

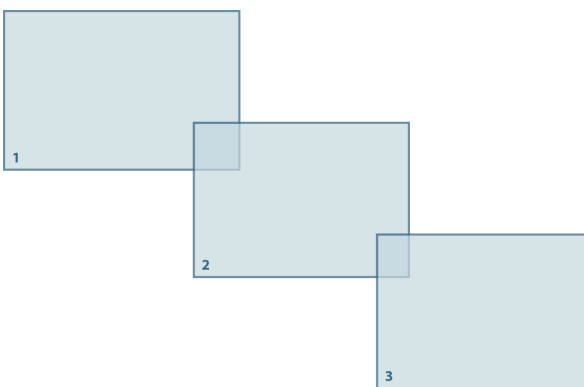
Suivi de la passe-piège à anguilles du barrage E.D.F. de Mallemort sur la Durance

- Campagne 2010 -
- Synthèse des résultats 2004-2010 -



ALAMELLE B., LE GURUN L., LEBEL I.

Mars 2011



1 : © MRM / F. Gardin, 2007

2 : © EDF, 2009

3 : © MRM / F. Gardin, 2007

ALAMELLE B., LE GURUN L., LEBEL I., 2011. *Suivi de la passe-piège à anguilles du barrage E.D.F. de Mallemort sur la Durance, Campagne 2010, Synthèse des résultats 2004-2010.* Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, Fédération de Vaucluse pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique : 53 p + annexes.

Étude commandée par :

- *Association Régionale des Fédérations de Pêche de Provence Alpes Côtes d'Azur*
(dans le cadre de la convention de partenariat avec Electricité de France)

Étude réalisée par :

- *Fédération de pêche du Vaucluse*
- *Association Migrateurs Rhône-Méditerranée*

Partenaires techniques :

- *Fédération de pêche du Vaucluse*
- *EDF Production Méditerranée*

Suivi de terrain :

- *Bernard Alamelle, Fédération de pêche du Vaucluse*

Saisie et interprétation des données :

- *Bernard Alamelle, Fédération de pêche du Vaucluse*
- *Laëtitia Le Gurun, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée*

Rédaction, correction et mise en page du rapport :

- *Laëtitia Le Gurun, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée*
- *Isabelle Lebel, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée*
- *Géraldine Duvochel, EDF*

RESUME

Le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée Corse 2004/2009 prévoyait de "Conforter le stock d'anguilles en favorisant les zones de croissance les plus productives" sur les affluents du Rhône en aval de l'Ardèche. Sur la Durance, la section concerne à peu près 100 kilomètres de linéaire de cours d'eau, jusqu'à l'aval du barrage EDF de Cadarache (COGEPOMI, 2003). Ainsi, en septembre 2003, une passe-piège à anguilles a été mise en place au barrage hydroélectrique EDF de Mallemort qui correspondait à une zone de blocage dans la migration trophique de l'Anguille sur ce cours d'eau (44 km de la confluence).

Dans le cadre d'une convention de partenariat entre EDF et l'Association des Fédérations de Pêche de Provence Alpes Côtes d'Azur, une étude est lancée depuis 2004. Afin de suivre la migration des anguilles au niveau de la passe-piège du barrage EDF de Mallemort. Cet aménagement constitue un dispositif de piégeage permanent, dont la relève s'effectue deux à trois fois par semaine suivant la dynamique migratoire des anguilles.

En 2010, 315 anguilles ont été capturées dans la passe-piège. Sur la période de suivi 2004-2010, les effectifs annuels restent faibles par rapport aux captures au niveau des passe-pièges de l'aménagement de Vallabrègues (ouvrage du Rhône permettant l'accès à la Durance). La distance de l'ouvrage à la mer, associée à la présence d'ouvrages en aval (6 obstacles) et leur impact cumulé, explique en grande partie ce phénomène.

Sur les cinq années de suivi, la population migrante est constituée d'anguillettes mais également d'anguilles jaunes (100 à 510 mm). La migration peut donc être rapide pour certains individus (1 individu de 100 mm capturé en 2008).

En 2010, la migration a commencé en mai pour se terminer fin octobre. L'évolution des captures a largement été influencée par la température de l'eau. Elle semble en effet déclencher et structurer en partie l'activité migratoire. Le débit aurait toutefois une action inhibitrice sur la colonisation d'un bassin par les anguilles (capacités de nage) bien qu'elle n'ait pas été mise en évidence en 2010. Une corrélation négative existe également entre les effectifs piégés et la turbidité de l'eau, phénomène *a priori* lié au débit (Augmentation significative de la turbidité avec le débit). Aucune influence du cycle lunaire sur les captures n'a été mise en évidence.

D'ores et déjà, le suivi de la passe-piège du barrage de Mallemort devra être poursuivi en 2011 et dans le cadre du futur plan de gestion 2010-2014. Les réflexions sur l'automatisation de la passe-piège ne sont à l'heure actuelle pas lancées, dans l'attente de retours d'expérience sur d'autres cours d'eau.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CONTEXTE DE L'ETUDE	3
I. L'ANGUILLE EUROPEENNE (<u>ANGUILLA ANGUILLA</u>)	3
II. CONTEXTE INSTITUTIONNEL ET REGLEMENTAIRE.....	7
III. LA ZONE D'ETUDE	15
METHODES	23
I. SUIVI DE LA PASSE-PIEGE A ANGUILLES	23
II. SUIVI DES PARAMETRES ABIOTIQUES	24
III. TRAITEMENT DES DONNEES	24
RESULTATS	25
I. DYNAMIQUE DE POPULATION.....	25
II. CARACTERISATION BIOLOGIQUE DES ANGUILLES	33
DISCUSSION	39
I. DYNAMIQUE DE POPULATION.....	39
II. CARACTERISATION BIOLOGIQUE DES ANGUILLES.....	41
III. LA PHASE DE DEVALAISON DE L'ANGUILLE DE MALLEMORT A LA MER	42
IV. PERSPECTIVES	44
CONCLUSION	45
BIBLIOGRAPHIE	46
TABLE DES FIGURES	51
TABLE DES TABLEAUX	52
ANNEXES	53

INTRODUCTION

L'Anguille européenne est un poisson migrateur amphihalal thalassotoque dont le cycle de vie est unique et suscite encore de nombreuses questions.

Sur les vingt dernières années, les indices de recrutement et d'échappement de l'Anguille ont fortement chuté sur l'ensemble de son aire de répartition (FEUNTEUN, 2002 ; ICES, 2006). Les causes de ce déclin sont multiples, la plupart des scientifiques s'accordant à penser que les modifications climatiques influant sur les courants de l'Atlantique Nord ainsi que l'apparition du nématode parasite *Anguillicola crassus* constituent les deux principales. L'exploitation halieutique et l'impact des barrages figurent parmi les causes pour lesquelles une action est possible. Le faible niveau actuel des stocks exige en particulier d'éviter une surpêche liée au braconnage et d'améliorer le taux d'échappement des anguilles adultes (anguilles argentées).

Ces constatations sont à l'origine d'un règlement de l'Union Européenne (n° 1100/2007 du 18/09/2007) dont l'objectif est de ramener le volume du stock d'Anguille à ses niveaux historiques et permettre la migration des civelles tout en laissant à chaque Etat-membre le soin de mettre en œuvre les mesures de gestion et d'évaluation des résultats adaptées aux situations locales. Il est ainsi stipulé que « *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* » (Article 2, Paragraphe 4).

En parallèle, le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) fixe les grandes priorités de restauration des populations amphihalines sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse (RM et C). C'est dans le cadre du PLAGEPOMI 2004-2009 qu'une passe-piège à Anguille a été installée en septembre 2003 sur le barrage EDF de Mallemort sur la Durance. En effet, cet ouvrage constituait jusqu'à son aménagement une zone de blocage des anguilles dans leur migration trophique sur cet affluent du Rhône.

Dans la continuité, le PLAGEPOMI 2010-2014 préconise pour l'Anguille l'accès à des zones de grossissement de bonne qualité avec la définition de Zone d'Actions prioritaires (expertise détaillée des ouvrages dans les 6 ans) et d'ouvrages prioritaires (équipement d'un dispositif de franchissement d'ici 2014) en cohérence avec le Plan de Gestion en faveur de l'Anguille. La Durance de sa confluence avec le Rhône jusqu'au barrage EDF de Cadarache est ainsi concernée par ces objectifs avec l'identification du seuil de Callet comme ouvrage prioritaire. Plus particulièrement, le suivi de la passe-piège du barrage EDF de Mallemort répond à un 2^{ème} axe stratégique du PLAGEPOMI 2010-2014 qui est de poursuivre et renforcer les actions de suivi.

Les données du suivi de cette passe, commencé en 2004, complètent par ailleurs celles acquises sur d'autres sites équipés de manière similaire (passes-pièges de Vallabrègues et des Saintes Maries de la Mer). Tous ces éléments viendront alimenter le tableau de bord « Anguille » des bassins RM et C et plus largement le réseau de surveillance européen de cette espèce. Ils serviront également de base de réflexion à la mise en œuvre d'études dans le cadre du nouveau plan de gestion en faveur de l'Anguille (règlement CE n°1100/2007).

Ce présent rapport a pour objectif de décrire la migration des anguilles au niveau de la passe-piège du barrage EDF de Mallemort. Outre l'analyse des captures de l'année 2010, une comparaison avec les précédentes années sera effectuée tant au niveau des caractéristiques biométriques de la population migrante que de la dynamique migratoire de l'espèce.

CONTEXTE DE L'ETUDE

I. L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

L'anguille européenne est un poisson migrateur amphihalal thalassotoque c'est-à-dire qu'il effectue sa croissance en eau douce et sa reproduction en mer. Son aire de répartition s'étend largement en Europe. Aussi, l'Anguille est une espèce opportuniste et ubiquiste. Elle est en effet capable de s'adapter à tous types d'habitats aquatiques accessibles.

I.1. Cycle biologique de l'Anguille européenne

Actuellement, le cycle biologique de l'Anguille, et plus particulièrement sa phase marine, sont mal connus voire controversés (ACOU, 2006). Toutefois, le cycle vital de cette espèce se caractérise par (Figure 1) :

- Deux migrations transocéaniques de courte durée par rapport à la phase de croissance en milieu continental,
- Deux métamorphoses.

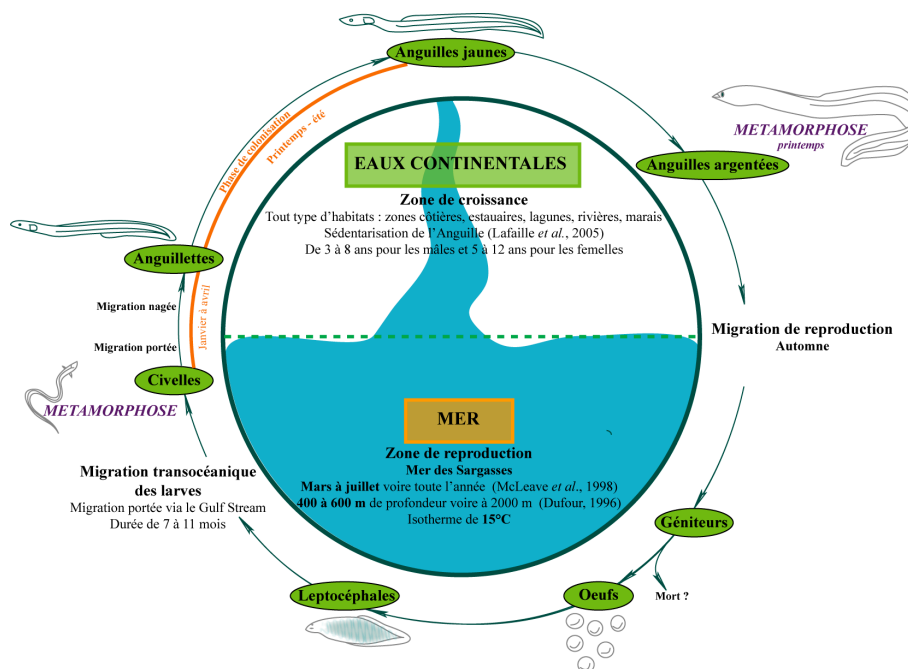


Figure 1 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (MRM)

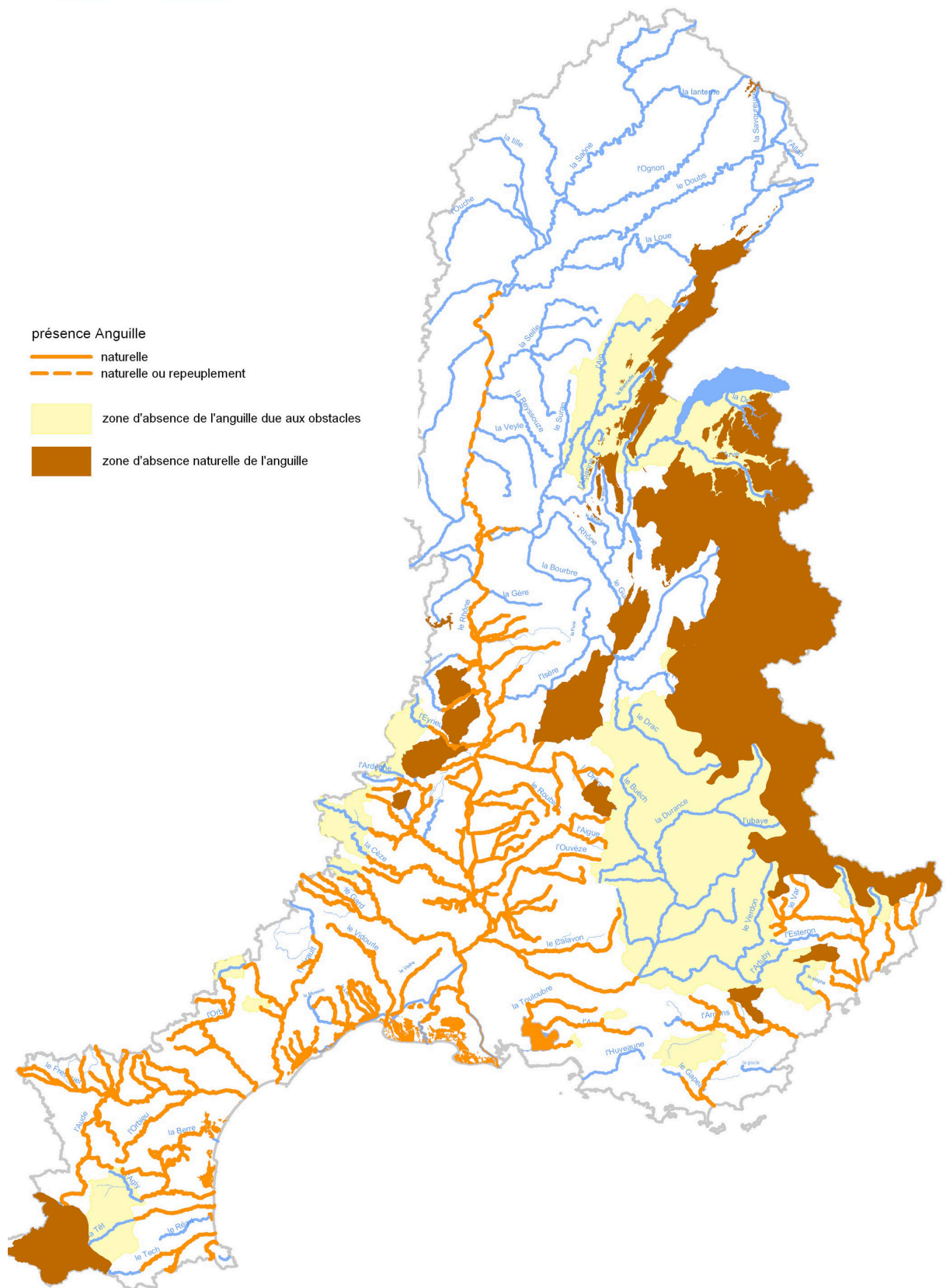
Espèce vraisemblablement semelpare (une seule reproduction au cours de son cycle de vie) et panmictique (population où tous les individus peuvent se croiser au hasard) (SCHMIDT, 1922 ; CRIVELLI, 1998), l'Anguille se reproduit en Mer des Sargasses de mars à juillet. À l'éclosion, les larves leptocéphales (forme en feuille de saule) sont entraînées - migration passive - par les courants chauds de l'Océan Atlantique (courant du Gulf Stream) et abordent les côtes européennes après une migration de 7 à 11 mois sur près de 6 000 km (LECOMTE-FINIGER, 1994).

Aux abords du talus continental, les larves se métamorphosent en civelles (anguilles non pigmentées). Après une courte phase de stabulation dans la zone littorale, les civelles entament une migration portée puis nagée dans les estuaires entre janvier et avril en région méditerranéenne (LEFEBVRE *et al.*, 2003). La métamorphose se continue jusqu'au stade « Anguillette » (pigmentation généralisée). Les anguillettes poursuivent leur migration vers l'amont en colonisant les hydrosystèmes continentaux accessibles. Le comportement migratoire et les mécanismes entrant en jeu dans cette phase sont actuellement très peu étudiés (ACOU, 2006). Dans ces milieux, les anguilles vont atteindre le stade appelé « Anguille jaune » caractérisé par une phase de croissance essentiellement sédentaire. Elles resteront en eau douce jusqu'à leur maturation sexuelle soit de 3 à 6 ans en région méditerranéenne (ACOU *et al.*, 2003). Cette écophase est la mieux connue du fait de la facilité d'échantillonnage en milieu continental. La préparation à la migration de reproduction entraîne la métamorphose des anguilles jaunes en anguilles argentées au printemps. La dévalaison de ces dernières a lieu à l'automne sous l'effet de facteurs endogènes inconnus. Elles rejoignent alors la Mer des Sargasses pour s'y reproduire.

I.2. Répartition des anguilles

Sur les bassins RM et C, l'Anguille européenne colonise tous les hydrosystèmes accessibles saumâtres et dulçaquicoles dont l'altitude est inférieure à 1 000 m. La répartition actuelle de cette espèce confirme la grande diversité de milieux aquatiques colonisés par l'espèce - Rhône et affluents, fleuves côtiers, lagunes -, répartis dans diverses zones géographiques (Pyrénées-Orientales, Alpes du Sud, contreforts du Massif Central, basses plaines méridionales...) (Figure 2).

En dehors des zones naturellement inaccessibles et des repeuplements, l'absence de l'Anguille, que ce soit sur le bassin du Rhône ou les fleuves côtiers, a pour origine la présence d'ouvrages transversaux, infranchissables ou difficilement franchissables qui arrêtent ou érodent sa migration d'amont vers les habitats plus en amont (LAFAILLE *et al.*, 2003). En effet, les faibles capacités de saut et de nage limitent le franchissement des seuils et l'utilisation des dispositifs de franchissements à aloses et/ou salmonidés. Seule sa disposition à la reptation sur des parois inclinées humidifiées lui permet d'accéder aux zones amont. Les barrages et les seuils ont donc un effet plus important sur la répartition des anguilles que la distance à la mer (WHITE et KNIGHTS, 1997 ; BRIAND *et al.*, 2005).



Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée - DREAL Rhône-Alpes - Mars 2010 - CL

Figure 2 : Répartition de l'Anguille européenne sur les bassins RM & C (Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée - DREAL Rhône-Alpes)

I.3. État des populations de l'Anguille européenne

Aujourd'hui, les experts scientifiques mondiaux de l'Anguille s'accordent à dire que le stock européen de l'espèce ainsi que son recrutement est en déclin (ICES, 2008). En effet, ces vingt dernières années, la population européenne d'Anguille aurait diminué de 50 % (75 % pour les 40 dernières années). Plus particulièrement, le stock de civelles ne représente actuellement plus que 3% du stock des années 1970-79.

Même si la déviation du Gulf Stream est souvent avancée et privilégiée pour expliquer la dégradation de la population d'Anguille (MCLEAVE et ARNOLD, 1999), une analyse de la relation stock/recrutement à l'échelle européenne controverserait cette théorie (DEKKER, 2004). Bien que les causes et plus exactement leur hiérarchisation soient incertaines, l'action synergétique des facteurs anthropiques est susceptible d'amplifier considérablement la diminution d'abondance du stock. On peut citer le parasite *Anguillicola crassus*, la dégradation de la qualité des habitats, les obstacles à la migration et la pêche. Ces trois dernières causes sont vraisemblablement celles pour lesquelles des actions en faveur de l'Anguille auront le plus d'effet sur le court terme, d'autant plus en région méditerranéenne où une anguille argentée femelle est produite entre 3 à 6 ans (ACOU *et al.*, 2003) contre 12 à 20 ans en milieux continentaux d'Europe du Nord (SVEDÅNG *et al.*, 1996).

La population d'Anguille sur les bassins RM et C ne déroge pas à cette situation inquiétante, mais reste néanmoins difficile à évaluer. Seules les pêcheries d'anguilles jaunes et argentées – la civelle est interdite à la pêche – et dans une moindre mesure les passes-pièges à anguilles depuis 2003 constituent des indicateurs d'état du stock méditerranéen d'anguilles sur le territoire. Sur les lagunes, les carnets de capture, mis en place en 2008, devraient fournir de nombreuses informations, mais les données disponibles à l'heure actuelle sont des tonnages approximatifs non reliés à un effort de pêche.

I.4. Exploitation de la ressource

La gestion de l'Anguille est d'autant plus complexe qu'elle doit prendre en compte l'importance économique attachée à cette espèce : c'est en effet l'une des rares espèces d'eau douce largement exploitée par la pêche professionnelle. La pêche de 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).

Sur les bassins RM et C, la pêche à la civelle est totalement interdite. Régulièrement, des activités de braconnage sont néanmoins constatées au niveau de certains graus de lagunes et canaux de Camargue ainsi que sur certains fleuves côtiers (Aude, Hérault, Argens...).

Aujourd'hui, les pêcheurs du Rhône ne peuvent plus pratiquer la pêche professionnelle suite au constat d'une contamination des poissons par les PCB. Dans les lagunes, la pêche de l'Anguille jaune et argentée est l'activité principale bien qu'elle ne représente pas un poids économique important au regard d'autres pêches. Activité ancestrale, cette pêche aux petits métiers fait vivre environ 600 pêcheurs et leur famille (COGEPOMI, 2006). Actuellement, la production annuelle d'Anguille est estimée entre 900 et 1 000 tonnes dans les étangs des bassins RM et C (COGEPOMI, 2008).

II. Contexte institutionnel et réglementaire

Les préoccupations concernant la préservation de l'Anguille européenne se sont faites croissantes ces dernières années et la nécessité des mesures de préservation et de gestion a été clairement mise en évidence par les scientifiques, les gestionnaires et même par le grand public. En effet, le niveau actuel du stock de géniteurs et son incidence possible sur le potentiel de reproduction de l'espèce se traduisent par un risque écologique grave d'effondrement complet et irréversible de la ressource.

Ce constat a conduit au classement de l'espèce en danger critique d'extinction dans le « livre rouge des espèces menacées » de l'IUCN (International Union for Conservation of Nature). L'Anguille européenne a également été ajoutée, en juin 2007, 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, 2008) (Tableau 1).

Tableau 1 : Statuts de protection et de conservation de l'Anguille européenne (INPN ; MNHN)

Statut de protection	Convention de Barcelone	Annexe III (<i>protection et conservation des écosystèmes et de la diversité biologique en Méditerranée</i>)
	CITES	Annexe II (<i>Espèce dont le commerce international/européen ne peut être autorisé que par l'octroi d'un permis d'exportation ou d'un certificat de réexportation</i>)
	Règlement européen 18/09/2007 instituant des mesures de reconstitution des stocks d'Anguille	Cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau visant à protéger, à conserver et à améliorer l'environnement aquatique dans lequel les anguilles passent une partie de leur cycle biologique
Statut de conservation (Liste rouge IUCN)	Internationale	En danger critique d'extinction
	Nationale	En danger critique d'extinction

Au-delà de ces statuts, plusieurs mesures réglementaires, en particulier la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCEE), relative à la restauration de la qualité des milieux, et le règlement européen en faveur de l'Anguille, jouent en faveur de la préservation de cette espèce migratrice et de ses habitats dulçaquicoles. Aussi, elle constitue un indicateur biologique de la continuité écologique d'un cours d'eau et à une plus large échelle des objectifs fixés par la réglementation européenne et nationale.

II.1. Règlement européen en faveur de l'Anguille N°1100/2007

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

L'objectif de cette proposition est la gestion durable de l'Anguille européenne c'est-à-dire le retour de la biomasse du stock de cette espèce à ses niveaux historiques et la possibilité de migration des civelles. Il se traduit en une cible de biomasse locale, soit 40 % de la biomasse de géniteurs produite par bassin versant dans un environnement et un habitat pristin (non perturbés). L'évaluation directe de cette biomasse n'est possible que dans de rares cas. La plupart du temps, elle se base sur les anguilles jaunes en place dans le bassin (BRIAND *et al.*, 2006).

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 autant de volets locaux interrégionaux 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 le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et relayée au niveau local par les Directions Régionales de l'Environnement (DIREN secrétaires du COGEPOMI). Cette rédaction est basée sur une collaboration entre les différents services compétents : Directions Régionales des Affaires Maritimes (DRAM), Délégations régionales et interrégionales de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), Agences de l'Eau, Associations Migrateurs, pêcheurs, organismes de recherche...

Les volets locaux interrégionaux 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.

Pour les pêcheries, l'objectif du Plan de Gestion est de réduire la mortalité par pêche de 30% en 3 ans à une échelle nationale. Le cœur des mesures de gestion de la pêche est fixé au niveau national, par le MAAP. 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 en faveur de l'Anguille 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. Les mesures prises en application dudit règlement seront par la suite intégrées aux PLAGEPOMI ainsi qu'aux documents à portée juridique nationale comme les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

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) (COGEPOMI, 2008). 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 1er 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, il est prévu de réduire la période d'ouverture de 2 mois à l'horizon 2011.

II.2. DCEE, Code de l'environnement et LEMA

II.2.1. Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCEE)

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 RM et C par plusieurs orientations dont un volet franchissement piscicole.

II.2.2. Le SDAGE

Le SDAGE est un outil de planification des politiques de l'eau sur chaque bassin hydrographique. Le SDAGE du bassin RM 2010-2015, arrêté par le préfet coordinateur de bassin le 20 novembre 2009, détermine les objectifs de qualité (bon état, bon potentiel écologique...) que devront atteindre les masses d'eau (rivières, lacs, eaux souterraines, mer, ...) d'ici 2015.

Ces objectifs sont déclinés selon huit orientations fondamentales accompagnées d'un programme de mesures. 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 décroisement 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.

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 est opposable à l'administration, ce qui lui confère une valeur juridique non négligeable (Croze et LARINIER, 2001).

II.2.3. Code de l'Environnement et Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA, loi 2006/1772 du 30 décembre 2006)

➤ Réglementation concernant les ouvrages

Sur les cours d'eau classés au titre de l'article L.432-6 et régis par le double classement (décret et arrêté ministériel fixant la liste d'espèces migratrices), la libre circulation des poissons migrateurs doit être assurée à la montaison et à la dévalaison.

Les nouveaux ouvrages ou ceux dont le renouvellement d'autorisation ou de concession est en cours doivent s'équiper dans un délai de 5 ans de dispositifs assurant la libre circulation des poissons. En complément, l'article L.432-5 vise à maintenir un débit minimum à l'aval de chaque ouvrage, afin de permettre la vie, la circulation et la reproduction des espèces piscicoles.

Les articles L.432-5 et L.432-6 du Code de l'Environnement demeurent applicables jusqu'à leur substitution au titre de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) par l'article L.214-17 au plus tard le 1^{er} janvier 2014. Deux listes de cours d'eau seront ainsi publiées au titre de cet article :

- Une liste de cours d'eau ou tronçons de cours d'eau répondant aux critères suivants (liste 1) :
 - Cours d'eau en très bon état écologique (identifiés dans le SDAGE),
 - Cours d'eau qui jouent un rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique (défini dans les objectifs de la DCE) des cours d'eau d'un bassin versant,
 - Cours d'eau qui nécessitent une protection complète des poissons migrateurs amphihalins.

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

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

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

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

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

La mise en œuvre 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 1er janvier 2014 pour les zones définies prioritaires pour l'Anguille et qui ne sont actuellement pas classées. Lesdits bassins ou sous bassins devront être classés au titre de l'article L214-17 avant le 31 décembre 2010 (MEDAD, 2008).

➤ **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 ainsi que des sanctions encourues. Le débit minimal ne doit pas être inférieur au dixième du module du cours d'eau au droit de l'ouvrage. Ces articles ont été abrogés au 30 décembre 2006 avec la mise en vigueur de la LEMA et en particulier des articles L214-17 à L214-19.

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 $1/10^{\text{ème}}$ du module du cours d'eau et pour les cours d'eau dont le module est supérieur à $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ou pour les ouvrages hydroélectriques contribuant à la production d'électricité en période de pointe et dont la liste a été définie par décret (décret vingtième), le débit minimal est fixé à $1/20^{\text{ème}}$ du module du cours d'eau (MEDAD, 2008).

II.3. Le Grenelle de l'environnement

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

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

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 en faveur de l'Anguille aux classements des cours d'eau (code de l'environnement, article L214-17). En Rhône-Méditerranée, 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, trois lots d'ouvrages ont été définis :

- Lot 1 : Les ouvrages pour lesquels des actions, au sens de travaux, sont à définir et à lancer entre 2009 et 2012, en donnant la priorité aux actions de restauration.
- Lot 2 : Les ouvrages pour lesquels l'acquisition de connaissances complémentaires (études non directement liées à des travaux) est un préalable nécessaire à des travaux de restauration de la continuité, cette connaissance devant être acquise au plus tard fin 2012.
- Lot 3 : Les autres ouvrages, c'est-à-dire ceux où aucun enjeu stratégique prioritaire n'est *a priori* identifié au regard des objectifs généraux liés au chantier continuité.

II.4. 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, 2003) :

- 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). Face à sa complexité, L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) a été créée en 1993 pour gérer et coordonner ce plan. Sur la période 1993-2003, il 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 (LEBEL *et al.*, 2001). 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, Aigue et Lez) et sur les fleuves côtiers méditerranéens, dont certains ont des potentialités élevées de croissance et de reproduction.

Le second plan migrateur 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 en tenant compte des connaissances écobiologiques du moment.

Avec un programme du PLAGEPOMI 2004-2009 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 futur PLAGEPOMI. 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 stratégie 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 s'articule autour de la mise en œuvre des politiques en précisant en particulier les objectifs et actions relatives aux poissons migrateurs évoqués dans le SDAGE. Il reprend de plus intégralement les dispositions du plan de gestion de L'Anguille et de la stratégie pour une reconquête du Rhône par les espèces migratrices amphihalines et les complète sur des aspects transversaux (COGEPOMI, 2011).

III. La zone d'étude

III.1. La Durance

1^{er} affluent en rive gauche du Rhône, la Durance prend sa source sur le Mont Genève (Hautes-Alpes) à 2300 m d'altitude et parcourt 324 km, sur cinq départements (Hautes-Alpes, Alpes-de-Haute-Provence, Var, Bouches-du-Rhône et Vaucluse), avant de se jeter dans le Rhône au niveau d'Avignon. Cette rivière dont les principaux affluents sont la Bléone, le Verdon et le Calavon, draine un bassin versant de 14 225 km² (BARRAL, 2001).

Le bassin versant de la Durance est soumis d'une part, à une emprise agricole élevée notamment dans sa partie inférieure (cultures intensives fruitières et maraîchères, vignes) et d'autre part, à un fort développement de l'industrie agro-alimentaire. De plus, de nombreux seuils et barrages (23 au total) ont été aménagés dans le lit de la Durance, dont 14 concernent la basse vallée de la Durance entre Cadarache et sa confluence avec le Rhône (prises d'eau destinées à la production hydro-électrique, à la fourniture d'eau pour l'irrigation ou au soutien de la nappe phréatique pour l'alimentation en eau potable des populations) (ANONYME, 2003).

Le régime hydrologique de la Durance, théoriquement pluvio-nival, dépend aujourd'hui principalement des débits réservés délivrés à l'aval des barrages correspondant au 1/40^{ème} de module de la Durance. À ce débit, s'ajoutent les apports des bassins versants intermédiaires et restitutions d'eau dans le cadre de mesures de protection de l'Etang de Berre. Même si la présence des aménagements hydro-électriques a permis de limiter les effets des crues, l'occurrence d'une forte crue reste possible (crue centennale à Cadarache : 4 600 m³/s) (SOGREAH, 2001).

Actuellement, la basse Durance est soumise à un régime de restitution au niveau de Mallemort (augmentation des débits et des limons), suite au renforcement successif des contraintes d'apports à l'étang de Berre – mise en place de quotas sur les rejets d'eau et de limons. En effet, le plan de reconquête de l'étang de Berre vise une diminution drastique des apports de la rivière vers l'étang mais une augmentation des restitutions à l'aval du barrage de Mallemort.

Malgré les nombreux aménagements qui jalonnent cette rivière, la qualité physico-chimique de l'eau est bonne (Classe 1B) voire médiocre (Classe 2), avec sur certains secteurs de la basse Durance, une dystrophie croissante accentuée par la faiblesse des débits réservés.

La morphologie en tresse du cours d'eau induit un tracé de largeur et de profondeur variables avec une alternance de faciès lotiques et lenticules et l'existence de nombreux bras morts. Ainsi, la Durance héberge une richesse piscicole élevée reflétant néanmoins les déséquilibres du milieu : glissement typologique vers des espèces d'eaux lentes et raréfaction des espèces polluosensibles (PDPG 13, 2004). Les migrateurs amphihalins que sont l'Alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*), la Lamproie marine (*Petromyzon marinus*), la Lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), sont également répertoriés sur la Durance, d'ailleurs en cours de classement « rivière à migrateurs ».

Le fonctionnement de la Durance est donc principalement altéré par :

- **Les extractions passées de granulats** dans le lit de la Durance induisant une incision du lit, une érosion des berges, une baisse du niveau de la nappe alluviale, un assèchement des frayères...
- **L'artificialisation et la gestion des débits** : débit réservé et régime d'éclusées participant au colmatage du lit,
- **L'impact cumulé des ouvrages** : le cloisonnement du milieu affecte d'une part la qualité des habitats (écoulements lenticules, colmatage, réchauffement des eaux, auto-épuration limitée...), donc leurs fonctions biologiques (refuge, alimentation, reproduction), et d'autre part, la libre circulation piscicole et l'accès aux zones de frai et/ou de grossissement.

Face aux nombreuses problématiques du milieu, un contrat de rivière sur la Durance porté par le Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD) a été signé en 2008. Il mène entre autres des actions dont le but est d'accroître la qualité et la diversité des milieux naturels alluviaux et aquatiques (SMAVD, 2008).

III.2. Obstacles sur l'axe Rhône-Durance aval

Six seuils (1 sur le Rhône et 5 sur la Durance) cloisonnent l'axe Rhône-Durance aval jusqu'au barrage de Mallemort (Figure 3). Ils nuisent à la continuité écologique par l'obstacle qu'ils constituent pour les poissons et en particulier pour les espèces migratrices. Ils induisent en effet un retard voire un blocage de leur migration génésique vers des zones de grossissement ou de reproduction.

Certains, grâce à leur configuration, n'affectent que faiblement la colonisation des secteurs amont. D'autres, infranchissables par conception, sont équipés d'un dispositif de franchissement favorisant ainsi la remontée de cette espèce (Vallabrègues, Bonpas, Mallemort).

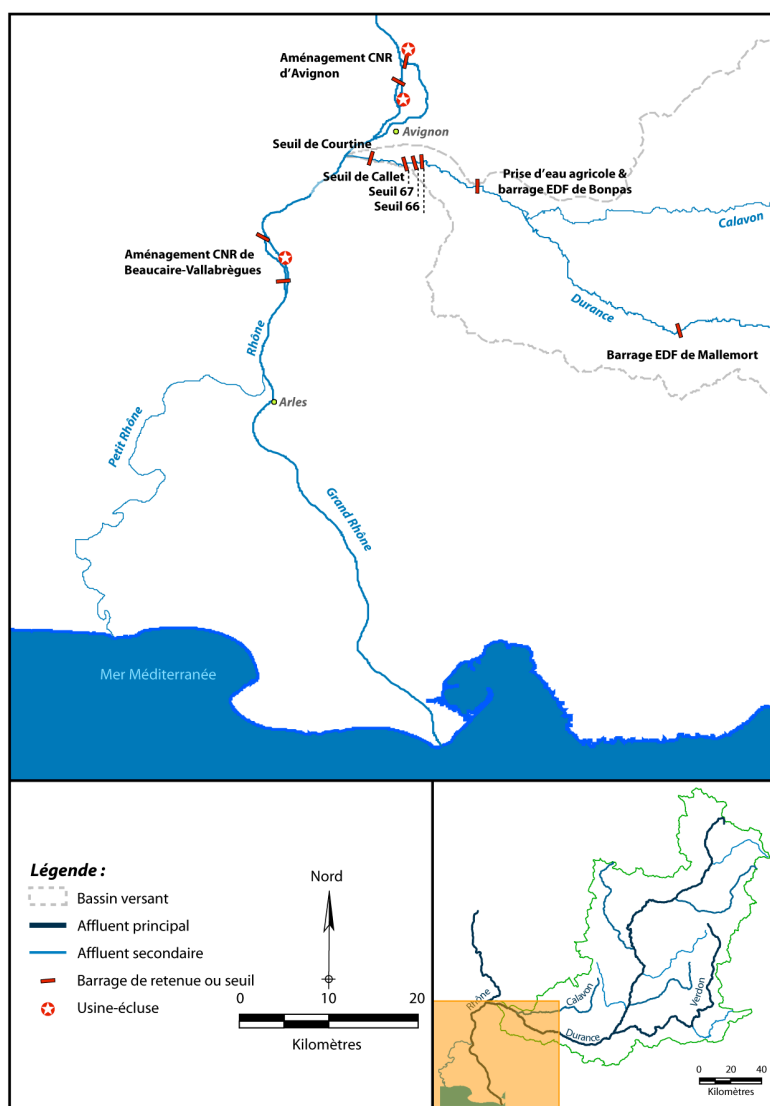


Figure 3 : Localisation des obstacles sur l'axe Rhône – Durance jusqu'au barrage EDF de Mallemort (MRM)

➤ **Aménagement de Vallabrègues** (68 km de l'embouchure du Rhône) :

Le premier ouvrage rencontré par les anguilles en phase de migration anadrome dans le Rhône (colonisation des eaux douces) est l'ouvrage de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) de Beaucaire-Vallabrègues situé sur le Rhône à 68 km de l'embouchure (Figure 4).



**Figure 4 : Aménagement hydro-électrique de Beaucaire-Vallabrègues
(© MRM / F. Gardin. 2007 ; MRM)**

La seule possibilité, jusqu'en septembre 2005, pour l'espèce de franchir cet ouvrage était de passer par l'écluse de navigation de Beaucaire jouxtant l'usine hydroélectrique sur le canal de fuite de l'ouvrage. La CNR a équipé en septembre 2005 cet ouvrage d'une première passe-piège à anguilles en rive gauche du canal de fuite en aval immédiat de l'usine hydroélectrique. Une seconde passe-piège y a été installée en rive droite en juillet 2006. Ces systèmes de conception identique à celui du barrage de Mallemort (conception FISH-PASS) sont suivis par l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM). La mise en place de ces passes-pièges favorise ainsi la colonisation du bassin en amont de l'ouvrage et ouvre notamment l'accès à la Durance dont la confluence avec le Rhône se situe à 17 km en amont de l'aménagement.

➤ **Seuil de Courtine** (87,5 km de l'embouchure du Rhône) :

Le seuil de Courtine, ouvrage situé le plus en aval sur la Durance se situe à 2,5 km de la confluence avec le Rhône. Compte tenu de sa configuration (faible dénivelé, enrochements disjoints...), cet ouvrage n'a qu'un impact relatif sur la circulation des espèces piscicoles. En effet, il est périodiquement franchissable (ce seuil est régulièrement noyé, notamment par l'aval) pour l'Alose et les autres espèces piscicoles (brochets, cyprinidés d'eaux vives, ...) et franchissable par l'Anguille qui trouve sur ce type de seuil rustique de nombreuses zones de reptation (entre les blocs disjoints ...) (BARRAL, 2001).

➤ **Seuil de Callet – Seuil 68** (90 km de l'embouchure du Rhône) :

Le seuil de Callet (Figure 5), situé à 5 km de la confluence, est un seuil rectiligne de 350 mètres de longueur réalisé en enrochements et présentant un parement aval en pente douce. Il représente le premier obstacle majeur de la Durance.



Figure 5 : Seuil de Callet avant sa réfection en 2009 (© MRM / F. Gardin. 2007)

Compte tenu de sa configuration (hauteur de dénivelé, pente forte...), le seuil de Callet est infranchissable pour l'ensemble des espèces piscicoles, hormis l'Anguille. En effet, les capacités de reptation de cette dernière lui permettent de tirer partie des nombreuses zones humides du seuil sur lesquelles s'est développée de la mousse. Bien que cet ouvrage ne soit pas imperméable pour l'Anguille, il demeure très sélectif (anguilles <15 cm) (BARRAL, 2001).

La formation d'une brèche en 2008 a conduit le SMAVD à réaliser des travaux de réfection du seuil en 2009. Il y est prévu par ailleurs un aménagement de ce seuil avec la mise en place d'une passe à poissons. Les travaux sont prévus en 2013.

➤ **Seuil 67** (92,5 km de l'embouchure du Rhône) :

Ce seuil est situé à 6 km de la confluence et à 1 km en amont du seuil de Callet. Il a fait l'objet de travaux de confortement en 2009, dans le cadre du Contrat de Rivière Durance. La réalisation d'une passe à poissons y est prévue en 2013.

➤ **Seuil 66** (100 km de l'embouchure du Rhône) :

Ce seuil (Figure 6) situé à 7,5 kilomètres de la confluence a été équipé d'une rivière artificielle de contournement en rive gauche (2000/2001), rétablissant la circulation piscicole. Il est ainsi franchissable par la majorité des espèces piscicoles dont l'Anguille (BARRAL, 2001). Le franchissement de ce seuil peut également se faire par surverse lors de débits plus importants.



Figure 6 : Seuil SNCF ou 66 (© MRM / F. Gardin. 2007)

➤ **Prise d'eau agricole et barrage EDF de Bonpas** (97 km de l'embouchure du Rhône) :

Ce seuil, prise d'eau des canaux d'irrigation d'Avignon et de Chateaurenard, est situé à 15 km de la confluence (Figure 7). Le débit réservé au niveau de cet ouvrage est de 4,7 m³/s. Ce seuil présentait, avant la mise en place d'un système de franchissement spécifique à l'Anguille en 2003, quelques zones de reptation favorables mais très sélectives. Le franchissement par les anguilles a été amélioré depuis la mise en place d'une zone de reptation artificielle (BARRAL, 2001).

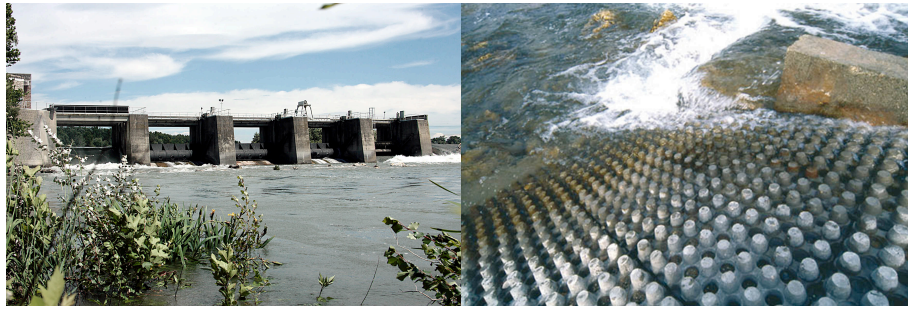


Figure 7 : Barrage EDF de Bonpas (à gauche) et zone de reptation artificielle (à droite)
(© MRM / F. Gardin. 2007 ; © Fédération de Pêche du Vaucluse)

La réalisation d'une passe à poisson est prévue dans le cadre du contrat de rivière Durance. Une étude préalable pour la restauration de la libre circulation de l'Alose méditerranéenne sur la Durance jusqu'à l'aval de Mallemort a été réalisée en 2009 (étude préliminaire pour l'aménagement de Bonpas). L'analyse du gain écologique de l'ouverture de l'axe Durance pour l'Alose et autres migrateurs est prévue en 2011 dans le cadre du contrat de rivière pour approfondir la question.

➤ **Le barrage EDF de Mallemort** (126 km de l'embouchure du Rhône)

L'ouvrage EDF de Mallemort est le sixième ouvrage rencontré par les anguilles sur la Durance. Ce barrage a été réalisé en 1964 et constituait jusqu'en 1972 la prise d'eau des centrales hydroélectriques de Salon et de Saint Chamas. Actuellement, le barrage de Mallemort alimente un prélèvement pour l'irrigation situé dans le canal d'aménée. Le barrage d'une hauteur de 8 mètres est équipé de vannes segments (Figure 8).



Figure 8 : Barrage EDF de Mallemort (© MRM / F. Gardin. 2007)

Le flux d'eau entrant au niveau du barrage et circulant dans le lit de la Durance entre Cadarache et Mallemort est constitué par le débit réservé (4,5 m³/s à Cadarache) auquel s'ajoutent les apports en provenance du bassin versant intermédiaire (débit moyen annuel de 18 m³/s). Exceptionnellement peut s'ajouter à ces débits une restitution d'eau (Gontard) lorsque la centrale de Mallemort ne fonctionne pas. Le débit servant à alimenter la prise d'eau agricole de Bonpas est rejeté dans la Durance par un ouvrage sur le canal d'aménée à 1,4 kilomètres en aval du barrage de Mallemort.

Dans le cadre des actions de limitation des apports solides et liquides prévus dans le plan de reconquête de l'étang de Berre, une partie des eaux est restituée en Durance dans ce même lieu (débit maximum de 250 m³/s). Ces deux apports ne modifient pas le fonctionnement du barrage, mais font varier le débit de la Durance en aval du barrage de Mallemort. Le débit à l'aval direct de ce barrage est donc constitué du débit réservé (4,6 m³/s à Mallemort) et de celui issu de l'ouverture du barrage en cas de crue, auxquels viennent s'ajouter à 1,4 km en aval du barrage, le débit transitant par la Durance et destiné à alimenter la prise agricole de Bonpas et/ou les flux résultant de l'ouverture des vannes de restitution des eaux ne pouvant être rejetées dans l'étang de Berre.

La hauteur de chute au niveau du barrage est de 4,15 mètres à l'étiage, cette hauteur baissant avec l'augmentation du débit, jusqu'à effacement total de l'ouvrage en cas de crue (LINE et *al.*, 2003). Cet ouvrage était infranchissable pour l'ensemble des espèces piscicoles présentes sur la Durance. Ce site constituait donc le point de blocage amont de migration pour l'Anguille sur l'axe durancien. C'est pour cette raison qu'il est apparu judicieux d'y mettre en place une passe-piège à anguilles dans le but d'évaluer la population d'anguilles migrantes (BARRAL, 2001).

Depuis 2003, une passe piège à anguilles a donc été installée sur cet ouvrage selon le concept développé par LEGAULT (1992). Située en rive gauche, elle bénéficie d'une zone calme, lieu de concentration des anguilles (Figure 9). Ces dernières sont guidées dans leur montaison par un débit d'attrait de 20 m³/h auquel s'ajoute un attrait provenant du débit réservé délivré au niveau du barrage de Mallemort (au minimum 4,6 m³/s).



Figure 9 : Passe-piège du barrage EDF de Mallemort (© MRM / F. Gardin. 2007)

Le volet local Rhône-Méditerranée pour la gestion de l'Anguille 2009-2014 définit la Durance jusqu'au barrage EDF de Cadarache comme zone d'actions prioritaires (expertise détaillée des ouvrages dans les 6 ans). Plus particulièrement, le seuil de Callet a été défini comme un ouvrage prioritaire et devra donc :

- Faire l'objet d'une étude dès 2009/2010 afin de rechercher les solutions technico-économiques permettant le passage des anguilles tant à la montaison qu'à la dévalaison,*
- Etre équipé d'un dispositif de franchissement d'ici 2014.*

Pour une meilleure lisibilité, les mêmes dispositions ont été reprises dans le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs 2010-2014, le document de référence pour les mesures de gestion en faveur de l'Anguille restant le plan de gestion national de l'Anguille.

Au titre de l'article L214-17 du Code de l'environnement, des propositions de classement ont d'ores et déjà été effectuées. Ainsi, il est envisagé de classer la Durance en liste 2 (objectif de restauration) de l'aval du barrage EDF de Mallemort à sa confluence avec le Rhône. Le classement en liste 1 (objectif de préservation) correspond à la ZAP du plan de gestion Anguille.

Par ailleurs, l'augmentation des débits réservés, au plus tard en 2014, induira des modifications quant à la franchissabilité des ouvrages mais également quant à l'attractivité des passes à poissons. Des réflexions sont ainsi prévues en 2011 sur l'impact des débits sur l'efficacité des dispositifs de franchissement ainsi que sur l'aménagement d'autres passes à poissons.

En parallèle, les objectifs du Grenelle ont amené à définir des ouvrages à traiter prioritairement sur le plan de la continuité écologique. Ainsi sur la Durance, les seuils 68 et 67, la prise d'eau agricole de Bonpas et le barrage EDF de Mallemort ont été classés en lot 1 (travaux à définir et à lancer entre 2009 et 2012).

Même si les seuils sur la Durance sont considérés comme franchissables pour l'Anguille, ils n'en induisent pas moins une sélectivité au sein de la population puisque ses capacités de franchissement sont intimement liées à la taille des individus (LEGAULT, 1992). Par ailleurs, l'impact cumulé des obstacles sur l'axe Rhône-Durance reste très important ce qui limite fortement l'expansion de l'espèce vers l'amont.

METHODES

La phase de terrain est effectuée par la Fédération de Pêche du Vaucluse. Les captures mensuelles sont transmises à l'Association MRM qui traite les données et rédige le rapport.

I. Suivi de la passe-piège à anguilles

La passe-piège à anguilles constitue un dispositif de piégeage permanent (Figure 10).

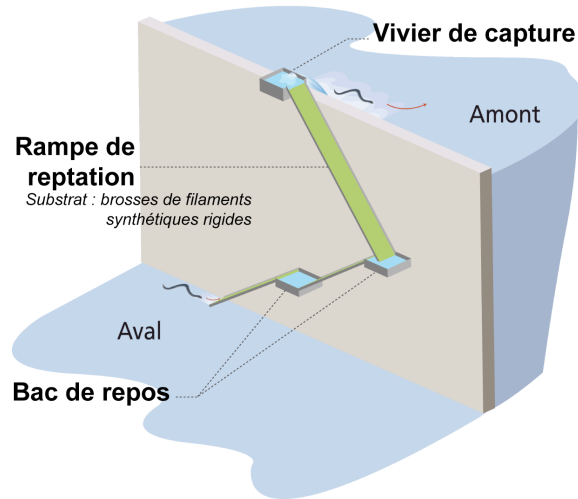


Figure 10 : Schéma simplifié d'une passe-piège à anguilles (MRM)

Les individus utilisant la passe sont donc capturés dans un bac et récupérés par l'intervenant deux à trois fois par semaine suivant la dynamique migratoire.

Chaque anguille est ensuite mise au repos dans une solution d'eugénool (1 ml / 5 l). Une fois endormies, elles sont mesurées, pesées puis placées dans un bac de réveil avant d'être relâchées en amont du barrage de Mallemort (Figure 11). Pour chaque intervention, l'opérateur remplit une fiche d'intervention standard (Annexe 1).



Figure 11 : Traitement des anguilles (MRM)

Le suivi de l'ouvrage est assuré depuis son installation par la Fédération de Pêche du Vaucluse dans le cadre d'une convention entre EDF et l'Association des Fédérations de Pêche de Provence Alpes Côte d'Azur.

II. Suivi des paramètres abiotiques

Dans le cadre de la convention entre EDF et l'Association des Fédérations de Pêche de la région PACA, les données des températures de l'eau et des débits restitués en aval du barrage de Mallemort et de Cadarache sont mises à disposition.

III. Traitement des données

Le piégeage permanent de la passe-piège de Mallemort permet d'acquérir des données sur la structure de la population d'anguilles et sa dynamique migratoire :

- Données biométriques : longueurs, poids,
- Données temporelles : dates de capture.

III.1. Caractérisation de la migration des anguilles

Les captures brutes (nombre d'anguilles capturées par relevé de la passe-piège) sont utilisées pour caractériser l'activité migratoire. En effet, le relevé du piège n'ayant pas lieu tous les jours, l'utilisation des captures par unité d'effort risquerait d'étaler une période de capture sur plusieurs jours et donc de minimiser l'influence de la variation soudaine d'un paramètre sur la migration des anguilles.

Aussi, plusieurs descripteurs sont utilisés pour décrire et expliquer l'évolution des captures :

- Période de migration et évolution des captures,
- Evolution des paramètres environnementaux (débit, température, cycle lunaire et turbidité).

III.2. Caractéristiques biologiques des anguilles

La caractérisation biologique des individus se résume en l'analyse :

- De la taille et du poids moyens,
- De la relation Taille-Poids des individus reflétant la condition physique des anguilles :

Cette relation est de type puissance, $Pds = a.L^b$, où « a » indique l'embonpoint ou la condition des individus et « b » le taux d'allométrie (mode de croissance d'un organisme végétal ou animal selon lequel un organe se développe plus rapidement ou plus lentement que l'ensemble de l'organisme). Cette constante est généralement de l'ordre de 3 :

- Si $b = 3$, on parle d'isométrie,
- Si $b < 3$, on parle d'allométrie minorante (l'individu grandit plus rapidement qu'il ne grossit),
- Si $b > 3$, on parle d'allométrie majorante (l'individu grossit plus rapidement qu'il ne grandit).
- De la structure de taille de la population d'anguilles capturées,
- De la structuration en taille de la population par mois,
- Du coefficient K de condition sur l'année ($K = (Pds/Lb)*100$).

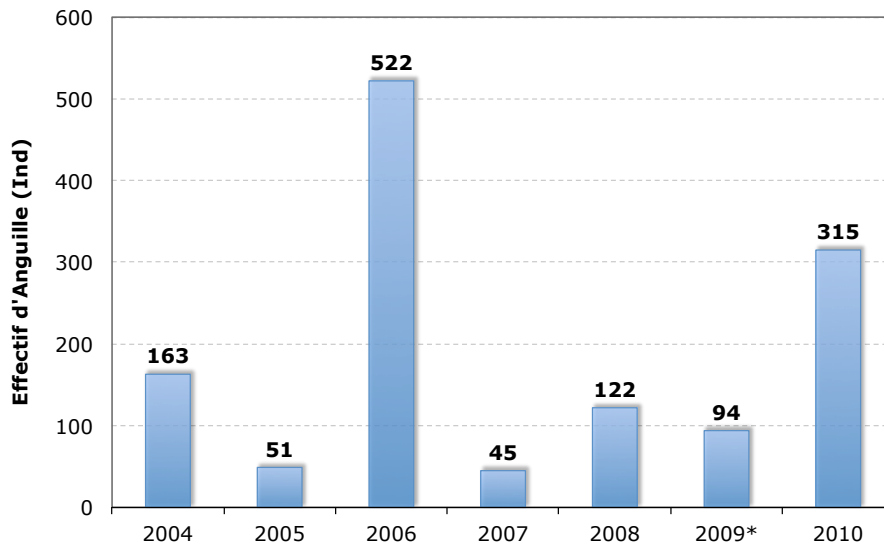
RESULTATS

I. Dynamique de population

I.1. Effectifs de captures

Au total, 315 anguilles ont été capturées dans la passe-piège de Mallemort en 2010 (Annexe 2). Les premières captures ont eu lieu le 9 mai 2010 et se sont étalées jusqu'au 25 octobre 2010.

Sur la période de suivi 2004-2010 (Figure 12), le nombre de captures a explosé en 2006 d'un facteur de 3 et 10 par rapport à 2004 et 2005. L'année 2006 compte d'ailleurs l'effectif le plus élevé d'anguilles ayant utilisé la passe avec 522 individus. Le nombre de captures s'est effondré en 2007 avec seulement 45 anguilles piégées. Les effectifs restent à peu près stables avant d'augmenter fortement en 2010 avec 315 captures. Il s'agit donc de la 2^{ème} meilleure année depuis la mise en place de la passe-piège du barrage EDF de Mallemort.



* A cause de dégradations liées aux épisodes de crues fin 2008 – début 2009, la passe-piège n'a pas été fonctionnelle jusqu'en juin 2009, date à laquelle des travaux de modification ont été entrepris.

Figure 12 : Effectif annuel d'anguilles capturées dans la passe-piège à anguilles du barrage de Mallemort sur la période de suivi 2004-2010

I.2. Caractérisation de la migration des anguilles

I.2.1. Période migration et évolution des captures

Les premières captures dans la passe-piège du barrage de Mallemort ont débuté le 9 mai 2010. La Figure 13 montre le nombre d'anguilles capturées à chaque relève pendant l'année 2010.

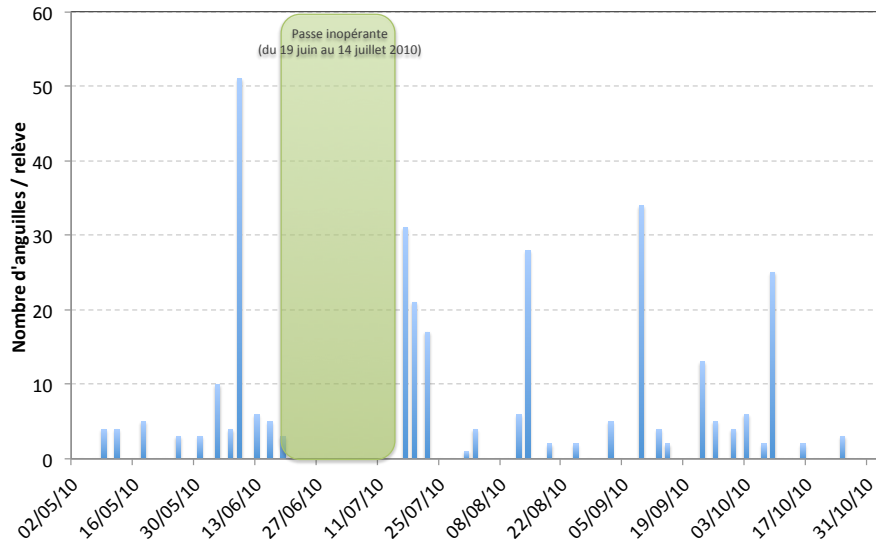


Figure 13 : Evolution des captures dans la passe-piège du barrage de Mallemort en 2010

L'évolution des captures en 2010 s'avère polymodale avec des pics de franchissement de fréquence mensuelle :

- Le 9 juin, 51 anguilles capturées soit 16% de la fraction migrante en 2010,
- Du 17 au 22 juillet, 69 anguilles capturées soit 22% de la fraction migrante en 2010,
- Le 14 août, 28 anguilles capturées soit 9% de la fraction migrante,
- Le 9 septembre, 34 anguilles capturées soit 11% de la fraction migrante,
- Le 9 octobre, 25 anguilles capturées soit 8% de la fraction migrante.

La figure 14 illustre les effectifs mensuels cumulés pour chaque année. Cette comparaison met en évidence en 2010 une évolution mensuelle des captures relativement homogène entre mai et octobre par rapport aux autres années.

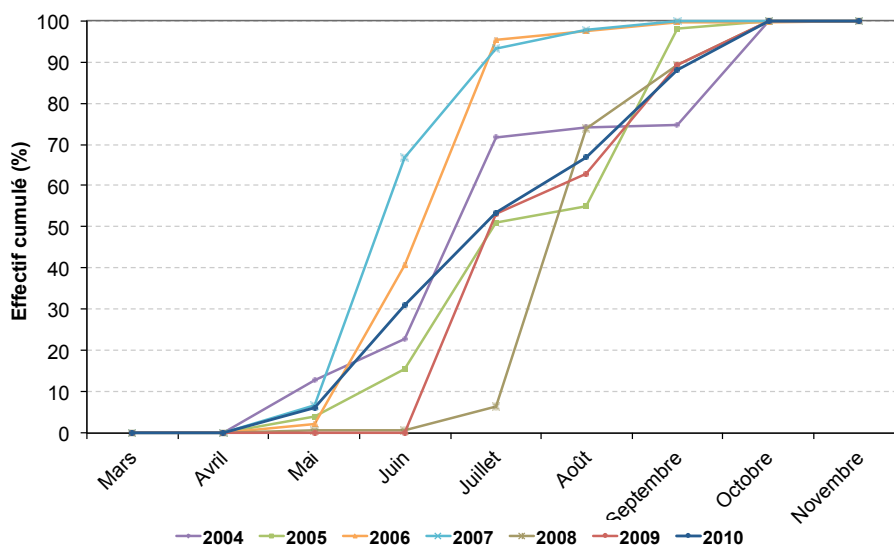


Figure 14 : Effectif cumulé (% sur l'effectif total annuel) de la population d'anguilles capturées dans la passe-piège de Mallemort par année

Pour les années 2006, 2007 et 2008, l'évolution des captures suit une tendance similaire. Les captures augmentent de manière quasi-linéaire sans l'observation d'un véritable pic de capture sur une courte période entre mai et août en 2006 et 2007 et entre juillet et septembre en 2008 (crue morphogène sur la période mai-juin en 2008). En revanche, les captures en 2004 et 2005 évoluent de manière brutale avec deux *maxima* situés fin juillet et mi-octobre. En 2009, l'évolution des captures se rapproche du schéma de 2004 et 2005 avec deux *maxima* situés en juillet et en septembre.

1.2.2. Paramètres environnementaux influençant la migration

1.2.2.1 La température de l'eau

Les premières captures surviennent après baisse de la température d'environ 6°C entre le 29 avril et le 9 mai 2010 (de 19,2°C à 13,3°C). Aussi, il est difficile de montrer cette année le caractère initiateur de ce facteur sur la phase de migration des anguilles (Figure 15).

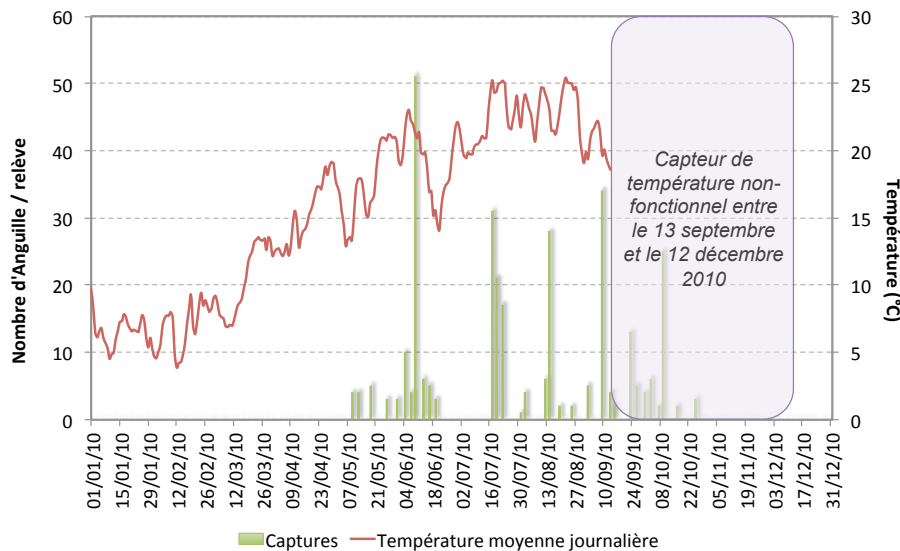


Figure 15 : Evolution des captures d'anguilles en fonction de la température de l'eau au niveau du barrage de Mallemort en 2010

Toutefois, l'évolution des captures d'anguilles semble être en lien avec la température de l'eau. En effet, les effectifs journaliers les plus élevés interviennent soit après un pic de température, soit lors d'une forte augmentation de cette variable. Sa diminution progressive à partir de septembre annonce la fin de l'activité de migration des anguilles au niveau de la passe-piège de Mallemort fin octobre. Il est néanmoins difficile de se prononcer puisque le capteur de température n'a plus été fonctionnel entre le 13 septembre et fin décembre 2010.

La figure 15 ne semble pas expliquer complètement les variations de captures journalières. Aussi afin de mieux visualiser l'effet de la température sur le nombre de captures d'anguilles, une régression linéaire a été réalisée (Figure 16). A noter que ne sont pas prises en compte les captures d'anguilles postérieures à la période hors de service de la sonde, soit 253 individus. Cet échantillon apparaît en outre assez grand pour réaliser des analyses de corrélation.

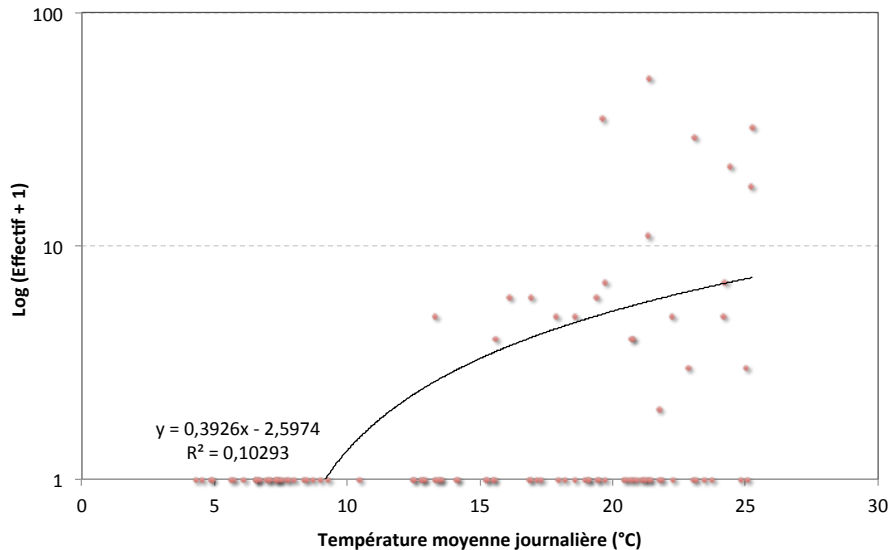


Figure 16 : Relation température de l'eau – nombre estimé d'anguilles capturées par jour (log) en 2010

La corrélation positive entre ces deux variables est avérée ($p < 0,001$) mais est à nuancer au regard de la valeur du coefficient de détermination ($R^2 = 0,103$). L'augmentation de la température stimule en effet l'activité des anguilles (espèce poïkilotherme) qui retrouvent ainsi des capacités de nage et de franchissement en adéquation avec les conditions de milieu. Il faut tout de même rester prudent quant à son analyse puisque la température n'expliquerait que 20,4% de l'évolution des captures (corrélations de Spearman).

En 2010, toutes les anguilles ont été capturées au-dessus d'un seuil de 13°C. Ces résultats se rapprochent de ceux observés les années précédentes, plus particulièrement ceux de 2004, 2008 et 2009. Néanmoins, l'écart entre les seuils annuels de température peut être relativement élevé avec une amplitude de 8,2°C entre 2006 et 2007 (Tableau 2). Cet écart semble en effet peu significatif du fait de la prise en compte de la température moyenne de l'eau le jour de la relève.

Tableau 2 : Seuils observés des températures moyennes journalières pour l'activité de migration entre 2004 et 2010

Année	Seuil de température (°C)
2004	13,0
2005	16,0
2006	11,2
2007	19,4
2008	15,5
2009	12,0
2010	13,3

Une capture a été observée pour une température de 11,2°C en 2006. Malgré son caractère exceptionnel, nous pouvons dire qu'à partir de 11°C, la migration de colonisation est effective.

1.2.2.2 Le débit

Le débit ne semble pas le facteur déclenchant de la phase de montaison des anguilles au niveau du barrage de Mallemort en 2010, aucune variation brusque du débit couplée à une forte remontée des individus n'étant observée (Figure 17).

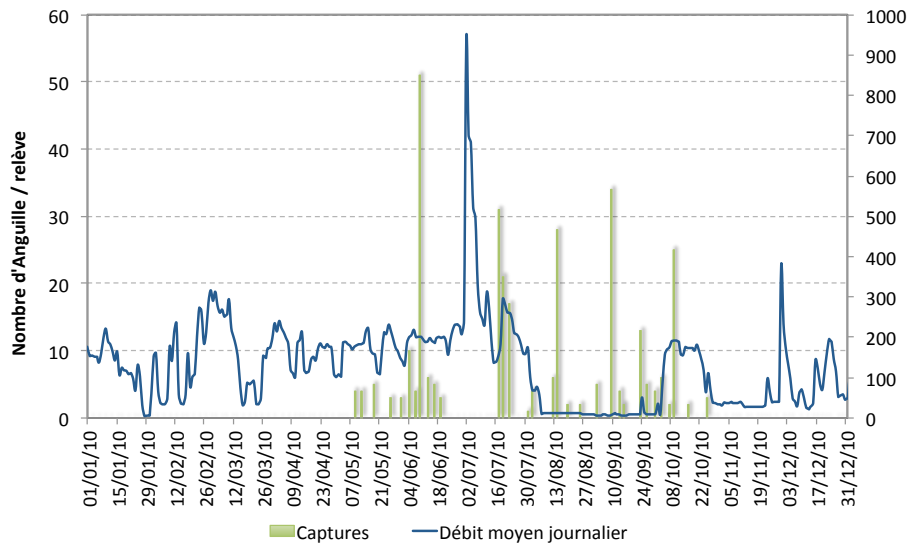


Figure 17 : Evolution des captures en fonction du débit en aval du barrage de Mallemort en 2010

L'activité migratoire s'intensifie jusqu'à une chute brutale des effectifs à partir du 13 juin 2010. Du 14 au 16 juin 2010, l'augmentation des débits dont les valeurs ont oscillé entre 207 et 940 m³/s (épisode de crue) a ainsi eu une action inhibitrice sur la migration des individus en ne procurant pas des conditions favorables à la migration des anguilles, en relation avec leurs capacités de nage. Aussi, le retour à des faibles débits active la migration à partir de mi-juillet.

Cependant, aucune corrélation n'est mise en évidence entre les captures et le débit, contrairement à ce qui a été observé en 2007 (Figure 18).

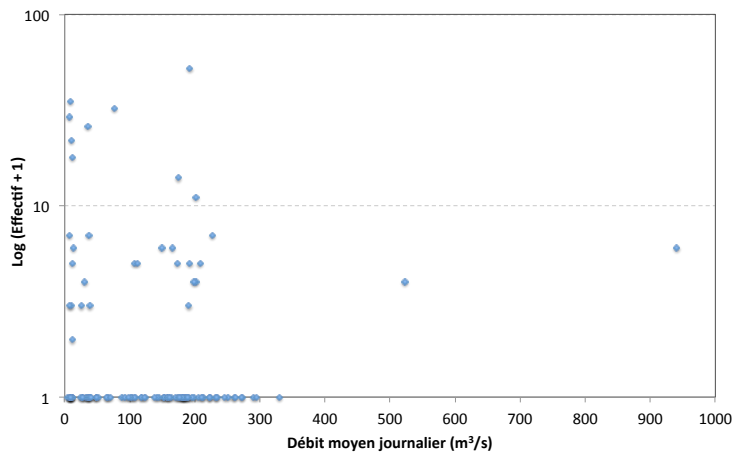


Figure 18 : Relation entre le débit moyen journalier et le nombre d'anguilles capturées par relève - exprimé en $\log(\text{Effectif} + 1)$ - en 2010

Les précédentes années de suivi, excepté en 2007 en 2009, mettaient en évidence l'absence de corrélation entre les captures et le débit. En effet, 60% des captures en 2007 s'expliquent par un débit soutenu mais couplé à des températures favorables. La fiabilité de ce résultat peut toutefois être remise en cause par le faible nombre d'anguilles capturées en 2007 (45 individus) qui est par ailleurs la plus faible année depuis l'ouverture de la passe-piège. En 2009, une corrélation négative a été mise en évidence mais elle n'expliquerait que 3% de l'évolution des captures.

I.2.2.3 Cycle lunaire

Les anguilles sont lucifuges et comme cela a pu être observé pour la migration de dévalaison, la pleine lune semble inhiber leur mobilité (BRUIJS et DURIF, 2009 *in* VAN DEN THILLART, 2009). Par ailleurs, cette caractéristique est d'autant plus prononcée que l'individu est grand.

Ainsi, les pics de migration des anguilles au niveau du barrage EDF de Mallemort semblent corrélés avec les périodes de nouvelle lune (Figure 19).

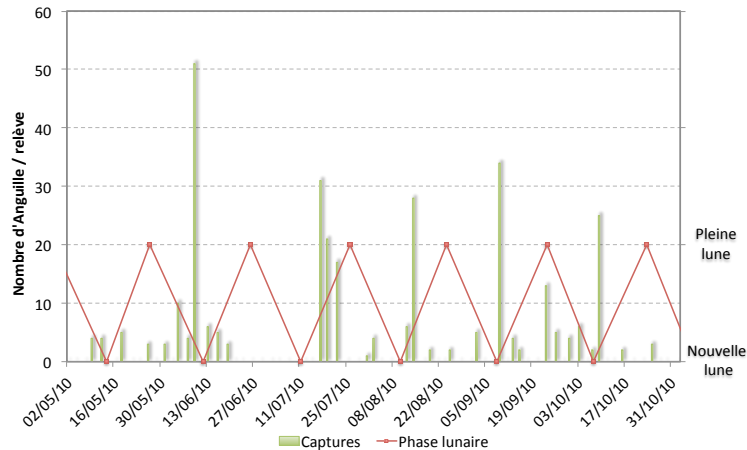


Figure 19 : Evolution des captures en fonction des phases lunaires en 2010

Hormis pour le pic de captures de juillet où le pourcentage de pleine lune est estimé entre 40 et 73,3%, les autres pics se sont produits pour un pourcentage de pleine lune inférieur entre 6 et 30%. Toutefois, en confrontant les captures uniquement au cycle lunaire, aucune tendance particulière n'a été observée.

I.2.2.4 Turbidité de l'eau

La turbidité de l'eau, pour les mêmes raisons que le cycle lunaire, pourrait influencer de manière positive la migration des anguilles (Figure 20). Très photosensibles, elles sont actives plus particulièrement la nuit ou dans des conditions de faible luminosité, comme c'est le cas avec des eaux turbides.

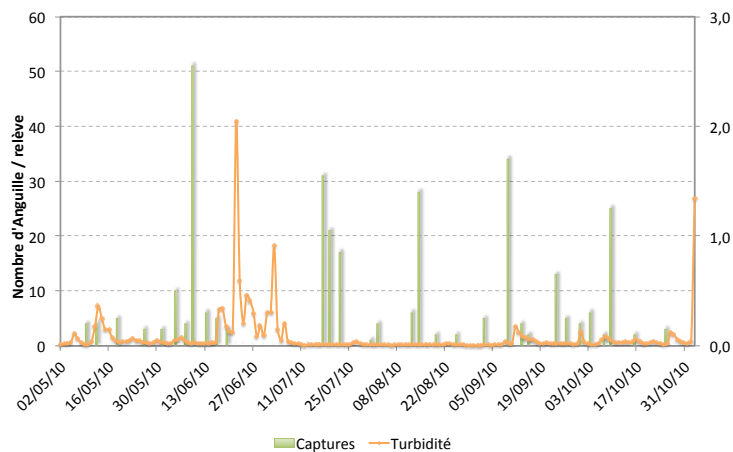


Figure 20 : Evolution des captures en fonction de la turbidité moyenne journalière en 2010

Toutefois, une corrélation négative est mise en évidence entre le nombre d'individus piégés dans la passe et la turbidité (Test de Spearman). Aussi, ce facteur aurait une action inhibitrice sur la migration des anguilles.

Il faut rester prudent quant à cette analyse puisque la turbidité n'explique que 4% de l'évolution des captures. Par ailleurs, l'effet de la turbidité de l'eau – activation de la migration – semble atténué voire inversé par les débits moyens journaliers auxquels est corrélée la turbidité (37,2%).

1.2.2.5 Synthèse

L'influence des facteurs environnementaux étudiés précédemment (débit, température, cycle lunaire et turbidité) a été décrite au travers d'une Analyse en Composante principale (ACP) afin de mieux visualiser leur action synergétique. Le Tableau 3 présente les coefficients de corrélation entre les captures d'anguilles à chaque relève et les facteurs environnementaux étudiés.

Tableau 3 : Résultats des coefficients de détermination de Spearman entre les captures, les débits moyens journaliers et la température de l'eau (les valeurs en gras sont significativement différentes)

	Température moyenne journalière (°C)	Débit moyen journalier (m3/s)	Turbidité moyenne journalière (g/l)	Phase lunaire
Captures (log(N+1))	0,452	-0,106	-0,200	-0,113

Pour interpréter la relation entre les paramètres, les facteurs F1 et F2 puis F1 et F3 ont été choisis. Ils expliquent à eux trois 86,0 % de la variabilité. On peut donc considérer cette valeur comme suffisante. Ainsi la Figure 21 montre une corrélation positive entre les captures et la température de l'eau. En revanche, la corrélation entre les captures et les autres paramètres apparaît négative, d'autant plus pour la turbidité dont la corrélation est significative.

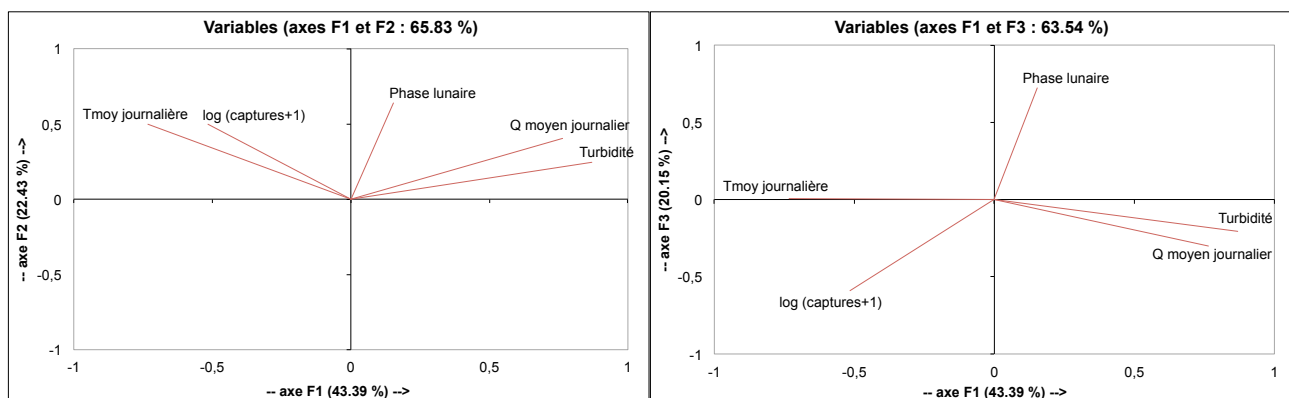


Figure 21 : Corrélation des paramètres de l'ACP entre les axes F1 et F2 et F1 et F3

Il est intéressant d'observer l'action négative de la turbidité sur les effectifs piégés alors qu'elle devrait être positive. L'effet conjoint du débit doit expliquer en grande partie ce phénomène puisqu'il est corrélé de manière positive à la turbidité (49,4%).

Par ailleurs, ce dernier explique aussi à hauteur de 8,2% l'évolution de la température de l'eau. Ainsi, bien qu'aucune corrélation significative n'ait été mise en évidence entre les effectifs piégés et le débit, ce dernier doit structurer indirectement l'évolution des captures au niveau de la passe-piège du barrage de Mallemort.

La Figure 22 illustre les individus piégés en 2010 sur une carte à deux dimensions (axes F1/F2 et axes F1/F3) et permet ainsi de mettre en évidence une migration des anguilles largement corrélée à la température de l'eau. Même si les autres facteurs, et plus particulièrement le débit en relation avec les capacités de nage de l'Anguille, doivent avoir une influence sur les effectifs piégés. Celle-ci ne reste néanmoins que secondaire par rapport à l'action de la température de l'eau sur la structuration de la migration, en tout cas en 2010.

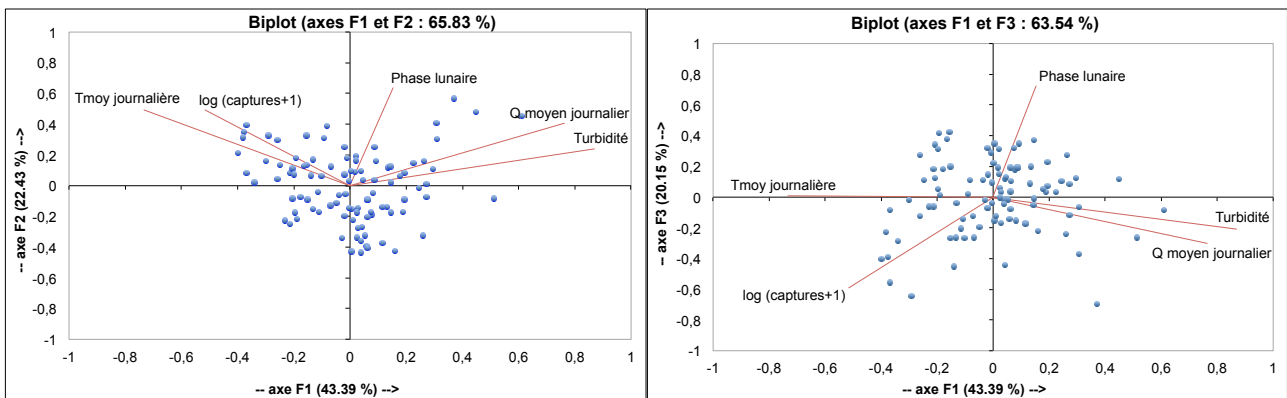


Figure 22 : Relation entre les observations (●) et les paramètres de l'ACP en 2010 selon les axes F1 et F2 et F1 et F3

315 anguilles ont été piégées dans la passe-piège du barrage EDF de Mallemort sur la fenêtre de migration entre le 9 mai et le 25 octobre 2010. L'évolution des captures suit une courbe polymodale, caractérisée par des pics mensuels de captures. Ceci reflète l'action de facteurs environnementaux sur le déclenchement et la structuration de la montaison de cette espèce.

La température de l'eau semble influencer les captures. Aussi en 2010, les anguilles ont été capturées au-dessus d'un seuil de température de 13°C. Ce seuil demeure toutefois très fluctuant entre les années (de 11°C en 2006 à 19°C en 2007), phénomène s'expliquant par des conditions, notamment de débit, défavorables. L'augmentation des températures par la suite stimule l'activité migratoire d'où l'augmentation des captures. Aucune corrélation entre le débit et les captures n'a été mise en évidence, à l'inverse de ce qui a été observé en 2007 et 2009. Cette année, l'influence de la turbidité de l'eau et celle du cycle lunaire sur l'évolution des effectifs piégés ont été réalisées sans résultats significatifs.

L'étude des facteurs environnementaux n'explique qu'en partie l'évolution relative du flux migrant au niveau de la passe. D'autres variables, notamment biologiques, doivent intervenir d'autres facteurs dans le processus de migration.

II. Caractérisation biologique des anguilles

II.1. Longueur et poids moyens

En 2010, le spectre de taille et de poids de la population échantillonnée varie respectivement de 110 à 420 mm et de 2 à 107 g (Tableau 4). La taille et le poids moyens sont respectivement de 282,77 mm et 33,56 g.

Tableau 4 : Caractéristiques biométriques des anguilles capturées dans la passe-piège du barrage de Mallemort en 2010

	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Taille (mm)	315	282,77	55,51	110	420
Poids (g)	315	33,56	16,07	2	107

La comparaison des échantillons annuels d'Anguille souligne la singularité des individus capturés depuis 3 ans quelle que soit la variable biométrique prise en compte (Tableau 5). En effet, les moyennes et les valeurs extrêmes sont les plus basses. En particulier, les individus capturés en 2009 sont en moyenne les plus petits (270,83 mm). *A contrario*, les échantillons des précédentes années de suivi apparaissent assez homogènes comme le confirme le test de comparaison d'échantillons de Mann Whitney (Annexe 3).

Tableau 5 : Comparaison des caractéristiques biométriques des anguilles capturées sur la période de suivi 2004-2010

Année	Taille				Poids			
	Effectif	Moyenne	Ecart-type	[Min-Max[	Effectif	Moyenne	Ecart-type	[Min-Max[
2004	163	308,34	46,52	[150-410[	163	46,44	17,76	[14-103[
2005	51	301,76	48,43	[140-430[	51	46,65	24,19	[4-126[
2006	522	318,49	39,43	[220-500[	522	47,92	19,94	[13-170[
2007	45	310,00	40,62	[250-400[	45	46,89	16,53	[20-81[
2008	122	296,31	45,30	[100-390[	122	39,05	16,74	[2.5-82[
2009	94	270,83	31,59	[150-370[	94	28,40	8,10	[14-63[
2010	315	282,77	55,51	[110-420[	315	33,56	16,07	[2-107[

Contrairement au poids, les *maxima* pour la variable « Taille » sont très proches (entre 370 et 430 mm) exceptés en 2006 où un individu de 500 mm a été capturé. Ceci souligne l'utilisation de la passe par des anguilles sédentaires. Les *minima*, quant à eux, sont plus hétérogènes. Deux groupes se distinguent :

- Un minimum inférieur à 150 mm pour les années 2004, 2005, 2008, 2009 et 2010 (respectivement 150, 140, 100, 150 et 110 mm),
- Un minimum supérieur à 150 mm pour les années 2006 et 2007 (respectivement 220 et 250 mm).

L'amplitude de taille montre l'utilisation de la passe par différents stades biologiques de l'Anguille (anguillettes et anguilles jaunes). Par ailleurs, il apparaît que la migration peut être rapide pour certains individus, comme en témoigne les individus de 100 et 110 mm capturés respectivement en 2008 et 2010.

Néanmoins, la comparaison statistique des échantillons reste discutable. En effet, l'effectif d'anguilles capturées en 2006 est très élevé par rapport aux autres années de suivi (40% de l'effectif total d'anguilles capturées depuis 2004). Cette comparaison est donc probablement biaisée par le poids important des données 2006, d'autant plus que les effectifs des autres années sont faibles voire insuffisants pour garantir la fiabilité statistique des analyses. Malgré des caractéristiques biométriques annuelles relativement distinctes, les échantillons des années de suivi seront donc considérés comme une seule population.

II.2. Relation taille poids

La relation taille-poids (Figure 23) fait ressortir une corrélation relativement forte entre les deux variables. L'équation est de type puissance $y = a.x^b$:

$$Pds = 0,000015.L^{2,5764}, r = 0,9169.$$

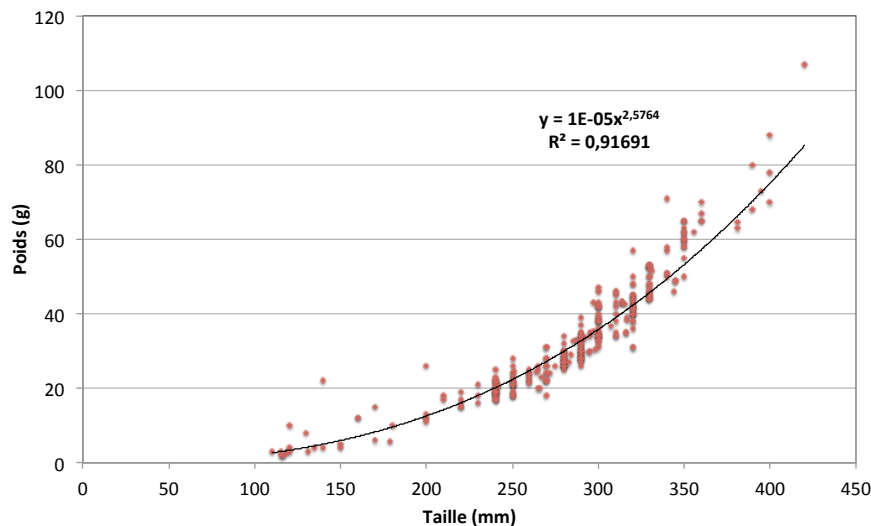


Figure 23 : Relation entre la taille et le poids de l'échantillon d'anguilles piégées en 2010

La taille et le poids sont fortement corrélés pour l'ensemble des années de suivi, hormis en 2009 ($R = 0,7486$). La validité de ces résultats ne semble donc pas être remise en cause au regard de la valeur du coefficient de corrélation (Tableau 6, Figure 24).

Tableau 6 : Récapitulatif des coefficients de corrélation, condition des individus et taux d'allométrie des relations Taille-Poids des différentes années de suivi

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
r	0,951	0,839	0,950	0,936	0,902	0,7486	0,9169
a	3,00E-04	6,00E-07	7,00E-07	1,00E-05	4,00E-05	2,10E-03	1,48E-05
b	2,0641	3,1551	3,1118	2,4277	2,5868	1,6907	2,5764

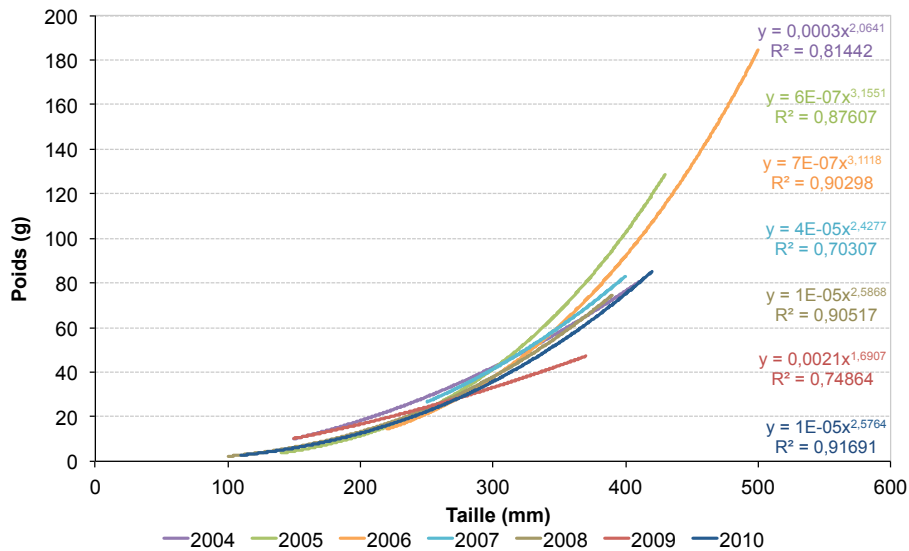


Figure 24 : Comparaison des relations Taille-Poids établies pour les différentes années de suivi

La relation Taille-Poids indique par ailleurs la condition physique et décrit la nature de la croissance des individus capturés via l'équation de la courbe. La comparaison des taux d'allométrie (« b ») met en évidence deux groupes :

- Les populations d'anguilles capturées en 2004, 2007, 2008, 2009 et 2010 pour lesquelles l'allométrie est dite minorante (les individus grandissent plus vite qu'ils ne grossissent),
- Les populations d'anguilles capturées en 2005 et 2006 pour lesquelles l'allométrie est dite majorante (les individus grossissent plus vite qu'ils ne grandissent).

Il semble apparaître en outre que la condition des individus est meilleure pour le 1^{er} groupe que pour le 2nd au vu de la constante « a » des équations (la condition des individus augmente avec « a ») mais là encore, la significativité de ces résultats peut être remise en cause (faibles effectifs).

II.3. Structure de la population

La structure de la population migrante par classe de taille est illustrée par la Figure 25. La gamme de taille varie entre 110 et 420 mm. Les classes de tailles les plus représentées sont [290-300[, [300-310[et [320-330[(respectivement 12,4%, 11,1% et 11,8% de la population migrante d'Anguille).

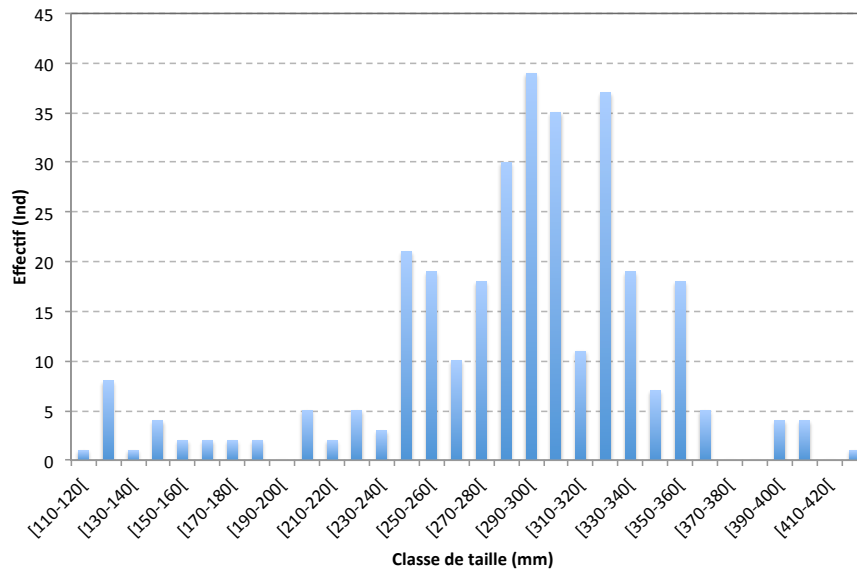


Figure 25 : Structure en taille de la population d'anguilles capturées en 2010

La structure de taille de la population migrante est assez similaire entre 2004 et 2010 au niveau de la passe-piège du barrage de Mallemort. Toutefois en 2009, l'amplitude des tailles, comprise entre 150 et 370 mm, est très faible par rapport aux autres années. A l'inverse en 2010, une amplitude des tailles très étendue (Figure 26). Ainsi, cette dernière varie pour 90% de la population migrante entre 160 et 400 mm avec un pic d'anguilles entre 270 et 340 mm.

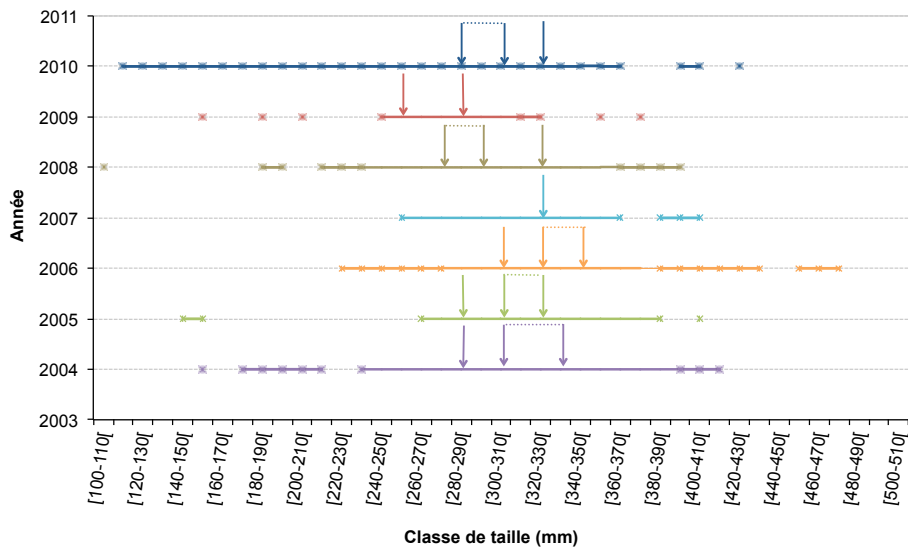


Figure 26 : Structure en taille de la population migrante par année (90% des individus) – ↓ et ↓↓ : classe(s) représentée(s) par le maximum d'individus

La distinction des cohortes d'âge *via* l'analyse des structures en taille de la population migrante est impossible. En effet, les caractéristiques réelles du milieu, soit les capacités de croissance des anguilles, ne sont pas connues et ne permettent donc pas la réalisation d'un rapport taille/âge pour ces individus.

II.4. Évolution des caractéristiques biologiques des individus

En 2010, la taille moyenne des anguilles atteint un maximum en juillet (320 mm) puis diminue régulièrement jusqu'en octobre (Figure 27, Annexe 4).

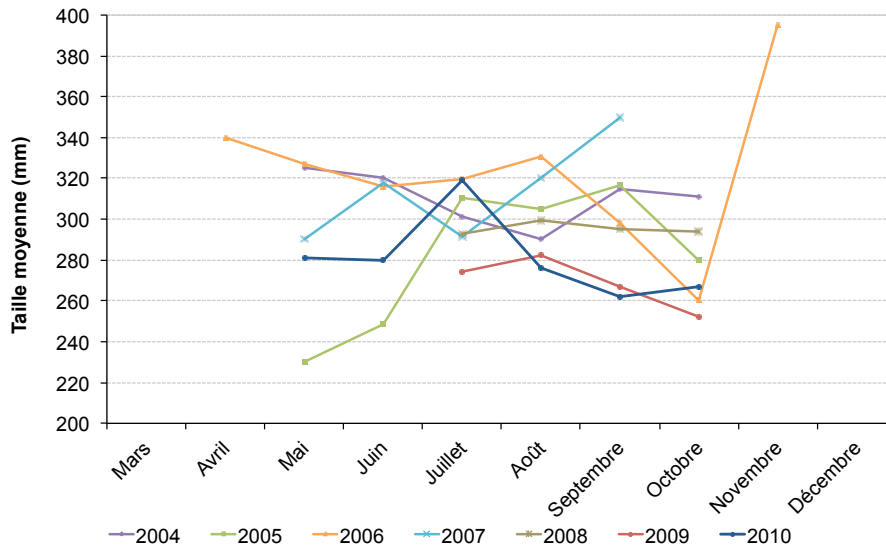


Figure 27 : Evolution de la taille des anguilles capturées sur la période de suivi 2004-2010

L'évolution mensuelle interannuelle de la taille moyenne des anguilles n'est pas similaire entre 2004 et 2010. Ainsi, la taille moyenne en 2004 diminue progressivement jusqu'à un minimum en août (290 mm) puis augmente légèrement jusqu'en octobre.

En 2005, la taille moyenne croît rapidement entre avril et juillet (230 à 310 mm), stagne puis diminue de septembre à octobre. En 2006, la taille moyenne oscille entre 315 et 340 mm d'avril à août puis chute entre août et octobre (330 à 260 mm) pour atteindre un maximum en novembre (395 mm). En 2007, la taille moyenne des individus fluctue entre 290 et 320 mm entre avril et août avant d'atteindre son maximum en septembre (350 mm). Aucune tendance n'est réellement observée en 2008. En 2009, la taille moyenne des anguilles atteint un maximum en août et diminue progressivement jusqu'en octobre. Ces variabilités restent néanmoins peu significatives.

Le coefficient de condition K est préférable à la relation Taille-Poids pour étudier la condition physique des poissons. La Figure 28 montre l'évolution de ce facteur au cours de l'année pour les six années de suivi.

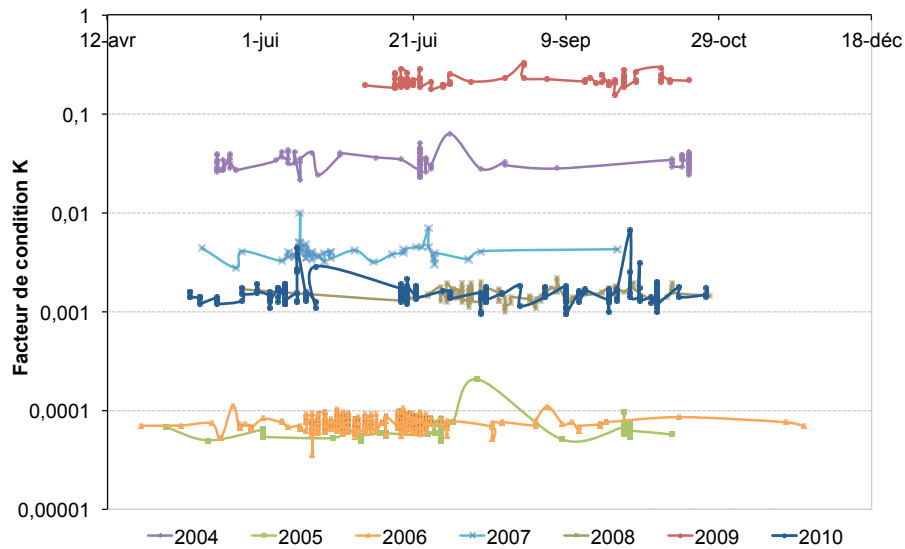


Figure 28 : Evolution du coefficient de condition K sur la période de suivi 2004-2010

Aucune tendance ne ressort de l'analyse de l'évolution de K sur les six années de suivi. Toutefois, ces éléments confirment les résultats obtenus avec les équations Taille-Poids avec une meilleure condition physique des anguilles capturées en 2009, qui sont par ailleurs les plus petits, et dans une moindre mesure, celles piégées en 2004, 2007, 2008 et 2010. Il est intéressant d'observer l'évolution similaire des facteurs de conditions en 2008 et 2010. L'irrégularité des courbes semble mettre en évidence l'influence d'autres facteurs comme les conditions environnementales.

La longueur et le poids moyens des individus piégés en 2010 sont respectivement de 282,77 mm et de 33,56 g. En termes de croissance, les anguilles grandissent plus vite qu'elles ne grossissent, phénomène également observé en 2004, 2007, 2008 et 2009.

Concernant la structure de taille de la population échantillonnée, les classes les mieux représentées sont [290-310] et [320-330] mm avec une gamme de taille variant de 110 à 420 mm en 2010. Cette structure de taille est semblable pour les sept années de suivi.

L'étude des facteurs biologiques ne révèle aucune similitude entre les années.

DISCUSSION

Il est important de préciser que les données obtenues ne correspondent pas au flux migrant potentiel se présentant au pied du barrage et doivent en réalité être considérées comme des indices sur l'évolution relative du flux migrant sur un site donné (LAFAILLE et RIGAUD, 2008 *in* ADAM *et al.*, 2008). En effet, la sélectivité des passes-pièges à Anguille, malgré leur spécificité vis-à-vis de l'espèce, dépend d'un certain nombre de facteurs dont la nature du substrat, l'inclinaison de la rampe ainsi que de la gamme de taille des individus. A ceci s'ajoute la position sur le site et le débit d'appel du dispositif qui influent directement sur son attractivité. La représentativité des individus piégés par rapport au flux total ne pourrait être estimée qu'au cas par cas par des méthodes de Capture – Marquage – Recapture (LAFAILLE et RIGAUD, *ibidem*).

I. Dynamique de population

I.1. Effectifs de captures

En 2010, 315 anguilles ont été capturées dans la passe-piège à anguilles du barrage de Mallemort. Par rapport aux captures au niveau de l'aménagement de Vallabrègues (Tableau 7), les effectifs restent tout de même faibles sur la période de suivi avec un minimum de 45 individus en 2007 et un maximum de 522 individus en 2006.

Tableau 7 : Effectif annuel estimé d'anguilles capturées en rive droite et gauche de l'usine-écluse de Beaucaire-Vallabrègues et au barrage de Mallemort

Année	Vallabrègues		Total	Mallemort
	Rive gauche	Rive droite		
2004			0	163
2005	1681		1681	49
2006	7776	2938	10714	522
2007	3846	13595	17441	45
2008	87005	148932	235937	122
2009	211	3427	3638	94
2010	180917	136699	317616	315

L'utilisation modérée de cette passe par les anguilles semble tout d'abord provenir de la distance de l'ouvrage à la mer (126 km de l'embouchure du Rhône), facteur défini par plusieurs auteurs comme prépondérant dans la distribution des anguilles sur un bassin versant (OBERDOFF *et al.*, 2001 ; LAFAILLE *et al.*, 2003).

L'autre facteur mis en relief est l'importance majeure des obstacles dans la répartition des anguilles. Depuis l'embouchure de Rhône, six obstacles cloisonnent le milieu jusqu'au barrage de Mallemort. Même s'ils sont théoriquement franchissables pour l'Anguille, ils n'en induisent pas moins une sélectivité. En effet, l'inclinaison et le substrat de la paroi influent sur la longueur en reptation des individus (LEGAULT, 1992) donc sur la distribution en taille des anguilles en amont des seuils. Par ailleurs, l'effet cumulatif des seuils et barrages crée un filtre qui provoque un écrémage des effectifs migrants.

Toutefois, les pêches électriques réalisées par l'ONEMA en aval du barrage de Mallemort confirment les faibles effectifs d'anguilles (Figure 29). Au niveau d'Avignon en aval du barrage EDF de Bonpas (15 km en amont de la confluence Rhône/Durance), les densités moyennes d'Anguille oscillent entre 0 et 2391 individus/ha (données ONEMA 1998-2010). Il en est de même plus en amont, à Cheval blanc (33 km en amont de la confluence Durance/Rhône) où les densités fluctuent entre 0 (2009) et 205 (2003) individus / ha (données ONEMA 2003-2009). Toutefois, aucune anguille n'a été capturée sur les stations en amont du barrage (Station de Cadenet - Données ONEMA 2000-2001 et 2010 - et station de Saint Paul lès Durance – données ONEMA 2007 et 2009). Par ailleurs, les tailles des individus s'échelonnent sur une gamme très étendue allant de 100 à 700 mm. Leur amplitude est plus restreinte au niveau de la passe-piège, s'expliquant par la perte du comportement migratoire des grands individus (LAFAILLE *et al.*, 2005b).

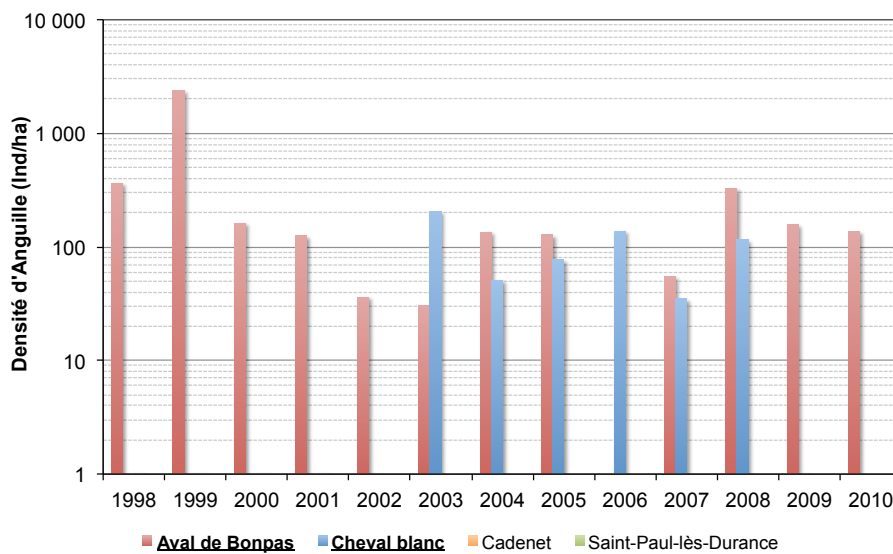


Figure 29 : Evolution interannuelle des densités d'Anguille (Ind/ha) par pêche électrique sur quatre stations sur la Durance entre 1998 et 2010 (Station en aval du barrage de Mallemort) (Données ONEMA)

I.2. Caractérisation de la migration des anguilles

Globalement, les captures débutent en mai et se terminent en octobre, avec la présence d'un pic estival de capture, et confirment une colonisation plutôt estivale des anguillettes et anguilles jaunes (CRIVELLI, 1998). Les variabilités inter et intra-annuelles des captures ne semblent pas liées aux facteurs biologiques étudiés (taille et facteur de condition) car aucune tendance de leur évolution ne se dégage sur la fenêtre de migration.

La migration des anguilles à l'aval du barrage de Mallemort entre 2004 et 2010 semble être influencée par la température de l'eau. D'ailleurs, plusieurs auteurs soulignent l'influence de ce paramètre sur la migration des anguilles pour laquelle une hausse printanière de la température semble être l'élément déclencheur (MORIARTY, 1986 ; NAISMITH et KNIGHTS, 1988). Ceci n'a été mis que partiellement en évidence sur la Durance, notamment en 2010, et peut s'expliquer par un stade de développement des anguilles plus avancé puisque WHITE et KNIGHTS (1997) indiquent que plus l'Anguille grandit, moins ses déplacements sont température-dépendants. Malgré cela, même chez les anguilles jaunes sédentaires, les niveaux d'activité sont influencés par la température (animaux poïkilothermes).

Aucune influence du débit ne semble être mise en évidence au niveau du barrage de Mallemort. L'artificialisation des débits très marquée en Durance minimiserait l'influence de ce paramètre sur les captures (WHITE et KNIGHTS, *ibidem*). Pourtant, des débits élevés de restitution sur le barrage de Mallemort empêchent la migration des anguilles dont les capacités de nage sont insuffisantes. Aussi, l'influence de l'artificialisation des débits serait intéressante à approfondir afin d'optimiser le rapport débit restitué / migration des anguilles.

Ces deux paramètres n'expliquent que partiellement la dynamique migratoire des anguilles au niveau de Mallemort. D'autres facteurs ont été avancés pour comprendre les mécanismes de la migration : cycle lunaire, phénomènes de chémo-réception... (WHITE et KNIGHTS, *ibidem*). Le cycle lunaire et la turbidité ont été étudiés en 2010 mais aucune influence de ces variables sur la migration des anguilles n'a été mise en évidence.

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

II. Caractérisation biologique des anguilles

La gamme de taille est étendue, allant de 100 à 510 mm sur les 6 années de suivi. La population migrante est donc constituée d'anguillettes mais également d'anguilles jaunes ou sédentaires. Bien qu'il soit difficile d'apprécier l'âge des anguilles (rapport taille/âge) puisque les caractéristiques du milieu ne sont pas connues, on peut considérer qu'un individu de taille supérieure à 300 mm est une anguille sédentaire. Ainsi, ce stade représente 2/3 de la population migrante sur les cinq années de suivi.

L'Anguille colonise les rivières à faibles vitesses d'écoulement et donc, plus la distance à la mer est importante, plus les individus capturés sont grands (WHITE et KNIGHTS, 1997).

À l'inverse, la migration peut être rapide comme en témoignent les individus capturés dont la taille est inférieure à 150 mm (18 individus dont 14 en 2010). Ceci suggère un comportement migratoire fort jusqu'à un stade de croissance avancé, même s'il est considéré que plus la taille de l'individu est élevée, plus les phénomènes de migration diminuent (EDELIN, 2005). Hormis les facteurs physiologiques et environnementaux, la densité-dépendance expliquerait en partie la distribution des anguilles (EDELIN, *ibidem*). D'autres facteurs internes et environnementaux influencent les phénomènes migratoires des anguilles.

III. La phase de dévalaison de l'Anguille de Mallemort à la mer

Alors que les barrages et seuils sur l'axe Rhône aval-Durance sont considérés comme franchissables pour l'Anguille à la montaison de par leur configuration ou leur équipement, la phase de dévalaison des anguilles argentées reste problématique sur les cours d'eau fortement cloisonnés et d'autant plus sur les affluents du Rhône par l'effet cumulatif des ouvrages des affluents et du Rhône. Ces derniers constituent un impact (retard, blessures, mortalité) sur la phase de dévalaison des anguilles argentées *a fortiori* au niveau des usines hydro-électriques. En effet, le passage à travers les turbines hydroélectriques entraîne des mortalités. Le passage par déversement peut aussi se révéler impactant en fonction des caractéristiques physiques des ouvrages (LARINIER et TRAVADE, 1995). À l'heure actuelle, aucun ouvrage, notamment l'usine-écluse de Vallabrègues et le complexe EDF de Mallemort, n'est équipé d'un dispositif minimisant les mortalités comme les grilles fines associées à un exutoire de dévalaison sur l'axe Rhône aval-Durance.

Le taux de mortalité dans les turbines dépend du type et des caractéristiques des turbines (nombre de pales, diamètre, vitesse de rotation...), de la hauteur de chute de l'ouvrage, de l'espèce et de la longueur des individus. Ainsi, les turbines bulbes ou Kaplan rencontrées sur les aménagements du Rhône sont d'une manière générale moins traumatisantes que les turbines Francis, qui équipent la plupart des aménagements sur les affluents comme c'est le cas sur la Durance. À titre d'exemple, une première estimation sommaire du taux de survie des anguilles sur le Rhône de Lyon à la mer a été réalisée par l'ONEMA (ROCHE, 2008). Aussi au niveau de l'usine-écluse de Vallabrègues, le taux de mortalité des anguilles à travers les turbines a été estimé à 12,3% en supposant que 90% des individus transitent par l'usine. Dans le cadre d'un programme de recherche lancé au niveau national, des études ont été lancées pour d'évaluer *in situ* les mortalités dans les turbines de grande taille :

- En 2009 : au niveau de l'usine hydroélectrique EDF de Fessenheim sur le Rhin (groupe Kaplan 4 pâles),
- En 2010 :
 - Au niveau de l'usine hydroélectrique EDF de Iffezheim sur le Rhin (groupe Kaplan 5 pâles),
 - Au niveau de l'usine hydroélectrique CNR de Vallabrègues sur le Rhône (groupe bulbe).

Les mortalités moyennes provisoires (inférieures à 10%) seraient ainsi moins élevées que celles théoriques pour les trois types de turbines.

Par ailleurs, suivant la configuration des sites et les conditions hydrologiques du cours d'eau, la répartition des passages des anguilles argentées entre les barrages de retenue et les usines hydro-électriques varie. La détermination des voies de franchissement est donc essentielle pour apprécier les dommages induits par ces aménagements. À l'instar des travaux réalisés sur le Rhin par EDF, une étude portée par la CNR avec l'appui de l'ONEMA et de MRM est prévue sur le Rhône dans le cadre du programme sus-cité et devra apporter des éléments de compréhension sur les mécanismes de dévalaison.

Parallèlement à ces deux axes d'études (amélioration des connaissances sur les voies de cheminement des anguilles et évaluation de l'impact des aménagements hydroélectriques), EDF a lancé d'autres travaux sur la phase de dévalaison des anguilles argentées dans le cadre de ce même programme qui devront répondre aux objectifs suivants :

- *Acquérir une meilleure connaissance du comportement de dévalaison de l'Anguille au niveau des ouvrages et en particulier au niveau des grilles de dévalaison :*

La détermination des voies de passage est fondamentale pour apprécier les dommages potentiels cumulés sur un axe donné. En plus des expérimentations sur le Rhin et le Rhône, une étude lancée sur le Gave de Pau devra fournir des éléments quant aux modalités de franchissement d'obstacles en série (dynamique en fonction des paramètres environnementaux, répartition, évaluation des vitesses de transit...).

- *Acquérir une meilleure connaissance des rythmes de dévalaison en vue de la gestion des aménagements hydroélectriques :*

Une des solutions envisagées pour faciliter le franchissement des anguilles argentées lors de la dévalaison est la réalisation de manœuvres d'usine (arrêt ou diminution du débit turbiné, ouverture des vannes). Sa mise en œuvre nécessite néanmoins la prédiction des pics de migration en fonction des conditions environnementales pour optimiser la durée des manœuvres :

- Mise au point d'un modèle de prévision des pics en fonction des paramètres environnementaux sur la Loire et la Dordogne,
- Test de l'efficacité d'un biomoniteur (dispositif Migromat ®) sur la Shannon (Irlande) pour laquelle des séries interannuelles de mesures fiables existent.

- Développement et évaluation de nouvelles techniques visant à réduire les mortalités d'anguilles dans les turbines. L'utilisation de grilles fines peut être techniquement très difficile ou d'un coût disproportionné. Aussi, une alternative peut être l'installation de barrières comportementales à infrasons, mais dont la capacité de répulsion et d'orientation vers des exutoires vis-à-vis de l'Anguille doit être testée (Gave de Pau). Une autre étude vise à optimiser le rendement énergétique de turbines « fish friendly » (laboratoire d'hydraulique d'ALDEN, USA) et de construire un prototype à échelle 1 afin de réaliser des tests biologiques *in situ*.
- *Acquérir des techniques de suivis pour permettre les tests d'efficacité des dispositifs de franchissement ou de protection lors de l'entraînement dans les prises d'eau.*

IV. Perspectives

Le volet local Rhône Méditerranée pour la gestion de l'Anguille 2009-2014 a défini la Durance jusqu'au barrage EDF de Cadarache comme zone d'actions prioritaires. Ainsi, sur ce linéaire, la franchissabilité des ouvrages à la montaison et à la dévalaison doit être expertisée sur les ouvrages dont un diagnostic doit par ailleurs apporter les solutions techniques de franchissement au terme du plan de gestion (ouvrages prioritaires).

À l'heure actuelle, aucune étude n'a été lancée sur la Durance pour plusieurs raisons :

- L'augmentation des débits réservés d'ici 2014 dans le cadre de la LEMA est au stade préliminaire. En effet, les valeurs de débits par ouvrage n'ont pas encore été arrêtées (prévues en 2011) – donc validées par l'Etat. Dans ce contexte, il demeure impossible de définir tout projet d'aménagement tant à la montaison qu'à la dévalaison ;
- Les études sur l'évaluation de la mortalité *in situ* des anguilles argentées dans les turbines de grande taille et sur les modes de franchissement d'obstacles sur le Rhône sont en cours de réalisation. Aussi, EDF attend les retours d'expérience de ces études avant tout projet d'aménagement visant à améliorer la dévalaison des anguilles.

Concernant les aménagements de Bonpas et de Mallemort, ouvrages inclus dans la ZAP Anguille, la question de la dévalaison sera de toute manière posée d'ici 2015.

C'est pour ces mêmes raisons qu'aucune réflexion n'est pour l'instant lancée pour l'automatisation de la passe-piège à Anguille du barrage EDF de Mallemort (système pérenne de franchissement automatique). Ainsi, le suivi de la migration des anguilles est, dans l'attente de ces éléments, reconduit selon les mêmes modalités en partenariat avec EDF, la Fédération de pêche du Vaucluse et l'Association MRM.

CONCLUSION

En 2010, 315 anguilles ont été capturées dans la passe-piège à Anguille du barrage EDF de Mallemort. Depuis 2004, les effectifs annuels sont faibles, comparativement à ceux piégés dans les passe-pièges de l'usine-écluse de Vallabrègues. La distance de l'ouvrage à la mer ainsi que l'impact cumulé des 6 ouvrages présents en aval expliquent en grande partie ce phénomène. Malgré cela, ce dispositif de franchissement semble être efficace d'une part, au regard de la large gamme de taille des individus l'utilisant et d'autre part, au regard des effectifs d'anguilles capturés en lien avec le niveau typologique du site. Cette affirmation est tout de même à nuancer puisqu'il n'existe pas de données de référence sur ce site et de référentiel selon la localisation sur un bassin versant (distance à la source, qualité de l'habitat...).

Conformément aux objectifs du PLAGEPOMI, cette étude s'inscrit autant dans l'acquisition d'indicateur de suivi des populations d'anguilles que dans l'amélioration des connaissances écobologiques de cette espèce sur les bassins RM et C. De ce fait, le suivi est reconduit en 2011 en partenariat avec EDF, la Fédération de pêche du Vaucluse et l'Association MRM.

Des réflexions ont été ouvertes sur d'autres protocoles de suivi, et notamment un système pérenne de franchissement automatique, mais elles sont à l'heure actuelle en attente. Avant d'engager des travaux d'automatisation de la passe, EDF souhaite toutefois poursuivre cette collaboration tripartite pendant quelques années afin d'apprécier l'efficacité du dispositif de franchissement, notamment au regard de l'augmentation des débits réservés. Par ailleurs, de nombreuses inconnues subsistent sur la biologie de l'Anguille – en particulier, la dévalaison – et sur l'efficacité du système automatique – aucun retour d'expérience à l'heure actuelle.

Dans un contexte plus large, le plan de gestion pour l'Anguille (Règlement CE 1100/2007) a défini la Durance jusqu'au barrage EDF de Cadarache comme zone d'actions prioritaires pour l'amélioration de la circulation des anguilles à la montaison et la dévalaison (en restant dans un taux de mortalité faible des individus dévalants). L'axe Rhône-Durance – jusqu'au barrage de Mallemort – apparaît comme franchissable par l'Anguille d'un point de vue qualitatif. Cependant, les deux suivis de passes-pièges à anguilles sur cet axe (Vallabrègues et Mallemort) semblent insuffisants pour répondre d'un point de vue quantitatif à l'amélioration du franchissement et à la maximisation des effectifs. À ceci s'ajoute le manque de connaissances sur l'espèce notamment sur les facteurs influençant la colonisation par l'Anguille et sa répartition sur un bassin versant. La mortalité à la dévalaison reste par ailleurs un problème sur les cours d'eau très cloisonnés et à plus forte raison sur les affluents du Rhône par l'effet cumulatif des ouvrages des affluents et du Rhône.

BIBLIOGRAPHIE

ACOU A., LEFEBVRE F., CONTOURNET P., POIZAT G., PANFILI J., CRIVELLI A.J., 2003. *Silvering of female eels (Anguilla anguilla) in two sub-populations of the Rhône delta.* Bull. Fr. Pêche. Piscic. 368 : pp 55-68.

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 de Rennes 1.

ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C. (COOR.), 2008. *L'Anguille européenne : Indicateurs d'abondance et de colonisation.* Editions Quae, Versailles : 394 p.

ANONYME, 2003. *Étude monographique des fleuves et grandes rivières de France – Le bassin versant de la Durance.* Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance.

BARRAL M., 2001. *Etat des lieux de la circulation piscicole sur les affluents rive gauche du Rhône et les fleuves côtiers méditerranéens.* Association Migrateurs Rhône Méditerranée..

BRIAND C., FATIN D., FONTENELLE G., FEUNTEUN E., 2005. *Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (Vilaine river, Southern Brittany).* Bull. Fr. Pêche Piscic. 378: pp 67:86.

BRIAND C., BAISEZ A., BARDONNET A., BEAULATON L., FEUNTEUN E., LAFAILLE P., LAMBERT P., PORCHER J. P., PROUZET P., RIGAUD C., ROBINET T., 2006. *Connaissances, outils et méthodes pour la mise en place de plans de gestion de l'anguille (A. anguilla) dans les bassins versants français.* Rapport d'expertise scientifique et technique du Groupe « Anguille » du GIS Poissons Amphihalins (GRISAM), Paris.

BRIJIS M.C.M., DURIF C.M.F., 2009. "Silver eel migration and behaviour". In : **VAN DEN THILLART G. (EDS.), 2009.** *Spawning migration of the European Eel : reproduction index, a useful tool for conservation management.* Fish and fisheries serie 30, Springer Science & Business Media B.V.

COGEPOMI, 2003. *Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée Corse 2004-2008.* DIREN Rhône-Alpes, délégation de bassin RMC.

COGEPOMI, 2006. *Programme de gestion de l'anguille sur les lagunes méditerranéennes 2006-2008 (Projet)*. Direction Régional de l'Environnement Rhône-Alpes Bassin Rhône – Méditerranée. 6p.

COGEPOMI, 2008. *Plan de gestion Anguille de la France - Volet local de gestion Rhône Méditerranée*. Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes Bassin Rhône – Méditerranée : 32 p.

COGEPOMI, 2011. *Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée Corse 2010-2014*. DIREN Rhône-Alpes, délégation de bassin RMC.

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, 1998. *L'anguille méditerranéenne : synthèse bibliographique*. DIREN Rhône-Alpes, délégation de bassin RMC.

CROZE O., LARINIER M. 2001. *Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière – Guide technique n°4*. Agence de l'eau Rhône Méditerranée & Corse, DIREN : 51 p.

DEKKER W., 2004. *Slipping through our hands Population dynamics of the european eel*.

DUFOUR S., 1996. *Un exemple de cycle reproducteur sous la dépendance de l'environnement : le cas de l'Anguille*. CR. Acad. Agric. Fr. 82 : pp 17-26 (Figure 1).

EDELIN E., 2005. *Facteurs du contrôle de la dispersion continentale chez l'anguille*. Thèse de l'Université Toulouse III.

FEUNTEUN E., ACOU A., LAFAILLE P., LEGAULT A., 2000. *European eel: prediction of spawner escapement from continental population parameters*. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 57 : pp 1627-1635.

FEUNTEUN E., 2002. *Management and restoration of European eel population (Anguilla anguilla) : An impossible bargain*. Ecol Eng, 18: pp 575-591.

ICES, 2006. *Report of the ICES/EIFAC. Working Group on Eels, Rome, Italy*.

ICES, 2008. *Report of the Joint EIFAC/ICES. Working Group on Eels (WGEEL).* Leuven, Belgium.

LAFFAILLE P., FEUNTEUN E., BAISEZ A., ROBINET T., ACOU A., LEGAULT A., LEK S., 2003. *Spatial organisation of the European eel (*Anguilla anguilla*, L.) in a small catchment.* Ecol. Freshwat. Fish. 12 : pp 254-254.

LAFAILLE P., ACOU A., GUILLOUËT 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 (Figure 1).

LAFFAILLE P., ACOU A., GUILLOUËT J., 2005b. *The yellow European eel (*Anguilla anguilla* L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters.* Ecol. Fresh. Fish, 14 : pp 191–196.

LAFAILLE P., RIGAUD C., 2008. "Indicateurs de colonisation et de sédentarisation". In : **ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C. (COOR.), 2008.** *L'Anguille européenne : Indicateurs d'abondance et de colonisation.* Editions Quae, Versailles : pp 275-330.

LARINIER M., TRAVADE F., 1995. *La migration de dévalaison des poissons : problèmes, dispositifs, recherche et développement.* EDF Direction des Etudes et Recherches. 36 p.

LEBEL I., MENELLA J.Y., LE CORRE M., 2001. *Bilan des actions du Plan Migrateurs concernant l'Alose feinte (*Alosa fallax rhodanensis*) sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse.* Bull. Fr. Pêche Piscic., (362-363) : pp 1077-1100.

LECOMTE-FINIGER R., 1994. *Contribution de l'otolithométrie à l'étude de la dynamique de migration larvaire de l'Anguille européenne *Anguilla anguilla*.* Bull. Fr. Pêche Piscic. 335 : pp 17-34.

LEFEBVRE F., SERGENT E., ACOU A., LECOMTE-FINIGER R., CRIVELLI A.J., 2003. *Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française : analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1975-74 et 2000-01.* Bull. Fr. Pêche Piscic. 368 : pp 85-96

LEGAULT A., 1992. *Etude de quelques facteurs de sélectivité de passes à anguilles.* Bull. Fr. Pêche Piscic. 325: pp 83-91

LINE K., TRAVADE F., POIBOUT P., 2003. *Passe à anguilles de Mallemort. EDF. Avant projet détaillé : 14 p + annexes.*

MCLEAVE 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 : pp 285-306 (Figure 1).

MCCLEAVE J. D., ARNOLD G. P., 1999. *Movements of yellow- and silver-phase European eels (Anguilla anguilla L.) tracked in the western North Sea.* ICES Journal of marine science, 56: pp 510-536.

MEDAD, 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, 2008. *Projet de loi relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.*

MORIARTY C., 1986. *Riverine migration of young eels Anguilla anguilla (L.).* Fish res, 4: pp 43-58.

NAISMITH I.A, KNIGHTS B., 1988. *Migrations of elver and juvenile European eels, Anguilla anguilla L., in the river Thames.* J. Fish Biol., 33 : pp 161-175.

OBERDORFF T., PONT D., HUGENY B., CHESSEL D., 2001. *A probabilistic model characterising fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment.* Freshwater Biol. 46 : pp 399-415.

PDPG 13, 2004. *Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles des Bouches du Rhône.* Fédération de Pêche des Bouches-du-Rhône.

ROCHE P., 2008. *Contribution à l'élaboration du plan de gestion de l'Anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée. Etat des connaissances et propositions pour le Rhône et ses affluents.* Rapport ONEMA Rhône-Alpes, 31 p.

SCHMIDT J., 1922. *The breeding places of the eel.* Phil. Trans. R. Soc. 211 : pp 179-208.

SMAVD, 2008. *Contrat de rivière du Val de Durance, 20 novembre 2008.*

SOGREAH, 2001. *Diagnostic de l'état actuel - Fiches Techniques Thématiques.* SMAVD.

STONE R., 2003. *Freshwater eels are slip-sliding away.* Science 302 : pp 221-222.

SVEDÄNG H., NEUMAN E., WICKSTRÖM H., 1996. *Maturation patterns in female European eel : age and size at the silver eel stage.* Journal of fish biology 48 : pp. 342-351.

VAN DEN THILLART G. (EDS.), 2009. *Spawning migration of the European Eel : reproduction index, a useful tool for conservation management.* Fish and fisheries serie 30, Springer Science & Business Media B.V.

WHITE E., KNIGHTS B., 1997. *Dynamic of upstream migration of the European eel, Anguilla anguilla (L.), in the River Severn and Avon, England, with special reference to the effect of man-made barriers.* Fish. Man. Ecol. 4 : pp 311-324.

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : CYCLE BIOLOGIQUE DE L'ANGUILLE EUROPEENNE (ANGUILLA ANGUILLA) (MRM)	3
FIGURE 2 : REPARTITION DE L'ANGUILLE EUROPEENNE SUR LES BASSINS RM & C (DELEGATION DE BASSIN RHONE-MEDITERRANEE - DREAL RHONE-ALPES).....	5
FIGURE 3 : LOCALISATION DES OBSTACLES SUR L'AXE RHONE – DURANCE JUSQU'AU BARRAGE EDF DE MALLEMORT (MRM).....	17
FIGURE 4 : AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE DE BEUCAIRE-VALLABREGUES.....	18
FIGURE 5 : SEUIL DE CALLET AVANT SA REFECTION EN 2009 (© MRM / F. GARDIN. 2007).....	18
FIGURE 6 : SEUIL SNCF OU 66 (© MRM / F. GARDIN. 2007)	19
FIGURE 7 : BARRAGE EDF DE BONPAS (A GAUCHE) ET ZONE DE REPTATION ARTIFICIELLE (A DROITE)	20
FIGURE 8 : BARRAGE EDF DE MALLEMORT (© MRM / F. GARDIN. 2007).....	20
FIGURE 9 : PASSE-PIEGE DU BARRAGE EDF DE MALLEMORT (© MRM / F. GARDIN. 2007)	21
FIGURE 10 : SCHEMA SIMPLIFIE D'UNE PASSE-PIEGE A ANGUILLES (MRM).....	23
FIGURE 11 : TRAITEMENT DES ANGUILLES (MRM).....	23
FIGURE 12 : EFFECTIF ANNUEL D'ANGUILLES CAPTUREES DANS LA PASSE-PIEGE A ANGUILLES DU BARRAGE DE MALLEMORT SUR LA PERIODE DE SUIVI 2004-2010	25
FIGURE 13 : EVOLUTION DES CAPTURES DANS LA PASSE-PIEGE DU BARRAGE DE MALLEMORT EN 2010	26
FIGURE 14 : EFFECTIF CUMULE (% SUR L'EFFECTIF TOTAL ANNUEL) DE LA POPULATION D'ANGUILLES CAPTUREES DANS LA PASSE-PIEGE DE MALLEMORT PAR ANNEE	26
FIGURE 15 : EVOLUTION DES CAPTURES D'ANGUILLES EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DE L'EAU AU NIVEAU DU BARRAGE DE MALLEMORT EN 2010	27
FIGURE 16 : RELATION TEMPERATURE DE L'EAU – NOMBRE ESTIME D'ANGUILLES CAPTUREES PAR JOUR (LOG) EN 2010.....	28
FIGURE 17 : EVOLUTION DES CAPTURES EN FONCTION DU DEBIT EN AVAL DU BARRAGE DE MALLEMORT EN 2010	29
FIGURE 18 : RELATION ENTRE LE DEBIT MOYEN JOURNALIER ET LE NOMBRE D'ANGUILLES CAPTUREES PAR RELEVÉ - EXPRIME EN LOG(EFFECTIF + 1) - EN 2010	29
FIGURE 19 : EVOLUTION DES CAPTURES EN FONCTION DES PHASES LUNAIRES EN 2010	30
FIGURE 20 : EVOLUTION DES CAPTURES EN FONCTION DE LA TURBIDITE MOYENNE JOURNALIERE EN 2010.....	30
FIGURE 21 : CORRELATION DES PARAMETRES DE L'ACP ENTRE LES AXES F1 ET F2 ET F1 ET F3	31
FIGURE 22 : RELATION ENTRE LES OBSERVATIONS (●) ET LES PARAMETRES DE L'ACP EN 2010 SELON LES AXES F1 ET F2 ET F1 ET F3	32
FIGURE 23 : RELATION ENTRE LA TAILLE ET LE POIDS DE L'ECHANTILLON D'ANGUILLES PIEGEES EN 2010	34
FIGURE 24 : COMPARAISON DES RELATIONS TAILLE-POIDS ETABLIES POUR LES DIFFERENTES ANNEES DE SUIVI.....	35
FIGURE 25 : STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION D'ANGUILLES CAPTUREES EN 2010	36
FIGURE 26 : STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION MIGRANTE PAR ANNEE (90% DES INDIVIDUS) – ↓ ET ↓↓↓ : CLASSE(S) REPRESENTEE(S) PAR LE MAXIMUM D'INDIVIDUS.....	36
FIGURE 27 : EVOLUTION DE LA TAILLE DES ANGUILLES CAPTUREES SUR LA PERIODE DE SUIVI 2004-2010	37
FIGURE 28 : EVOLUTION DU COEFFICIENT DE CONDITION K SUR LA PERIODE DE SUIVI 2004-2010.....	38
FIGURE 29 : EVOLUTION INTERANNUELLE DES DENSITES D'ANGUILLE (IND/HA) PAR PECHE ELECTRIQUE SUR QUATRE STATIONS SUR LA DURANCE ENTRE 1998 ET 2010 (STATION EN AVAL DU BARRAGE DE MALLEMORT) (DONNEES ONEMA)	40

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : STATUTS DE PROTECTION ET DE CONSERVATION DE L'ANGUILLE EUROPEENNE (INPN ; MNHN)	7
TABLEAU 2 : SEUILS OBSERVES DES TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES POUR L'ACTIVITE DE MIGRATION ENTRE 2004 ET 2010	28
TABLEAU 3 : RESULTATS DES COEFFICIENTS DE DETERMINATION DE SPEARMAN ENTRE LES CAPTURES, LES DEBITS MOYENS JOURNALIERS ET LA TEMPERATURE DE L'EAU (LES VALEURS EN GRAS SONT SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES).....	31
TABLEAU 4 : CARACTERISTIQUES BIOMETRIQUES DES ANGUILLES CAPTUREES DANS LA PASSE-PIEGE DU BARRAGE DE MALLEMORT EN 2010.....	33
TABLEAU 5 : COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES BIOMETRIQUES DES ANGUILLES CAPTUREES SUR LA PERIODE DE SUIVI 2004-2010	33
TABLEAU 6 : RECAPITULATIF DES COEFFICIENTS DE CORRELATION, CONDITION DES INDIVIDUS ET TAUX D'ALLOMETRIE DES RELATIONS TAILLE-POIDS DES DIFFERENTES ANNEES DE SUIVI	34
TABLEAU 7 : EFFECTIF ANNUEL ESTIME D'ANGUILLES CAPTUREES EN RIVE DROITE ET GAUCHE DE L'USINE-ECLUSE DE BEUCAIRE-VALLABREGUES ET AU BARRAGE DE MALLEMORT	39

ANNEXES

ANNEXE 1 : FEUILLE D'INTERVENTION STANDARD	I
ANNEXE 2 : RECAPITULATIF DES CAPTURES D'ANGUILLES DANS LA PASSE-PIEGE DU BARRAGE DE MALLEMORT EN 2010.....	II
ANNEXE 3 : RESULTATS DES TESTS STATISTIQUES DE MANN WHITNEY (SEUIL DE SIGNIFICATIVITE) REALISES SUR LES DISTRIBUTIONS ANNUELLES D'ANGUILLES EN TERMES DE TAILLE ET DE POIDS (RISQUE α DE 5%)- N.S = NON SIGNIFICATIF	III
ANNEXE 4 : EVOLUTION MENSUELLE DE LA TAILLE MOYENNE DES ANGUILLES (MM) SUR LA PERIODE DE SUIVI 2004-2010.....	IV

Annexe 1 : Feuille d'intervention standard

SUIVI DE LA PASSE-PIÈGE DE MALLEMORT

DATE : 02/05/2010

NB NUITS PIEGEAGE :

HEURE :

OPERATEUR : B Alamelle

LIEU DE RELACHE :

PETITES ANGUILLES (<150 mm)

GROSSES ANGUILLES (> ou = 150 mm)

POIDS TOTAL:

POIDS TOTAL :

NOMBRE :

NOMBRE :

	TAILLE (mm)	TAILLE (mm)
1		51
2		52
3		53
4		54
5		55
6		56
7		57
8		58
9		59
10		60
11		61
12		62
13		63
14		64
15		65
16		66
17		67
18		68
19		69
20		70
21		71
22		72
23		73
24		74
25		75
26		76
27		77
28		78
29		79
30		80
31		81
32		82
33		83
34		84
35		85
36		86
37		87
38		88
39		89
40		90
41		91
42		92
43		93
44		94
45		95
46		96
47		97
48		98
49		99
50		100

	TAILLE (mm)	POIDS (g)	TAILLE (mm)	POIDS (g)
1			51	
2			52	
3			53	
4			54	
5			55	
6			56	
7			57	
8			58	
9			59	
10			60	
11			61	
12			62	
13			63	
14			64	
15			65	
16			66	
17			67	
18			68	
19			69	
20			70	
21			71	
22			72	
23			73	
24			74	
25			75	
26			76	
27			77	
28			78	
29			79	
30			80	
31			81	
32			82	
33			83	
34			84	
35			85	
36			86	
37			87	
38			88	
39			89	
40			90	
41			91	
42			92	
43			93	
44			94	
45			95	
46			96	
47			97	
48			98	
49			99	
50			100	

REMARQUE :

Annexe 3 : Résultats des tests statistiques de Mann Whitney (seuil de significativité) réalisés sur les distributions annuelles d'anguilles en termes de taille et de poids (risque α de 5%)- n.s = Non significatif

Variable « Taille » :

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2004		n.s	0,019	n.s	n.s	< 0.0001	< 0.0001
2005	n.s		0,004	n.s	n.s	< 0.0001	0,031
2006	0,019	0,004		n.s	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
2007	n.s	n.s	n.s		n.s	< 0.0001	0,003
2008	n.s	n.s	< 0.0001	n.s		< 0.0001	n.s
2009	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001		0,0001
2010	< 0.0001	0,031	< 0.0001	0,003	n.s	0,0001	

Variable « Poids » :

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2004		n.s	n.s	n.s	0,0001	<0.0001	< 0.0001
2005	n.s		n.s	n.s	0,012	<0.0001	< 0.0001
2006	n.s	n.s		n.s	<0.0001	<0.0001	< 0.0001
2007	n.s	n.s	n.s		0,011	<0.0001	< 0.0001
2008	0,0001	0,012	<0.0001	0,011		<0.0001	0,007
2009	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001		0,002
2010	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0,007	0,002	

Annexe 4 : Evolution mensuelle de la taille moyenne des anguilles (mm) sur la période de suivi 2004-2010

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Janvier							
Février							
Mars							
Avril			340,00				
Mai	325,10	230,00	327,27	290,00	100,00		281,1
Juin	320,00	248,33	316,27	318,15			280,0
Juillet	301,09	310,28	319,51	291,67	292,86	274,4	318,9
Août	290,00	305,00	330,83	320,00	299,63	282,2	276,2
Septembre	315,00	316,59	298,00	350,00	295,26	267,2	262,0
Octobre	310,98	280,00	260,00		293,85	252,0	266,8
Novembre			395,00				
Décembre							