

# SUIVI DES PASSES-PIÈGES À ANGUILLES SUR LE RHÔNE AVAL

2010 - N°10/13





## Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée

Le bassin Rhone-Méditerranée-Corse retrouve ses grands migrateurs

Troisième étape : la reconquête de la Drôme

### Suivi des passes-pièges à anguilles sur le Rhône aval

Campagne d'étude 2010

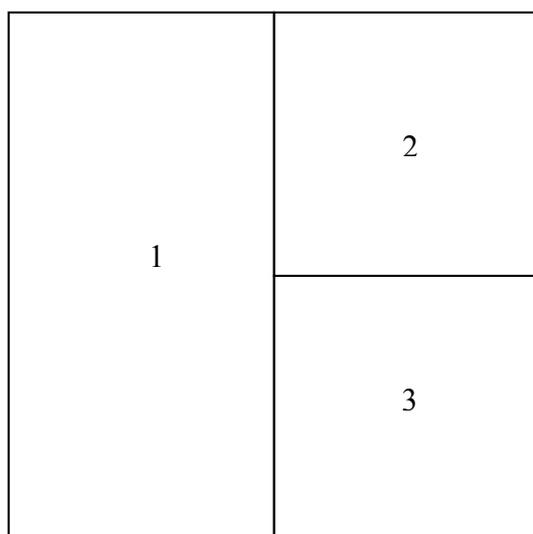


**CAMPTON P., LEBEL I.**

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

☎ 04 90 93 39 32 - 📠 04 90 93 33 19 - ✉ [contact@migrateursrhonemediterranee.org](mailto:contact@migrateursrhonemediterranee.org)

🌐 [www.migrateursrhonemediterranee.org](http://www.migrateursrhonemediterranee.org)



- 1 : Passe piège à anguilles en rive droite de l'usine écluse de Beaucaire (MRM)
- 2 : Bac de capture (MRM)
- 3 : Anguilles capturées (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 :

18 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, des Hautes-Alpes, de Corse et de l'Aude. 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,

Conseil Général des Alpes de Haute Provence

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 2010, les passes ont été opérationnelles à partir du 29 mars et ont été arrêtées le 24 novembre. Les captures des anguilles ont débuté dès le 31 mars 2010. Au total, 317 616 anguilles ont été capturées dont 136 699 en rive droite et 180 917 en rive gauche. La migration s'est déroulée sous forme de pics ponctuels de captures comme les années précédentes de suivi et le premier pic est intervenu entre le 13 et le 17 mai rassemblant 1,8 % des captures totales. Le pic de captures le plus important s'est déroulé entre le 7 et le 10 septembre (26,3 % des captures totales). Les flux migratoires des anguilles sont régis par la combinaison de trois facteurs prépondérants : le débit du Rhône (augmentation des captures avec les pics de débit), la température de l'eau (mobilité des anguilles réduite en dessous de 12°C, seuil de température optimal à 18°C) et le cycle lunaire (la phase de pleine lune semble inhiber la remontée des anguilles).

La structure en taille établie à partir des anguilles échantillonnées 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. Les anguilles de grande taille ont tendance à franchir le barrage les premiers mois du suivi (mai à juillet) alors que les petites anguilles (<90 mm) l'ont franchi les derniers mois (juillet à septembre).

La poursuite du suivi est indispensable pour mieux cerner la dynamique de population de l'Anguille, mais également pour collecter des données qui alimenteront le réseau de surveillance européen de l'espèce (règlement CE 1100/2007). Des passes-pièges similaires à celles présentes sur l'usine écluse de Beaucaire ont été installées par la CNR sur les usines écluses d'Avignon et de Caderousse. Le suivi devrait commencer au printemps 2011.



# SOMMAIRE

---

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte de l'étude.....</b>	<b>2</b>
<b>I. Contexte biologique .....</b>	<b>2</b>
<b>I.1. Présentation de l'Anguille européenne (Anguilla anguilla).....</b>	<b>2</b>
I.1.1. Taxonomie et répartition.....	2
I.1.2. Cycle de vie.....	2
I.1.3. Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles .....	4
<b>I.2. Identification des menaces .....</b>	<b>5</b>
I.2.1. Les menaces naturelles .....	5
I.2.2. Les menaces d'origine anthropique .....	7
<b>I.3. Situation actuelle du stock d'Anguille européenne.....</b>	<b>9</b>
<b>II. Contexte institutionnel.....</b>	<b>10</b>
<b>II.1. Le règlement européen n° 1100/2007 en faveur de l'Anguille.....</b>	<b>10</b>
II.1.1. Plan de gestion national .....	10
II.1.2. Volet local Rhône Méditerranée.....	11
<b>II.2. DCE, Code de l'environnement et Loi sur l'eau .....</b>	<b>11</b>
II.2.1. La Directive Cadre Européenne sur l'eau.....	11
II.2.2. Le SDAGE.....	11
II.2.3. Code de l'environnement, LEMA .....	12
<b>II.3. Le Grenelle de l'environnement .....</b>	<b>14</b>
<b>III. Contexte géographique.....</b>	<b>15</b>
<b>III.1. Configuration du site.....</b>	<b>15</b>
<b>III.2. Dispositifs de franchissement .....</b>	<b>16</b>
<b>Méthodologie.....</b>	<b>17</b>
<b>I. Protocole de suivi des captures d'anguilles .....</b>	<b>17</b>
I.1. Fréquence des relèves .....	17
I.2. Relève d'une passe piège .....	17
<b>II. Suivi des captures .....</b>	<b>17</b>
II.1. Nombre de captures .....	17
II.2. Structures en tailles.....	18
<b>III. Suivi des paramètres environnementaux .....</b>	<b>18</b>
III.1. Température de l'eau .....	18
III.2. Débit.....	18

<b>III.3. Phases lunaires .....</b>	<b>18</b>
<b>III.4. Autres facteurs environnementaux.....</b>	<b>18</b>
<b>IV. Traitement des données.....</b>	<b>18</b>
<b>Résultats et interprétations .....</b>	<b>19</b>
<b>I. Suivi et fonctionnement des passes pièges .....</b>	<b>19</b>
<b>I.1. Période et fréquence de suivi .....</b>	<b>19</b>
<b>I.2. Fonctionnement des pompes hydrauliques .....</b>	<b>19</b>
<b>II. Dynamique de la migration .....</b>	<b>20</b>
<b>II.1. Nombre d'anguilles capturées.....</b>	<b>20</b>
II.1.1. Captures annuelles.....	20
II.1.2. Comparaison rive droite / rive gauche.....	21
<b>II.2. Déroulement de la migration 2010.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3. Déterminisme de la migration 2010.....</b>	<b>23</b>
II.3.1. Influence de la température .....	23
II.3.2. Influence du débit .....	25
II.3.3. Influence du cycle lunaire.....	26
II.3.4. Influence de la conductivité et du pH.....	27
II.3.5. Bilan.....	28
<b>III. Caractérisation de la population .....</b>	<b>29</b>
<b>III.1. Comparaison rive droite / rive gauche .....</b>	<b>29</b>
III.1.1. Comparaison annuelle .....	29
III.1.2. Comparaison mensuelle .....	29
<b>III.2. Structures en tailles toutes rives confondues .....</b>	<b>30</b>
III.2.1. Structures en tailles annuelles .....	30
III.2.2. Structures en tailles mensuelles.....	31
<b>IV. Passes pièges d'Avignon et Caderousse .....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>35</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>39</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>40</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>41</b>

## **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 fin 2003, le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) du bassin Rhône-Méditerranée & Corse (RMC) a validé le deuxième volet 2004-2009 du Plan Migrateurs. Il prévoyait l'extension du programme aux affluents de rive gauche du Rhône et aux fleuves côtiers méditerranéens ainsi qu'aux autres espèces amphihalines, dont l'Anguille (COGEPOMI RMC, 2004). Le PLAN de GEstion des POissons Migrateurs (PLAGEPOMI) 2010-2014 est actuellement en cours de validation et les objectifs définis pour l'Anguille reprennent les dispositions du volet Rhône-Méditerranée du plan de gestion Anguille de la France. Ainsi, sur le plan de la restauration de la continuité écologique des cours d'eau, des zones d'actions prioritaires et des ouvrages prioritaires ont été définis. Il est également envisagé de mettre en place des dispositifs de suivi sur des rivières et lagunes index (COGEPOMI RMC, 2010).

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. Face à ce problème et en réponse aux objectifs du PLAGEPOMI Rhône-Méditerranée, la CNR a mis en place un système de franchissement (passes-pièges) spécifique à l'Anguille sur l'aménagement hydro-électrique de Beaucaire-Vallabrègues. L'Association MRM en assure le suivi.

En septembre 2005, une passe-piège a été construite en rive gauche de l'usine. 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 synthétise les résultats de la campagne d'étude 2010.

## CONTEXTE DE L'ETUDE

### I. Contexte biologique

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

##### I.1.1. Taxonomie et répartition

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



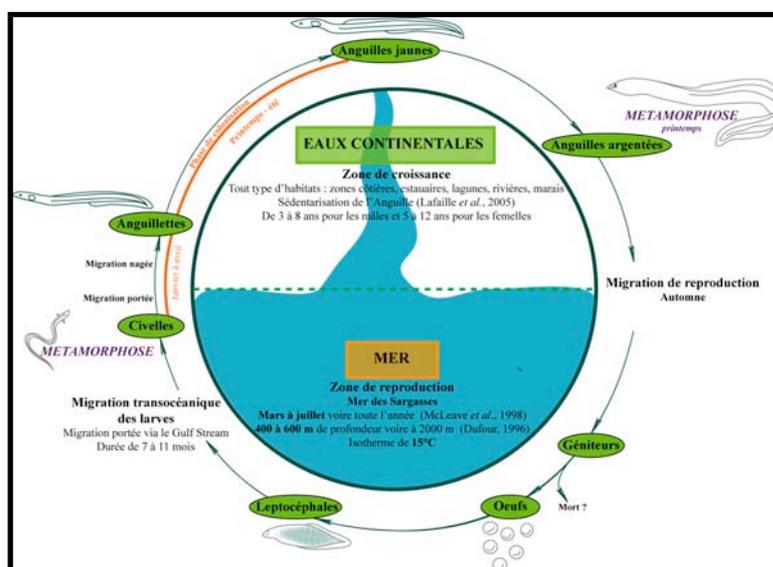
**Figure 1 : Anguille européenne (ONEMA)**

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). L'Anguille 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).

##### I.1.2. Cycle de vie

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



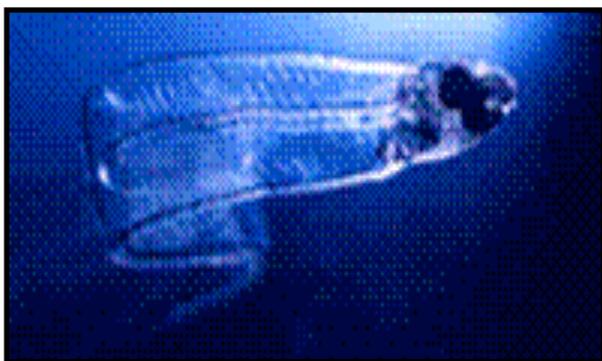
**Figure 2 : cycle de vie de l'Anguille (MRM)**

✓ **L'acte de ponte**

La ponte se déroulerait entre mars et juillet selon certains, toute l'année selon d'autres. (McLeave *et al.*, 1998), 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 donc, que ce poisson ne se reproduira qu'une seule fois dans sa vie.



✓ **Stade leptocephales**

On suppose que les œufs pondus sont pélagiques, qu'après éclosion, les larves montent plus ou moins vers la surface. Ces milliers de larves leptocephales (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 : leptocephale (cpie authie)**

✓ **Stade civelle**

À l'approche du plateau continental et à une longueur moyenne de 6 cm, les leptocephales 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)**





**Figure 5 : anguille jaune (MRM)**

#### ✓ **Stade anguille jaune**

En général, on parle d'anguille jaune (fig.5) lorsque l'individu en question atteint une certaine taille (au-delà de 30-40 cm) (Tesch, 2003). En deçà, on parle d'« anguillettes ». Le stade « anguille jaune » correspond à la phase au cours de laquelle l'anguille 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 importants qui transitent 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**



La spécificité de l'Anguille est son aptitude à ramper le long de parois humidifiées. On parle de « reptation » au cours de laquelle la totalité du corps serpentiforme du poisson est sollicitée (fig.7). Les anguillettes avec leur corps allongé et leur faible poids peuvent par ailleurs grimper des murs verticaux à condition que ceux-ci ne soient pas trop lisses. La surface nécessite cependant d'être un minimum humidifiée. La capacité de reptation diminue avec la taille des individus et par conséquent la franchissabilité des ouvrages ne sera pas la même selon que ceux-ci se situent proches de l'embouchure ou non (Legault, 1988).

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

✓ **Capacités d'exondation**

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

## **I.2. Identification des menaces**

### **I.2.1. Les menaces naturelles**

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

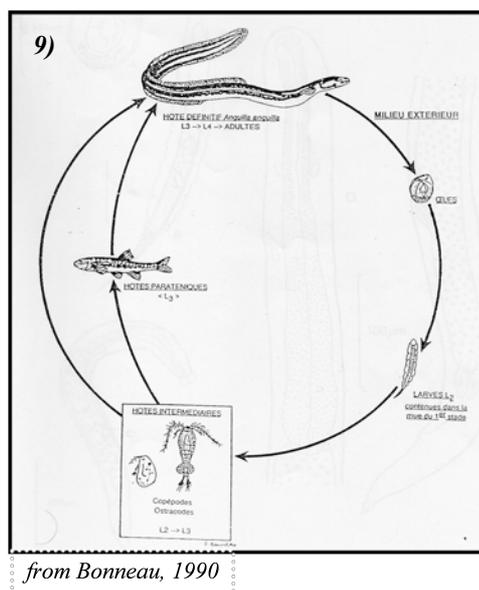
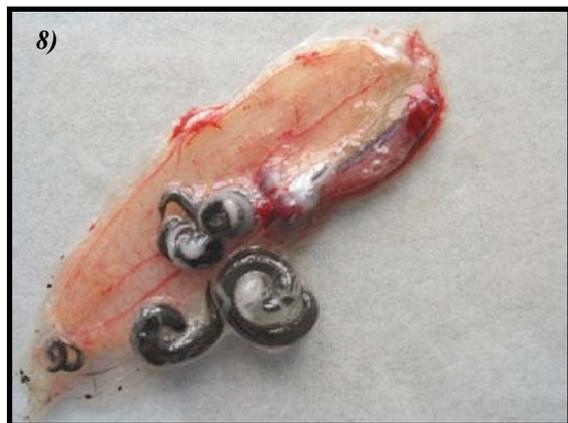
✓ **Le parasitisme**

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

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

*Anguillicola crassus* a été introduit en Europe au début des années 1980 en provenance d'Asie avec des lots d'anguilles japonaises. 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.8). Son cycle (fig.9) passe par un hôte intermédiaire, le plus souvent un invertébré (ostracode...), qui est ingéré directement par l'anguille ou qui passe par un hôte intermédiaire d'abord mangé par un poisson (hôte paraténique) lui-même mangé ultérieurement par l'anguille.



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

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

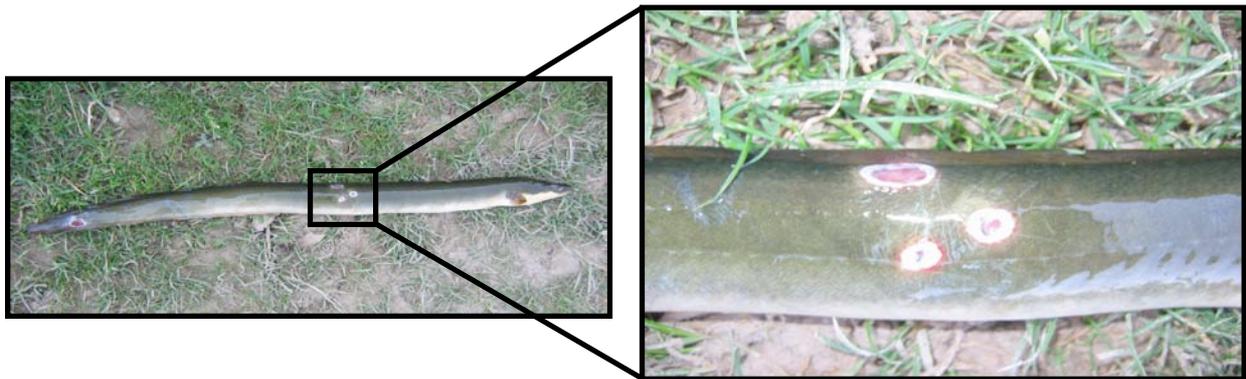
✓ **Le réchauffement climatique**

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

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

✓ **La prédation**

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



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

***1.2.2. Les menaces d'origine anthropique***

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

✓ **La pollution des eaux**

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

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

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**

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

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

✓ **Les obstacles à la migration**

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

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

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

✓ **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 aux stades civelle et anguille argentée très prisées par les pays asiatiques et européens (Freyhof & Kottelat, 2008 *in* IUCN, 2008).

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

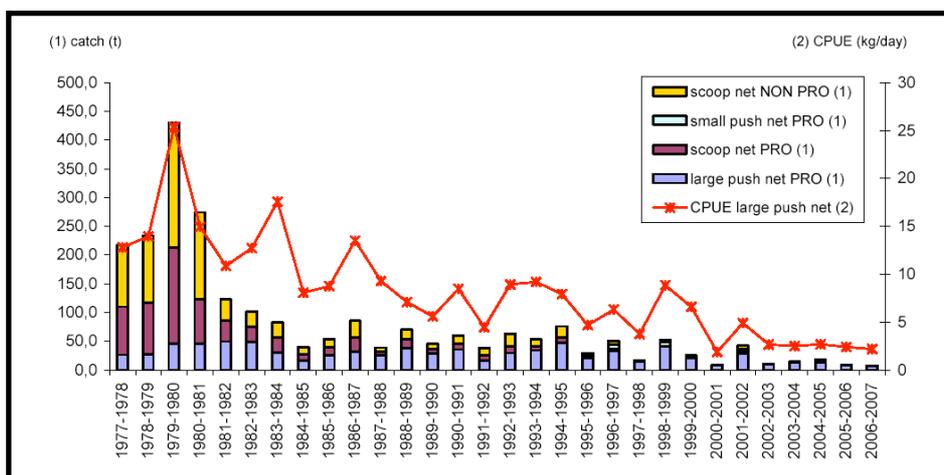
En France, on observe une spécificité différente pour les façades Atlantique et Méditerranéenne. La capture de civelles dans les estuaires représente l'activité économique principale de la pêche à l'Anguille sur la côte Atlantique. La pêche à la civelle est interdite en Méditerranée et la pêche de l'anguille 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 2000 tonnes/an. Elles ont ensuite progressivement diminué jusqu'à 900 tonnes/an (200 tonnes pour la Camargue et la Corse, 700 tonnes pour le Languedoc Roussillon) et semblent depuis se stabiliser (ICES, 2008).

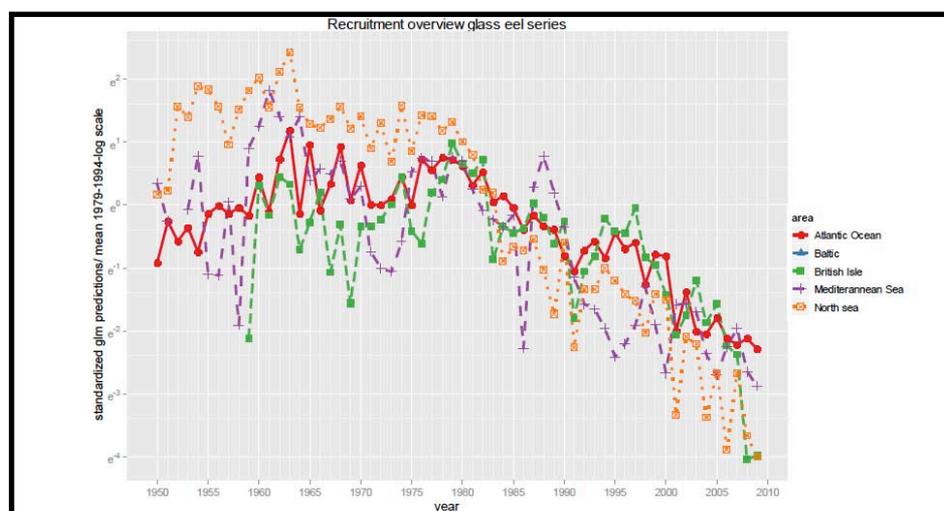
### 1.3. Situation actuelle du stock d'Anguille européenne

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 aussi que le stock diminue (fig.12) (EIFAC & ICES, 2009).

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



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

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

Enfin, en 2008, face aux diminutions drastiques du stock et du recrutement en civelles (diminution de 95 à 99 % du recrutement entre 1980 et 2000) et au 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).

## **II. Contexte institutionnel**

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

Le Conseil des ministres a voté le 18 septembre 2007 un règlement européen instituant des mesures de reconstitution 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* ».

#### **II.1.1. Plan de gestion national**

Pour mettre en œuvre le règlement européen, les Etats membres doivent rédiger un plan de gestion composé d'un volet national et d'autant de volets 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 (Collectif, 2010).

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

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

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

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

### ***II.1.2. Volet local Rhône Méditerranée***

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

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

Les périodes de pêche identifiées sont susceptibles d'être réduites d'une année à l'autre afin d'atteindre les objectifs du plan de gestion. Pour la pêche en eau douce, il est prévu de réduire la période d'ouverture de 2 mois à l'horizon 2011.

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

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

La directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau et préconise le retour au bon état écologique des masses d'eau à l'horizon 2015. La libre circulation des poissons est un élément fondamental de la qualité des eaux superficielles et doit à ce titre faire l'objet d'une attention renforcée. Cette conception nouvelle sera déclinée par bassin hydrographique et ainsi intégrée au Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 des bassins Rhône Méditerranée et Corse par plusieurs orientations dont un volet franchissement piscicole. Une fois approuvé, ce document public sera opposable à l'administration, ce qui lui confère une valeur juridique non négligeable (Croze & Larinier, 2001).

### ***II.2.2. Le SDAGE***

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

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

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

Ainsi le SDAGE prévoit des mesures de restauration de la continuité biologique (destruction d'ouvrages ou aménagement de ces derniers...) avec une intervention sur les ouvrages perturbants et la définition d'une stratégie globale pour le bassin versant.

### **II.2.3. Code de l'environnement, LEMA**

#### **✓ Réglementation concernant les ouvrages**

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

Les ouvrages déjà existants doivent être mis en conformité dans un délai de 5 ans à compter de la publication d'une liste d'espèces migratrices par bassin ou sous bassin fixée par le ministre chargé de la pêche en eau douce et le cas échéant par le ministre chargé de la mer. Le non-respect de l'article L432-6 est passible de peines délictuelles prévues à l'article L216-7 du code de l'environnement (amende de 12 000 euros).

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

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

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

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

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

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

Les anciens classements de cours d'eau au titre de l'article L432-6 du code de l'environnement resteront en vigueur jusqu'à la date de publication (ou 5 ans après) des deux nouvelles listes au titre de l'article L-214-17. Ces anciennes listes seront au plus tard supprimées le 1<sup>er</sup> janvier 2014.

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

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

Sur le Rhône, des propositions de classement ont d'ores et déjà été effectuées. Ainsi, il est envisagé de classer le fleuve Rhône en liste 2 de l'aménagement hydroélectrique de Caderousse (exclu) jusqu'à la mer. Globalement, Le linéaire concerné par le classement en liste 1 correspond à la zone d'actions prioritaires long terme du plan de gestion Anguille, soit de la mer jusqu'à l'aménagement hydroélectrique de Péage de Roussillon. Certains tronçons situés en amont de cet aménagement ont également été proposés pour un classement en liste 1.

#### ✓ **Réglementation concernant les débits réservés**

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

Ainsi, l'article L214-18 stipule que « *tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite* ». Le débit est fixé à 1/10<sup>ème</sup> du module du cours d'eau et pour les cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m<sup>3</sup>/s ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe, le débit minimal est fixé à 1/20<sup>ème</sup> du module du cours d'eau (MEDAD, 2008).

### **II.3. Le Grenelle de l'environnement**

Le Grenelle de l'environnement est une loi dont le projet a été présenté au gouvernement dans l'objectif de prendre à long terme des décisions en matières d'environnement et de développement durable. Ainsi, un premier projet de loi (Grenelle 1) a été proposé en 2007 puis a été validé en février 2009 par le Sénat puis promulguée le 3 août 2009. Le projet de loi « Grenelle 2 » qui vient en complément des objectifs fixés dans le Grenelle 1 a été adopté au Sénat le 8 octobre 2009 et a été promulgué le 12 juillet 2010. Les articles de ce projet de loi ciblent différents domaines de l'écologie dont la biodiversité et la protection des espaces.

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

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

Un nouvel article du code de l'environnement (article L371-1 du Titre VII (« Trame verte et bleue ») du Livre III (« Espaces naturels ») du Code de l'environnement) a été créé par la loi Grenelle II.

Cet article, stipule que *« la trame verte et la trame bleue ont pour objectif d'enrayer la perte de biodiversité en participant à la préservation, à la gestion et à la remise en bon état des milieux nécessaires aux continuités écologiques, tout en prenant en compte les activités humaines, et notamment agricoles, en milieu rural. »*

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

Ainsi, les objectifs du grenelle de l'environnement sont étroitement liés aux projets de SDAGE (Orientation fondamentale 6) et du programme de mesures, aux projets de PLAGEPOMI 2010-2014, de plan d'actions Anguille et de classement des cours d'eau (code de l'environnement, article L214-17). En Rhône Méditerranée, la mise en place de ces systèmes législatifs a amené le secrétariat technique de bassin à identifier des ouvrages à traiter prioritairement sur le plan de la continuité écologique. Ainsi, trois lots d'ouvrages ont été définis :

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

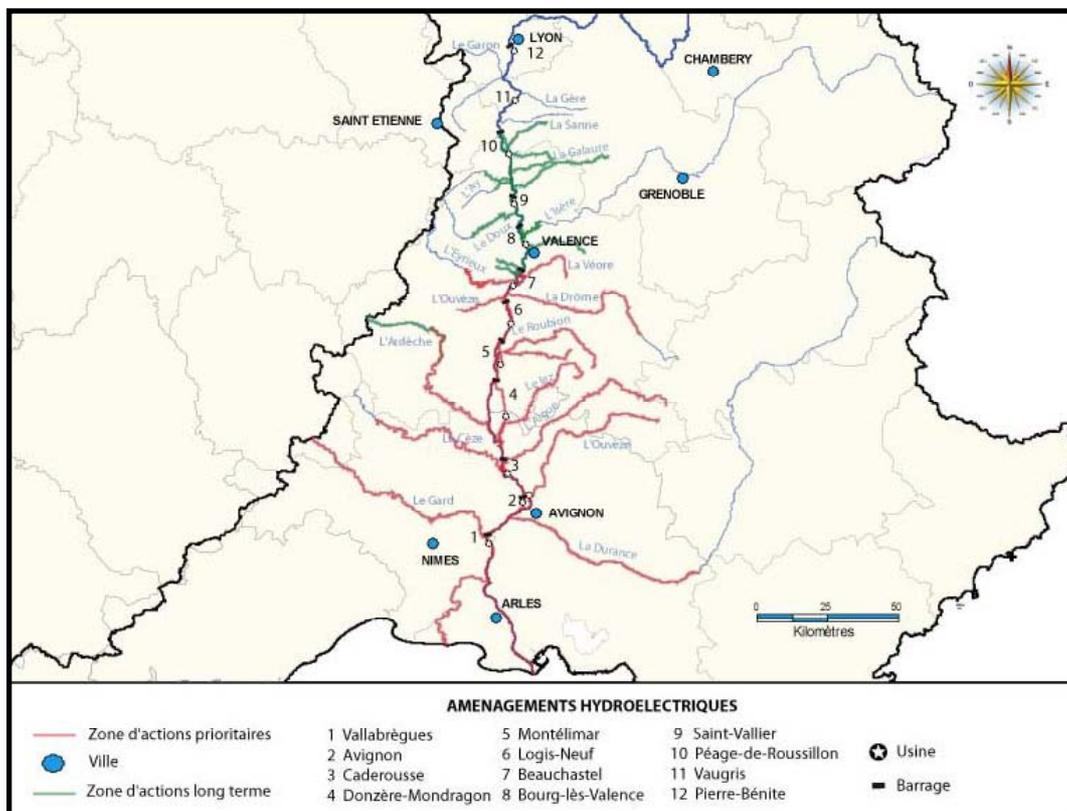
Lot 2 : Les ouvrages pour lesquels l'acquisition de connaissances complémentaires (études non directement liées à des travaux) est un préalable nécessaire à des travaux de restauration de la continuité, cette connaissance devant être acquise au plus tard fin 2012.

Lot 3 : Les autres ouvrages, c'est à dire ceux où aucun enjeu stratégique prioritaire n'est *a priori* identifié au regard des objectifs généraux liés au chantier continuité.

### III. Contexte géographique

#### III.1. Configuration du site

Les jeunes anguilles colonisant le Rhône depuis la mer sont bloquées en aval de l'aménagement de Beaucaire-Vallabrègues (68 km de l'embouchure) (fig.13).



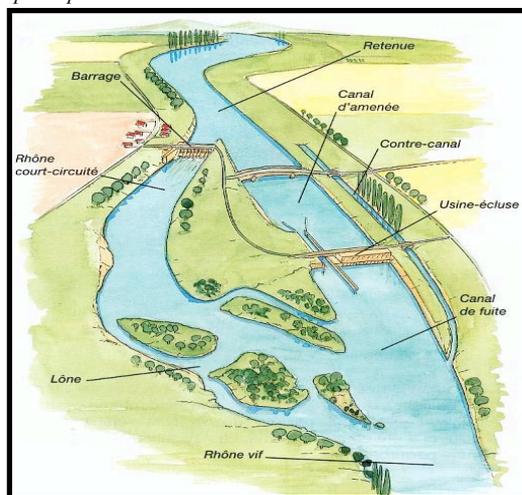
**Figure 13 : localisation de l'aménagement CNR de Beaucaire-Vallabrègues**

Cet aménagement comprend deux ouvrages : le barrage de retenue de Vallabrègues et l'usine-éclusée de Beaucaire (fig.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 » situé en aval du barrage de retenue,
- les canaux d'aménée et de fuite situés respectivement en amont et en aval de l'usine éclusée.

Les anguilles en phase de colonisation s'orientent soit vers le Rhône court-circuité, butent contre le barrage de retenue et colonisent le Gardon, soit vers le canal de fuite. Elles y rencontrent l'usine hydroélectrique qui constitue un blocage important (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 cet obstacle le passage par l'éclusée (lors d'une éclusée à bateau ou à poissons).

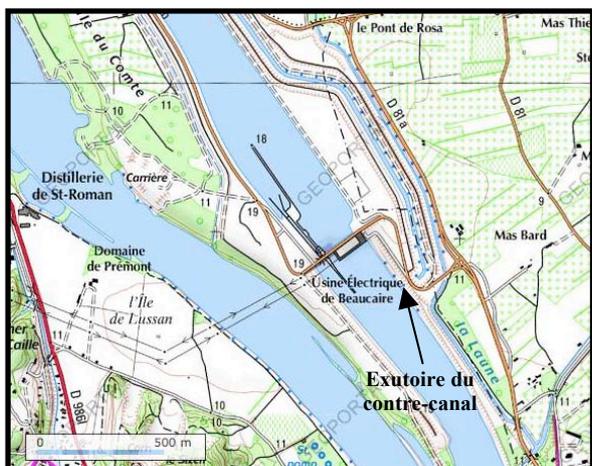
*\* Ce schéma présente la configuration générale du site (Rhône court-circuité et canal de fuite). Le Gardon n'est pas représenté.*



**Figure 14 : configuration générale du site\***

### III.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).



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. 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).

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

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.

16



17



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

Enfin, au cours du mois de septembre 2010, la CNR a également équipé les usines éclusées des deux aménagements situés à l'amont immédiat de celui de Beaucaire-Vallabrègues (un dispositif en rive droite et un dispositif en rive gauche de chaque usine). Ainsi, l'usine écluse d'Avignon (96 km de la mer environ) et l'usine écluse de Caderousse (117 km de la mer environ) feront l'objet d'un suivi similaire à celui actuellement réalisé à Beaucaire. L'Association MRM s'occupera de ce suivi à partir du printemps 2011. En attendant, le dispositif situé en rive droite de l'usine écluse de Caderousse a été mis en route afin de tester sa fonctionnalité. L'Association MRM effectue donc sa relève depuis le 24 septembre (fréquence et protocole d'intervention identiques à ceux de Beaucaire).

## **METHODOLOGIE**

---

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

### **I. 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 aux précédentes campagnes ont permis de définir l'organisation du suivi des passes-pièges de l'usine hydroélectrique de Beaucaire.

#### **I.1. Fréquence des relèves**

Au minimum une visite hebdomadaire est réalisée pour veiller au bon fonctionnement du système. Lors des pics de migration, 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.

#### **I.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...).

### **II. Suivi des captures**

#### **II.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.

## **II.2. Structures en tailles**

Les tailles moyennes des anguilles capturées ont été comparées statistiquement (comparaison mensuelle). Pour cela, un test de Wilcoxon a été utilisé (comparaison deux à deux avec correction de Bonferoni).

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.

## **III. 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.

### **III.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.

### **III.2. Débit**

Le débit est l'un des facteurs susceptibles d'influer la migration vers l'amont des anguilles (Crivelli, 1998). Il doit donc être confronté au nombre d'anguilles capturées sur la période de suivi.

L'évolution des débits (cumul des débits turbinés et de surverse) nous est communiquée par la CNR.

### **III.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.

### **III.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 seront confrontés au nombre d'anguilles capturées durant la période de suivi. Les données sont fournies par le centre de Production Thermique EDF d'Aramon.

## **IV. Traitement des données**

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

## RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

### I. Suivi et fonctionnement des passes pièges

#### I.1. Période et fréquence de suivi

En 2010, les stations de capture de rive droite et de rive gauche ont été mises en route le 29 mars et ont fonctionné jusqu'au 24 novembre (tab.1). Ainsi, le suivi 2010 a duré 240 jours. Les deux passes-pièges ont été contrôlées à chaque visite. Dans cette période, chacune d'entre elles a été visitée 76 fois, ce qui correspond à une fréquence d'une visite tous les 3 jours en moyenne.

#### I.2. Fonctionnement des pompes hydrauliques

Durant la période de suivi, les pompes hydrauliques qui alimentent les passes pièges ont rencontré trois types de problèmes de fonctionnalité (tab.1) :

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

- Des arrêts de fonctionnement lorsque le Rhône était particulièrement bas (pompes hors d'eau, fig.18) : ce problème a déjà été observé au cours de la campagne de suivi 2009.
- Une absence d'alimentation en eau du dispositif de capture (non décelable avec le suivi du compteur horaire car le moteur électrique fonctionnait) de la passe piège située en rive gauche : une fuite d'eau au niveau de la pompe était visiblement à l'origine du problème.
- Des changements de régime des pompes (en rive droite et rive gauche) qui ont entraîné des variations de l'écoulement sur les rampes de reptation.



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

Date	Rive droite		Rive gauche		Date	Rive droite		Rive gauche	
	Nombre d'anguilles	% fonctionnement	Nombre d'anguilles	% fonctionnement		Nombre d'anguilles	% fonctionnement	Nombre d'anguilles	% fonctionnement
31/03/10	4	96	2	100	21/07/10	198	100	3	79
7/04/10	7	98	0	97	22/07/10	1084	100	14	88
13/04/10	1	100	0	100	23/07/10	356	79	63	54
23/04/10	0	100	0	100	26/07/10	remise en route	-	remise en route	-
26/04/10	11	100	2	100	28/07/10	11	65	7	54
3/05/10	88	57	1	85	30/07/10	49	100	30	100
6/05/10	122	93	3	92	4/08/10	18	43	49	42
10/05/10	79	100	3	100	6/08/10	172	98	0	98
12/05/10	28	98	155	98	11/08/10	16	43	16	33
17/05/10	2832	100	2844	100	13/08/10	15	98	41	77
19/05/10	19	100	63	100	16/08/10	remise en route	-	remise en route	-
25/05/10	2	100	72	99	18/08/10	3	100	7	100
28/05/10	1489	90	3893	7	20/08/10	1121	100	3265	100
31/05/10	4741	92	2028	100	25/08/10	39	28	35	100
2/06/10	2064	100	3033	100	30/08/10	remise en route	-	remise en route	-
3/06/10	93	100	4375	100	1/09/10	28	17	17	100
4/06/10	20	96	4954	100	3/09/10	11	98	2	85
8/06/10	1131	99	Passe non relevés	-	6/09/10	remise en route	-	remise en route	-
9/06/10	Passe non relevés	-	0	100	8/09/10	117	69	1565	100
10/06/10	248	100	2137	52	9/09/10	34610	100	27613 (mortalité 99% environ)	100
14/06/10	1226	96	11455	91	10/09/10	7812	100	11738 (mortalité 40% environ)	100
16/06/10	257	98	392	96	13/09/10	remise en route	-	remise en route	-
19/06/10	23959	100	0 (pompe bouchée)	67	15/09/10	5	100	5	88
21/06/10	3520	100	0 (pompe bouchée)	7	17/09/10	22	100	81	98
23/06/10	467	?	0 (pompe bouchée)	100	20/09/10	remise en route	-	remise en route	-
25/06/10	91	41	6	47	22/09/10	1	100	0	100
28/06/10	60	100	375	100	24/09/10	1	96	3	90
1/07/10	2525	100	50282 (mortalité 12% environ)	97	27/09/10	2	100	0	94
2/07/10	11666	92	5304	100	29/09/10	0	98	0	98
5/07/10	16214 (mortalité 25% environ)	100	23934 (mortalité 25% environ)	100	1/10/10	2	98	1	98
6/07/10	3208	100	5523	100	6/10/10	13	100	1	93
8/07/10	5073 (mortalité 90% environ)	88	11677 (mortalité 20% environ)	90	13/10/10	8	99	4	87
9/07/10	294	96	2461	88	20/10/10	0	99	4	73
13/07/10	1653	28	0	28	27/10/10	28	0	0	100
15/07/10	5385	100	99	100	4/11/10	46	100	87	53
16/07/10	892	100	246	100	10/11/10	13	100	7 (bac non alimenté en eau)	95
19/07/10	547	100	2584 (mortalité 90% environ)	47	17/11/10	3	96	3 (bac non alimenté en eau)	96
20/07/10	897	92	254	100	24/11/10	0	100	0	100

## II. Dynamique de la migration

### II.1. Nombre d'anguilles capturées

Du 29 mars au 24 novembre 2010, 317 616 anguilles environ ont été capturées (136 699 en rive droite et 180 917 en rive gauche). Les résultats bruts sont présentés dans les tableaux 1, 2 et 3.

Les données analysées sont les captures annuelles dans un premier temps. L'évolution des captures en 2010 est également 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 écluse de Beaucaire**

(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
2010	136 699	180 917	317 616

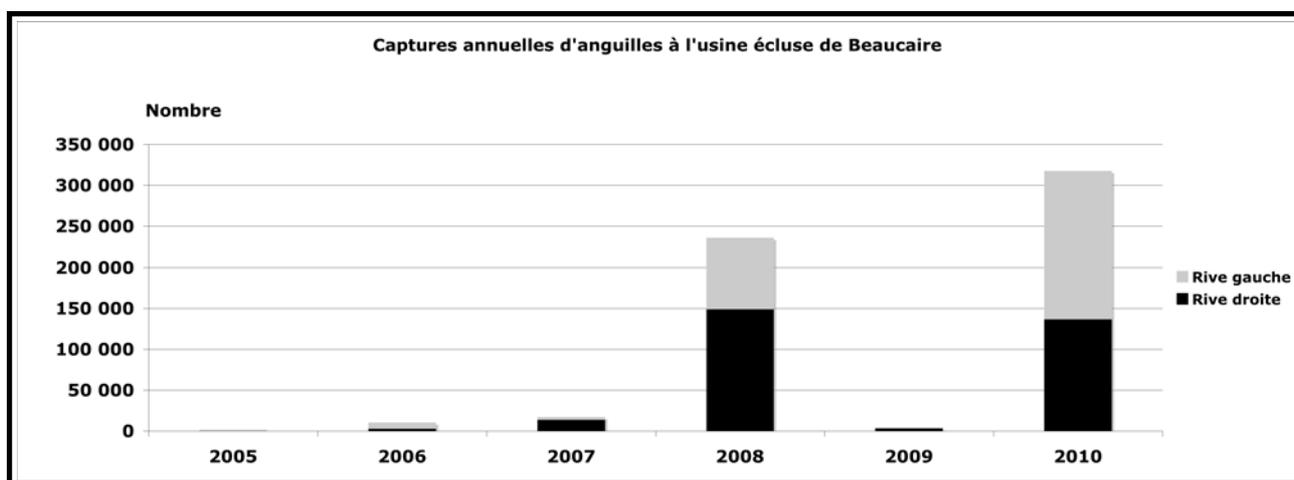
(3)

	rive droite	rive gauche	total
avril	23	4	27
mai	9400	9062	18 462
juin	33136	26727	59 863
juillet	50062	102480	152 542
août	1384	3413	4 797
septembre	42609	39124	81 733
octobre	23	10	33
novembre	62	97	159
total	136699	180917	317 616

#### II.1.1. 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, 2009 et 2010 peuvent être confrontées en rive droite et celles de 2006, 2007, 2008, 2009 et 2010 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). Le nombre d'anguilles capturées en 2010 (317 616 anguilles capturées) est supérieur à celui de 2008. Il s'agit donc de la meilleure année depuis la mise en place des passes pièges.



**Figure 19 : évolution des captures annuelles depuis le début du suivi (Auphan, 2005 ; Auphan & Delhom, 2006 ; Vanel et al., 2007 ; Campton et al., 2008 ; Campton & Lebel, 2009)**

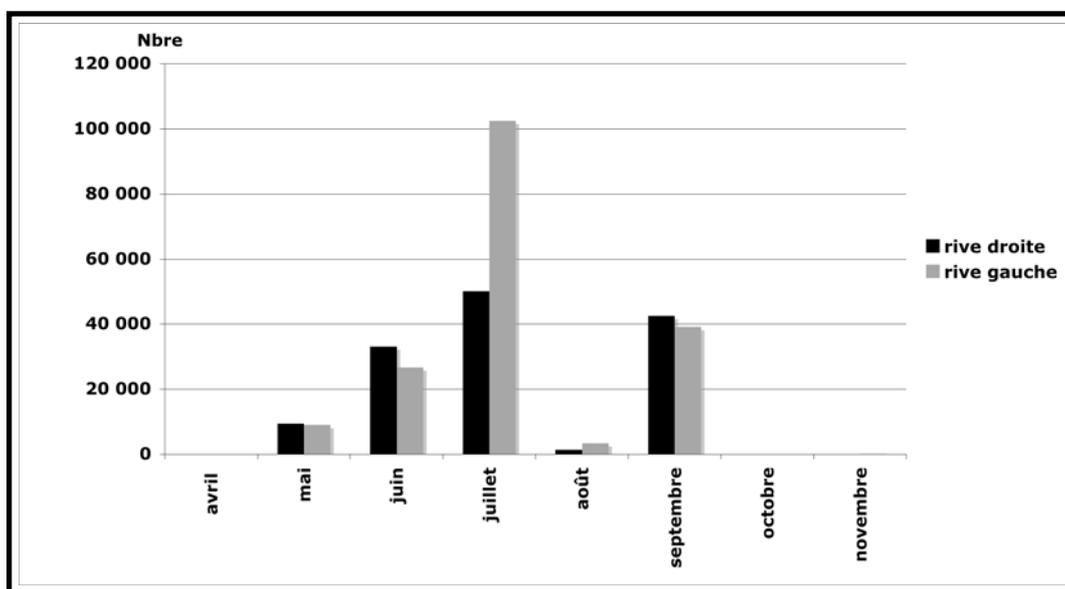
Le nombre de captures des deux passes-pièges dépend d'une part du recrutement en civelles du Rhône (par conséquent du succès de la reproduction dans la mer des Sargasses ainsi que de la survie larvaire lors de la migration océanique) et d'autre part de l'activité migratoire continentale des civelles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

Les résultats de l'année 2010 laissent donc supposer que le recrutement du Rhône au cours de l'hiver 2009/2010 a été important et/ou que les facteurs identifiés comme régissant l'activité migratoire des anguilles (débit, température de l'eau...) ont été favorables pendant la période de suivi. La confrontation des données annuelles de piégeages aux variables environnementales permet de mieux comprendre le déterminisme de la migration.

Dans tous les cas, plusieurs années de suivi sont 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).

### **II.1.2. Comparaison rive droite / rive gauche**

Au cours du suivi 2010, environ 57 % des anguilles capturées ont transité par la passe-piège de rive gauche et 43 % par la rive droite. Le nombre de captures réalisées en rive droite est légèrement inférieur à celui de rive gauche (fig.20). Cette observation est différente de celles réalisées lors des suivis des années précédentes au cours desquels l'attractivité semblait meilleure en rive droite. Toutefois, l'évolution mensuelle des captures 2010 montre que le nombre d'anguilles en rive droite est similaire, voire légèrement supérieur qu'en rive gauche, hormis au mois de juillet où 2 fois plus d'anguilles ont été observées en rive gauche. Ce pic de captures en rive gauche explique donc la différence de captures totales observées entre les deux rives.



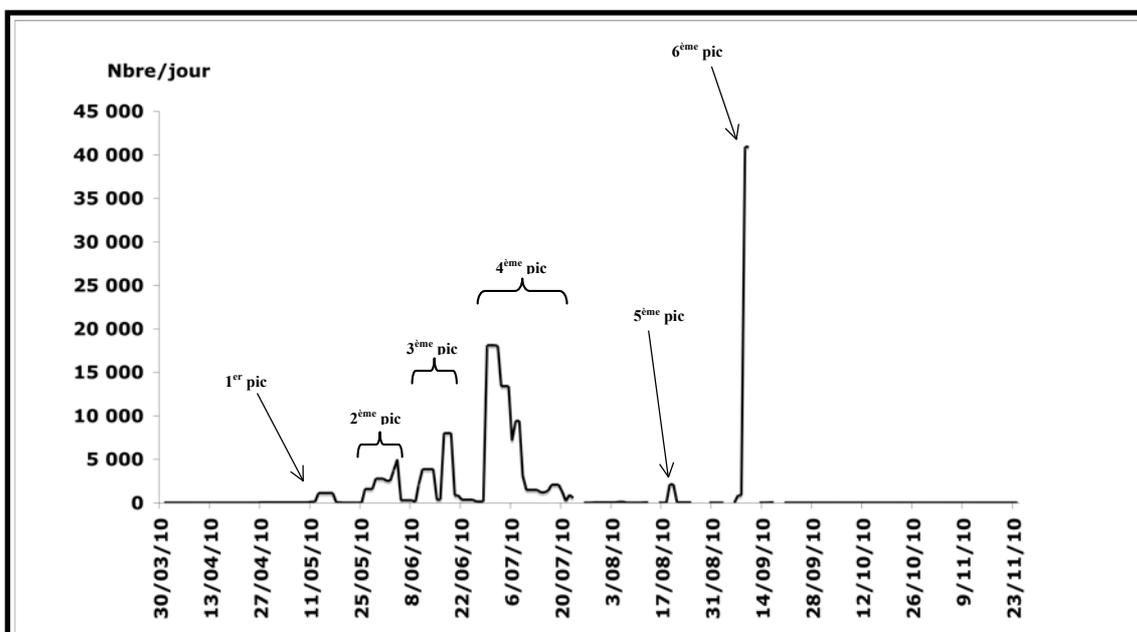
**Figure 20 : évolution des captures mensuelles de l'année 2010**

## II.2. Déroutement de la migration 2010

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 écluse de Beaucaire, la période de migration des anguilles semble avoir débuté dès le début du suivi. Des captures ont en effet été observées lors des premières relèves (4 anguilles capturées en rive droite et deux en rive gauche lors de la relève du 31 mars notamment). Toutefois, le faible nombre d'anguilles capturées au mois d'avril confirme les tendances des années précédentes, à savoir que la principale fenêtre de migration concerne le mois de mai à septembre.

Comme lors des précédentes campagnes, les courbes montrent que les remontées d'anguilles se sont réalisées sous forme d'à-coups expliquant ainsi les pics ponctuels observés (fig.21). Les pics de migration se superposent en rive droite et en rive gauche hormis au mois de juin au cours duquel des problèmes de fonctionnement de la pompe en rive gauche ont été observés. Six pics majeurs de captures ont ainsi été identifiés:

- Le premier pic est intervenu entre le 13 et le 17 mai (1 135 anguilles capturées par jour en moyenne, soit 1,8 % des captures totales).
- Le deuxième pic a eu lieu entre les relèves du 25 mai et du 4 juin (maximum de 4 975 anguilles capturées par jour en moyenne, soit 8,4% des captures).
- Le troisième pic a eu lieu entre les relèves du 10 juin et du 21 juin (maximum de 7 986 anguilles par jour en moyenne, soit 13,6 % des captures totales).
- Un quatrième pic, plus étalé dans le temps a eu lieu entre le 29 juin et le 20 juillet (maximum de 18 081 anguilles capturées par jour, soit 47,4 % des captures totales).
- Le cinquième pic identifié est beaucoup moins important avec 2 089 anguilles capturées par jour entre le 19 et le 20 août (1,4 % des captures totales).
- Le dernier pic de capture qui est le plus important de l'année s'est déroulé entre le 7 septembre et le 10 septembre (40 887 anguilles capturées par jour en moyenne, soit 26,3 % des captures totales).



**Figure 21 : variation du nombre moyen de captures journalières lors de chaque relève des passes pièges de l'usine écluse de Beaucaire**

En raison du dysfonctionnement des pompes hydrauliques, d'importantes quantités d'anguilles ont été retrouvées mortes lors de certaines relèves. En effet, l'arrêt de l'alimentation en eau du bac de capture pendant quelques heures peut entraîner l'augmentation de la température de l'eau ainsi que la diminution de la teneur en oxygène dissous et par conséquent une mortalité parfois importante (particulièrement lorsque le nombre d'anguilles piégées est important).

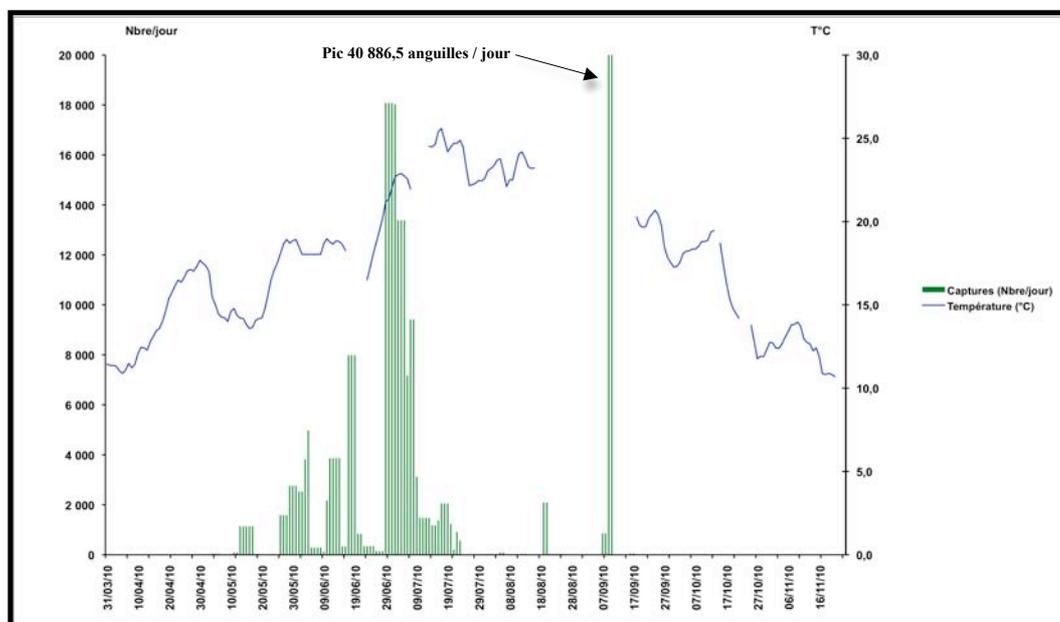
Suite à ce constat, le fonctionnement des passes pièges a été volontairement interrompu lors de certains week-ends (interruption du vendredi au lundi) et des pompes à air ont été installées le 20 septembre 2010 afin d'assurer une aération constante du bac de capture. Suite à leur installation, très peu d'anguilles ont été capturées et aucune mortalité n'a été observée.

## II.3. Déterminisme de la migration 2010

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

### II.3.1. Influence de la température

De manière générale, la température de l'eau (fig.22) a augmenté considérablement dès les premiers jours de suivi (11,4°C le 1<sup>er</sup> avril à 17,7°C le 1<sup>er</sup> mai soit 6,3°C de hausse en un mois). Elle a diminué les 15 jours qui ont suivi (13,6°C le 17 mai) et elle est restée supérieure à 15°C du 23 mai au 20 octobre. À la fin du suivi, la température de l'eau avoisinait les 10,5°C.



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

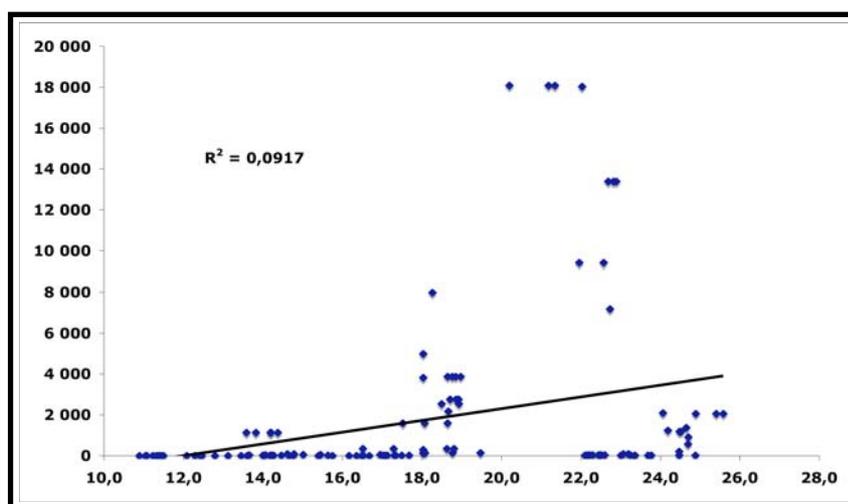
Les premières anguilles ont été capturées alors que la température de l'eau était de 11,4°C. Le nombre d'anguilles décomptées dans les passes pièges est resté faible les premiers jours du suivi et le premier pic de captures (13 au 17 mai) est intervenu lorsque la température de l'eau avoisinait 14°C (1,8 % des captures totales).

Les jours suivants, l'eau du Rhône s'est considérablement réchauffée (de 13,6°C le 17 mai à 18,9°C le 29 mai). Le deuxième pic de captures, plus important que le premier (34,7 % des captures totales), a commencé au cours de cette période de réchauffement (pic du 26 mai au 5 juin). La température est alors restée sensiblement constante (18,5°C environ) jusqu'au 18 juin (données manquantes du 18 au 24 juin) période pendant laquelle le 3<sup>ème</sup> pic de captures a débuté (pic du 10 juin au 22 juin).

Entre le 24 juin et le 5 juillet, la température de l'eau du Rhône a fortement augmenté (de 16,5°C à 22,9°C). Le quatrième pic de captures a démarré au cours de cette période (le 29 juin) et s'est terminé aux environs du 20 juillet alors que l'eau a atteint sa température maximale le 18 juillet (25,6°C).

Les données de température de l'eau qui correspondent à la période des deux derniers pics de captures sont manquantes, mais au vu des températures observées à partir du 19 septembre, la température de l'eau était vraisemblablement supérieure ou égale à 20°C.

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  $r^2 = 0,09$  éloigné de 1). Cela dit, la quasi-totalité des captures a été réalisée à des températures supérieures à 13,5°C environ (hormis quelques captures observées lorsque la température de l'eau avoisinait 11°C en début de suivi) et la majorité (> 90% des captures) lorsque la température était au delà de 18°C environ (tab.4). On peut donc considérer que le seuil optimal de température correspond à 18°C.

En 2009, la majorité des captures ont également été effectuées pour des températures supérieures à 18°C (et la totalité des captures au dessus de 14°C). 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).

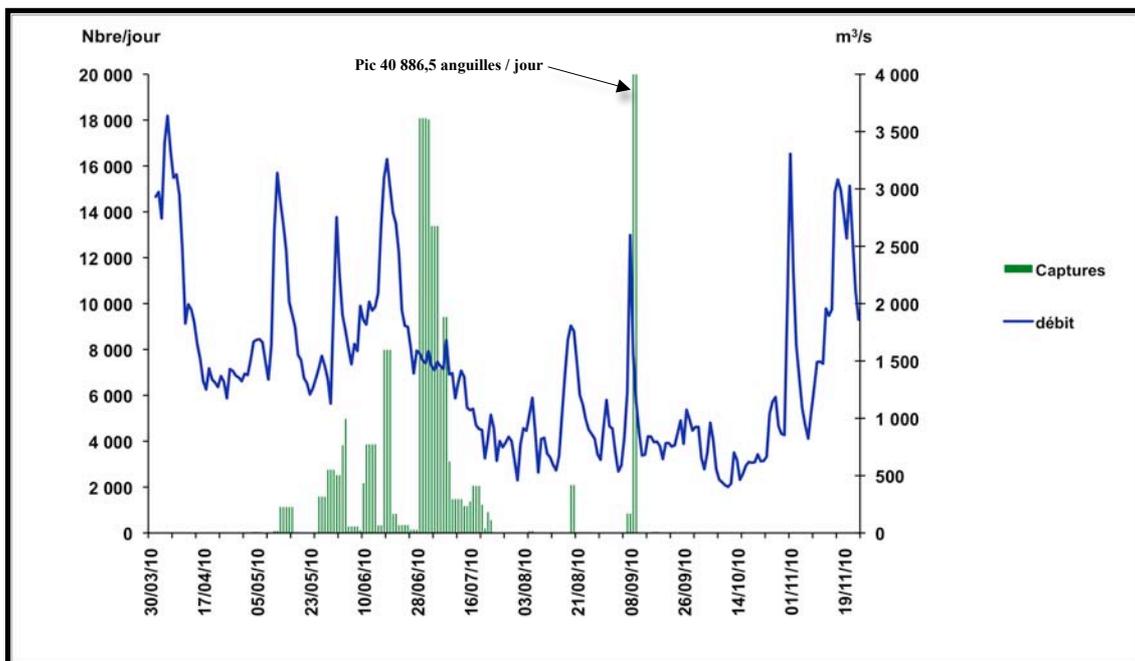
**Tableau 4 : températures minimales de captures et gamme de températures pour lesquelles la majorité des anguilles a été capturée (années 2006 à 2010)**

	2006	2007	2008	2009	2010
<b>T°C minimale</b>	11,0°C	10,0°C	12,0°C	14,0°C	11,0°C
<b>Majorité des captures (90% environ)</b>	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	18°C à 25,5°C

Il peut donc être conclu que le facteur température n'explique pas les variations de captures d'anguilles mais qu'il existe un seuil en dessous duquel leur mobilité est réduite.

### II.3.2. Influence du débit

Les captures d'anguilles ont été comparées aux débits du Rhône (cumul du débit turbiné et du débit de surverse) (fig.24).



**Figure 24 : évolution des captures et du débit du Rhône**

Le débit du Rhône a beaucoup varié durant la période de migration des anguilles. Trois périodes peuvent cependant être identifiées :

- Fin mars jusqu'au 17 juillet environ : le débit est resté élevé (1 839 m<sup>3</sup>/s en moyenne) avec quatre fluctuations majeures identifiées (pic à 3 637 m<sup>3</sup>/s le 5 avril, 3 139 m<sup>3</sup>/s le 12 mai, 2 753 m<sup>3</sup>/s le 1<sup>er</sup> juin et 3 258 m<sup>3</sup>/s le 18 juin).
- 18 juillet au 30 octobre : le débit a beaucoup diminué (864 m<sup>3</sup>/s en moyenne). Il a connu cependant quelques fluctuations à prendre en compte (3 pics majeurs : 1 807 m<sup>3</sup>/s le 19 août, 2 597 m<sup>3</sup>/s le 8 septembre, 2 006 m<sup>3</sup>/s le 31 octobre).
- 31 octobre au 24 novembre : le débit a considérablement augmenté (1 998 m<sup>3</sup>/s en moyenne) avec deux fluctuations majeures (pic de 3 305 m<sup>3</sup>/s le 1<sup>er</sup> novembre, pic de 3 081 m<sup>3</sup>/s le 17 novembre).

Les quatre premiers pics de captures qui ont été identifiés au cours de la campagne de suivi sont intervenus durant la période de débit élevé (fin mars au 17 juillet). Les deux dernières phases de migration massive ont eu lieu pendant la période de bas débits, mais elles correspondent aux augmentations importantes de débit identifiées précédemment (19 août et 8 septembre).

Le nombre d'anguilles capturées par jour a augmenté durant la dernière période d'augmentation de débit (augmentation de 3 à 14 anguilles capturées par jour), toutefois, il reste trop faible pour apparaître sur la figure 24.

Ainsi, le débit du Rhône semble jouer un rôle important dans la migration des anguilles et particulièrement les fortes hausses stimulent la remontée de ces dernières.

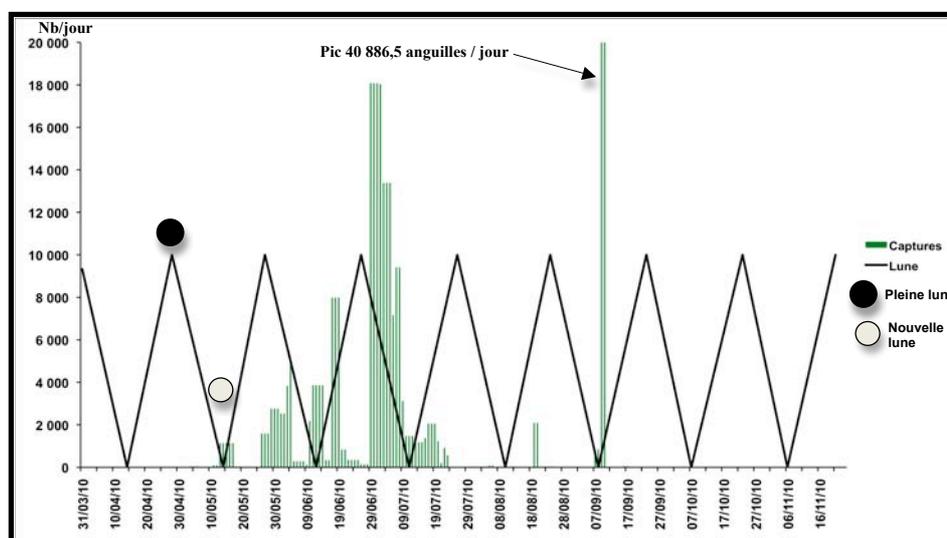
### II.3.3. Influence du cycle lunaire

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).

Les pics de captures observés au cours du suivi 2010 ont eu lieu pendant différentes phases lunaires (fig.25, tab.5). Les 2<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> pics correspondent à une période de fort pourcentage de pleine lune : du 26 mai au 5 juin (2<sup>ème</sup> pic de captures), la lune était en phase descendante (100 % à 43 % de pleine lune) et du 19 au 20 août (5<sup>ème</sup> pic de capture) le pourcentage de pleine lune était de 64 à 71 %.

Les autres pics de captures se sont déroulés sur des périodes où la lune était proche de la nouvelle lune : du 13 au 17 mai (1<sup>er</sup> pic de capture) le pourcentage de pleine lune était de 0 à 23 %. Du 10 au 22 juin (3<sup>ème</sup> pic de captures) il a varié de 0 à 71 %. Du 7 au 10 septembre (6<sup>ème</sup> pic de captures), ce pourcentage a varié 0 à 13 %.

Le 4<sup>ème</sup> pic de captures étant beaucoup plus étendu, le pourcentage de pleine lune a beaucoup varié (80 % à 0 % puis 0 % à 60 %).



**Figure 25 : évolution des captures et du cycle lunaire**

**Tableau 5 : périodes des pics de captures et cycle lunaire**

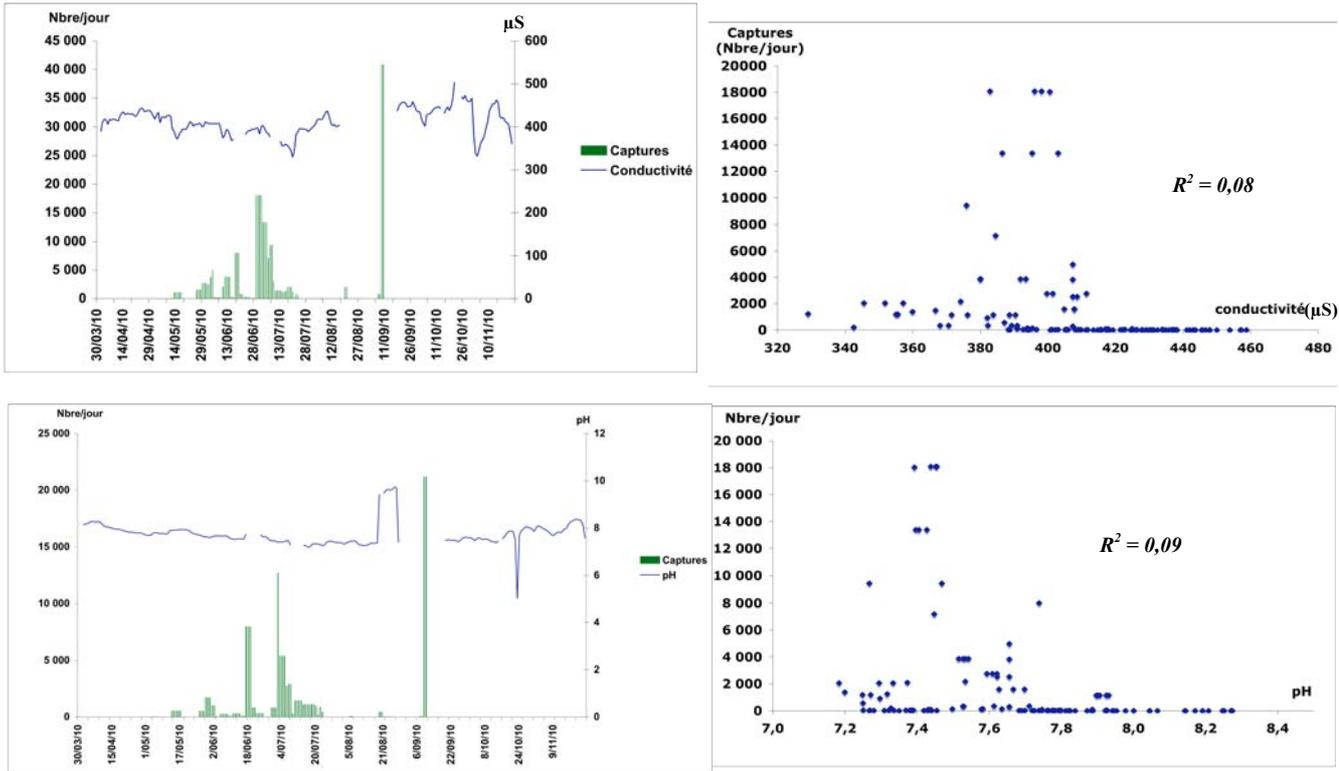
<b>pic de captures</b>	<b>% de pleine lune</b>
13 au 17 mai	0 à 23
26 mai au 5 juin	43 à 100
10 au 22 juin	0 à 71
29 juin au 20 juillet	0 à 80
19 au 20 août	64 à 71
7 au 10 septembre	0 à 13

Ainsi, en confrontant les captures uniquement au cycle lunaire, il n'a pas été observé de tendance particulière. Néanmoins, il est possible la couverture nuageuse en période de pleine lune inhibe l'effet de cette dernière sur la mobilité des anguilles. Le débit est également susceptible de cacher l'effet de la lune (par exemple, un faible débit en période de nouvelle lune peut minimiser le flux migratoire).

### II.3.4. 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 329 à 504,2  $\mu\text{S}$  ; gamme de variation du pH 5 à 9,7) (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).

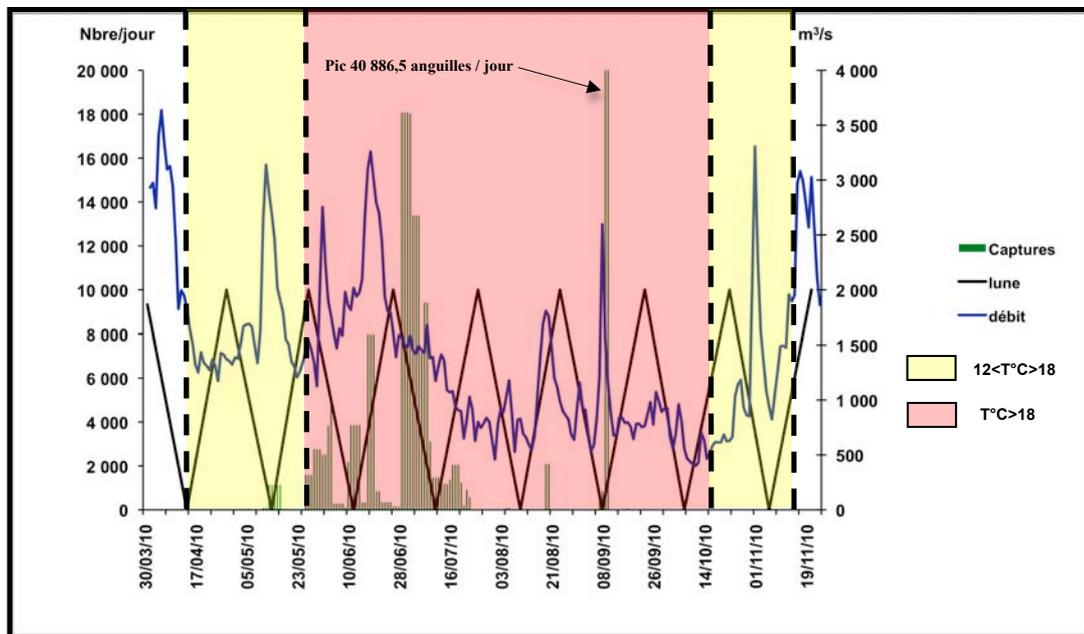
Les années précédentes de suivi, ces deux facteurs environnementaux n'expliquaient pas les pics abrupts de migration. Les années à venir permettront de confirmer ces résultats avec plus de robustesse (quantité de données plus importante).



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

### II.3.5. Bilan

Les facteurs environnementaux identifiés comme prépondérants dans le déterminisme de la migration des anguilles (bibliographie et précédentes campagnes) ont été réunis dans la figure 27 afin de déceler d'éventuels effets de leur interaction sur la remontée des anguilles.



**Figure 27 : confrontation des captures au débit du Rhône, à la température et au cycle lunaire**

Le déroulement de la migration 2010 peut ainsi 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) le 11 avril et a dépassé le seuil de température optimal (18°C) le 27 mai jusqu'au 17 octobre. Elle est donc restée favorable à la migration des anguilles durant la majorité du suivi.

Le premier pic de débit du Rhône a eu lieu en dehors de la fenêtre de température favorable. Il n'y a donc pas eu de pic de captures associé. Pendant la période de débit élevé (31 mars au 17 juillet), les captures d'anguilles ont été régies visiblement par les fortes hausses de débit d'une part et par la phase lunaire d'autre part (augmentation du nombre de captures en phase descendante et en période de nouvelle lune).

Du 17 juillet au 30 octobre, le débit moyen du Rhône est resté faible et le nombre de captures n'a explosé que lors des augmentations brutales de débit. Après le 30 octobre, bien que le débit ait augmenté, la basse température de l'eau a probablement inhibé la remontée des anguilles.

Il est plus difficile d'observer d'éventuelles tendances en confrontant les autres facteurs environnementaux au nombre de captures journalières.

### III. 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.

#### III.1. Comparaison rive droite / rive gauche

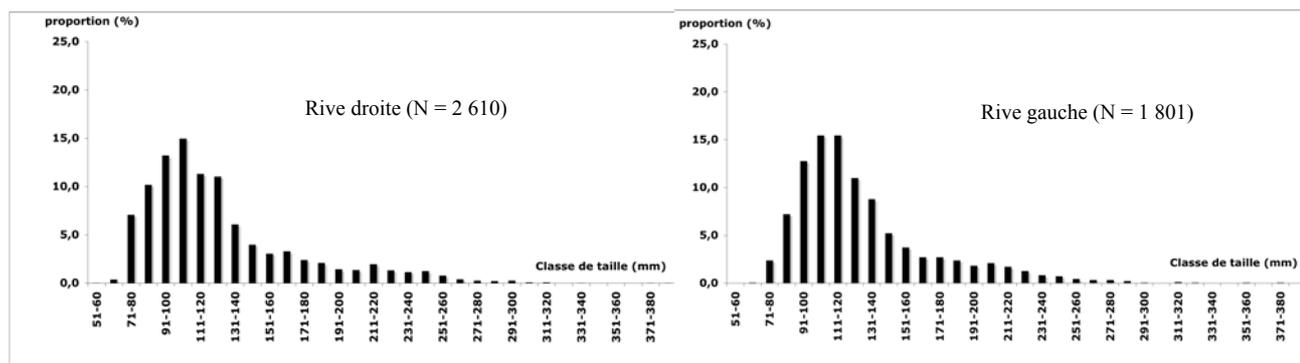
##### III.1.1. Comparaison annuelle

Les individus capturés sont de petite taille et la taille moyenne des anguilles échantillonnées sur la totalité du suivi est de 125,6 mm en rive droite et de 128,5 mm en rive gauche (tab.6).

**Tableau 6 : informations générales sur la taille des anguilles capturées**

	rive droite	rive gauche
<b>taille moyenne</b>	125,6 mm	128,5 mm
<b>écart type</b>	45,5 mm	41,3
<b>taille min</b>	58 mm	69 mm
<b>taille max</b>	380 mm	375 mm

Les distributions observées sur chaque rive sont similaires en rive droite et en rive gauche (fig.28) et l'écart de taille (0,3 cm) entre les deux moyennes est plus faible que l'écart existant entre les extrémités d'une classe de taille (1 cm). De plus, d'un point de vue biologique, une différence de taille moyenne de 0,3 cm pour des anguilles n'est pas considéré significative.



**Figure 28 : distribution des tailles des anguilles échantillonnées en rive droite et en rive gauche de l'usine écluse de Beaucaire**

##### III.1.2. Comparaison mensuelle

Il n'est pas pertinent de comparer les tailles moyennes et les distributions de taille mensuelles entre les deux rives. En effet, les problèmes récurrents de fonctionnement hydraulique des dispositifs de franchissement ont entraîné des variations importantes des écoulements sur les rampes de reptation. Ces écoulements ont un effet direct sur la taille des anguilles capturées (lorsque les écoulements sont trop importants, les petits individus sont bloqués au pied du dispositif). Les écoulements étant fréquemment différents entre le dispositif de rive droite et le dispositif de rive gauche, il est difficile de déceler les facteurs environnementaux expliquant les différences de tailles entre les deux rives.

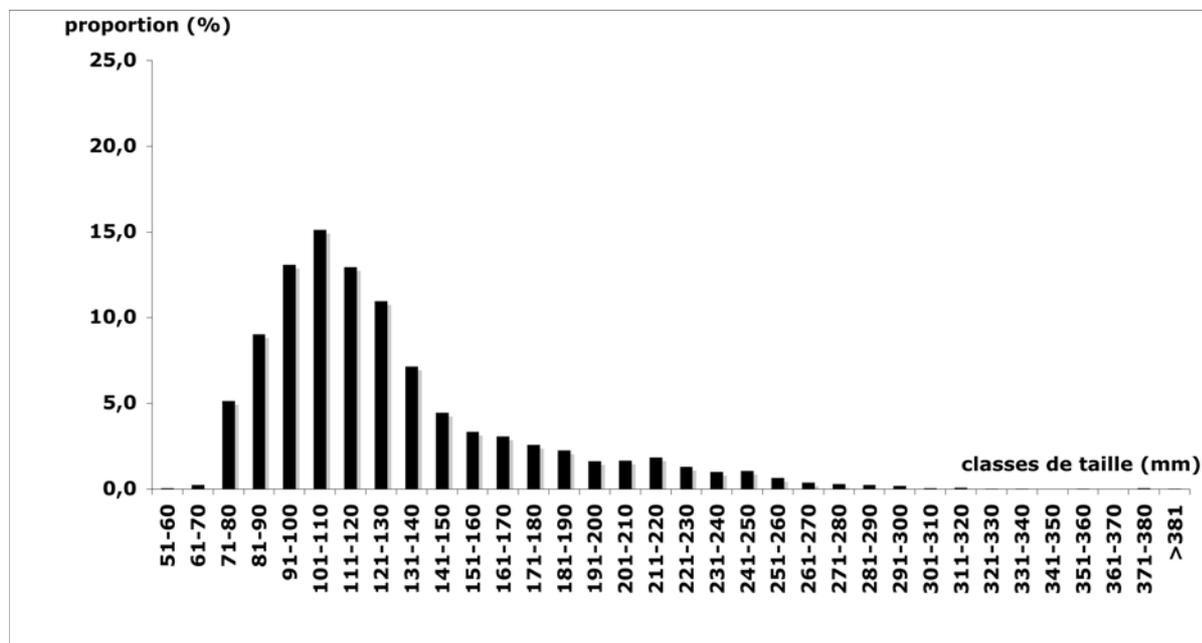
Par conséquent, les analyses mensuelles ne porteront que sur les tailles toutes rives confondues.

## III.2. Structures en tailles toutes rives confondues

### III.2.1. Structures en tailles annuelles

La distribution des tailles de l'ensemble des anguilles capturées lors de l'année 2010 est représentée en figure 29.

Les tailles des anguilles capturées varient de 71 mm à 220 mm en général (93,6 % des anguilles biométrées).



**Figure 29 : structures en tailles de toutes les anguilles échantillonnées (N = 4 432\*) au cours du suivi**

\* Le nombre d'anguilles échantillonnées dans le graphique « toutes rives confondues » est supérieur à la somme des nombres d'anguilles échantillonnées affichés dans les graphiques « rive droite » (N = 2 610) et « rive gauche » (N = 1 801). En effet, Lors de certaines relèves (notamment en octobre/novembre lorsque très peu d'anguilles étaient capturées), les échantillons de rive droite et de rive gauche ont été mélangés.

Le mode (classe de taille majoritaire) correspond à la classe 101-110 mm (15,1 % des individus). Les structures en tailles obtenues les années précédentes de suivi sont similaires à la figure 29 (annexe C) avec toutefois une majorité d'individus appartenant à des petites classes de taille (91 à 100 mm) et très peu d'anguilles au-delà de 350 mm (Auphan & Delhom, 2006 ; Vanel *et al.*, 2007 ; Campton *et al.*, 2008 ; Campton & Lebel, 2009). 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.

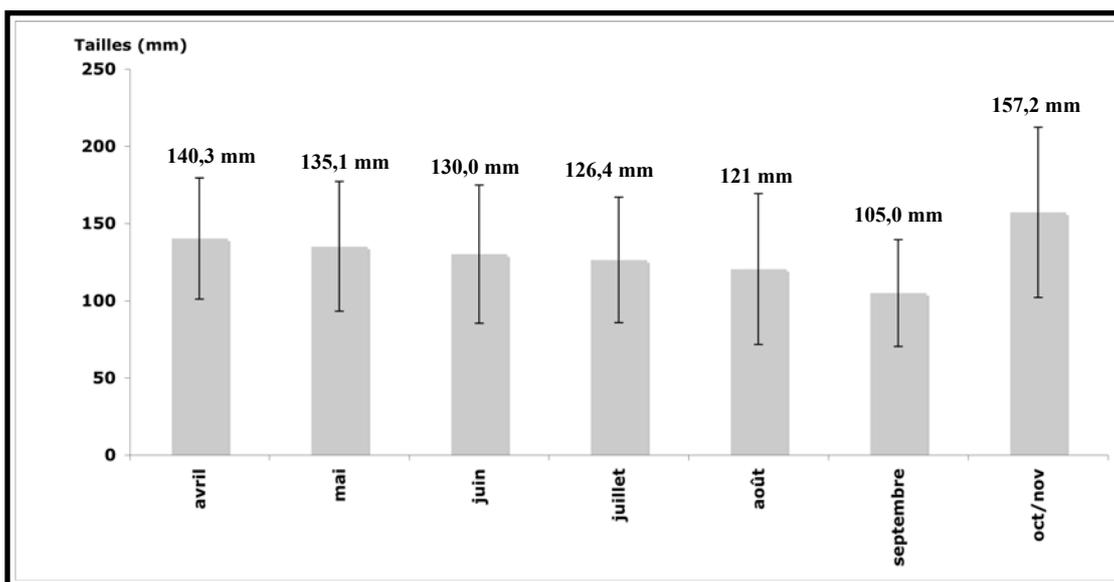
En comparant aux résultats de lectures d'âges réalisés sur la lagune du Vaccarès (Crivelli *et al.*, 2007) et à Beaucaire (Auphan & Delhom, 2006), on peut supposer qu'il s'agit d'anguillettes qui sont arrivées dans le Rhône durant l'hiver qui a précédé (anguilles de l'année, 0+) ou alors des anguillettes 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). De plus, parmi les anguilles échantillonnées en 2010, 3 civelles ont été observées (capturées le 17 septembre et le 22 septembre). 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 Beaucaire. 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 71 et 150 mm soit composé en majorité 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.

### III.2.2. Structures en tailles mensuelles

Au mois d'avril, le nombre d'individus échantillonnés est insuffisant pour être intégré dans la comparaison mensuelle des tailles moyennes et dans la distribution mensuelle des tailles (27 anguilles seulement). Seule la taille moyenne a été calculée à titre informatif. Le nombre d'anguilles échantillonnées au cours des mois d'octobre et novembre est également insuffisant. Ces deux mois ont par conséquent été regroupés pour l'analyse.

La taille moyenne des anguilles est maximale au mois d'octobre/novembre (157,2 mm) et minimale au mois de septembre (105 mm) (fig.30). A l'exception faite des deux derniers mois de suivi, les tailles semblent diminuer entre le début et la fin de la campagne d'échantillonnage. Ce phénomène a déjà été observé au cours de la campagne 2008 (Campton *et al.*, 2008). La comparaison statistique des tailles moyennes mensuelles a donc été réalisée (tab.7) et les résultats montrent une diminution significative entre chaque mois hormis entre le mois de juin et juillet (diminution de 0,5 cm ; pvalue = 0,31).

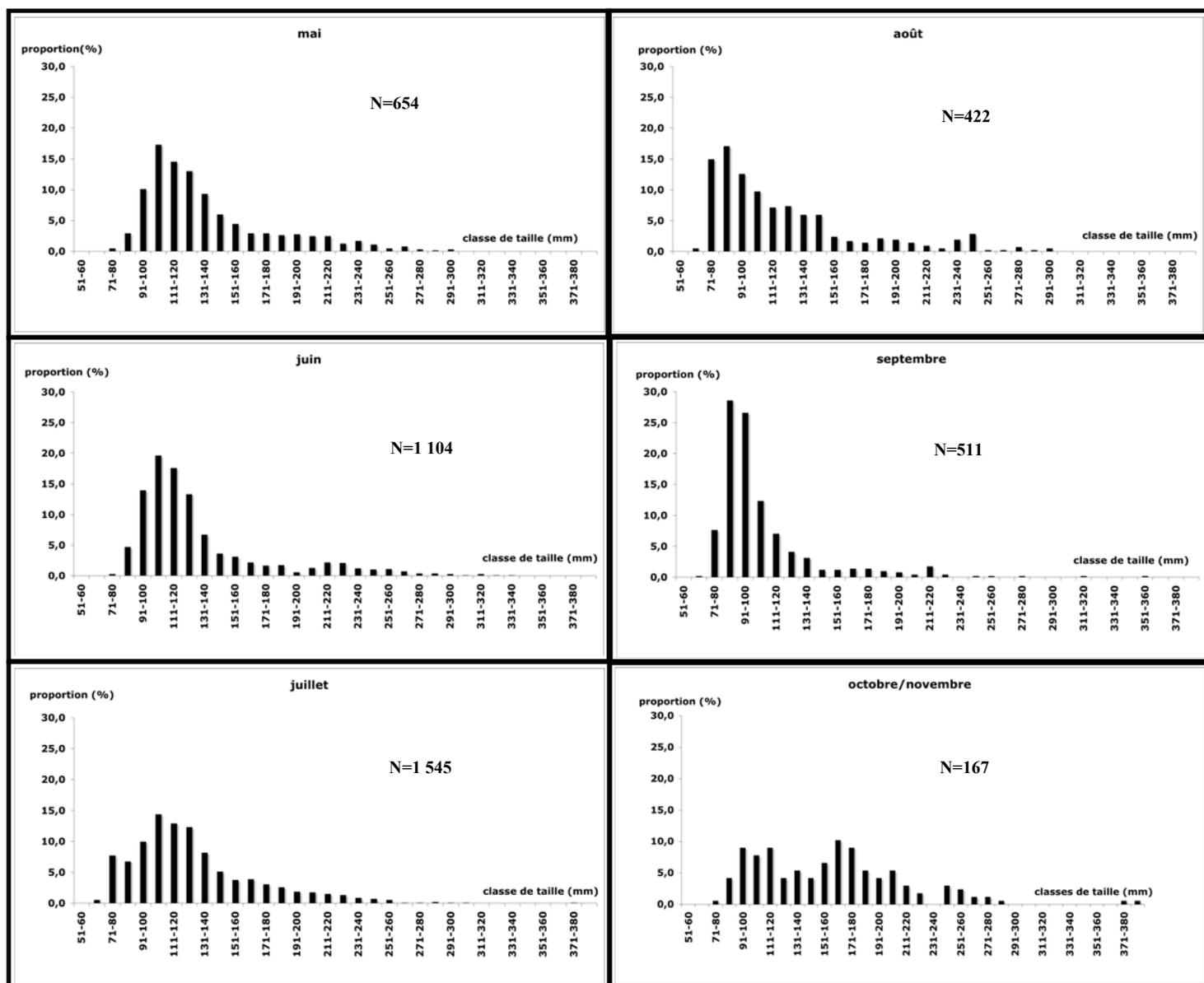


**Figure 30 : représentation des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées**

**Tableau 7 : comparaison statistique (test de wilcoxon, pvalue) des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées ( $\alpha = 0,005$ )**

	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre/Novembre
mai		$5,13 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	$2 \cdot 10^{-5}$
juin			0,31	$2,0 \cdot 10^{-12}$	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$
juillet				$8,8 \cdot 10^{-8}$	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	$2,6 \cdot 10^{-13}$
août					$1,5 \cdot 10^{-9}$	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$
septembre						$< 2,2 \cdot 10^{-16}$

Bien que ces résultats soient statistiquement significatifs, il faut rester prudent dans leur interprétation. Les distributions en tailles ont donc également été établies mensuellement (fig.31).



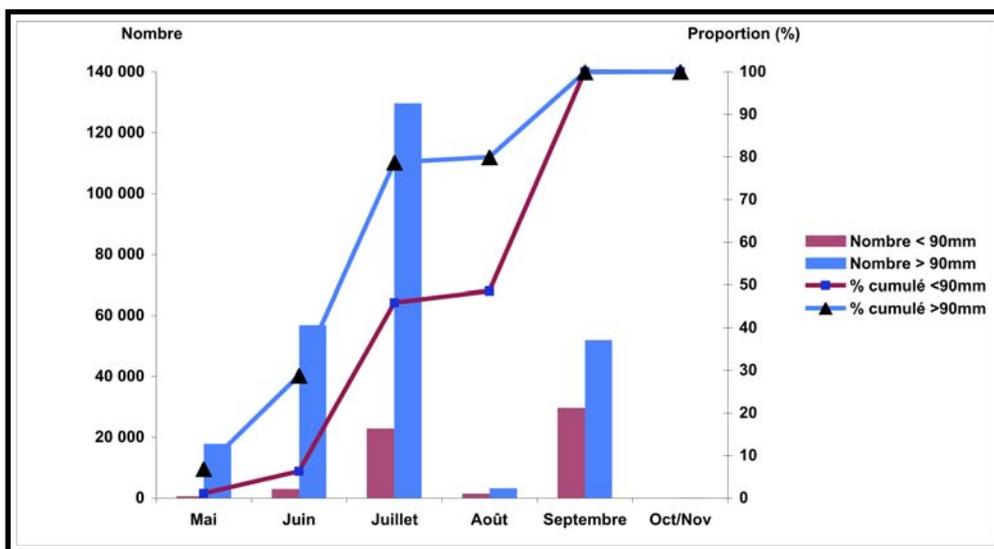
**Figure 31 : distribution mensuelle des tailles des anguilles échantillonnées à l'usine écluse de Beaucaire (rive droite et rive gauche confondues)**

L'évolution mensuelle de la structure en taille des anguilles capturées montre qu'en mai et juin, les distributions sont similaires (mode bien distingué : classe [101-110 mm] représentée à 17,3 %). En juillet, les proportions forment une distribution plus étirée vers les petites classes de taille. Les deux mois suivants, la nouvelle classe de taille dominante est la classe [81-90 mm] avec une large distinction en septembre (proportion > 28,6 %).

Ainsi, la première partie du suivi, les anguilles dont la taille est comprise entre 71 et 90 mm sont très peu représentées (3,4 % au mois de mai ; 5 % au mois de juin). À partir du mois de juillet, leur proportion est plus importante et en constante augmentation d'un mois à l'autre (15 % en juillet, 32 % en août, 36 % en septembre).

Au cours des mois d'octobre et novembre, les anguilles échantillonnées présentent une distribution des tailles avec les classes de grandes tailles (>150mm) fortement représentées. Toutefois, la taille de l'échantillon est faible (seulement 167 individus mesurés) tout comme le nombre total d'anguilles capturées durant ces deux mois (192 anguilles).

La figure 32 permet de mieux visualiser les tendances.



**Figure 32 : évolution du nombre de grandes et petites anguilles au cours du suivi**

Au mois de juillet, environ 80 % des anguilles dont la taille est supérieure à 90 mm étaient déjà remontées alors que moins de 50 % des anguilles dont la taille est inférieure à 90 mm étaient capturées à la même période. Les captures des mois d'octobre et novembre sont négligeables par rapport au nombre total d'anguilles remontées tout le long du suivi (0,06 % des captures totales).

Ainsi, ces trois types d'analyses (évolution des tailles moyennes mensuelles, évolution de la distribution des tailles, évolution de la remontée des anguilles dont la taille est inférieure ou supérieure à 90 mm) montrent que les grandes anguilles ont tendance à remonter plus tôt que les petites. Ce constat a également été fait au cours de la campagne 2008 (très peu d'anguilles ayant été capturées en 2009, il était impossible d'observer une telle tendance).

Il est possible que les différences de capacité de nage qu'il existe entre les anguilles de petite taille et de grande taille entraînent 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 que celle d'une anguille jaune peut atteindre 1,14 m/s.

#### **IV. Passes pièges d'Avignon et Caderousse**

Suite à leur installation, les dispositifs de piégeage de l'usine d'Avignon et de Caderousse (rive gauche) n'ont pas été mis en fonctionnement pour diverses raisons de sécurité (absence de garde corps par exemple) et de fonctionnement (système de vidange des bacs de capture à améliorer, emplacement de pompe hydraulique à revoir...).

Le dispositif présent en rive droite de l'usine écluse de Caderousse a été mis en route le 22 septembre. La première relève a eu lieu le 24 septembre et le suivi s'est déroulé jusqu'au 24 novembre à raison d'une visite par semaine. Aucune anguille n'a été capturée au cours de ces opérations. Ce résultat semble normal au vu du nombre d'anguilles capturées à Beaucaire dans la même période (198 anguilles capturées sur 32 jours soit 6 anguilles capturées par jour). Il s'explique donc probablement par le fait que la mise en service ait eu lieu en fin de période de migration. Les résultats obtenus au cours du prochain suivi (qui commencera en même temps que Beaucaire au printemps 2011) apporteront plus d'éléments sur l'efficacité du dispositif de franchissement.

## CONCLUSION

---

Le suivi 2010 des passes-pièges à anguilles sur l'usine écluse de Beaucaire a permis de capturer 317 616 anguilles (136 699 en rive droite, 180 917 en rive gauche) du 29 mars jusqu'au 24 novembre. Le nombre d'anguilles remontées dépasse le maximum observé depuis la création des passes-pièges en 2005 et 2006 (235 937 anguilles en 2008) et le déroulement de la migration a été similaire aux campagnes précédentes (remontées sous forme de pics ponctuels de captures).

La confrontation des captures aux variables environnementales montre que les flux migratoires des anguilles sont régis par la combinaison de trois facteurs prépondérants : le débit du Rhône (augmentation des captures avec les pics de débit), la température de l'eau (mobilité des anguilles réduite en dessous de 12°C, seuil de température optimal à 18°C) et le cycle lunaire (la phase de pleine lune semble inhiber la remontée des anguilles).

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) et du dysfonctionnement des pompes. Ainsi, la passe piège de rive gauche a connu des périodes durant lesquelles le bac de capture n'était pas alimenté en eau, ce qui a entraîné d'importants taux de mortalité au cours de certaines relèves.

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. Comme en 2008, il a été observé un décalage de migration dans le temps entre les grands et les petits individus probablement en raison de la différence de leur capacité de nage.

Contrairement aux années précédentes de suivi, la passe-piège de rive droite a permis de capturer moins d'anguilles que celle de rive gauche en raison d'un pic très important au mois de juillet.

La poursuite du suivi est indispensable afin de mieux comprendre la dynamique de population de l'Anguille. Il semble également nécessaire de réaliser un rapport de synthèse reprenant les données de plusieurs années de suivi afin de 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, les usines d'Avignon et de Caderousse (qui sont les deux usines situées à l'amont de celle de Beaucaire) ont été équipées de dispositifs de franchissement semblables à ceux de l'usine écluse de Beaucaire (système de rampes de reptation avec bac de piégeage). Le suivi devrait être opérationnel au printemps 2011. 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). De plus, afin d'estimer la mortalité engendrée par le passage des anguilles dans les turbines, une opération *in situ* (consistant à introduire directement des anguilles dans les turbines et à observer en sortie les mortalités et blessures immédiates et différées) a été menée par la CNR au mois de septembre 2010 sur l'usine écluse de Beaucaire. Les résultats sont en cours d'exploitation.

## **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'étude 2005, Rapport MRM, 26p.
- AUPHAN N. & DELHOM J., 2006, Suivi des passe-pièges à anguilles de l'usine hydroélectrique de Beaucaire – Campagne d'étude 2006, Rapport M.R.M.
- 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.
- BRUIJS M.C.M. & DURIF C.M.F., 2009, Silver eel migration and behaviour., Van den thillart *et al.*(eds.), Spawning migration of the European Eel, Springer Science + Business Media B.V.
- BRUSLE J., 1994, L'Anguille Européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable 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.
- 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.
- CAMPTON P. & LEBEL I., 2009. Suivi des passes pièges à anguilles de l'usine de Beaucaire - Campagne d'étude 2009., rapport MRM 33p.+annexes.
- CHANCEREL F., 1994. La répartition de l'Anguille en France. Bull. Fr. Pêche Piscic. 335: 289-294.
- COGEPOMI RMC., 2004, Plan de gestion du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse 2004-2008, 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.
- COGEPOMI RMC 2010, Plan de GEstion des POissons MIgrateurs (PLAGEPOMI) du bassin Rhône Méditerranée 2010-2014, proposition au préfet pour approbation, 43p.

- COLLECTIF, 2009, Plan de gestion Anguille de la France, Application du règlement R(CE) n°1100/2007, Volet local de l'unité de gestion Rhône Méditerranée. 32p.
- COLLECTIF, 2010, Plan de Gestion Anguille de la France, Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007. Volet National. 120p.
- CRIVELLI A.J., 1998, L'anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : une synthèse bibliographique. DIREN-DB RMC, publication COGEPOMI RMC, 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.
- CROZE O., LARINIER M., 2001, Libre circulation des poissons migrateurs., Guide technique n°4 – SDAGE RMC, 51p.
- 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, Seasonal 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.
- EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission) & ICES (International Council for the Exploration of the Sea), 2009, Report of the 2009 session of the joint EIFAC/ICES Working Group on Eels, rapport 117p.
- ELIE P., LECOMTE-FINIGER R., CANTRELLE I., CHARLON N., 1982, Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* L. (poisson téléostéen anguilliforme)., Vie et Milieu 32 :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](http://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 Bordeaux 1, 199 p + annexes.

IUCN, 2008, Red List of Threatened Species, [www.iucnredlist.org](http://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.

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

MEEDAT (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire), 2008, Projet de loi relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

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 DEN THILLART G. *et al.*, Spawning Migration of the European Eel., Springer Science + Business Media B.V., Fish and fisheries series 30, 477 p.

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.

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.

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**

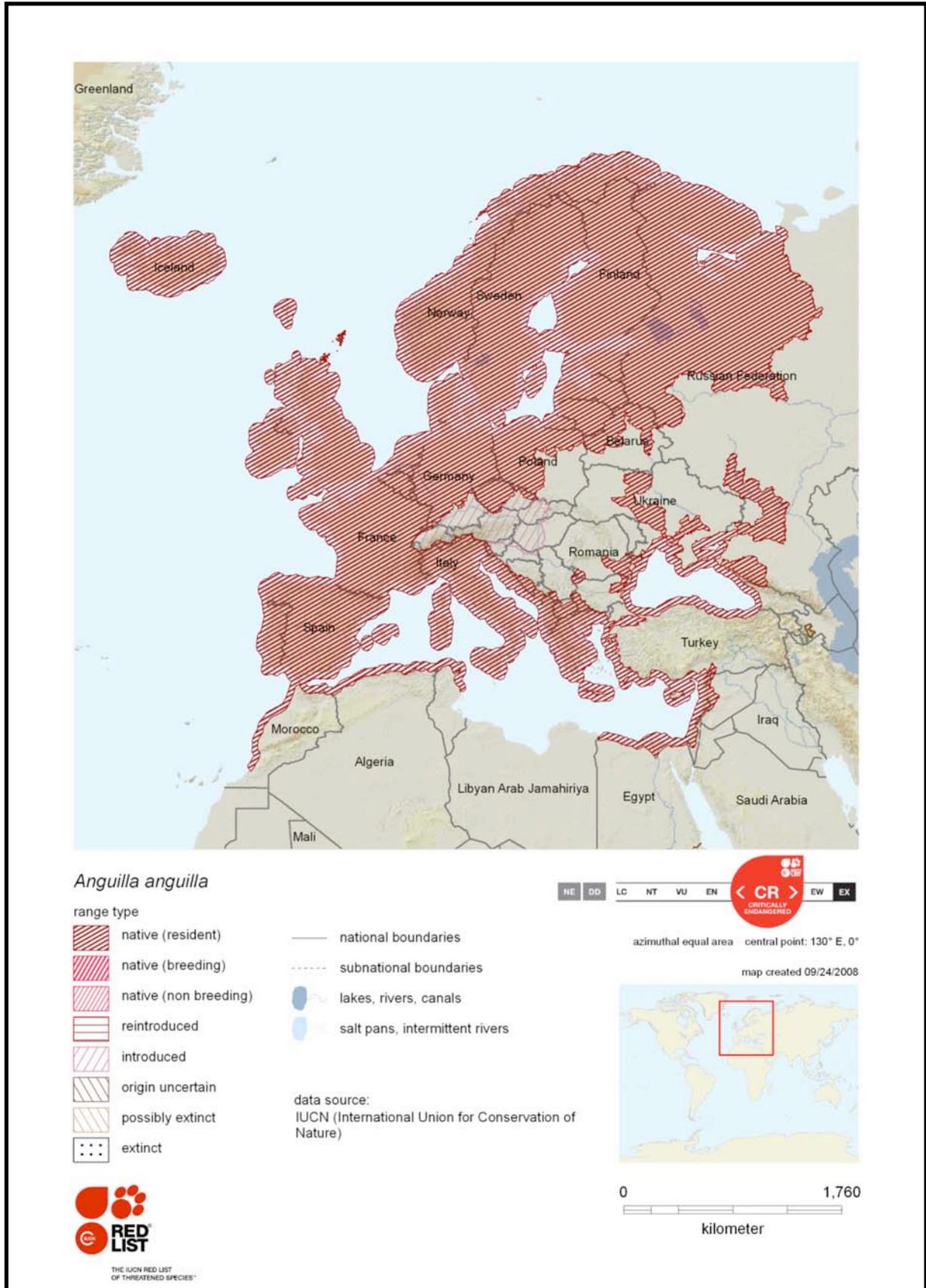
FIGURE 1 : ANGUILE EUROPEENNE.....	2
FIGURE 2 : CYCLE DE VIE DE L'ANGUILLE.....	2
FIGURE 3 : LEPTOCEPHALE.....	3
FIGURE 4 : CIVELLES.....	3
FIGURE 5 : ANGUILE JAUNE.....	4
FIGURE 6 : ANGUILE ARGENTEE.....	4
FIGURE 7 : REPTATION DE CIVELLES SUR UNE PAROI RUGUEUSE.....	5
FIGURES 8 ET 9 : VESSIE D'ANGUILLE PARASITEE ET CYCLE BIOLOGIQUE D'ANGUILLICOLA CRASSUS.....	6
FIGURE 10 : ANGUILE BLESSEE PAR UN HERON.....	7
FIGURE 11 : EVOLUTION DES TONNAGES ET DES CPUE DE CIVELLES DES PECHEURS PROFESSIONNELS ET AMATEURS SUR LE BASSIN DE LA GIRONDE DE 1978 A 2007.....	9
FIGURE 12 : ESTIMATION DU RECRUTEMENT MOYEN (GLM) EN CIVELLES POUR CHAQUE AIRE DE REPARTITION EN EUROPE.....	9
FIGURE 13 : LOCALISATION DE L'AMENAGEMENT CNR DE BEAUCAIRE-VALLABREGUES.....	15
FIGURE 14 : CONFIGURATION GENERALE DU SITE.....	15
FIGURE 15 : LOCALISATION DE L'EXUTOIRE DU CONTRE CANAL.....	16
FIGURES 16 ET 17: PASSES-PIEGES SITUEES EN RIVE GAUCHE ET RIVE DROITE.....	16
FIGURE 18 : POMPE HYDRAULIQUE ET RAMPE.....	19
FIGURE 19 : EVOLUTION DES CAPTURES ANNUELLES DEPUIS LE DEBUT DU SUIVI.....	20
FIGURE 20 : EVOLUTION DES CAPTURES MENSUELLES DE L'ANNEE 2010.....	21
FIGURE 21 : VARIATION DU NOMBRE MOYEN DE CAPTURES JOURNALIERES LORS DE CHAQUE RELEVÉ DES PASSES PIEGES DE L'USINE ECLUSE DE BEAUCAIRE.....	22
FIGURE 22 : EVOLUTION DU NOMBRE DE CAPTURES ET DE LA TEMPERATURE.....	23
FIGURE 23 : CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE L'EAU ET LE NOMBRE DE CAPTURES D'ANGUILLES PAR JOUR.....	24
FIGURE 24 : EVOLUTION DES CAPTURES ET DU DEBIT DU RHONE.....	25
FIGURE 25 : EVOLUTION DES CAPTURES ET DU CYCLE LUNAIRE.....	26
FIGURE 26 : CONFRONTATION DE LA CONDUCTIVITE ET DU PH AU NOMBRE DE CAPTURES JOURNALIERES D'ANGUILLES.....	27
FIGURE 27 : CONFRONTATION DES CAPTURES AU DEBIT DU RHONE, A LA TEMPERATURE ET AU CYCLE LUNAIRE.....	28
FIGURE 28 : DISTRIBUTION DES TAILLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES EN RIVE DROITE ET EN RIVE GAUCHE DE L'USINE ECLUSE DE BEAUCAIRE.....	29
FIGURE 29 : STRUCTURES EN TAILLES DE TOUTES LES ANGUILLES ECHANTILLONNEES (N = 4 432*) AU COURS DU SUIVI.....	30
FIGURE 30 : REPRESENTATION DES TAILLES MOYENNES MENSUELLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES.....	31
FIGURE 31 : DISTRIBUTION MENSUELLE DES TAILLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES A L'USINE ECLUSE DE BEAUCAIRE (RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE CONFONDUES).....	32
FIGURE 32 : EVOLUTION DU NOMBRE DE GRANDES ET PETITES ANGUILLES AU COURS DU SUIVI.....	33

## ***LISTE DES TABLEAUX***

---

TABLEAU 1: FONCTIONNEMENT DES POMPES HYDRAULIQUES EN RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE.....	19
TABLEAUX 2 ET 3 : NOMBRES ANNUELS (2) ET MENSUELS (3) ESTIMES D'ANGUILLES CAPTUREES EN RIVE DROITE ET GAUCHE DE L'USINE ECLUSE DE BEAUCAIRE.....	20
TABLEAU 4 : TEMPERATURES MINIMALES DE CAPTURES ET GAMME DE TEMPERATURES POUR LESQUELLES LA MAJORITE DES ANGUILLES A ETE CAPTUREE (ANNEES 2006 A 2010).....	24
TABLEAU 5 : PERIODES DES PICS DE CAPTURES ET CYCLE LUNAIRE.....	26
TABLEAU 6 : INFORMATIONS GENERALES SUR LA TAILLE DES ANGUILLES CAPTUREES .....	29
TABLEAU 7 : COMPARAISON STATISTIQUE (TEST DE WILCOXON, PVALUE) DES TAILLES MOYENNES MENSUELLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES ( $\alpha = 0,005$ ).....	31

## 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**

Les passes-pièges sont alimentées en eau par des pompes immergées au pied de l'ouvrage ayant un débit de 50 m<sup>3</sup>/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 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 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.

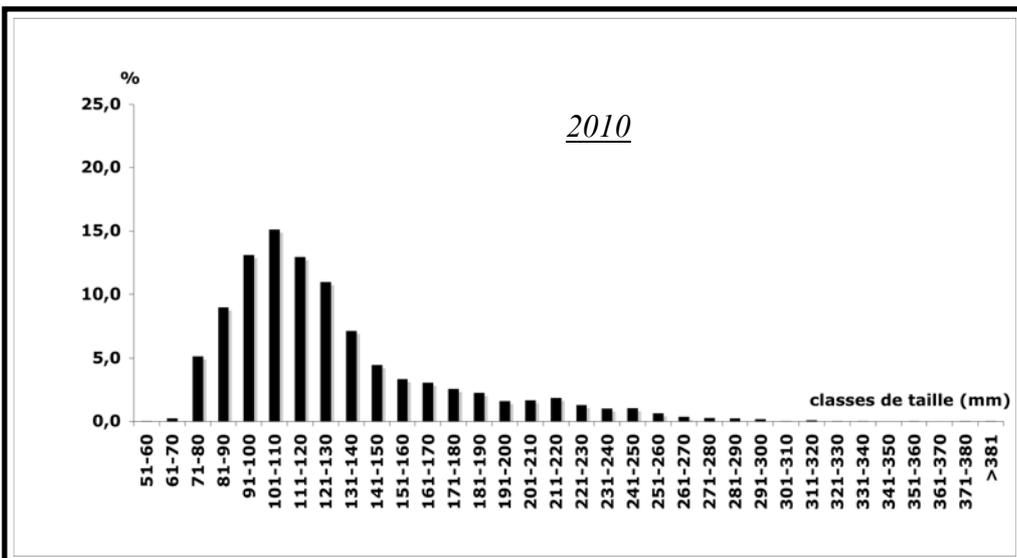
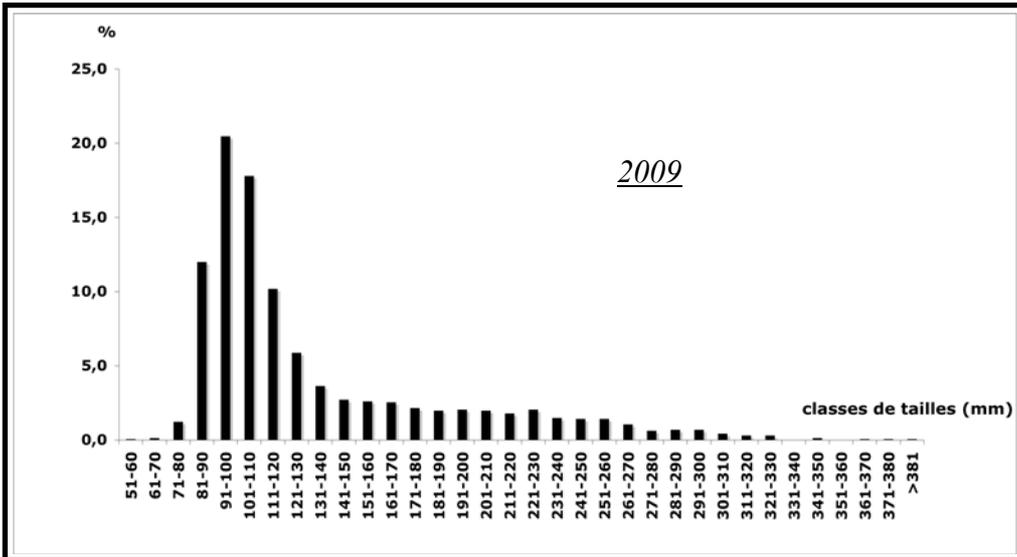
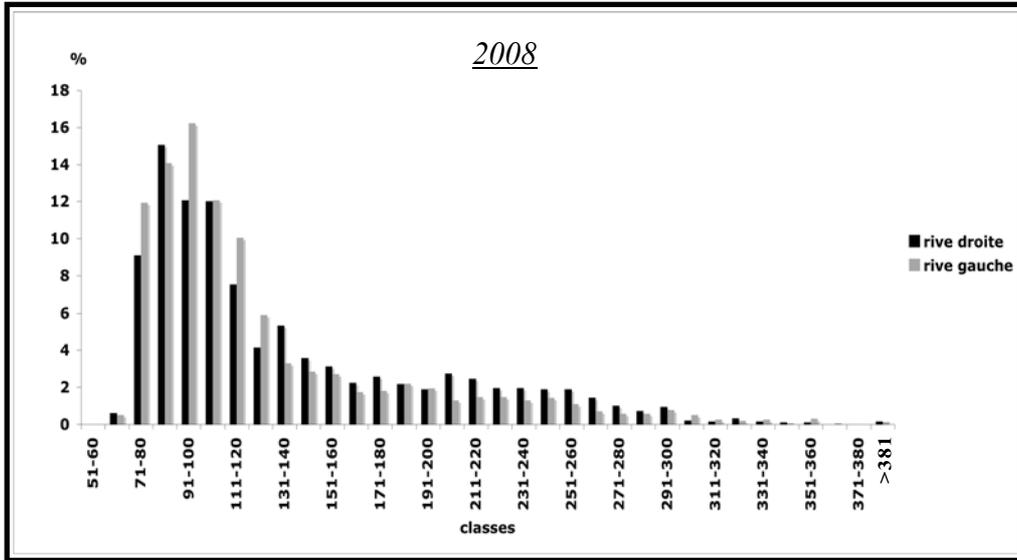
✓ **Bac de capture**



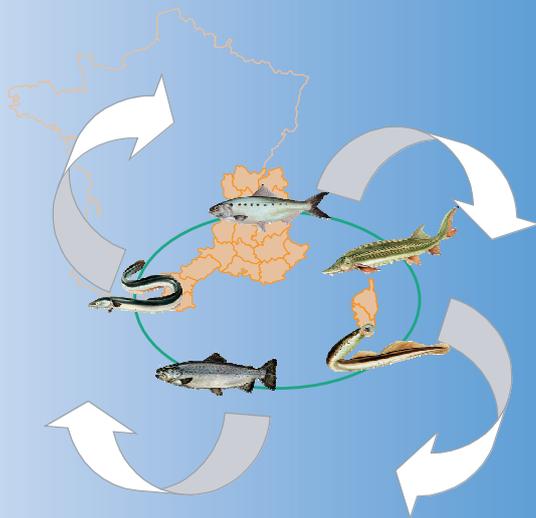
Après avoir gravi la rampe, les anguilles tombent dans un bac de capture, d'une capacité de 300 litres, où elles sont retenues prisonnières. Le flux créant la lame d'eau sur la rampe se déverse en partie dans ce bac et permet le renouvellement de l'eau. Suite à des travaux réalisés sur le barrage d'Arzal 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 : Structure en tailles annuelle des anguilles







**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 Corse, de la Drôme, du Gard, du Vaucluse, de l'Ain, des Alpes de Haute-Provence, des Alpes-Maritimes, de l'Aude, des Hautes-Alpes, de Haute-Savoie, de l'Hérault, 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](mailto:contact@migrateursrhonemediterranee.org)  
<http://www.migrateursrhonemediterranee.org/>