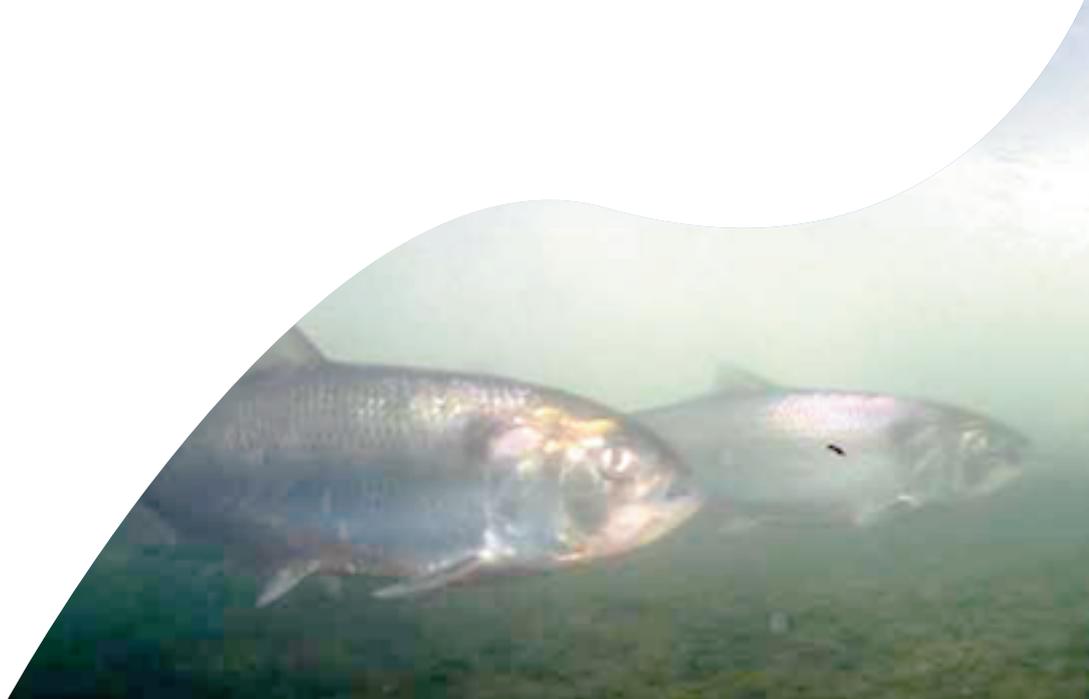


SUIVI DES PASSES-PIÈGES À ANGUILLES SUR LE RHÔNE AVAL

2011 - N°12/15



Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée

Le bassin Rhône-Méditerranée-Corse retrouve ses grands migrateurs

Troisième étape : la reconquête de la Drôme

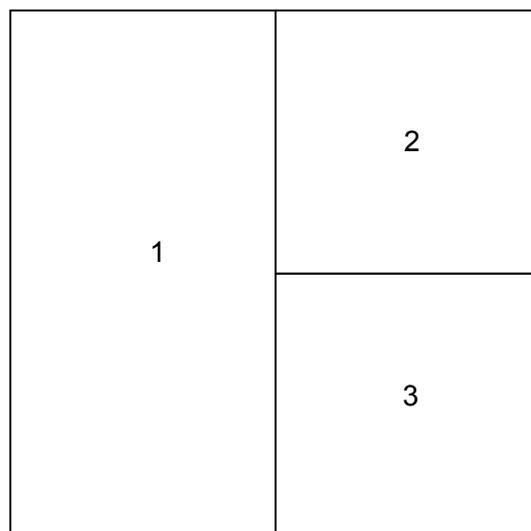
Suivi des passes-pièges à anguilles sur le Rhône aval

Campagne d'étude 2011



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
www.migrateursrhonemediterranee.org



- 1 : Passe piège à anguilles en rive droite de l'usine écluse de Beaucaire (MRM)
- 2 : Anguille dans le bac de capture (MRM)
- 3 : Anguille jaune (MRM)

Campton P., Lebel I., 2011, Suivi des passes à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'étude 2011., Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, rapport provisoire, 49p.+ annexes

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),
DREAL Rhône-Alpes,

Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée :

19 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, de l'Aude et des Pyrénées Orientales. Union Régionale des Fédérations de Pêche de l'Arc Méditerranéen (URFAM) et Union Régionale des Fédérations de Pêche de Rhône-Alpes (URFEPPRA), 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-Maritimes
Mairie d'Arles,
Union européenne.

Partenaires techniques :

Compagnie Nationale du Rhône,
Bureau d'études Fish-Pass,
Centre de Production Thermique EDF d'Aramon.

RESUME

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 (CNR) 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 2011, les passes ont été opérationnelles à partir du 4 avril et ont été arrêtées le 9 décembre. Les premières anguilles ont été piégées le 12 avril. 109 786 anguilles ont été capturées dont 81 813 en rive droite et 27 973 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 29 avril et le 9 mai rassemblant 2,1 % des captures totales. Le pic de captures le plus important s'est déroulé entre le 7 et le 23 novembre (86,5 % des captures totales). Le débit du Rhône est resté très bas toute la période du suivi et a fortement augmenté au mois de novembre, ce qui explique le pic d'anguilles observé. La température du Rhône est restée favorable à la montaison des anguilles (>12°C) du mois d'avril jusqu'au 25 novembre.

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 explications. La distribution en taille mensuelle montre que la cohorte 2010/2011 a essentiellement migré de juin à novembre de manière progressivement plus intensive au fil des mois.

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 2012 et apporter des éléments complémentaires.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION | 1 |
| CONTEXTE DE L'ETUDE | 2 |
| I. Contexte biologique | 2 |
| I.1. Présentation de l'Anguille européenne (Anguilla anguilla) | 2 |
| I.1.1. Taxonomie et répartition | 2 |
| I.1.2. Cycle de vie | 2 |
| I.1.3. Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles..... | 5 |
| I.2. Identification des menaces | 7 |
| I.2.1. Les menaces naturelles | 7 |
| I.2.2. Les menaces d'origine anthropique | 9 |
| I.3. Situation actuelle du stock d'Anguille européenne | 11 |
| II. Contexte institutionnel | 12 |
| II.1. Le règlement européen n° 1100/2007 en faveur de l'Anguille | 12 |
| II.1.1. Plan de gestion national..... | 12 |
| II.1.2. Volet local Rhône Méditerranée..... | 13 |
| II.2. DCE, SDAGE, Code de l'environnement et Loi sur l'eau | 13 |
| II.2.1. La Directive Cadre Européenne sur l'eau..... | 13 |
| II.2.2. Le SDAGE | 13 |
| II.2.3. Code de l'environnement, LEMA (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques n° 2006/1772 du 30/12/2006) | 14 |
| II.3. Le PLAGEPOMI | 16 |
| II.4. Le Grenelle de l'environnement | 17 |
| II.5. Le plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau | 18 |
| III. Contexte géographique | 18 |
| III.1. Configuration des sites | 18 |
| III.2. Dispositifs de franchissement | 20 |
| METHODOLOGIE | 21 |
| I. Protocole de suivi des captures d'anguilles | 21 |
| I.1. Fréquence des relèves | 21 |
| I.2. Relève d'une passe piège | 21 |
| II. Suivi des captures | 22 |
| II.1. Nombre de captures | 22 |
| II.2. Structure en tailles | 22 |
| III. Suivi des paramètres environnementaux | 22 |
| III.1. Température de l'eau..... | 22 |
| III.2. Débit | 22 |

| | |
|---|-----------|
| III.3. Phases lunaires | 22 |
| III.4. Autres facteurs environnementaux..... | 23 |
| IV. Traitement des données..... | 23 |
| RESULTATS ET INTERPRETATIONS..... | 23 |
| I. Suivi et fonctionnement des passes pièges de Beaucaire..... | 23 |
| I.1. Période et fréquence de suivi | 23 |
| I.2. Fonctionnement des pompes hydrauliques | 23 |
| II. Dynamique de la migration..... | 25 |
| II.1. Nombre d’anguilles capturées..... | 25 |
| II.1.1. Captures annuelles | 25 |
| II.1.2. Comparaison rive droite / rive gauche..... | 26 |
| II.2. Déroulement de la migration 2011..... | 27 |
| II.3. Déterminisme de la migration 2011..... | 28 |
| II.3.1. Influence de la température | 28 |
| II.3.2. Influence du débit | 30 |
| II.3.3. Influence de la lune..... | 31 |
| II.3.4. Influence de la conductivité et du pH | 31 |
| II.3.5. Bilan de la migration 2011 | 32 |
| II.4. Déterminisme pluriannuel de la migration..... | 33 |
| III. Caractérisation de la population | 35 |
| III.1. Comparaison rive droite / rive gauche | 35 |
| III.1.1. Comparaison annuelle | 35 |
| III.1.2. Comparaison mensuelle | 36 |
| III.2. Structure en tailles toutes rives confondues..... | 36 |
| III.2.1. Structure en tailles annuelles | 36 |
| III.2.2. Structure en tailles mensuelles | 37 |
| IV. Passes pièges d’Avignon et Caderousse..... | 39 |
| CONCLUSION | 40 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 41 |
| LISTE DES FIGURES | 47 |
| LISTE DES TABLEAUX | 49 |
| ANNEXES | |

INTRODUCTION

De 1993 à 2003, l'objectif principal du Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée était le retour de l'Alose sur le Bas-Rhône en aval de l'Ardèche et ses affluents de rive droite (Gardon, Cèze, Ardèche). Cet objectif a été atteint et fin 2003, le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) du bassin Rhône-Méditerranée & Corse (RMC) a validé le deuxième volet 2004-2009 du Plan Migrateurs. Il prévoyait l'extension du programme aux affluents de rive gauche du Rhône et aux fleuves côtiers méditerranéens ainsi qu'aux autres espèces amphihalines, dont l'Anguille (COGEPOMI RMC, 2004). Le PLAN de Gestion des POissons Migrateurs (PLAGEPOMI) 2010-2014 a été arrêté par le préfet coordonnateur de bassin le 16 décembre 2010 et les objectifs définis pour l'Anguille reprennent les dispositions du volet Rhône-Méditerranée du plan de gestion Anguille de la France élaboré pour répondre au règlement CE 1100 / 2007 instituant des mesures de reconstitution des stocks d'anguilles. 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).

Les aménagements hydroélectriques de Beaucaire-Vallabrègues, Avignon et Caderousse qui sont les trois premiers ouvrages sur le Rhône depuis l'embouchure, appartiennent à la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Ces ouvrages représentent des points de blocage importants 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 en 2005/2006 (l'Association MRM en assure le suivi depuis la mise en service) ainsi que sur les aménagements d'Avignon et Caderousse en 2010 (dispositifs qui devraient être fonctionnels et suivis par l'Association MRM à partir de 2012).

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 des ouvrages et de collecter des données qui alimenteront le « tableau de bord Anguille » du bassin et plus largement le réseau de surveillance européen de l'espèce (conformément au règlement de l'Union Européenne n° 1100/2007 du 18 septembre 2007 transcrit dans le plan de gestion de l'Anguille de la France).

Le présent rapport synthétise les résultats de la campagne d'étude 2011.

CONTEXTE DE L'ETUDE

I. Contexte biologique

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

I.1.1. Taxonomie et répartition

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



Figure 1 : Anguille européenne (ONEMA)

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

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

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

I.1.2. Cycle de vie

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

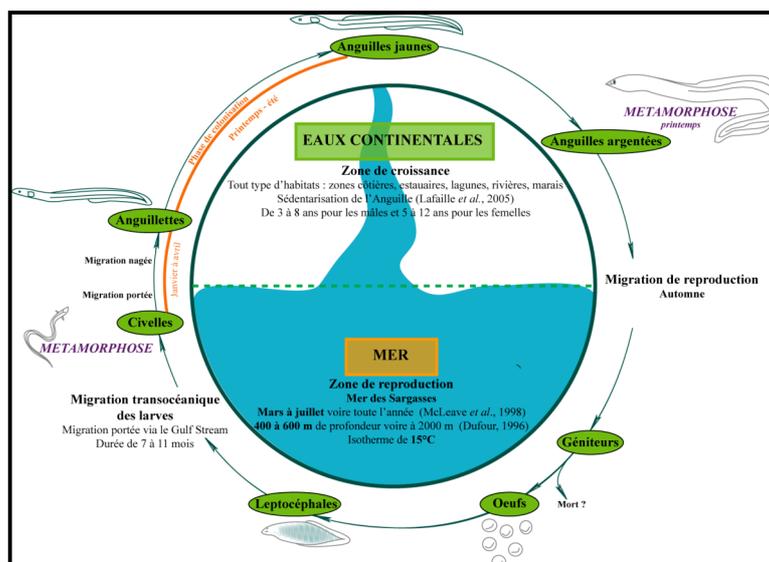


Figure 2 : Cycle de vie de l'Anguille (MRM)

L'acte de ponte

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

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

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

Stade leptocéphale

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

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

Figure 3 : Leptocéphale (cpie authie)



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

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

Stade civelle

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



Figure 4 : Civelles (MRM)

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

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

Stade anguille jaune

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



Figure 5 : Anguille jaune (MRM)

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

Stade anguille argentée

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

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



Figure 6 : Anguille argentée (MRM)

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

1.1.3. Caractéristiques physiques et biologiques des anguilles

Capacités de nage et de franchissement

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

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

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

Capacités de reptation

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



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

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

Capacités d'exondation

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

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

Dispersion continentale des anguilles

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2. Identification des menaces

1.2.1. Les menaces naturelles

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

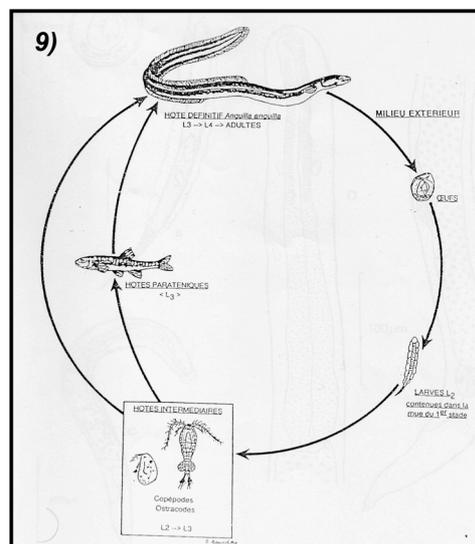
Le parasitisme

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

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

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

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



from Bonneau, 1990

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

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

Le réchauffement climatique

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

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

La prédation

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

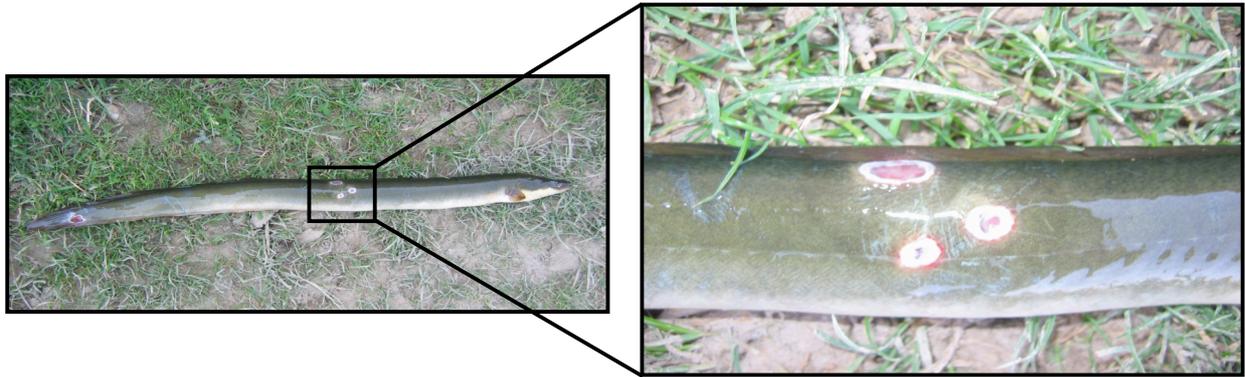


Figure 10 : Anguille blessée par un héron (Tour du Valat)

1.2.2. Les menaces d'origine anthropique

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

La pollution des eaux

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

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

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

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

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

L'altération de la qualité des habitats

Espèce benthique, l'Anguille est très sensible aux modifications du substrat du cours d'eau. Ainsi les travaux ayant un impact sur la qualité des substrats (extraction de 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).

La modification du fonctionnement hydraulique des cours d'eau

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

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

Les obstacles à la migration

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

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

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



Figure 11 : Anguille passée dans une turbine (MRM)

La surpêche

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

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

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

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

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

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.12) publiée par l'ICES (International Council for the Exploration of the Sea) montre que les captures se sont effondrées depuis les années 1970 et ont tendance à se stabiliser à un minimum critique depuis 2003 (ICES, 2008). À plus grande échelle, les informations disponibles sur l'ensemble de l'aire de distribution de l'Anguille indiquent que le stock diminue aussi (fig.13) (EIFAC & ICES, 2009).

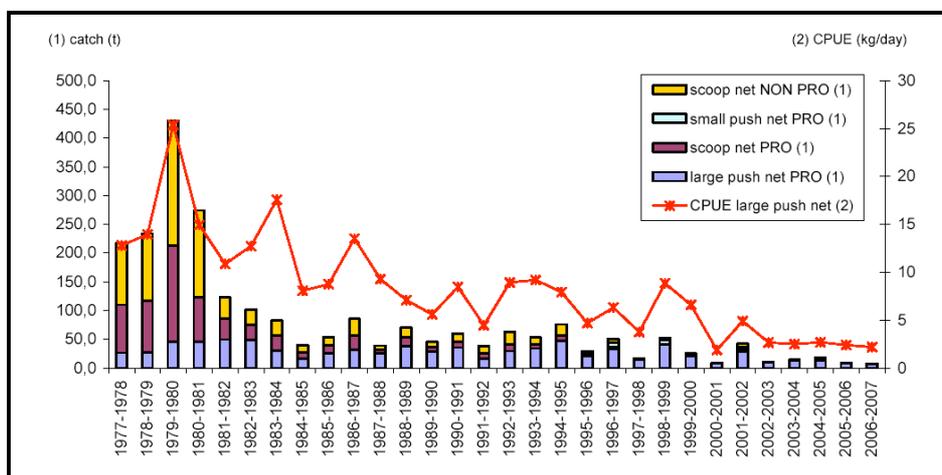


Figure 12 : Evolution des tonnages et des CPUE de civelles des pêcheurs professionnels et amateurs sur le bassin de la Gironde de 1978 à 2007 (source CEMAGREF in ICES 2008)

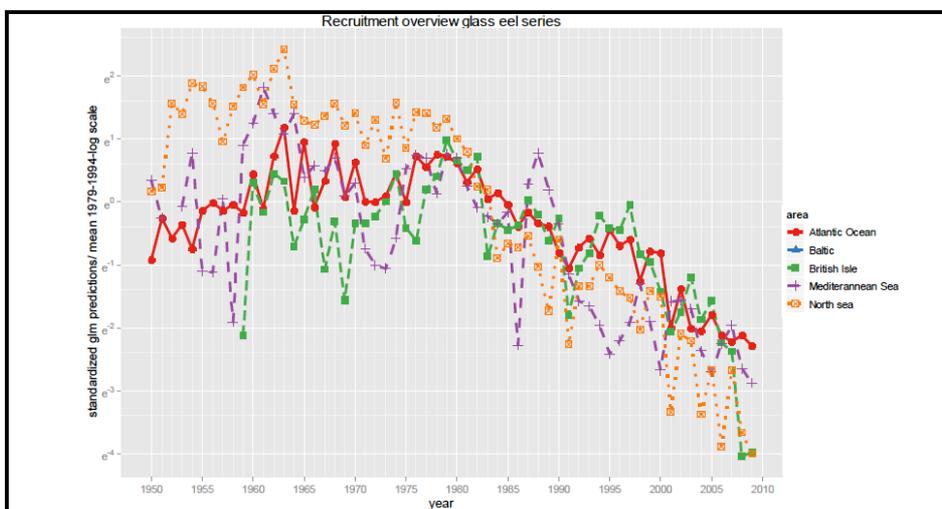


Figure 13 : Estimation du recrutement moyen (GLM) en civelles pour chaque aire de répartition en Europe (EIFAC & ICES, 2009)

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

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

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

II. Contexte institutionnel

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

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

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

II.1.1. Plan de gestion national

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

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

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

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

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

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

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

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

II.1.2. Volet local Rhône Méditerranée

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

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

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

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

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

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

II.2.2. Le SDAGE

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

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

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

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

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

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

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

Réglementation concernant les ouvrages

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Réglementation concernant les débits réservés

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

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

II.3. Le PLAGEPOMI

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

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

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

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

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

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

Ainsi, les principaux objectifs du PLAGEPOMI concernant l'Anguille sont la reconquête des axes de colonisation (identification de zones d'actions prioritaires et d'ouvrages prioritaires à aménager pour favoriser la montaison et/ou la dévalaison des anguilles), le maintien et le renforcement du suivi de la migration (suivi des passes-pièges, mise en place de piégeage à la dévalaison, identification de rivières et lagunes index), connaître et suivre les pêcheries (encadrement de la pêche professionnelle), conforter les populations en place (classement des cours d'eau, suivi des actions entreprises sur la continuité) et poursuivre l'acquisition de connaissances (dynamique de populations, évaluation de la part d'échappement en cours d'eau).

II.4. Le Grenelle de l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ce plan, annoncé le 13 novembre 2009 a également fait l'objet d'une circulaire (25 janvier 2010) déclinant ses 5 principaux axes :

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

III. Contexte géographique

III.1. Configuration des sites

Les jeunes anguilles colonisant le Rhône depuis la mer rencontrent en tout premier lieu l'aménagement de Beaucaire-Vallabrègues (68 km de l'embouchure) (fig.14). Les deux aménagements suivants (Avignon et Caderousse) se trouvent respectivement à 94 km et 117 km de la mer.

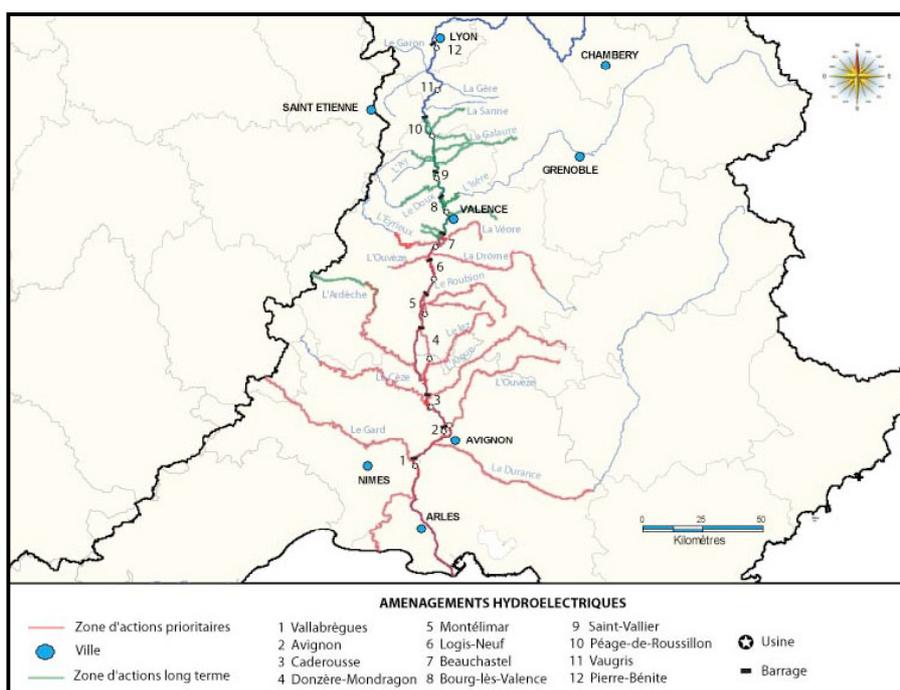


Figure 14 : Localisation des aménagements CNR du Rhône

L'aménagement de Beaucaire/Vallabrègues comprend deux ouvrages : le barrage de retenue de Vallabrègues et l'usine-écluse de Beaucaire (fig.15). 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'amenée et de fuite situés respectivement en amont et en aval de l'usine écluse.

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'écluse (lors d'une écluse 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.

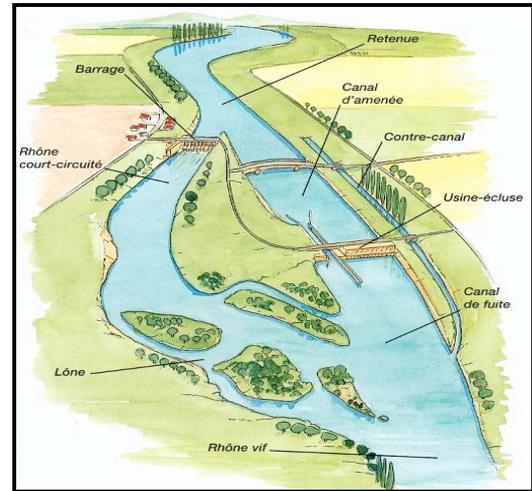
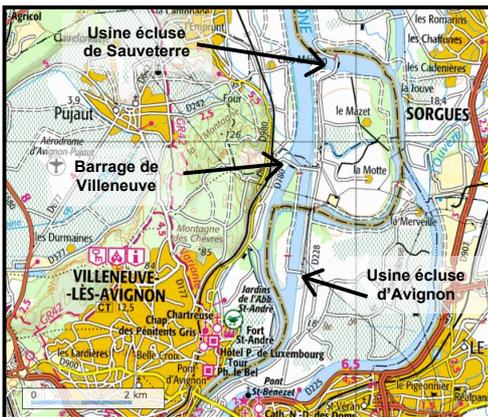


Figure 15 : Configuration générale du site*



Au niveau de l'aménagement d'Avignon (fig.16), les anguilles ont la possibilité de s'orienter vers le bras de Villeneuve (bras situé le plus en rive droite) où elles sont bloquées par le barrage de retenue. Elles peuvent également emprunter le bras d'Avignon (le plus en rive gauche) où le barrage usine de Sauveterre empêche également la migration. Il en est de même sur le bras central du Rhône où les anguilles sont bloquées par l'usine écluse d'Avignon. Elles peuvent toutefois profiter des éclusées pour rejoindre les secteurs situés en amont.

Figure 16 : Configuration générale de l'aménagement d'Avignon (geoportail)

L'aménagement de Caderousse présente une configuration semblable à celui de Beaucaire (fig.17). Les anguilles ont en effet le choix de s'orienter vers le Rhône court-circuité (elles butent contre le barrage de retenue et ont la possibilité de coloniser la Cèze) ou alors vers le canal de fuite (elles sont alors bloquées par l'usine et ont la possibilité de profiter des éclusées pour continuer leur route).

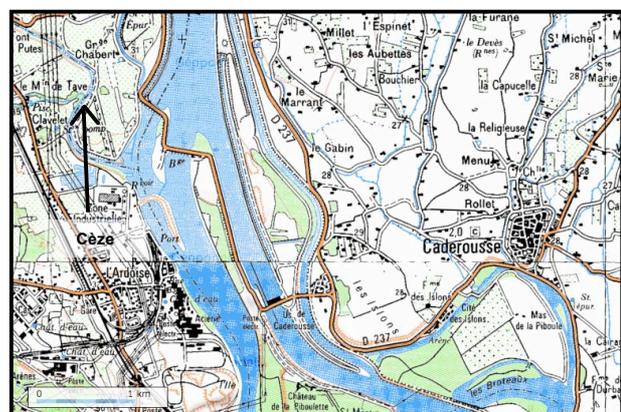


Figure 17 : Configuration de l'aménagement de Caderousse (geoportail)

III.2. Dispositifs de franchissement

Pour l'Anguille, l'efficacité des éclusées à bateaux ou à poissons n'est pas connue. Toutefois, jusqu'en 2011, le caractère nocturne de la migration de l'Anguille limitait certainement leur franchissement car les éclusées à poissons n'avaient lieu qu'en journée. En 2011, afin de prendre en compte cette problématique, des éclusées nocturnes ont été effectuées en complément des opérations diurnes.



En rive gauche du canal de fuite de l'usine éclusée de Beaucaire se trouve l'exutoire du contre-canal qui semble présenter un attrait (fig.18). 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).

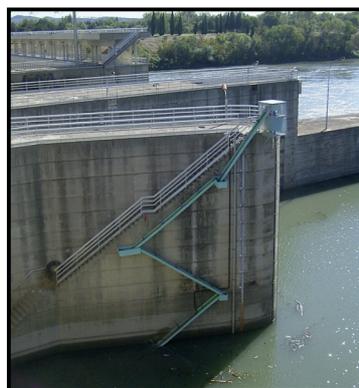
Figure 18 : Localisation de l'exutoire du contre canal en aval de l'usine de Beaucaire (geoportail)

En septembre 2005 et en juillet 2006, la CNR a fait construire deux passes-pièges à anguilles (fig. 19, 20) respectivement en rive gauche et en rive droite de l'usine qui représentent un moyen important de franchissement. Le suivi est assuré par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée depuis leur installation.

19)

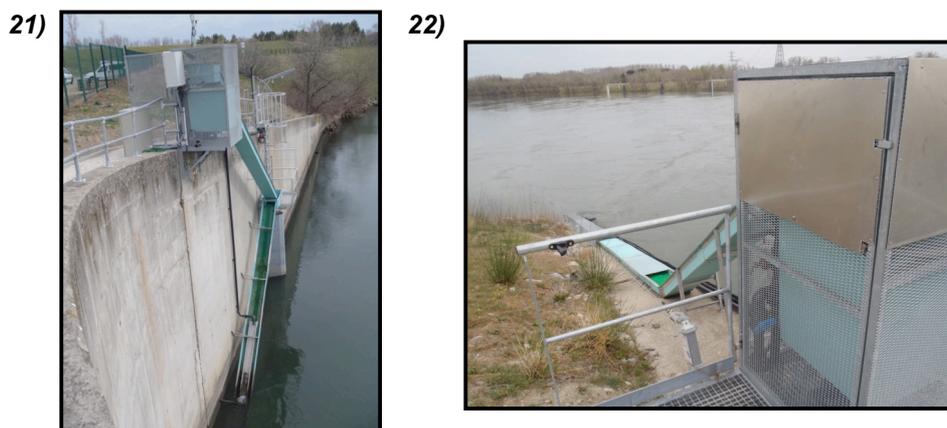


20)



Figures 19 et 20: Passes-pièges situées en rive gauche (19) et rive droite (20) de l'usine éclusée de Beaucaire (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) (fig.21, 22). Ainsi, l'usine éclusée d'Avignon et l'usine éclusée de Caderousse feront l'objet d'un suivi similaire à celui actuellement réalisé à Beaucaire. Le suivi de ces dispositifs devait être initié au printemps 2011, mais en raison de problèmes de sécurisation des sites, l'Association MRM ne devrait le démarrer qu'au printemps 2012.



Figures 21 et 22 : Passes-pièges situées en rive gauche des usines écluses d'Avignon (21) et de Caderousse (22)

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 passes-pièges à anguilles sont calées en fonction de l'activité migratoire des anguilles. Les résultats obtenus lors des précédentes campagnes ont ainsi 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'eugénoïl (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 dans un tableur 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. Structure en tailles

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 est donc 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 sont également confrontés au nombre d'anguilles capturées durant la période de suivi.

Les données de conductivité et de pH 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 de Beaucaire

I.1. Période et fréquence de suivi

En 2011, les stations de capture de rive droite et de rive gauche ont été mises en route le 4 avril. Le dispositif de rive gauche a fonctionné jusqu'au 14 novembre et celui de rive droite jusqu'au 9 décembre. Ainsi, le suivi 2011 a duré 250 jours pour la passe piège de rive droite et 225 pour celle de rive gauche.

Dans cette période, le dispositif de rive droite a été visité 78 fois et celui de rive gauche 66 fois ce qui correspond à une fréquence d'une visite tous les 3,5 jours en moyenne (minimum d'une visite par semaine, maximum de 5 visites par semaine).

I.2. Fonctionnement des pompes hydrauliques

Durant la période de suivi, différents problèmes de fonctionnement ont été rencontrés (tab.1) :

Des arrêts des pompes hydrauliques lorsque le Rhône était particulièrement bas (pompes hors d'eau, fig.23) :

Ce problème a déjà été observé au cours des campagnes précédentes. Il a pour conséquence majeure d'empêcher la remontée des anguilles d'une part (rampes asséchées) et peut provoquer de la mortalité chez les individus piégés dans le bac de captures d'autre part (pas de renouvellement de l'eau du bac).

Afin d'éviter ce problème pour les suivis à venir, il est nécessaire de déplacer les pompes plus en profondeur (prolongement du rail de soutien, par exemple).



Figure 23 : Pompe hydraulique et rampe hors de l'eau en rive gauche (MRM)

Ainsi, en raison du dysfonctionnement récurrent de la pompe hydraulique du dispositif de rive gauche, des interruptions du suivi en rive gauche ont eu lieu du 8 au 11 juillet, du 13 au 18 juillet, du 5 au 8 août, du 12 au 16 août et du 9 au 12 septembre. Des interruptions communes (rive droite et gauche) ont été réalisées du 19 au 22 août et du 30 septembre au 12 octobre. Au total, le suivi a été interrompu manuellement 34 jours au cours de la campagne 2011.

En attendant, lorsque l'intervenant constatait cet événement, il décidait en accord avec l'exploitant CNR d'arrêter ponctuellement le suivi (arrêts weekend, arrêts journaliers...). Ainsi, en raison des bas niveaux du Rhône, le suivi a été interrompu manuellement 34 jours en rive gauche au cours de la campagne 2011.

Une absence d'alimentation en eau du dispositif de capture de rive gauche :

Ce dysfonctionnement n'est pas décelable avec le suivi du compteur horaire car le moteur électrique est en marche. Si des anguilles sont piégées en grande quantité, des mortalités importantes peuvent alors avoir lieu en quelques heures. Une perte de charge dans le dispositif est probablement à l'origine du problème. Bien que des modifications du système hydraulique aient été opérées (ouverture du circuit de manière à créer un appel d'air), un problème probablement inhérent à la pompe hydraulique a persisté en fin de campagne.

Un dysfonctionnement du compteur horaire en rive droite :

Ce problème a été constaté à partir du 10 août jusqu'à la fin de la campagne. Par conséquent, il est impossible à partir de cette date de connaître le fonctionnement réel de la pompe hydraulique.

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

| Date | Rive droite | | Rive gauche | | Commentaire |
|----------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|--|
| | Nombre | % fonctionnement | Nombre | % fonctionnement | |
| 04/04/11 | Mise en route début de campagne | | Mise en route début de campagne | | |
| 06/04/11 | 0 | 100,0 | 0 | 100,0 | |
| 12/04/11 | 1 | 97,2 | 5 | 87,5 | |
| 14/04/11 | 0 | 100,0 | 0 | 87,5 | |
| 18/04/11 | 1 | 94,8 | 0 | 64,6 | |
| 21/04/11 | 0 | 100,0 | 0 | 58,3 | pompe RG arrêtée niveaux bas |
| 26/04/11 | 2 | 100,0 | 18 | 78,3 | |
| 28/04/11 | 2 | 100,0 | 0 | 33,3 | pompes arrêtées niveaux bas |
| 02/05/11 | 1 | 93,8 | 30 | 40,6 | |
| 05/05/11 | 1087 | 95,8 | 1157 | 48,6 | |
| 09/05/11 | 32 | 100,0 | 19 | 14,6 | |
| 11/05/11 | 0 | 100,0 | 0 | 8,3 | pas d'écoulement sur rampes en RG |
| 13/05/11 | 0 | compteur non relevé | 0 | compteur non relevé | pompe RG arrêtée niveaux bas |
| 18/05/11 | 0 | 99,4 | 0 | 4,2 | pompe RG arrêtée niveaux bas |
| 25/05/11 | 0 | 100,0 | 0 | 0,6 | pompe RG arrêtée niveaux bas |
| 30/05/11 | 1 | 94,2 | 0 | 0,0 | pompe RG arrêtée niveaux bas |
| 03/06/11 | 0 | 100,0 | 4 | 46,9 | |
| 06/06/11 | 0 | 100,0 | 0 | 100,0 | |
| 10/06/11 | 2 | 96,9 | 34 | 95,8 | |
| 15/06/11 | 0 | 99,2 | 4 | 49,2 | rampe non alimentée en RG |
| 23/06/11 | 6 | 99,5 | 14 | 22,9 | |
| 29/06/11 | 1 | 100,0 | 38 | 65,3 | |
| 06/07/11 | 11 | 90,5 | 3686 | 48,8 | 100% mortalité rive gauche |
| 08/07/11 | 1 | 100,0 | 0 | 33,3 | arrêt weekend en rive gauche |
| 11/07/11 | 1 | 100,0 | mise en route | | |
| 13/07/11 | 4 | 100,0 | 442 | 95,8 | arrêt weekend en rive gauche |
| 18/07/11 | 50 | 95,8 | mise en route | | mise en route en rive gauche |
| 20/07/11 | 1405 | 100,0 | 663 | 100,0 | |
| 22/07/11 | 105 | 89,6 | 1125 | 85,4 | |
| 25/07/11 | 128 | 100,0 | 310 | 100,0 | |
| 27/07/11 | 21 | 100,0 | 68 | 100,0 | |
| 29/07/11 | 15 | 91,7 | 15 | 87,5 | |
| 01/08/11 | 9 | 98,6 | 19 | 52,8 | |
| 03/08/11 | 45 | 85,4 | 1580 | 62,5 | |
| 05/08/11 | 210 | 93,8 | 457 | 62,5 | arrêt weekend en rive gauche |
| 08/08/11 | 535 | 97,2 | mise en route | | mise en route en rive gauche |
| 10/08/11 | 19 | Compteur HS | 640 | 85,4 | |
| 12/08/11 | 2 | Compteur HS | 265 | 66,7 | arrêt weekend en rive gauche |
| 16/08/11 | 4 | Compteur HS | mise en route | | mise en route en rive gauche |
| 19/08/11 | 25 | Compteur HS | 18 | 79,2 | arrêt weekend rives droite et gauche |
| 22/08/11 | | | | | mise en route en rives droite et gauche |
| 24/08/11 | 14 | Compteur HS | 87 | 89,6 | |
| 26/08/11 | 10 | Compteur HS | 116 | 79,2 | |
| 29/08/11 | 81 | Compteur HS | 51 | 52,8 | pompes non fonctionnelle niveaux bas |
| 31/08/11 | 2 | Compteur HS | 2 | 79,2 | |
| 02/09/11 | 1 | Compteur HS | 7 | 87,5 | |
| 05/09/11 | 2 | Compteur HS | 4 | 100,0 | |
| 07/09/11 | 0 | Compteur HS | 8 | 70,8 | Pompe hors d'eau en rive gauche, panne électrique en rive droite |
| 09/09/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 52,1 | Arrêt pompe hors d'eau en rive gauche |
| 12/09/11 | 0 | Compteur HS | mise en route | | Remise en fonctionnement en rive gauche |
| 14/09/11 | 0 | Compteur HS | 1 | 72,9 | |
| 16/09/11 | 0 | Compteur HS | 3 | 60,4 | |
| 19/09/11 | 2 | Compteur HS | 9 | 76,4 | |
| 21/09/11 | 2 | Compteur HS | 0 | 89,6 | |
| 23/09/11 | 2 | Compteur HS | 3 | 87,5 | |
| 26/09/11 | 0 | Compteur HS | 2 | 30,6 | |
| 28/09/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 52,1 | |
| 30/09/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 47,9 | Arrêt niveau trop bas rives droite et gauche |
| 12/10/11 | mise en route | | mise en route | | remise en route rives droite et gauche |
| 14/10/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 93,8 | |
| 17/10/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 54,2 | |
| 19/10/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 87,5 | |
| 21/10/11 | 0 | Compteur HS | 9 | 83,3 | |
| 24/10/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 73,6 | |
| 26/10/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 93,8 | |
| 28/10/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 100,0 | |
| 02/11/11 | 0 | Compteur HS | 7 | 13,3 | |
| 04/11/11 | 0 | Compteur HS | 0 | 58,3 | Travaux de maintenance sur les deux dispositifs |
| 07/11/11 | 13469 | Compteur HS | 15080 | 100,0 | Pompe non fonctionnelle en rive gauche, 20 à 25% de mortalité |
| 08/11/11 | 16950 | Compteur HS | 30 | 91,7 | Pompe non fonctionnelle en rive gauche |
| 09/11/11 | 9503 | Compteur HS | 561 | 100,0 | |
| 10/11/11 | 5887 | Compteur HS | 1378 | 95,8 | Pompe non fonctionnelle en rive gauche |
| 12/11/11 | 14539 | Compteur HS | 4 | 100,0 | Pompe non fonctionnelle en rive gauche |
| 14/11/11 | 3730 | Compteur HS | 0 | 100,0 | Arrêt de campagne en rive gauche |
| 16/11/11 | 9748 | Compteur HS | | | |
| 18/11/11 | 2184 | Compteur HS | | | |
| 21/11/11 | 1803 | Compteur HS | | | |
| 23/11/11 | 87 | Compteur HS | Fin de Campagne dysfonctionnement | | |
| 30/11/11 | 38 | Compteur HS | | | |
| 05/12/11 | 25 | Compteur HS | | | |
| 09/12/12 | 8 | Compteur HS | | | |

II. Dynamique de la migration

II.1. Nombre d'anguilles capturées

Durant le suivi de la campagne 2011, 109 786 anguilles environ ont été capturées à l'usine éclusée de Beaucaire (81 813 en rive droite et 27 973 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 2011 est également étudiée et elle est confrontée aux paramètres environnementaux (débit du Rhône, cycle lunaire, température, pH et conductivité de l'eau).

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

(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 |
| 2011 | 81 813 | 27 973 | 109 786 |

(3)

| | rive droite | rive gauche | total |
|--------------|---------------|---------------|----------------|
| avril | 6 | 23 | 29 |
| mai | 1 121 | 1 206 | 2 327 |
| juin | 9 | 94 | 103 |
| juillet | 1 741 | 6 309 | 8 050 |
| août | 956 | 3 235 | 4 191 |
| septembre | 9 | 37 | 46 |
| octobre | 0 | 9 | 9 |
| novembre | 77938 | 17060 | 94 998 |
| decembre | 33 | 0 | 33 |
| total | 81 813 | 27 973 | 109 786 |

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. De plus, en 2007, le dispositif hydraulique ne fonctionnait pas en continu (arrêts automatiques des pompes). Par conséquent, seules les données de 2008 à 2011 sont comparables de manière pertinente.

Le nombre de captures a explosé en 2008 (fig.24) 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 de la meilleure année depuis la mise en place des passes pièges alors que l'année 2011 est une année intermédiaire.

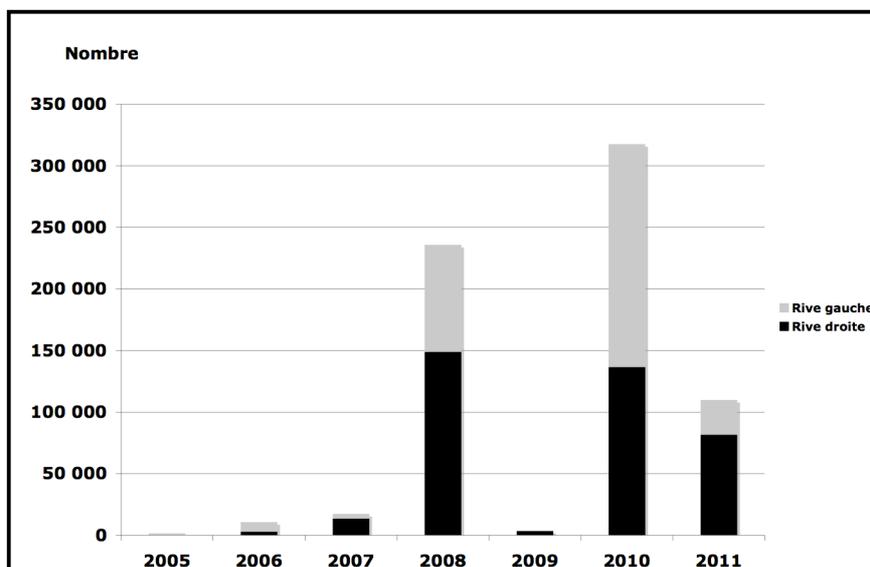
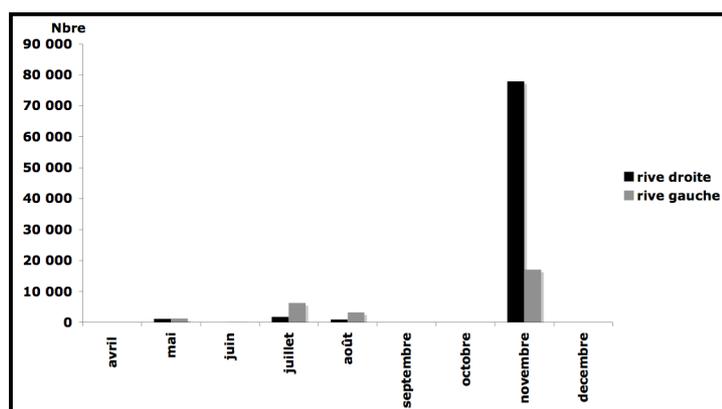


Figure 24 : Evolution des captures depuis le début du suivi (Auphan, 2005 ; Auphan & Delhom, 2006 ; Vanel et al., 2007 ; Campton et al., 2008 ; Campton & Lebel, 2009 ; Campton & Lebel, 2010)

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 (qui dépend en grande partie des conditions hydroclimatiques).

Les résultats de l'année 2011 laissent donc supposer que le recrutement du Rhône au cours de l'hiver 2010/2011 a été relativement bon 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.

II.1.2. Comparaison rive droite / rive gauche



Au cours du suivi 2011, 74,5 % des anguilles capturées ont transité par la passe-piège de rive droite et 25,5 % par celle de rive gauche (fig.25, 26). Cette observation s'explique directement par le résultat des captures du mois de novembre au cours duquel le dispositif de rive gauche a connu de nombreux dysfonctionnements techniques.

Figure 25 : Evolution des captures mensuelles de l'année 2011

La proportion d'anguilles transitant entre la passe piège de rive droite et celle de rive gauche diffère d'une année à l'autre et il n'est pas possible de conclure sur l'attractivité supérieure d'un des deux dispositifs. En dehors de l'emplacement du dispositif sur le cours d'eau, l'attractivité dépend de la force des écoulements sur les rampes de reptation et du débit d'attrait tous deux générés par la pompe hydraulique. Ainsi, les variations significatives du fonctionnement des pompes hydrauliques observées durant les suivis peuvent engendrer des différences importantes entre la passe piège de rive droite et de rive gauche.

| Année | Rive droite | Rive gauche |
|-------|-------------|-------------|
| 2006 | 27,4% | 72,6% |
| 2007 | 77,9% | 22,1% |
| 2008 | 63,1% | 36,9% |
| 2009 | 94,2% | 5,8% |
| 2010 | 43,0% | 57,0% |
| 2011 | 74,5% | 25,5% |

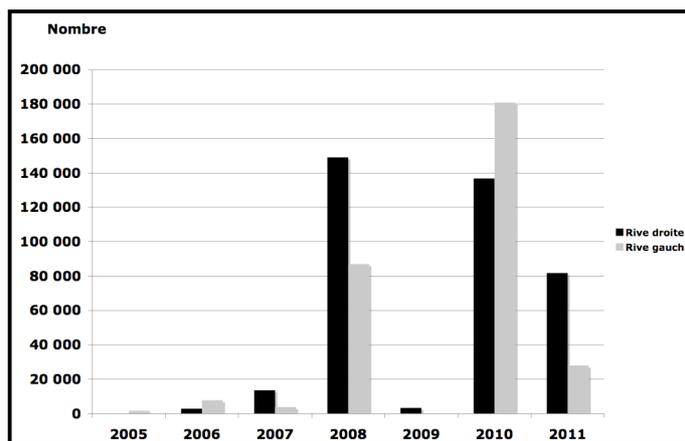


Figure 26 : Nombre et pourcentage de captures en rive droite et rive gauche de l'usine de Beaucaire de 2005 à 2011

II.2. Déroulement de la migration 2011

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 dès la mi-avril (une anguille capturée en rive droite et cinq en rive gauche lors de la relève du 12 avril notamment). Contrairement aux autres années, la majorité des captures a eu lieu au mois de novembre. En dehors de ce pic majeur de captures, la principale fenêtre de migration concerne le mois de mai à août (observation similaire aux années précédentes de suivi).

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.27). Cinq pics majeurs de captures ont ainsi été identifiés:

- Le premier pic est intervenu entre le 29 avril et le 9 mai (211,5 anguilles capturées par jour en moyenne, soit 2,1 % des captures totales).
- Le deuxième pic a eu lieu entre les relèves du 29 juin et du 6 juillet (528 anguilles capturées par jour en moyenne, soit 3,4 % des captures).
- Le troisième pic a eu lieu entre les relèves du 19 et du 27 juillet (425 anguilles par jour en moyenne, soit 3,5 % des captures totales).
- Le quatrième pic, plus étalé dans le temps a eu lieu entre le 2 et le 12 août (341 anguilles capturées par jour, soit 3,4 % des captures totales).
- Enfin, le cinquième et plus important pic est intervenu en fin de campagne du 7 au 23 novembre (5 935 anguilles par jour en moyenne, soit 86,5 % des captures totales).

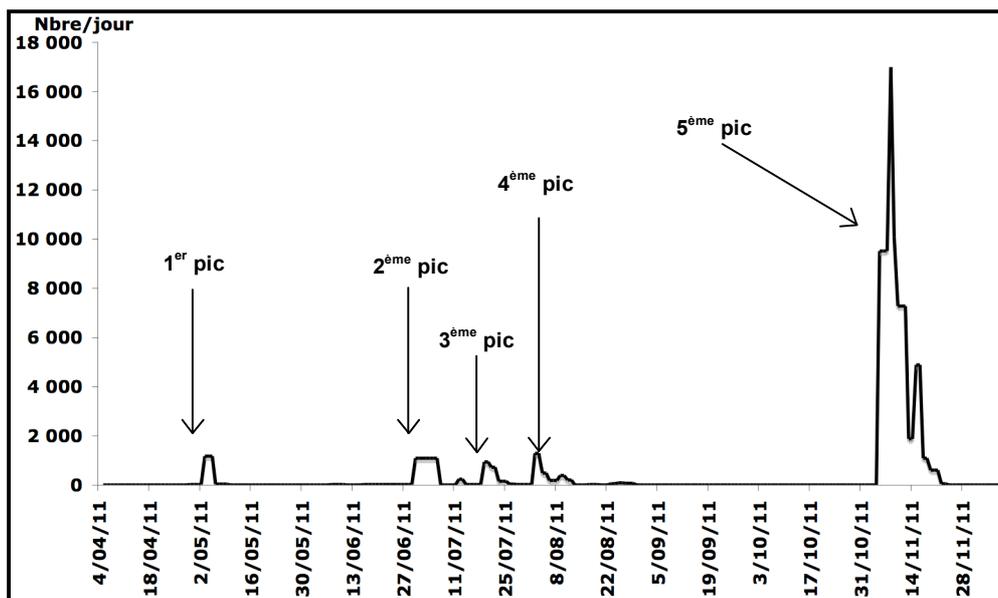


Figure 27 : Variation du nombre moyen de captures journalières lors de chaque relève des passes pièges de l'usine écluse de Beaucaire

En raison du dysfonctionnement de la pompe hydraulique en rive gauche et malgré la présence des pompes à air dans le bac de capture, la totalité des anguilles capturées lors de la relève du 6 juillet ont été retrouvées mortes.

Suite à ce constat, le fonctionnement des passes pièges a été volontairement interrompu lors de certains week-end (interruption du vendredi au lundi si les débits de turbinage prévus par la CNR sont inférieurs à 500 m³/s) et lors de certains jours ouvrés (en raison d'un étiage du Rhône particulièrement sévère, les pompes hydrauliques se retrouvaient en effet la majorité du temps hors d'eau).

II.3. Déterminisme de la migration 2011

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

II.3.1. Influence de la température

De manière générale, la température de l'eau (fig.28) a progressivement augmenté du début du mois d'avril à la fin du mois d'août (de 15,5°C le 4 avril à 25,6°C le 23 août) puis elle a diminué de manière progressive de la fin du mois d'août jusqu'à la fin du suivi le 9 décembre (de 25,6°C le 23 août à 11,5°C). La température de l'eau du Rhône n'a ainsi pas connu de variation brutale au cours du suivi hormis du 13 au 26 juillet (26,1°C à 19,4°C, soit une diminution de 6,7°C en 13 jours).

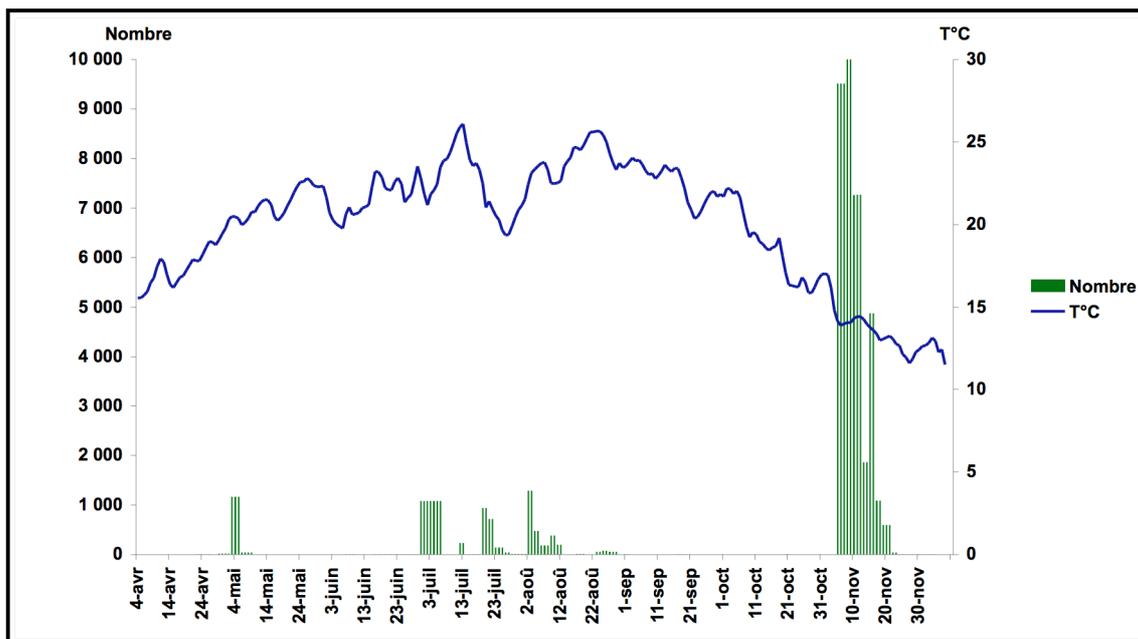


Figure 28 : Evolution du nombre de captures et de la température

Les premières anguilles ont été capturées au tout début du suivi alors que la température de l'eau était d'ores et déjà élevée (> 15°C). Le nombre d'anguilles décomptées dans les passes pièges est resté faible les premiers jours du suivi et le premier pic de captures (29 avril au 9 mai) est intervenu lorsque la température de l'eau avoisinait 20°C (20,1°C en moyenne au cours du pic de captures).

Les trois pics de captures suivant ont également eu lieu à des températures supérieures à 20°C (2^{ème} pic à 22,4°C en moyenne, troisième pic à 20,6°C en moyenne, quatrième pic à 23,0°C en moyenne). Seul le dernier épisode de fortes remontées (et de loin le plus important) a eu lieu à des températures relativement basses (13,7°C en moyenne).

La température est restée relativement constante durant le suivi et ne semble pas expliquer les 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.29).

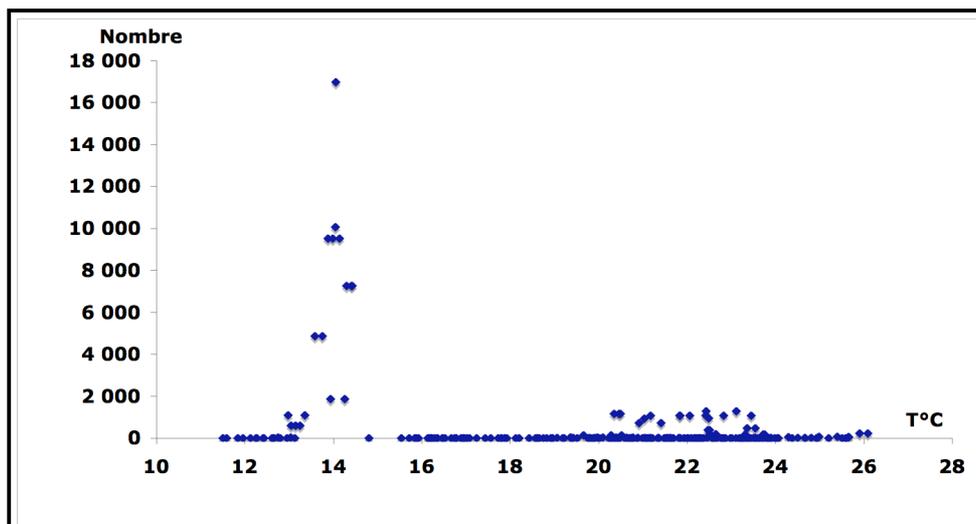


Figure 29 : Corrélation entre la température de l'eau et le nombre d'anguilles capturées par jour

La corrélation n'est en effet pas avérée (coefficient de corrélation $r^2 = 0,1$ éloigné de 1). La quasi-totalité des captures a été réalisée à des températures supérieures à 13,0°C environ (hormis quelques captures observées lorsque la température de l'eau avoisinait 12°C en fin de suivi) et la majorité (> 90 % des captures) lorsque la température était aux environs de 13,6°C. Ainsi, au regard de ces données, on peut penser que la température optimale pour la migration des anguilles est 14°C.

Les années précédentes de suivi, la totalité des anguilles avaient été capturées pour des températures minimales s'échelonnant de 10°C (année 2007) à 14°C (année 2009) (tab.4). Les observations réalisées en 2011 sont donc en accord avec ces résultats. Cependant, la majorité des captures des campagnes précédentes s'est effectuée pour des plages de températures plus élevées que 2011.

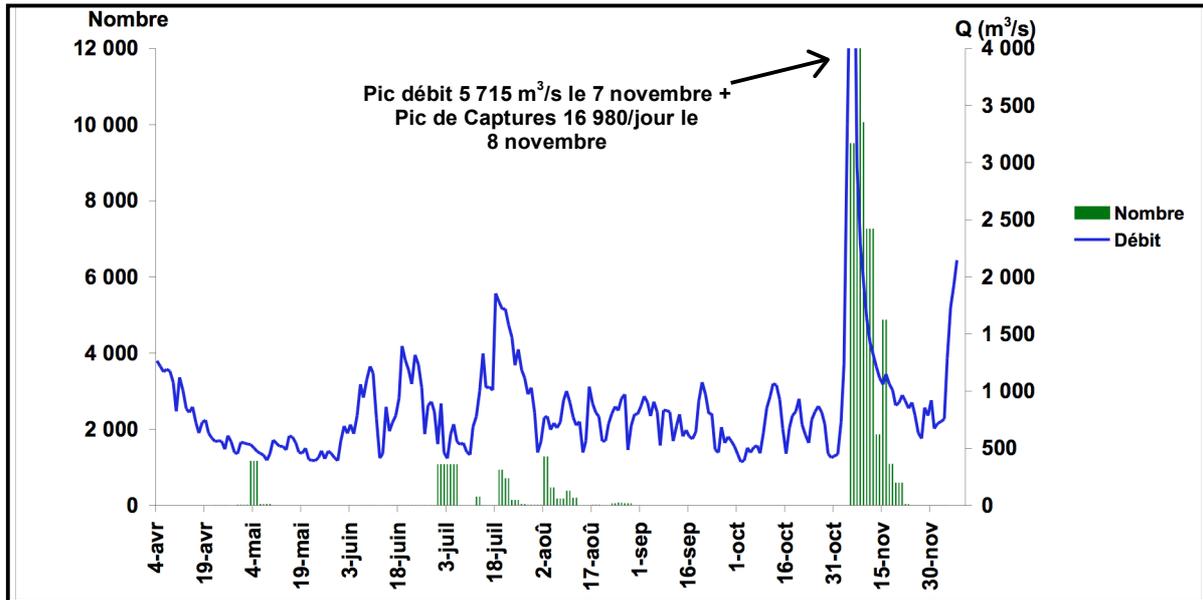
Tableau 4: Températures minimales de captures et gamme de températures pour lesquelles la majorité des anguilles a été capturée (années 2006 à 2011)

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Premières captures | 11°C | 10°C | 12°C | 14°C | 11°C | 11,5°C |
| Majorité des captures (90% environ) | 16,5°C à 27,5°C | 19,5°C à 22,5°C | 15,5°C à 22,5°C | 18°C à 25,5°C | 18°C à 25,5°C | 13,5°C à 14,5°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 (seuil se trouvant aux environs de 12°C environ). En 2011, les températures du Rhône étaient donc supérieures à ce seuil du début à la fin du suivi.

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.30).



Le débit du Rhône est resté très faible durant la période de migration des anguilles (débit moyen = 860 m³/s). Il a en effet très rarement dépassé 1 500 m³/s (seulement 15 jours durant le suivi dont 10 jours durant la crue de novembre). Quatre périodes peuvent néanmoins être identifiées :

- Du début du suivi au 30 mai : le débit du Rhône diminue (maximum de 1 263 m³/s le 4 avril, minimum de 390 m³/s le 30 mai) et ne subit pas de variation importante.
- Du 30 mai au 30 juillet : bien que le débit du Rhône reste relativement faible, il connaît des variations relativement importantes sur des pas de temps courts (augmentation de 780 à 1 217 m³/s du 5 au 9 juin ; augmentation de 453 à 1 392 m³/s du 13 au 19 juin ; augmentation de 441 à 1 854 m³/s du 10 au 18 juillet).
- Du 31 juillet au 2 novembre : le Rhône reste à nouveau à un débit très faible (711 m³/s en moyenne) et ne subit pas de variations majeures.
- Du 2 novembre à la fin du suivi : le Rhône connaît une crue majeure avec des variations très importantes du débit (augmentation de 726 à 5 715 m³/s du 2 au 6 novembre ; débit moyen = 1 488 m³/s).

Le premier et le quatrième pic de captures d'anguilles sont intervenus durant une période de bas débits alors que le deuxième et le troisième pic de captures ont eu lieu durant la phase d'importante variation du débit (30 mai au 30 juillet). Le dernier pic de capture a eu lieu au cours de la crue du Rhône de novembre. Au total, 93,4 % des captures sont intervenues durant une phase de variation majeure du débit du Rhône.

Ainsi, il semble que le débit du Rhône ait joué un rôle déterminant dans le déroulement de la migration 2011. Il est en effet resté très bas la majeure partie du suivi (seules quelques variations importantes aux mois de juin et juillet), engendrant très peu de captures, puis il a très fortement augmenté en novembre et provoqué une remontée majeure d'anguilles dans les passes-pièges.

II.3.3. Influence de la lune

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 2011 ont eu lieu pendant différentes phases lunaires (fig.31, tab.5).

Les deux premiers pics de captures correspondaient à une période de faible pourcentage de pleine lune (0 à 35 % et 0 à 29 % de pleine lune). Le quatrième pic de captures était plus étalé dans le temps (14 à 85 % de pleine lune), mais le maximum de ce pic (2 et 3 août) a été observé alors que le pourcentage de pleine lune était relativement faible (14 à 20 % environ).

Les deuxième et cinquième pics de captures ont été observés durant des périodes où la lune était plus proche de sa phase « pleine » (respectivement 26 à 80 % et 20 à 100 %).

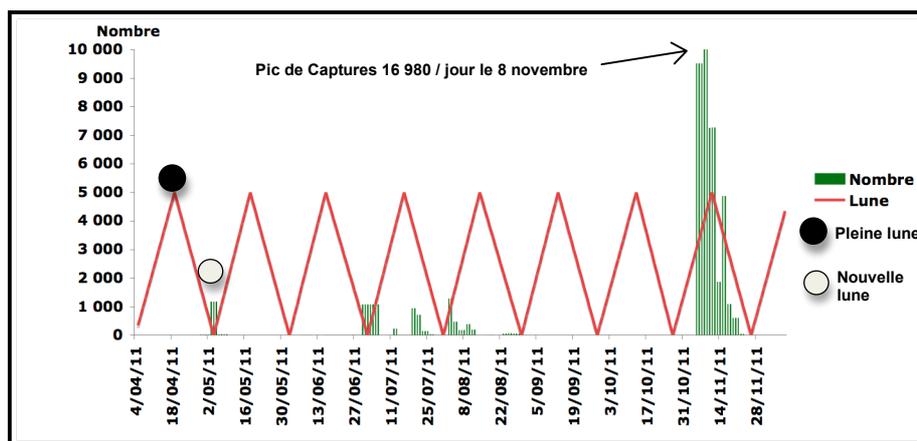


Figure 31 : Evolution des captures et du cycle lunaire

Tableau 5 : Episodes des pics de captures et cycle lunaire

| Pic de captures | % de pleine lune |
|----------------------|------------------|
| 29 avril au 9 mai | 0 à 35 |
| 29 juin au 6 juillet | 0 à 29 |
| 19 au 27 juillet | 26 à 80 |
| 2 au 12 août | 14 à 85 |
| 7 au 23 novembre | 20 à 100 |

Ainsi, en confrontant les captures uniquement au cycle lunaire, il n'a pas été observé de tendance particulière. Néanmoins, il est possible que 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 épisode de fort débit peut engendrer un pic migratoire quelle que soit la phase de la lune).

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 271,5 à 486,6 " S ; gamme de variation du pH 7,7 à 8,5) (fig.32). Bien que le principal pic de captures d'anguilles du mois de novembre soit arrivé lors d'une chute importante de la conductivité, il serait prématuré d'attribuer un lien direct entre ces deux événements. En effet, la chute de conductivité s'explique très probablement par les lâchers de barrages de retenues situés sur les têtes de bassins versants des affluents du Rhône suite aux importantes précipitations qui ont eu lieu à la fin du mois d'octobre et au début du mois de novembre (eaux moins chargées que le Rhône).

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.

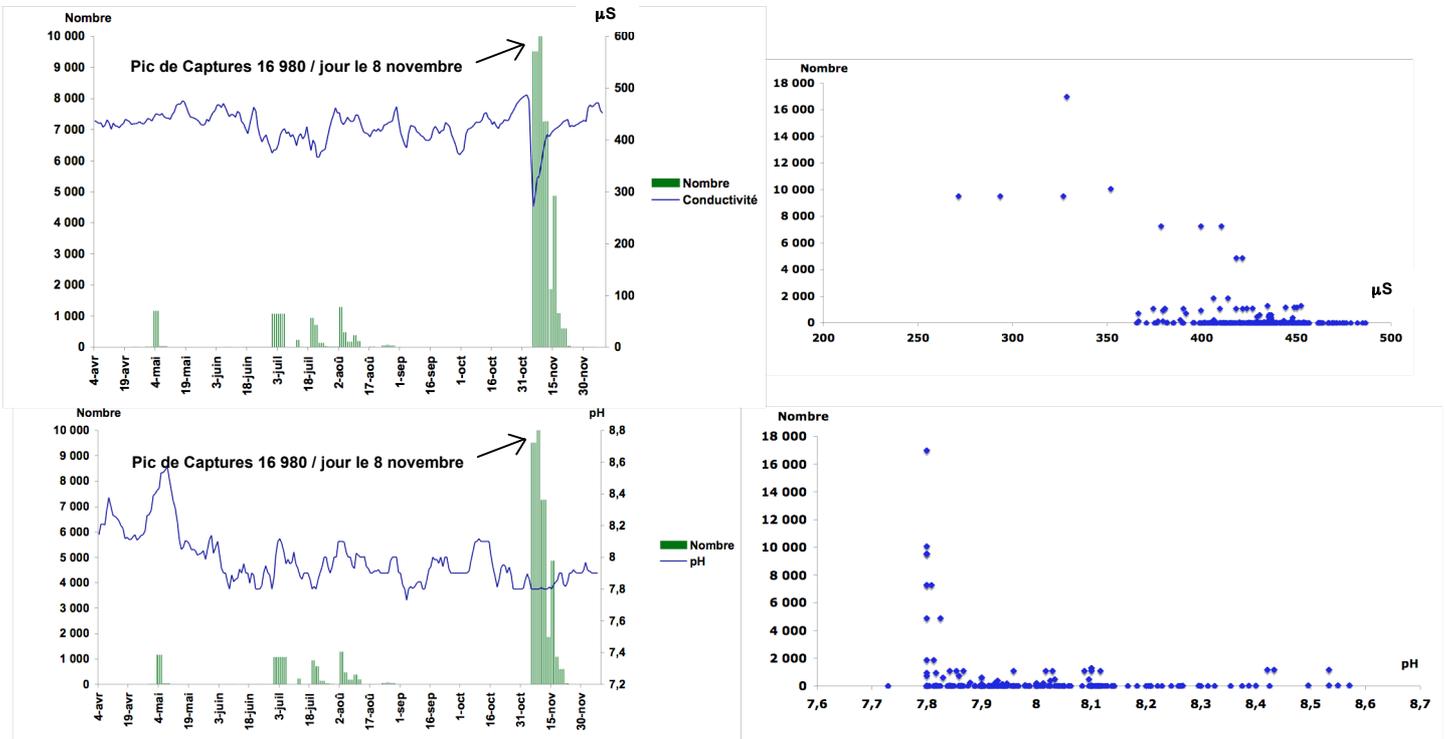


Figure 32 : Confrontation de la conductivité et du pH au nombre de captures journalières d'anguilles

II.3.5. Bilan de la migration 2011

Les facteurs environnementaux identifiés comme prépondérants dans le déterminisme de la migration des anguilles (bibliographie et précédentes campagnes) ont été réunis dans la figure 33 afin de déceler d'éventuels effets de leur interaction sur la remontée des anguilles.

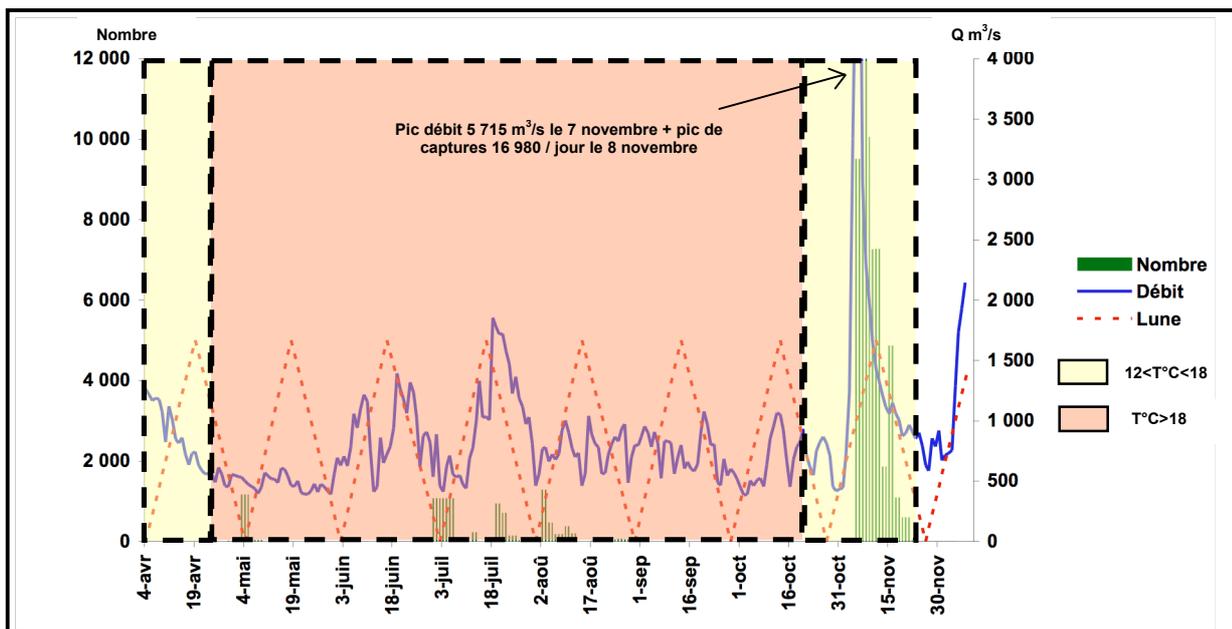


Figure 33 : Confrontation des captures au débit du Rhône, à la température et au cycle lunaire

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) avant le début du suivi. Elle est restée favorable à la migration des anguilles durant la majorité du suivi (jusqu'au 25 novembre) et optimale (>18°C) du 24 avril au 19 octobre.

Le débit a été très limitant d'avril à novembre étant donné qu'en dehors du 18 au 22 juillet, le Rhône n'a pas dépassé 1 500 m³/s. Durant cette période, les captures d'anguilles semblent avoir été régies par une combinaison de facteurs dont le cycle lunaire (augmentation du nombre de captures lors des périodes de nouvelle lune, diminution lors des périodes de pleine lune) probablement nombreux. Il est néanmoins difficile d'observer d'éventuelles tendances en les confrontant un à un au nombre de captures journalières.

Durant le suivi, les captures d'anguilles ont également été régies visiblement par les fortes hausses de débit (pics supérieurs à 1 500 m³/s) et particulièrement par celle du mois de novembre (l'effet du débit semble avoir été prépondérant par rapport à l'effet de la température et de la lune qui étaient moins favorables durant cette période).

Après le 25 novembre, bien que le débit ait augmenté, la basse température de l'eau a probablement inhibé la remontée des anguilles.

II.4. Déterminisme pluriannuel de la migration

La confrontation des données de piégeage aux variables environnementales permet de mieux comprendre le déterminisme de la migration. Les années précédentes de suivi ont mis en évidence que le facteur prépondérant dans le déterminisme de la migration des anguilles est le débit du Rhône et que peu de remontées sont observées en dessous d'une valeur seuil de 1 500 m³/s environ (Campton & Lebel, 2010 ; Campton & Lebel, 2009 ; Campton *et al.*, 2008).

Ainsi, afin d'expliquer en partie les résultats annuels de captures, l'évolution du débit du Rhône (débit d'usine + débit au barrage) durant les périodes de suivi est comparé de 2008 à 2011 (le nombre annuel de captures n'est pas comparable les années précédentes de suivi : suivi partiel pour les années 2005 à 2006, fonctionnement partiel des pompes hydrauliques en 2007) (fig.34).

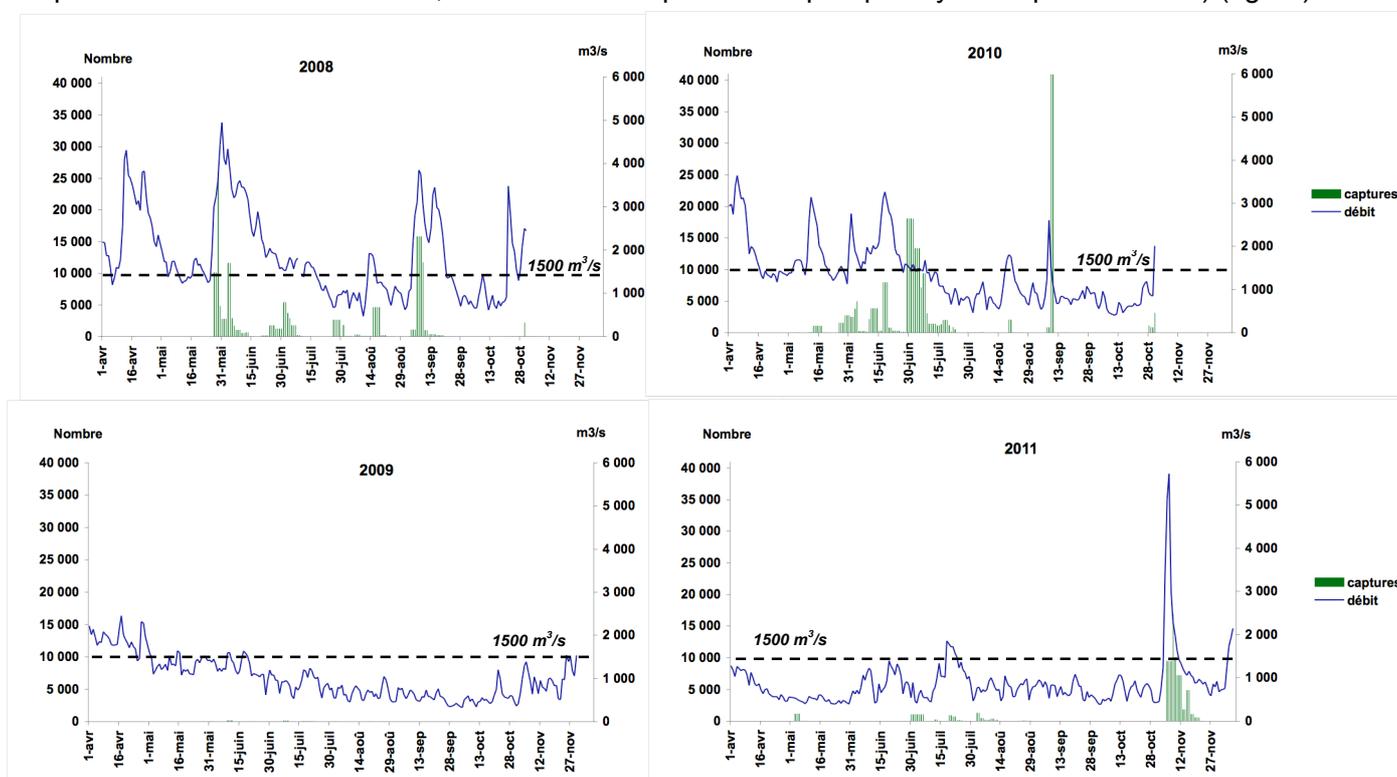


Figure 34 : Comparaison annuelle de l'évolution des captures avec le débit du Rhône (débit d'usine + débit du barrage) de 2008 à 2011 (source CNR)

On remarque que la fenêtre de migration des anguilles s'étend de mai à fin novembre. Les années 2009 et 2011, le débit du Rhône est resté très bas toute l'année et avec très peu de variations (hormis la crue de novembre 2011) en comparaison aux années 2008 et 2010 qui se distinguent par la présence de pics de débit importants tout le long du suivi. Durant ces périodes de bas débit, le nombre de captures est également resté très faible. Les diagrammes correspondant aux captures de l'année 2009 ne sont en effet quasiment pas visibles à l'échelle choisie dans la figure 34.

Il semble donc que la variation importante de débit soit un facteur stimulant la migration des captures. Au-delà de cette variation, il est également probable que la valeur du débit soit déterminante (peu de captures en dessous de 1 500 m³/s).

Pour illustrer cela, le pourcentage du nombre total de captures d'anguilles effectuées depuis 2008 a été calculé pour les jours où le débit moyen journalier dépasse une valeur seuil donnée dans la gamme [300 m³/s ; 3 000 m³/s] (calcul effectué pour les données de captures et de débit incluses dans la fenêtre de migration précédemment identifié : 1^{er} mai au 30 novembre) (fig.35).

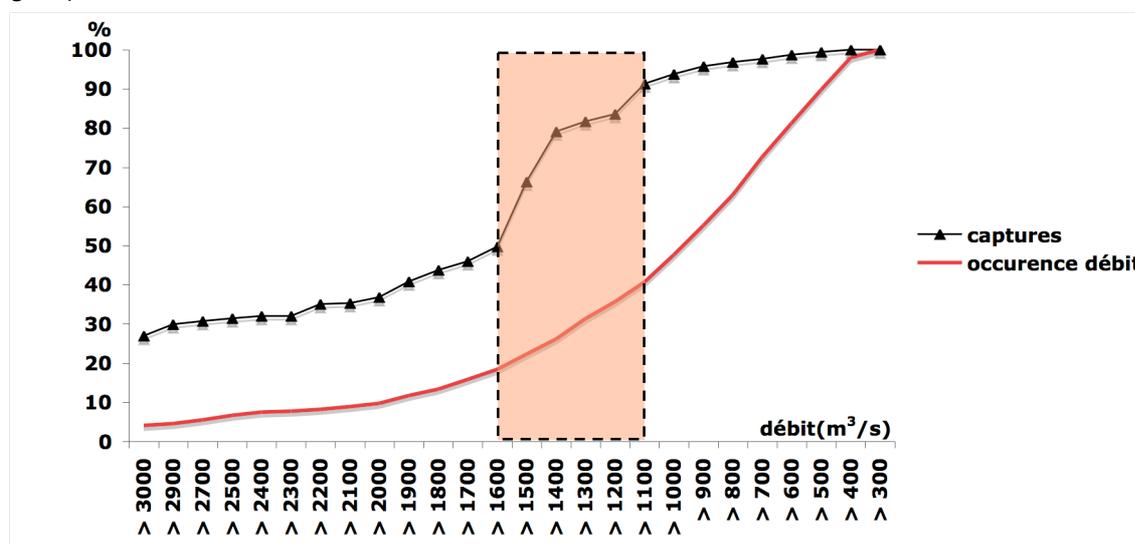


Figure 35 : Proportion (%) du nombre total d'anguilles capturées depuis 2008 pour les jours où le débit a dépassé une valeur donnée et proportion du nombre total de jours où le débit a dépassé une valeur donnée

De manière globale, les deux courbes présentent le même profil d'évolution pour les débits seuil de 3 000 à 1 600 m³/s. On peut donc expliquer l'augmentation de la proportion de captures par l'augmentation du nombre de jours où le débit a dépassé les valeurs seuil.

On observe que la proportion du nombre total d'anguilles capturées varie fortement entre les valeurs seuil de débit de 1 100 et 1 600 m³/s alors que le nombre de jours où le débit a dépassé ces valeurs seuil augmente plus modérément. Cette tendance s'inverse pour les plages de seuil de débit de 1 100 à 300 m³/s.

Ainsi, il semble qu'il existe une valeur seuil de débit comprise entre 1400 et 1600 m³/s au dessus de laquelle le débit provoque des remontées importantes d'anguilles.

La figure 36 permet de mieux visualiser ces tendances. En effet, on observe bien une différence importante de variation de la proportion du nombre total de captures qui ne s'explique pas par la variation du nombre de jours où le débit a dépassé ces valeurs seuils.

Pour des valeurs seuils de 1 100 à 300 m³/s, la forte augmentation du nombre de jours où le débit a dépassé les valeurs seuil ne provoque pas d'augmentation du nombre total de captures. Nous sommes donc très probablement dans une plage de débit où l'activité migratoire des anguilles est inhibée par les bas niveaux du Rhône.

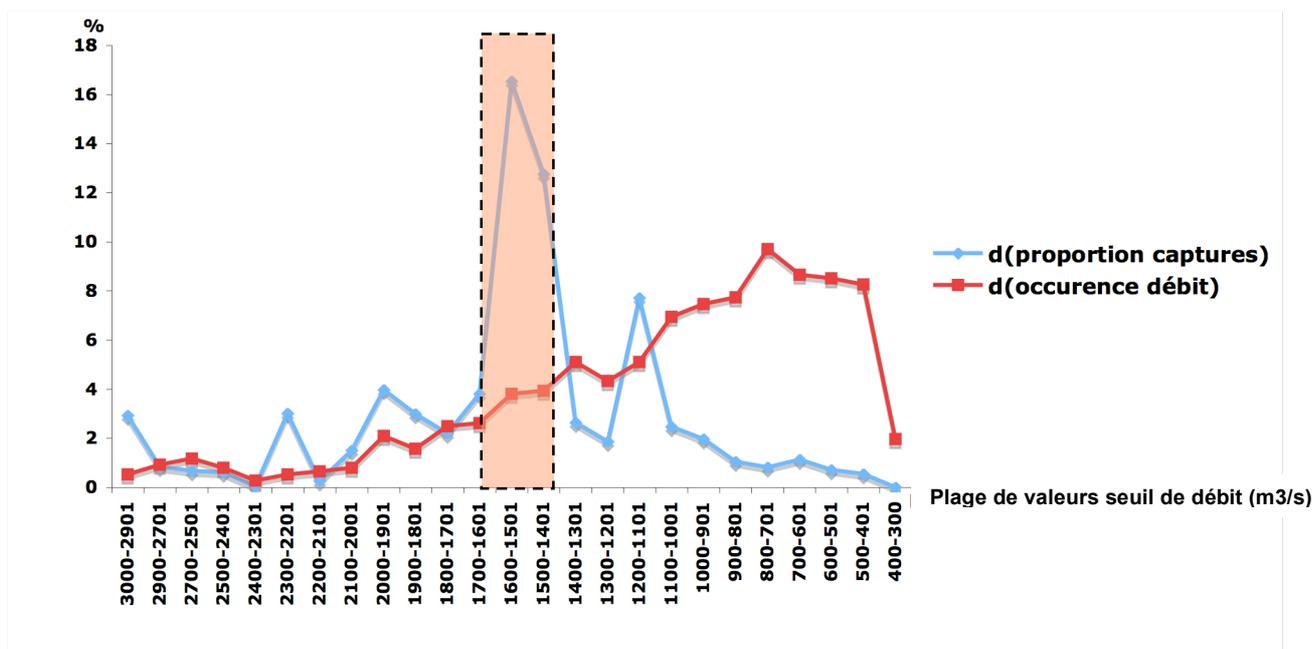


Figure 36 : Variation de la proportion du nombre d'anguilles capturées et de la proportion du nombre de jours entre les valeurs seuils de débit

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 141,0 mm (141,8 mm en rive droite ; 139,9 mm en rive gauche) (tab.6).

Tableau 6 : Informations générales sur la taille des anguilles capturées

| | Rive droite | Rive gauche |
|----------------|-------------|-------------|
| Taille moyenne | 141,8 mm | 139,9 mm |
| écart type | 53,1 mm | 49,2 mm |
| Taille min | 70 mm | 71 mm |
| Taille max | 392 mm | 362 mm |

Les distributions observées sur chaque rive sont similaires en rive droite et en rive gauche et l'écart de taille (0,2 cm) entre les deux moyennes est plus faible que l'écart existant entre les extrémités d'une classe de taille (1 cm) (fig.37). De plus, d'un point de vue biologique, une différence de taille moyenne de 0,2 cm pour des anguilles n'est pas significative.

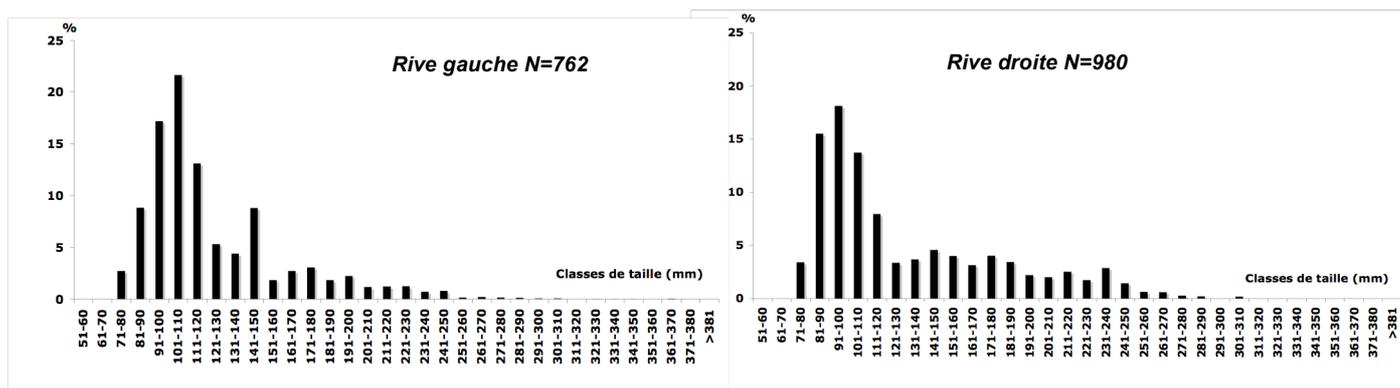


Figure 37 : Estimation de la distribution des tailles des anguilles capturées en rive droite et en rive gauche de l'usine écluse de Beaucaire à partir des individus biométrés

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 portent que sur les tailles toutes rives confondues.

III.2. Structure en tailles toutes rives confondues

III.2.1. Structure en tailles annuelles

La distribution des tailles de l'ensemble des anguilles capturées lors de l'année 2011 est représentée en figure 38.

Les tailles des anguilles capturées varient de 71 mm à 280 mm en général (99,6 % des anguilles).

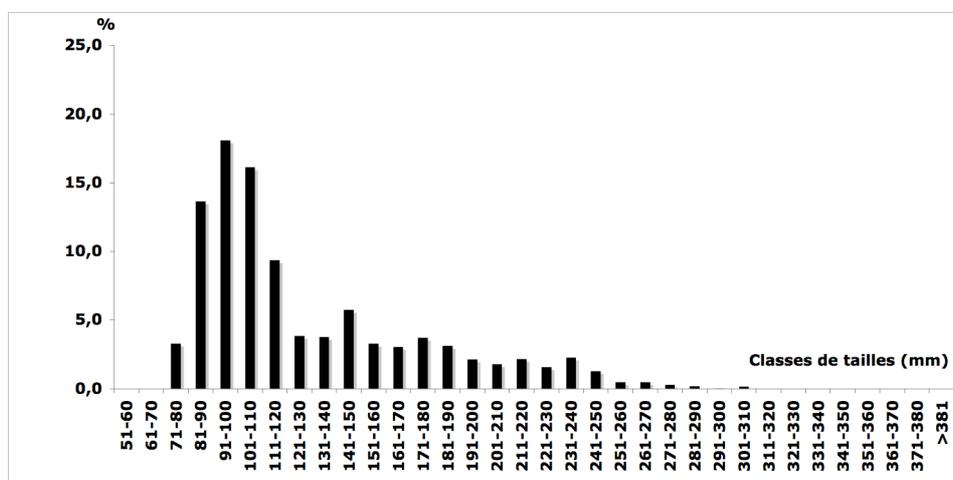


Figure 38 : Structures en tailles des anguilles remontées aux passes pièges (estimation à partir des individus biométrés (N = 1 742) au cours du suivi)

Le mode (classe de taille majoritaire) correspond à la classe 91-100 mm (18,1 % des individus). Les structures en tailles obtenues les années précédentes de suivi sont similaires à la figure 38 (Annexe C) (Auphan & Delhom, 2006 ; Vanel *et al.*, 2007 ; Campton *et al.*, 2008 ; Campton & Lebel, 2009 ; Campton & Lebel, 2010). 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). 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.

Bien que les distributions annuelles soient semblables, on peut noter que la proportion des anguilles de taille comprise entre 140 et 240 mm est plus importante en 2011 que les années précédentes (28,9 % en 2011 contre 20,4 % en 2010, 19,7 % en 2009, 23,8 % en 2008). Deux hypothèses peuvent expliquer cette observation :

- Le recrutement 2010/2011 a été moins bon que les années précédentes,
- Le recrutement a été très bon l'année précédente (2009/2010) et les individus restés à l'aval de Vallabrègues sont capturés cette année.

III.2.2. Structure 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 (28 anguilles seulement). Les anguilles capturées au mois d'avril ont donc été regroupées aux anguilles capturées au mois de mai. Il en est de même pour les mois de septembre / octobre d'une part, et novembre / décembre d'autre part.

La taille moyenne des anguilles est maximale au mois d'avril/mai (175,5 mm) et minimale au mois de novembre / décembre (125,7 mm) (fig.39). On observe une diminution significative de la taille moyenne d'avril / mai à juin (test de wilcoxon, pvalue = 2.10^{-6}) (tab.7). Elle semble se stabiliser de juillet à octobre (pas de différence significative entre juin et les autres mois jusqu'à octobre), puis elle diminue de nouveau au mois de novembre / décembre.

Tableau 7: comparaison statistique (test de wilcoxon, pvalue) des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées (! = 0,05)

| | Avril Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre Octobre | Novembre Décembre |
|-------------------|-----------|----------------|----------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Avril Mai | | $2,00.10^{-9}$ | $2,2.10^{-16}$ | $6,5.10^{-9}$ | 0,0058 | $2,2.10^{-16}$ |
| juin | | | 0,06 | 0,34 | 0,87 | $1,5.10^{-4}$ |
| juillet | | | | $1,8.10^{-5}$ | 0,22 | 0,0056 |
| août | | | | | 0,74 | $4,8.10^{-16}$ |
| Septembre Octobre | | | | | | 0,026 |

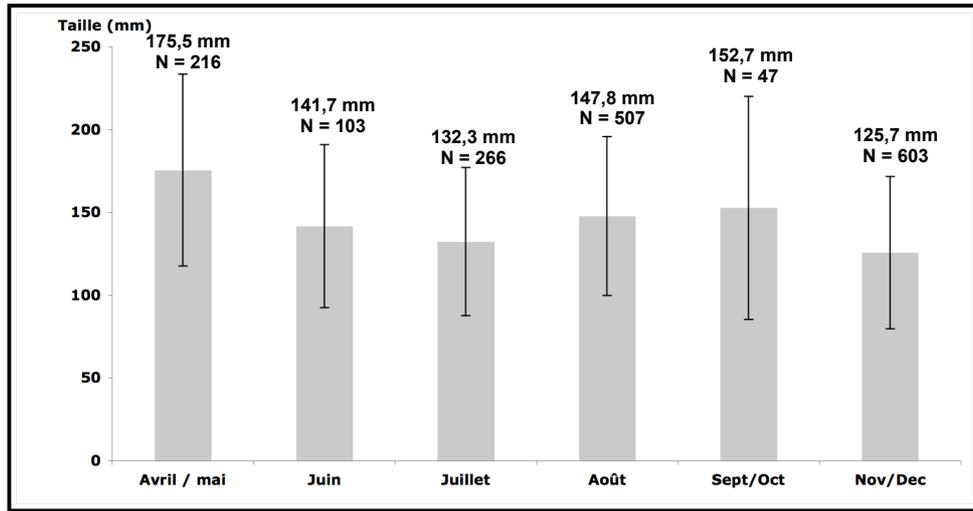


Figure 39 : Représentation des tailles moyennes mensuelles des anguilles échantillonnées

Afin de compléter cette analyse, les distributions en tailles ont également été établies mensuellement (fig.40).

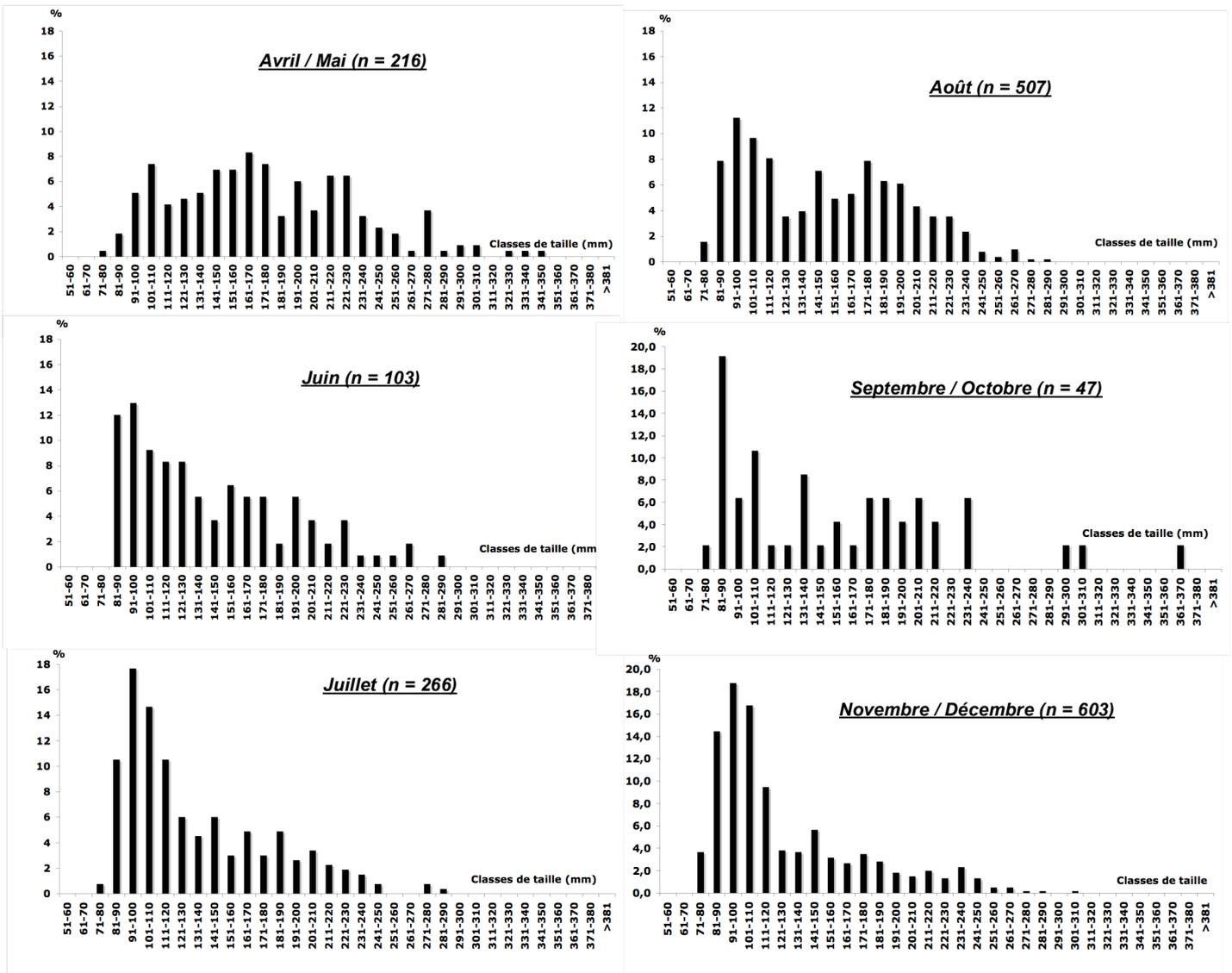


Figure 40 : Distribution mensuelle des tailles des anguilles échantillonnées à l'usine écluse de Beaucaire (rive droite et rive gauche confondues)

L'évolution mensuelle de la structure en taille des anguilles capturées montre qu'au mois d'avril / mai, la répartition des classes de taille est relativement homogène (pas de classe de taille majoritairement représentée).

Au mois de juin, un pic se profile pour les anguilles de 81 à 110 mm (32,4 % des anguilles capturées). Ce pic se précise au mois de juillet (42,9 % des anguilles capturées) et la distribution s'homogénéise au mois d'août avec toutefois une dominance des petites classes de taille (28,8 % des anguilles capturées ont une taille comprise entre 81 et 110 mm). Très peu d'anguilles ont été échantillonnées en septembre / octobre, mais les individus de petites tailles semblent également être majoritaires (19,9 % des anguilles ont une taille comprise entre 81 et 110 mm). Enfin, la distribution des mois de novembre / décembre montre également une nette majorité de petits individus (50 % des anguilles mesurent entre 81 et 110 mm).

Ainsi, l'analyse des distributions en taille mensuelles laisse supposer que la migration de la cohorte issue du recrutement 2010/2011 s'est essentiellement effectuée de juin à novembre. Les individus issus de cette cohorte ont progressivement dominé la population d'anguilles migrantes durant cette période (augmentation des proportions au fil des mois).

La figure 41 permet de mieux visualiser les tendances.

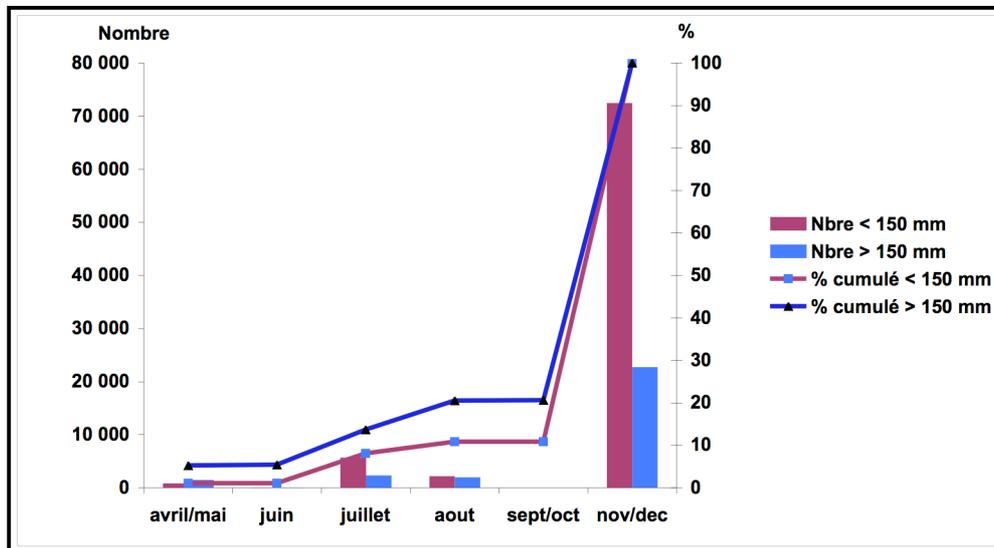


Figure 41 : Evolution du nombre de grandes et petites anguilles au cours du suivi 2011

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 150 mm) montrent que la migration des anguilles de la campagne 2011 s'est essentiellement effectuée au mois de novembre très probablement en raison de la crue du Rhône et que la cohorte 2010/2011 a progressivement dominé la population migrante de juin à novembre (maximum au mois de novembre).

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...).

Leur suivi devrait débuter au printemps 2012.

CONCLUSION

Le suivi 2011 des passes-pièges à anguilles sur l'usine écluse de Beaucaire a permis de capturer 109 786 anguilles (81 813 en rive droite, 27 973 en rive gauche) du mois d'avril jusqu'au 9 décembre. Le nombre d'anguilles remontées est inférieur à celui des campagnes 2010 et 2008, mais reste largement supérieur à 2009 et aux autres années de suivi.

Le déroulement de la migration a été similaire aux suivis précédents (remontées sous forme de pics ponctuels de captures). La température de l'eau est restée favorable ($>12^{\circ}\text{C}$) d'avril jusqu'au 25 novembre environ et n'a donc pas inhibé la remontée d'anguilles sur la majorité du suivi.

Le débit est resté particulièrement bas d'avril à novembre ne dépassant que très rarement $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ d'avril à fin octobre. Le nombre de captures est par conséquent resté faible durant cette période. Le débit a cependant provoqué des remontées massives au mois de novembre (crue du Rhône).

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.

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. L'évolution mensuelle des structures en tailles et le nombre d'anguilles capturées tendent à montrer que la migration de la cohorte issue du recrutement 2010/2011 s'est essentiellement effectuée de juin à novembre. Les individus issus de cette cohorte ont progressivement dominé la population d'anguilles migrantes au fil des mois durant cette période.

La poursuite du suivi est indispensable afin de mieux comprendre la dynamique de population de l'Anguille. Des investigations complémentaires (type marquage) permettraient également d'estimer la part d'individus qui transitent par les passes et la part d'individus qui transitent par les écluses de navigation. Il serait de plus intéressant de réaliser une 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.

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 2012.

Concernant la problématique de la dévalaison, 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 ont mis en évidence un taux de survie des anguilles après 48 h de mise en observation de 92 %. Pour compléter ces données et approfondir les connaissances de l'impact des aménagements hydroélectriques du Rhône sur la dévalaison des anguilles, des réflexions sont en cours pour mettre en place une étude visant à appréhender la répartition des anguilles argentées sur les différents bras d'un aménagement hydroélectrique du Rhône et à déterminer la dynamique de dévalaison en fonction des apports d'eau et des conditions thermiques. Des anguilles dévalantes devraient être équipées de transpondeurs passifs captés par des cables récepteurs posés au fond du Rhône de part et d'autres de certains aménagements hydroélectriques du Rhône aval (les aménagements de Caderousse, Avignon et Beaucaire sont pressentis).

BIBLIOGRAPHIE

- ACOU A., 2006. Bases biologiques d'un modèle pour estimer la biomasse féconde de l'anguille européenne en fonction des recrues fluviales et du contexte de croissance : approche comparative à l'échelle de petits bassins versants. Thèse Université Rennes 1. 333p.
- ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C., 2008, L'Anguille européenne : indicateurs de présence et de colonisation, éditions Quae, 393p.
- ALS T., HANSEN M., MAES G., CASTONGUAY M., RIEMANN L., ARESTRUP K., MUNK P., SPARHOLT H., REINHOLD H., BERNATCHEZ L., 2011. All roads lead to home : panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology* (2011) 20, 1333-1346. 14p.
- AMILHAT E., 2007, Etat sanitaire de l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône Méditerranée Corse : synthèse bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Cepralmar. CBETM, Université de Perpignan, 88 p.
- AMILHAT E., FARRUGIO H., LECOMTE-FINIGER R., SIMON G., SASAL P., 2009, Silver eel population size and escapement in a Mediterranean lagoon : Bages-Sigean, France. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* (2008) 390-391, 05. 11p.
- ANTUNES C., TESCH F-W., 1997, A critical consideration of the metamorphosis zone when identifying daily rings in otoliths of European eels, *Anguilla anguilla* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 6 : pp 102-107.
- ASHWORTH S.T., BLANC G., 1997, *Anguillicola Crassus*, un colonisateur agressif récemment introduit dans les stocks européens d'Anguilles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (1997) 344/345 : 335-342.
- 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.
- BAISEZ A., 2003. Lettre d'information N°2 Mai 2003. Tableau de Bord Anguille du Bassin Loire. 4p.
- BANNING P., HAENEN O., 1990. Effects of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in wild and farmed eel, *Anguilla anguilla*. *Pathology in Marine Science. PAMAQ 3 Proceedings*. Virginia, USA, 1988. Academic Press. p 317-330.
- 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.
- CAMPTON P., LEBEL I., 2010, Suivi des passes à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'étude 2010., Association Migrateurs Rhône Méditerranée, rapport, 40p.+annexes.
- CARRY L., DELPEYROUX J-M., 2003, Etude des rythmes de migration des espèces amphibiotiques et holobiotiques de la Garonne au niveau de la station de contrôle de Golfech au cours de l'année 2002. Migado, rapport G18-03-RT, 26p.+ annexes.
- CHANCEREL F., 1994. La répartition de l'Anguille en France. Bull. Fr. Pêche Piscic. 335: 289-294.
- COGEPOMI RMC., 2004, Plan de gestion du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse 2004-2008, 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, 2011, Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée Corse 2010-2014. DIREN Rhône-Alpes, délégation de bassin RMC.
- COLLECTIF, 2009a, Plan de gestion Anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 – Volet local de l'Unité de gestion Corse., 23p.
- COLLECTIF, 2009b, Plan de gestion Anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 – Volet local de l'Unité de gestion Rhône Méditerranée., 32p.
- COLLECTIF, 2009c, SDAGE 2010-2015 du Bassin Rhône Méditerranée. Comité de bassin Rhône Méditerranée, 361p. + annexes.
- COLLECTIF, 2010, Plan de Gestion 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., CAMPTON P., LEBEL I., LE GURUN L., CONTOURNET P., 2009, Etude du recrutement des civelles et de leur devenir dans l'étang du Vaccarès., campagne 2009, Rapport de synthèse, Tour du Valat, Association Migrateurs Rhône Méditerranée, 39p.+annexes.
- 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 de synthèse, Tour du Valat, Association Migrateurs Rhône Méditerranée, 34p.
- CROZE O., LARINIER M., 2001, Libre circulation des poissons migrateurs., Guide technique n°4 – SDAGE RMC, 51p.
- DAEMEN E., CROSS T., OLLEVIER F., VOLCKAERT A.M., 2001. Analysis of the genetic structure of European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellite DNA and MtDNA markers., Marine Biology, 139, 755–764.

- DAVERAT F., TOMAS J., LAHAYE M., PALMER M., ELIE P., 2005, Tracking continental habitat shifts of eels using otolith Sr/Ca ratios : validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde-Garonne-Dordogne watershed, *Marine and freshwater Research*, 56(5) : 619-627.
- DEKKER W., 2000, A procrustean assessment of the European eel stock., *ICES Journal Marine Science*, 57 :938-947.
- DUFOUR S., 1996, Un exemple du cycle reproducteursous la dépendance de l'environnement : le cas de l'anguille. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 82, 17-26.
- DUPONT F., PETTER A.J., 1988, Anguillicola, une épizootie plurispécifique en Europe – Apparition de *Anguillicola crassa* (*Nematoda, Anguillicolidae*) chez l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* en Camargue, Sud de la France, *Bull. Fr. Pêche Piscic* 308:38-41.
- DURIF C.M.F., VAN GINNEKEN V., DUFOUR S., MÜLLER T., ELIE P., 2009, Seasonal Evolution and Individual Differences in Silvering Eels from Different locations., 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.
- EDELIN E., LAMBERT P., RIGAUD C., ELIE P., 2006, Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* glass eel migratory behaviour, *J.Exp. Marine Biol. Ecol*, 331 :217-225.
- 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.
- FEUNTEUN E., LAFAILLE P., ROBINET T., BRIAND C., BAISEZ C., OLIVIER J-M., ACOU A., 2003, A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Toward a general theory. In Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., *Eel Biology*. Tokyo, Springer Verlag, 191-213.
- FINIGER, 1976, Contribution à l'étude biologique et écologique des civelles (*Anguilla anguilla* Linné 1758) lors de leur pénétration dans un étang méditerranéen. *Vie Milieu*, 26, 123-144.

- FREYHOF J. & KOTTELAT M., 2008, *Anguilla anguilla*, in IUCN 2008, IUCN 2008 Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org
- GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAIKOECHEA C., 2000, Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Hasou (Nive, 64), INRA/EDF, rapport de contrat, 35p.+annexes.
- ICES., 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.
- KETTLE A.J. , HAINES K., 2006, How does the European freshwater eel (*Anguilla anguilla*) retain its population structure during its larval migration across the North Atlantic Ocean ? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63 :90-106.
- KLECKER R.C., MCCLEAVE J.D., WIPPELHAUSSER G.S., 1983, Spawning of American eel, *Anguilla rostrata*, relative to thermal fronts in the Sargasso Sea., Environmental Biology of Fishes : 289-293.
- KNIGHTS B., 2003, A review of the possible impacts of long term oceanic and climate change and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. Sci. Total Environ. 310 : 237-244.
- KRUEGER W.H., OLIVEIRA K., 1999, Evidence for environmental sex determination in the American eel, *Anguilla rostrata*. Environmental Biology of fishes 55 :381-389.
- LAFAILLE P., ACOU A., GUILLOUET J., LEGAULT A., 2005, Temporal changes in European eel (*Anguilla anguilla*) stocks in a small catchment after installation of fish-passes. Fisheries management and ecology, 12 : pp 123-129.
- LECOMTE-FINIGER R., 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., 2003a, 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.
- LEFEBVRE F., SERGENT E., ACOU A., LECOMTE-FINIGER R, CRIVELLI A.J., 2003b, Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française : analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1974-75 et 2000-01., Bull. Fr. Pêche Piscic., 368 : 85-96.
- LEGAULT A., 1988, Le franchissement des barrages par l'escalade de l'Anguille, Etude en Sèvre Niortaise., Bull. Fr. Pêche Piscic. 308 : 1-10
- LEGAULT A., LAFAILLE P., GUILLOUET J., ACOU A., 2004, Importance of specific fish passes for European eel (*Anguilla anguilla*) recruitment, Proceeding of the fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid., Aquatic Habitat : Analysis and Restoration. Madrid, AEHR, 937-941.

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

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.

MEEDDM, 2010, Mise en œuvre par l'Etat et ses établissements publics d'un plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau., Circulaire du 25 janvier 2010 n°NOR : DEVO0930186C., 6p.

MELIA P., BEVACQUA D., CRIVELLI A.J., DE LEO G.A., PANFILI J., GATTO M., 2006, Age and growth of *Anguilla anguilla* in the Camargue lagoons. Journal of Fish Biology (2006) 68, 876–890 13p.

MUCHIUT S., 2005, Ressource Anguille : Eléments de connaissance partagés à l'échelle européenne. AGLIA. Observatoire des pêches et des cultures marines du Golfe de Gascogne. IMA Bayonne. 2p.

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.

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

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

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

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

TESCH F.W., 1977, The eel. Biology and management of anguillid eels. London, Chapman & Hall. 434 p.

TESCH F.W., 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.

TESCH F.W., WEGNER G., 1990, The distribution of small larvae of *Anguilla* Sp. Related to hydrographic conditions between Bermuda and Puerto Rico, *Internationale revue der gesamtem Hydrobiologie*, 6 :845-858.

TZENG W.N., CHENG P.W., LIN F.Y., 1995, Relative abundance, sex ratio and population structure of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the Tanshui River system of northern Taiwan., *Journal of Fish Biology*, 46 : 183-201.

VAN DEN THILLART G., VAN GINNEKEN V., KÖRNER F., HEIJMANS R., VAN DER LINDEN R., GLUVERS A., 2004, Endurance swimming of the European Eel., *Journal of Fish Biology*, 65:312-318.

VAN DEN THILLART G., DUFOUR S., CLIFF RANKIN J., 2009, *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.

VIGIER J-F., 1997, *Les pathologies des Anguilles : synthèse des connaissances sur la pathologie des différentes espèces du genre Anguilla*. Cemagref. 198p.

WESTERBERG H., 1979, Counter-current orientation in the migration of the European eel. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer*, 174 : 134-143.

WIRTH T., BERNATCHEZ L., 2001, Genetic evidence against panmixia in the European eel. *Nature*, Vol.409, 6823, 1037-1040.

WHITE E.M. & KNIGHTS B., 1997, Environmental factors affecting 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

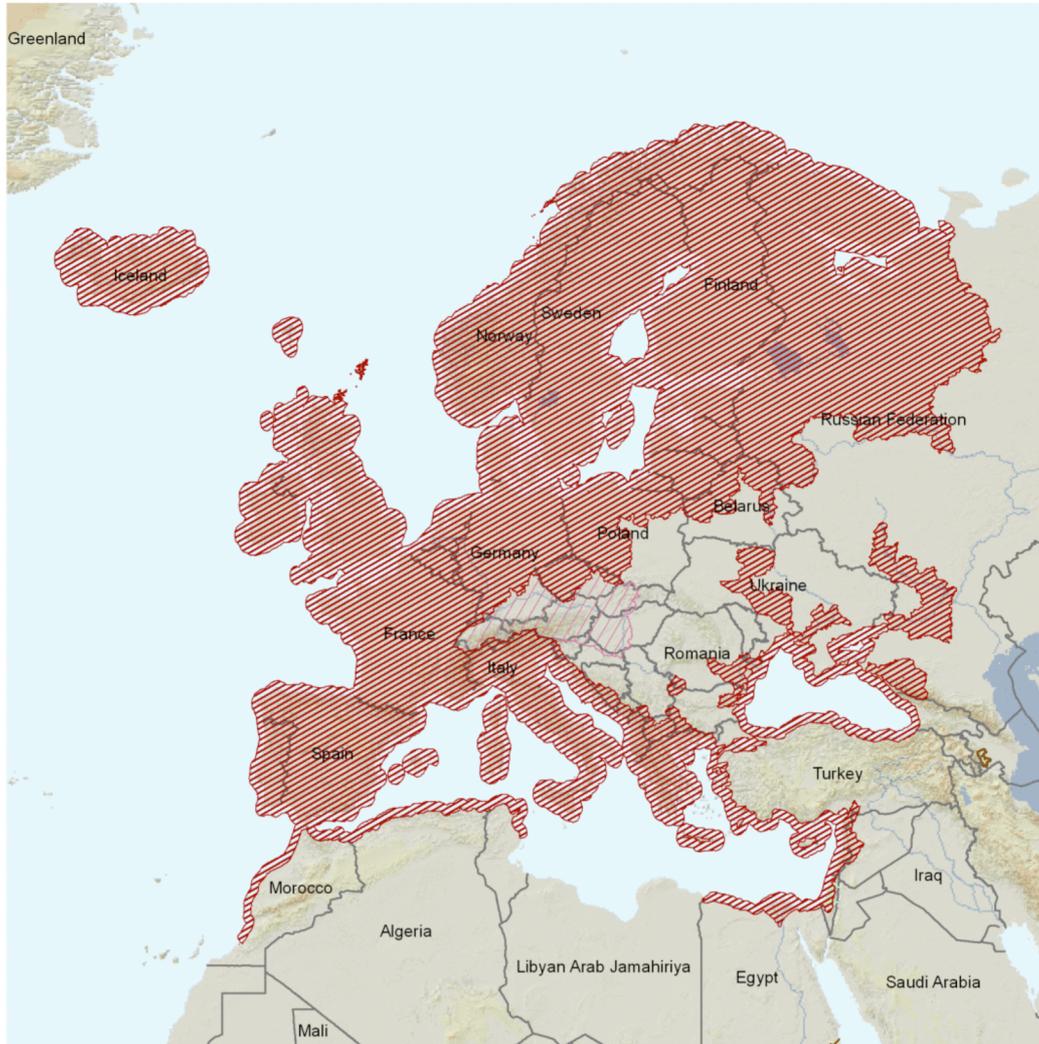
| | |
|--|----|
| FIGURE 1 : ANGUILE EUROPEENNE..... | 2 |
| FIGURE 2 : CYCLE DE VIE DE L'ANGUILLE | 3 |
| FIGURE 3 : LEPTOCEPHALE | 4 |
| FIGURE 4 : CIVELLES | 4 |
| FIGURE 5 : ANGUILE JAUNE | 4 |
| FIGURE 6 : ANGUILE ARGENTEE..... | 5 |
| FIGURE 7 : REPTATION DE CIVELLES SUR UNE PAROI RUGUEUSE | 6 |
| FIGURES 8 ET 9 : VESSIE D'ANGUILLE PARASITEE ET CYCLE BIOLOGIQUE D'ANGUILLICOLA CRASSUS | 8 |
| FIGURE 10 : ANGUILE BLESSEE PAR UN HERON..... | 9 |
| FIGURE 11 : ANGUILE PASSEE DANS UNE TURBINE | 10 |
| FIGURE 12 : EVOLUTION DES TONNAGES ET DES CPUE DE CIVELLES DES PECHEURS PROFESSIONNELS ET AMATEURS SUR LE BASSIN DE LA GIRONDE DE 1978 A 2007 | 11 |
| FIGURE 13 : ESTIMATION DU RECRUTEMENT MOYEN (GLM) EN CIVELLES POUR CHAQUE AIRE DE REPARTITION EN EUROPE | 11 |
| FIGURE 14 : LOCALISATION DES AMENAGEMENTS CNR DU RHONE..... | 18 |
| FIGURE 15 : CONFIGURATION GENERALE DU SITE | 19 |
| FIGURE 16 : CONFIGURATION GENERALE DE L'AMENAGEMENT D'AVIGNON | 19 |
| FIGURE 17 : CONFIGURATION DE L'AMENAGEMENT DE CADEROUSSE..... | 19 |
| FIGURE 18 : LOCALISATION DE L'EXUTOIRE DU CONTRE CANAL EN AVAL DE L'USINE DE BEAUCAIRE | 20 |
| FIGURES 19 ET 20: PASSES-PIEGES SITUEES EN RIVE GAUCHE (19) ET RIVE DROITE (20) DE L'USINE ECLUSE DE BEAUCAIRE | 20 |
| FIGURES 21 ET 22 : PASSES-PIEGES SITUEES EN RIVE GAUCHE DES USINES ECLUSES D'AVIGNON ET DE CADEROUSSE..... | 21 |
| FIGURE 23 : POMPE HYDRAULIQUE ET RAMPE HORS DE L'EAU EN RIVE GAUCHE..... | 23 |
| FIGURE 24 : EVOLUTION DES CAPTURES DEPUIS LE DEBUT DU SUIVI | 25 |
| FIGURE 25 : EVOLUTION DES CAPTURES MENSUELLES DE L'ANNEE 2011 | 26 |
| FIGURE 26 : NOMBRE ET POURCENTAGE DE CAPTURES EN RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE DE L'USINE DE BEAUCAIRE DE 2005 A 2011 | 26 |
| FIGURE 27 : VARIATION DU NOMBRE MOYEN DE CAPTURES JOURNALIERES LORS DE CHAQUE RELEVÉ DES PASSES PIEGES DE L'USINE ECLUSE DE BEAUCAIRE..... | 27 |
| FIGURE 28 : EVOLUTION DU NOMBRE DE CAPTURES ET DE LA TEMPERATURE | 28 |

| | |
|--|----|
| FIGURE 29 : CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE L'EAU ET LE NOMBRE D'ANGUILLES CAPTUREES PAR JOUR..... | 29 |
| FIGURE 30 : EVOLUTION DES CAPTURES ET DU DEBIT DU RHONE..... | 30 |
| FIGURE 31 : EVOLUTION DES CAPTURES ET DU CYCLE LUNAIRE..... | 31 |
| FIGURE 32 : CONFRONTATION DE LA CONDUCTIVITE ET DU PH AU NOMBRE DE CAPTURES JOURNALIERES D'ANGUILLES | 32 |
| FIGURE 33 : CONFRONTATION DES CAPTURES AU DEBIT DU RHONE, A LA TEMPERATURE ET AU CYCLE LUNAIRE | 32 |
| FIGURE 34 : COMPARAISON ANNUELLE DE L'EVOLUTION DES CAPTURES AVEC LE DEBIT DU RHONE (DEBIT D'USINE + DEBIT DU BARRAGE) DE 2008 A 2011 | 33 |
| FIGURE 35 : PROPORTION (%) DU NOMBRE TOTAL D'ANGUILLES CAPTUREES DEPUIS 2008 POUR LES JOURS OU LE DEBIT A DEPASSE UNE VALEUR DONNEE ET PROPORTION DU NOMBRE TOTAL DE JOURS OU LE DEBIT A DEPASSE UNE VALEUR DONNEE | 34 |
| FIGURE 36 : VARIATION DE LA PROPORTION DU NOMBRE D'ANGUILLES CAPTUREES ET DE LA PROPORTION DU NOMBRE DE JOURS ENTRE LES VALEURS SEUILS DE DEBIT | 35 |
| FIGURE 37 : ESTIMATION DE LA DISTRIBUTION DES TAILLES DES ANGUILLES CAPTUREES EN RIVE DROITE ET EN RIVE GAUCHE DE L'USINE ECLUSE DE BEUCAIRE A PARTIR DES INDIVIDUS BIOMETRES..... | 36 |
| FIGURE 38 : STRUCTURES EN TAILLES DES ANGUILLES REMONTEES AUX PASSES PIEGES..... | 36 |
| FIGURE 39 : REPRESENTATION DES TAILLES MOYENNES MENSUELLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES | 38 |
| FIGURE 40 : DISTRIBUTION MENSUELLE DES TAILLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES A L'USINE ECLUSE DE BEUCAIRE (RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE CONFONDUES) | 38 |
| FIGURE 41 : EVOLUTION DU NOMBRE DE GRANDES ET PETITES ANGUILLES AU COURS DU SUIVI 2011... | 39 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| TABLEAU 1: FONCTIONNEMENT DES POMPES HYDRAULIQUES EN RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE..... | 24 |
| TABLEAUX 2 ET 3 : NOMBRES ANNUELS (2) ET MENSUELS (3) ESTIMES D'ANGUILLES CAPTUREES EN RIVE DROITE ET GAUCHE DE L'USINE ECLUSE DE BEUCAIRE | 25 |
| TABLEAU 4: TEMPERATURES MINIMALES DE CAPTURES ET GAMME DE TEMPERATURES POUR LESQUELLES LA MAJORITE DES ANGUILLES A ETE CAPTUREE (ANNEES 2006 A 2011) | 29 |
| TABLEAU 5 : EPISODES DES PICS DE CAPTURES ET CYCLE LUNAIRE | 31 |
| TABLEAU 6 : INFORMATIONS GENERALES SUR LA TAILLE DES ANGUILLES CAPTUREES..... | 35 |
| TABLEAU 7: COMPARAISON STATISTIQUE (TEST DE WILCOXON, PVALUE) DES TAILLES MOYENNES MENSUELLES DES ANGUILLES ECHANTILLONNEES (! = 0,05) | 37 |

Annexe A : Répartition de l'Anguille européenne (Anguilla anguilla)



Anguilla anguilla

range type

-  native (resident)
-  native (breeding)
-  native (non breeding)
-  reintroduced
-  introduced
-  origin uncertain
-  possibly extinct
-  extinct

-  national boundaries
-  subnational boundaries
-  lakes, rivers, canals
-  salt pans, intermittent rivers

data source:
IUCN (International Union for Conservation of Nature)

NE DD LC NT VU EN **< CR >** EW EX



azimuthal equal area central point: 130° E, 0°

map created 09/24/2008



THE IUCN RED LIST
OF THREATENED SPECIES®

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 ».

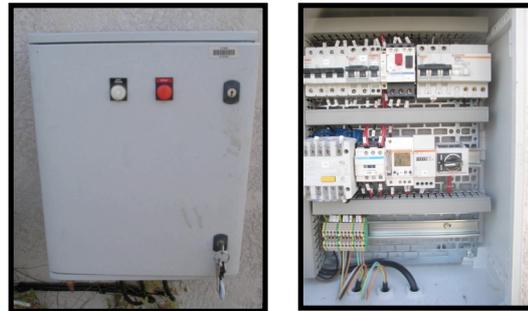
Les passe-pièges sont situées sur l'usine et à proximité de la berge dans une zone calme (lieu de concentration des anguilles). Les individus cherchant à rejoindre l'amont de l'obstacle sont attirés à proximité du système de capture par un débit d'attrait.

Alimentation hydraulique

Les passes-pièges sont alimentées en eau par des pompes immergées au pied de l'ouvrage ayant un débit de 50 m³/h. Le flux d'eau est réparti au niveau du système de capture par deux canalisations équipées de vannes. La première canalisation alimente un bac entonnoir qui renouvelle l'eau du bac de capture et forme une lame d'eau sur la rampe de reptation. La seconde canalisation se déverse dans une goulotte qui aboutit à l'aval de la rampe de reptation afin de créer le débit d'attrait.

Fonctionnement électrique

Les deux passes-pièges sont équipées d'une armoire électrique 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.

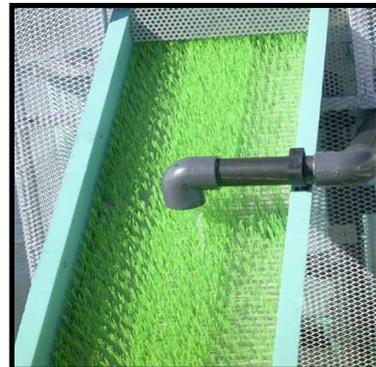


Armoire électrique permettant le fonctionnement des passes pièges (MRM)

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.

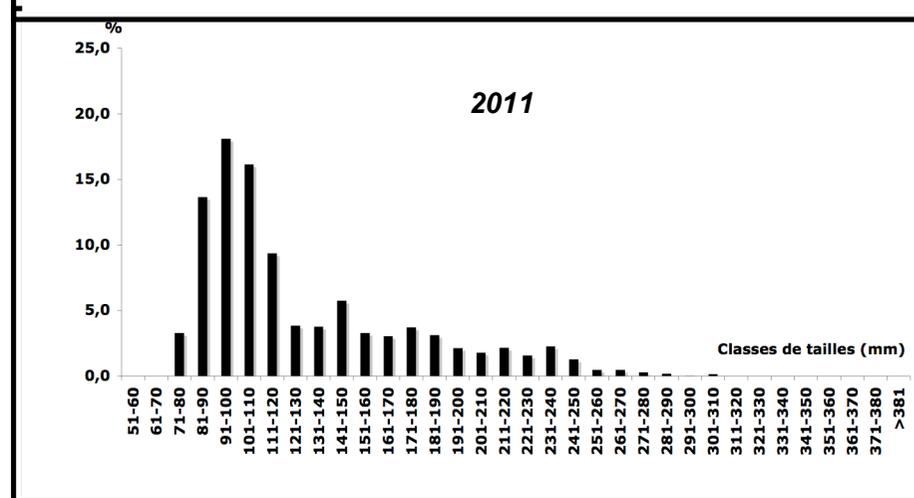
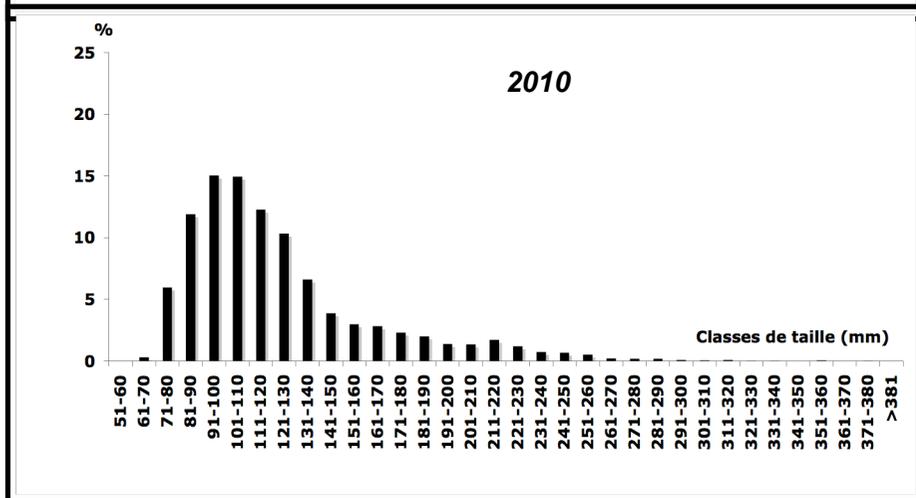
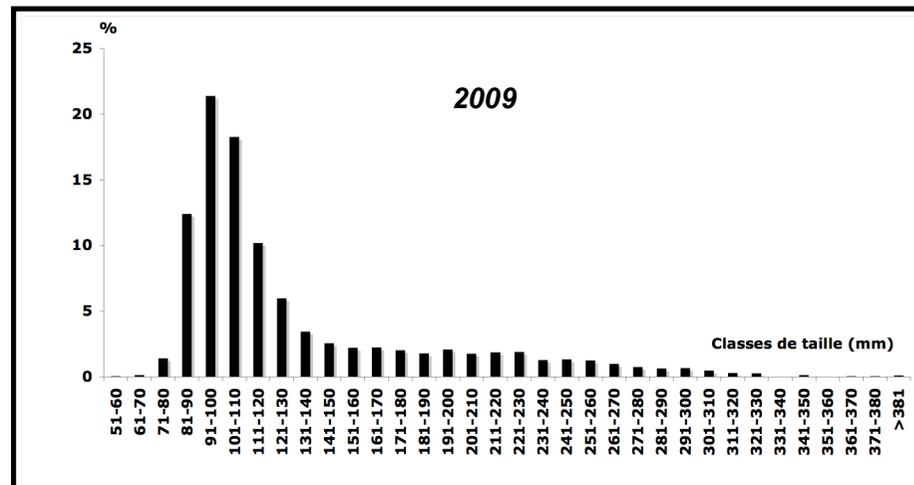
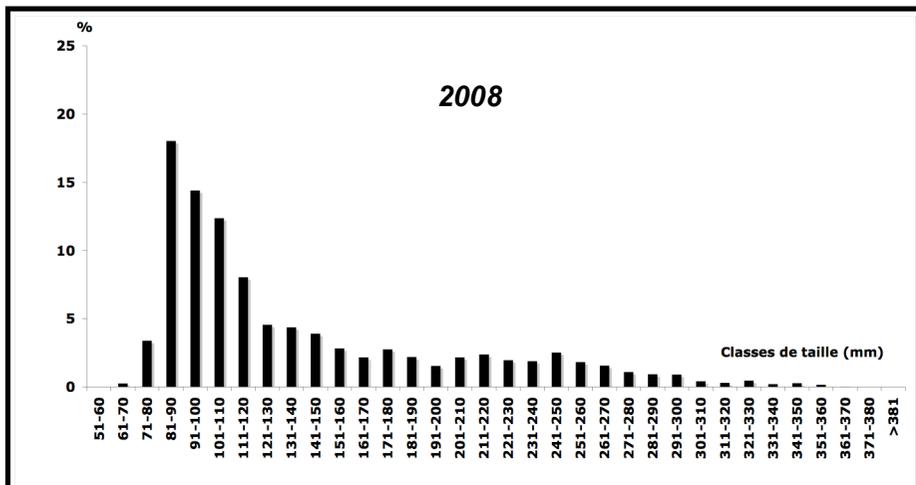
Bac de capture

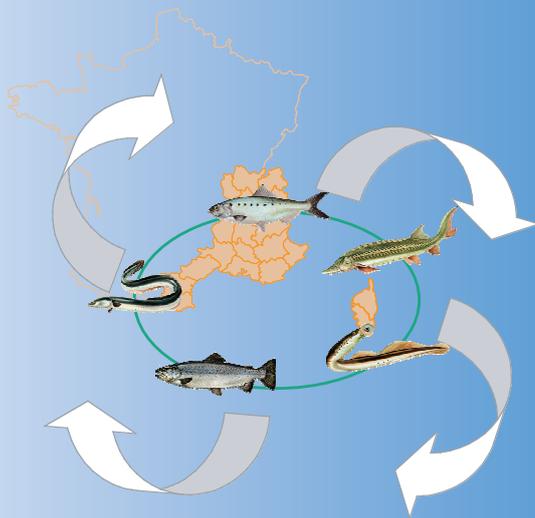


Après avoir gravi la rampe, les anguilles tombent dans un bac de capture, d'une capacité de 300 litres, où elles sont retenues prisonnières. Le flux créant la lame d'eau sur la rampe se déverse en partie dans ce bac et permet le renouvellement de l'eau. Suite à des travaux réalisés sur le barrage d'Arzal 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, des Pyrénées-Orientales, du Rhône, de Savoie et du Var
 Union Régionale des Fédérations de Pêche de l'Arc Méditerranéen (URFAM)
 Union Régionale des Fédérations de Pêche Rhône Alpes (URFEPRA)
 Association des pêcheurs professionnels Rhône Aval Méditerranée



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

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