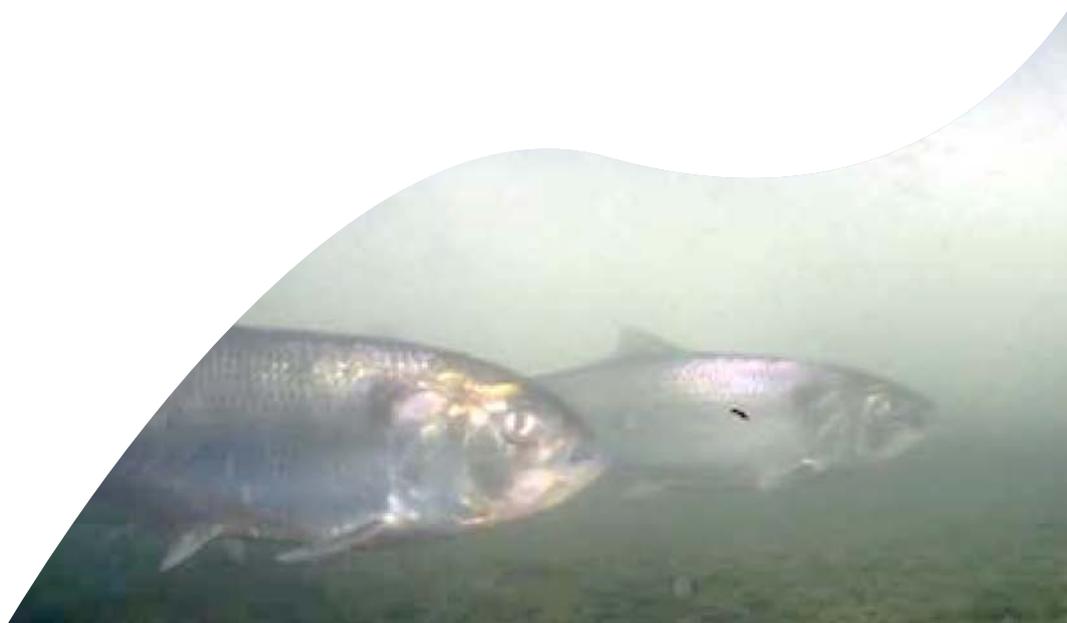


SUIVI DES PASSES PIÈGES À ANGUILLES DE L'USINE DE BEUCAIRE

2009 - N°11/16



Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée

Le bassin Rhone-Méditerranée-Corse retrouve ses grands migrateurs

Seconde étape : les migrateurs ouvrent la route

Suivi des passes-pièges à anguilles de l'usine de Beaucaire

Campagne d'étude 2009

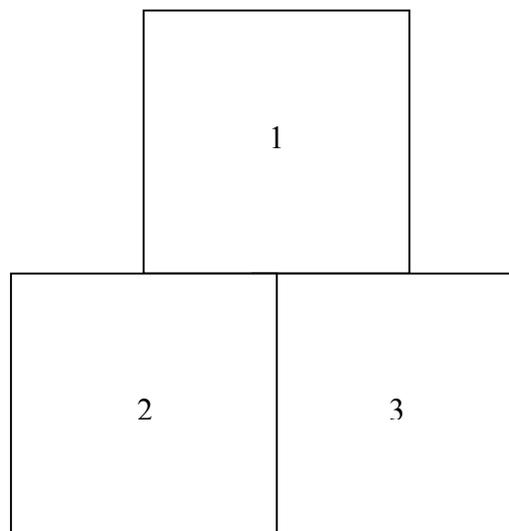


CAMPTON P.

Zone industrielle du Port Fluvial - Chemin des Ségonnaux - 13200 ARLES

☎ 04 90 93 39 32 - 📠 04 90 93 33 19 - ✉ contact@migrateursrhonemediterranee.org

🌐 www.migrateursrhonemediterranee.org



- 1 : Passe piège à anguilles en rive gauche de l'usine écluse de Beaucaire (MRM)
- 2 : Anguille capturée (MRM)
- 3 : Lâcher d'anguilles (MRM)

Nous tenons particulièrement à remercier tous ceux qui, par leur collaboration technique ou financière, ont contribué à la réalisation de cette étude.

Partenaires financiers :

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse,

Fédération Nationale pour la Pêche en France (FNPF),

Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA),

Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée :

16 Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) de l'Ardèche, des Bouches-du-Rhône, de la Drôme, du Gard, du Vaucluse, de l'Ain, des Alpes-Maritimes, des Alpes de Haute Provence, de l'Hérault, de l'Isère, du Rhône, du Var, de Savoie, de Haute-Savoie, de la Loire et des Hautes-Alpes. Union Régionale des Fédérations de Pêche de l'Arc Méditerranéen (URFAM) et Union Régionale des Fédérations de Pêche de Rhône-Alpes (URFEPRA), Association des Pêcheurs Professionnels Rhône Aval-Méditerranée,

Compagnie Nationale du Rhône,

Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur,

Conseil Régional Rhône-Alpes,

Conseil Régional Languedoc-Roussillon,

Conseil Général des Bouches-du-Rhône,

Conseil Général du Vaucluse,

Conseil Général de la Drôme,

Conseil Général de l'Ardèche,

Conseil Général du Gard,

Mairie d'Arles,

EDF,

AREVA,

Union européenne.

Partenaires techniques :

Compagnie Nationale du Rhône,

Bureau d'études Fish-Pass,

Centre de Production Thermique EDF d'Aramon.

Résumé

Afin d'améliorer le franchissement de l'usine-écluse de Beaucaire par l'Anguille et de répondre aux objectifs du plan de gestion des poissons migrateurs, la Compagnie Nationale du Rhône a installé une passe piège en rive gauche en septembre 2005 puis une en rive droite en juillet 2006. Le suivi annuel est assuré par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée depuis leur installation.

En 2009, les passes ont été opérationnelles du 31 mars au 10 novembre, les captures des anguilles ont débuté le 21 avril. Au total, 3 638 anguilles ont été capturées dont 3 427 en rive droite et 211 en rive gauche. La migration s'est déroulée sous forme de pics abrupts de captures qu'il est difficile de faire correspondre à facteur environnemental particulier. La température n'est pas le facteur prépondérant jouant sur les variations de captures, mais elle peut devenir un facteur limitant en dessous du seuil de 14°C environ (seuil plus élevé que les années précédentes).

La structure en taille établie à partir des anguilles mesurées lors de l'échantillonnage des captures montre que la population migrante se présentant au pied de l'ouvrage est composée de jeunes individus probablement âgés de un été en majorité. La proximité du barrage à la mer ainsi que l'absence d'obstacles similaires en aval en sont les principales causes.

La poursuite du suivi est indispensable non seulement pour assurer la colonisation du Rhône par l'Anguille et mieux cerner sa dynamique de population mais aussi afin de collecter des données qui alimenteront le réseau de surveillance européen de l'espèce (règlement CE 1100/2007).

SOMMAIRE

Introduction.....	1
1/ Contexte de l'étude.....	2
1-1/ L'Anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>)	2
1-1-1/ Taxonomie et répartition	2
1-1-2/ Cycle de vie	2
1-1-3/ Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles.....	4
1-2/ Identification des menaces	5
1-2-1/ Les menaces naturelles	5
1-2-2/ Les menaces anthropiques	7
1-3/ Situation actuelle du stock d'Anguille européenne	9
1-4/ Le règlement européen n° 1100/2007 en faveur de l'Anguille	10
1-5/ Circulation sur le Rhône en aval de l'aménagement hydroélectrique de Beaucaire-Vallabrègues.....	11
1-5-1/ Configuration du site.....	11
1-5-2/ Dispositifs de franchissement	12
2/ Matériel et méthodes	14
2-1/ Protocole de suivi des captures d'anguilles	14
2-1-1/ Fréquence des relèves.....	14
2-1-2/ Relève d'une passe piège.....	14
2-2/ Suivi des captures.....	14
2-2-1/ Nombre de captures.....	14
2-2-2/ Structures en tailles	15
2-3/ Suivi des paramètres environnementaux.....	15
2-3-1/ Température de l'eau.....	15
2-3-2/ Débit.....	15
2-3-3/ Phases lunaires	15
2-3-4/ Autres facteurs environnementaux.....	15
2-4/ Traitement des données.....	15
3/ Résultats et interprétations.....	16
3-1/ Suivi et fonctionnement des passes pièges	16
3-1-1/ Période et fréquence de suivi.....	16
3-1-2/ Fonctionnement des pompes hydrauliques.....	16

3-2/ Dynamique de la migration.....	17
3-2-1/ Nombre d'anguilles capturées.....	17
3-2-2/ Déroulement de la migration 2009.....	19
3-2-3/ Déterminisme de la migration 2009.....	20
3-3/ Caractérisation de la population.....	25
3-3-1/ Structures en tailles	25
3-3-2/ Tailles moyennes des anguilles capturées	26
Conclusion	28
Bibliographie	29
Liste des figures.....	32
Liste des tableaux	33
Annexes	

Introduction

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 depuis fin 2003, le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) du bassin Rhône-Méditerranée & Corse (RMC) a validé le deuxième volet 2004-2008 du Plan Migrateurs. Celui-ci a été prolongé d'un an en 2008 et devient le volet 2004-2009. Il prévoit 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.

Sur l'axe Rhône, les objectifs concernant cette espèce sont d'une part de développer significativement le stock disponible pour la reproduction et pour la pêche. Pour cela, il faut rendre accessible ou faciliter l'accès aux zones de croissance du Rhône, de ses annexes (lônes, contre-canaux) et de ses affluents. D'autre part, il s'agit de disposer des éléments scientifiques, techniques et financiers pour arrêter une stratégie à long terme en faveur de l'Anguille (COGEPOMI RMC, 2004).

L'aménagement hydroélectrique de Beaucaire-Vallabrègues, premier ouvrage sur le Rhône depuis l'embouchure, appartient à la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Cet ouvrage représente un point de blocage important pour l'ensemble des espèces piscicoles et plus particulièrement pour les poissons migrateurs. Consciente de ce problème et en réponse aux objectifs du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) Rhône-Méditerranée, la CNR travaille depuis plusieurs années sur la mise en place de dispositifs destinés à améliorer la circulation piscicole au travers de cet ouvrage (éclusages spécifiques à poissons).

Les systèmes d'éclusages réalisés en journée par la CNR sont malheureusement peu adaptés pour l'Anguille qui se déplace essentiellement la nuit. Afin de satisfaire aux deux nouveaux objectifs du plan de gestion, un partenariat entre la CNR et l'association MRM a permis de mettre en place un système de franchissement et de suivi (passes-pièges) spécifiques à l'Anguille sur l'aménagement hydro-électrique de Beaucaire-Vallabrègues.

Ainsi, en septembre 2005, une passe-piège a été construite en rive gauche du barrage. Le suivi des captures a aussitôt été réalisé par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. En juillet 2006, une passe piège a été construite en rive droite. Le suivi des captures des passes doit permettre de connaître au mieux la dynamique migratoire de l'espèce, d'améliorer et de qualifier le recrutement du Rhône en amont de l'ouvrage et de collecter des données qui alimenteront le « tableau de bord Anguille » du bassin et plus largement le réseau de surveillance européen de cette espèce (conformément au règlement de l'Union Européenne n° 1100/2007 du 18 Septembre 2007 transcrit dans le plan de gestion anguilles de la France).

Le présent rapport présente les résultats de la campagne d'étude 2009.

1/ Contexte de l'étude

1-1/ L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

1-1-1/ 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)

L'Anguille européenne 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 A). Elle est présente sur tout le bassin Rhône Méditerranée Corse (RMC) 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). Elle passe la majeure partie de sa vie (de 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).

1-1-2/ 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).

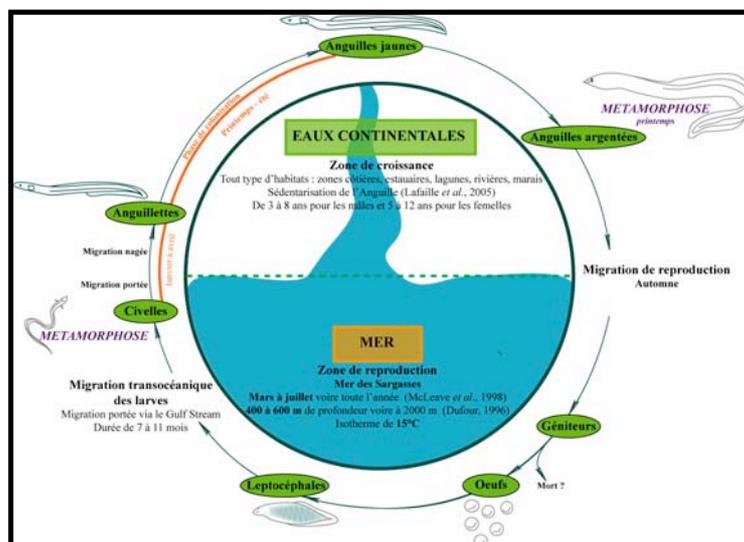


Figure 2 : cycle de vie de l'Anguille (MRM)

✓ L'acte de ponte

La ponte se déroulerait entre mars et juillet selon certains, toute l'année selon d'autres. (McLeave *et al.*, 1998), 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).

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), 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 que donc ce poisson ne se reproduira qu'une seule fois dans sa vie.

✓ Stade leptocéphales



On suppose que les œufs pondus sont pélagiques, qu'après éclosion, les larves montent plus ou moins vers la surface. Ces milliers de larves leptocéphales (fig.3), en forme de feuille de saule, dérivent vers le continent européen, portées par le Gulf-Stream et 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).

Figure 3 : leptocéphale (cpie authie)

✓ 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,...). 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). Les civelles se pigmentent progressivement jusqu'à atteindre le stade anguille jaune (Elie *et al.*, 1982, in Edeline, 2005).



Figure 4 : civelles (MRM)

✓ **Stade anguille jaune**



Figure 5 : anguille jaune (MRM)

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 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).

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). 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.*, 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 (Brujjs & Durif, 2009 ; Crivelli, 1998).

1-1-3/ Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles

✓ **Capacités de nage**

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 convenables pour les anguilles en raison des courants important transitant à l'intérieur.

La capacité de nage des anguilles diffère selon leur taille et donc leur stade de développement. Les individus adultes nagent plus vite que les petits individus. 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

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



La spécificité de l'Anguille est son aptitude pour 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).

✓ 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 ainsi que 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).

1-2/ Identification des menaces

1-2-1/ 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 de leur cycle biologique.

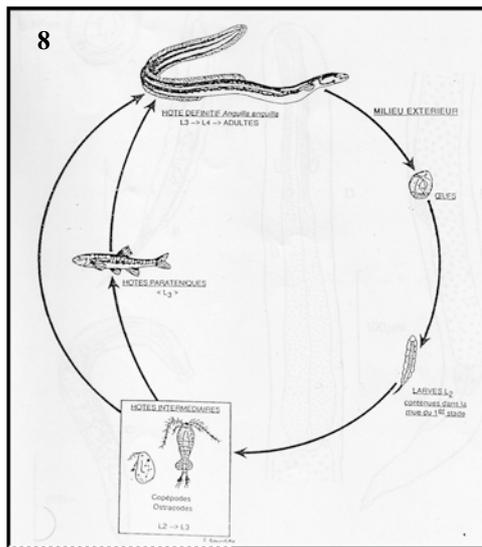
✓ **Le parasitisme**

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. Selon les sites étudiés, on enregistre plus de la moitié de la population infestée par ce parasite. Sur le bassin RMC, *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.*, 2003 in Amilhat, 2007).

A. crassus se loge à l'intérieur de la vessie natatoire et se nourrit du sang de l'anguille (fig.9). Son cycle (fig.8) passe par un hôte intermédiaire, le plus souvent un invertébré (ostracode...) qui est ingéré directement par l'anguille ou alors il passe par un hôte intermédiaire qui est d'abord mangé par un poisson (hôte paraténique) lui même mangé ultérieurement par l'anguille.



from Bonneau, 1990



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

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 (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 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).

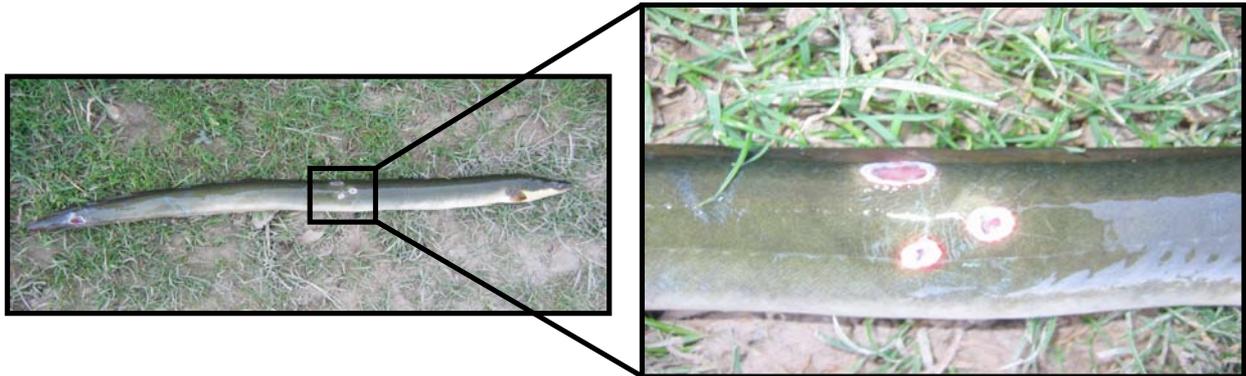


Figure 10 : anguille blessée par un héron (Tour du Valat)

1-2-2/ Les menaces anthropiques

Aux nombreuses menaces naturelles que subit l'Anguille s'ajoutent de nouveaux risques induits par des activités humaines responsables de perturbations environnementales de natures physiques, chimiques et biologiques.

✓ **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).

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'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 granulats, 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).

✓ **Modification du fonctionnement hydraulique des cours d'eau**

De plus, 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, ces appels d'eau 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 dû à la rareté et à 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.

✓ **La pêche**

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 celle de la civelle et des anguilles argentées (en France, Espagne et Portugal). Ces deux dernières sont 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).

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. La pêche à la civelle est interdite en Méditerranée et la pêche de l'anguille jaune et argentée dans les lagunes y représente l'activité économique principale.

La pêche à l'Anguille en Méditerranée est une activité ancestrale, économiquement importante qui fait vivre environ 600 pêcheurs (COGEPOMI, 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 les 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 alors se stabiliser (ICES, 2008).

1-3/ Situation actuelle du stock d'Anguille européenne

La situation actuelle du stock de l'Anguille européenne est préoccupante. L'évolution des tonnages de la pêcherie à la civelle sur le bassin de la Gironde (fig.11) 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.12).

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 est par conséquent contrôlée par l'élaboration de permis afin d'éviter une utilisation incompatible avec la survie de l'espèce (ICES Advice, 2008).

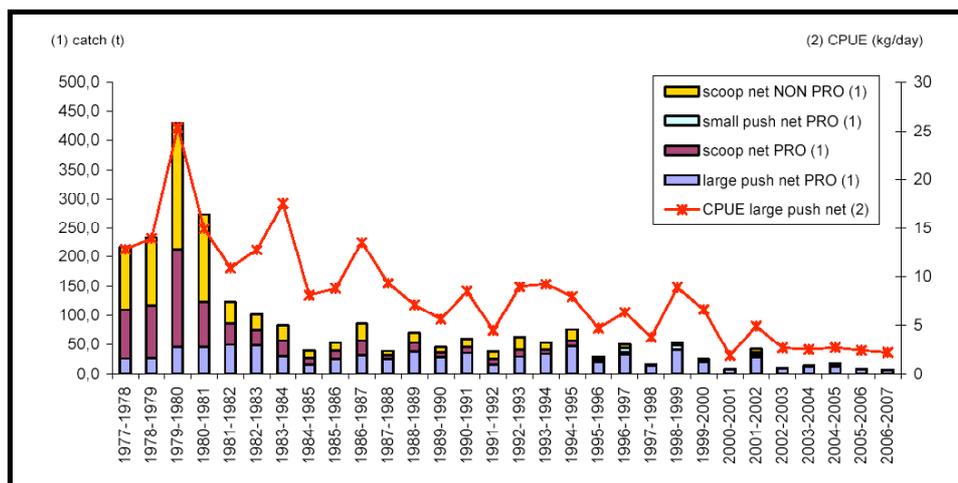


Figure 11 : évolution des tonnages et des CPUE de civelles des pêcheurs professionnels et amateurs sur le bassin de la Gironde de 1978 à 2007 (source CEMAGREF in ICES 2008)

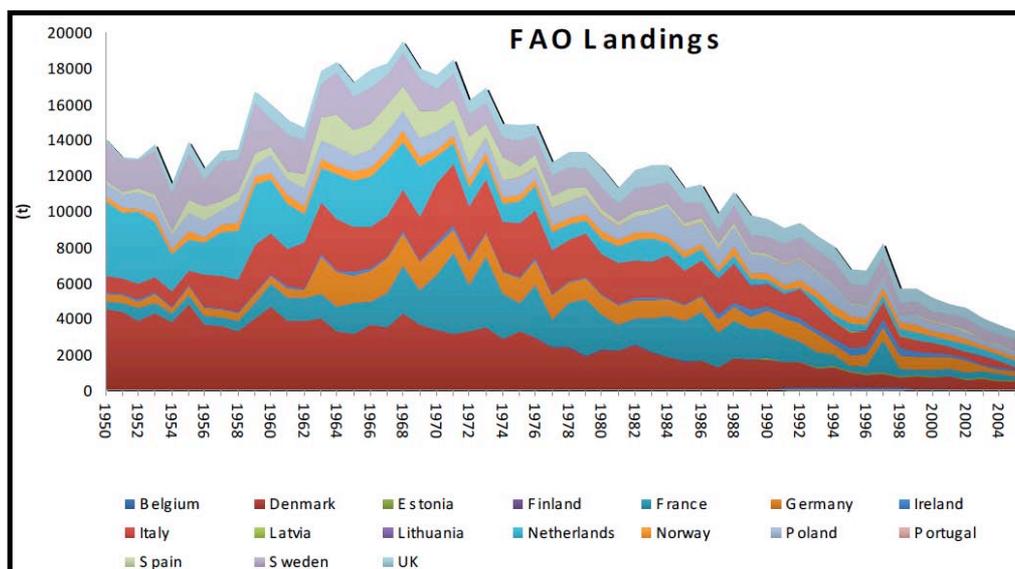


Figure 12 : évolution des tonnages d'anguilles en europe (source FAO in ICES, 2008)

En septembre 2007, un règlement européenne en faveur de la reconstitution du stock a été adopté (règlement CE 1100/2007). Afin d'atteindre l'objectif de protection et d'exploitation durable de l'Anguille européenne, les Etats-membres doivent donc mettre en place des plans de gestion pour leurs bassins hydrographiques.

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 vu 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 sur la liste rouge des espèces menacées de l'IUCN (International Union for Conservation of Nature) (IUCN, 2008).

1-4/ 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 de stock d'anguilles européennes. Par son statut de « Loi communautaire », 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* ».

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 que de bassins hydrographiques. En France, la rédaction de ces derniers est pilotée 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 Plans de Gestion 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.

Le coeur des mesures de gestion de la pêche est fixé au niveau national. 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. 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 oeuvre des mesures nationales ont été décidées par les bassins.

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 préalablement identifiées lors de l'élaboration du plan. Sur ces zones, des ouvrages prioritaires ont également été identifiés au niveau de chaque bassin.

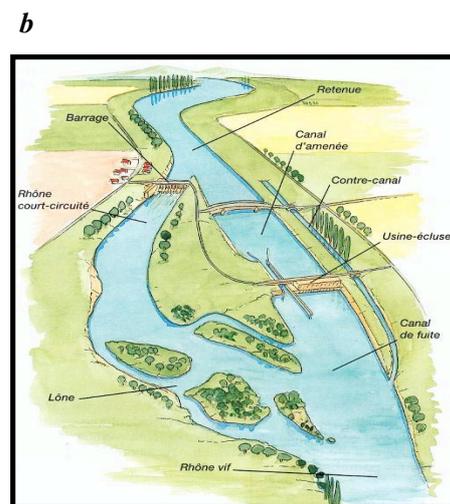
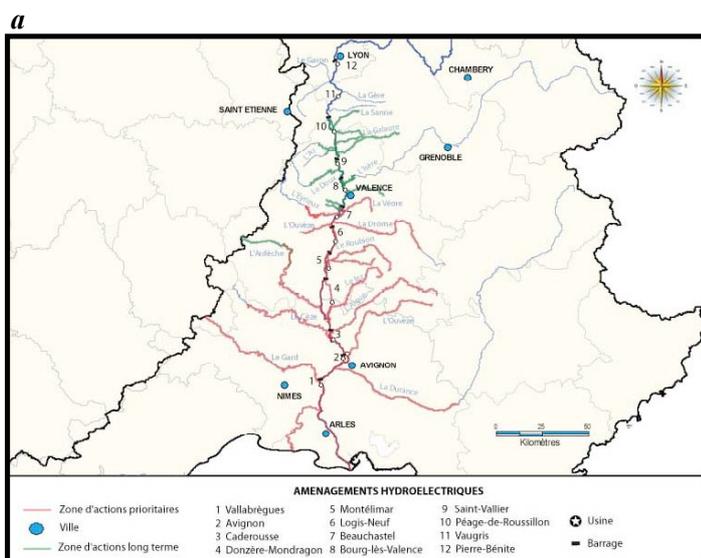
Pour les ouvrages prioritaires, le diagnostic à l'ouvrage devra être lancé dans la période du plan de gestion (6 ans à compter de 2009) afin de rechercher les solutions technico-économiques permettant le passage des anguilles tant à la montaison qu'à la dévalaison. A l'issue du diagnostic, si des solutions technico-économiques existent, la recherche de financement devra être lancée et les solutions mises en oeuvre aussi vite que possible.

1-5/ Circulation sur le Rhône en aval de l'aménagement hydroélectrique de Beaucaire-Vallabrègues

1-5-1/ Configuration du site

Les jeunes anguilles colonisant le Rhône depuis la mer se trouvent bloquées en aval de l'aménagement de Beaucaire-Vallabrègues (68 km de l'embouchure). Il comprend deux ouvrages : le barrage de retenue de Vallabrègues et l'usine-écluse de Beaucaire (fig.13, 14). La confluence avec le Gardon, premier affluent depuis la mer, se trouve en aval immédiat du barrage de retenue. Le Rhône au niveau de cet aménagement est divisé en deux bras :

- Le Rhône court circuité ou « Vieux Rhône » qui est le bras situé en aval du barrage de retenue,
- les Canaux d'amenée et de fuite situés respectivement en amont et en aval de l'usine écluse.



* Ce schéma présente la configuration générale du site (Rhône court-circuité et canal de fuite). Le Gardon n'est pas représenté.

Figure 13 et 14 : localisation de l'aménagement CNR de Beaucaire-Vallabrègues (a) et configuration générale du site*(b)

Les anguilles en phase de colonisation vont donc s'orienter soit vers le Rhône court-circuité où elles vont buter contre le barrage de retenue et coloniser le Gardon, soit vers le canal de fuite. Sur ce dernier, elles rencontreront l'usine hydroélectrique, aménagement constituant un blocage important étant donné les capacités migratoires de l'espèce (la hauteur importante et la verticalité de l'obstacle sont les deux principales caractéristiques bloquant la migration des anguilles). Jusqu'en 2005, les anguilles avaient comme seule possibilité pour franchir ce dernier obstacle le passage par l'écluse (lors d'une écluse à bateau ou à poissons) qui se situe en rive droite.

1-5-2/ Dispositifs de franchissement

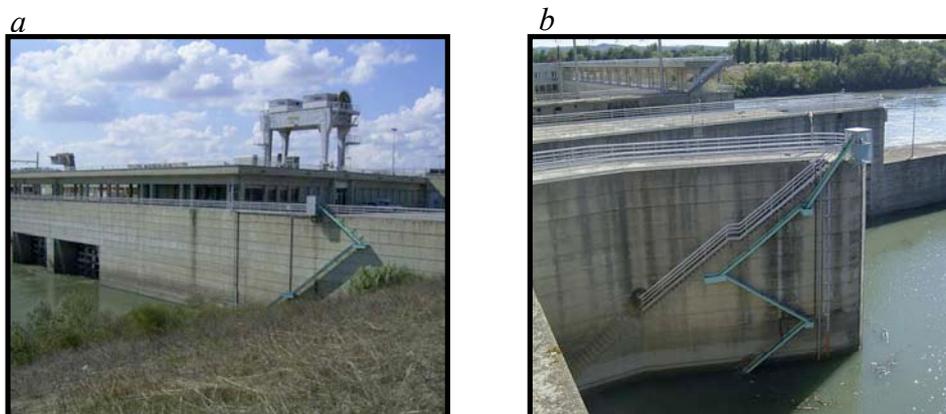
Pour l'Anguille, l'efficacité des éclusées à bateaux ou à poissons n'est pas connue. Toutefois le caractère nocturne de la migration de l'Anguille limite certainement leur franchissement (les éclusées à poissons n'ont lieu qu'en journée).



Figure 15 : localisation de l'exutoire du contre canal en aval de l'usine de Beaucaire (geoportail)

En rive gauche du canal de fuite se trouve l'exutoire du contre-canal qui semble présenter un attrait (fig.15). Une passe-piège y avait été installée en 1998, sur ce contre-canal. Le suivi avait été réalisé par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée du 7 mai 1998 au 25 mai 1999. La passe a été abandonnée par la suite après plusieurs actes de vandalisme. Toutefois les résultats obtenus ont permis une première approche de la dynamique migratoire annuelle de l'Anguille sur le Rhône aval (Feunteun *et al.*, 2000).

Enfin, en septembre 2005 et en juillet 2006, la CNR a fait construire deux passes-pièges à anguilles (fig. 16, 17) respectivement en rive gauche et en rive droite de l'usine qui représentent un moyen important de franchissement pour les anguilles. Le suivi est assuré par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée depuis leur installation.



Figures 16 et 17: passes-pièges situées en rive gauche (a) et rive droite (b) (MRM)

2/ Matériel et méthodes

Le principe de fonctionnement des passes-pièges est présenté en annexe B.

2-1/ Protocole de suivi des captures d'anguilles

Les interventions sur les passe-pièges à anguilles sont calées en fonction de l'activité migratoire des anguilles. Les résultats obtenus grâce au suivi de la passe-piège située dans le contre-canal ont permis de définir l'organisation du suivi des passes-pièges de l'usine hydroélectrique de Beaucaire.

2-1-1/ Fréquence des relèves

Au minimum une visite hebdomadaire est réalisée pour veiller au bon fonctionnement du système. Lors des pics de migration (printemps, été) il est réalisé jusqu'à cinq visites par semaine. Le nombre de visites hebdomadaires est augmenté lorsque les conditions du milieu sont favorables à la migration (augmentation du débit du Rhône, température de l'eau supérieure à 12°C) et que le nombre de captures est susceptible d'augmenter.

2-1-2/ Relève d'une passe piège

Une fois le bac vidangé, les anguilles piégées dans le bac de capture sont récupérées manuellement par l'intervenant. Lorsque le nombre d'individus d'un lot dépasse la centaine, un échantillonnage est réalisé : cinquante à cent anguilles sont aléatoirement sélectionnées. En supposant qu'il n'y a pas de biais d'échantillonnage (sélectivité des épuisettes ou de l'intervenant), cette méthode permet d'obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble des anguilles capturées. Ces individus sont ensuite anesthésiés dans une solution d'eugénol (1 ml pour 5 l d'eau) puis mesurés. L'échantillon est pesé et le nombre total d'anguilles capturées est estimé par une règle de trois en ramenant le poids de l'échantillon au poids total des captures. Après une phase préalable de réveil d'une dizaine de minutes, les anguilles sont relâchées en amont de l'aménagement à une distance suffisamment importante pour éviter tout phénomène de dévalaison.

Lors de chaque relève, le compteur horaire de l'armoire électrique est relevé afin de connaître le temps exact de fonctionnement des pompes entre chaque visite.

Les mesures biométriques prises sur les échantillons sont saisies sous informatique afin de réaliser une analyse des caractéristiques populationnelles (structure en taille, dynamique migratoire...).

2-2/ Suivi des captures

2-2-1/ Nombre de captures

Au cours du suivi, les niveaux d'eau du Rhône peuvent être très bas. Par conséquent, il est possible que les pompes hydrauliques des passes pièges s'arrêtent de façon plus ou moins prolongée (de quelques minutes à plusieurs jours selon les hauteurs d'eau). Le nombre d'anguilles piégées (n) dans un dispositif lors de chaque relève a donc été pondéré par le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe du dispositif en question. Ce nombre d'anguilles capturées par heure a ensuite été ramené au nombre moyen d'anguilles capturées par jour ($n/h \times 24$). Le graphique qui en découle est donc la représentation du nombre moyen d'anguilles capturées par jour pour une relève à une date donnée.

2-2-2/ Structures en tailles

Les tailles moyennes des anguilles capturées ont été comparées statistiquement (comparaison mensuelle). Pour cela, un test de Tukey a été utilisé.

Les individus capturés ont été répartis en classes de tailles de 10 mm d'intervalle. Les résultats sont représentés sous forme d'histogrammes de structures en tailles.

2-3/ Suivi des paramètres environnementaux

Certaines variations de l'environnement influencent la migration de l'Anguille. Afin de caractériser le flux migratoire observé, l'effet de certaines variables environnementales (débit, température de l'eau, pH, conductivité) ont été suivis et l'effet de la lune a été approché.

2-3-1/ Température de l'eau

La température de l'eau est supposée être le paramètre clé pour la migration des civelles et des anguillettes (White & Knights, 1997 *in* Crivelli, 1998).

Les données de température sont fournies par le centre de Production Thermique EDF d'Aramon.

2-3-2/ Débit

L'évolution des débits (débits turbinés au niveau de l'usine de Beaucaire). Elle est donc confrontée au nombre d'anguilles capturées sur la période de suivi. Le débit est l'un des facteurs susceptibles d'influer la migration vers l'amont des anguilles (Crivelli, 1998).

2-3-3/ Phases lunaires

Les anguilles se déplacent essentiellement la nuit. Il est donc possible que la phase lunaire ait un effet sur leur migration anadrome. En effet, il est possible que l'éclairement de la pleine lune diminue les déplacements migratoires des anguilles. De plus, cette espèce ayant une partie de son cycle de vie marine (zone très influencée par les marées), il est possible que le cycle lunaire détermine son comportement migratoire.

Ainsi, ce cycle a été quantifié : chaque jour s'est vu attribuer une valeur correspondant au pourcentage de temps (nombre de jours) entre la nouvelle lune et la pleine lune (pleine lune = 100 % ; nouvelle lune = 0 %). Le cycle lunaire a ensuite été confronté au nombre d'anguilles capturées sur la période de suivi.

2-3-4/ Autres facteurs environnementaux

Bien qu'il n'existe pas d'études montrant l'effet de la conductivité et du pH sur la migration des anguilles, ces deux facteurs ont été confrontés au nombre d'anguilles capturées durant la période de suivi. Les données sont fournies par le centre de Production Thermique EDF d'Aramon.

2-4/ Traitement des données

La saisie et le traitement des données (statistiques descriptives, courbes, tendances...) ont été réalisés sous Excel par l'Association MRM. L'ensemble des tests statistiques a été effectué avec le logiciel R (2.8.0).

3/ Résultats et interprétations

3-1/ Suivi et fonctionnement des passes pièges

3-1-1/ Période et fréquence de suivi

En 2009, les stations de capture de rive droite et de rive gauche ont été mises en route le 31 mars (tab.1). Ainsi, jusqu'au 10 novembre, le suivi 2009 a duré 224 jours. Les deux passes-pièges ont été contrôlées à chaque visite. Dans cette période, chacune d'entre elles a été visitée 40 fois, ce qui correspond à une fréquence d'une visite tous les 4,5 jours en moyenne.

3-1-2/ Fonctionnement des pompes hydrauliques

Du 1^{er} avril au 10 novembre, la pompe hydraulique qui alimente la passe piège de rive droite a fonctionné de façon quasi-permanente (pourcentage de fonctionnement > 90% sur la totalité du suivi) (tab.1).

En rive gauche, la pompe hydraulique a été moins fonctionnelle et particulièrement à partir du mois de juillet (il est arrivé que le système ne fonctionne pas du tout entre deux relèves).

Les niveaux d'eau du Rhône au pied de l'usine de Beaucaire ont été particulièrement bas cette année et la pompe de la passe-piège de rive gauche était régulièrement hors de l'eau (fig.18). Ceci explique les faibles taux de fonctionnement.



Figure 18 : pompe hydraulique et rampe hors de l'eau en rive gauche (MRM)

DATE	débit moyens* (m3/s)	% fonctionnement rive droite	% fonctionnement rive gauche
31/03/09	1768	Remise en route	Remise en route
7/04/09	1723	66	100
14/04/09	1700	97	92
21/04/09	1705	100	100
28/04/09	1610	100	100
5/05/09	1473	100	94
12/05/09	1294	100	99
19/05/09	1313	98	90
26/05/09	1229	100	92
2/06/09	1433	100	100
4/06/09	1246	85	83
8/06/09	1202	100	100
11/06/09	1502	100	100
15/06/09	1193	100	100
18/06/09	1401	96	96
22/06/09	1234	98	84
25/06/09	1057	100	79
29/06/09	924	100	64
2/07/09	1108	92	75
6/07/09	862	100	65
9/07/09	917	93	-
15/07/09	702	100	43
21/07/09	1115	99	90
23/07/09	1005	90	67
27/07/09	767	99	47
30/07/09	814	100	54

DATE	débit moyens* (m3/s)	% fonctionnement	% fonctionnement
3/08/09	656	100	25
6/08/09	729	100	49
10/08/09	543	100	1
13/08/09	755	94	11
17/08/09	579	99	0
20/08/09	692	100	1
24/08/09	564	100	0
27/08/09	758	92	47
31/08/09	543	100	18
4/09/09	613	100	24
10/09/09	628	100	24
17/09/09	547	99	12
21/09/09	560	100	8
24/09/09	629	100	21
28/09/09	408	99	0
1/10/09	380	100	0
5/10/09	380	100	0
8/10/09	529	100	11
11/10/09	422	100	0
20/10/09	482	69	1
22/10/09	958	100	81
26/10/09	680	100	45
30/10/09	541	95	3
4/11/09	732	100	0
10/11/09	991	100	68
Total	933	97	50

* moyenne des débits moyens journaliers entre deux relèves

Tableau 1: fonctionnement des pompes hydrauliques en rive droite et rive gauche

3-2/ Dynamique de la migration

3-2-1/ Nombre d'anguilles capturées

3 638 anguilles ont été capturées (3 427 en rive droite et 211 en rive gauche). Les résultats bruts sont présentés dans les tableaux 2 et 3. Les principales données analysées sont les captures annuelles dans un premier temps. L'évolution des captures en 2009 est aussi étudiée et ces données sont confrontées aux facteurs environnementaux afin de dégager d'éventuelles tendances.

Tableaux 2 et 3 : nombres annuels (2) et mensuels (3) estimés d'anguilles capturées en rive droite et gauche de l'usine éclusée de Beaucaire-Vallabrègues

(2)

Année	Rive droite	Rive gauche	total
2005	/	1 681	1 681
2006	2 938	7 776	10 714
2007	13 595	3 846	17 441
2008	148 932	87 005	235 937
2009	3 427	211	3 638

(3)

	Rive droite	Rive gauche	Total
Avril	3	1	4
Mai	62	41	103
Juin	1438	142	1580
Juillet	1318	22	1340
Août	500	2	502
Septembre	77	0	77
Octobre	18	3	21
Novembre	11	0	11
Total	3427	211	3638

✓ Captures annuelles

La passe-piège située en rive gauche a été installée en septembre 2005. Le suivi n'ayant été que partiel, cette année n'est donc pas comparable aux autres. Il en est de même pour l'année 2006 en rive droite où la passe-piège n'a été installée qu'au mois de juillet. Par conséquent, seules les données de 2007, 2008 et 2009 peuvent être confrontées en rive droite et celles de 2006, 2007, 2008, 2009 en rive gauche.

Le nombre de captures a explosé en 2008 (fig.19) d'un facteur supérieur à 10 par rapport à 2007 (235 937 anguilles capturées au total en 2008) puis il s'est effondré en 2009 (seulement 3 638 anguilles capturées).

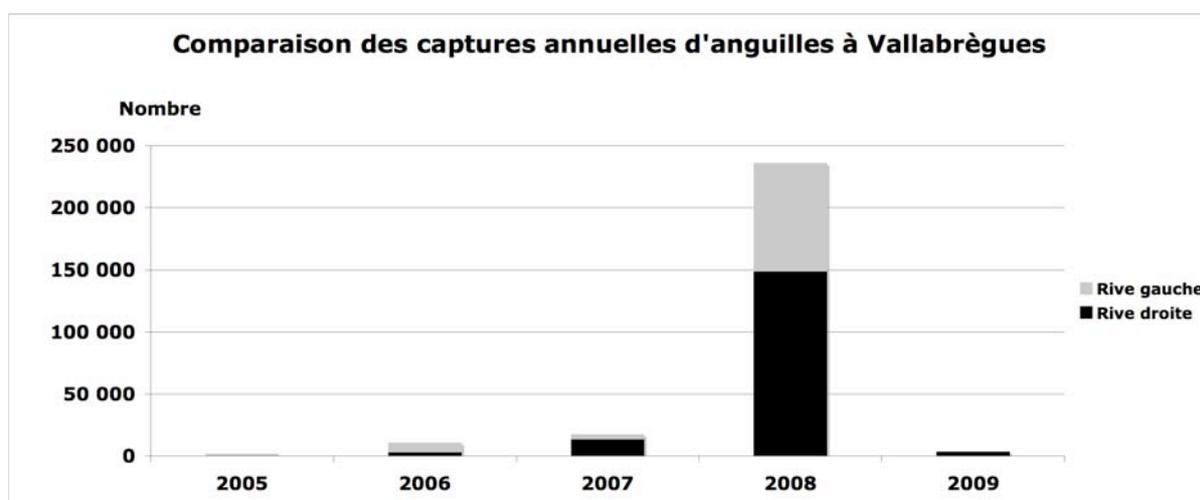


Figure 19 : évolution des captures annuelles depuis le début du suivi (Auphan, 2005 ; Auphan & Delhom, 2006 ; Vanel et al., 2007 ; Campton et al., 2008)

Le nombre de captures des deux passes-pièges dépend d'une part du succès de la reproduction dans la mer des Sargasses ainsi que de la survie larvaire lors de la migration océanique, d'autre part, de l'activité migratoire continentale des civelles et anguillettes (activité qui dépend en grande partie des conditions environnementales).

Ainsi, le faible nombre de captures obtenu en 2009 peut s'expliquer par un mauvais recrutement 2008/2009 du Rhône en civelles ou par des conditions hydroclimatiques ne favorisant pas leur mobilité en zone continentale. La combinaison des deux hypothèses est aussi probable. La confrontation des données annuelles de piégeages aux variables environnementales permettra de mieux comprendre le déterminisme de la migration.

Dans tous les cas, plusieurs années de suivi sont encore nécessaires afin de pouvoir identifier les facteurs déterminant l'activité migratoire des anguilles dans les eaux continentales et donc expliquant la variabilité des captures (une série de données de 10 années permettrait d'obtenir une bonne robustesse des résultats).

✓ *Comparaison rive droite / rive gauche*

Au cours du suivi 2009, environ 94 % des anguilles capturées ont transité par la passe-piège de rive droite et seulement 6 % par la rive gauche. Le nombre de captures réalisées en rive droite est supérieur à celui de rive gauche (fig.20). Cette observation confirme celles réalisées lors des suivis des années précédentes. L'attractivité est donc meilleure en rive droite. Les pics de migration mensuels sont quant à eux identiques sur les deux rives avec un maximum d'anguilles capturées au mois de juin.

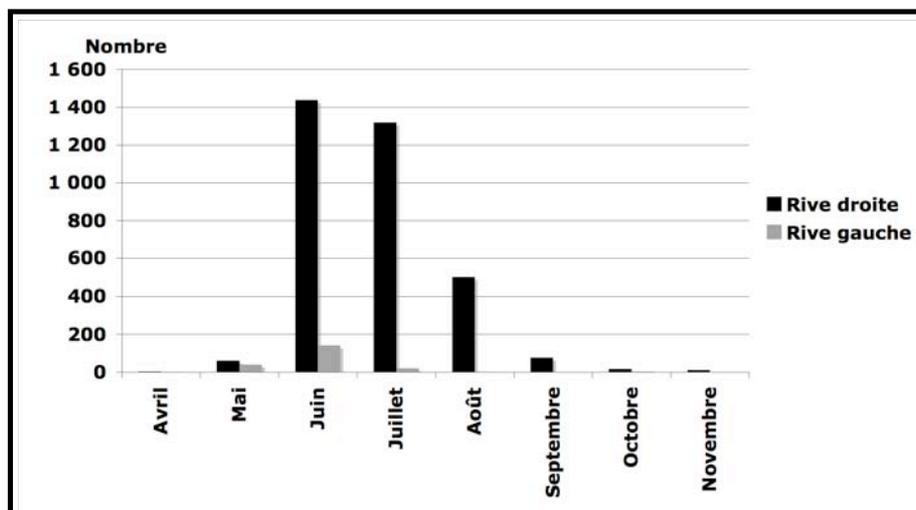


Figure 20 : évolution des captures mensuelles de l'année 2009

Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène :

- Influence de l'écluse à bateaux qui se situe en rive droite : cette hypothèse semble la plus plausible et mérite d'être approfondie. En effet, la présence de l'écluse en rive droite crée une veine de courant qui joue le rôle de débit d'attrait pour les anguilles.
- Différence de configuration des passes (débits d'attraits visiblement différents bien que les pompes soient réglées pour délivrer un débit de 50 m³/h).
- Présence du contre-canal situé à l'aval du barrage en rive gauche du Rhône : le débit au niveau de son embouchure avec le Rhône peut être attrayant pour les anguilles et il est possible qu'une partie non négligeable de la population migrante se présentant en rive gauche emprunte ce passage. Cependant elles sont bloquées à moins d'un kilomètre en amont par un seuil infranchissable.
- Morphologie hétérogène des écoulements sur le bief aval.
- Dysfonctionnement de la pompe hydraulique en rive gauche.

3-2-2/ Déroulement de la migration 2009

En supposant l'évolution des captures réalisées dans les passes-pièges représentatives de la dynamique migratoire des anguilles sur le Rhône au niveau de l'usine éclusée de Beaucaire-Vallabrègues, la période de migration des anguilles semble avoir débuté au mois d'avril (1 anguille capturée en rive gauche au 21 avril, 3 anguilles en rive droite)

Comme lors de la campagne de suivi 2008, les courbes montrent que les remontées d'anguilles se sont réalisées sous forme d'à-coups expliquant ainsi les pics ponctuels observés (fig.21). Quatre pics majeurs de captures ont ainsi été identifiés :

- Le premier pic (le plus important) correspond à la relève du 11 juin (197 anguilles capturées par jour environ du 9 au 11 juin inclus),
- le deuxième a eu lieu lors de la relève du 9 juillet (176 anguilles capturées par jour environ du 7 au 9 juillet inclus),
- le troisième pic a eu lieu pour la relève du 21 juillet (99 anguilles capturées par jour environ du 16 au 21 juillet inclus),
- le quatrième pic a eu lieu lors de la relève du 3 août (50 anguilles capturées par jour du 31 juillet au 3 août inclus).

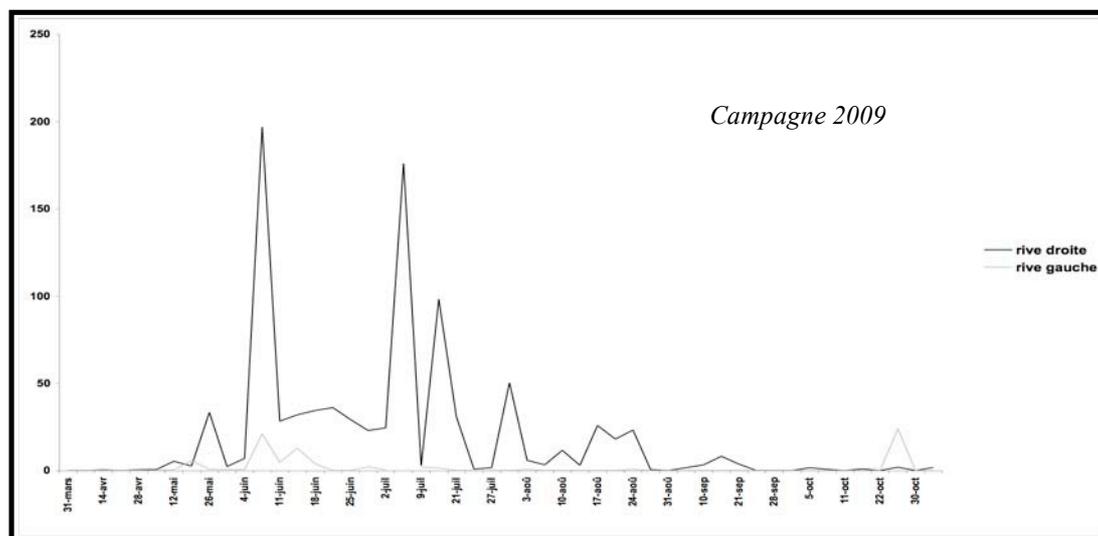
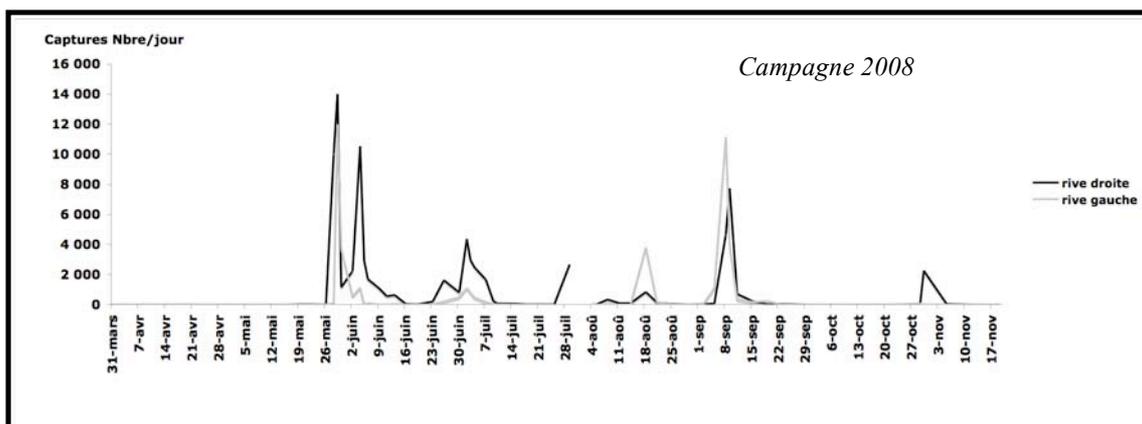


Figure 21 : variation du nombre moyen de captures journalières lors de chaque relève en 2008 et 2009

Étant donné que très peu d'anguilles ont été capturées (particulièrement en rive gauche) et que la pompe hydraulique du dispositif de rive gauche a peu fonctionné, il est difficile de confirmer les observations de 2008, à savoir que les arrivées massives d'anguilles se font simultanément en rive droite et en rive gauche. Cependant l'un des seuls pics observés en rive gauche correspond au premier pic observé en rive droite (relève du 11 juin).

3-2-3/ Déterminisme de la migration 2009

Afin de mieux cerner la dynamique migratoire, le nombre moyen d'anguilles capturées par jour a été confronté aux données environnementales.

✓ *Influence de la température*

Dès les premiers jours du suivi, la température de l'eau (fig.22) a augmenté considérablement (10,8 °C le 31 mars à 14,5 °C le 15 avril soit 3,7 °C de hausse en 15 jours). Elle est restée à peu près constante jusqu'au 21 avril, date à laquelle les premières anguilles ont été observées. Ces individus ont donc été capturés entre le 14 et le 21 avril (4 anguilles capturées en 7 jours soit 0,57 anguilles/ jour en moyenne).

Les jours suivants, la température a augmenté (malgré quelques diminutions ponctuelles) jusqu'à atteindre son maximum (25,7 °C) le 17 juillet. Les deux pics de captures les plus importants du suivi 2009 ont eu lieu durant cette période (197 anguilles/jour capturées le 11 juin pour une eau à 20,2°C ; 176 anguilles/jour capturées le 9 juillet pour une eau à 24,2°C).

Lors des deux autres pics de captures identifiés, la température de l'eau avoisinait 24,2°C (pic du 21 juillet, 98 anguilles capturées par jour) et 23,8°C (pic du 3 août, 50 anguilles capturées par jour).

La température de l'eau a légèrement diminué en août et septembre (23°C le 6 août ; 21,8°C le 30 septembre ; données manquantes au mois d'août) puis a fortement chuté la première moitié du mois d'octobre (21,7°C au 1^{er} octobre et 13,3 °C au 18 octobre, soit une diminution de 8,4°C en 18 jours) probablement en raison d'une baisse de la température de l'air. Durant cette période, quasiment aucune capture n'a été réalisée.

La température de l'eau a de nouveau augmenté du 18 octobre au 4 novembre (16,2°C au 4 novembre), c'est dans cet intervalle de temps qu'ont été capturées les dernières anguilles. Lorsque le suivi a été arrêté, l'eau était à 12,7°C.

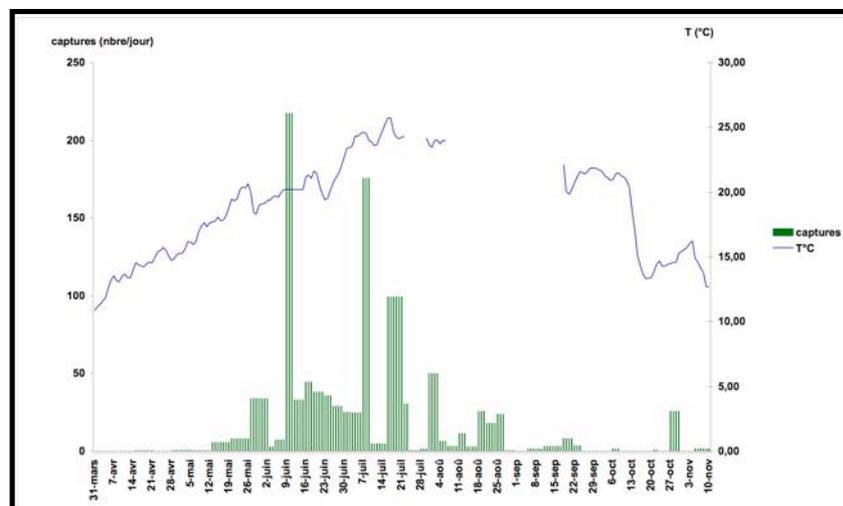


Figure 22 : évolution du nombre de captures et de la température

En comparaison au nombre de captures, la température est restée relativement constante durant le suivi et ne semble pas expliquer ces remontées massives et subites d'anguilles. Afin de mieux visualiser l'effet de la température sur le nombre de captures d'anguilles, une régression linéaire a été réalisée (fig.23).

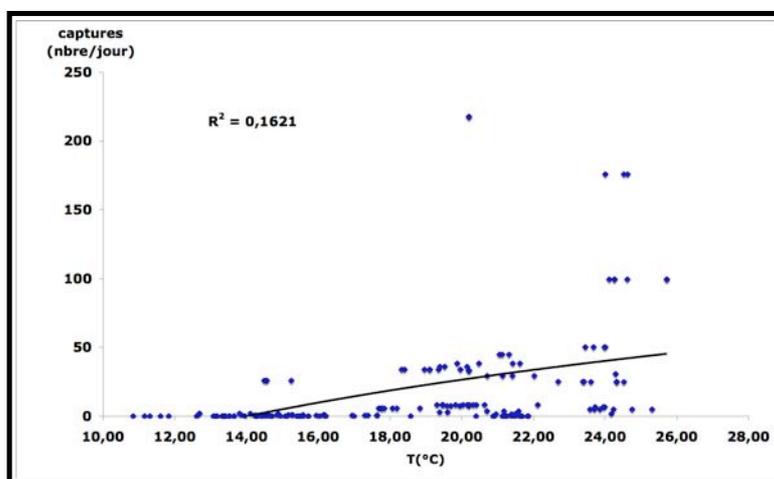


Figure 23 : corrélation entre la température de l'eau et le nombre de captures d'anguilles par jour

La corrélation n'est en effet pas avérée (coefficient de corrélation $r^2 = 0,16$ éloigné de 1). Cela dit, la quasi-totalité des captures a été réalisée à des températures supérieures à 14°C environ (hormis quelques captures observées lorsque la température de l'eau avoisinait 13,8°C) et la majorité (pics de captures) à des valeurs comprises entre 18 et 25,5°C (tab.4). En 2008, la totalité des captures a été réalisée pour des températures supérieures à 12°C environ et la majorité pour des valeurs comprises entre 15,5°C et 22,5°C (Campton *et al.*, 2008). En 2007, les premières captures ont été observées au-dessus de 10°C (Vanel *et al.*, 2007) pour une majorité d'anguilles entre 19,5 et 22,5°C. En 2006, les premières captures ont eu lieu à partir de 11°C et la majorité d'entre elles s'est réalisée sur une gamme de températures plus grande (Auphan & Delhom, 2006).

	2006	2007	2008	2009
Premières captures	11°C	10°C	12°C	14°C
Majorité des captures (90% environ)	16,5°C à 27,5°C	19,5°C à 22,5°C	15,5°C à 22,5°C	18°C à 25,5°C

Tableau 4 : températures mesurées lors du début de la migration des anguilles et gamme de températures pour lesquelles la majorité des anguilles a été capturée (années 2006, 2007, 2008 et 2009)

Il peut donc être conclu que le facteur température n'explique pas les variations de captures d'anguilles. En comparaison aux années précédentes, le seuil de température pour lequel les premières anguilles ont été capturées a augmenté (tab.4). Au vu du faible nombre d'individus capturés tout au long du suivi et du fait qu'il ne s'agit que de la première année que cette observation est faite, il serait prématuré d'interpréter ce résultat.

✓ *Influence du débit*

Les captures d'anguilles ont été comparées aux débits du Rhône (fig.24).

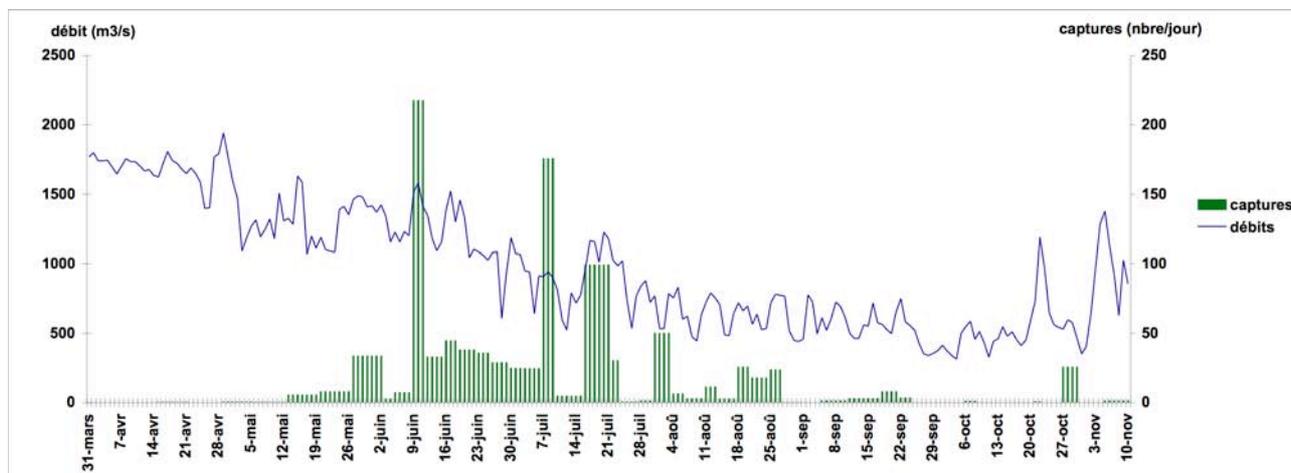


Figure 24 : évolution des captures et des débits turbinés

Contrairement au suivi 2008, le débit du Rhône n'a pas beaucoup varié et il est resté relativement faible au cours du suivi 2009 (généralement inférieur à 1 500 m³/s, 974 m³/s en moyenne) hormis au mois d'avril (1 696 m³/s en moyenne, maximum de 1 941 m³/s) (tab.5). Durant les mois d'août, septembre et octobre, il a atteint des valeurs particulièrement basses (631 m³/s en moyenne au mois d'août avec un minimum de 441 m³/s ; 551 m³/s en moyenne au mois de septembre avec un minimum de 339 m³/s ; 525 m³/s en moyenne au mois d'octobre avec un minimum de 313 m³/s).

Tableau 5 : évolution mensuelle du débit (m³/s) au cours du suivi 2009

	moyenne	minimum	maximum
avril	1 696	1 396	1 941
mai	1 313	1 067	1 630
juin	1 219	607	1 581
juillet	888	523	1 225
août	631	441	832
septembre	551	339	775
octobre	525	313	1 189
novembre	926	405	1 376

L'analyse de la figure 24 ne semble pas montrer de corrélations entre le débit et le nombre de captures d'anguilles dans les passes pièges. Néanmoins, le pic de captures qui a eu lieu du 9 au 11 juin est intervenu durant la période où le Rhône a atteint son débit maximum du mois de juin et le pic de captures du 16 au 21 juillet correspond aussi à la période au cours de laquelle le débit mesuré était maximal pour le mois de juillet.

La faible variabilité et les basses valeurs du débit au cours du suivi (en comparaison à celles observées en 2008) rendent toute analyse peu représentative. Il est donc prématuré de conclure de l'effet du débit sur la migration des anguilles à partir des données du suivi 2009. Elles sont cependant une source supplémentaire d'informations pour une future analyse statistique plus complète regroupant plusieurs années de suivi.

✓ *Influence du cycle lunaire*

Les anguilles sont lucifuges et comme cela a pu être observé pour la migration de dévalaison, la pleine lune semble inhiber leur mobilité (Brujjs & Durif, 2009). Parmi les 4 pics de captures identifiés en 2009, deux ont eu lieu pendant une période proche de la pleine lune (pic du 9 au 11 juin, 73 à 93 % de la pleine lune ; pic du 7 au 9 juillet, 87 à 100 % de la pleine lune) et les deux autres pics ont eu lieu lors de périodes intermédiaires à la pleine lune et la nouvelle lune (pic du 16 au 21 juillet, 6 à 40% de la pleine lune ; pic du 31 juillet au 3 août, 60 à 80 % de la pleine lune) (fig.25, tab.6).

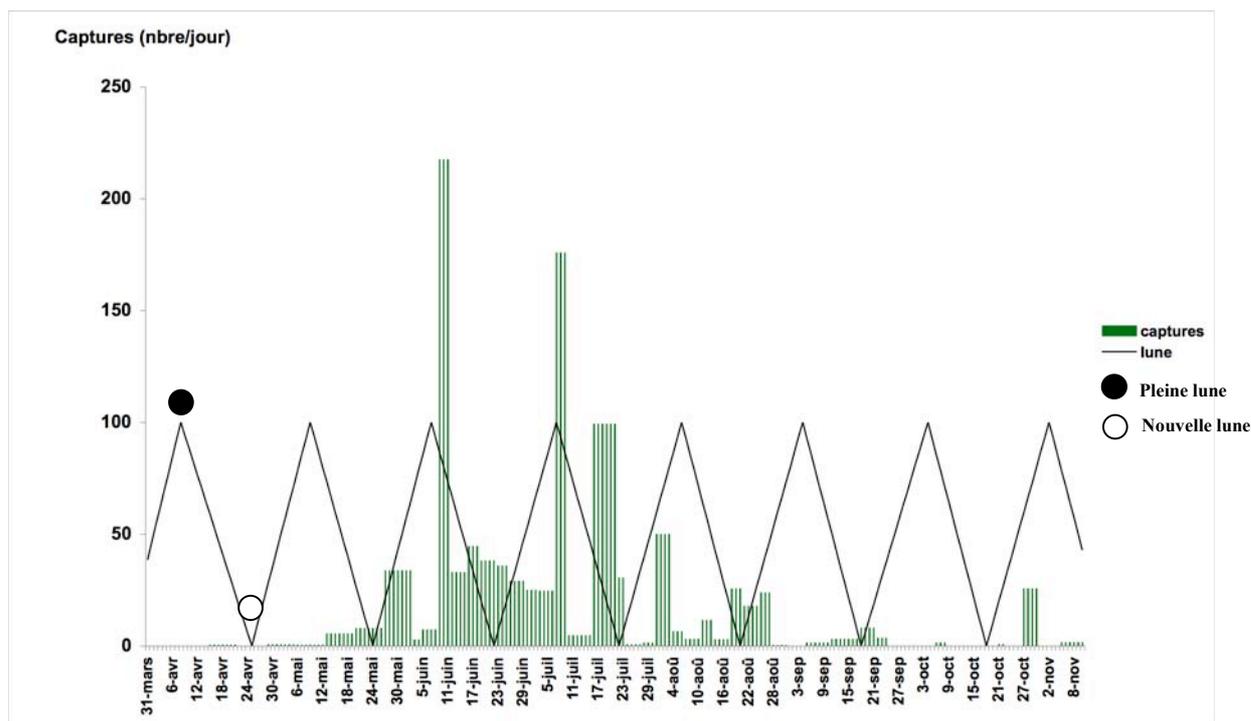


Figure 25 : évolution des captures et du cycle lunaire

Tableau 6 : périodes des pics de captures et cycle lunaire

pic de captures	% de pleine lune
9 au 11 juin	73 à 93
7 au 9 juillet	87 à 100
16 au 21 juillet	6 à 40
31 juillet au 3 août	60 à 80

Ainsi, il n'a pas été observé de tendance particulière concernant la migration en fonction du cycle lunaire comme au cours du suivi 2008.

✓ *Influence de la conductivité et du pH*

La conductivité et le pH ont été relativement variables au cours du suivi (gamme de variation de la conductivité 336,1 à 493,5 μS ; gamme de variation du pH 6,4 à 8,5) (fig.26). Toutefois, ces variations ne semblent pas correspondre aux différents pics de migration observés dans les passes-pièges. L'analyse de la corrélation entre chacune de ces deux variables et le nombre de captures d'anguilles par jour ne montre en effet pas de relation (R^2 très inférieur à 1).

En 2008, ces deux facteurs environnementaux ont été beaucoup plus constants durant la période de suivi et n'expliquaient pas les pics abrupts de migration beaucoup plus marqués que cette année. Les années de suivi à venir permettront de confirmer ces résultats avec plus de robustesse (nombre de données plus important).

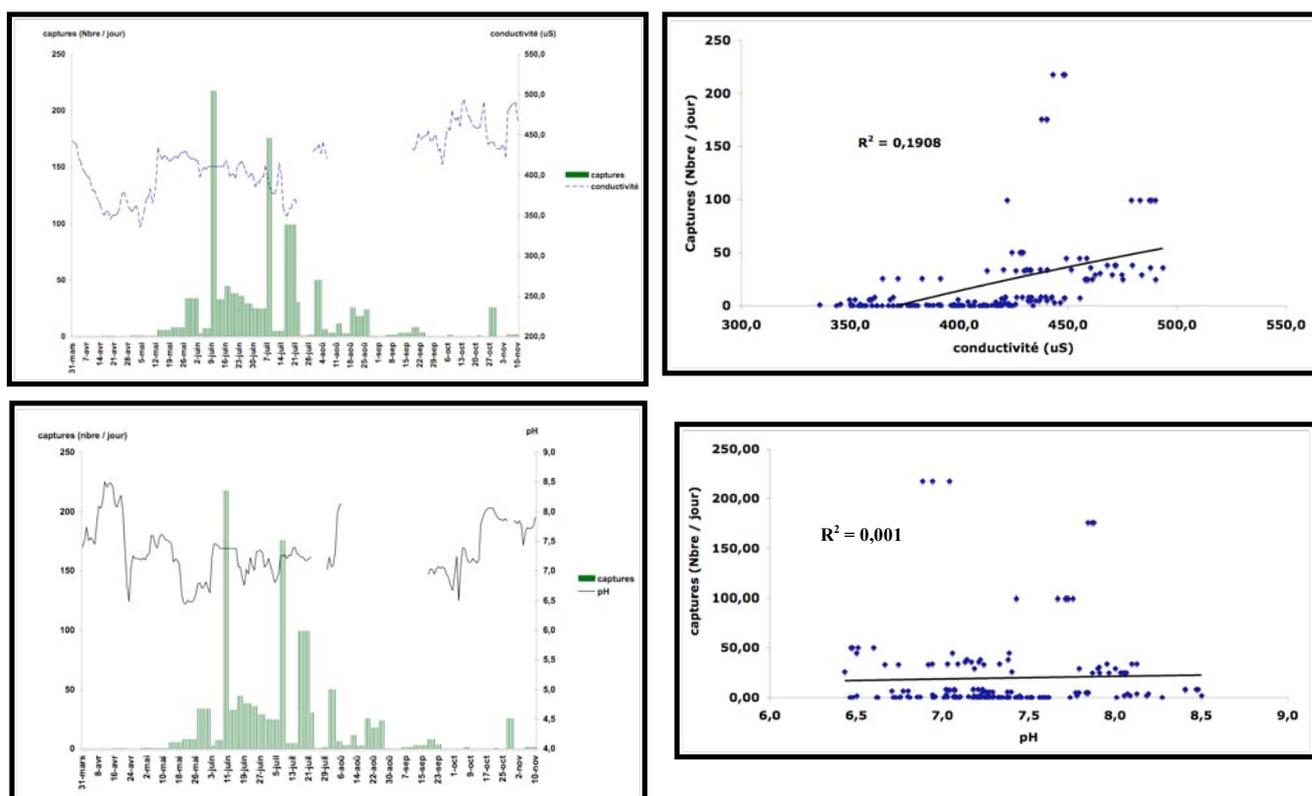


Figure 26 : confrontation de la conductivité et du pH au nombre de captures journalières d'anguilles

✓ *Bilan*

Au vu de ces différentes analyses, le déroulement de la migration 2009 peut être caractérisé de la manière suivante :

La température du Rhône a dépassé le seuil de 12°C (valeur identifiée les années précédentes comme température en dessous de laquelle la mobilité des anguilles est réduite) dès le début du mois d'avril puis a augmenté jusqu'à atteindre le maximum au mois de juillet avant de chuter significativement au mois d'octobre. Elle est donc restée favorable à la migration des anguilles durant la majorité du suivi.

Cependant, le débit a été très limitant étant donné qu'en dehors du mois d'avril, le Rhône n'a pas dépassé 1 500 m^3/s et que les variations ont été de faible amplitude. Le débit étant supposé être l'un des facteurs prépondérants dans le déterminisme de la migration des anguilles, le nombre de captures journalières a été dépendant d'une combinaison de facteurs (dont font peut-être partie le pH et la conductivité) probablement nombreux. Il est néanmoins difficile d'observer d'éventuelles tendances en les confrontant un à un au nombre de captures journalières.

3-3/ Caractérisation de la population

La mesure des tailles des anguilles échantillonnées lors de chaque relève des passes-pièges a permis d'établir la structure en tailles de la population et de dégager des tendances.

3-3-1/ Structures en tailles

La distribution en taille de l'ensemble des anguilles capturées lors de l'année 2009 est représentée en figure 27. Étant donné que très peu d'anguilles ont été capturées en rive gauche (211 individus seulement), celles-ci ont été regroupées avec les anguilles échantillonnées en rive droite afin d'établir la structure en taille de la population.

Les tailles des anguilles capturées varient de 51 mm à 330 mm en général (99,5 % des anguilles biométrées).

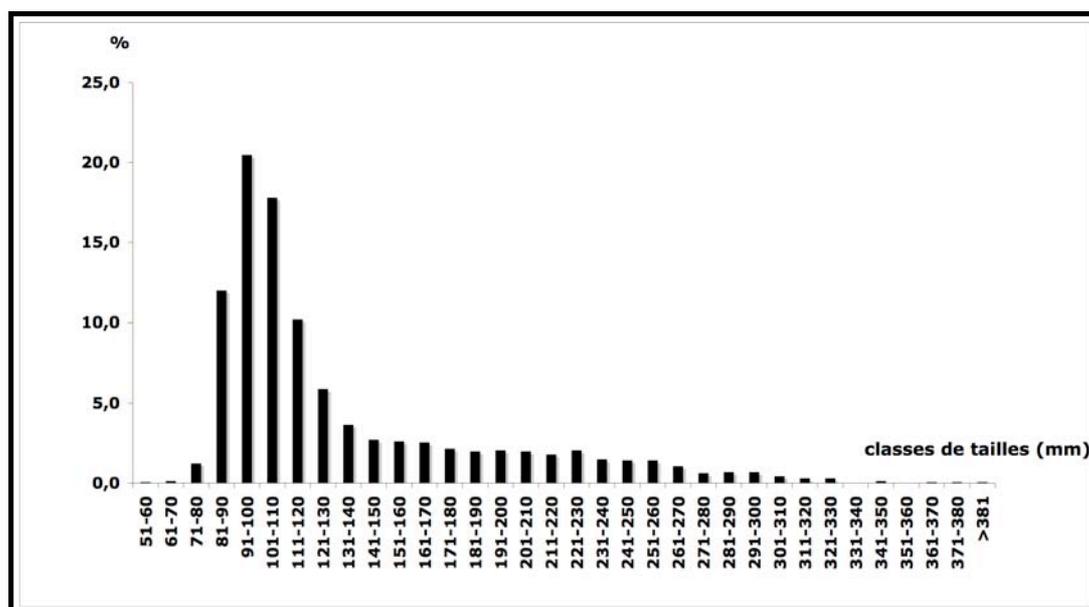


Figure 27 : structure en taille de toutes les anguilles échantillonnées (N = 1 617) au cours du suivi

Le mode (classe de taille majoritaire) correspond à la classe 91-100 mm (20,5 % des individus). Les structures en tailles obtenues les années précédentes de suivi (2006, 2007 et 2008) sont similaires à la figure 29 avec une majorité d'individus appartenant à des petites classes de taille (80 à 100 mm) et très peu d'anguilles au delà de 350 mm (Auphan & Delhom, 2006 ; Vanel *et al.*, 2007 ; Campton *et al.*, 2008). Les rampes de reptation n'étant pas supposées sélectives en termes de taille pour les anguilles, il peut être déduit de ces observations que la majorité des individus qui se présente au pied de l'ouvrage depuis plusieurs années est constituée de jeunes anguilles.

En comparant aux résultats de lectures d'âges réalisés sur la lagune du Vaccarès (Crivelli *et al.*, 2007) et à Vallabrègues (Auphan & Delhom, 2006), on peut supposer qu'il s'agit d'anguillettes qui sont arrivées dans le Rhône durant l'hiver qui a précédé (anguilles de l'année, 0+) ou alors des anguillettes âgées de un été (1+). Ce même constat a été fait les trois premières années du suivi (Vanel *et al.*, 2007 ; Auphan & Delhom, 2006 ; Campton *et al.*, 2008). Cette distribution s'explique donc par la faible distance à la mer (68 km) ainsi que par l'absence d'obstacles majeurs en aval de l'usine écluse de Vallabrègues. Les anguilles de taille supérieure à 150 mm sont sûrement des individus qui pour diverses raisons se sont sédentarisés en aval de l'ouvrage quelques temps avant de reprendre leur migration de montaison.

Il est difficile à partir des simples données de tailles de différencier les anguilles de l'année (0+) et d'un été (1+). En faisant toujours référence aux lectures d'âges réalisées en 2006 et 2007 dans ces deux études, il semblerait que le pic observé entre 80 et 130 mm soit composé d'individus de l'année (0+). Il faut cependant rester prudent car les conditions environnementales rencontrées notamment lors de la migration transatlantique des anguilles sont susceptibles d'engendrer des différences de croissance par rapport aux anguilles remontées les années précédentes. Il serait donc intéressant de prévoir dans les suivis à venir des prélèvements d'anguilles pour lecture d'âge. Les résultats pourraient ainsi être intégrés au document de synthèse pluriannuel qu'il a été proposé d'élaborer.

3-3-2/ Tailles moyennes des anguilles capturées

En moyenne, les anguilles capturées sont de petite taille (rive gauche et rive droite).

Contrairement à l'année 2008, les anguilles de rive gauche sont en moyenne plus grandes que les anguilles de rive droite (test de wilcoxon, $p\text{-value} \ll 10^{-16}$)

Les plus petites anguilles capturées sont des anguillettes et non des civelles pigmentées.

La taille moyenne des anguilles échantillonnées sur la totalité du suivi est de 125,2 mm en rive droite et de 175,4 mm en rive gauche. En raison du jeu de données restreint, (peu d'anguilles en rive gauche, peu d'anguilles aux mois d'octobre et novembre), la comparaison de tailles entre les deux rives n'est pas pertinente (données en rive gauche peu représentatives) et les anguilles échantillonnées aux mois d'octobre et novembre (34 individus les deux mois regroupés) n'ont pas été intégrées à l'analyse mensuelle (fig.28)

La taille moyenne des anguilles est maximale au mois de mai (188,2 mm) et minimale au mois de septembre (114,6 mm). Les distributions en tailles qui ont également été établies mensuellement (annexe C) montrent des allures similaires à la figure 28 pour chaque mois hormis en mai où la proportion d'individus de grande taille est importante.

Tableau 7 : informations générales sur la taille des anguilles capturées

	Rive droite	Rive gauche
Taille moyenne	125,2 mm	175,4 mm
Ecart type	51,4 mm	63,0 mm
Taille min	68 mm	51 mm
Taille max	380 mm	375 mm

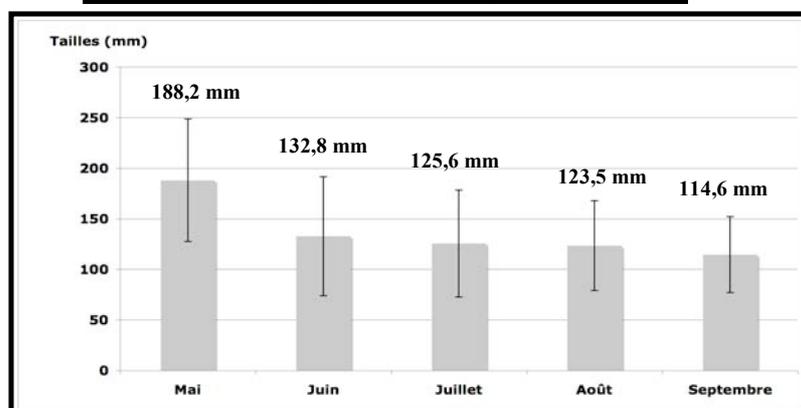


Figure 28 : représentation des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées

Comme cela a été observé l'année précédente (Campton *et al.*, 2008), les tailles semblent diminuer entre le début et la fin de la campagne d'échantillonnage. La comparaison statistique des tailles moyennes mensuelles a donc été réalisée (tab.8).

Tableau 8 : comparaison statistique (pvalue) des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Mai		$< 2 \times 10^{-16}$			
Juin			0,25	0,06*	0,03*
Juillet				0,98	0,46
Août					0,67
Septembre					

Ainsi, la taille moyenne des anguilles capturées au mois de mai est significativement supérieure aux tailles moyennes des anguilles capturées les mois suivants. Les autres comparaisons qui ont été réalisées ne montrent pas de différences statistiques. Seules les comparaisons des tailles moyennes du mois de juin avec les mois d'août et septembre sont en limite de significativité.

Bien que ces résultats soient statistiquement significatifs, il faut rester prudent dans leur interprétation. En effet, le nombre d'anguilles échantillonné est très faible pour les mois de mai et septembre (respectivement 99 et 80 individus). Par conséquent, il n'est pas judicieux de conclure que les grands individus ont une migration différée dans le temps par rapport aux petits individus. La figure 29 permet ainsi de mieux visualiser les tendances.

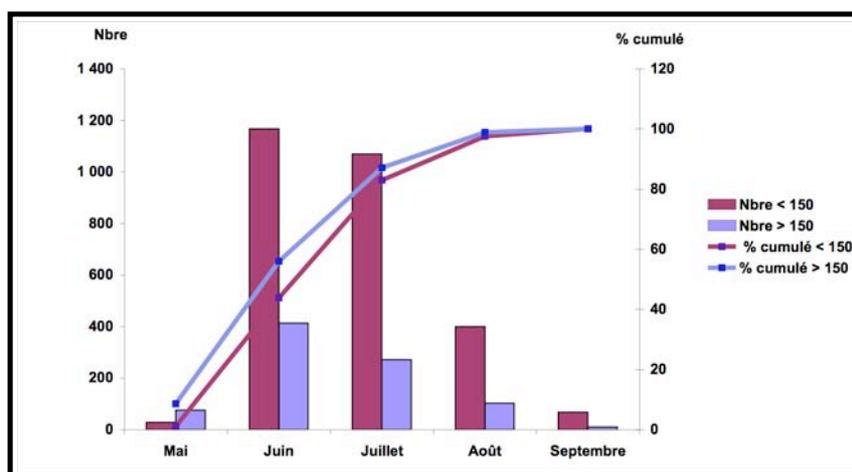


Figure 29 : évolution du nombre de grandes et petites anguilles au cours du suivi

Il est possible que les différences de capacité de nage qu'il existe entre les anguilles de petite taille et de grande taille entraîne une migration différée. En effet, Crivelli en 1998 annonce que la vitesse de pointe des civelles varie de 0,6 à 0,9 m/s alors qu'une anguille jaune peut atteindre 1,14 m/s.

En 2009, la majorité des anguilles (petits et grands individus) a été capturée aux mois de juin et juillet (81 % des individus). Les conditions hydroclimatiques n'ayant visiblement pas été favorables à la migration, en dehors des pics de migration au cours de ces deux mois, quasiment aucune remontée n'a été observée. L'observation d'une migration différée entre petites et grandes anguilles est donc impossible.

Conclusion

Le suivi 2009 des passes-pièges à anguilles sur l'usine écluse de Beaucaire a permis de capturer et relâcher en amont de l'ouvrage 3 638 anguilles (3 427 en rive droite, 211 en rive gauche) durant la période de migration. Le nombre d'anguilles remontées s'est donc écroulé en comparaison à l'année 2008, cependant le déroulement de la migration a été similaire (remontées sous forme de pics ponctuels de captures). Bien que la température de l'eau soit restée optimale, les conditions hydrologiques du Rhône n'ont pas été favorables. Le débit est resté très faible tout le long de la période de migration et les variations ont été de faible amplitude.

Les passes-pièges installées en rive droite et en rive gauche ont été plus ou moins fonctionnelles en raison des faibles niveaux d'eau du Rhône qui ont eu pour conséquence l'arrêt des pompes hydrauliques. Ainsi, la passe piège de rive gauche a très souvent été non fonctionnelle et très peu d'anguilles y ont été capturées. Par conséquent, la comparaison rive droite / rive gauche n'a pu être réalisée.

Les structures en taille ont montré que la population d'anguilles se présentant au pied du barrage se compose de jeunes individus en majorité (et ce, durant toute la période du suivi). La faible distance à la mer et l'absence d'ouvrages similaires en aval en est probablement l'explication. Étant donné le faible nombre d'anguilles capturées à certains mois du suivi, il n'a pu être décelé un décalage de migration dans le temps entre les grands et les petits individus comme c'était le cas l'année précédente de suivi.

La passe-piège de rive droite s'est avérée plus attractive que celle de rive gauche. La présence de l'écluse à bateau située du même côté de l'ouvrage hydroélectrique est l'une des principales hypothèses (débit d'attrait).

La poursuite du suivi est indispensable afin de mieux comprendre la dynamique de population de l'Anguille mais aussi pour permettre la colonisation de l'Anguille sur le Rhône en amont de l'ouvrage de Beaucaire Vallabrègues. Il semble aussi nécessaire de réaliser un rapport de synthèse qui reprend les données plusieurs années de suivi afin de pouvoir confirmer ou infirmer statistiquement les principales hypothèses et tendances soulignées dans les rapports annuels.

Enfin, plusieurs actions en faveur de l'Anguille sont projetées par la CNR. Tout d'abord, afin de faciliter la colonisation du bassin du Rhône, il est prévu d'équiper en passes à anguilles les usines d'Avignon et de Caderousse qui sont les deux usines situées à l'amont de celle de Beaucaire. Le suivi devrait être mis en place en 2010 au moins à Avignon. Concernant la problématique de la dévalaison, la CNR prévoit une étude visant à connaître la répartition des anguilles dans les différents organes d'un aménagement (part d'anguilles réellement entraînées dans les turbines) ainsi qu'une étude visant à estimer la mortalité engendrée par le passage des anguilles dans les turbines (opération *in situ* consistant à introduire directement des anguilles dans les turbines et à observer en sortie les mortalités et blessures immédiates et différées).

Bibliographie

- ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C., 2008, L'Anguille européenne : indicateurs de présence et de colonisation, éditions Quae, 393p.
- AMILHAT E., 2007, Etat sanitaire de l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône Méditerranée Corse : synthèse bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Cedralmar. CBETM, Université de Perpignan, 88 p.
- 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.
- AUPHAN N., 2005, Suivi de la passe-piège à anguilles de l'usine écluse de Vallabrègues, Campagne d'études 2005., Rapport M.R.M., 26p.
- AUPHAN N. & DELHOM J., 2006. Suivi des passe-pièges à anguilles de l'usine hydroélectrique de Beaucaire – Rapport M.R.M. – Campagne d'étude 2006.
- 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*, nematode parasite de la vessie gazeuse des anguilles., Mémoire de stage, DEA de parasitologie., Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, 27 p.
- 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.
- BRUSLE J., 1994, L'Anguille Européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable a 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.
- BUIJS 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.
- CAMPTON P., VANEL N., BLANC X., FAYAN S., 2008, suivi des passes-pièges à anguilles de l'usine de Beaucaire - Campagne d'étude 2008., rapport MRM 29p.+annexes.
- CHANCEREL F., 1994. La repartition 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, 49p.+ annexes.
- COGEPOMI, 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.
- CRIVELLI A.J., 1998, L'anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : une synthèse bibliographique. DIREN-DB RMC, publication COGEPOMI RMC, 83p.
- 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 MRM, 34p.

- DUFOUR S., 1996, Un exemple du cycle reproducteursous la dépendance de l'environnement : le cas de l'anguille. C.R. Acad. Agric. Fr., 82, 17-26.
- DURIF C.M.F., VAN GINNEKEN V., DUFOUR S., MÜLLER T., ELIE P., 2009, Seasonnal Evolution and Individual Differences in Silvering Eels from Different locations., van den Thillart et al., Spawning Migration of the European Eel., Springer Science + Business Media B.V., Chapter 2, pp.13-38.
- EDELIN E., 2005, Facteurs de contrôle de la dispersion continentale chez l'anguille., Thèse Université de Toulouse II, 144p.
- EGE V., 1939, A revision of the genus *Anguilla* Shaw : a systematic, phylogenetic and geographical study., Dana report, vol. 16.
- 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 :149-157.
- ELIE P. & RIGAUD C., 1984, Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine : pêche, biologie, écologie. Examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome. Rapport CEMAGREF, 174 p.
- 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 Pisciculture, 349 : 129-139.
- FEUNTEUN E., BOULLIER J., BRIAUDET P.E., LAFAILLE P., 2000, L'anguille du Rhône aval – Etude préalable à l'élaboration d'un protocole de suivi et de restauration. Rapport Université de Rennes, DIREN Rhône-Alpes, EDF, 107p. + annexes.
- 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
- 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 Borbeaux 1, 199 p + annexes.
- IUCN, 2008, Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org.
- 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.
- LECOMTE-FINIGER R., 1994, The early life of the European eel. Nature, 370 : 424 p.
- LECOMTE-FINIGER R., BRUSLE J., 1984, L'Anguille 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., CONTOURNET P., PRIOUR F., SOULAS O., 2003, Anguillicolosis among silver eels : A 2-year survey in 4 habitats from Camargue (Rhône delta, south of France)., Bull. Fr. Pêche Piscic., 368 :97-108.

- LEGAULT A., 1988, Le franchissement des barrages par l'escalade de l'Anguille, Etude en Sèvre Niortaise., Bull. Fr. Pêche Piscic. 308 : 1-10
- MCCLEAVE 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.
- MUCHIUT S., GALLET F., AUBIN D., BARANGER L., LE BIHAN V., PERREAUDEAU 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.
- 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.
- STONE R., 2003, Freshwater eels are slip-sliding away. Science 302 : 221-22.
- 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., 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., 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.
- 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 UK., 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*, 208:1329-1335.
- VANEL N., BLANC X., AUPHAN N., 2007, Suivi des passes-pièges à anguilles de l'usine de Beaucaire (campagne d'étude 2007) – Rapport MRM – 22p.
- 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 migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. *J. Fish. Biol.*, 50, 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'Etat de la Mer, 99 p + annexes

Liste des figures

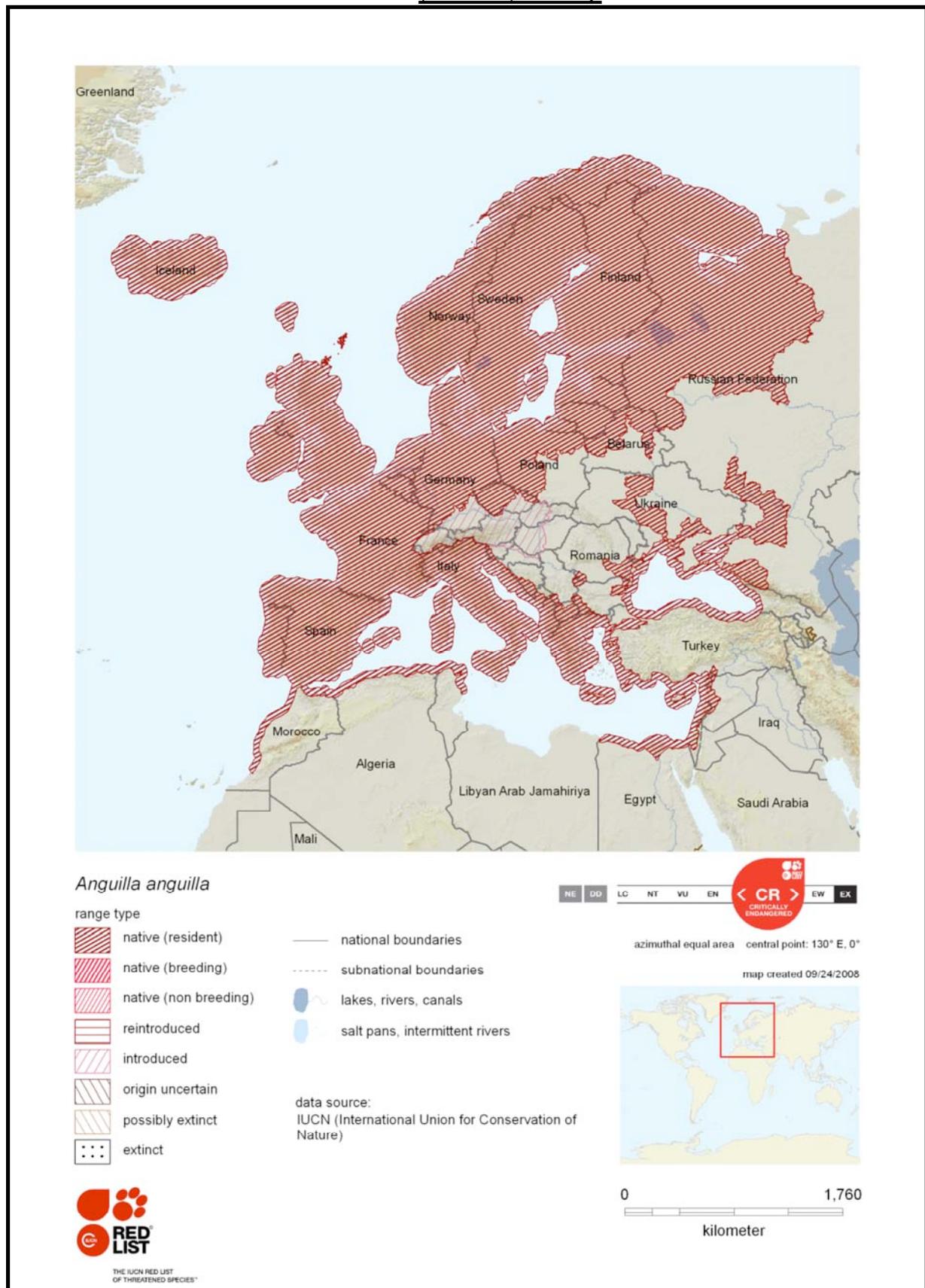
<u>Figure 1</u> : Anguille européenne	2
<u>Figure 2</u> : cycle de vie de l'Anguille	2
<u>Figure 3</u> : leptocéphale	3
<u>Figure 4</u> : civelles	3
<u>Figure 5</u> : anguille jaune	4
<u>Figure 6</u> : anguille argentée	4
<u>Figure 7</u> : reptation de civelles sur une paroi rugueuse	5
<u>Figures 8 et 9</u> : cycle biologique d'Anguillicola crassus et vessie d'anguille parasitée	6
<u>Figure 10</u> : anguille blessée par un héron	7
<u>Figure 11</u> : évolution des tonnages et des CPUE de civelles des pêcheurs professionnels et amateurs sur le bassin de la Gironde de 1978 à 2007	9
<u>Figure 12</u> : évolution des tonnages d'anguilles en Europe	10
<u>Figures 13 et 14</u> : localisation de l'aménagement CNR de Beaucaire-Vallabrègues (a) et configuration générale du site*(b)	12
<u>Figure 15</u> : localisation de l'exutoire du contre canal en aval de l'usine de Beaucaire	12
<u>Figures 16 et 17</u> : passes-pièges situées en rive gauche (a) et rive droite (b)	13
<u>Figure 18</u> : pompe hydraulique et rampe	16
<u>Figure 19</u> : évolution des captures annuelles depuis le début du suivi	17
<u>Figure 20</u> : évolution des captures mensuelles de l'année 2009	18
<u>Figure 21</u> : variation du nombre moyen de captures journalières lors de chaque relève en 2008 et 2009	19
<u>Figure 22</u> : évolution du nombre de captures et de la température	20
<u>Figure 23</u> : corrélation entre la température de l'eau et le nombre de captures d'anguilles par jour	21
<u>Figure 24</u> : évolution des captures et des débits turbinés	22
<u>Figure 25</u> : évolution des captures et du cycle lunaire	23

<u>Figure 26</u> : confrontation de la conductivité et du pH au nombre de captures journalières d'anguilles.....	24
<u>Figure 27</u> : structure en taille de toutes les anguilles échantillonnées au cours du suivi	25
<u>Figure 28</u> : représentation des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées....	26
<u>Figure 29</u> : évolution du nombre de grandes et petites anguilles au cours du suivi.....	27

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : fonctionnement des pompes hydrauliques en rive droite et rive gauche.....	16
<u>Tableaux 2 et 3</u> : nombres annuels (2) et mensuels (3) estimés d'anguilles capturées en rive droite et gauche de l'usine écluse de Beaucaire-Vallabrègues	17
<u>Tableau 4</u> : températures mesurées lors du début de la migration des anguilles et gamme de températures pour lesquelles la majorité des anguilles a été capturée (années 2006, 2007, 2008 et 2009).....	21
<u>Tableau 5</u> : évolution mensuelle du débit (m ³ /s) au cours du suivi 2009	22
<u>Tableau 6</u> : périodes des pics de captures et cycle lunaire.....	23
<u>Tableau 7</u> : informations générales sur la taille des anguilles capturées	26
<u>Tableau 8</u> : comparaison statistique (pvalue) des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées	27

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



Annexe B : Principe de capture des anguilles

Le système de capture de la population d'anguilles migrantes a été conçu et installé par le bureau d'études Fish-Pass, et est dénommé « passe-piège à anguilles ».

Les passe-pièges sont situées sur l'usine et à proximité de la berge dans une zone calme (lieu de concentration des anguilles). Les individus cherchant à rejoindre l'amont de l'obstacle sont attirés à proximité du système de capture par un débit d'attrait.

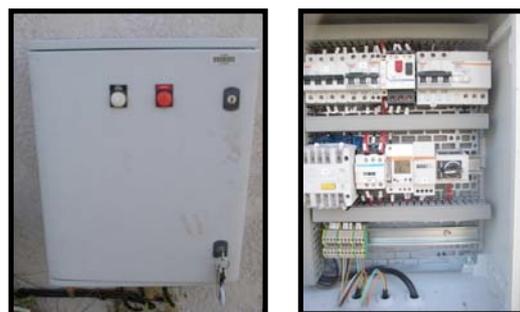
Alimentation hydraulique et fonctionnement électrique du système

✓ Alimentation hydraulique

Les passes-pièges sont alimentées en eau par des pompes immergées au pied de l'ouvrage ayant un débit de 50 m³/h. 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 qui renouvelle l'eau du bac de capture et forme 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.

✓ Fonctionnement électrique

Les deux passes-pièges sont équipées d'une armoire électrique (fig.18) qui permet à l'intervenant de gérer le fonctionnement du dispositif. Chaque armoire électrique comprend une horloge qui permet de faire fonctionner les pompes hydrauliques de façon cyclique. Cependant, suite à des phénomènes de mortalité engendrés par un manque d'oxygénation et le réchauffement des eaux, les pompes fonctionnent en continu depuis juin 2007.

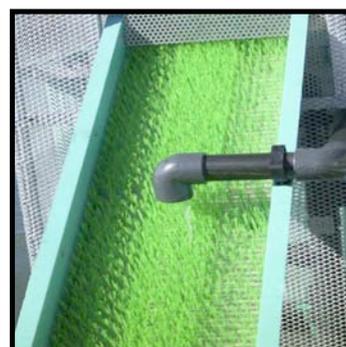


Armoire électrique permettant le fonctionnement des passes pièges (MRM)

Lorsque le niveau d'eau du Rhône est en dessous d'un certain seuil (lorsque la pompe hydraulique est hors de l'eau), le dispositif s'arrête automatiquement jusqu'à ce que la pompe soit à nouveau immergée. Un compteur horaire inclus dans l'armoire de commandes permet de vérifier le temps exact de fonctionnement des pompes.

Rampes de reptation

Les rampes de reptation (fig.19) sont constituées de plaques lisses en PVC de 40 cm de large sur lesquelles sont implantées des brosses de filaments synthétiques rigides. Le substrat utilisé pour la réalisation des rampes est dit « mixte » puisqu'il favorise 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).



Rampe de reptation (MRM)

Les rampes de reptation sont fixées sur des goulottes en polyester qui canalisent le flux d'eau humidifiant la rampe et orientent les anguilles vers le bac de capture. Elles ne dépassent pas l'inclinaison maximale de 45°, bien que ce seuil soit atteint pour la dernière portion de rampe aboutissant dans la passe-piège située en rive droite de l'usine. Des bacs de repos d'un volume de 60 litres ont été installés entre les rampes avec pour objectifs de réduire la distance à parcourir et de changer l'orientation de la zone de reptation afin de ne pas occuper une largeur trop importante des murs de l'usine.

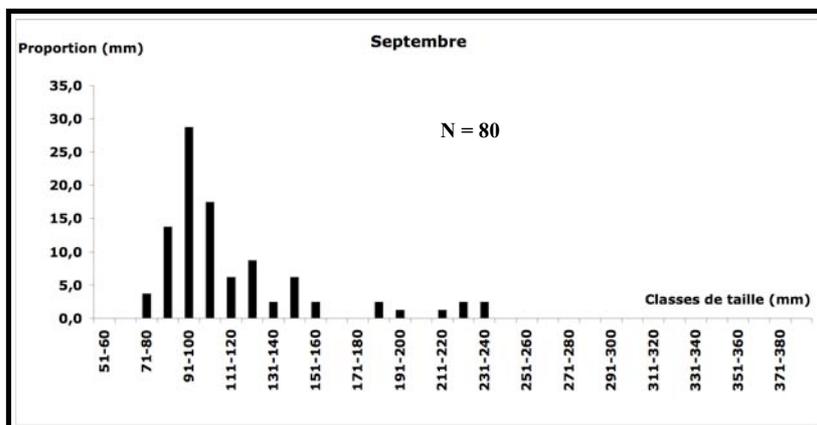
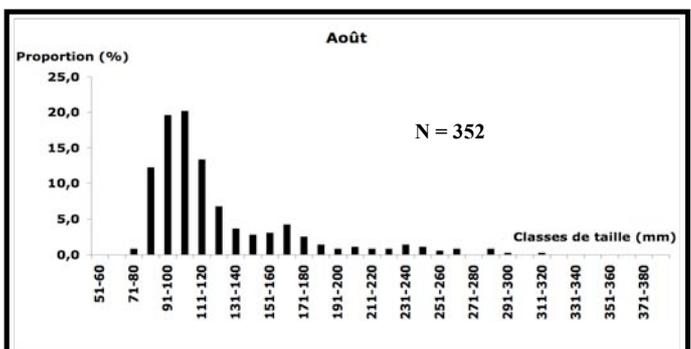
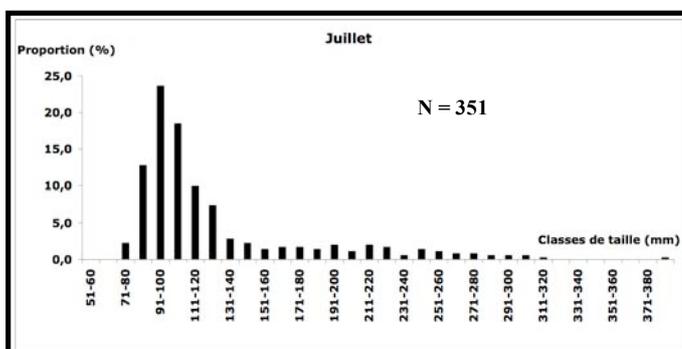
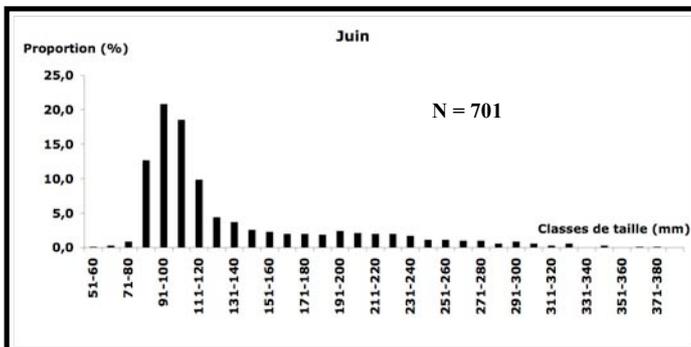
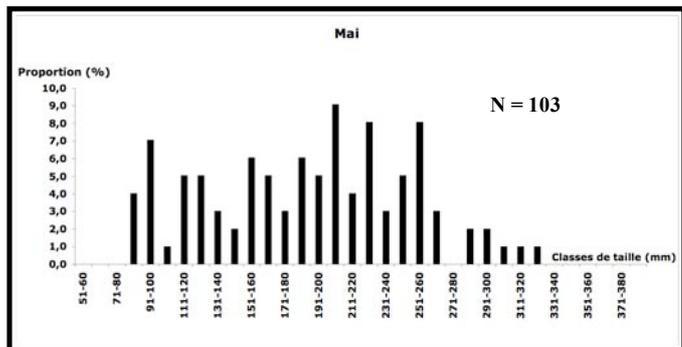
Bac de capture

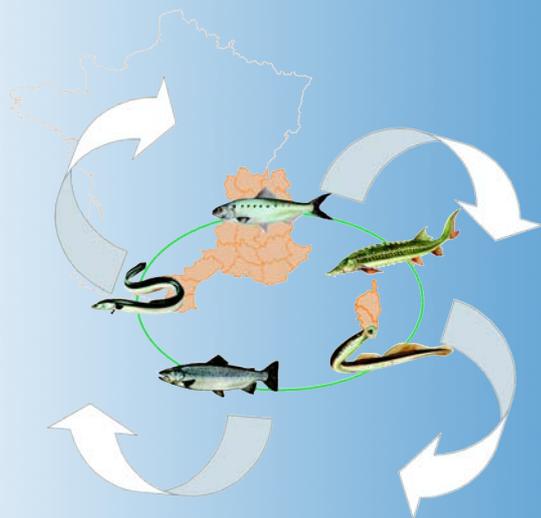


Après avoir gravi la rampe, les anguilles tombent dans un bac de capture (fig.20), d'une capacité de 300 litres, où elles sont retenues prisonnières. Le flux créant la lame d'eau sur la rampe se déverse en partie dans ce bac et permet le renouvellement de l'eau. Suite à des travaux réalisés sur le barrage d'Arzal sur l'estuaire de la Vilaine, il est apparu que l'eau en contact d'anguilles « attire » d'autres individus. Afin de valoriser ce comportement, le trop plein du vivier de capture se déverse sur la rampe de reptation de la passe-piège (Briand *et al.*, 2002). 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. Ce système est une sécurité permettant d'éviter les débordements.

Bac de capture de la passe-piège située en rive gauche (MRM)

Annexe C : Structures en tailles mensuelles des anguilles échantillonnées au cours du suivi





Compagnie Nationale du Rhône



RhôneAlpes Région



Membres de l'Association
Migrateurs Rhône-Méditerranée :

Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de l'Ardèche, des Bouches-du-Rhône, de la Drôme, du Gard, du Vaucluse, de l'Ain, des Alpes-Maritimes, de Haute-Savoie, de l'Hérault, des Hautes-Alpes, des Alpes de Haute-Provence, de l'Isère, de la Loire, du Rhône, de Savoie et du Var

Union Régionale des Fédérations de Pêche de l'Arc Méditerranéen (URFAM)

Union Régionale des Fédérations de Pêche Rhône Alpes (URFEPRA)

Association des pêcheurs professionnels Rhône Aval Méditerranée



ZI du Port Fluvial - Chemin des Ségonnaux - 13200 Arles
Président : Jean-Claude MONNET

Tél. 04 90 93 39 32 - Fax 04 90 93 33 19 - E-mail : contact@migrateursrhonemediterranee.org
<http://www.migrateursrhonemediterranee.org/>