raison notamment des courants importants qui y transitent.

L'Anguille présente une nage de type ondulatoire avec des performances de nage liées à la morphologie de son corps, dont la flexibilité est importante et homogène (anguilliforme). La capacité de nage des anguilles diffère selon leur taille et donc leur stade de développement. Les individus les plus grands présentent les capacités de nage les plus importantes. Pour une anguille présentant une taille de l'ordre de 8 cm, la vitesse maximale de nage est de 0,5 m/s contre 1,14 m/s pour un individu de 60 cm. Les capacités de franchissement d'une civelle pour un écoulement laminaire et un substrat lisse sont donc assez restreintes. Pour une vitesse de 0,3 m/s, la distance maximale parcourue serait de 3m et ne serait que d'une trentaine de centimètres pour une vitesse de 0,5 m/s (Porcher, 1992).

Le comportement de migration sera donc différent selon le stade de développement des individus migrants. Les petits individus auront tendance à rechercher les zones à faibles écoulements et les adultes n'hésiteront pas à emprunter les veines centrales de l'écoulement où le courant est plus important (Tesch, 2003).

✓ **Capacités de reptation**

La spécificité de l'Anguille est son aptitude à ramper le long de parois humidifiées. On parle de « reptation », au cours de laquelle la totalité du corps serpentiforme du poisson est sollicitée (fig.7).



Les anguillettes avec leur corps allongé et leur faible poids peuvent par ailleurs grimper des murs verticaux à condition que ceux-ci ne soient pas trop lisses. La surface nécessite cependant d'être un minimum humidifiée. La capacité de reptation diminue avec la taille des individus et par conséquent la franchissabilité des ouvrages ne sera pas la même selon que ceux-ci se situent proches de l'embouchure ou non (Legault, 1988).

Figure 7 : Reptation de civelles sur une paroi rugueuse (MRM)

✓ **Capacités d'exondation**

Les anguilles ont également la capacité de vivre hors de l'eau durant un temps exceptionnellement long pour un poisson à condition qu'elles ne se dessèchent pas. La durée de survie est cependant temporaire. L'humidification des parois est essentielle afin de permettre aux individus de savoir où se trouve le cours d'eau et de ne pas se dessécher (Tesch, 2003). Cette survie aérienne est rendue possible grâce notamment à l'existence d'échanges gazeux cutanés. Ils peuvent apporter les deux tiers des besoins en oxygène des animaux quand ils sont hors de l'eau, le complément étant apporté par la respiration branchiale (Berg & Steen, 1965 in Legault, 1988).

Ainsi, la franchissabilité d'un obstacle dépend de sa propre configuration mais également des caractéristiques physiques et physiologiques des individus qui souhaitent le franchir. De même, la taille des individus étant différente entre les zones fluviales amont et aval, la distance d'un barrage à la mer conditionnera ses capacités à être franchi (Legault, 1988).

✓ **Dispersion continentale des anguilles**

Les civelles sont fortement dépendantes du transport tidal sélectif lors de leur migration dans les estuaires, ce qui entraîne un phénomène d'accumulation des individus en limite de zone d'influence des marées (Edeline, 2005).

À l'entrée des estuaires, le comportement de migration est notamment influencé par les conditions physiques des individus et les hormones thyroïdiennes qui jouent un rôle prépondérant. En effet, des concentrations en hormones thyroïdiennes favorisent la colonisation des écosystèmes aquatiques continentaux, alors qu'une production faible de ces hormones favorise une sédentarisation précoce des milieux marins ou estuariens. La nage à contre courant semble favorisée chez les individus ayant une forte activité thyroïdienne et de forts coefficients d'embonpoint (Edeline *et al.*, 2006).

À l'arrivée dans la zone limite d'influence des marées et suite à la transformation en anguillettes, la dispersion non densité-dépendante diminue au profit d'une dispersion densité-dépendante avec sélection de l'habitat.

Quatre catégories de comportement migratoire peuvent se distinguer (Feunteun *et al.*, 2003) :

- Les fondateurs se sédentarisent dès qu'ils trouvent un habitat leur étant favorable.
- Les pionniers effectuent la migration la plus importante vers les zones de croissance amont.
- Les résidants s'installent sur une aire de répartition donnée pendant plusieurs années.
- Les nomades circulent d'un habitat à l'autre pour croître et s'installer de manière transitoire.

Ces comportements sont notamment influencés par le coefficient de condition des individus (Edeline *et al.*, 2006).

Les suivis de migration des anguilles révèlent que les individus migrants sont essentiellement des individus dont la taille excède rarement 30 cm (White et Knights., 1997). Plus les individus présentent une taille importante, plus leur caractère migratoire diminue. Or, un élément principal de la dispersion chez l'anguille jaune étant la densité-dépendance (Feunteun *et al.*, 2003), les individus les plus grands pourraient acquérir une certaine supériorité sur les plus petits et donc une meilleure faculté à se sédentariser sur un territoire plus ou moins important. Les facteurs du déterminisme sexuel sont pour le moment inconnus, mais on sait qu'ils sont principalement liés à des paramètres environnementaux et aux densités des populations (Krueger & Oliveira, 1999 *in* Edeline, 2005). Les individus mâles (qui sont en moyenne plus petits que les femelles) dominent ainsi les parties inférieures des bassins versants, là où les densités sont les plus importantes, alors que les individus femelles se situent majoritairement dans les parties supérieures, avec des densités de population plus faibles (Melia *et al.*, 2006).

La progression des individus se fait essentiellement de nuit, même si les plus jeunes anguilles peuvent migrer toute la journée (comportement lucifuge moins développé) et la progression en nage active se situe entre 10 et 45 km / an. Cependant, cette vitesse de progression est très variable en fonction des caractéristiques du système fluvial emprunté (cloisonnement et pente retardant la progression) et des individus. Ainsi, Feunteun *et al.* (2003), mettent en évidence l'existence d'individus rapides pouvant parcourir 200 km / an.

Le nombre d'individus susceptibles de franchir les obstacles varie fortement en fonction du bassin versant, de l'année et de la distance à la mer de l'obstacle. Cependant il semble que plus l'obstacle est éloigné de la mer, plus le nombre d'individus susceptibles de le franchir diminue. En effet, sur le Frémur, Legault *et al.* (2004) montrent une variation des passages de 50 à 500 individus par km² de bassin amont entre 1997 et 2003 pour des obstacles situés proche de la limite tidale (moins de 10 km). La densité de passage observée à 80-90 km en amont de la limite de marée dynamique sur la Garonne (Pallo & Travade, 2001) et la Dordogne (Carry & Delpeyroux, 2003) n'est plus que de 1 à 3 individus par km² de bassin amont.

I.2. Identification des menaces

I.2.1. Les menaces naturelles

Les menaces naturelles exercées sur les populations d'anguilles sont diverses et comparables à celles s'exerçant sur les autres espèces piscicoles, bien que probablement amplifiées en raison de la particularité du cycle biologique de l'espèce.

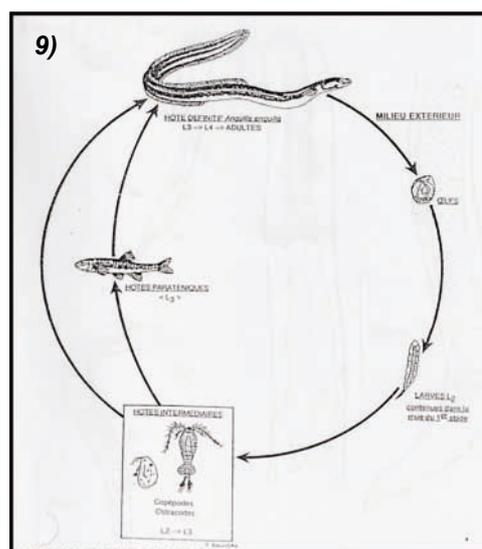
✓ Le parasitisme

De nombreux parasites de l'Anguille avec des cycles variés existent. Parmi la cinquantaine dénombrée, seulement trois causeraient une mortalité chez l'Anguille. Il s'agit de *Pseudodactylogyrus anguillae*, *Pseudodactylogyrus bini* et *Anguillicola crassus*.

Les deux premiers parasites (que l'on trouve sur les branchies des anguilles) sont largement répandus en Europe (Italie, Danemark, Angleterre, Pologne...). En France, mis à part leur découverte dans les années 1980, très peu de données existent.

Anguillicola crassus a été introduit en Europe au début des années 1980 en provenance d'Asie avec des lots d'anguilles japonaises. Il s'agit d'un parasite nématode hématophage de la vessie, originaire du Sud Est Asiatique et de l'Australie. Sa présence a été observée dans le delta du Rhône (Dupont & Petter, 1988). Selon les sites étudiés, on enregistre plus de la moitié de la population infestée par ce parasite. Sur les bassins RM et C, *A. crassus* est omniprésent dans toutes les lagunes et cours d'eau étudiés. Lefebvre *et al.* ont réalisé en 2003 des analyses sur les anguilles argentées de Camargue (Vaccarès, canal de Fumemorte et Aube de Bouic) et ont trouvé des prévalences élevées comprises entre 53,3 % et 94,8 % (Lefebvre *et al.*, 2003a in Amilhat, 2007).

A. crassus se loge à l'intérieur de la vessie natatoire et se nourrit du sang de l'anguille (fig.8). Son cycle (fig.9) passe par un hôte intermédiaire, le plus souvent un invertébré (ostracode...), qui est ingéré directement par l'anguille ou qui passe par un hôte intermédiaire d'abord mangé par un poisson (hôte paraténique) lui même mangé ultérieurement par l'anguille. Il engendre une parasitose grave, l'anguillicolose (Bruslé, 1994 ; Ashworth & Blanc, 1997). Il peut infester des anguilles de toutes tailles en adaptant la sienne à celle de la vessie de l'hôte (Banning & Haenen, 1990 in Amilhat, 2007) et possède un fort potentiel reproducteur, une femelle pouvant pondre jusqu'à 150 000 œufs (Vigier, 1997).



from Bonneau, 1990

Figures 8 et 9 : Vessie d'anguille parasitée (IGB Berlin)(8) et cycle biologique d'Anguillicola crassus (Bonneau, 1990)(9)

Les jeunes anguilles parasitées refuseraient de se nourrir, pourraient s'émacier voire mourir. Ce parasite réduirait également la vitesse de nage des anguilles avec des conséquences importantes sur le succès de la migration des géniteurs et donc sur le stock d'anguilles reproductrices (Crivelli, 1998).

✓ **Le réchauffement climatique**

Le recrutement en civelles dans les milieux continentaux est influencé par les hauteurs d'eau et les débits des eaux fluviales. Par conséquent, les fluctuations climatiques peuvent expliquer des variations quantitatives du recrutement (des étés froids ou secs peuvent entraîner une chute importante du nombre de civelles colonisant le continent).

Ainsi, des perturbations sur plusieurs années consécutives peuvent fragiliser les populations continentales. Le réchauffement climatique peut en être la cause, même si les effets sont encore mal connus. Certains scientifiques s'accordent par ailleurs à dire qu'il pourrait induire des modifications des courants atlantiques nord et avoir des conséquences sur la migration transatlantique des jeunes stades d'anguilles (Knights, 2003).

✓ **La prédation**

La prédation piscicole est la principale cause de mortalité aux stades leptocéphales et civelles tandis que les anguilles jaunes ou argentées sont victimes de prédation mammifère (loutre) et aviaire (cormorans principalement, mais aussi hérons grèbes et mouettes) (fig.10) (Bruslé, 1994). Cette dernière peut certainement avoir des conséquences sur les populations d'anguilles, notamment en situation confinée et sur les sites ayant de fortes densités. Il n'y a cependant pas de données fiables permettant de montrer qu'en milieu naturel les oiseaux piscivores puissent exercer une prédation telle qu'elle réduirait significativement les stocks d'anguilles sur ces sites (Crivelli, 1998 ; Baisez, 2003).

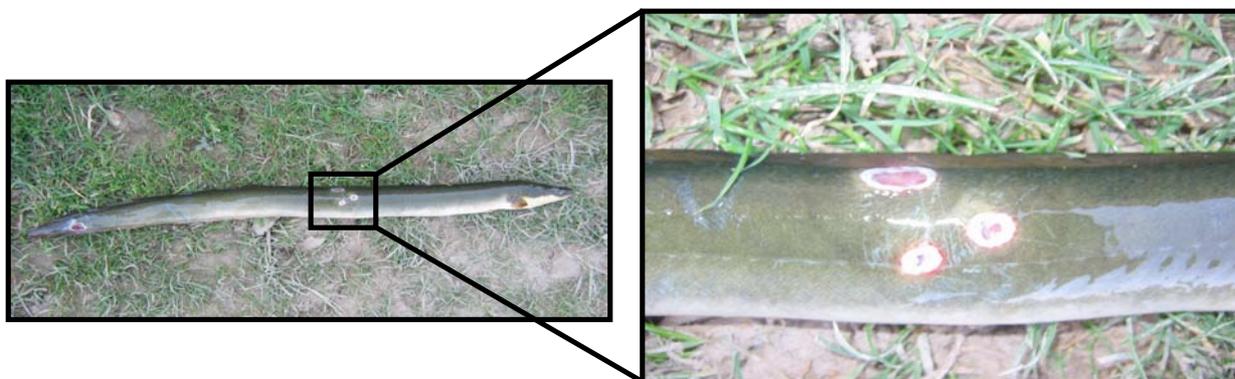


Figure 10 : Anguille blessée par un héron (Tour du Valat)

1.2.2. Les menaces d'origine anthropique

Aux nombreuses menaces naturelles que subit l'Anguille s'ajoutent de nouveaux risques induits par des activités humaines responsables de perturbations environnementales de nature physique, chimique et biologique.

✓ **La pollution des eaux**

Les phénomènes d'eutrophisation des eaux et principalement en milieu lagunaire (crises dystrophiques ou hyper-eutrophiques) sont susceptibles d'affecter les populations d'anguilles, mais leur véritable impact est mal connu (absence d'études fiables). Sur les plans d'eau où une pollution trophique apparaît, les poissons (dont l'Anguille) recherchent des zones de refuge (zones non anoxiques). Pour les lagunes, certains individus repartent en mer. Les taux de mortalité sont difficiles à évaluer (Crivelli, 1998).

La contamination par les micropolluants est identifiée comme l'un des principaux facteurs responsables du déclin de l'Anguille européenne par Amilhat en 2007. Deux voies de contamination sont possibles : la première est directe par la peau et les branchies et la deuxième par transfert trophique (ingestion de proies contaminées).

La contamination des cours d'eau par les pesticides (herbicide, insecticide) utilisés pour l'agriculture est également un facteur altérant les conditions de vie des espèces piscicoles, dont l'Anguille, ainsi que les hydrocarbures, très liposolubles chez ce poisson (Bruslé, 1994).

Les particularités des traits de vie de l'Anguille (pourcentage élevé de lipides, niveau trophique élevé, longue durée de vie et surtout reproduction unique) font que celle-ci peut accumuler des quantités très importantes de molécules xénobiotiques lipophiles lors de son séjour continental. Les pathologies engendrées par l'exposition aux micropolluants peuvent être différentes selon le type de contamination. Principalement sont perturbés le système endocrinien, reproducteur, enzymatique, immunitaire, nerveux central, le stockage des lipides et le bon fonctionnement des organes vitaux (Amilhat, 2007). L'exposition à long terme peut avoir des répercussions importantes sur le devenir de l'espèce (Muchiut *et al.*, 2002).

L'évaluation de l'état de santé sanitaire de la ressource semble donc essentiel pour la préservation de l'espèce et indissociable des autres actions de gestion (ces dernières pouvant être inutiles si le succès reproducteur est compromis).

✓ **L'altération de la qualité des habitats**

Espèce benthique, l'Anguille est très sensible aux modifications du substrat du cours d'eau. Ainsi les travaux ayant un impact sur la qualité des substrats (extraction de granulat, dragage, remodelage des lits des cours d'eau, drainage des zones humides...) sont susceptibles de perturber les populations d'anguilles en modifiant les populations d'invertébrés et poissons qu'elles consomment, en détruisant les zones de refuge et en réactivant les polluants par remise en suspension (Muchiut *et al.*, 2002).

✓ **La modification du fonctionnement hydraulique des cours d'eau**

L'artificialisation du fonctionnement des cours d'eau ainsi qu'une maîtrise des niveaux d'eau agissent sur l'hydrologie de la rivière (impacts thermiques, qualité d'eau...), limitant entre autres les débits en été. Or, pour l'Anguille débutant sa migration de colonisation au milieu du printemps, les appels d'eau créés par l'augmentation du débit sont essentiels. La zone de colonisation se trouve de plus en plus réduite par rapport au temps où les zones humides alluviales fonctionnelles, mises en eau en période hivernale et printanière, contribuaient à maintenir un débit significatif tardivement en période estivale (Bruslé, 1994).

La maîtrise hydraulique des ouvrages a également des conséquences sur la pérennité des annexes fluviales et leur accessibilité, en créant des enfoncements du lit. La durée de connexion de ces milieux avec le cours principal est souvent réduite en raison de la rareté et de la rapidité des crues causées par l'incision du cours d'eau. Par conséquent, ces habitats privilégiés pour l'Anguille se trouvent banalisés, détruits ou inaccessibles.

✓ **Les obstacles à la migration**

Les ouvrages hydrauliques sont les principaux facteurs limitant la colonisation de l'Anguille dans les milieux continentaux. Ainsi, la construction de barrages et de seuils en rivière aurait diminué l'aire de répartition de l'Anguille en Europe de 7 à 25 % (Adam *et al.*, 2008). Cette perte d'habitat entraîne une diminution de l'espace et de la nourriture et a des conséquences sur la croissance et la survie des anguilles.

La présence d'obstacles sur un cours d'eau peut se traduire par des retards voire des blocages à la migration de montaison de l'Anguille. Ces blocages plus ou moins importants sont susceptibles d'induire des mortalités par prédation, compétition (liée à la densité d'individus) et stabulation dans des milieux aval moins fonctionnels (Adam *et al.*, 2008).

Lors de la migration de dévalaison, la présence d'ouvrages peut également provoquer des retards mais aussi des mortalités ou des blessures causées par le passage des anguilles dans les prises d'eau, particulièrement dans les turbines de centrales hydroélectriques (fig.11).



Figure 11 : Anguille passée dans une turbine (MRM)

✓ **La surpêche**

L'Anguille européenne est exploitée sur toute son aire de répartition, en eau douce, dans les milieux saumâtres et en zones côtières, à toutes les phases de son cycle biologique et particulièrement aux stades civelle et anguille argentée très prisées par les pays asiatiques et européens (Freyhof & Kottelat, 2008 *in* IUCN, 2008).

La pêche à l'Anguille représente une activité socio-économique importante en Europe, faisant vivre environ 25 000 pêcheurs (Stone, 2003). Sa valeur commerciale a été estimée à environ 180 millions d'euros/an (Feunteun *et al.*, 2000) pour une quantité totale de 20 000 tonnes (Dekker, 2000).

En France, on observe une spécificité différente pour les façades Atlantique et Méditerranéenne. La capture de civelles dans les estuaires représente l'activité économique principale de la pêche à l'Anguille sur la côte Atlantique. En effet, les pêcheries côtières de civelles s'élèvent à 97% de la production des marins pêcheurs en zones estuariennes et 62% de celles des pêcheurs fluviaux sur la façade atlantique (Acou, 2006). La pêche à la civelle est interdite en Méditerranée, mais des cas de braconnage ont déjà été observés, notamment en Camargue (Le Gurun & Lebel, 2010). La pêche de l'anguille jaune et argentée dans les lagunes y représente l'activité économique principale avec 70 % du revenu annuel des pêcheurs professionnels des lagunes littorales (Lefebvre *et al.*, 2003b).

La pêche professionnelle fluviale ciblant spécifiquement l'Anguille ne se pratique plus aujourd'hui sur le Rhône, ce fleuve étant concerné par une interdiction de cette pratique à cause de contaminations des poissons par les PCB depuis 2007.

La pêche à l'Anguille en Méditerranée est une activité ancestrale, économiquement importante qui fait vivre environ 600 pêcheurs (COGEPOMI RMC, 2006). L'Anguille est la principale espèce exploitée par la pêche artisanale dans les lagunes méditerranéennes (Lecomte-Finiger & Bruslé, 1984). Durant les années 1980, les captures d'anguilles ont atteint 2000 tonnes/an. Elles ont ensuite progressivement diminué jusqu'à 900 tonnes/an (200 tonnes pour la Camargue et la Corse, 700 tonnes pour le Languedoc-Roussillon) et semblent depuis se stabiliser (ICES, 2008). En 2009 le nombre de licences a été de 500 en Languedoc-Roussillon, 70 en Provence Alpes Côte d'Azur et 30 en Corse (Collectif, 2009a ; Collectif, 2009b).

I.3. Situation actuelle du stock d'Anguille européenne

La situation actuelle du stock de l'Anguille européenne est préoccupante. L'évolution des tonnages de la pêche à la civelle sur le bassin de la Gironde (fig.12) publiée par l'ICES (International Council for the Exploration of the Sea) montre que les captures se sont effondrées depuis les années 1970 et ont tendance à se stabiliser à un minimum critique depuis 2003 (ICES, 2008). À plus grande échelle, les informations disponibles sur l'ensemble de l'aire de distribution de l'Anguille indiquent que le stock diminue aussi (fig.13) (EIFAC & ICES, 2009).

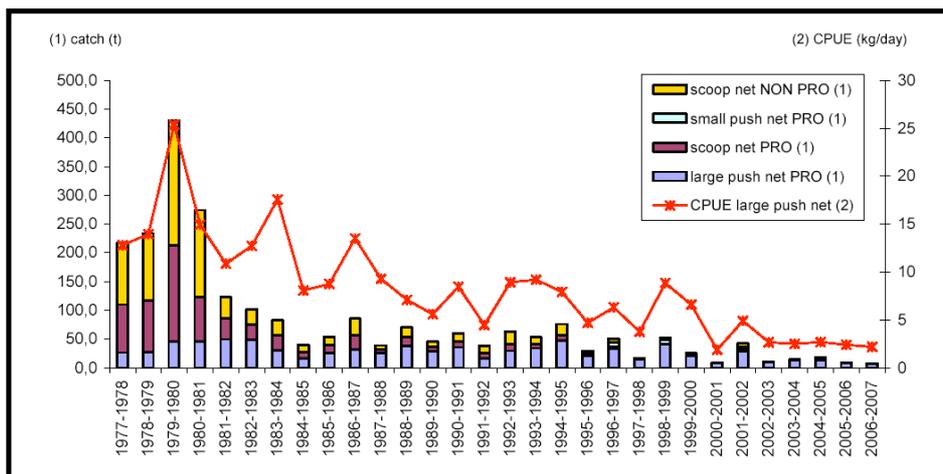


Figure 12 : Evolution des tonnages et des CPUE de civelles des pêcheurs professionnels et amateurs sur le bassin de la Gironde de 1978 à 2007 (source CEMAGREF in ICES 2008)

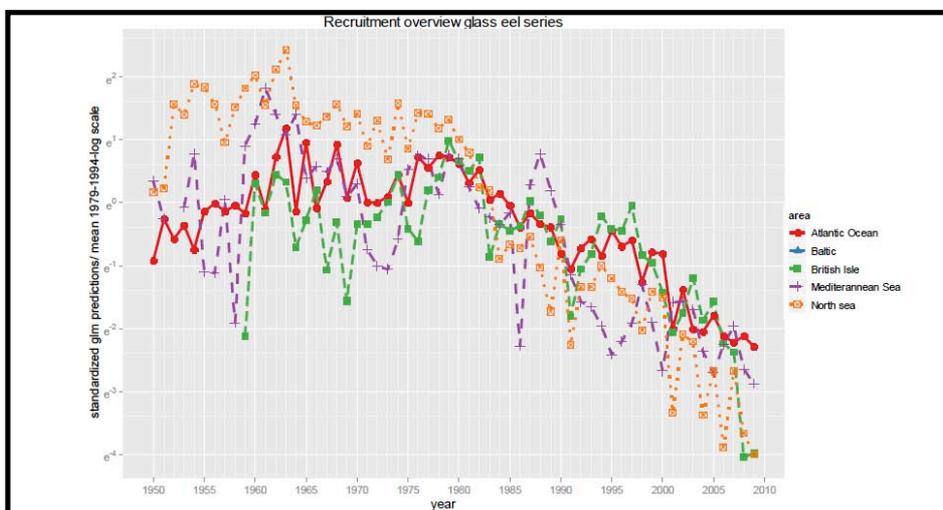


Figure 13 : Estimation du recrutement moyen (GLM) en civelles pour chaque aire de répartition en Europe (EIFAC & ICES, 2009)

En juin 2007, l’Anguille européenne a ainsi été ajoutée à l’Annexe II de la Convention sur le Commerce International des Espèces de faunes et de flores Sauvages (CITES), mesure qui a pris effet en mars 2009. L’importation et l’exportation d’anguilles hors de l’Union Européenne sont par conséquent contrôlées par l’élaboration de permis afin d’éviter une utilisation incompatible avec la survie de l’espèce (ICES Advice, 2008).

En septembre 2007, un règlement européen en faveur de la reconstitution du stock d’anguilles européennes a par ailleurs été adopté (règlement CE 1100/2007). Afin d’atteindre l’objectif de protection et d’exploitation durable de l’Anguille européenne, les Etats-membres ont donc mis en place des plans de gestion sur leurs bassins hydrographiques.

Enfin, en 2008, face aux diminutions drastiques du stock et du recrutement en civelles (diminution de 95 à 99 % du recrutement entre 1980 et 2000) et au regard des différentes menaces qui pèsent sur l’espèce (pêche intensive, parasitisme, obstacles à la migration, pollution, réchauffement climatique...), l’Anguille européenne a été classée comme espèce en danger critique d’extinction sur la liste rouge des espèces menacées de l’IUCN (International Union for Conservation of Nature) (IUCN, 2008).

II. Contexte institutionnel

II.1. Le règlement européen n° 1100/2007 en faveur de l'Anguille

Le Conseil des ministres a voté le 18 septembre 2007 un règlement européen instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Ce règlement s'applique directement à l'Etat Français, sans transposition dans les textes nationaux.

Le principal objectif cité dans l'article 2.4 est le suivant : « *L'objectif de chaque plan de gestion est de réduire la mortalité anthropique afin d'assurer avec une grande probabilité un taux d'échappement vers la mer d'au moins 40 % de la biomasse d'anguilles argentées correspondant à la meilleure estimation possible du taux d'échappement qui aurait été observé si le stock n'avait subi aucune influence anthropique. Le Plan de gestion des anguilles est établi dans le but de réaliser cet objectif à long terme* ».

II.1.1. Plan de gestion national

Pour mettre en œuvre le règlement européen, les Etats membres doivent rédiger un plan de gestion composé d'un volet national et d'autant de volets locaux que de bassins hydrographiques. En France, la rédaction a été pilotée au niveau national par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche (MAAP) et par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) et relayée au niveau local par les Directions Régionales de l'Environnement (DIREN secrétaires de COGEPOMI) en collaboration avec les différents organismes compétents : Directions Régionales des Affaires Maritimes (DRAM), Délégations régionales et inter-régionales ONEMA, Agences de l'Eau, Associations Migrateurs, pêcheurs, organismes de recherche...

Les volets locaux ont pour premier objectif de dresser des diagnostics précis de l'état de la population d'anguilles et des habitats ainsi que des pressions qui y sont exercées. Le volet national a ensuite pour rôle de compléter ces diagnostics en proposant une analyse systémique.

La ligne directrice adoptée par l'Etat français est de définir des mesures de gestion concernant les principales sources de mortalité anthropique de l'Anguille.

Concernant les pêcheries, l'objectif du Plan de Gestion est ainsi de réduire la mortalité par pêche de 30% en 3 ans à une échelle nationale. Le cœur des mesures de gestion est fixé au niveau national. Toutefois, afin de prendre en compte les spécificités des différentes pêcheries, tant du point de vue du stade biologique ciblé que de la technique de pêche utilisée, certaines modalités de mise en œuvre des mesures nationales ont été décidées par les bassins (Collectif, 2010).

Concernant la problématique « ouvrage », une méthodologie nationale a été adoptée. Elle consiste à expertiser la franchissabilité pour l'Anguille à la montaison ainsi qu'à la dévalaison de tous les ouvrages transversaux à l'écoulement présents dans les Zones d'Actions Prioritaires qui ont été identifiées.

Sur ces zones, des ouvrages prioritaires ont également été sélectionnés. Le diagnostic à l'ouvrage devra y être lancé dans la période du plan de gestion (6 ans) afin de rechercher les solutions technico-économiques permettant le passage des anguilles tant à la montaison qu'à la dévalaison. A l'issue du diagnostic, si des solutions technico-économiques existent, la recherche de financement devra être lancée et les solutions mises en œuvre aussi vite que possible.

Des zones d'actions long terme ont également été définies. Elles doivent permettre aux gestionnaires d'améliorer la connaissance sur ces secteurs durant le premier plan de gestion afin de confirmer (ou pas) ces territoires en zones d'actions prioritaires dans le second plan de gestion.

Le plan de gestion de l'Anguille en France a ainsi été approuvé par la Commission européenne par une décision du 15 février 2010 et les décrets d'application sont en cours d'élaboration.

II.1.2. Volet local Rhône Méditerranée

Concernant la problématique de la pêche, des mesures de gestion ont été prises pour différents milieux concernés (pêcheries propres aux eaux maritimes, pêcheries propres aux eaux douces et cours d'eau, pêcheries en lagunes) (Collectif, 2009a). Par exemple en eaux maritimes, la pêche des anguilles de taille inférieure à 12 cm est interdite (civelle y compris) et la pêche professionnelle de l'Anguille est ouverte :

- Pour l'anguille jaune : du 1^{er} mars au 31 décembre excepté un mois de fermeture entre le 15 juillet et le 15 août,
- Pour l'anguille argentée : du 15 septembre au 15 février

Les périodes de pêche identifiées sont susceptibles d'être réduites d'une année à l'autre afin d'atteindre les objectifs du plan de gestion. Pour la pêche d'anguilles en eau douce, la période d'ouverture est réduite de deux mois en 2012.

II.2. DCE, SDAGE, Code de l'environnement et Loi sur l'eau

II.2.1. La Directive Cadre Européenne sur l'eau

La directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau et préconise le retour au bon état écologique des masses d'eau à l'horizon 2015. La libre circulation des poissons est un élément fondamental de la qualité des eaux superficielles et doit à ce titre faire l'objet d'une attention renforcée. Cette conception nouvelle sera déclinée par bassin hydrographique et ainsi intégrée au Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 des bassins Rhône-Méditerranée et Corse par plusieurs orientations dont un volet franchissement piscicole.

II.2.2. Le SDAGE

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) est un plan de gestion qui fixe pour une période de 6 ans les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée des milieux aquatiques. Il doit servir de référence à tous les documents de gestion locaux (SAGE, Contrat de rivière...).

Le SDAGE s'accompagne d'un Programme de Mesures (document élaboré par l'Etat parallèlement au SDAGE). Ce dernier décline les actions qui contribuent à la réalisation des objectifs identifiés dans le SDAGE et correspond à sa partie opérationnelle (identification du type de mesures, du coût de leur réalisation...).

Le SDAGE 2010-2015 du bassin Rhône-Méditerranée, arrêté par le préfet coordonnateur de bassin le 20 novembre 2009, prévoit 8 orientations fondamentales quant à la gestion de l'eau. Ces orientations sont en cohérence avec les objectifs de la DCEE. Le volet « préservation et redéveloppement des fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques » (orientation fondamentale n°6) consiste à agir sur la morphologie et le décloisonnement afin de préserver et restaurer les milieux aquatiques, d'intégrer la gestion des espèces (faunistiques et floristiques) dans la politique de gestion de l'eau et de prendre en compte, préserver et restaurer les zones humides (Collectif, 2009c).

Opérationnel au plus tard en 2012, le programme de mesures, établi par territoire, prévoit pour la continuité écologique de :

- Supprimer les ouvrages bloquants,
- Créer ou aménager des dispositifs pour la montaison,
- Créer ou aménager des dispositifs pour la dévalaison,
- Définir une stratégie de restauration de la continuité écologique.

Ce document public sera opposable à l'administration, ce qui lui confère une valeur juridique non négligeable (Croze & Larinier, 2001).

II.2.3. Code de l'environnement, LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques n° 2006/1772 du 30/12/2006)

✓ Réglementation concernant les ouvrages

Le Code de l'environnement prévoit dans sa partie législative que dans les cours d'eau ou parties de cours d'eau, canaux dont la liste est fixée par décret, les exploitants sont tenus d'équiper leurs ouvrages de dispositifs de franchissement (Livre IV « Faune et flore », Titre III « Pêche en eau douce et gestion des ressources piscicoles », Chapitre 2 « Préservation des milieux aquatiques et protection du patrimoine piscicole », Section III « Obligations relatives aux plans d'eau », articles L432-6 et L432-7).

Les ouvrages déjà existants doivent être mis en conformité dans un délai de 5 ans à compter de la publication d'une liste d'espèces migratrices par bassin ou sous bassin fixée par le ministre chargé de la pêche en eau douce et le cas échéant par le ministre chargé de la mer.

L'article L432-6 sera abrogé au plus tard le 1^{er} janvier 2014 au titre de la nouvelle loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA n° 2006/1772 du 30 décembre 2006). Deux listes de cours d'eau seront ainsi publiées au titre de l'article L214-17 du Code de l'environnement :

▪ Une liste de cours d'eau ou tronçons de cours d'eau répondant aux critères suivants (liste 1) :

- Cours d'eau en très bon état écologique (identifiés dans le SDAGE),
- Cours d'eau qui jouent un rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique (défini dans les objectifs de la DCE) des cours d'eau d'un bassin versant,
- Cours d'eau qui nécessitent une protection complète des poissons migrateurs amphihalins.

Ainsi, pour les cours d'eau inscrits dans cette nouvelle liste, tout nouvel ouvrage faisant obstacle à la continuité écologique ne pourra être autorisé ou concédé (article R214-109). Le renouvellement des titres des ouvrages existants se verra appliquer la notion « d'ouvrage nouveau » et par conséquent dépendra des caractéristiques de l'ouvrage. En ce qui concerne la modification des caractéristiques d'ouvrages existants, la notion « d'ouvrage nouveau » ne sera pas appliquée dans le cas où les modifications améliorent ou n'aggravent pas la situation par rapport aux motivations du classement.

- **Une liste de cours d'eau ou tronçons de cours d'eau pour lesquels il est nécessaire d'assurer le transport des sédiments et la circulation des poissons migrateurs (amphihalins ou non) (liste 2) :**

Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé dans les 5 ans après la publication de la liste et ces actions doivent conduire à des résultats réels d'amélioration du transport des sédiments ou de la circulation des migrateurs. Ces actions peuvent concerner tant des mesures structurelles (construction de passes à poissons, de dispositifs de gestion adaptée du transport solide...), que des mesures de gestion (ouverture régulière des vannes...).

Les anciens classements de cours d'eau au titre de l'article L432-6 du code de l'environnement resteront en vigueur jusqu'à la date de publication (ou 5 ans après) des deux nouvelles listes au titre de l'article L-214-17.

La procédure de classement des cours d'eau sera établie suite à la consultation des différents organismes (fédérations de pêche, associations de protection de l'environnement, Comité de gestion des poissons migrateurs...), afin de garantir une cohérence avec le SDAGE et le PLAGEPOMI. Ainsi dans les nouveaux arrêtés de classement, une liste d'espèces cibles par cours d'eau sera établie ainsi qu'une liste d'objectifs en termes de transit sédimentaire.

Ainsi, une étude de l'impact potentiel des futurs classements est actuellement en cours sur le bassin Rhône-Méditerranée. Les projets de liste établis ainsi que les résultats de cette étude et les propositions d'arbitrage feront l'objet d'une consultation finale qui démarrera en juin 2012. Cette consultation (qui durera 3 mois) vise les Conseils généraux, les EPTB et sera élargie aux structures gestionnaires des milieux aquatiques. Les listes seront arrêtées par le préfet coordonnateur de bassin début 2013.

Sur le bassin Corse, le projet est moins avancé puisque des négociations sont toujours en cours entre les structures (DREAL, ONEMA), le comité de bassin et la collectivité territoriale corse pour élaborer des propositions de classement.

La mise en oeuvre du règlement européen 1100/2007 sur la gestion de l'Anguille qui demande aux Etats membres d'identifier des zones d'actions prioritaires pour la mise aux normes de franchissabilité des obstacles doit ainsi permettre d'anticiper la date butoire du 1^{er} janvier 2014 pour les zones définies prioritaires pour l'Anguille et qui ne sont actuellement pas classées. Lesdits bassins ou sous bassins devaient être classés au titre de l'article L214-17 avant le 31 décembre 2010 (MEDAD, 2008).

✓ **Réglementation concernant les débits réservés**

Les articles L432-5 et L432-8 du code de l'environnement traitent respectivement des débits minimaux à maintenir à l'aval de chaque ouvrage et des sanctions encourues. Le débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau au droit de l'ouvrage. La peine encourue est de 12 000 € d'amende. Ces articles ont été abrogés au 30 décembre 2006 avec la mise en vigueur de la nouvelle loi sur l'eau et des milieux aquatiques et en particulier des articles L214-17 à L214-19 (Code de l'environnement, partie législative, Livre II « milieux physiques », Titre I « Eau et Milieux aquatiques », Chapitre 4 « Activités, installations et usages », Section V « Obligations relatives aux ouvrages »).

Ainsi, l'article L214-18 stipule que « *tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite* ». Le débit est fixé à 1/10^{ème} du module du cours d'eau et pour les cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe, le débit minimal est fixé à 1/20^{ème} du module du cours d'eau (MEDAD, 2008).

II.3. Le PLAGEPOMI

Le plan de gestion doit proposer pour les poissons migrateurs un cadre juridique et technique concernant (décret n° 94-157 du 16 février 1994 ; COGEPOMI RMC, 2004) :

- Les mesures utiles à la reproduction, au développement, à la conservation et à la circulation des poissons,
- Les modalités d'estimation des stocks, de suivi de l'état des populations et des paramètres environnementaux,
- Les conditions dans lesquelles sont fixées les périodes d'ouverture de la pêche,
- Les modalités de la limitation éventuelle des pêches qui peuvent être adaptées en fonction des caractéristiques propres à la pêche professionnelle et de loisir,
- Les conditions dans lesquelles sont délivrés et tenus les carnets de pêche.

Le plan de gestion s'intéresse de fait aux conditions de production, de circulation et d'exploitation des ressources piscicoles. Il est instigateur d'enquêtes visant à mieux connaître la ressource et, au besoin, précurseur en matière d'opérations de restauration et de modalités de gestion visant à concilier les usages et le maintien des populations sur le long terme.

Depuis les années 1990, une politique en faveur des grands migrateurs s'est impulsée sur le bassin du Rhône, au travers notamment du premier plan migrateurs 1993-2003 dont l'objectif principal était le retour de l'Alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*) sur le Bas-Rhône jusqu'à l'Ardèche et ses affluents en rive droite (Gardon, Cèze, Ardèche). L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) a été créée en 1993 pour gérer et coordonner ce plan qui s'est avéré concluant puisque l'aire de colonisation de l'Alose s'est agrandie sur le Rhône et ses affluents jusqu'à l'Ardèche. Néanmoins, le champ d'actions de ce projet ne concernait d'une part, que l'Alose et d'autre part, que l'axe Rhône et ses affluents en rive droite alors que les poissons migrateurs amphihalins étaient historiquement présents sur certains affluents en rive gauche du Rhône (Durance, Ouvèze, Aigues et Lez) et sur les fleuves côtiers méditerranéens, dont certains ont des potentialités élevées de croissance et de reproduction.

Le second plan migrateurs 2004-2009, intégré dans le PLAGEPOMI 2004-2009, s'est donc élargi tant en termes d'espèces (Anguille, Lamproies, Esturgeon, Truite de Mer) que de milieux (affluents en rive gauche, fleuves côtiers et lagunes). Les objectifs ont été construits en fonction de l'état et de l'évolution des populations de poissons migrateurs sur le bassin et en tenant compte des connaissances écobiologiques du moment. Malgré un programme ambitieux, le bilan des études de connaissances et techniques s'avère relativement positif. Elles ont ainsi apporté les éléments scientifiques, techniques et financiers pour définir la stratégie du PLAGEPOMI suivant. Le bilan de la libre circulation est quant à lui plus nuancé avec un contraste entre le bassin rhodanien et les fleuves côtiers méditerranéens. Toutefois, les éléments rassemblés ont permis de définir des priorités d'action de recolonisation sur les bassins RM et C pour le PLAGEPOMI 2010-2014.

Ainsi, le 3^{ème} plan 2010-2014 s'inscrit dans la continuité des deux précédents PLAGEPOMI en définissant des stratégies de gestion et de reconquête pour l'Alose, l'Anguille et les Lamproies sur le Rhône, ses affluents et quelques affluents secondaires, sur les fleuves côtiers et certains de leurs affluents et sur les lagunes méditerranéennes. Par ailleurs, ce plan est élaboré en cohérence avec les politiques de référence (SDAGE, plan de gestion de l'Anguille, stratégie pour une reconquête du Rhône par les espèces migratrices amphihalines) et les complète sur des aspects transversaux (COGEPOMI RMC, 2011).

Ainsi, pour l'Anguille, les actions du PLAGEPOMI visent à reconquérir les axes de colonisation (au travers de zones d'actions prioritaires et d'ouvrages prioritaires à aménager pour favoriser la montaison et/ou la dévalaison des anguilles), maintenir et renforcer le suivi de la migration (passes-pièges, piégeage à la dévalaison, identification de rivières et lagunes index), connaître et suivre les pêcheries (encadrement de la pêche professionnelle).

Des objectifs sont également identifiés pour conforter les populations en place (classement des cours d'eau, suivi des actions entreprises sur la continuité) et poursuivre l'acquisition de connaissances (dynamique de populations, évaluation de la part d'échappement en cours d'eau).

II.4. Le Grenelle de l'environnement

Le Grenelle de l'environnement est une loi dont le projet a été présenté au gouvernement dans l'objectif de prendre à long terme des décisions en matière d'environnement et de développement durable. Ainsi, la loi Grenelle 1 a été promulguée le 3 août 2009. La loi « Grenelle 2 » qui vient en complément des objectifs fixés dans le Grenelle 1 a été promulguée le 12 juillet 2010, ses articles ciblent différents domaines de l'écologie dont la biodiversité et la protection des espaces.

L'un des objectifs est de retrouver une bonne qualité écologique de l'eau et d'assurer son caractère renouvelable dans le milieu. Ainsi, des outils d'aménagement du territoire permettant de créer une continuité territoriale ont été créés : la « trame verte » et la « trame bleue ». L'élaboration de ces deux outils associera l'Etat, les collectivités territoriales et autres parties prenantes sur une base contractuelle.

La loi « Grenelle 1 » a pour objectifs l'amélioration de la qualité des eaux (Titre II, Chapitre II, Articles 23 et 24) ainsi que la préservation et la reconstitution de la continuité écologique des milieux (Titre II, Chapitre II, Article 24) (MEEDAT, 2008). En particulier, l'effacement ou l'équipement des obstacles les plus problématiques pour la migration des poissons sera étudié, l'objectif étant d'atteindre le bon état écologique d'ici 2015. Les collectivités territoriales, les établissements publics territoriaux ainsi que les Agences de l'eau seront sollicités afin de maintenir et restaurer les zones humides ainsi que les réservoirs biologiques essentiels pour la biodiversité et le bon état écologique des masses d'eau superficielle.

Un nouvel article du Code de l'environnement (article L371-1 du Titre VII (« Trame verte et bleue ») du Livre III (« Espaces naturels ») du Code de l'environnement) a été créé par la loi Grenelle 2. Cet article, stipule que « *la trame verte et la trame bleue ont pour objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural.* »

La « trame verte » traite essentiellement des grands espaces naturels (Zones naturelles d'intérêt écologique faunistiques et floristiques (ZNIEFF) marines et terrestres). La « trame bleue » est l'équivalent de la « trame verte » pour les eaux de surface continentales et leurs écosystèmes associés. Selon la loi Grenelle 2, la trame bleue comprend les cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux figurant sur les listes établies en application de l'article L. 214-17 du Code de l'environnement.

Ainsi, les objectifs du Grenelle de l'environnement sont étroitement liés au SDAGE et son programme de mesures, au PLAGEPOMI 2010-2014, au plan de gestion de l'Anguille et aux classements des cours d'eau (Code de l'environnement, article L214-17). La mise en place de ces systèmes législatifs a amené l'Etat (DREAL, DDTM) et ses Etablissements publics (ONEMA et Agence de l'Eau) à identifier des ouvrages à traiter prioritairement sur le plan de la continuité écologique. Ainsi, deux lots d'ouvrages ont été définis :

Lot 1 : Les ouvrages pour lesquels des actions, au sens de travaux, sont à définir et à lancer entre 2009 et 2012, en donnant la priorité aux actions de restauration.

Lot 2 : Les ouvrages pour lesquels l'acquisition de connaissances complémentaires (études non directement liées à des travaux) est un préalable nécessaire à des travaux de restauration de la continuité, cette connaissance devant être acquise au plus tard fin 2012.

II.5. Le plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau

Afin de coordonner au mieux les politiques portées par l'Etat et ses établissements publics (Agence de l'Eau, ONEMA...) et de répondre aux objectifs fixés par la DCE (bon état des eaux d'ici à 2015), par le Grenelle de l'environnement (restauration de la continuité écologique selon la trame bleue) et par le plan de gestion de l'Anguille, le Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer a décidé d'engager un plan d'actions pour la restauration de la continuité des cours d'eau (MEEDDM, 2010).

Ce plan, annoncé le 13 novembre 2009, se décline en 5 axes cohérents et complémentaires :

- Le recensement des obstacles à l'écoulement (base gérée par l'ONEMA) afin d'identifier des ouvrages prioritaires parmi les 60 000 recensés ;
- La définition, de priorités d'intervention sur les bassins en suivant un schéma d'aménagement et de gestion des eaux avec pour objectif, la restauration de la continuité écologique ;
- La révision des programmes des agences de l'eau et des contrats d'objectifs en cours afin de dégager les financements nécessaires pour aménager d'ici à 2012, 1 200 ouvrages, recensés comme prioritaires ;
- La création d'une police de l'eau dont l'objectif sera de mettre en place un programme pluriannuel d'intervention sur les obstacles les plus perturbants pour les migrations piscicoles ;
- L'évaluation des bénéfices environnementaux, gage du suivi de l'efficacité des mesures mises en œuvre.

III. Contexte géographique

III.1. Le canal d’Arles à Bouc

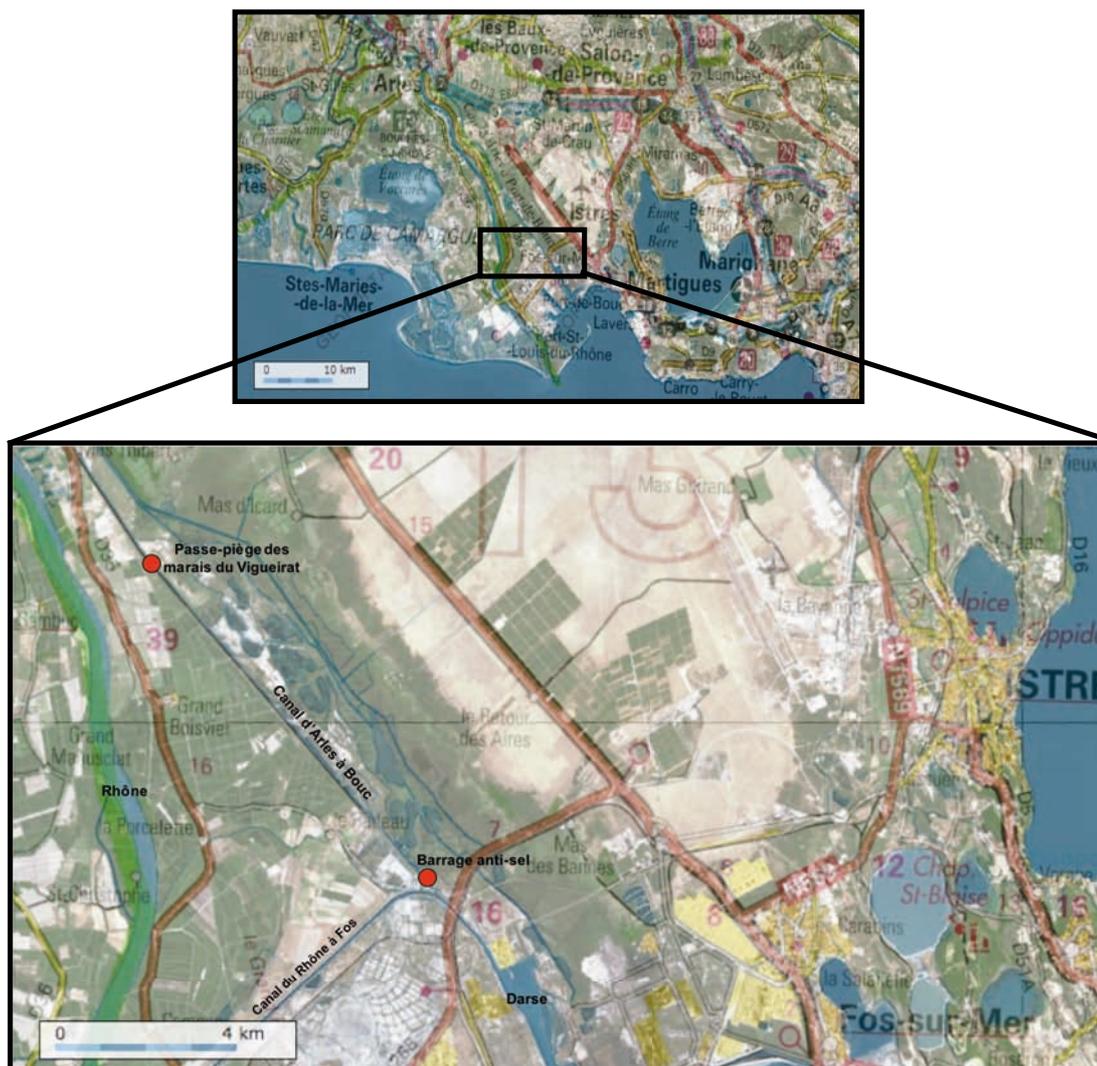


Figure 14 : Localisation du site d'étude (géoportail)

Le canal d’Arles à Bouc (ou Arles à Fos) (fig.14) réalise la jonction entre les darses de la zone portuaire de Fos-sur-Mer et le Rhône à Arles, il s’écoule d’Arles vers Fos-sur-Mer. L’eau de ce canal est donc constituée des eaux douces du Rhône et des différents canaux de drainage s’y jetant (canaux du Vigueirat, de la Vallée des Baux, des marais de la Crau).

Ce canal est proche de l’embouchure, il est donc colonisé par les anguilles au stade civelle qui s’engagent dans cette zone, attirées par l’écoulement d’eau douce. Plusieurs possibilités s’offrent à elles :

- ✓ Elles peuvent s’y sédentariser : les potentialités d’accueil de ce canal pour l’espèce sont mal connues, mais sa physionomie semble favorable (présence de zones peu profondes, d’herbiers, de nourriture...) et ce site pourrait constituer une zone de production d’individus matures à faible distance de la mer.
- ✓ *Via* ce canal, les anguilles peuvent coloniser de nombreux marais et canaux de drainage, notamment les marais du Vigueirat par l’étang du Landre et la Vallée des Baux dont l’exutoire se situe au niveau d’Arles. De plus, le 17 octobre 2007, une passe piège a été installée entre le canal d’Arles à Bouc et les marais du Vigueirat afin de favoriser et contrôler un recrutement naturel. Le suivi est réalisé par l’association « les Amis des Marais du Vigueirat ». Les anguilles engagées dans le canal d’Arles à Bouc ont donc la possibilité de transiter *via* cette passe-piège.

- ✓ Enfin, les anguilles peuvent remonter le canal jusqu'à Arles où celui-ci est connecté avec le Rhône *via* un système d'écluse à bateaux. Le passage des anguilles vers le Rhône dépend du mode de gestion de l'écluse (ouverture, fermeture).

III.2. Le barrage anti-sel

Le barrage anti-sel (construit en 1980) se trouve à l'aval du canal avant son exutoire dans la darse n° 1 de Fos-sur-Mer (fig.15) et constitue le premier ouvrage rencontré par les anguilles qui remontent le canal.

Cet ouvrage est géré au niveau de la station de pompage du Grand Port Maritime de Marseille grâce à un système automatisé depuis 1996. Il est constitué de 3 vannes s'ouvrant par le bas et gérées par le Grand Port Maritime de Marseille, propriétaire du site.

Cet ouvrage représente un obstacle difficilement franchissable pour de nombreuses espèces de poissons qui ont de faibles capacités de nage, incapables la plupart du temps de le franchir. Le fonctionnement de cet ouvrage bien que souvent partiellement ouvert freine ainsi la migration des civelles. La présence d'individus bloqués au niveau des vannes (favorisant par ailleurs le braconnage) a en effet été constatée à plusieurs reprises par le service départemental de l'ONEMA des Bouches-du-Rhône.



Figure 15 : Barrage anti-sel de Fos-sur-Mer (MRM)

III.3. La passe piège à anguilles

Une passe-piège à anguilles (fig.16) a été installée sur le barrage afin de faciliter la colonisation par l'Anguille des zones situées en amont du barrage et d'y suivre la migration de l'espèce.



Cette passe doit piéger des civelles, des anguillettes ou des anguilles plus grosses. Elle a été mise en activité le 19 octobre 2007.

Ce système de franchissement spécifique aux anguilles en phase de migration anadrome facilitera ainsi leur accès au canal d'Arles à Bouc, augmentera le nombre d'individus franchissant l'ouvrage, et permettra de connaître le nombre d'individus l'ayant franchi, de définir le blocage engendré par le barrage anti-sel et de limiter le braconnage, les civelles ne se concentrant plus au pied du barrage.

Figure 16 : Passe piège à anguilles du barrage anti-sel lors de son entretien (MRM)

METHODOLOGIE

Deux types de suivi sont réalisés dans cette étude :

- Le suivi de la remontée des anguilles dans le canal d'Arles à Bouc *via* leur comptage dans la passe piège,
- Le suivi de l'efficacité de cette passe-piège par des pêches scientifiques dans le canal.

I. Suivi des anguilles de la passe

I.1. Fonctionnement du système de capture

Le fonctionnement du système de capture est détaillé en annexe 2.

I.2. Protocole de suivi de la passe

Le suivi est réalisé par un technicien de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée suivant le protocole utilisé pour les passes déjà suivies par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée.

I.2.1. Intervention sur la passe-piège

Lors de chaque relève, le bac de capture est vidangé en ouvrant la vanne à la base du vivier. Une fois le bac vidangé, les anguilles sont capturées manuellement par l'intervenant à l'aide d'une épuisette. Toutes les données de captures et toutes les informations nécessaires à l'analyse ultérieure des données (en particulier la date et l'heure d'intervention) sont notées sur un cahier de suivi spécifiquement établi.

À l'issue des manipulations, la canalisation PVC de vidange du vivier est refermée puis l'intervenant vérifie le remplissage du vivier jusqu'à ce que le siphon se mette en route tout en veillant à une humidification correcte de la rampe de reptation.

I.2.2. Traitement des anguilles et des civelles lors des relèves de la passe-piège

✓ Anguilles

Si le nombre total d'anguilles est inférieur à 100, le poids total est mesuré et la taille de chacun des individus est relevée après anesthésie dans une solution d'eugénol (dilué à 10% dans de l'alcool). Au-delà de 100 individus capturés, le poids total est relevé puis un échantillonnage aléatoire (lot de 50 individus environ) est réalisé afin d'estimer le nombre total d'individus capturés. Le poids de l'échantillon est déterminé et chaque individu est mesuré après anesthésie.

✓ Civelles

Si le nombre total est inférieur à 100 individus, les civelles sont dénombrées et pesées. Si le nombre total est supérieur à 100 individus, une pesée globale des individus est réalisée. Un échantillonnage aléatoire (50 individus environ) est effectué afin de définir le poids moyen d'un individu et estimer le nombre total de civelles capturées.

Les anguilles et les civelles sont relâchées en amont de l'ouvrage, dans le canal d'Arles à Bouc. Le lieu de lâcher est suffisamment éloigné de l'ouvrage pour éviter que des individus perturbés par la capture ne dévalent jusqu'à l'ouvrage (canal d'Arles à Bouc, à la hauteur de la mise à l'eau située à l'amont immédiat de la connexion avec l'étang du Landre).

1.2.3. Analyses des civelles en laboratoire

Chaque semaine, un échantillon de 50 civelles environ est prélevé pour analyse biométrique (taille, poids) et détermination des stades pigmentaires.

Le passage du stade civelle au stade « anguilette » s’accompagne de changements physiologiques et morphologiques qu’il est possible d’identifier par l’évolution des stades pigmentaires (fig.17). On dénombre 7 stades pigmentaires V_A , V_B , VI_{A0} , VI_{A1} , VI_{A2} , VI_{A3} et VI_{A4} , qui représentent tout un *continuum*, parfois difficile à appréhender, mais qui permet de déterminer approximativement l’âge des civelles : des civelles V_A sont des civelles jeunes et des civelles VI_{A3} ou VI_{A4} sont plus vieilles, au-delà on parle d’anguillettes.

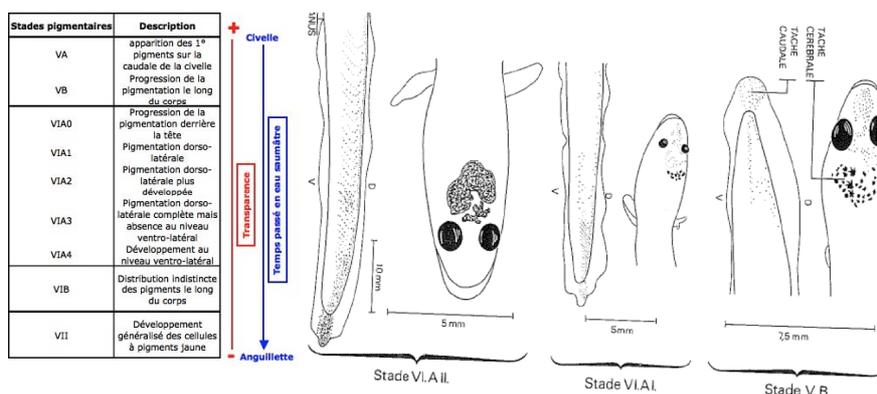


Figure 17 : Détermination du stade pigmentaire des civelles (Briand et al., 2004 ; Finiger, 1976)

Pour simplifier l’analyse des stades, les stades supérieurs à VI_{A0} ont été regroupés. Ils correspondent ainsi aux civelles arrivées depuis un certain temps.

1.2.4. Relève des paramètres du milieu

Le suivi des paramètres du milieu doit apporter des éléments sur le déterminisme de la migration. En particulier, la température de l’eau étant un facteur influençant la migration des anguilles, ce paramètre est suivi par l’intermédiaire d’une sonde enregistreuse automatique. En l’absence de cette dernière, la température est mesurée à l’aval immédiat du barrage anti-sel lors de chaque visite de la passe-piège.

À chaque relève, un échantillon d’eau est aussi prélevé en aval immédiat de l’ouvrage afin d’en mesurer la salinité au laboratoire (salinité exprimée en partie par trillion) et de la corrélérer aux remontées de civelles et d’anguilles. Les mesures sont effectuées avec une sonde multiparamètres de type Neotek Ponsel.

1.2.5. Lecture de l’âge et parasitisme des anguillettes

Au cours des campagnes 2008/2009 et 2009/2010, des anguilles capturées à la passe-piège ont été échantillonnées à chaque relève de la passe-piège pour lecture d’âge et analyse parasitaire. Ainsi 144 anguillettes ont été analysées pour la campagne 2008/2009 et 103 pour la campagne 2009/2010. Ces analyses ne sont pas poursuivies en 2010/2011/2012 en raison du faible nombre d’anguilles capturées (les individus analysés sont sacrifiés, par conséquent la majorité des anguilles capturées à la passe ne seraient pas relâchées dans le canal d’Arles à Bouc) et de la cohérence des résultats sur les deux précédentes campagnes.

Les lectures d’âge des anguillettes sont réalisées par le bureau d’études Fish-Pass.

L'estimation de l'âge des anguilles est réalisée à partir de l'interprétation des zones opaques et hyalines des otolithes (fig.18), en cohérence avec les travaux existants sur le site considéré :

- ✓ PANFILI *et al.* (1991) pour le schéma d'interprétation des otolithes,
- ✓ LECOMTE-FINIGER (1983) pour la chronologie du recrutement des civelles.

La dissection des otolithes (*Sagittae*) est réalisée par coupe transversale du crâne. Les otolithes sont lavés dans un bain d'eau de Javel diluée (50%), rincés à l'eau déminéralisée puis séchés dans un bain d'alcool à 70°. Ils sont ensuite stockés par paire à sec.

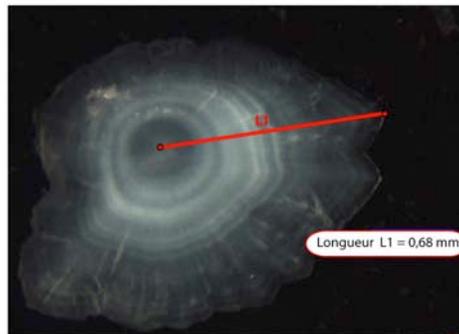


Figure 18 : Otolithe de la classe 2 ans (LT=176 mm)

Les arrivées de civelles dans les lagunes méditerranéennes s'échelonnent entre octobre et avril, avec un pic d'abondance de janvier à mars. Cette variabilité dans la date d'arrivée entraîne de fait une variabilité de la largeur de la première zone de croissance printanière (opaque) et un écart d'âge correspondant de 6 mois. Le changement de classe d'âge se fait en début d'été ce qui correspond, dans le cas des anguilles méditerranéennes, à la formation d'une zone hyaline sur l'otolithe. Les âges exprimés dans le cadre de cette étude sont donc exprimés en nombre d'étés passés en milieu continental selon le code suivant :

- **La classe d'âge 0** correspondant à des civelles (zone de transition en cours de formation)
- **La classe d'âge 0+** correspondant à des anguilles n'ayant pas encore passé un été dans les eaux continentales (la zone de transition est formée et suivie d'une zone opaque plus ou moins large)
- **La classe d'âge "n"** correspondant à des anguilles ayant vécu "n" étés après leur arrivée dans les eaux continentales (la zone de transition est suivie d'une zone opaque puis de "n" zones hyalines larges séparées par des zones opaques larges).

L'observation des structures de croissance est réalisée sur la surface interne (plan sagittal) de l'otolithe (l'otolithe est inclus dans de la résine méthacrylate (Orthorésine) puis poncé sur papier-émeri jusqu'au nucleus). Dans les deux cas, l'observation dans l'alcool (éthanol 70°) permet de renforcer les contrastes optiques. La mesure du rayon des différentes structures observées contribue à leur interprétation.

1.2.6. Autres analyses

Deux lots de 7 anguillettes ont été prélevés et envoyés à l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation de l'Environnement et du Travail (ANSES, Unité Pathologie Virale des Poissons, anciennement AFSSA) en novembre 2011 pour analyse de la présence du virus EVEX.

II. Pêches d'évaluation dans le canal

II.1. Méthode et stratégie d'échantillonnage

Afin d'évaluer sur le long terme l'efficacité de la passe piège pour la recolonisation des zones amont par l'Anguille, l'état initial de la densité d'anguilles dans le canal Arles à Bouc a été réalisé par des pêches au filet (fig.19) du 12 au 17 novembre 2007 par un pêcheur professionnel de l'Association des Pêcheurs Rhône aval Méditerranée assisté au quotidien par un technicien de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. Cinq engins de pêche de maille 6 mm et cinq de maille 10 mm ont été calés dans le canal à raison d'un engin par station (10 stations) et relevés une fois par jour (engins décrits en annexes 3 et 4).



Au cours de la campagne 2007/2008, le même protocole de pêches a été utilisé (du 1^{er} au 5 octobre 2008).

Figure 19 : Pêches au filet sur le canal d'Arles à Bouc (MRM)

Étant donné le faible nombre de captures obtenu lors de ces deux campagnes de pêches (état initial + campagne 2007/2008), il a été décidé pour la campagne de pêche 2009/2010 d'augmenter l'effort de pêche en apportant deux modifications du protocole initial :

- **Diminution du nombre de stations** mais augmentation de la surface échantillonnée : 8 stations avec deux engins par station (un de maille de 6 mm et un de maille de 10 mm) soit un total de 16 verveux (les huit verveux de maille 10 mm sont mis à disposition par le pêcheur professionnel collaborant avec l'Association MRM).

- **Utilisation uniquement des verveux à aile simple** (ou cerf-volant). Ces engins sont plus rapides à manipuler que des verveux à ailes doubles. Ainsi tout en augmentant le nombre d'engins de pêche, on conserve le même temps de manipulation. Les mailles ont été choisies afin de capturer de petits individus et des individus de taille moyenne à grande.

Les huit stations ont été réparties sur le canal d'Arles à Bouc, sur les 8,5 km séparant le barrage antisel (lieu de lâcher des civelles et anguilletes) et la passe piège des Marais du Vigueirat, soit environ une station tous les kilomètres (tab.1, fig.20).

Ainsi, les pêches se sont déroulées du 12 au 17 octobre en 2009 et du 11 au 16 octobre en 2010. Le nombre d'anguillettes capturées au cours de ces campagnes de pêche ayant été faible, les pêches 2011 ont été décalées au printemps et effectuées du 9 au 14 mai (période plus propice à la migration des anguilletes).

Tableau 1 : Localisation des stations d'échantillonnage

* verveux n° pairs = maille 6 mm verveux n° impairs = maille 10 mm

Station	Verveux *	Coordonnées		Rive
		N	E	
S1	V1V2	43° 28' 34"	4° 49' 12"	droite
S2	V3V4	43° 29' 00"	4° 48' 41"	gauche
S3	V5V6	43° 29' 27"	4° 48' 07"	droite
S4	V7V8	43° 29' 56"	4° 47' 31"	gauche
S5	V9V10	43° 30' 23"	4° 46' 57"	droite
S6	V11V12	43° 30' 50"	4° 46' 25"	gauche
S7	V13V14	43° 31' 18"	4° 45' 50"	droite
S8	V15V16	43° 31' 45"	4° 45' 17"	gauche

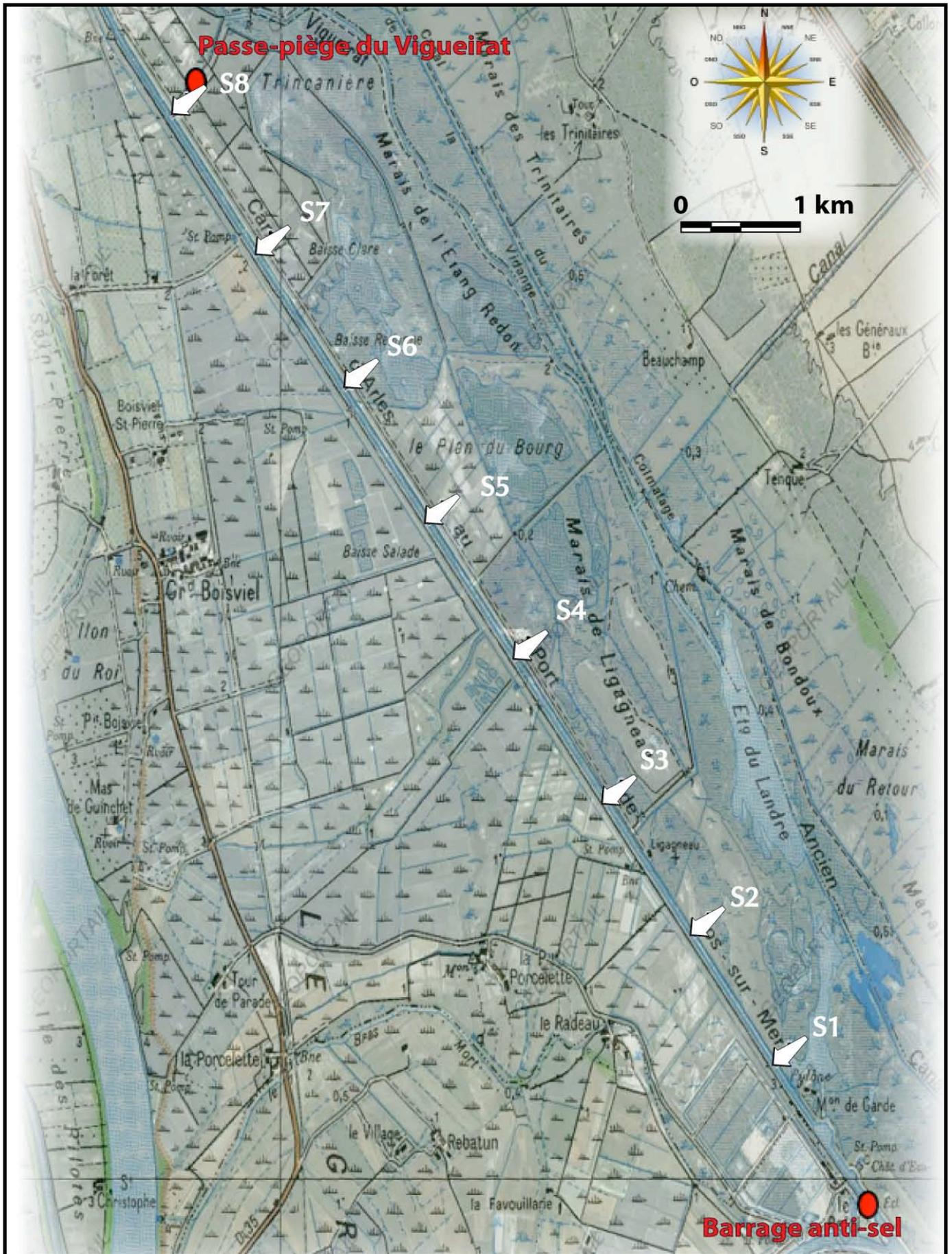


Figure 20 : Localisation des verveux sur le canal d'Arles à Bouc (géoportail)

II.2. Traitement des anguilles capturées

Pour chaque verveux, les anguilles capturées sont dénombrées et mesurées séparément. Toutes les anguilles capturées sont disséquées afin de déterminer leur sexe, l'état de leur vessie natatoire, la présence ou l'absence du parasite *Anguillicola crassus* ainsi que leur degré d'argenture.

II.2.1. Évaluation du parasitisme à *Anguillicola crassus*

Les indices parasitaires sur l'état de la vessie des anguilles capturées (tous stades confondus, jaunes et argentées) les plus pertinents pour montrer ce parasitisme sont (Lefebvre *et al.*, 2002) :

La **prévalence** est la proportion d'anguilles infectées dans l'échantillon.

L'**abondance** est le nombre moyen de parasites observés dans la vessie natatoire pour toutes les anguilles examinées (infectées ou pas).

L'**intensité** est le nombre moyen de parasites observés dans la vessie natatoire par anguille infectée.

Le **SDI** est l'indice de dégénération de la vessie natatoire. Il est basé sur les altérations macroscopiques de la vessie (fig.21). Il varie de 0 (vessie en bon état) à 6 (vessie totalement dégradée, sans lumen et qui n'est plus fonctionnelle). Il cumule trois critères qui peuvent prendre la valeur de 0 à 2 : (1) le niveau de transparence de la vessie; (2) la présence de pigmentation et de débris au lieu de gaz ; (3) l'épaisseur de la paroi de la vessie (Amilhat, 2007).



Figure 21 : (A) Vessie natatoire intacte (SDI = 0 à 1) et (B) vessie natatoire très endommagée (SDI = 5 à 6) (Tour du Valat)

II.2.2. Indice d'argenture

Ce dernier est estimé *via* la mesure de la taille des yeux, de la nageoire pectorale, de la taille totale et du poids des anguilles pêchées (fig.22) (Pankhurst, 1982 ; EELREP, 2005). Les catégories de cet indice sont les suivantes :

- I caractérise des anguillettes jaunes non différenciées
- FII caractérise des anguilles jaunes femelles résidentes
- FIII caractérise des anguilles jaunes femelles pré-migrantes
- FIV caractérise des anguilles argentées femelles montrant leurs premières vellités de migration (grossissement des yeux et des pectorales...)
- FV caractérise des anguilles argentées femelles migrantes
- MII caractérise des anguilles argentées mâles migrantes



Figure 22 : Mesures du diamètre de l'œil et de la nageoire pectorale (MRM)

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Cette étude se déroule dans un environnement très anthropisé et très différent des milieux tels que les lagunes et les cours d’eau côtiers où l’on trouve habituellement de l’anguille, ce qui pourra rendre notre compréhension de sa dynamique et de son comportement plus difficile.

I. Captures de la passe piège

I.1. Fonctionnement de la passe piège

I.1.1. Période de suivi

La dernière relève prise en compte pour l’exploitation des résultats de la campagne 2010/2011 est celle du 31 mars 2011. La campagne 2011/2012 débute donc au 1^{er} avril 2011 et se termine au 31 mars 2012.

Les périodes effectives de suivi sont décrites dans le tableau 2. Ainsi, la passe piège a fonctionné sur la quasi-totalité de la campagne 2010/2011. Le suivi a été interrompu seulement du 27 octobre au 2 décembre 2010 pour entretien de la pompe hydraulique en atelier de maintenance.

Tableau 2 : Périodes de suivi effectif de la passe piège durant les trois campagnes

		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Campagne 2007/2008	2007												
	2008												
Campagnes 2009/2010	2009												
	2010												
2010/2011 et	2011												
2011/2012	2012												

	Campagne 2007/2008
	Campagne 2009/2010
	Campagne 2010/2011
	Campagne 2011/2012

I.1.2. Fréquence de suivi

Du 1^{er} avril 2011 au 31 mars 2012 (hors période de dysfonctionnement du dispositif), la passe a été relevée 47 fois, soit en moyenne une fois par semaine. Lors de cette période, 22 848 anguilles ont été capturées ainsi que 4 963 civelles (tab.3). 307 civelles ont été analysées en laboratoire pour la détermination des stades pigmentaires.

Les résultats obtenus lors de chaque relève ont été regroupés par année (2008 à aujourd’hui, hormis 2007 car aucune civelle et seulement 23 anguilles ont été capturées pendant les deux mois de suivi concernés : novembre et décembre).

Tableau 3 : Données brutes de captures à la passe-piège (campagne 2011/2012)

Date	Heure	Compteur horaire	Anguilles		Civelles		T° aval barrage	Salinité (ppt)	Remarques
			Nb	Pds (g)	Nb	Pds (g)			
6/04/11	16h	25678	5	60	14	3,8	17,3	6,3	
13/04/11	14h	25845	3	23,5	88	16,3	16,3	17,1	
20/04/11	10h30	26008	0		22	4,5	17,7	6,4	
27/04/11	15h	26181	7	26,2	67	14,6	19,2	5,1	
4/05/11			1	9,6	100	19,2	18,7	2,95	
10/05/11	10h	26488	5	22,1	46	8,7	20,5		
19/05/11	15h	26709	56	25,1	23	3	21,8	6,75	
25/05/11	9h30	26847	103	26,2	11	2	22,4		
1/06/11	14h30	27019	63	43,8	9	1,8	17,7	9,05	
8/06/11	11h	27183	43	24,2	1		20,8		
15/06/11	14h30	27354	21	10,4	0	0	23,7	6,9	
23/06/11	12h	27544	34	12	33	5,8	23,8	1,1	
29/06/11	15h	27691	3	26,2	46	15,1	24,6	1,8	
6/07/11	10h	27854	18	7,1	23	5,9	23,5		
13/07/11	10h	28021	32	29,3	51	9,76	24	2,75	
20/07/11	14h	28190	9	38,1	2		20,5	0,35	
27/07/11	10h45	28358	20		3		21	0,45	
3/08/11	15h	28530	66	7,5	40	7,3	24,5	1,25	
10/08/11	15h	28699	17	16,2	29	8,7	21,5	5,15	
18/08/11	15h	28735	11		4		25,1	5,1	balance non fonctionnelle / pompe non fonctionnelle
28/09/11									remise en route
6/10/11	10h	28887	9	/	0	0	19	3,6	
12/10/11	11h30	28967	2	9,19	0	0	17,3	6	
19/10/11	15h30	29140	6	78,4	0	0	15	9,23	
26/10/11	15h30	29307	9	35,3	0	0	14,6	1,55	
2/11/11	15h30	29398	0	0	0	0	16,5	5,75	pompe non fonctionnelle
9/11/11	15h	29565	8238	8156,4	877	243,6	14,1	0,3	
10/11/11	12h	29586	5710	5654,4	164	45,6	14,6	0,45	
12/11/11	/	/	3507	3432	101	28			80% mortalité
14/11/11	11h	29682	1196	1374,8	83	25,2	13,5	0,4	
16/11/11	14h	29732	307	379,5	4	2,2	13,7		
22/11/11	11h	29873	2054	2400	0	0	12,8	0,45	
30/11/11	15h	30069	1164	1058	1137	392	11,5	0,67	
7/12/11	10h	30232	55	65	100	29,7	11,3	0,7	
14/12/11	15h30	30405	4	6,8	27	8	10,2	1,05	
22/12/11	11h	30592	5	12,2	9	3,9	8,4	3,25	
4/01/12	11h30	30905	2	2,1	16	4,3	8,1	2,5	
11/01/12	10h	31071	0	0	0	0	6,5	6,82	
18/01/12	14h30	31244	0	0	0	0	9	14,3	
25/01/12	10h30	31408	2	15,7	0	0	9,3	16,85	
1/02/12	10h30	31575	0		4		5,5	9,45	
8/02/12	15h	31892	0	0	0	0	3	28,2	Eau canal gelée arrêt de la pompe
20/02/12									remise en route
22/02/12	10h30	31892	0	0	0	0	5,5	10,9	
29/02/12	15h	32066	0	0	1	/	10,9	15,6	
7/03/12	16h	32233	2	15,1	0	0	12		
14/03/12	15h	32401	8	80	0	0	12,9		
21/03/12	15h	32569	24	85,2	603	123	13,5	15,5	
28/03/12	15h	32737	27	80	1225	250	17,1	15,7	

1.1.3. Perméabilité du bac de captures

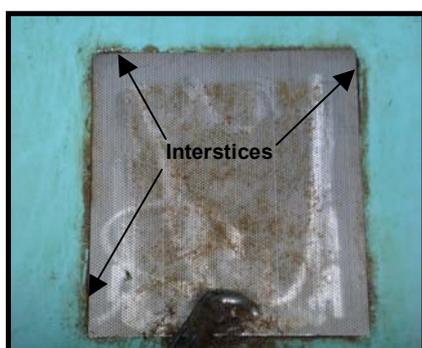


Figure 23 : Grille placée au fond du bac de capture (MRM)

Des questions subsistaient sur la perméabilité de la grille de fond (pour les civelles notamment), en raison des interstices entre la paroi du bac de capture et cette grille (fig.23). Ces interstices sont essentiellement dus à la déformation de la grille et les civelles s'y fauillent. Par conséquent, lors de la vidange de la passe piège, celles-ci s'échappent et ne sont pas comptabilisées. Ces individus se retrouvent à l'amont immédiat du barrage anti-sel et sont donc susceptibles de coloniser le canal d'Arles à Bouc.

Afin de remédier à ce problème, une chaussette a été installée le 22 septembre 2010 (fig.24, 25). Il s'agit d'un tissu imperméable aux anguilles qui est fixé à la goulotte d'alimentation en eau (point d'arrivée des anguilles) du bac de capture.

24)



25)



Figures 24 et 25 : Chaussette placée dans le bac de captures

Ainsi, en 2011, la totalité des individus transitant par la passe piège ont été comptabilisés.

Les résultats du piégeage en 2011/2012 sont très encourageants car ils démontrent que le canal d'Arles à Bouc est susceptible de connaître de bons recrutements en civelles et anguillettes (à condition que l'appel en mer soit significatif), toutefois des doutes subsistent quant à l'efficacité même du dispositif de piégeage (accès, débit d'attrait, présence d'un lampadaire susceptible d'éclairer fortement la rampe de reptation la nuit...).

I.2. Caractérisation de la migration des anguilles

I.2.1. Déroulement de la migration

✓ Campagne 2011/2012

La campagne 2011/2012 a débuté le 1^{er} avril et les premières anguilles ont été capturées lors de la première relève du 6 avril (5 anguilles capturées) (fig.26).

Les captures sont variables du 1^{er} avril au 18 août 2011 (interruption du suivi en raison d'un dysfonctionnement électrique de la pompe) mais restent faibles (0 à 103 anguilles par relève). Le suivi a repris le 28 septembre 2011 et le nombre de captures a explosé entre le 2 novembre et le 7 décembre (maximum de 8 238 anguilles lors de la relève du 9 novembre). Seulement 4 anguilles ont été capturées aux mois de janvier et février 2012. Le nombre d'individus dénombrés a ensuite légèrement augmenté au mois de mars (61 anguilles piégées).

Au total, 22 848 anguilles ont été capturées lors de la campagne 2011/2012.

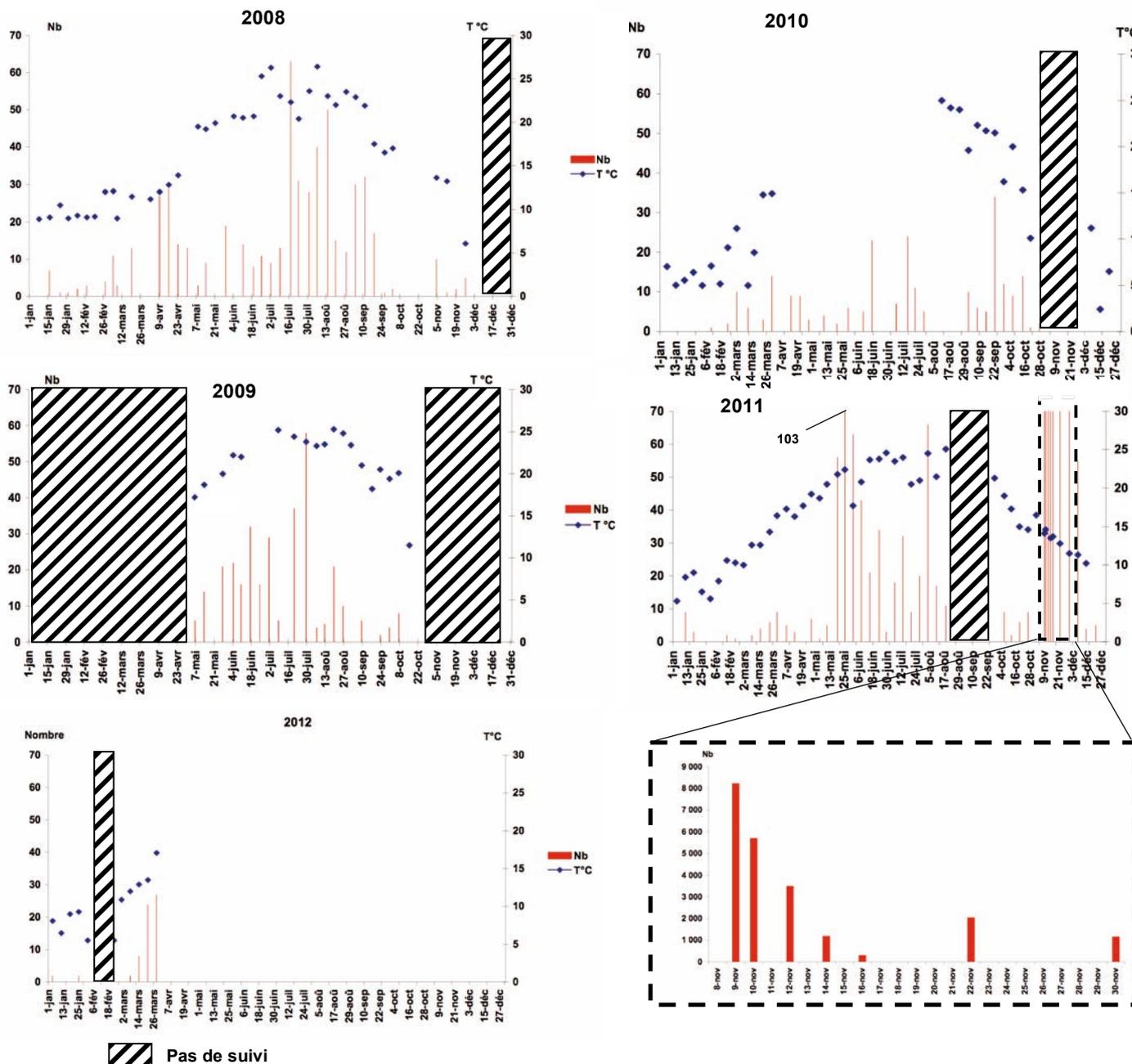


Figure 26 : Captures d’anguilles à la passe-piège et température de l’eau à l’aval immédiat du barrage anti-sel

✓ **Comparaison inter annuelle et inter sites**

La comparaison annuelle de la migration des anguilles (années 2008 à 2012) montre que les flux migratoires (nombre d’anguilles dénombrées à chaque relève) sont du même ordre de grandeur (< 200 individus capturés par mois), hormis au mois de novembre 2011 où 22 176 anguilles ont été dénombrées (fig.26, tab.4). Ce pic important de captures est à mettre en relation avec les fortes pluies du mois de novembre qui ont engendré une crue du Rhône et la hausse des niveaux d’eau des canaux associés (dont le canal d’Arles à Fos) et donc une augmentation de l’attractivité du canal.

Le déroulement de la migration des anguilles est similaire d’une année à l’autre : le nombre de captures augmente de juin à septembre (mai à novembre en 2011) et très peu d’individus remontent entre le mois de janvier et le mois de février inclus (0 à 9 individus capturés de 2007 à 2012). Les mois de mars à mai sont des périodes intermédiaires (quantité d’anguilles faibles).

**Tableau 4 : Captures mensuelles d'anguilles
à la passe-piège de 2007 à 2012**

Anguilles	2007	2008	2009	2010	2011	2012
janvier		9		0	12	4
février		9		3	3	0
mars		27		33	21	61
avril		83		21	15	
mai		31	41	12	165	
juin		33	86	28	164	
juillet		144	130	42	79	
août		117	40	0	94	
septembre		80	12	67		
octobre	0	7	8	26	26	
novembre	9	18			22176	
décembre	0	1	0	0	64	
Total	9	559	317	232	22819	65

Pas de données

Sur les passes-pièges installées à l'usine écluse de Beaucaire-Vallabrègues sur le Rhône, le début de la migration a lieu au mois d'avril et des pics mensuels de captures ont également été observés de mai à novembre (Campton *et al.*, 2009b ; Campton & Lebel, 2010).

En 2011, le nombre d'anguilles capturées a également explosé au mois de novembre. Toutefois, les quantités sont beaucoup moins importantes sur le barrage anti-sel (77 938 anguilles capturées à Beaucaire en rive droite de l'usine écluse, 17 060 en rive gauche) (Campton & Lebel, 2011). Le débit du Rhône (à son embouchure) exerce un appel en mer pour les civelles beaucoup plus important que celui exercé par les darses de Fos-sur-Mer. Il s'agit d'une des explications probables de ce constat. De plus, une partie des anguilles se présentant au niveau du barrage anti-sel ont aussi la possibilité d'emprunter le canal de Rhône à Fos et de retourner vers le Rhône.

Le suivi début 2012 montre que la migration des anguilles est faible (seulement 65 anguilles capturées en 3 mois de suivi. Le constat était similaire en 2008, 2010 et 2011 pour la même période (respectivement 45, 36 et 36 anguilles capturées de janvier à fin mars).

1.2.2. Influence des facteurs environnementaux

✓ Débit

À l'usine écluse de Beaucaire-Vallabrègues, les variations du nombre de captures sont dépendantes, entre autres, des facteurs environnementaux (température et débit du Rhône). On peut donc penser que la gestion des vannes du barrage anti-sel (ouverture/fermeture) a des conséquences sur l'activité migratoire des anguilles. Les données d'ouverture/fermeture des vannes du barrage anti-sel seront par conséquent recueillies auprès du Grand Port Maritime de Marseille puis confrontées à l'évolution des captures sur plusieurs années de suivi afin d'analyser statistiquement leur corrélation (plusieurs années sont nécessaires pour obtenir une bonne robustesse des résultats).

✓ Température

Une corrélation significative entre les captures d'anguilles et la température a été mise en évidence pour l'année 2008 (Campton *et al.*, 2009a). En 2009, l'absence de suivi entre janvier et mai ne permet pas de réaliser le même type d'analyse statistique. En 2010, la sonde électronique enregistreuse de température placée dans la passe piège a disparu. Les données de températures de la période avril-août ne sont donc pas disponibles. En 2011, la température a été mesurée manuellement (sonde multiparamétrique) chaque semaine par l'intervenant à l'aval du barrage anti-sel.

La confrontation des données de températures avec le nombre de captures depuis le début du suivi permet de remarquer que les relèves avec aucune capture correspondent essentiellement à des températures de l'eau inférieures à 12°C (fig.27). La température n'explique toutefois pas les variations quantitatives du nombre de captures au cours du suivi ($r^2 = 0,09$ éloigné de 1).

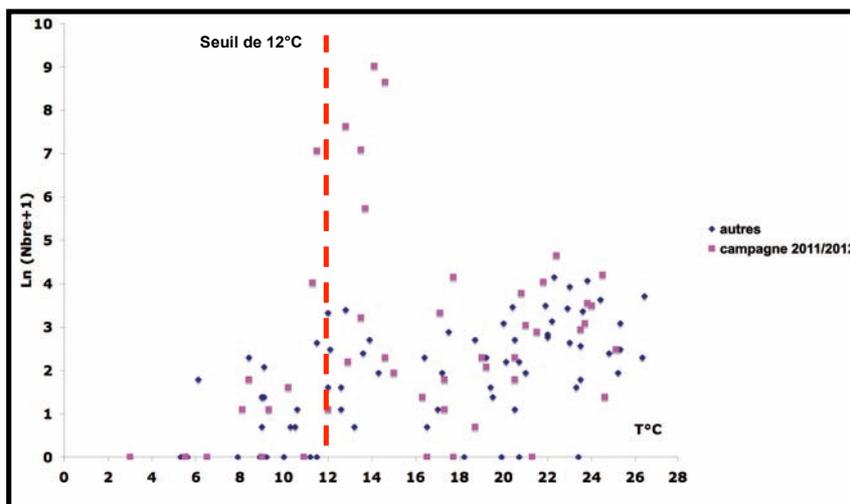


Figure 27 : Evolution des captures d’anguilles à la passe piège avec la température de l’eau (années 2008 à 2012)

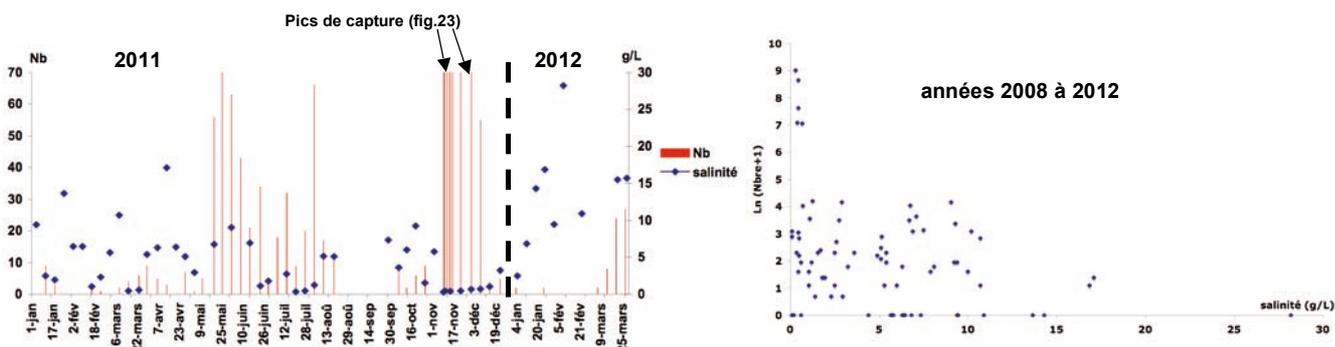
✓ **Salinité**

L’évolution de la salinité à l’aval du barrage anti-sel a été suivie grâce à des prélèvements d’eau réguliers au pied du barrage. Les résultats montrent que la salinité a été très variable en 2011 et en 2012 (salinité moyenne = 6,35 +/- 6,35 g/L) (fig.28). Elle reste toutefois très inférieure aux salinités observées sur l’étang du Vaccarès (13,3 g/L) ou dans les Impériaux (36,5 g/L) durant la même période (données SNPN Camargue).

La raison principale est vraisemblablement l’ouverture / fermeture des vannes du barrage anti-sel. Il serait intéressant de confronter ces variations à l’ouverture / fermeture des vannes du barrage afin de caractériser l’influence de la gestion du barrage sur la salinité de l’eau à l’aval.

L’évolution des captures ne semble pas être influencée par celle de la salinité (fig.28, fig.29). Dans tous les cas, plusieurs années de suivi sont indispensables afin d’identifier avec robustesse les facteurs régissant le déterminisme de la migration des anguilles au barrage anti-sel de Fos sur Mer.

En 2011, les grands pics de captures du mois de novembre s’accompagnent d’une baisse de la salinité. La montée du niveau du canal et l’ouverture du barrage ont engendré une dilution importante de l’eau à l’aval, ce qui explique la chute de salinité.



Figures 28 et 29: Captures d’anguilles à la passe-piège confrontées à la salinité de l’eau à l’aval immédiat du barrage anti-sel

1.2.3 Caractérisation des individus

Les anguilles échantillonnées lors des relèves de la passe-piège ont été mesurées. Afin de comparer les différentes saisons de migration, les individus échantillonnés ont été regroupés par année et non par campagne de suivi. Seulement 6 anguilles ont été échantillonnées en 2007. Leur taille a donc été intégrée aux échantillons de 2008.

Ainsi, 451 anguilles ont été mesurées en 2007/2008, 301 en 2009, 207 en 2010 et 857 en 2011.

✓ **Distributions en tailles des anguilles échantillonnées**

La distribution en taille de l’ensemble des échantillons est présentée en figure 30.

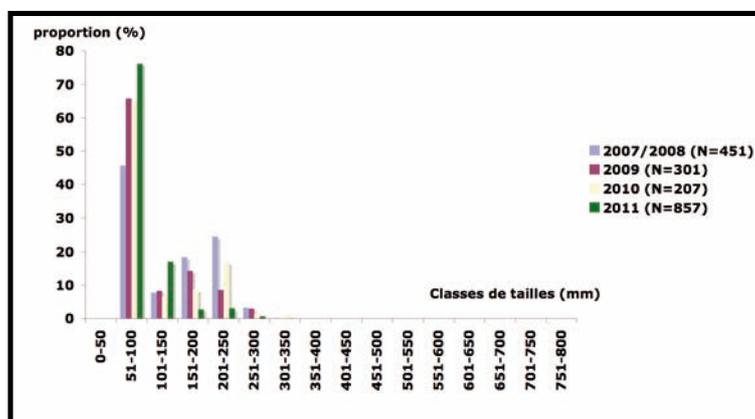


Figure 30 : Distribution de longueur des anguilles échantillonnées (N = 1 816) à la passe piège du barrage anti-sel

Les anguilles capturées dans la passe de 2007 à 2011 sont essentiellement des anguillettes d’une taille inférieure à 300 mm (> 99 %). La classe dominante est 51-100 mm (46 % des individus échantillonnés en 2007/2008, 65,8 % en 2009, 65,2 % en 2010, 78,3 % en 2011), ce qui correspond à des civelles récemment pigmentées.

Toutes les classes de tailles sont représentées entre 50 et 350 mm. Au-delà, aucun individu n’a été capturé. Faut-il en déduire que les anguilles plus grandes arrivent à franchir l’obstacle du barrage anti-sel, ce que ne peuvent faire les plus petites ? Les plus grandes se sont sédentarisées à l’aval de l’ouvrage et ne cherchent pas à coloniser l’amont ? Ou au contraire, aucun individu ne se sédentarise à l’aval et les grandes anguilles y sont absentes ? Il est également possible que la rampe de reptation de la passe piège induise une sélection des anguilles notamment en raison de l’espace entre les fibres synthétiques qui la constituent.

✓ **Tailles moyennes des anguilles échantillonnées**

Les tailles moyennes des anguilles échantillonnées au cours des campagnes de suivi ont été comparées mensuellement. Les mois de janvier / février d’une part puis septembre / octobre d’autre part, ont été regroupés en raison du faible nombre d’individus capturés (tab.5, fig.31).

Tableau 5 : Tailles moyennes mensuelles des anguilles de la passe-piège échantillonnées de 2007 à 2011

		janvier/février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept/oct	novembre/décembre	Total
2007/2008	Taille moyenne (mm)	206,5	209,4	209,0	170,1	172,6	115,2	77,3	104,1		140,8
	±	53,1	36,8	33,6	54,5	33,2	61,6	27,0	57,3		69,7
	N	21	27	83	31	33	88	98	70		451
2009	Taille moyenne (mm)				170,4	134,5	84,5	75,3	85,9		109,7
	±				61,2	59,6	42,0	9,9	11,6		58,1
	N				41	85	134	23	18		301
2010	Taille moyenne (mm)		202,4	181	163,3	100,4	71,7		84,7		91,3
	±		50,5	50,7	79,3	59,4	16,8		16,0		44,9
	N		33	21	12	43	65		70		244
2011	Taille moyenne (mm)	223,4	233,8	157,5	66,8	71,8	85,6	82,4	127,5	99,0	86,3
	±	31,2	20,5	70,3	18,2	25,1	32,0	26,9	70,8	19,6	31,2
	N	11	9	12	143,0	163,0	90,0	97,0	23,0	309,0	857

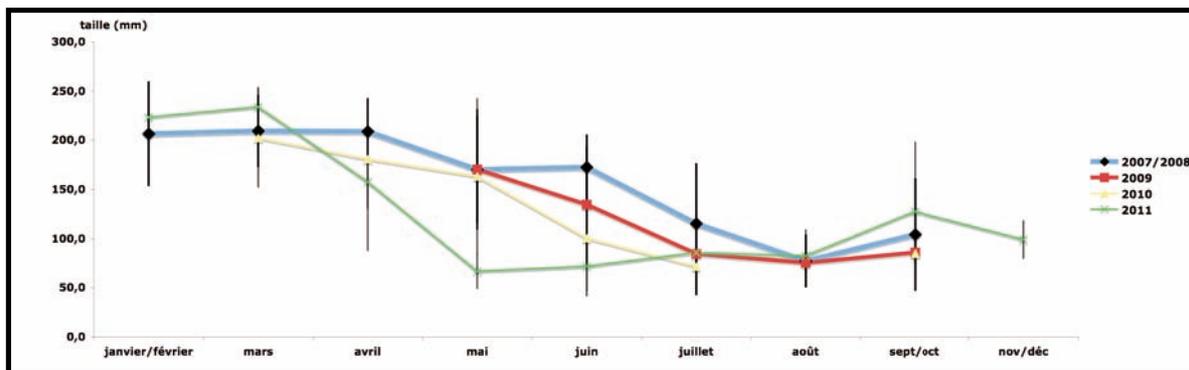


Figure 31 : Evolution des tailles moyennes mensuelles des anguilles de la passe-piège échantillonnées de 2007 à 2011

Bien que la variabilité des tailles soit importante pour un mois donné, la figure 31 tend à montrer que les tailles moyennes diminuent entre les premiers mois de l’année (206,5 mm en janvier/février 2008, 202,4 mm en mars 2010, 233,8 mm en mars 2011) et les derniers mois (104,1 mm en septembre/octobre 2008, 84,7 mm en 2010, 99 mm en novembre/décembre 2011). Les mêmes observations ont été faites sur les passes-pièges de Beaucaire/Vallabrègues. Ce résultat peut s’expliquer par le fait que le recrutement de l’année s’effectue essentiellement de mai à septembre. Les anguilles capturées de janvier à mai seraient majoritairement des individus issus des cohortes précédentes et donc de plus grande taille.

Le nombre mensuel d’anguilles mesurées est insuffisant pour réaliser une comparaison statistique fiable entre les années. Toutefois, l’analyse qualitative du graphique ne montre pas de tendance d’évolution des tailles moyennes entre 2007 et 2011.

✓ **Age des anguilles**

La majorité des anguilles (> 97% des individus) échantillonnées pour lecture d’âge de 2007 à 2010 ont moins de 3 ans (tab.6, fig.32). Ce qui montre que les anguilles présentes en aval du barrage anti-sel effectuent leur migration anadrome dès leur plus jeune âge.

Tableau 6 : Fréquence d’âge des anguilles échantillonnées de 2007 à 2010

	Age	0	1	2	3	4	5	total
2007/2008	Nb	44	59	34	6	0	1	144
	%	30,6	41,0	23,6	4,2	0,0	0,7	
2009/2010	Nb	49	34	20	0	0	0	103
	%	47,6	33,0	19,4	0,0	0,0	0,0	

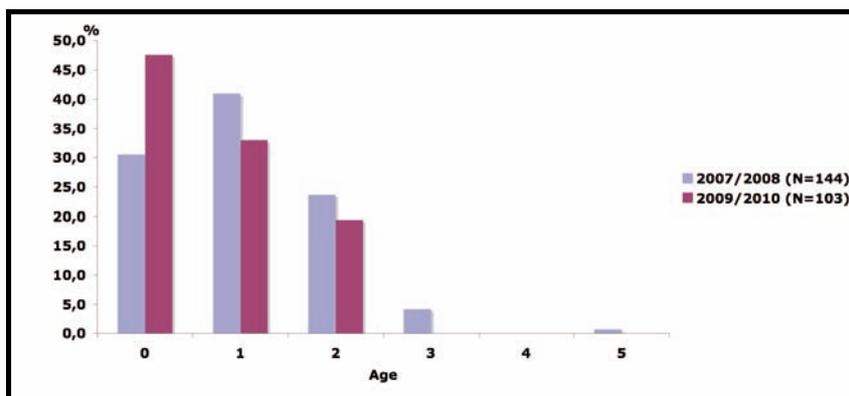


Figure 32 : Distribution en âge des anguilles échantillonnées de 2007 à 2010

De plus, on constate la présence d’une forte proportion d’anguillettes de moins d’un an (30,6 % en 2007/2008, 47,6 % en 2009/2010), ce qui confirme que les anguillettes capturées à la passe-piège sont essentiellement des civelles récemment pigmentées. Au regard de ces résultats très explicites, il n’a pas été nécessaire de continuer les analyses (d’autant plus que les anguilles doivent être sacrifiées pour réaliser les analyses).

I.3. Caractérisation de la migration des civelles

L'évolution des captures de civelles à la passe piège du barrage anti-sel de Fos sur Mer de 2008 à 2012 est présentée en figure 33.

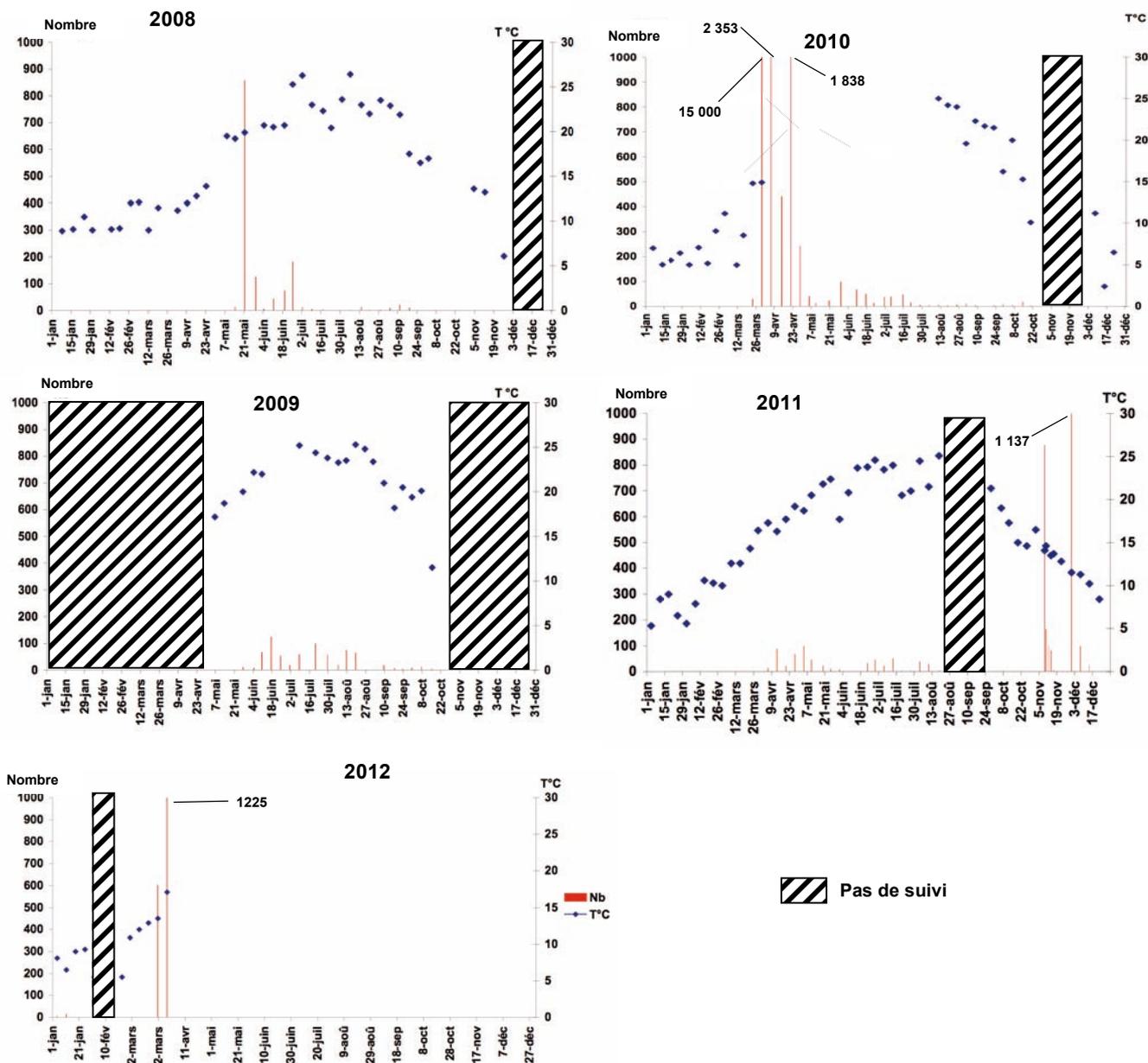


Figure 33 : Captures de civelles à la passe-piège et température de l'eau à l'aval immédiat du barrage anti-sel

I.3.1. Déroulement de la migration

✓ Campagne 2011/2012

Des civelles ont été capturées dès la première relève de la campagne 2011/2012 (14 civelles dénombrées le 6 avril 2011). Les captures sont restées régulières (civelles capturées quasiment à chaque relève de la passe-piège) avec un nombre d'individus relativement faible (de 0 à 100 civelles capturées par relève) jusqu'au 18 août 2011 où la pompe a connu des problèmes de fonctionnement électrique. Aucun individu n'a été capturé du 28 septembre (date de la remise en service) au 2 novembre 2011. Le nombre de civelles piégées a fortement ensuite augmenté du jusqu'au 22 décembre avec un total de 2 502 individus capturés.

Très peu de civelles ont été piégées aux mois de janvier et février 2012 (seulement 21 civelles). Au mois de mars, le nombre de captures a fortement augmenté (1 828 civelles dénombrées).

Au total, 4 963 civelles sont ainsi remontées au cours de la campagne 2011/2012 (1^{er} avril 2011 au 31 mars 2012).

✓ **Comparaison inter annuelle et inter sites**

La période durant laquelle des civelles sont capturées à la passe-piège est la même en 2008 et 2009 (mai à octobre). En 2010 et 2011, les captures ont débuté avec un mois d'avance environ par rapport aux autres années (fin mars / début avril) (tab.7). 2011 est la première année où des captures en grand nombre ont lieu aux mois de novembre et décembre.

Tableau 7 : Captures mensuelles de civelles à la passe-piège de 2007 à 2012

Civelles	2007	2008	2009	2010	2011	2012
janvier		0		0	0	16
février		0		0	0	5
mars		1		15030	1	1829
avril		0		4875	191	
mai		1006	12	174	180	
juin		309	255	130	89	
juillet		23	236	144	79	
août		22	161	22	73	
septembre		42	40	26		
octobre	0	1	17	26	0	
novembre	0	0			2366	
décembre	0	0	2	0	136	
Total	0	1404	723	20427	3115	1850

En 2010, un pic de captures très important s'est déroulé (15 000 civelles capturées le 31 mars, 2 353 le 6 avril et 1 838 le 21 avril).

Pas de données

Des pics d'un ordre de grandeur moindre se sont également produits en 2008 et 2011 et 2012 (985 civelles capturées le 20 et 28 mai 2008, 2 502 civelles capturées du 2 novembre au 22 décembre 2011, 1 828 civelles du 14 au 28 mars 2012).

On n'observe pas de pic de captures en 2009 mais le suivi n'a été que partiel dans l'année (pas de piégeage de janvier à fin avril notamment).

De manière générale, les quantités de civelles capturées à la passe piège sont faibles en comparaison avec les captures réalisées au Grau de la Fourcade (150 000 à plus d'un million de civelles capturées par an depuis 2004) (Crivelli *et al.*, 2007 ; Crivelli *et al.*, 2009 ; Crivelli *et al.*, 2010). Ce Grau profite sûrement de la proximité de l'embouchure du petit Rhône (3 km à l'ouest environ) qui génère un attrait important (fig.34). L'embouchure du canal d'Arles à Fos s'effectue par l'intermédiaire d'une darse. Cette dernière est relativement éloignée de l'embouchure du Rhône (8 km environ) et se trouve au Nord du Golfe de Fos (par conséquent, elle est en retrait de l'embouchure). Son attractivité pour les civelles en mer est donc probablement moins importante que le Grau de la Fourcade.

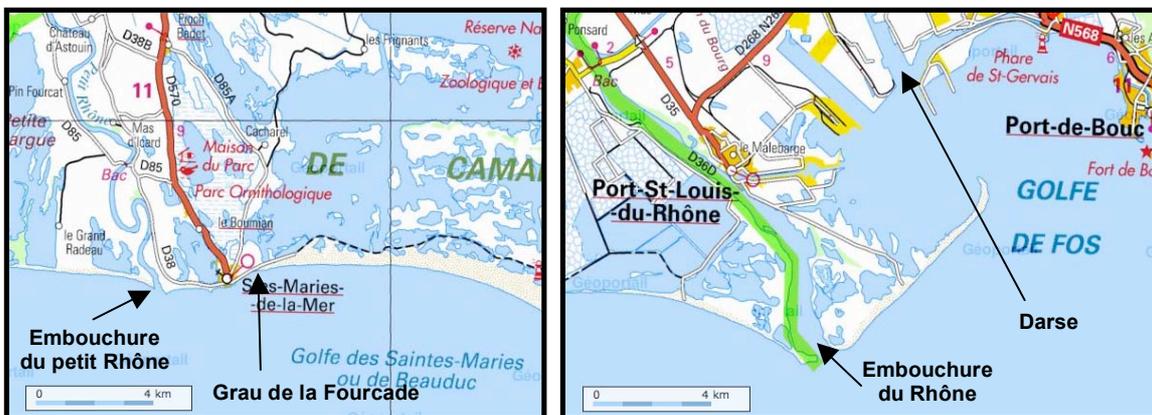


Figure 34 : Comparaison de la configuration du site du Grau de la Fourcade aux Saintes Maries de la Mer et de l'embouchure du canal d'Arles à Bouc dans le Golfe de Fos

1.3.2. Influence des facteurs environnementaux

✓ **Température et débit**

Il est possible que le pic de captures observé en 2010 (qui s'avère être très favorable pour la restauration de l'Anguille en amont du barrage anti-sel) soit la conséquence des pluies abondantes du mois de mars et qui ont dû créer un appel important en mer, attirant les civelles dans la darse puis dans le canal. Ce pic correspond également à l'augmentation des températures de l'eau suite à un hiver particulièrement long cette année.

Le même phénomène a été observé en 2011 avec des pluies diluviennes au mois de novembre engendrant une montée importante des eaux et par conséquent un attrait de la darse pour les civelles se trouvant en mer.

La confrontation des captures à la température de l'eau mesurée à l'aval du barrage anti-sel ne montre pas de corrélation ($R^2 = 0,20$ éloigné de 1) (fig.35). La majorité des captures de civelles (95 %) ont toutefois eu lieu pour des températures supérieures à $11,5^{\circ}\text{C}$.

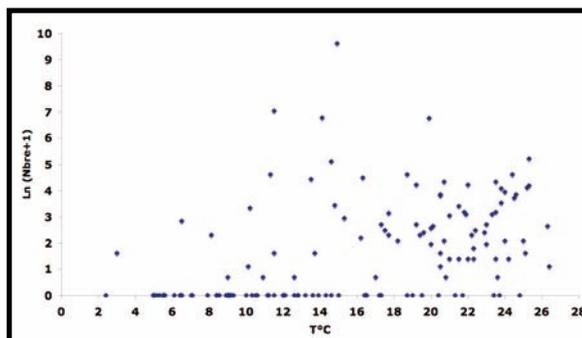


Figure 35 : Nombre de civelles capturées confronté à la température de l'eau à l'aval du barrage anti-sel (données 2008 à 2012)

Au Grau de la Fourcade, les captures de civelles ont lieu plus tôt dans la saison alors que les températures de l'eau sont plus fraîches (captures abondantes au-delà de 6°C). Il est difficile d'attribuer cette observation à une différence de comportement car les sites n'ont pas la même configuration (attrait différent...).

✓ **Salinité**

Au même titre que pour les anguilles, les captures de civelles ont été confrontées à l'évolution de la salinité de l'eau à l'aval du barrage anti-sel et les résultats ne montrent pas de corrélation (fig.36).

Ainsi, seul un suivi sur plusieurs années permettra de mieux comprendre la dynamique de colonisation du canal par l'Anguille.

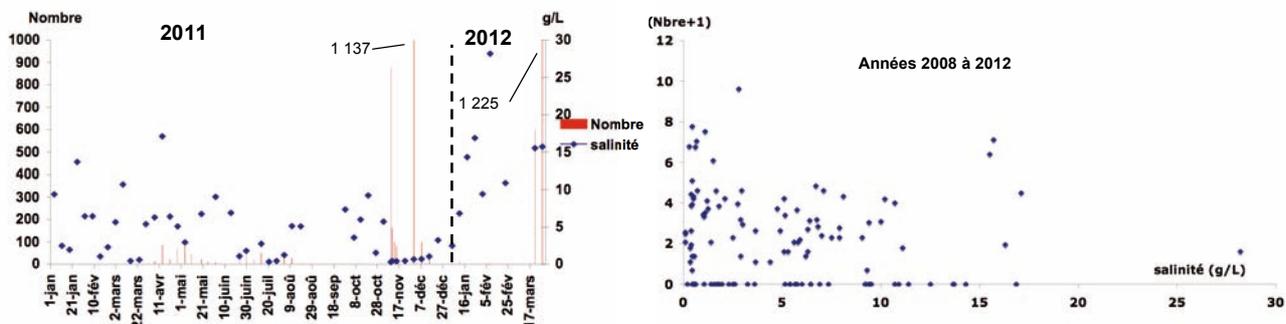


Figure 36 : Captures de civelles à la passe-piège et salinité de l'eau à l'aval immédiat du barrage anti-sel

1.3.3. Caractérisation des individus

Les civelles échantillonnées pour l'analyse des stades pigmentaires ont été mesurées en laboratoire. En complément, certains individus ont été mesurés sur le terrain, notamment lorsque très peu de civelles étaient capturées (< 20 individus). Ainsi, en 2011, 620 civelles ont été échantillonnées pour la distribution en taille et 307 d'entre elles ont également fait l'objet de la détermination du stade pigmentaire.

✓ Distributions en tailles des civelles échantillonnées

La distribution en taille de toutes les civelles échantillonnées est présentée dans la figure 37.

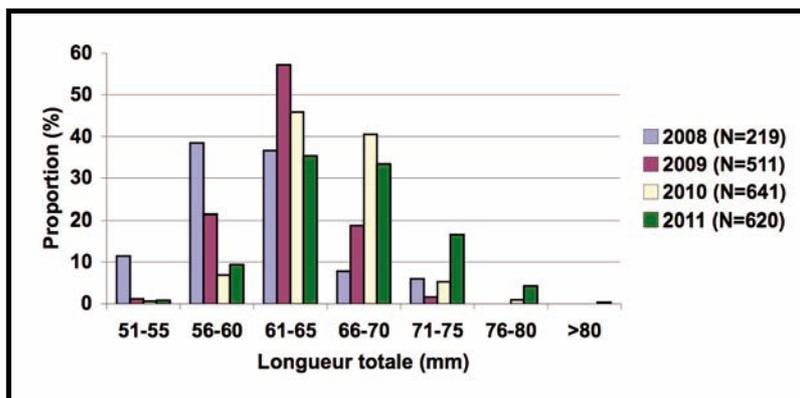


Figure 37 : Distribution des tailles des civelles échantillonnées depuis le début du suivi (N = 1 991)

La classe la plus abondante couvre une gamme de taille allant de 61 à 65 mm pour les civelles échantillonnées en 2009 et en 2010. Celles mesurées en 2008 avaient majoritairement une taille comprise entre 56 et 65 mm. En 2011, la classe de taille majoritaire est la même que 2009 et 2010 (35,3 % des civelles mesurent entre 61 et 65 mm), mais la classe supérieure est également très bien représentée (33,4 % des civelles mesurent entre 65 et 71 mm).

✓ Tailles moyennes des civelles échantillonnées

Au même titre que les anguilles, les tailles moyennes mensuelles des civelles ont été comparées mensuellement (fig.38, tab.8).

Tableau 8 : Tailles moyennes mensuelles des civelles capturées au barrage anti-sel au cours des deux campagnes de suivi

		mars	avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept-Oct	Nov-Dec	Total
2008	Taille moyenne (mm)			58,5			63,7	66,9		60,8
	±			3,0			2,0	3,9		4,7
	N			149			21	49		219
2009	Taille moyenne (mm)			60,8	62,6	61,9	64,5	66,4		62,2
	±			2,2	3,2	2,8	2,8	3,1		3,0
	N			13	171	160	124	43		511
2010	Taille moyenne (mm)	66,0	64,3	64,1	62,4	62,6	64,9	69,4		64,0
	±	3,5	2,6	2,9	3,7	3,4	2,3	3,8		3,6
	N	80	148	123	112	141	10	27		641
2011	Taille moyenne (mm)		65,2	62,8	63,8	62,0	63,9		71,0	65,3
	±		3,1	3,4	5,7	4,1	3,4		3,3	5,1
	N		87	147	90	80	72		150	620

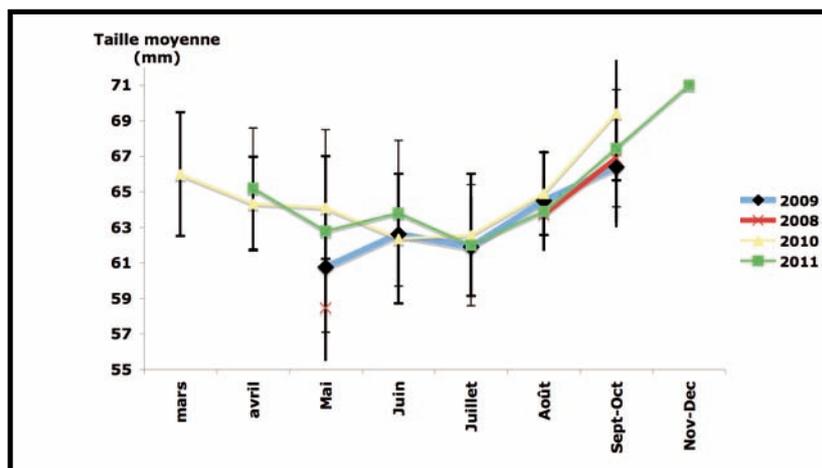


Figure 38 : Evolution des tailles moyennes mensuelles des civelles capturées au barrage antisel depuis le début du suivi

2010 est la première année pour laquelle nous avons un suivi complet de l’évolution des tailles des civelles. On n’observe pas de tendance particulière sur les premiers mois de l’année (mars à mai). Les tailles moyennes semblent alors augmenter de juin à octobre pour chaque année de suivi. En 2011, l’augmentation de la taille moyenne mensuelle se confirme. La stabulation des civelles à l’aval du barrage antisel est probablement la raison de cette augmentation. Les individus capturés au mois en septembre et octobre sont en effet issus de la même cohorte que ceux capturés au mois de mai.

Les tailles moyennes mensuelles sont similaires aux mois de juin juillet et août pour les quatre années de suivi. On constate en revanche une différence significative de la taille moyenne de 2008 à 2011 pour le mois de mai (ANOVA ; $F_{3,329} = 65,91$, $P < 0001$). Ce constat pourrait être la conséquence de conditions hydroclimatiques différentes d’une année à l’autre en période printanière (mars à mai) et similaires en période estivale.

✓ **Age des civelles échantillonnées**

La détermination du stade pigmentaire a été réalisée afin de connaître le vieillissement (selon la pigmentation) des civelles. Les résultats sont présentés en figure 39.

Le stade VB est peu représenté quelle que soit l’année de suivi, ce qui montre que peu de civelles capturées à la passe-piège sont récemment arrivées de la mer Méditerranée.

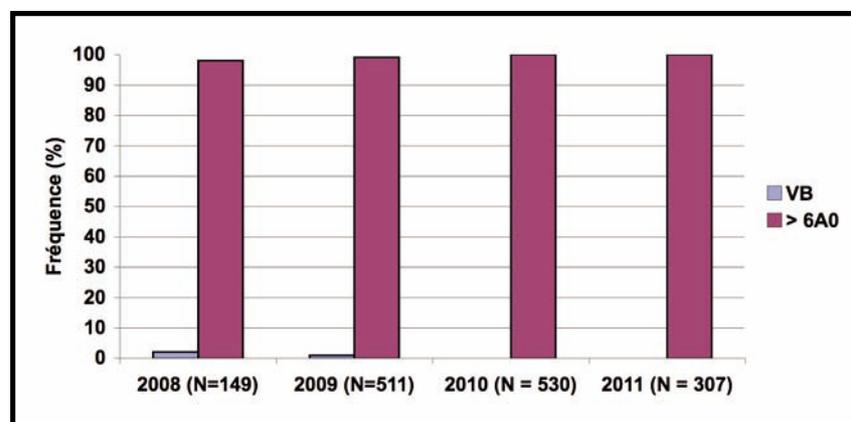


Figure 39 : Stades pigmentaires des civelles capturées à la passe piège (N = 1 497)

Ceci confirme que malgré la proximité de la mer Méditerranée, les anguilles sont retardées dans leur migration probablement en raison de la faible intensité et de la périodicité réduite de l'appel en mer qui est essentiellement modulé par le barrage anti-sel et par les précipitations (seules de fortes pluies sur une courte période peuvent créer un bon appel en mer).

En utilisant l'état d'avancement de la pigmentation comme un indice d'âge (civelles « jeunes » : stades V_A , V_B , civelles « âgées » : stades VI_{A1} , VI_{A2}), Sergent (2001) a déduit sur la figure 40 deux vagues d'arrivées de civelles au grau de la Fourcade en Camargue pour les années 2000-2001. Une première en novembre-décembre (forte proportion de stade V_B) et une seconde à partir du mois d'avril (augmentation de la proportion de stade VI_{A1}).

Par conséquent les civelles capturées au barrage anti-sel lors de cette étude, avec une majorité de civelles au stade supérieur à V_B appartiennent vraisemblablement à la seconde vague d'arrivée printanière de civelles sur les côtes du sud de la France.

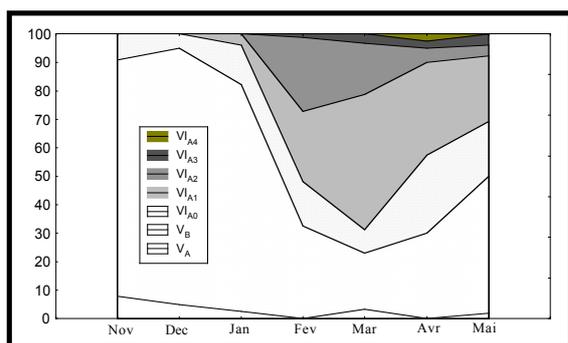


Figure 40 : Stades de pigmentation des civelles capturées (%) au grau de la Fourcade en Camargue entre novembre 2000 et mai 2001 (Sergent, 2001)

II. Colonisation du canal d'Arles à Bouc

Afin de connaître l'efficacité du fonctionnement de la passe-piège et d'avoir un indicateur de l'évolution de la colonisation du canal d'Arles à Bouc, des pêches scientifiques y sont réalisées chaque année depuis 2007. Le tableau 9 présente les principales caractéristiques de chacune de ces pêches.

Tableau 9 : Caractéristiques des pêches réalisées sur le canal d'Arles à Bouc de 2007 à 2010

Période	Conditions météorologique	Température à la passe piège	Nombre total d'anguilles	CPUE (Nombre d'anguilles par jour)
12 - 17 novembre 2007	bonnes	7,1°C	23	4,6
30 septembre au 5 octobre 2008	bonnes	17°C	11	2,2
12 au 17 octobre 2009	Fort mistral	6,3°C	35	7
11 au 16 octobre 2010	bonnes	15,3°C	28	5,6
9 au 14 mai 2011	bonnes	20,5°C	9	1,8

II.1. Conditions d'échantillonnage

En novembre 2007 (pêche d'évaluation de l'état initial du canal), les conditions de pêche étaient moyennement satisfaisantes, considérant que la température de l'eau était de 7,1 °C. Généralement, on considère que les anguilles cessent toute migration en dessous de 10°C (Crivelli, 1998), ce qui a probablement réduit les captures pendant la période considérée, les engins de pêche étant des engins passifs (un poisson doit se déplacer pour avoir une chance d'être capturé par le filet).

Début octobre 2008 (campagne 2007/2008), les conditions étaient meilleures (température de l'eau supérieure à 15°C).

Lors des pêches effectuées en octobre 2009 (campagne 2009/2010), les conditions climatiques étaient moyennes en raison d'un important mistral tout le long de la semaine d'échantillonnage (un jour de relève des engins a dû être annulé).

En octobre 2010, la température de l'eau du canal était favorable (> 14°C) et la météo très convenable pour la réalisation des pêches tout comme en 2011 où les pêches ont été réalisées en période printanière afin d'augmenter la probabilité de captures d'anguillettes migrantes (période propice à la migration de montaison, mais peu propice à la capture d'anguilles argentées).

II.2. Données antérieures

Aucune étude n’est disponible sur les poissons du Canal d’Arles à Bouc. Le pêcheur qui possédait un lot de pêche sur ce canal a pêché environ une dizaine d’années et a cessé toute activité entre 2000 et 2001 car la pêche n’était plus rentable. Ce pêcheur explique l’absence de poissons, et plus particulièrement d’anguilles, par la présence et la gestion du barrage anti-sel. Étant donné que cet ouvrage a été construit en 1980, et qu’il a été automatisé en 1996, il est possible que de 1980 à 1996, le barrage et sa gestion permettaient un certain passage d’anguilles (dans des conditions particulières). Suite à son automatiser, il semblerait que le barrage soit devenu plus difficile à franchir pour les anguilles, ce qui aurait provoqué l’abandon de la pêche quelques années après 1996. D’autres facteurs peuvent évidemment être à l’origine de la diminution des captures d’anguilles, mais il est difficile de les identifier et d’évaluer leur part respective en l’absence de données antérieures et fiables sur ce canal.

II.3. Analyse des résultats

II.3.1. Captures par unité d’effort (CPUE)

Le nombre d’anguilles capturées par unité de temps et par engin lors des pêches scientifiques ou captures par unité d’effort (CPUE) est présenté en figure 41.

Les CPUE sont utilisées comme une estimation de l’abondance relative des anguilles dans le canal. Si celui-ci avait pu être vidé ou si la pêche électrique était applicable, nous aurions obtenu l’abondance réelle d’anguilles en nombre par unité de surface, par exemple 25 anguilles pour 100 m². Comme de telles méthodes ne sont pas applicables dans un canal comme Arles à Bouc (le dimensionnement et certaines profondeurs l’empêchant), les méthodes d’estimation d’abondance relative ont été utilisées. Le nombre d’anguilles capturées n’est donc pas ramené à une surface échantillonnée, mais à un effort de pêche standard (le jour).

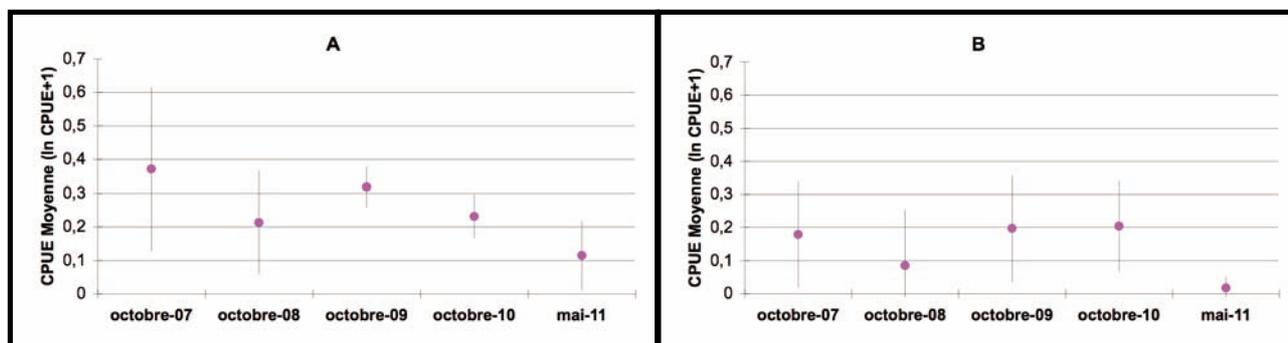


Figure 41 : CPUE moyennes d’anguilles par engin (A : 10 mm ; B : 6 mm) dans le canal d’Arles à Fos (Pêches 2007 à 2011)

Tableau 10 : Récapitulatif des captures d’anguilles dans le canal d’Arles à Fos de 2007 à 2011

	10 mm	6 mm	total
nov-07	16	7	23
oct-08	8	3	11
oct-09	21	14	35
oct-10	14	14	28
mai-11	7	2	9

En 2007, 23 anguilles ont été capturées pendant les cinq jours de pêche et seulement 11 anguilles ont été capturées en 2008 (tab.10). En 2009, 35 anguilles ont été capturées sachant que l’effort de pêche a augmenté. La campagne de pêche de

2010 a permis la capture de 28 anguilles. En 2011, le nombre total d’anguilles capturées est très faible (seulement 9 anguilles capturées).

Ainsi, un verveux de 6 mm capturerait en moyenne une anguille tous les 3 jours en 2007, 2009 et 2010. En 2008, il capturerait en moyenne une anguille tous les 8 jours. En 2011, 16 jours étaient nécessaires pour capturer une anguille. Un verveux de 10 mm capturerait en moyenne en 2007 une anguille tous les jours. 3 jours de pêche étaient nécessaires en 2008 et 2010. En 2009, une anguille était capturée en 2 jours de pêche environ. En 2011, une anguille pouvait être capturée en 5,7 jours environ.

Les CPUE des engins sont similaires entre les années 2007 et 2010 pour les verveux avec une taille de maille de 10 mm ($F_{3,8} = 1,81$; $p\text{value} = 0,209$ non significatif). Seule l'année 2011 enregistre un résultat plus faible ($F_{4,10} = 3,44$ $p\text{value} = 0,04$ significatif). Cette baisse de captures est principalement due au fait que la majorité des anguilles capturées les années précédentes étaient en phase d'argenture. La période propice à leur capture est donc l'automne (les pêches 2011 ont eu lieu au printemps).

Il n'y a pas de différence significative pour les CPUE des verveux de maille 6 mm de 2007 à 2011 ($F_{4,20} = 1,76$ $p\text{value} = 0,18$ non significatif), malgré le fait que 2011 soit la CPUE la plus faible enregistrée à ce jour. De manière globale, l'évolution des CPUE est similaire de 2007 à 2011 pour les deux types de verveux et les valeurs sont faibles en comparaison à celles observées sur le canal du Fumemorte en Camargue (Crivelli, *comm. pers.*).

II.3.2. Caractérisation de la population du canal

✓ Structure en taille des anguilles pêchées

La distribution de longueur des anguilles capturées lors des pêches est présentée dans la figure 42.

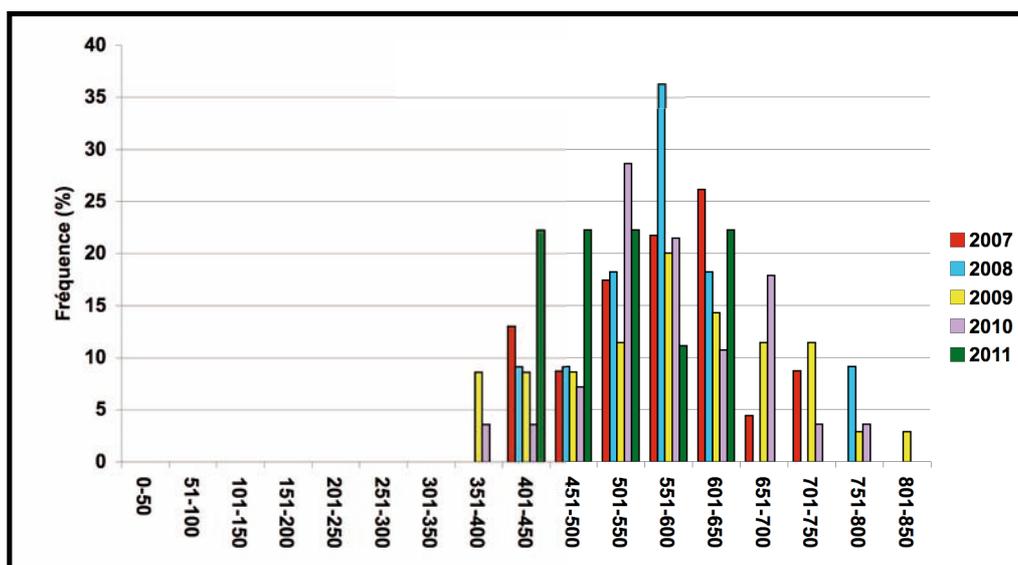


Figure 42 : Distribution de longueur des anguilles capturées dans le canal d'Arles à Bouc de 2007 à 2011

On remarque immédiatement l'absence totale d'anguilles en dessous de 350 mm et ce pour toutes les années. Très peu d'anguilles ont été pêchées en 2011, l'analyse de la distribution en tailles de ces individus n'est donc pas pertinente. On peut toutefois noter que ces anguilles ont des tailles comprises dans la même gamme que les années précédentes.

La distribution de longueur des anguilles capturées lors des pêches est décalée par rapport à celle des anguilles capturées dans la passe. Il faut cependant tempérer cette différence, car contrairement à la passe piège, les filets utilisés dans le canal ont une certaine sélectivité (fig.43) : cela signifie que les verveux de 6 mm ne capturent pas efficacement (proportionnellement à ce qui est réellement disponible dans le milieu) les anguilles en dessous de la classe 150 mm. De même, les verveux de 10 mm ne capturent pas efficacement les anguilles en dessous de 220 mm.

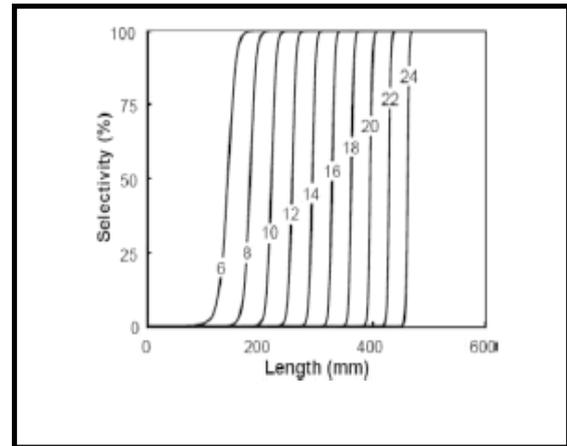


Figure 43 : Sélectivité des verveux selon la taille de maille (Bevacqua et al. 2007)

L'absence d'anguillettes dans les captures par pêches ne signifie donc pas qu'elles sont absentes du milieu. Cependant, ce résultat laisse supposer que leur densité dans le canal est faible car si beaucoup d'individus avaient été présents, quelques captures auraient été réalisées malgré cette sélectivité des filets. Le faible nombre d'anguillettes capturées à la passe et relâchées en amont du barrage anti-sel n'apparaît donc pas du tout dans les résultats des pêches 2008 à 2011. Celles-ci se sont sûrement dispersées, voire ont poursuivi leur route vers l'amont.

Pour l'instant, on n'observe pas d'effets bénéfiques de la passe piège sur les abondances et la structure de la population d'anguilles du canal. Malgré la grande quantité de civelles piégées au mois de mars 2010, la probabilité de captures d'anguilles dans le canal en octobre 2010 était en effet extrêmement faible. En novembre 2011, une grande quantité d'anguillettes et de civelles ont également colonisé le canal. Il faut donc espérer que dans les années à venir et notamment en 2012, les abondances d'anguilles dans le canal augmenteront.

✓ **Structure sexuelle de la population pêchée**

Le sex-ratio était de 91% en 2007 et de 100% de femelles en 2008. Parmi les anguilles sexuellement différenciées, 100% étaient des femelles en 2009. En 2010, on retrouve plus de 96% de femelles. 89 % des anguilles capturées en 2011 étaient des femelles (11 % d'individus au sexe non différencié).

Pour comparaison, Dupont en 1984 (*in* Crivelli, 1998) mentionnait des sex-ratios au canal de drainage du Fumemorte de 80% environ de femelles, résultat similaire aux résultats du canal d'Arles à Bouc. Le déterminisme du sexe des anguilles est susceptible d'être influencé par beaucoup de facteurs environnementaux (productivité du milieu, distance à la mer...) après la colonisation du milieu (Crivelli, 1998).

✓ **Acquisition de l'argenture**

En 2007, 2008, 2009 et 2010, respectivement 38,7%, 9%, 23% et 7,1 % des anguilles capturées étaient des argentées migrantes (fig.44). En 2011, aucun des individus capturés n'était argenté.

La période privilégiée pour la migration de dévalaison des anguilles est l'automne. Il n'est par conséquent pas surprenant d'observer la présence d'anguilles argentées migrantes parmi les individus capturés au mois d'octobre. En 2011, les pêches ayant été effectuées au mois de mai, l'absence d'anguilles argentées n'est pas surprenante.

Les conditions environnementales influent sur cette migration de dévalaison vers la mer. Ainsi, la différence de proportion d’argentées entre les différentes pêches peut s’expliquer par les températures de l’eau et les débits du canal qu’il y a eu les jours précédant les pêches, car à cette période, les individus dévalant profitent de l’augmentation du débit des cours d’eau pour rejoindre la mer. Ainsi, il serait intéressant de recueillir les chroniques de débit du canal afin d’analyser leur influence sur la proportion d’anguilles argentées. Une fois encore, plusieurs années de pêches sont nécessaires pour mettre en évidence une relation entre ces deux paramètres.

En revanche, il n’est pas pertinent de comparer cette distribution à celle observée lors des pêches sur le Vigueirat étant donné que le plan d’eau échantillonné est étanche à la circulation piscicole et que les anguilles y ont été introduites à différents stades de développement de manière contrôlée (Crivelli *et al.*, 2012).

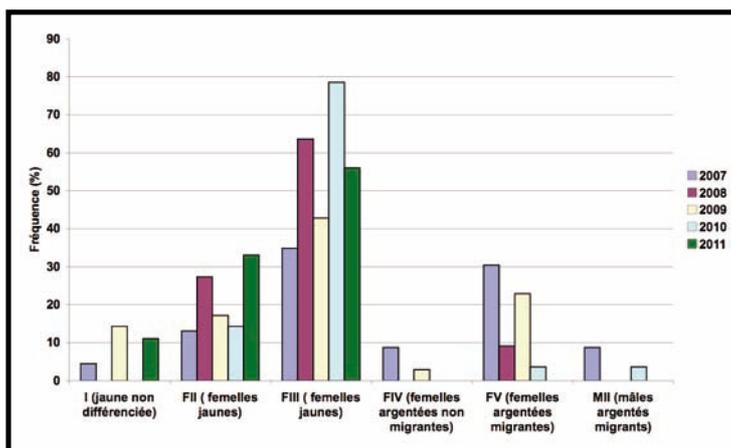


Figure 44 : Indice d’argenture des anguilles capturées dans le canal d’Arles à Bouc

✓ **État sanitaire**

▪ **Anguillicola crassus**

Les résultats des investigations sur le parasite *Anguillicola crassus* sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Situation d’*Anguillicola crassus* dans le canal d’Arles à Bouc en amont du barrage anti-sel (années 2007 à 2010)

	2007 (N=23)	2008 (N=11)	2009 (N=35)	2010 (N=28)	2011 (N=9)
Prévalence	69,6 %	100 %	65,8%	64,3 %	88,9 %
Abondance	2,48 ± 3,08*	4,36 ± 4,16	2,60 ± 4,31	4,25 ± 6,02	2,67 ± 2,21
Intensité	3,56 ± 3,12	4,36 ± 4,16	3,96 ± 4,79	6,61 ± 6,39	3 ± 2,12
SDI	2,04 ± 0,91	2,63 ± 1,07	2,03 ± 1,06	2,18 ± 1,56	1,89 ± 0,99

*moyenne ± écart-type

Le SDI (indice de dégénération de la vessie natatoire) et la prévalence (proportion d’anguilles infectées) indiquent que la plupart des individus capturés au canal d’Arles à Bouc sont parasités (65 à 100%) à des stades moyennement avancés (SDI = 2 à 2,7). *Anguillicola crassus* a donc colonisé le canal d’Arles à Bouc.

Les valeurs mesurées en termes d'abondance (nombre moyen de parasites dans la vessie des anguilles (contaminées ou non)), qui est l'indice le plus intégrateur, sont totalement comparables à celles observées dans le canal du Fumemorte en Camargue où ce parasite a été trouvé pour la première fois en France (Lefebvre & Crivelli, 2004). En milieu naturel, il est tout simplement impossible de se débarrasser de ce parasite qui a colonisé toute l'Europe et même les îles comme la Grande-Bretagne et l'Irlande.

L'évolution annuelle de ces indices ne montre pas de tendance particulière, mais plutôt une stabilité du parasitisme au cours du temps, ce qui est en concordance avec ce qui peut être observé en milieu d'eau douce (abondance : $F_{4,36} = 0,82$, non significatif ; $F_{4,101} = 0,69$, non significatif ; Intensité : $F_{4,37} = 1,67$, non significatif). Toutefois, les valeurs observées montrent des indices de parasitisme plus démarqués en 2008. Les conditions environnementales rencontrées cette année là ont probablement favorisé le développement d'*Anguillicola crassus*.

NIELSEN (1997) avait fait l'hypothèse que plus le milieu est salé et moins l'Anguille souffre de ce parasite. Cette hypothèse a été confirmée en Camargue sur les anguilles argentées pêchées dans des milieux de salinité différente (LEFEBVRE *et al.*, 2003a).

En 2008 et 2009, un sous-échantillon d'anguilles capturées dans la passe-piège, donc venant de l'aval du barrage anti-sel a été analysé pour déterminer l'état de leur vessie natatoire et l'éventuelle présence du parasite (tab.12).

Tableau 12 : Situation d'*Anguillicola crassus* dans le canal d'Arles à Bouc en aval du barrage anti-sel

	2008 (N = 136)	2009 (N = 107)
Prévalence	24,1 %	31,8 %
Abondance	0,52 ± 1,16*	0,76 ± 1,63*
Intensité	2,15 ± 1,42*	2,38 ± 2,12*
SDI	0,40 ± 0,88*	0,63 ± 1,00*

*moyenne ± écart-type

Tous les indices parasitaires montrent des valeurs très inférieures à celles observées à l'amont. Ce phénomène est expliqué par la différence de salinité de l'eau entre l'amont et l'aval. En effet, la présence du barrage anti-sel a pour conséquence que la salinité à l'aval est beaucoup plus élevée et le parasite *Anguillicola crassus* tolère mal le sel (Lefebvre *et al.*, 2003a).

▪ EVEX

Concernant la recherche du virus Evex, réalisée par l'ANSES, aucune souche n'a été trouvée sur les 2 lots de 7 anguillettes provenant de la passe piège. En 2009 et 2010, respectivement un lot de 10 anguillettes et cinq lots de 3 anguillettes avaient été prélevés et les analyses n'avaient pas décelé la présence de ce virus. Ce résultat est assez encourageant, bien que les échantillons ne soient pas représentatifs de la population d'anguilles du canal d'Arles à Fos.

II.3.3. Autres captures

Les captures de poissons autres que l'Anguille ainsi que les captures d'écrevisses sont présentées en annexe 5. 9 espèces différentes ont été capturées en 2011 sur les 18 rencontrées depuis 2007. La majorité des poissons capturés appartient à la famille des *Cyprinidae* et les deux espèces d'écrevisses rencontrées sont américaines : il s'agit d'*Orconectes limosus* et de *Procambarus clarkii*. Ces deux espèces sont considérées comme invasives. Les espèces introduites représentent environ 2/3 des poissons capturés.

En 2011, 510 poissons ont été capturés, ce qui constitue le meilleur résultat depuis le début du suivi en 2007. Les deux espèces dominantes sont les brèmes et perches soleil (91 % des captures). La période de pêche explique cette différence de résultats (période printanière plus propice à la capture de ces espèces qui sont en activité de reproduction).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'installation de la passe piège à anguilles par le Grand Port Maritime de Marseille répond à plusieurs objectifs à différentes échelles :

Au niveau local, dans le cadre du premier plan de gestion des espaces naturels de la zone industrielle et portuaire de Fos-sur-Mer, cette action doit restaurer à terme une population d'anguilles plus équilibrée et plus abondante dans le canal d'Arles à Bouc ainsi que les autres marais et canaux du Plan du Bourg.

Au niveau du bassin, la construction de cette passe répond à l'un des objectifs du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) 2004-2009 : développer significativement le stock d'anguilles disponibles pour la reproduction et la pêche en rendant accessibles ou en facilitant l'accès aux zones de croissance du Rhône et de ses annexes (lônes, contre-canaux), aux affluents de rive droite du Rhône (Gardon, Cèze, Ardèche) et aux affluents de rive gauche du Rhône (Durance, Ouvèze, Aygues et Lez).

Au niveau européen, les données recueillies par ce suivi pourront s'avérer utiles aux études entrant dans le cadre de la nouvelle réglementation européenne du 18 Septembre 2007 (règlement CE n°1100/2007) et donc utiles pour la mise en œuvre du plan de gestion de l'Anguille (dont les objectifs sont repris par le nouveau PLAGEPOMI 2010-2014).

Au cours de la campagne 2011/2012, 22 848 anguilles et 4 963 civelles ont été capturées à la passe-piège. Les différentes campagnes de suivi (2007 à 2012) n'ont pas permis de capturer des quantités importantes d'anguilles en comparaison avec les suivis des passes pièges du Grau de la Fourcade et de Beaucaire réalisés par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée.

Le déroulement et le déterminisme du flux migratoire des anguilles et des civelles (pics de captures, nombre d'anguilles par relève, influence hydroclimatique...) a été similaire avec celui des campagnes précédentes (hormis les remontées massives au mois de novembre en raison des fortes précipitations).

Les caractéristiques populationnelles des anguilles capturées au barrage anti-sel (distribution en taille, pigmentation des civelles...) étaient elles aussi similaires entre les campagnes avec une dominance de petits individus et de civelles présentant un stade de pigmentation avancé.

Les pêches dans le canal d'Arles à Bouc ont montré de très faibles abondances d'anguilles avec l'absence de petits individus. L'analyse parasitaire des anguilles capturées décele la présence d'*Anguillicola crassus* avec des abondances et des taux d'infestation comparables aux années précédentes.

Le milieu étant très artificialisé et très différent des milieux lagunaires, de nombreuses campagnes sont nécessaires pour améliorer significativement la colonisation des anguilles. Ce projet va néanmoins dans le bon sens et il est nécessaire de continuer à favoriser la montaison des anguilles dans le canal dans les années à venir.

Le suivi sera poursuivi en 2012. Une nouvelle campagne de pêches est prévue sur le canal du 8 au 13 octobre 2012.

REFERENCES

- Abdallah Y., Crivelli A.J., Lebel I., Mauclert V., Hennissart C., Marobin D., 2009, Etat des lieux de la pêche professionnelle à l'Anguille (*Anguilla anguilla*) en région Provence Alpes Côte d'Azur., Rapport COGEPOMI RMC – M.R.M. – Pôle Relais Lagunes – Tour du Valat – CRPMEM PACA – Parc Naturel Régional de Camargue., 51p.+annexes.
- Acou A., 2006. Bases biologiques d'un modèle pour estimer la biomasse féconde de l'anguille européenne en fonction des recrues fluviales et du contexte de croissance : approche comparative à l'échelle de petits bassins versants. Thèse Université Rennes 1. 333p.
- Adam G., Feunteun E., Prouzet P., Rigaud C., 2008, L'Anguille européenne, indicateurs de présence et de colonisation., éditions Quae, 393p.
- Als T., Hansen M., Maes G., Castonguay M., Riemann L., Aarestrup K., Munk P., Sparholt H., Reinhold H., Bernatchez L., 2011. All roads lead to home : panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology* (2011) 20, 1333-1346. 14 p.
- Amilhat E., 2007. État sanitaire de l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône Méditerranée et Corse : Synthèse Bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Ceparlmar. CBETM, Université de Perpignan. 88p.
- Amilhat E., Farrugio H., Lecomte-Finiger R., Simon G., Sasal P., 2009. Silver eel population size and escapement in a Mediterranean lagoon : Bages-Sigean, France. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* (2008) 390-391, 05. 11p.
- Antunes C., Tesch F.W., 1997, A critical consideration of the metamorphosis zone when identifying daily rings in otoliths of European eels, *Anguilla anguilla* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 6 : pp 102-107.
- Ashworth S.T., Blanc G., 1997. *Anguillicola Crassus*, un colonisateur agressif récemment introduit dans les stocks européens d'Anguilles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (1997) 344/345 : 335-342.
- Baisez A., 2003. Lettre d'information N°2 Mai 2003. Tableau de Bord Anguille du Bassin Loire. 4p.
- Banning P., Haenen O., 1990. Effects of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in wild and farmed eel, *Anguilla anguilla*. *Pathology in Marine Science. PAMAQ 3 Proceedings.* Virginia, USA, 1988. Academic Press. p 317-330.
- Bevacqua, D., Melia, P., Crivelli, A.J., Gatto, M. & G. De Leo 2007. Multi-objective assessment of conservation measures for the European eel (*Anguilla anguilla*): an application to the Camargue lagoons. *ICES Journal of Marine Science*, 64, 1483-1490.
- Berg T. & Steen J-B. 1965. Physiological mechanisms for aerial respiration in the eel. *Comp Biochem Physiol.* 15(4) : 469-84.
- Bonneau S., 1990. Etude sur le cycle biologique d'*Anguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi et Itagaki, 1974) nematode parasite de la vessie gazeuse des Anguilles. Mémoire de stage, DEA de Parasitologie. Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, 27p.
- Briand C., Fatin D. & Legault A., 2002. Role of eel odour on the efficiency of an eel leader and trap. *Publication Environmental Biology of Fishes.*

- Briand C., Fatin D., Lambert P., 2004. Effets de la température et de la salinité sur le développement de la pigmentation des civelles (*Anguilla anguilla*). Cybium, Revue Internationale d'Ichtyologie. Volume 8, n° 3.
- Bruijs M.C.M, Durif C.M.F., 2009, Silver eel migration and behaviour., Van den thillart *et al.*(eds.), Spawning migration of the European Eel, Springer Science + Business Media B.V.
- Brusle J., 1994, L'Anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bull. Fr. Pêche Piscic., 335, 237-260.
- Brusle J., Quignard J.P., 2006, Biologie des poissons d'eau douce européens., éditions Tec & Doc, p 387-422.
- Campton P., Crivelli A.J., Lebel I., Abdallah Y., Vanel N., 2009a, L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans le canal d'Arles à Bouc, Etat des lieux et premiers résultats de la passe piège installée sur le barrage à sel, Campagne 2007/2008., rapport MRM, 27p.+annexes.
- Campton P., Vanel N., Blanc X., Fayan S., 2009b, Suivi des passes-pièges de l'usine de Beaucaire., Campagne d'étude 2008., rapport MRM, 29p + annexes.
- Campton P., Crivelli A.J., Lebel I., 2010, L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans le canal d'Arles à Bouc, Etat des lieux et premiers résultats de la passe piège installée sur le barrage à sel, Campagne 2009/2010., rapport MRM, 41p.+annexes.
- Campton P., Crivelli A.J., Lebel I., 2011, L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans le canal d'Arles à Bouc, Etat des lieux et premiers résultats de la passe piège installée sur le barrage à sel, Campagne 2010/2011, rapport MRM, 54p.+annexes.
- Campton P., Lebel I., 2010, Suivi des passes à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'études 2010., rapport MRM, 40p. + annexes.
- Campton P., Lebel I., 2012, Suivi des passes à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'études 2011., rapport MRM.
- Carry L. & Delpeyroux J-M., 2003, Etude des rythmes de migration des espèces amphibiotiques et holobiotiques de la Garonne au niveau de la station de contrôle de Golfech au cours de l'année 2002. Migado, rapport G18-03-RT, 26p.+ annexes.
- Chancerel F., 1994. La répartition de l'Anguille en France. Bull. Fr. Pêche Piscic. 335: 289-294.
- COGEPOMI RMC, 2004. Plan de Gestion du Bassin Rhône Méditerranée Corse 2004-2008. 49 p. + annexes
- COGEPOMI RMC, 2006. Programme de gestion de l'Anguille sur les lagunes méditerranéennes 2006-2008 (Projet). Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes Bassin Rhône Méditerranée. 6p.
- COGEPOMI RMC, 2011, Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée Corse 2010-2014. DIREN Rhône-Alpes, délégation de bassin RMC.
- Collectif, 2009a, Plan de gestion Anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 – Volet local de l'Unité de gestion Corse., 23p.

Collectif, 2009b, Plan de gestion Anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 – Volet local de l'Unité de gestion Rhône Méditerranée., 32p.

Collectif, 2009c, SDAGE 2010-2015 du Bassin Rhône Méditerranée. Comité de bassin Rhône Méditerranée, 361p. + annexes.

Collectif, 2010, Plan de Gestion de l'Anguille de la France, Application du Règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007. Volet National, 120p.

Crivelli A.J., 1998. L'Anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : une synthèse bibliographique. DIREN-DB RMC, publication COGEPOMI RMC, 83 pp.

Crivelli A.J., Le Gurun L., Contournet P., Campton P., Lebel I., 2012, Mise en place d'un plan de gestion de l'Anguille sur les marais d'eau douce du Vigueirat – Campagne 2011., Tour du Valat – Association Migrateurs Rhône Méditerranée, 27p.

Crivelli A.J., Vanel N., Contournet P., Blanc X., Auphan N., Lebel I., 2007. Etude de l'amélioration du recrutement en civelles de la Lagune du Vaccarès. Campagne d'étude 2007., rapport M.R.M.-Station biologique de la Tour du Valat. 34p.

Crivelli A.J., Vanel N., Contournet P., Campton P., Blanc X., Le Gurun L., Lebel I., 2009, Etude de l'amélioration du recrutement en civelles et de leur devenir dans une lagune méditerranéenne française, le Vaccarès., Campagne 2008., rapport M.R.M-Station biologique de la Tour du Valat., 29p. + annexes.

Crivelli A.J., Campton P., Lebel I., Le Gurun L., Contournet P., 2010, Etude du recrutement des civelles et de leur devenir dans l'étang du Vaccarès., Campagne 2009., rapport M.R.M-Station biologique de la Tour du Valat., 31p. + annexes.

Croze O., Larinier M., 2001. Libre circulation des poissons migrateurs. Guide Technique n°4 - SDAGE RMC, 51 p.

Daverat F., Tomas J., Lahaye M., Palmer M., Elie P., 2005, Tracking continental habitat shifts of eels using otolith Sr/Ca ratios : validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde-Garonne-Dordogne watershed, Marine and freshwater Research, 56(5) : 619-627.

Daemen E., Cross T., Ollevier F., Volckaert A. M., 2001. Analysis of the genetic structure of European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellite DNA and MtDNA markers., Marine Biology, 139, 755–764.

Dekker W., 2000, A procrustean assessment of the European eel stock., ICES Journal Marine Science, 57 :938-947.

Dufour, S. 1996. Un exemple du cycle reproducteur sous la dépendance de l'environnement: le cas de l'anguille. C.R. Acad. Agric. Fr., 82, 17-26.

Dupont F., 1984, Biologie des populations de *Bothriocephalus claviceps*, cestode pseudophyllidea, parasite de l'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*. Thèse 3^{ème} cycle, USTL, Montpellier, 199 p.

Dupont F., & Petter A.J., 1988, Anguillicola, une épizootie plurispécifique en Europe – Apparition de *Anguillicola crassa* (Nematoda, Anguillicolidae) chez l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* en Camargue, Sud de la France, Bull. Fr. Pêche Piscic 308:38-41.

Durif C.M.F., Van Ginneken V., Dufour S., Müller T., Elie P., 2009, Seasonal Evolution and Individual Differences in Silvering Eels from Different locations., in Van den Thillart et al.,

- Spawning Migration of the European Eel., Springer Science + Business Media B.V., Chapter 2, pp.13-38.
- Edeline E., 2005, Facteurs de contrôle de la dispersion continentale chez l'Anguille., Thèse Université de Toulouse II, 144p.
- Edeline E., Lambert P., Rigaud C., Elie P., 2006, Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* glass eel migratory behaviour, J.Exp. Marine Biol. Ecol, 331 :217-225.
- EELREP, 2005. Estimation of the reproduction capacity of European eel. Final Report Q5RS-2001-01836, European Union, 272 pp.
- Ege V., 1939, A revision of the genus *Anguilla* Shaw : a systematic, phylogenetic and geographical study., Dana report, vol.16.
- EIFAC & ICES, 2009, Report of the 2009 session of the joint EIFAC/ICES Working Group on Eels., EIFAC/ICES WGEEL Report 2009, 117p.
- 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 et Milieu, 32 : pp 149-157.
- Elie P., Rigaud C., 1984, Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine : pêcherie, biologie, écologie. Examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome. Rapport CEMAGREF, 174p.
- Feunteun E., 2002. Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*) : an impossible bargain. Ecological Engineering, 18, issue 5, 575-591.
- Feunteun E., Acou A., Guillouet J., Lafaille P., Legault A., 1998, Spatial distribution of an eel population (*Anguilla anguilla*) in a small coastal catchment of northern Brittany (France)., Consequences of hydraulic works. Bulletin Français de pêche et de pisciculture, 349 : pp 129-139.
- Feunteun E., Acou A., Legault A., 2000. European eel (*Anguilla anguilla*) : prediction of spawner escapement from the continental population parameters. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57 : 1627-1635.
- Feunteun E., Lafaille P., Robinet t., Briand C., Baisez C., Olivier J-M., Acou A., 2003, A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Toward a general theory. In Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., Eel Biology. Tokyo, Springer Verlag, 191-213.
- Finiger, 1976. Contribution à l'étude biologique et écologique des civelles (*Anguilla anguilla* Linné 1758) lors de leur pénétration dans un étang méditerranéen. Vie Milieu, 26, 123-144.
- Freyhof J. & Kottelat M., 2008, *Anguilla anguilla*, in IUCN 2008, IUCN 2008 Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.
- Gosset C., Travade F., Durif C., Rives J., Garaicoechea C., 2000, Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Hasou (Nive, 64)., INRA/EDF, rapport de contrat, 35p.+annexes.
- ICES, 2006. Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL), 23-27 January 2006. ICES CM 2006/ACFM: 16. 350 p.
- ICES, 2008. Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL), 354-386.
- ICES Advice 2008, Book 9, 9.4.9, European eel.123-129.

Imbert H., 2008, Stratégie conditionnelle contrôlant la dispersion continentale de l'Anguille européenne., Université de Bordeaux 1, 199p.+annexes.

IUCN, 2008 Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.

Kettle A.J., & Haines K., 2006, How does the European freshwater eel (*Anguilla anguilla*) retain its population structure during its larval migration across the North Atlantic Ocean ? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63 :90-106.

Kleckler R.C., McCleave J.D., Wipplhauser G.S., 1983, Spawning of American eel, *Anguilla rostrata*, relative to thermal fronts in the Sargasso Sea., Environmental Biology of Fishes : 289-293.

Knights B., 2003, A review of the possible impacts of long term oceanic and climate change and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. Sci. Total Environ. 310 : 237-244.

Krueger W.H., Oliveira K., 1999, Evidence for environmental sex determination in the American eel, *Anguilla rostrata*. Environmental Biology of fishes 55 :381-389.

Lafaille P., Acou A., Guillouet J., Legault A., 2005, Temporal changes in European eel (*Anguilla anguilla*) stocks in a small catchment after installation of fish-passes. Fisheries management and ecology, 12 : pp 123-129.

Lecomte Finiger R., 1983, Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille, *Anguilla anguilla*_L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du golfe du Lion: Narbonnais et Roussillon. Thèse Doctorat d'Etat : 203 p.

Lecomte-Finiger R., 1994, The early life of the European eel. Nature, 370 : 424 p.

Lecomte-Finiger R., Brusle J. 1984. L'Anguille (*Anguilla anguilla*) des lagunes du Languedoc-Roussillon: intérêt biologique et valeur halieutique. Vie et Milieu 34(4):185-194

Lefebvre F., Acou A., Poizat G., Crivelli A.J., 2003a, Anguillicolosis among Silver eels: a 2 year survey in 4 habitats from Camargue (Rhône delta, south of France)., Bulletin français de Pêche et de Pisciculture, 368, 97-108.

Lefebvre F., Sergent E., Acou A., Lecomte-Finiger R., Crivelli A.J., 2003b, Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française : analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1974-75 et 2000-01., Bull. Fr. Pêche Piscic., 368 : 85-96.

Lefebvre F., Contournet P., Crivelli A.J., 2002, The health state of the eel swimbladder as a measure of parasite pressure by *Anguillicoloides crassus*. Parasitology, 124 : pp 457-463.

Lefebvre F. & Crivelli A.J., 2004, Anguillicolosis: dynamics of the infection over two decades. Diseases of Aquatic Organisms, 62, 227-232.

Legault A., 1988, Le franchissement des barrages par l'escalade de l'Anguille, Etude en Sèvre Niortaise., Bull. Fr. Pêche Piscic. 308 : 1-10.

Legault A., Lafaille P., Guillouet J., Acou A., 2004, Importance of specific fish passes for European eel (*Anguilla anguilla*) recruitment, Proceeding of the fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid

Le Gurun L., Lebel I., 2010. Synthèse des actions en faveur des poissons migrateurs sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse (1993-2009) - Bilan de la mise en oeuvre du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs 2004-2009. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée : 82 p + annexes.

Mc Cleave J.D., Brickley P.J., O'Brien K.M., Kistner D.A., Wong M.W., Gallagher M., Watson S.M., 1998, Do leptocephali of the European eel swim to reach continental waters? Status of the question., *J. Mar., Biol., Ass. U. K.*, 78, 285-306.

MEDAD (Ministère de l'Ecologie du Développement et de l'Aménagement Durables), 2008, Circulaire DCE n°2008/25 du 6 février 2008 relative au classement des cours d'eau au titre de l'article L. 214-17-I du code de l'environnement et aux obligations qui en découlent pour les ouvrages., Texte 9/43, 9p.

MEEDDAT (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire), 2008, Projet de loi relatif à la mise en oeuvre du Grenelle de l'Environnement

MEEDDM (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer), en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat., 2010, Circulaire MEEDDM du 25 janvier, Objet : mise en œuvre par l'ETAT et ses établissements publics d'un plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau., 6p.

Melia P., Bevacqua D., Crivelli A.J., De Leo G.A., Panfili J., Gatto M., 2006. Age and growth of *Anguilla anguilla* in the Camargue lagoons. *Journal of Fish Biology* (2006) 68, 876–890 13p.

Muchiut S., Gallet F., Aubin D., Baranger L., Le Bihan V., Perraudeau Y., 2002, Principaux facteurs à prendre en compte pour une meilleure gestion de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Rapport Observatoire des pêches et des cultures marines du golfe de Gascogne, Aglia edition, 82p.

Nielsen M.E., 1997, Infection status of the swimbladder worm, *Anguillicola crassus* in silver stage European eel, *Anguilla anguilla*, from three different habitats in Danish waters. *J. Appl. Ichtyol.* 13, 195-196.

Pallo S., Travade F., 2001, Suivi du fonctionnement de la passe définitive à anguilles sur l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuillère (24). Contrôle de la migration et mise au point des compteurs automatiques. EDF/Migado, rapport, 40p.+ annexes.

Pankhurst N. W., 1982. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *J. Fish Biol.*, 21, 127-140.

Panfili J., Ximenes M.C., Crivelli A.J., Dochi T., 1991, Validation de l'âge de l'Anguille européenne dans les lagunes méditerranéennes françaises (Camargue): résultats préliminaires. In : Tissus durs et âge individuel des vertébrés. Baglinière J.L., Castanet J., Conan F., Meunier F.J., 1991, 1 19-1 27, Colloque et séminaires ORSTOM INRA Paris.

Parlement européen, 2006. Rapport A6-0140/2006 sur la proposition de règlement du Conseil instituant des mesures reconstitution du stock d'anguille européenne (COM(2005)0472 – C6 0326/2005 – 2005/0201(CNS)). Commission de la Pêche. 21p.

Porcher J.P., 1992. Les passes à Anguilles, *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 326-327 : p134-142

Robins C.R., Cohen D.M., Robins C.H., 1979, The eels, *Anguilla* and *Histiobranchus*, photographed on the floor of the deep Atlantic in the Bahamas. *Bull. Mar. Sci.*, 29:pp 401-405.

Sergent, E. (2001). Le recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) dans l'île de Camargue : état des lieux et mesure de gestion. BTS Gestion et protection de la nature, Centre de Formation d'Armor, 22450 Pommerit-Jaudy, 45 pp.

Stone R ., 2003. Freshwater eels are slip-sliding away. *Science* 302 : 221-22.

- Tesch F.W. 1977. The eel. Biology and management of anguillid eels. London, Chapman & Hall. 434 p.
- Tesch F.W., 1998, Age and growth rates of North Atlantic eel larvae (*Anguilla ssp.*), based on published length data. Helgoländer Meeresunters., 52 : pp 75-83.
- Tesch F.W., 2003, The Eel, fifth Edition, Blackwell publishing, 340p.
- Tesch F.W., Niermann U., 1992, Stock density of eel larvae (*Anguilla anguilla*) on the European continental slope, based on collections made between 1985 and 1989. Ir. Fish. Invest. (Ser. A), 36 : pp 110-113.
- Tesch F.W., Niermann U., Plaga A., 1986, Differences in development stage and stock density of larval *Anguilla anguilla* off the west coast of Europe. Vie et Milieu, 36 : pp 255-260.
- Tesch F.W., & Wegner G., 1990, The distribution of small larvae of *Anguilla* Sp. Related to hydrographic conditions between Bermuda and Puerto Rico, Internationale revue der gesamtem Hydrobiologie, 6 :845-858.
- Tzeng W.N., Cheng P.W., Lin F.Y., 1995, Relative abundance, sex ratio and population structure of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the Tanshui River system of northern Taiwan., Journal of Fish Biology, 46 : 183-201.
- Van den Thillart G., Van Ginneken V., Körner F., Heijmans R., Van der Linden R., Gluvers A., 2004, Endurance swimming of the European Eel., Journal of Fish biology, 65 :312-318.
- Van Ginneken V., Antonissen E., Müller U.K., Booms R., Eding E., Verreth J., Van den Thillart G., 2005, Eel migration to the Sargasso : remarkably high swimming efficiency and low energy costs. Journal of Experimental Biology., 208 : pp 1329-1335.
- Vigier J-F., 1997. Les pathologies des Anguilles : synthèse des connaissances sur la pathologie des différentes espèces du genre *Anguilla*. Cemagref. 198p.
- Westerberg H. 1979. Counter-current orientation in the migration of the European eel. Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 174 : 134-143.
- Wirth T., Bernatchez L., 2001. Genetic evidence against panmixia in the European eel. Nature, Vol.409, 6823, 1037-1040.
- White E.M., & Knights B., 1997, Environmental factors affecting the migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. Journal of Fish Biology :1104-1116.
- Ximenes M.C., Le Corre G., Lecomte-Finiger R., Mallawa R., Sagliocco M., 1986. L'Anguille en Méditerranée Française. Aspects écobiologiques et halieutiques. Rapport CEMAGREF, Secrétariat d'état de la Mer, 99p + annexes.

Sites internet

www.igb-berlin.de
www.iucnredlist.org
www.geoportail.fr
www.marseille-port.fr

LISTE DES FIGURES

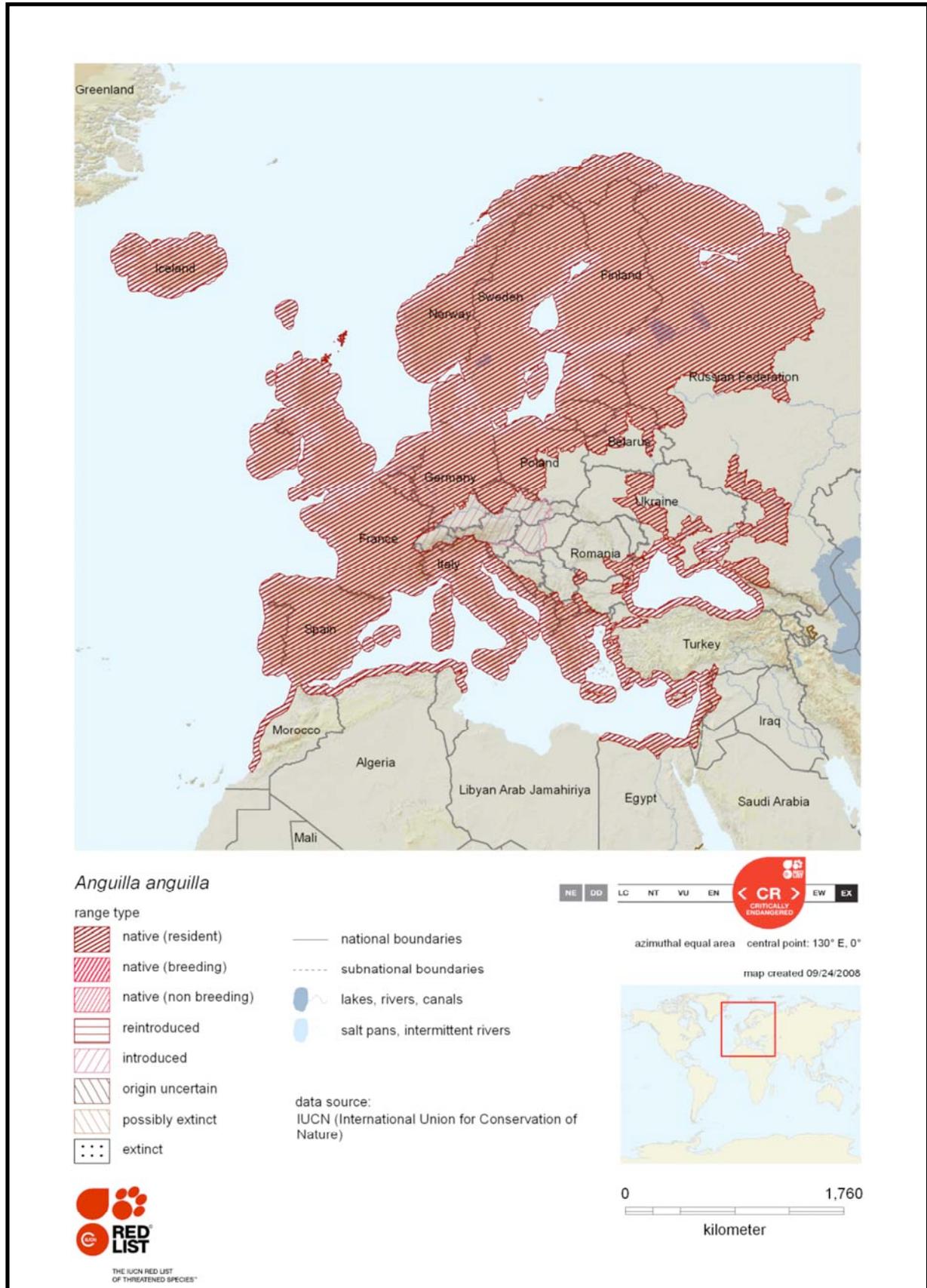
<i>Figure 1 : Anguille européenne</i>	2
<i>Figure 2 : Cycle de vie de l’Anguille</i>	3
<i>Figure 3 : Leptocéphale</i>	4
<i>Figure 4 : Civelles</i>	4
<i>Figure 5 : Anguille jaune</i>	4
<i>Figure 6 : Anguille argentée</i>	5
<i>Figure 7 : Reptation de civelles sur une paroi rugueuse</i>	6
<i>Figures 8 et 9 : Vessie d’anguille parasitée(8) et cycle biologique d’Anguillicola crassus(9)</i>	8
<i>Figure 10 : Anguille blessée par un héron</i>	9
<i>Figure 11 : Anguille passée dans une turbine</i>	11
<i>Figure 12 : Evolution des tonnages et des CPUE de civelles des pêcheurs professionnels et amateurs sur le bassin de la Gironde de 1978 à 2007</i>	12
<i>Figure 13 : Estimation du recrutement moyen (GLM) en civelles pour chaque aire de répartition en europe</i>	12
<i>Figure 14 : Localisation du site d’étude</i>	20
<i>Figure 15 : Barrage anti-sel de Fos-sur-Mer</i>	21
<i>Figure 16 : Passe piège à anguilles du barrage anti-sel lors de son entretien</i>	21
<i>Figure 17 : Détermination du stade pigmentaire des civelles</i>	23
<i>Figure 18 : Otolithe de la classe 2 ans (LT=176 mm)</i>	24
<i>Figure 19 : Pêches au filet sur le canal d’Arles à Bouc</i>	25
<i>Figure 20 : Localisation des verveux sur le canal d’Arles à Bouc</i>	26
<i>Figure 21 : (A) Vessie natatoire intacte (SDI = 0 à 1) et (B) vessie natatoire très endommagée (SDI = 5 à 6)</i>	27
<i>Figure 22 : Mesures du diamètre de l’œil et de la nageoire pectorale</i>	27
<i>Figure 23 : Grille placée au fond du bac de capture</i>	29
<i>Figures 24 et 25 : Chaussette placée dans le bac de captures</i>	30
<i>Figure 26 : Captures d’anguilles à la passe-piège et température de l’eau à l’aval immédiat du barrage anti-sel</i>	31
<i>Figure 27 : Evolution des captures d’anguilles à la passe piège avec la température de l’eau (années 2008 à 2012)</i>	33
<i>Figures 28 et 29: Captures d’anguilles à la passe-piège confrontées à la salinité de l’eau à l’aval immédiat du barrage anti-sel</i>	33
<i>Figure 30 : Distribution de longueur des anguilles échantillonnées (N = 1 816) à la passe piège du barrage anti-sel</i>	34
<i>Figure 31 : Evolution des tailles moyennes mensuelles des anguilles de la passe-piège échantillonnées de 2007 à 2011</i>	35
<i>Figure 32 : Distribution en âge des anguilles échantillonnées de 2007 à 2010</i>	35
<i>Figure 33 : Captures de civelles à la passe-piège et température de l’eau à l’aval immédiat du barrage anti-sel</i>	36

<i>Figure 34 : Comparaison de la configuration du site du Grau de la Fourcade aux Saintes Maries de la Mer et de l'embouchure du canal d'Arles à Bouc dans le Golfe de Fos</i>	37
<i>Figure 35 : Nombre de civelles capturées confronté à la température de l'eau à l'aval du barrage anti-sel (données 2008 à 2012)</i>	38
<i>Figure 36 : Captures de civelles à la passe-piège et salinité de l'eau à l'aval immédiat du barrage anti-sel</i>	38
<i>Figure 37 : Distribution des tailles des civelles échantillonnées depuis le début du suivi (N = 1 991)</i>	39
<i>Figure 38 : Evolution des tailles moyennes mensuelles des civelles capturées au barrage antisel depuis le début du suivi</i>	40
<i>Figure 39 : Stades pigmentaires des civelles capturées à la passe piège (N =1 497)</i>	40
<i>Figure 40 : Stades de pigmentation des civelles capturées (%) au grau de la Fourcade en Camargue entre novembre 2000 et mai 2001</i>	41
<i>Figure 41 : CPUE moyennes d'anguilles par engin (A : 10 mm ; B : 6 mm) dans le canal d'Arles à Fos (Pêches 2007 à 2011)</i>	42
<i>Figure 42 : Distribution de longueur des anguilles capturées dans le canal d'Arles à Bouc de 2007 à 2011</i>	43
<i>Figure 43 : Sélectivité des verveux selon la taille de maille</i>	44
<i>Figure 44 : Indice d'argenture des anguilles capturées dans le canal d'Arles à Bouc</i>	45

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Localisation des stations d’échantillonnage</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 2 : Périodes de suivi effectif de la passe piège durant les trois campagnes</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 3 : Données brutes de captures à la passe-piège (campagne 2011/2012)</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 4 : Captures mensuelles d’anguilles</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 5 : Tailles moyennes mensuelles des anguilles de la passe-piège échantillonnées de 2007 à 2011</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 6 : Fréquence d’âge des anguilles échantillonnées de 2007 à 2010</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 7 : Captures mensuelles de civelles à la passe-piège de 2007 à 2012</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 8 : Tailles moyennes mensuelles des civelles capturées au barrage anti-sel au cours des deux campagnes de suivi.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 9 : Caractéristiques des pêches réalisées sur le canal d’Arles à Bouc de 2007 à 2010.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 10 : Récapitulatif des captures d’anguilles dans le canal d’Arles à Fos de 2007 à 2011.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 11 : Situation d’Anguillicola crassus dans le canal d’Arles à Bouc en amont du barrage anti-sel (années 2007 à 2010).....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 12 : Situation d’Anguillicola crassus dans le canal d’Arles à Bouc en aval du barrage anti-sel</i>	<i>46</i>

Annexe 1 : Répartition de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (IUCN, 2008)



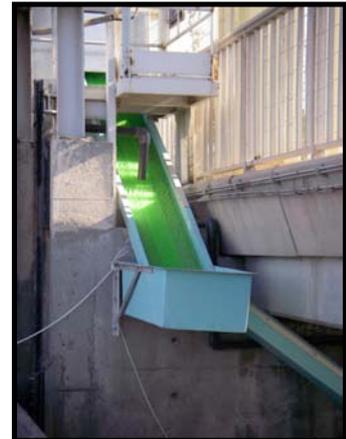
Annexe 2 : Fonctionnement du système de capture

- Alimentation hydraulique

Une pompe prend l'eau dans le canal afin d'alimenter le système de capture et d'attrait. Le flux d'eau est réparti au niveau du système de capture par deux canalisations équipées de vannes. La première canalisation alimente un bac entonnoir. Elle renouvelle à la fois l'eau du bac de capture et crée une lame d'eau sur la rampe de reptation. La seconde canalisation se déverse dans une goulotte qui aboutit à l'aval de la rampe de reptation afin de créer le débit d'attrait.

- Rampes de reptation

Les rampes de reptation sont commercialisées par FISH-PASS et sont constituées de plaques de PVC lisses de 40 cm de large sur lesquelles sont implantées des brosses de filaments synthétiques rigides. Le type de substrat utilisé pour la réalisation des rampes est un substrat dit mixte puisque favorisant la reptation des individus de petites tailles en son centre (espacement entre les brosses de 1,5 cm) et des individus de grande taille sur les bords (espacement de 2,5 cm). Les rampes de reptation sont fixées sur des gouottes en polyester qui canalisent le flux d'eau en humidifiant la rampe et orientent les anguilles vers le bac de capture.



Rampe de reptation (MRM)

- Bac de capture



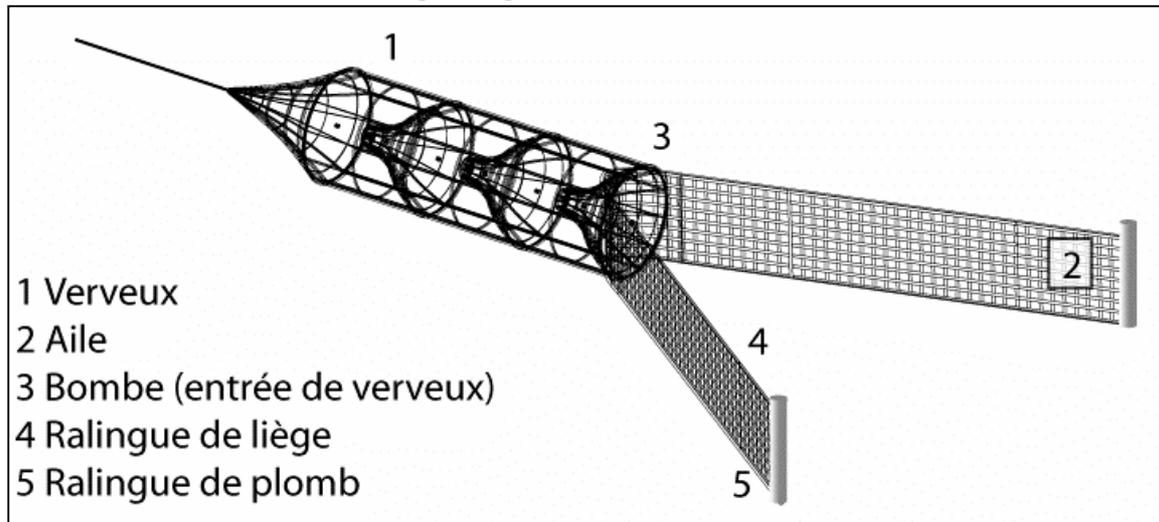
Bac de capture d'une passe piège (MRM)

Après avoir gravi la rampe, les anguilles tombent dans ce bac de capture où elles sont retenues prisonnières.

Le flux créant la lame d'eau sur la rampe se déverse en partie dans ce bac et permet le renouvellement de l'eau. Suite à des travaux réalisés sur le barrage d'Arzal sur l'estuaire de la Vilaine, il est apparu que de l'eau en contact avec des anguilles « attire » d'autres individus (Briand *et al.*, 2002). En effet, les anguilles comme d'autres poissons sécrètent des phéromones et autres molécules qui peuvent être perçues par d'autres individus de la même espèce (phénomène de chémoréception).

Au fond du bac de capture, un système de vidange obturé par une grille permet d'évacuer l'eau du bac tout en conservant les anguilles prisonnières.

Annexe 3 : Le gangui (Abdallah *et al.*, 2009)



Description générale

Verveux prolongé de deux ailes permettant de barrer la totalité d'un canal ou d'une roubine pour capturer les poissons y circulant. Cet engin est parfaitement adapté au réseau de canaux d'irrigation et de drainage de Camargue. Il est adapté à des profils lenticulaires où il est possible de caler dans le sens opposé au courant (en « pêche forcée ») pour capturer notamment les anguilles en dévalaison.

Le gangui a la réputation d'être l'engin du braconnier, notamment en Camargue où il est admis de tous que les locaux (employés de mas, gardes de chasses privées) l'utilisent lors d'un coup d'eau du Rhône « pour arrondir les fins de mois ».

C'est un engin peu sélectif et qui peut s'avérer très efficace sur des canaux drainant une superficie importante. Malgré son efficacité, il n'est aujourd'hui plus utilisé par les pêcheurs professionnels, notamment du fait de la prolifération des ragondins et des dégâts que ces derniers provoquent très régulièrement sur les engins.

Mensurations

- Longueur des ailes = 15 à 30 m (selon la largeur du canal),
- Hauteur des ailes = 1 à 2 m (selon la profondeur d'eau),
- Profondeur de la queue = 4 m.

Répartition géographique en PACA

Roubines et canaux de Camargue

Catégorie

Filet passif calé

Variétés locales

- Verveux à deux ailes
- Verveux barrière

Distribution

Le gangui est généralement calé seul puisqu'il permet de barrer entièrement un canal de faible largeur. Mais il peut être calé en double (en tête-bêche) afin de barrer un canal de plus grande largeur et de capturer les poissons dans deux sens de circulation (amont-aval et aval-amont).

Période d'utilisation

Il est généralement utilisé sur des coups d'eau du Rhône qui provoquent une montée du niveau des canaux et donc un déplacement massif de tous les poissons présents et plus particulièrement l'anguille argentée. Ces coups d'eau adviennent en mars-avril et octobre-novembre.

Matériaux

Il est entièrement conçu en nylon ou en polypropylène.. Les ailes sont lestées par une ralingue de plomb. L'ouverture comporte une ligne de liège. Les cerceaux sont en plastique percé.

Maillages

Les ailes = 14 mm

La nasse = 10 ou 8 mm

Espèces ciblées

Anguilles vertes et argentées, sandres, brochets, carpes.

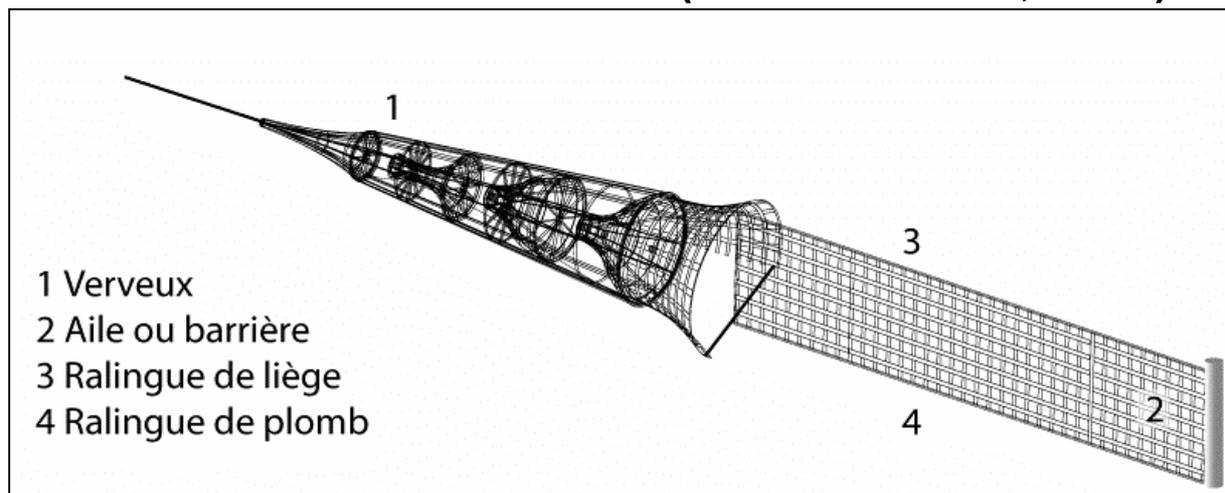
Banque photographique (Larrieu Frères SA./MRM)



1 = Aile double et nasse de piégeage (verveux)

2 = Technique de calage sur un canal

Annexe 4 : Le verveux (Abdallah *et al.*, 2009)



Description générale

Le verveux est constitué d'une aile et d'une succession de poches de captures de forme cylindrique, montées sur des cerceaux et reliées entre eux par des systèmes anti-retours. C'est un engin de pêche très sélectif et adapté à la capture d'espèces benthiques en eaux courantes. Rapide à mettre en place, c'est qu'il est très maniable et permet une mobilité de prospection remarquable. Pour l'Anguille, le pêcheur cale ses verveux en bordure de cours d'eau, sur des hauts fonds ou des tombants. En cas de montées des eaux, le pêcheur peut retirer son matériel dans un moindre délai, et ainsi éviter la perte de matériel.

L'aile permet de diriger le poisson vers les poches de captures (la nasse de piégeage).

Mensurations

- Longueur de la paradière = 7 m,
- Hauteur de la paradière = 1 m,
- Profondeur du verveux = 4 m.

Répartition géographique

Rhône aval et deltaïque, roubines et canaux de Camargue.

Catégorie

Filet passif d'eaux courantes

Variétés locales

- Cerf-volant
- verveux à aile simple.

Distribution

Le verveux est calé selon un axe amont/aval, l'ouverture du piège étant toujours orientée dans le sens du courant pour éviter aux encombres dévalant de colmater le piège ou de le détériorer. Le verveux est fixé depuis l'amont à l'aide d'une corde reliée à une ancre (ou à un piquet pour les faibles profondeurs). La longueur de corde et le poids de l'ancre dépendent de la force du courant.

Période d'utilisation

D'octobre à janvier pour l'anguille d'avalaison, d'avril-mai à septembre pour l'anguille verte.

Matériaux

L'aile est fabriquée en nylon ou en polypropylène et comporte une ralingue de liège et une autre de plomb. L'ouverture de la nasse, en forme de D, peut être alourdie soit par une ralingue de plomb soit par une barre de métal galvanisé afin d'assurer le maintien du piège sur le fond. Les cerceaux sont en plastique percé.

Maillages

L'aile et les premiers cerceaux de la nasse sont montés de même maille (20 mm). Seuls les derniers cerceaux et la queue sont montés en petite maille (10 mm) pour éviter aux anguilles piégées de s'abîmer. En général, le pêcheur utilise les mêmes engins que ce soit pour la pêche des anguilles vertes ou des argentées.

Type de cale

En pleine eau. Les verveux simples sont généralement utilisés par deux, calés en enfile. Le pêcheur cale ses verveux en revenant vers la berge, créant un angle entre la berge amont et les verveux de 45 à 50°.

Espèces ciblées

Anguilles vertes et argentées. Captures accessoires : sandres, carpes, brèmes, perches.

Banque photographique (Crédit MRM/F.Gardin)



1 = Aile du verveux et entrée du piège

2 = Relève cerceau par cerceau pour vider les poches

3 = Récupération des poissons dans la queue

4 = Recalage du verveux après récupération des poissons

Annexe 5 : Autres espèces capturées lors des pêches dans le canal

Nom commun	Nom latin	Statut	Nombre d'individus en 2007	Nombre d'individus en 2008	Nombre d'individus en 2009	Nombre d'individus en 2010	Nombre d'individus en 2011
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	A	2	0	0	0	0
Brème	<i>Abramis brama et Blicca bjoerkna</i>	A	6	51	41	81	206
Chevaie	<i>Leuciscus cephalus</i>	A	2	0	0	0	0
Carassin	<i>Carassius auratus</i>	I	2	0	0	1	0
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	A	1	0	4	0	0
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	A	1	0	0	0	0
Gambusie	<i>Gambusia affinis</i>	I	2	0	0	0	0
Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i>	I	0	0	0	4	4
Perche commune	<i>Perca fluviatilis</i>	A	3	4	0	0	4
Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	I	3	5	101	58	258
Poisson-chat	<i>Ictalurus melas</i>	I	3	3	28	2	3
Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	I	25	7	2	1	0
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	A	16	0	0	0	0
Sandre	<i>Stizostedion lucioperca</i>	I	0	8	12	19	10
Black-bass	<i>Micropterus salmoides</i>	I	0	0	1	0	0
Silure	<i>Silurus glanis</i>	I	0	2	3	10	25
Total			66	80	192	176	510
Ecrevisse de Louisiane	<i>Procambarus clarkii</i>	I	149	11	111	45	41
Ecrevisse américaine	<i>Orconectes limosus</i>	I	74	3	27	15	13
Total			223	14	138	60	54

A = Espèce autochtone

I = Espèce introduite