

- RAPPORT D'ETUDE -



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

Campagne 2020

MATHERON C., ALAMELLE B. • Mars 2021



Photo de couverture
(© Association Migrateurs Rhône-Méditerranée)

Référence à citer

MATHERON C., RIVOALLAN D., ALAMELLE B., 2021. Suivi de la passe piège à anguilles du barrage E.D.F. de Mallemort sur la Durance. Campagne 2020. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée.
35 p + annexes

Résumé

Dans le cadre du Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée et afin d'améliorer le franchissement du barrage hydroélectrique EDF de Mallemort qui correspondait à un point de blocage dans la migration trophique de l'anguille sur la Durance, une passe-piège à anguilles a été installée en septembre 2003.

Dès 2004, EDF a conventionné avec l'Association Régionale des Fédérations de PACA pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques ainsi qu'avec les Fédérations des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse pour suivre et entretenir cette passe-piège à Anguilles. Compte tenu de l'expertise de l'association MRM sur les espèces piscicoles migratrices amphihalines du bassin Rhône Méditerranée, il a été demandé dans cette convention de partenariat à MRM de réaliser chaque année un rapport d'étude de ce suivi. Cet aménagement constitue en effet un dispositif de piégeage permanent, dont la relève s'effectue deux à trois fois par semaine suivant la dynamique migratoire des anguilles.

En 2020, 404 anguilles ont été capturées dans la passe-piège, représentant un passage à la baisse mais qui reste dans la moyenne de la chronique (413 individus capturés par an en moyenne depuis 2004).

Sur la période de suivi 2004-2020, les effectifs annuels restent toutefois faibles par rapport aux captures réalisées aux passe-pièges de l'aménagement hydroélectrique de Beaucaire-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 à leur impact cumulé, explique en grande partie ces résultats. En particulier, suite à l'étude de la migration de l'anguille en Basse Durance (2015-2016), le barrage de Bonpas est suspecté d'être difficilement franchissable et sélectif selon les classes de tailles.

Les premières captures ont été observées en mai et les dernières fin novembre. La pandémie du COVID19 n'a pas permis d'effectuer les relèves de mars à mi avril, ainsi que sur la première quinzaine de novembre, cela ne semble pas avoir impacté le flux migratoire.

Aucune influence du débit sur les captures n'a été mise en évidence par le passé, il semble que cette année il y ait eu peu de captures entre début mai et la mi-juin, période de restitution soutenue sachant que des déversements ont également eu lieu au barrage à cette même période.. Concernant la température, on voit que le seuil de 15°C observé sur le Rhône est valable également sur la Durance, avec des captures qui démarrent quand cette température seuil est dépassé. On notera tout de même en fin de saison, quelques rares captures pour des températures oscillant entre 13 et 15 °C. Même si la température et le débit sont des éléments qui déclenchent ou stoppent la migration sans toutefois la structurer. Il apparaît que d'autres variables, notamment biologiques, doivent intervenir dans le processus de migration (relation densité-dépendance, richesse trophique des habitats disponibles...).

Sommaire

1	Contexte de l'étude	6
1.1	L'anguille européenne	6
a)	Cycle biologique	6
b)	Capacités spécifiques	7
c)	Comportement migratoire et dispersion continentale	8
d)	Principales menaces	9
e)	Statut et mesures de protection	11
1.2	Le bassin de la Durance	13
a)	Caractéristiques générales	13
b)	Localisation et caractéristiques des ouvrages transversaux	13
c)	Fonctionnement hydrologique	15
2	Méthodologie	16
2.1	Acquisition de données terrain	16
2.2	Traitement des données	17
a)	Données populationnelles	17
b)	Données environnementales	17
3	Résultats	17
3.1	Campagne 2020	17
a)	Évolution des captures	17
b)	Structure en taille de la population migrante	18
c)	Influence des facteurs environnementaux	19
3.2	Tendances interannuelles	21
a)	Évolution des captures	21
b)	Périodes de captures	22
c)	Structures en tailles	23
3.3	Comparaison aux autres indicateurs « anguille » du bassin	25
a)	Réseau de passes-pièges du Rhône	25
b)	Réseau de pêche électrique sur la Durance	27
c)	Étude de la migration anadrome de l'anguille en basse Durance	29
	Conclusion	30
	Bibliographie	32
	Table des figures et tableaux	35
	Table des Annexes	35

Introduction

L'anguille européenne, poisson migrateur amphihaline thalassotrope, a connu un effondrement de sa population ces vingt dernières années. Son déclin a ainsi conduit à l'instauration en 2007, d'un règlement européen (n°1100/2007) visant à ramener la population à ses valeurs historiques et transcrit dans un Plan National de Gestion de l'anguille.

Par ailleurs, le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) fixe les grandes priorités de restauration des populations amphihalines sur le bassin Rhône-Méditerranée. 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 (COGEPOMI, 2004). 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 (COGEPOMI, 2011) préconisait pour l'anguille l'accès à des zones de grossissement de bonne qualité avec la définition de Zones d'Actions Prioritaires (expertise détaillée des ouvrages) et d'ouvrages prioritaires (équipement d'un dispositif de franchissement) 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 était ainsi concernée par ces objectifs, avec l'identification du seuil 66, 67, 68 (dit de Callet) et le barrage de Bonpas comme ouvrages prioritaires uniquement à la montaison. Le suivi de la passe-piège du barrage EDF de Mallemort s'intègre aujourd'hui dans le dispositif de suivi du PLAGEPOMI 2016-2021 (orientation 3).

Dès 2004, EDF a conventionné avec l'Association Régionale des Fédérations de PACA pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques ainsi qu'avec les Fédérations des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse pour suivre et entretenir cette passe-piège à Anguilles. Compte tenu de l'expertise de l'association MRM sur les espèces piscicoles migratrices amphihalines du bassin Rhône Méditerranée, il a été demandé dans cette convention de partenariat à MRM de réaliser chaque année un rapport d'étude de ce suivi. Ce suivi complète par ailleurs les données acquises sur d'autres sites équipés de manière similaire (passes-pièges des Saintes Maries de la Mer, des usines-écluses de Beaucaire, Avignon et Caderousse sur le Rhône). Tous ces éléments alimentent l'observatoire des poissons migrateurs du bassin Rhône Méditerranée et plus largement le réseau de surveillance européen de cette espèce.

Ce présent rapport a pour objectif de décrire la migration des anguilles au niveau de la passe-piège du barrage EDF de Mallemort sur la Durance. Outre l'analyse des captures de l'année 2020, une comparaison avec les précédentes années est effectuée tant au niveau des caractéristiques biométriques de la population migrante que de la dynamique migratoire de l'espèce.

1 Contexte de l'étude

1.1 L'anguille européenne

L'anguille européenne est le seul grand migrateur thalassotoque européen et présente une large distribution géographique, de l'Europe septentrionale (Islande, îles Feroe) en passant par l'Europe occidentale et méridionale (Açores, Canaries, Maroc) et l'ensemble du bassin méditerranéen. C'est une espèce opportuniste et ubiquiste capable de s'adapter à tous les types d'habitats accessibles (Chancerel, 1994 ; Elie & Rigaud, 1984 ; Ximenes *et al.*, 1986, Tzeng *et al.*, 1995, Feunteun *et al.*, 1998).

a) Cycle biologique

L'anguille a un cycle de vie unique et encore mystérieux sur de nombreux points (Figure 1).

Espèce vraisemblablement semelpare (une seule reproduction) (Westerberg, 1979 *in* Acou, 2006) et panmictique (population où tous les géniteurs sont susceptibles de se croiser et de se reproduire au hasard) (Wirth & Bernatchez, 2001 ; Als *et al.*, 2011), l'anguille se reproduirait en Mer des Sargasses de mars à juillet (McLeave *et al.*, 1998).

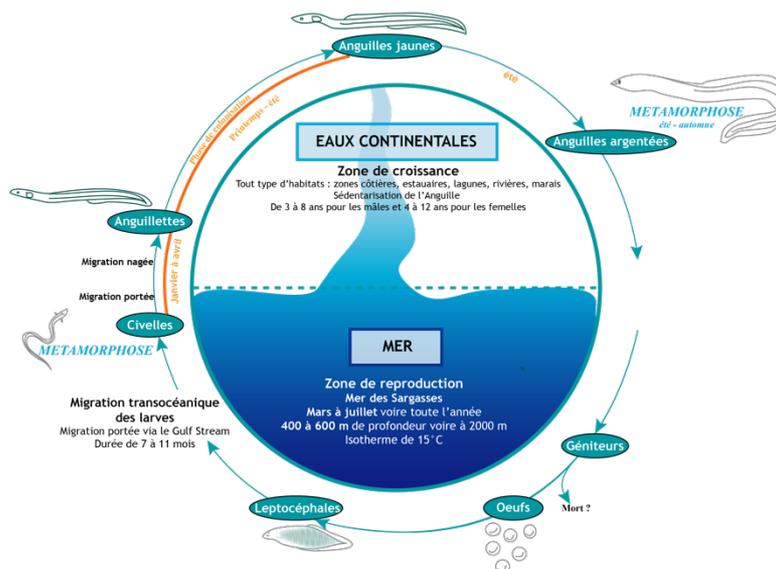


Figure 1 : Cycle de vie de l'anguille (MRM)
de vie de l'anguille (MRM)

À l'éclosion, les larves **leptocéphales** (en forme de feuille de saule) sont portées par les courants océaniques (Gulf-Stream) de manière passive et accomplissent ainsi une migration de 6 000 km pendant 200 à 500 jours (Tesch *et al.*, 1986 ; Tesch & Niermann, 1992 ; Lecomte Finiger, 1994 ; Antunes & Tesch, 1997 ; McLeave *et al.*, 1998 ; Tesch, 1998).

À l'approche du plateau continental et à une longueur moyenne de 6 cm, les leptocéphales se métamorphosent en **civelles**, leur corps s'allonge et devient cylindrique (Figure 2 (a)). Après une courte phase de stabulation dans la zone littorale, elles entament une migration portée puis nagée dans les estuaires entre janvier et juin sur la façade méditerranéenne (Finiger, 1976).

Les civelles se pigmentent progressivement jusqu'à atteindre le stade **anguillette** (Figure 2 (b)) (Elie *et al.*, 1982, *in* Edeline, 2005) durant lequel elles poursuivent leur migration vers l'amont en colonisant les hydrosystèmes continentaux accessibles. S'en suit

le stade **anguille jaune**, phase de croissance essentiellement sédentaire jusqu'à leur maturation sexuelle. Cette phase varie de 4 à 20 ans pour les femelles et 2 à 15 ans pour les mâles.

Au terme de sa période continentale, l'anguille subit une dernière métamorphose pour atteindre le stade **anguille argentée** (Figure 2 (c)). Des changements physiologiques (changement de couleur, augmentation de la taille des yeux, de la taille des nageoires pectorales et de l'épaisseur de la peau...) préparent l'anguille à son retour vers la mer des Sargasses. La dévalaison des anguilles débute généralement à l'automne et se poursuit jusqu'au début du printemps (Durif *et al.*, 2009).



Figure 2 : Les stades de développement de l'anguille : (a) civelle, (b) anguillette et (c) anguille argentée (MRM)

b) Capacités spécifiques

- **La nage** : L'anguille possède une faible capacité de nage, largement inférieure à celle des autres espèces migratrices. Elle diffère selon la taille et donc le stade de développement. Les individus les plus grands présentent les capacités de nage les plus importantes. Pour une anguille présentant une taille de l'ordre de 8 cm, la vitesse maximale de nage est de 0,5 m/s contre 1,14 m/s pour un individu de 60 cm. Les capacités de franchissement d'une civelle, pour un écoulement laminaire et un substrat lisse, sont donc assez restreintes. Pour une vitesse de 0,3 m/s, la distance maximale parcourue serait de 3m et ne serait que d'une trentaine de centimètres pour une vitesse de 0,5 m/s (Porcher, 1992).
- **L'exondation** : L'anguille peut vivre hors de l'eau durant un temps exceptionnellement long pour un poisson à condition qu'elle ne se dessèche pas. Cette survie aérienne est rendue possible grâce notamment à l'existence d'échanges gazeux cutanés (Berg & Steen, 1965 *in* Legault 1988).
- **La reptation** : Les anguillettes, avec leur corps allongé et leur faible poids, peuvent ramper notamment sur des murs verticaux à condition que ceux-ci soient humides et pas trop lisses. Cette capacité de reptation diminue avec l'augmentation de la taille des individus (Legault, 1988).

c) Comportement migratoire et dispersion continentale

Les arrivées de civelles en estuaire se font toute l'année avec une intensité variable, le pic de migration apparaissant plus ou moins tôt en fonction de la latitude de l'estuaire (arrivées plus tardives au nord et au sud de l'aire de répartition qu'au centre - en Camargue ce pic est observé entre les mois de janvier et mars), et la variabilité des facteurs océaniques (qui agissent sur les vagues successives de leptocéphales issues d'une période de ponte étalée sur plusieurs mois) (Adam *et al.*, 2008).

Les recrutements fluviaux sont ensuite modulés par l'action de différents facteurs hydroclimatiques continentaux. L'intensité du courant se traduit par des conditions plus ou moins favorables à la migration des civelles. Creutzberg (1961) a montré que les civelles manifestent une rhéotaxie positive pour des courants de 0,2 m/s, mais que pour des courants supérieurs à 0,36 m/s elles nagent près du fond ou bien s'enfouissent. Les débits importants peuvent alors provoquer un blocage hydrodynamique similaire à l'effet de blocage des obstacles physiques, comme les barrages (Lafaille *et al.*, 2007).

La température de l'eau peut affecter fortement la migration puisque, comme pour toute espèce poïkilotherme, elle agit sur le métabolisme et notamment sur la vitesse de conduction de l'influx nerveux et sur la rapidité de la contraction musculaire, donc sur la nage.

Suite à la transformation en anguillettes, la dispersion non densité-dépendante diminue au profit d'une dispersion densité-dépendante avec sélection de l'habitat. Toutefois, le comportement migratoire peut varier selon l'individu et 4 catégories peuvent ainsi se distinguer (Feunteun *et al.*, 2003) :

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

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

La taille des anguilles est un bon indicateur de leur comportement migratoire. Les suivis de migration des anguilles révèlent que les individus migrants sont essentiellement des individus dont la taille excède rarement 30 cm (White et Knights., 1997). Plus les individus présentent une taille importante, plus leur caractère migratoire diminue.

d) Principales menaces

Menaces d'origine naturelle

- Modifications hydroclimatiques : les conditions océanographiques (courants marins, température de l'eau, etc.) lors de la migration transatlantique et les conditions trophiques peuvent impacter la survie et la distribution des larves leptocéphales (Desaunay *et al*, 1997). Une étude sur l'anguille américaine a montré qu'un affaiblissement du Gulf Stream a nui au transport des larves et serait à l'origine de la baisse observée dans l'abondance de civelles d'*Anguilla rostrata* dans le golfe du St Laurent. L'anguille européenne utilisant également le Gulf Stream pour rejoindre les côtes européennes, on peut alors supposer que cet affaiblissement a eu un impact sur le recrutement.
- Les infections : les anguilles peuvent héberger un grand nombre de parasites tels que les protozoaires, trématodes ou nématodes, sans toutefois subir d'épizooties graves dans les milieux naturels. Les anguilles peuvent également être infestées par des bactéries dont les plus rencontrées appartiennent aux familles des *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Edwardsiella* et *Vibrio* (Bruslé, 1994) responsables de maladies touchant le tégument, les nageoires, les branchies, les muscles et les principaux viscères (foie, rein, rate). *Pseudomonas* est, par exemple, la bactérie qui provoque l'infection appelée « peste rouge ».
- La prédation : Les larves leptocéphales ont été observées dans l'estomac de poissons marins comme les thons, les églefins, les congres et les morues (Bruslé, 1994). Au stade civelle, il semble que les prédateurs soient le bar en milieu saumâtre et les oiseaux en eau douce. Les anguilles sub-adultes sont des proies communes des oiseaux piscivores (Cormorans, Hérons...) mais également de mammifères tels que les loutres. Au cours de leur migration transatlantique, les anguilles argentées subissent également de la prédation, sans toutefois pouvoir en estimer l'importance. La prédation s'exerce donc à tous les stades du cycle biologique de l'anguille.
- Les parasites : *Anguillicolloides crassus* est un parasite nématode hématophage de la vessie natatoire. Il peut infester des anguilles de toutes tailles en adaptant la sienne à celle de la vessie de l'hôte (Banning & Haenen, 1990 in Amilhat, 2007). Ce parasite réduirait la vitesse de nage des anguilles avec des conséquences importantes sur le succès de la migration des géniteurs et donc sur le stock d'anguilles reproductrices (Crivelli, 1998). Les Acantocéphales, provoquent une anémie et un amaigrissement chez les anguilles infestées et les monogènes peuvent provoquer une détresse respiratoire.

Menaces d'origine anthropique

- Les obstacles à la migration : La présence d'obstacles sur un cours d'eau peut se traduire par des retards voire des blocages à la migration de montaison de l'anguille. Ces blocages plus ou moins importants sont susceptibles d'induire des mortalités par prédation, compétition (liée à la densité d'individus) et stabulation dans des milieux aval moins fonctionnels (Adam *et al.*, 2008). Lors de la migration de dévalaison, la présence d'ouvrages peut également provoquer des retards mais aussi des mortalités ou des blessures causées par le passage des anguilles dans les prises d'eau, particulièrement dans les turbines de centrales hydroélectriques.
- La dégradation de la qualité de l'eau : La contamination par les micropolluants est identifiée comme l'un des principaux facteurs responsables du déclin de l'anguille européenne par Amilhat en 2007. Deux voies de contamination sont possibles : la première est directe par la peau et les branchies et la deuxième par transfert trophique.

- La dégradation de la qualité des milieux : Les travaux ayant un impact sur la qualité des substrats (extraction de granulat, dragage, remodelage des lits des cours d'eau, drainage des zones humides...) sont susceptibles de perturber les populations d'anguilles en modifiant les populations d'invertébrés et poissons qu'elles consomment, en détruisant les zones de refuge et en réactivant les polluants par remise en suspension (Muchiut *et al.*, 2002).
- La surpêche : l'anguille européenne est exploitée sur toute son aire de répartition, en eau douce, dans les milieux saumâtres et en zones côtières, à toutes les phases de son cycle biologique et particulièrement aux stades civelle et anguille argentée (Freyhof & Kottelat, 2008 in IUCN, 2008) (Figure 3).

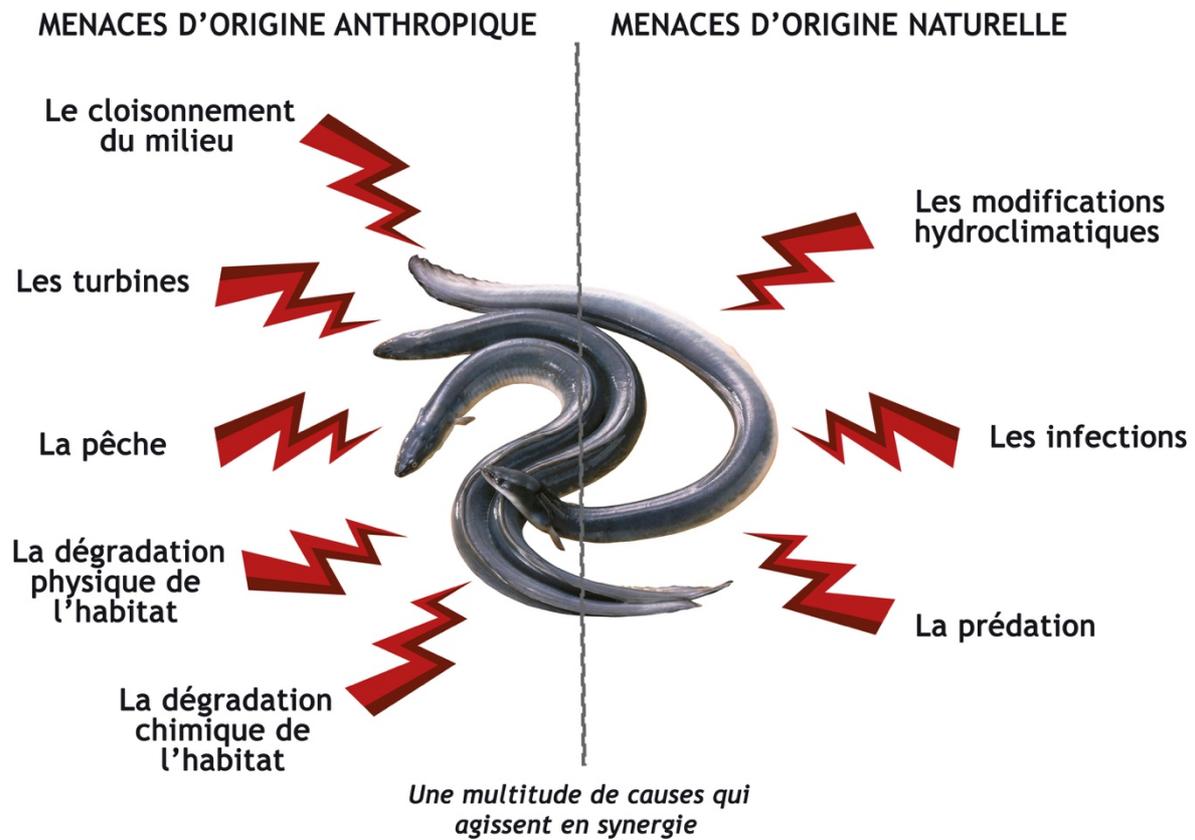


Figure 3 : Différentes menaces de l'anguille

e) Statut et mesures de protection

Un déclin progressif des populations d'anguilles européennes est observé depuis les années 1970 sur l'ensemble de l'aire de répartition (ICES, 2008) (Figure 4).

Ces dernières années de nombreux outils juridiques ont ainsi vu le jour permettant la mise en place de mesures de préservation et de plans de gestion favorables aux populations d'anguilles.

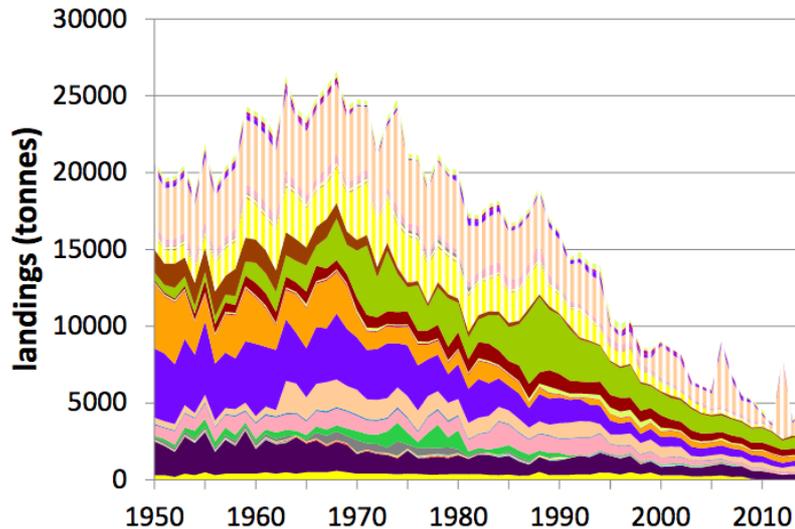


Figure 4 : Évolution des tonnages d'anguille produits par pays depuis 1950 (source FAO in ICES 2016)

À l'échelle internationale

La situation préoccupante du stock a conduit en 2007 à l'inscription de l'anguille européenne à l'Annexe II de la Convention sur le Commerce International des Espèces de faunes et de flores Sauvages (CITES) garantissant ainsi que sa commercialisation ne nuise pas à la survie de l'espèce (ICES Advice, 2008).

De plus, en 2008, l'anguille a été classée comme espèce en danger critique d'extinction sur la liste rouge des espèces menacées de l'IUCN (International Union for Conservation of Nature) (IUCN, 2008).

À l'échelle européenne

- **La Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE) 2000/60/CE (du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000)** : Elle préconise le retour au bon état écologique des masses d'eau à l'horizon 2015. Ainsi, la libre circulation des poissons, élément fondamental de la qualité des eaux superficielles, fait à ce titre l'objet d'une attention renforcée.
- **Le règlement européen n° 1100/2007 en faveur de l'anguille (voté le 18 septembre 2007 par le Conseil des ministres)** : Il prévoit pour chaque état membre un plan national de gestion (adopté par la France en février 2010) dont le principal objectif est de réduire la mortalité d'origine anthropique afin d'assurer l'échappement vers la mer d'au moins 40% de la biomasse des géniteurs du stock qui n'aurait subi aucune influence anthropique.

En France, chaque unité de gestion anguille (UGA) est constituée d'une rivière et d'une lagune index. Il s'agit de sites sur lesquels un outil de monitoring visant à estimer le taux d'échappement est mis en place. Il s'agit donc de sites sur lesquels on peut évaluer la montaison et la dévalaison des anguilles. Sur le bassin Rhône-Méditerranée, la rivière et la lagune index sont respectivement le Rhône (Usine-écluse de Beaucaire) et le Vaccarès (Grau de la Fourcade). L'objectif sur ces sites est d'estimer le taux d'échappement et à terme d'assurer un taux d'échappement de 40 % conformément au règlement européen CE 1100/2007. Le suivi des passes-pièges du Rhône et de ses affluents constitue donc un intérêt majeur du fait des enjeux qui y sont associés.

À l'échelle nationale

- **La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA n° 2006/1772 du 30 décembre 2006)** : Elle a pour fonction principale de transposer en droit français la DCE. Ainsi, elle impose notamment de rétablir la continuité écologique sur certains cours d'eau (classements Liste 1 et Liste 2 de l'article L214-17 du code de l'environnement), de maintenir un débit réservé de 10 % du débit moyen (article L214-18) ou encore de mettre en place des plans d'actions afin de lutter contre les pollutions diffuses (MEDAD, 2008).
- **La loi Grenelle (du 3 août 2009 complétée par Grenelle 2 le 12 juillet 2010)** : L'objectif est de prendre à long terme des décisions en matière d'environnement et de développement durable. Ainsi, un des objectifs est de retrouver une bonne qualité écologique des cours d'eau notamment par l'effacement ou l'équipement des obstacles les plus problématiques pour la migration des poissons *via* la création d'une « Trame bleue » (L371-1). Cette loi intègre donc les cours d'eau figurant sur les listes établies en application de l'article L214-17 (MEEDAT, 2008).

À l'échelle du bassin hydrographique Rhône Méditerranée

- **Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE, loi sur l'eau du 3 janvier 1992)** : Ce plan de gestion fixe les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau et des objectifs de qualité et de quantité des eaux. Il doit servir par ailleurs de référence à tous les documents de gestion locaux (SAGE, contrat de rivière, documents d'urbanismes, etc.). Au travers de l'orientation fondamentale 6A et plus particulièrement les dispositions 6A-05 et 6A-06, la restauration de la continuité écologique et la reconquête des axes de vie des poissons migrateurs sont définis comme prioritaire.
- **Le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI, décret n°94-157 du 16 février 1994 ; COGEPOMI RMC, 2004)** : Ce plan de gestion s'intéresse aux conditions de production, de circulation et d'exploitation des poissons migrateurs. 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. L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) a été créée en 1993 pour gérer et coordonner le plan sur les bassins Rhône Méditerranée et Corse. La basse Durance jusqu'à Cadarache (exclu) est identifiée comme ZAP Anguille (zone d'action prioritaire) dans le PLAGEPOMI actuel, ce qui confère à cette zone des objectifs de préservation et de restauration de la colonisation pour l'Anguille.

- **Le plan d'actions pour la restauration de la continuité des cours d'eau (13 novembre 2009)** : Ce plan a été engagé par le Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, afin de coordonner au mieux les politiques portées par l'Etat et ses établissements publics (Agence de l'Eau, AFB...) et de répondre aux objectifs fixés par la DCE (bon état des eaux d'ici à 2015), par le Grenelle de l'environnement (restauration de la continuité écologique selon la trame bleue) et par le plan de gestion de l'anguille (MEEDDM, 2010).

1.2 Le bassin de la Durance

a) Caractéristiques générales

Premier affluent en rive gauche du Rhône depuis la mer, la Durance prend sa source au pré de Gondran sur les pentes du sommet des Anges à Mont Genève dans les 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 ont été aménagés dans son lit, dont 14 concernent la basse vallée, 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).

Malgré les nombreux aménagements qui jalonnent cette rivière, la qualité physico-chimique de l'eau est bonne (Classe 1B) à médiocre (Classe 2), avec sur certains secteurs, 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 lentiques et l'existence de nombreuses annexes hydrauliques.

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 (SMAVD, 2008). Suite à son achèvement en décembre 2016, le SMAVD travaille sur l'élaboration d'un second contrat de rivière. Le périmètre et la composition de la CLE du futur SAGE Durance (comprenant l'ensemble du bassin versant hydrographique de la Durance hors périmètre des SAGE Cavalon Coulon et Verdon) est également en cours de définition par le SMAVD.

b) Localisation et caractéristiques des ouvrages transversaux

Sur le Rhône, seul l'aménagement hydroélectrique CNR de Beaucaire-Vallabrègues est localisé à l'aval de la confluence avec la Durance (68 km de l'embouchure). Pour les anguilles qui empruntent le canal de fuite à l'aval de l'usine, cet ouvrage est franchissable d'une part par l'écluse et d'autre part par les passes-pièges à anguilles installées sur chaque rive depuis 2005 et 2006. Les individus qui colonisent le Rhône court-circuité sont, quant à eux, bloqués à l'aval du barrage et n'ont alors aucune possibilité d'accéder à la partie amont du bassin du Rhône. Ils peuvent, toutefois, coloniser le bassin du Gardon.

Sur la Durance, 5 ouvrages transversaux sont dénombrés à l'aval du barrage de Mallemort (Tableau 1). Les quatre premiers sont des seuils en enrochements (Courtine, seuils 68, 67 et 66), offrant ainsi de nombreuses zones de reptation et de diversification des écoulements pour le franchissement par les anguilles. Le seuil de Courtine, de faible hauteur (0,5 m) et en enrochements disjoints est donc facilement franchissable pour les anguilles en migration.

Des travaux de réfection du seuil 68 et de confortement du seuil 67 ont été réalisés en 2009 par le SMAVD suite à une crue (en 2008) et à la formation d'une brèche sur le seuil 68. Ils ont ainsi créé de nouvelles zones de reptation sur les seuils et effacé certaines zones d'affouillement, augmentant probablement leur franchissabilité.

Le seuil 66 est, quant à lui, équipé d'une rivière de contournement en rive gauche depuis 2001. Toutefois, bien que ces seuils semblent être franchissables, la hauteur de chute (entre 0,5 et 3,5m) de certains d'entre eux peut engendrer des retards à la migration.

En amont de ces 4 seuils en enrochement, les barrages EDF de Bonpas et de Mallemort sont, quant à eux, équipés de clapets basculants rendant ces ouvrages franchissables uniquement lors de conditions exceptionnelles. Ces deux ouvrages sont toutefois équipés de dispositifs de franchissement spécifiques à l'anguille depuis 2003, de type plots bétons au droit de l'ouvrage de Bonpas et de type passe-piège au niveau de Mallemort (Tableau 1).

Conformément aux obligations de ce tronçon classé en liste 2, des réflexions ont été engagées quant à l'étude de la franchissabilité pour le seuil de Courtine (CNR), les seuils 68, 67 et 66(SMAVD) et le seuil de Bonpas (EDF) pour les cyprinidés d'eau vive, l'apron du Rhône ainsi que l'alose et l'anguille.

Les scénarios d'aménagements proposés concernent la mise en place d'une échancrure sur le seuil de Courtine, les seuils 67 et 68, ainsi que des rampes à macrorugosités pour les anguilles, la reprise de la rivière de contournement du seuil 66 pour la rendre fonctionnelle et une passe à bassins à fentes verticales et macrorugosités de fond pour le seuil de Bonpas (COTECH 28 janvier 2020).

Tableau 1 : Caractéristiques des ouvrages situés à l'aval de la zone d'étude

D_mer (km)	Nom_ouvrage	Hauteur (m)	Code_ROE	Type_seuil	Franchissement
68	Beaucaire-Vallabrègues	12	ROE30971	Usine-écluse	2 passes-pièges à anguilles
87,5	Courtine	0,5	ROE42392	Enrochements	-
90	Seuil 68	3,5	ROE42398	Enrochements	-
91	Seuil 67	2	ROE42401	Enrochements	-
92,5	Seuil 66	2,5	ROE45162	Enrochements	rivière de contournement
100	Barrage de Bonpas	2,8	ROE42416	Clapets basculants	passe à anguilles plots bétons
126	Barrage de Mallemort	4,2	ROE42426	Clapets basculants	passe-piège à anguilles

Le barrage EDF de Mallemort

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'amenée. Le barrage d'une hauteur de 8 mètres est équipé de 10 vannes segments (*Figure 5*).



Figure 5 : Barrage EDF de Mallemort (Géoportail) et localisation de la passe-piège

La hauteur de chute au niveau du barrage est de 4,15 mètres à l'étiage, cette hauteur diminuant avec l'augmentation du débit, jusqu'à effacement total de l'ouvrage en cas de crue (LINE et *al.*, 2003). Jusqu'en 2003, cet ouvrage était infranchissable pour l'ensemble des espèces piscicoles présentes sur la Durance.

Ce site constituait donc la limite amont de migration pour l'anguille. Une passe-piège à anguilles - selon le concept développé par LEGAULT (1992) - a ainsi été installée dans le but de rendre accessible le tronçon amont et d'évaluer la taille de la population d'anguilles migrantes (BARRAL, 2001).

Située en rive gauche, la passe à anguilles bénéficie d'une zone calme, lieu de concentration des anguilles. 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.

c) Fonctionnement hydrologique

Le **régime hydrologique naturel** de la Durance est de type pluvio-nival. Ce régime présente une tendance dominante de type pluvial complétée par un apport nival depuis les Alpes. Il se caractérise par une période de hautes eaux en automne/hiver, liée aux précipitations, et un débit susceptible de se renforcer au printemps lors de la fonte des neiges. Les bas débits sont observés en fin d'été et en fin d'hiver. Le bassin de la Durance, en particulier sur sa partie aval, est sous influence du climat méditerranéen. Cette influence se caractérise par un réchauffement des eaux (particulièrement en été) et des apports pluviométriques brefs mais intenses à l'automne ou au printemps.

Aujourd'hui, le régime hydrologique de la Durance dépend principalement des débits réservés délivrés à l'aval des barrages, équivalent au 1/20^{ème} du module de la Durance soit 9,2 m³/s (depuis janvier 2014) en aval de l'ouvrage de Mallemort (le module étant de 180 m³/s). En effet, l'aménagement de la Durance a conduit à une artificialisation du fonctionnement hydrologique et une diminution globale des débits.

Ainsi, les eaux de la retenue de Serre-Ponçon sont dérivées vers un canal usinier EDF qui se jette hors du bassin versant, dans l'étang de Berre.

Toutefois, dans le cadre des actions de limitation des apports solides et liquides prévues dans le plan de reconquête de l'étang de Berre, une partie des eaux de ce canal est restituée en Durance par un ouvrage situé à 1,4 km en aval du barrage de Mallemort (variant entre 0 et 250 m³/s), avec d'importantes variations inter et intra journalières. Cet ouvrage déverse en outre un débit agricole minimal servant à alimenter la prise d'eau de Bonpas (variant selon la saison entre 2 et 16 m³/s). Au barrage de Bonpas, le débit réservé est limité à 1/40^{ème} du débit entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre (soit 4,7m³/s), à 1/20^{ème} du débit (soit 9,4m³/s) du 1^{er} octobre au 15 avril puis à 15m³/s du 15 avril au 30 juin (*Figure 6*).

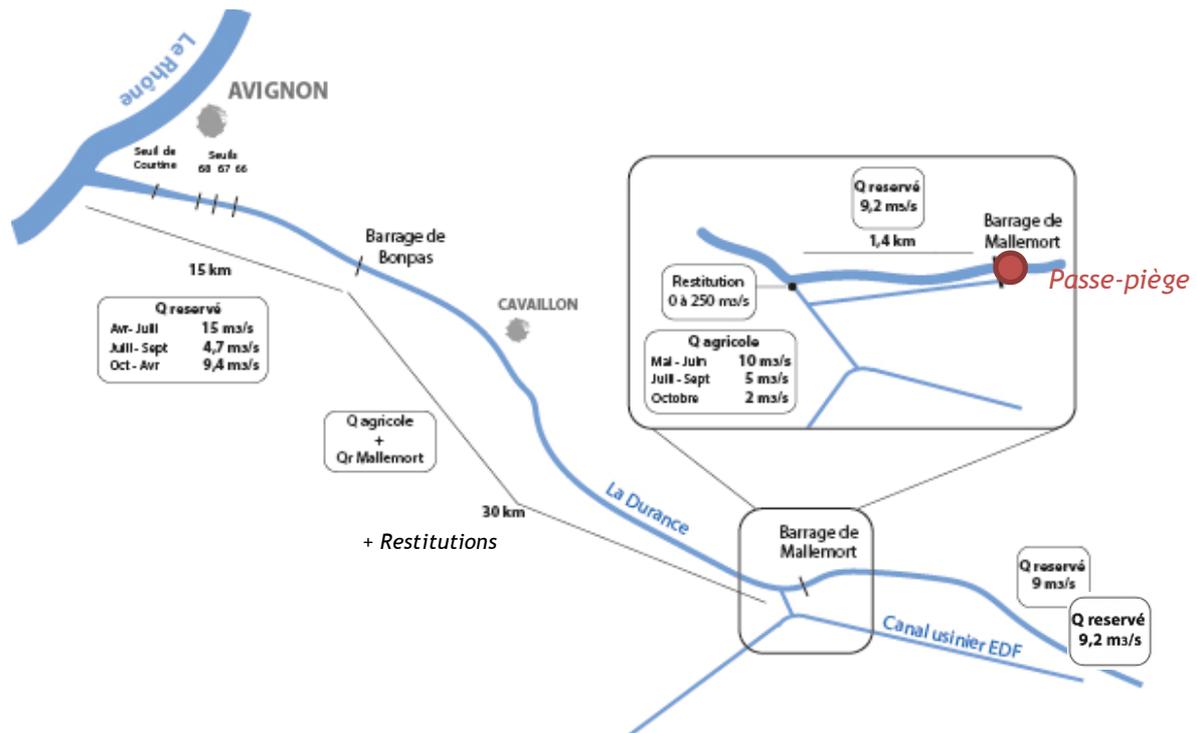


Figure 6 : Schéma du fonctionnement hydrologique de la Durance aval (MRM)

2 Méthodologie

2.1 Acquisition de données terrain

La passe-piège à anguilles constitue un dispositif de piégeage permanent, suivi toute l'année par la fédération départementale de pêche du Vaucluse dans le cadre d'une convention entre EDF et l'Association Régionale des Fédérations de Pêche de Provence Alpes Côte d'Azur et les deux FDPMA 13 & 84.

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 endormie afin de faciliter les manipulations de biométrie. Ainsi, chaque individu est mesuré et pesé individuellement puis l'ensemble des captures est relâché en amont du barrage de Mallemort. Pour chaque intervention, l'opérateur remplit une fiche d'intervention standard (*Annexe 1*), transmise mensuellement à MRM.

2.2 Traitement des données

a) Données populationnelles

L'analyse **des captures journalières**, obtenues en ramenant le nombre d'individus piégés par le nombre de jours écoulés entre deux relèves, permet de caractériser le flux migratoire au cours de la saison. Des analyses interannuelles sont également réalisées afin de dégager les grandes tendances.

En parallèle, **les données biométriques** permettent d'apprécier les caractéristiques de la population migrante et l'éventuelle évolution des tailles au cours de la saison et entre les années. Pour ce faire, la répartition annuelle des classes de tailles est déterminée ainsi que les tailles moyennes mensuelles et annuelles.

b) Données environnementales

La température de l'eau étant supposée être le paramètre déclencheur de la migration des anguillettes (White & Knights, 1997 in Crivelli, 1998), l'analyse de l'évolution de ce paramètre, dont les données sont fournies par le SMAVD dans le cadre de l'Observatoire Durance, permet ainsi d'identifier la période la plus propice au mouvement des anguilles et d'en déduire la fenêtre théorique de migration. Afin d'apprécier les variations de température que peuvent engendrer les restitutions à l'aval de Mallemort, l'analyse a été menée sur 2 stations : à l'amont de l'ouvrage et à l'aval de la restitution.

Le débit étant susceptible d'influencer la migration, son évolution au cours de la saison a été confrontée aux captures journalières. Ainsi, dans le cadre de la convention quadripartite, les données de débits restitués en aval de la restitution de Mallemort et de débits déversés à Cadarache sont fournies à MRM par EDF.

3 Résultats

3.1 Campagne 2020

a) Évolution des captures

Au total, **404 anguilles** ont été capturées cette saison. La première capture a été observée lors de la relève du **30 avril** et la dernière lors de la relève du **20 novembre**. L'absence de relève du 1^{er} mars au 17 avril et du 31 octobre au 20 novembre pour cause de pandémie n'a pas impacté le flux migratoire, mais ne permet pas de préciser la date exacte de fin de la migration. Les captures se sont majoritairement concentrées du 29 juin au 28 septembre (90 %), définissant une fenêtre de migration principale de **91 jours** (soit 3 mois).

c) Influence des facteurs environnementaux

La température de l'eau

Comme pour toute espèce poïkilotherme, la température de l'eau agit sur le métabolisme des anguilles, notamment sur la rapidité de l'influx nerveux et les contractions musculaires qui influencent la nage.

Les températures douces sont donc favorables à la migration des anguilles (supérieures à 10 - 12°C) alors que les températures basses stoppent leur progression (Elie, 1998). Sur le Rhône, il semblerait ainsi qu'une température de 15°C soit nécessaire pour observer les premières captures significatives dans les passes-pièges (Georgeon *et al*, 2017a).

De plus, en phase de colonisation, les anguillettes peuvent être attirées par des eaux plus chaudes. Nyman (1972) observe ainsi une attraction des décharges d'eau chaude des centrales thermiques sur les civelles et anguillettes.

La première capture de la saison (1 anguille) a été observée lors de la relève du 5 mai alors que la température moyenne journalière de la station amont Mallemort (potentiellement similaire à celle du tronçon court-circuité) était favorable (supérieure à 15°C de moyenne sur la journée) à partir du 14 avril.

On observe les dernières captures à l'occasion de la relève de la passe-piège du 20 novembre pour des températures moyenne enregistrées sur les jours précédents plus faibles. (oscillant entre 13 et 15°C entre le 11 octobre et la mi novembre). On enregistre donc des captures associées à des températures légèrement inférieures à 15°C. On notera toutefois que ces captures sont limitées. Par ailleurs, les valeurs de températures observées en 2018 sur les 2 stations (amont et aval de Mallemort) montraient une différence significative (+ 2,4°C sur la station amont).

L'absence de collecte des données complètes sur la station aval en 2020, en raison des forts débits de restitution au moment des relevés ne nous permet pas de réaliser cette analyse amont/aval à ce jour. (Figure 9)

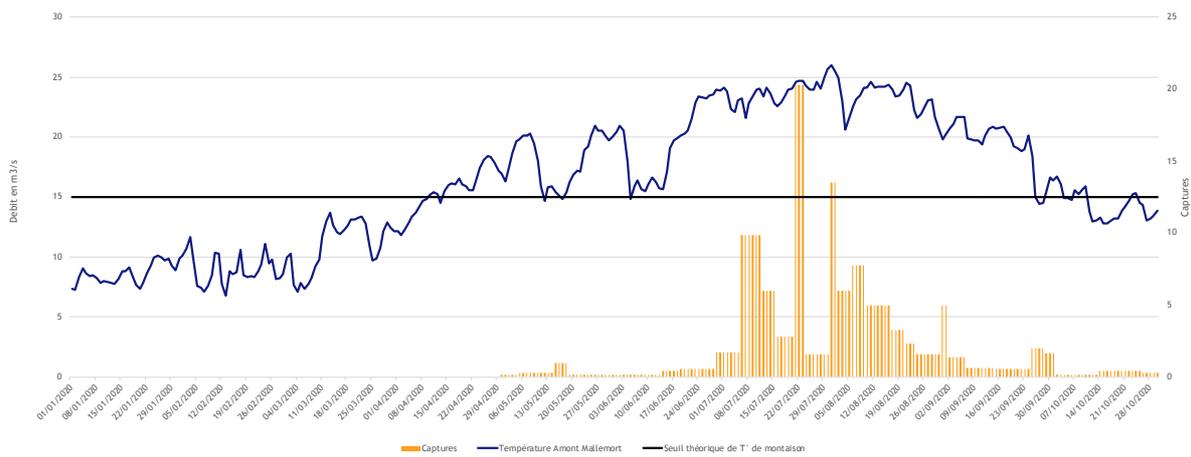


Figure 9 : Évolution de la température moyenne journalière sur les stations amont de Mallemort confrontée aux captures journalières (Source des températures : SMAVD) pour 2020

Les débits du tronçon court-circuité et de la restitution

Le retour d'expérience du suivi des passes-pièges du Rhône montre que l'hydrologie influence les mouvements d'anguilles car les pics de migration sont généralement corrélés à des hausses de débits (Georgeon et al, 2017b). Toutefois, des vitesses d'écoulement trop élevées peuvent provoquer un blocage hydrodynamique, similaire à l'effet de blocage des obstacles physiques, notamment sur les plus petites tailles dont les capacités de nage sont limitées (Lafaille et al, 2007).

Le débit moyen journalier au sein du tronçon court-circuité se découpe en 3 périodes distinctes de déversement observées à Cadarache en 2020 (283 m³/s maximum entre le 2 et le 8 mars, 112 m³/s maximum entre le 24 et le 15 juin et 43,7 m³/s maximum entre le 6 et le 23 septembre. Les premières captures ont été observées en dehors de ces périodes de déversement à Cadarache (Figure 10).

La majorité des captures a eu lieu en dehors des périodes de restitution soutenues du canal entre mai et mi-juin sachant que des déversements dans le TCC ont également eu lieu à cette période. Si la question de l'influence des restitutions sur les captures peut alors se poser (augmentation des captures corrélée à une diminution des restitutions), on note cependant que les premières captures ont été observées à une période standard malgré la restitution.

En comparant les résultats des années précédentes il semblerait, de manière générale, que les restitutions et plus généralement le débit à l'aval du barrage de Mallemort n'influencent pas les captures à la passe-piège. Toutefois, compte tenu de la faiblesse des captures et de la complexité hydrologique du secteur, il faut rester prudent sur ces interprétations.

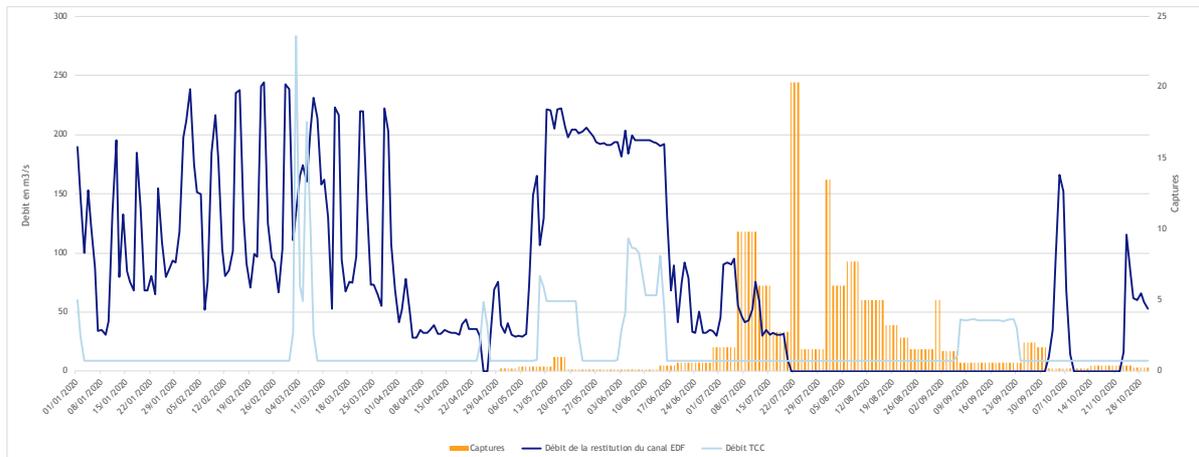


Figure 10 : Évolution des débits journaliers de restitution du canal EDF à Mallemort et du tronçon court-circuité confrontée aux captures au cours du suivi 2020 (Source EDF)

Nota bene : Le débit à l'aval de Mallemort correspondant au débit du TCC + le débit de restitution.

3.2 Tendances interannuelles

a) Évolution des captures

Depuis le début du suivi, le nombre de captures moyen s'élève à 413 anguilles par an, oscillant entre 45 en 2007 et 1139 en 2019. Toutefois, deux périodes semblent se distinguer :

- **Entre 2004 et 2009**, les captures sont plus ou moins stables (mise à part l'année 2006 avec 522 anguilles piégées) mais sont particulièrement faibles avec en moyenne 166 individus capturés chaque année.
- **Depuis 2010**, Les captures sont en moyenne plus importantes (548 anguilles piégées en moyenne chaque année soit 3 fois plus que la période précédente). Les variations interannuelles sont fortes mais la tendance semble en légère hausse (*Figure 11*). L'augmentation de la capture moyenne depuis 2010 peut s'expliquer d'une part par la réfection du seuil 68 et les travaux sur la passe à Mallemort en 2009 et d'autre part par l'ouverture des passes pièges à Beaucaire en 2007. On notera également que la capture moyenne depuis 2015 est elle aussi à la hausse avec 638 anguillettes capturées en moyenne sur les 6 dernières années et n'est certainement pas étrangère à l'augmentation du débit réservé en 2014. L'effectif 2020 de 404 individus est inférieur à la moyenne des dernières années et marque un coup d'arrêt après deux années ayant enregistré les captures les plus importantes depuis le début du suivi. Cette baisse peut s'expliquer par des recrutements très faibles ces dernières années, comme peut en témoigner la baisse des effectifs observée aux passes-pièges de Beaucaire et également la taille des individus capturés (moyenne de 245 mm).

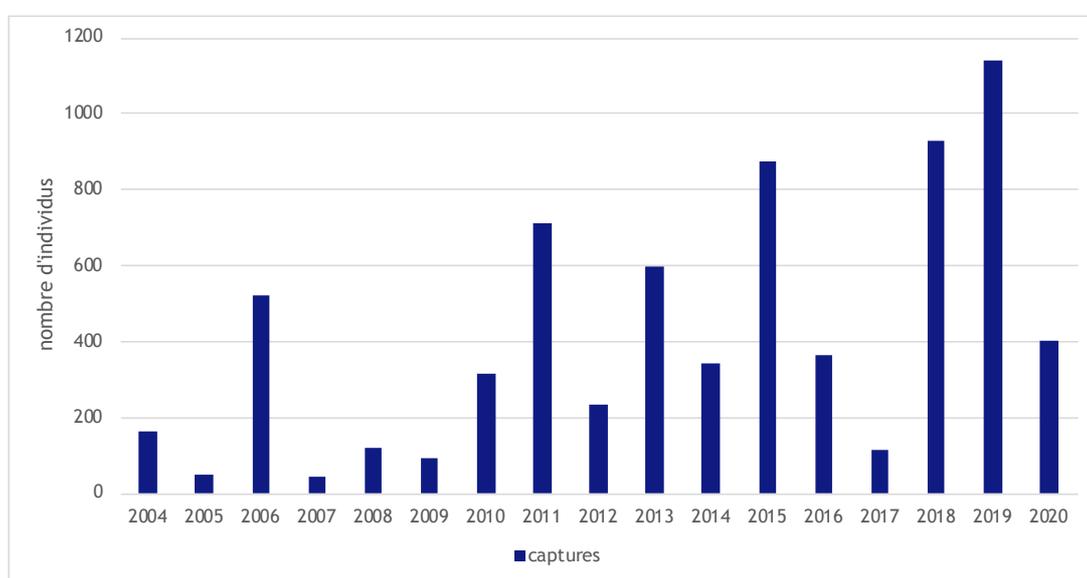


Figure 11 : Évolution des captures annuelles depuis 2004
Périodes de captures

b) Périodes de captures

Depuis 2004, les premières captures sont observées entre le 11 avril (en 2011) et le 4 juillet (en 2009) et les dernières entre le 26 septembre (en 2007) et le 27 novembre (en 2013). Il apparaît donc que la période moyenne de migration observée depuis 2004 se situe entre le **11 mai et le 25 octobre** soit une durée moyenne de migration de 167 jours (entre 106 en 2009 et 217 en 2006) (*Figure 12*). Cette durée de migration est bien plus longue que celle observée en moyenne à Beaucaire (3 mois) et à Avignon (1,5 mois).

Les pics de captures varient d'une année à l'autre, et plusieurs schémas migratoires se distinguent :

- un **flux linéaire** et étalé entre les mois de mai et août sans véritable pic de captures. Il s'agit ainsi des années 2010, 2011, 2012, 2017, 2018 et dans une moindre mesure 2016.
- une **migration concentrée** sur 2 mois en 2006, 2007, 2013, 2015 et 2020
- **2 pics de captures** dans la saison les années 2004 et 2005 et 2019. L'année 2019 se distingue cependant par un second pic très tardif, qui fait que 75 % des captures n'ont été atteintes que le 11/10 (10 jours avant la fin des captures le 21/10, plus gros pic de la saison 150 anguillettes).

Par ailleurs, les saisons 2008, 2009 et 2013 se caractérisent quant à elles par un début de migration tardif en juillet et août. La saison 2014 est particulière puisque, malgré une première capture observée tôt dans la saison et une large fenêtre de migration, le pic migratoire a été très condensé et s'est produit très tardivement (80 % des captures entre octobre et début novembre).

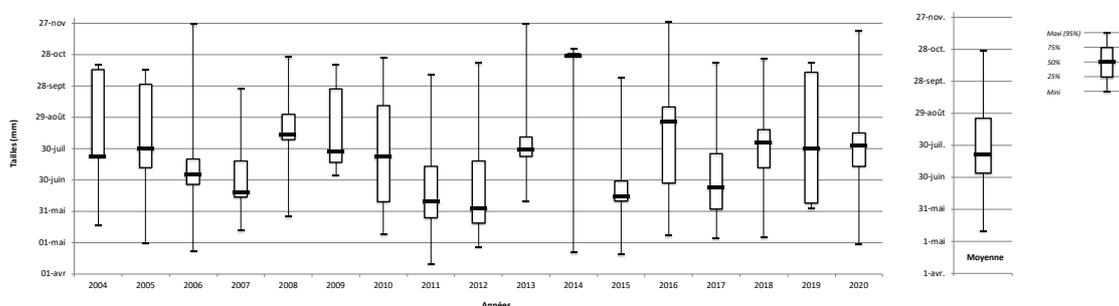


Figure 12 : Périodes de migration et flux migratoires constatés au barrage de Mallemort depuis 2004

Les captures mensuelles sur la période 2004-2020 augmentent progressivement à partir d'avril pour atteindre un maximum en juillet (44,8%) puis décroît progressivement jusqu'en novembre (1,7 %).

Il apparaît alors que le flux migratoire s'effectue majoritairement entre juin et août (70 %), avec toutefois, comme vu précédemment, d'importantes variations interannuelles.

La migration 2020 s'inscrit dans l'évolution habituelle avec une augmentation progressive jusqu'au mois de juillet puis une diminution jusqu'à la fin de migration en novembre (*Figure 13*). On notera toutefois, par rapport à la moyenne, une diminution en terme de pourcentage sur les mois de mai et juin au profit du mois d'août.

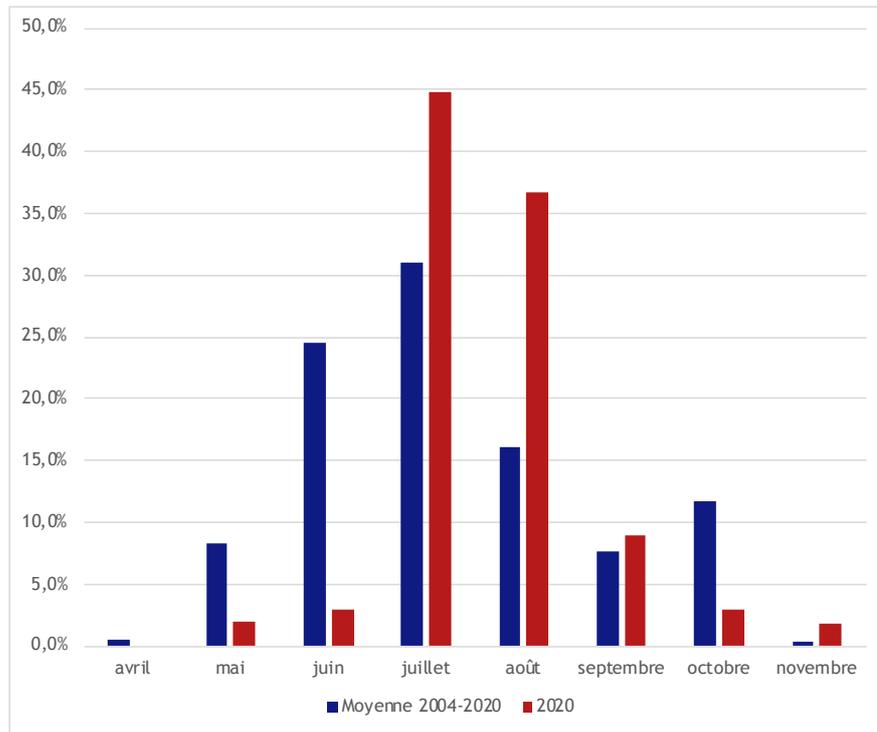


Figure 13 : Proportion des captures mensuelles de la saison 2020 comparée à la période 2004-2020

c) Structures en tailles

L'analyse des 7 628 anguilles mesurées depuis le début du suivi fait état d'une domination de la population par les individus dont la taille est comprise entre 240 et 310 mm (65 %). Les deux autres classes de tailles les plus représentées sont par la suite les classes [100-110[(9 %) et [150-160[(7 %). Plus globalement, la proportion d'anguille de moins de 150mm est peu représentée avec 13 % des individus observés (Figure 14).

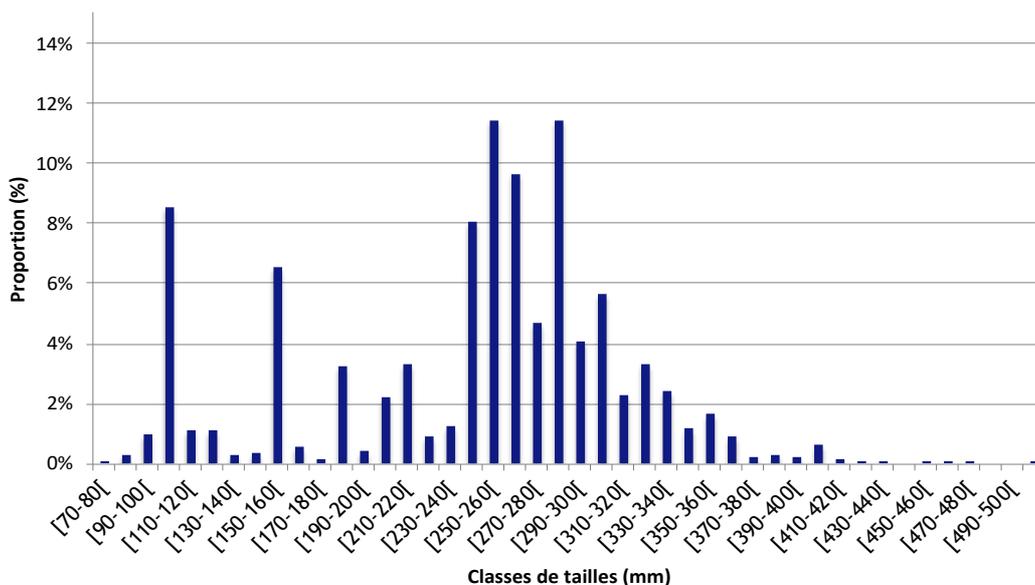


Figure 14 : Structure en taille de la population d'anguilles capturées depuis 2004

De la même manière qu'a évolué le nombre de captures annuelles, trois périodes semblent se dégager dans la répartition des classes de tailles (Figure 15) :

- **Entre 2004 et 2008**, la répartition des tailles semble peu varier entre les années et la majorité des individus (> 50 %) a une taille supérieure à 300 mm. Par ailleurs, la taille minimale est rarement en dessous de 150 mm et ne concerne que très peu d'individus lorsque c'est le cas.
- **Entre 2009 et 2011**, une transition avec une arrivée progressive des anguillettes de taille inférieure à 150mm et une moyenne entre 250 et 270 mm.
- **Entre 2012 et 2019**, la taille moyenne diminue et est comprise entre (195 et 245mm) et la majorité des individus (> 75 %) a une taille inférieure à 300 mm. De plus, la proportion de tailles inférieures à 150 mm se stabilise entre 20 et 30 % à partir de 2012 (Annexe 2).
- **En 2020**, les captures observées sont similaires à la période 2009 à 2011 avec une taille moyenne des individus autour des 250 mm.

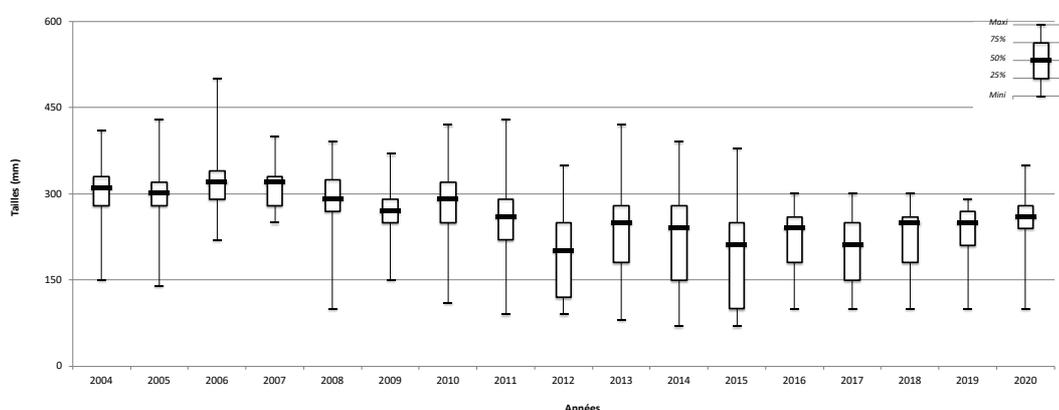


Figure 15 : Évolution des tailles annuelles observées depuis 2004

La distinction des cohortes d'âge *via* l'analyse des structures en taille de la population migrante est impossible. Les caractéristiques réelles du milieu n'étant pas connues (ressources disponibles, densité, etc.), les taux de croissance des anguilles ne peuvent être identifiés et la relation taille / âge est donc impossible à définir.

Toutefois, en se basant sur les lectures d'âge réalisées sur le Rhône en 2006 (Auphan et Delhom, 2006), il semblerait que la majorité des individus présentant une taille inférieure à 100 mm soit des individus arrivés durant l'année. En s'intéressant alors plus précisément à ces individus, il apparaît que même si leur proportion reste faible, elle est en augmentation progressive entre 2011 et 2017 alors qu'ils étaient absents des captures avant 2011. Cette observation illustre donc la colonisation des jeunes individus sur l'axe Durance (Figure 16).

On notera cependant que depuis 2017, la proportion d'individus ayant une taille inférieure ou égale à 100 mm est en diminution.

Les mauvais recrutements enregistrés ces trois dernières années sur l'ensemble de la façade méditerranéenne observés *via* notamment le suivi de la passe-piège à civelles installée aux Saintes Maries de la Mer (Lambremon *et al*, 2018-2020) peuvent expliquer la baisse de présence de petits individus à Mallemort ces trois dernières années. En effet la proportion des petits individus à Mallemort semble très liée à la tendance du recrutement au Vaccarès (moyenne mobile sur 3 ans) ce qui fait sens (Figure 16).

Mais plus généralement, l'arrivée des petits individus depuis 2011 illustre les efforts entrepris en termes de rétablissement de la continuité écologique et peuvent expliquer en partie ces observations sur la Durance.

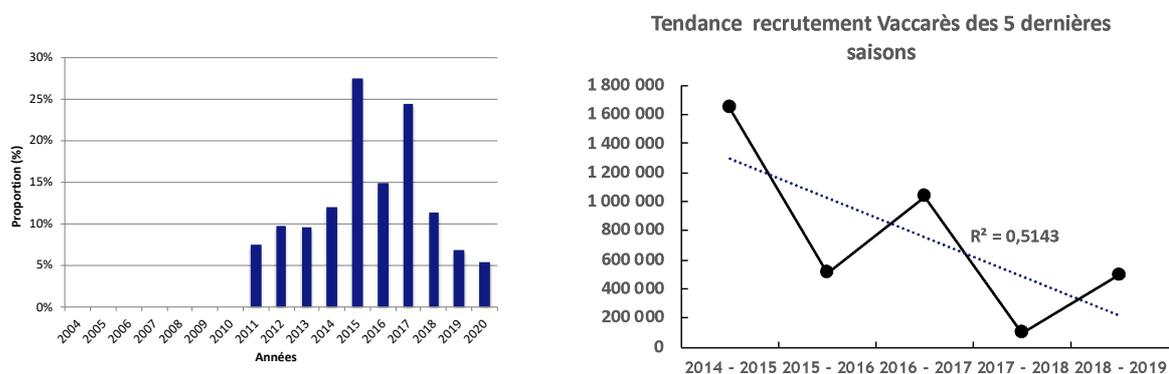


Figure 16 : Proportion d'individus de taille inférieure ou égale à 100 mm depuis 2004 observés à la passe-piège de Mallemort et tendance du recrutement Vaccarès depuis 2014.

3.3 Comparaison aux autres indicateurs « anguille » du bassin

a) Réseau de passes-pièges du Rhône

Sur le Rhône, la Compagnie Nationale du Rhône a équipé de passe-piège les trois premiers aménagements hydroélectriques rencontrés depuis l'embouchure (2005 en rive gauche puis 2006 en rive droite de Beaucaire, mises en service en 2012 sur les 2 rives d'Avignon et Caderousse) dont le suivi est assuré par l'Association Migrateurs Rhône Méditerranée depuis leur installation.

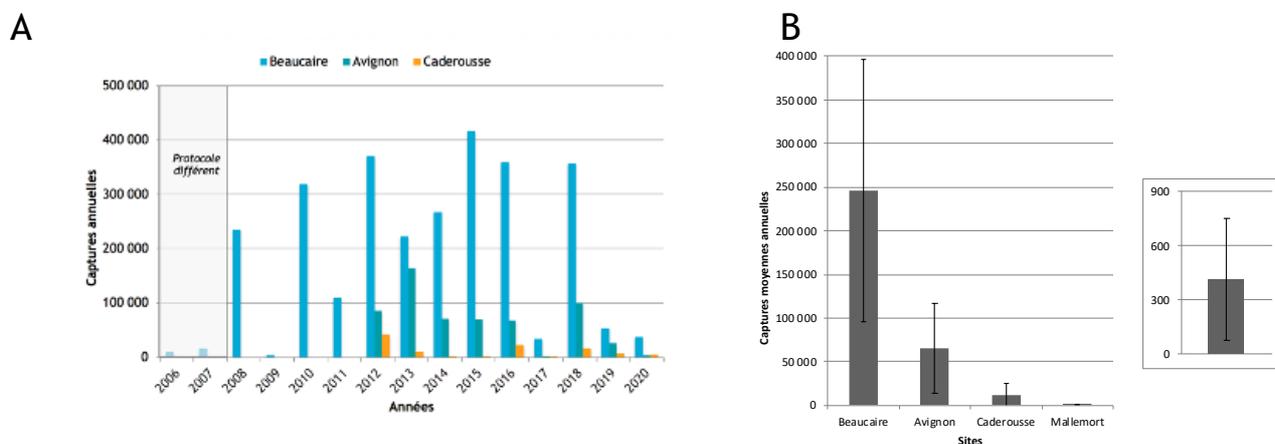


Figure 17 : Évolution des captures annuelles observées sur les aménagements du Rhône (A) et comparaison des captures annuelles moyennes sur les 4 passes-pièges (B)

La tendance des captures à Beaucaire après avoir été à la hausse de 2011 à 2016 est à la nette baisse depuis 2017 (Lambremon *et al*, 2021). Cette tendance à la baisse depuis 2017 ne se répercute pas sur la capture totale à Mallemort qui a bénéficié dans le même temps d'une augmentation du débit réservé depuis 2014 et d'améliorations techniques au pied de la passe piège. On a cependant noté dans le paragraphe 3.2.C que cette tendance expliquait certainement la baisse en proportion des petits individus. Par ailleurs, les effectifs capturés chaque année sur ces aménagements sont très nettement supérieurs à ceux observés à Mallemort (en moyenne, 246 000 à Beaucaire, 65 500 à Avignon et 11 800 à Caderousse, contre 413 à Mallemort) (Figure 17).

On pourrait s'attendre à des effectifs au moins équivalents à Caderousse qui est à la même distance de la mer, cependant le nombre d'ouvrages à franchir pour atteindre Mallemort est bien supérieur (5 de plus) et pourrait expliquer ces effectifs bien moins importants.

La comparaison des structures en tailles des anguilles capturées sur les différentes passes-pièges du bassin montre le déséquilibre qu'il peut y avoir entre l'axe Rhône et la Durance (Figure 18).

La majorité des anguilles capturées sur le Rhône présente une taille inférieure à 150 mm (82 % à Beaucaire, 59 % à Avignon et 55 % à Caderousse) alors que ces individus ne représentent que 20 % des captures à Mallemort. Par ailleurs, une évolution des tailles est observée sur le Rhône avec la distance à la mer : la classe de taille dominante étant 90 -100 mm à Beaucaire (68 km), 100 - 110 mm à Avignon (94 km) et 110 - 120 à Caderousse (117 km). Il apparaît ainsi que malgré un éloignement de près de 50 km entre Beaucaire et Caderousse, la classe de tailles dominante ne varie que de 20 mm.

Sur la Durance, le site de Mallemort se situe à 58 km de celui de Beaucaire et par conséquent un éloignement sensiblement comparable à celui de Caderousse. Néanmoins, la structure en tailles observée à Mallemort est très significativement différente de celle observée à Caderousse et plus généralement de celles observées sur le Rhône, avec une classe de taille majoritaire de 230-240 mm.

Ainsi, en considérant les ouvrages transversaux présents à l'aval de ces différents sites, il s'avère qu'ils sont plus nombreux à l'aval de Mallemort (5 contre seulement 2 à l'aval de Caderousse) et plus difficilement franchissables que sur le Rhône (étant donné les possibilités de passage *via* les écluses et passes-pièges à anguilles). Dès lors, il semblerait que ces ouvrages soient d'une part sélectifs sur la population migrante (en termes d'effectifs et de tailles) et engendrent, d'autre part un retard du flux migratoire.

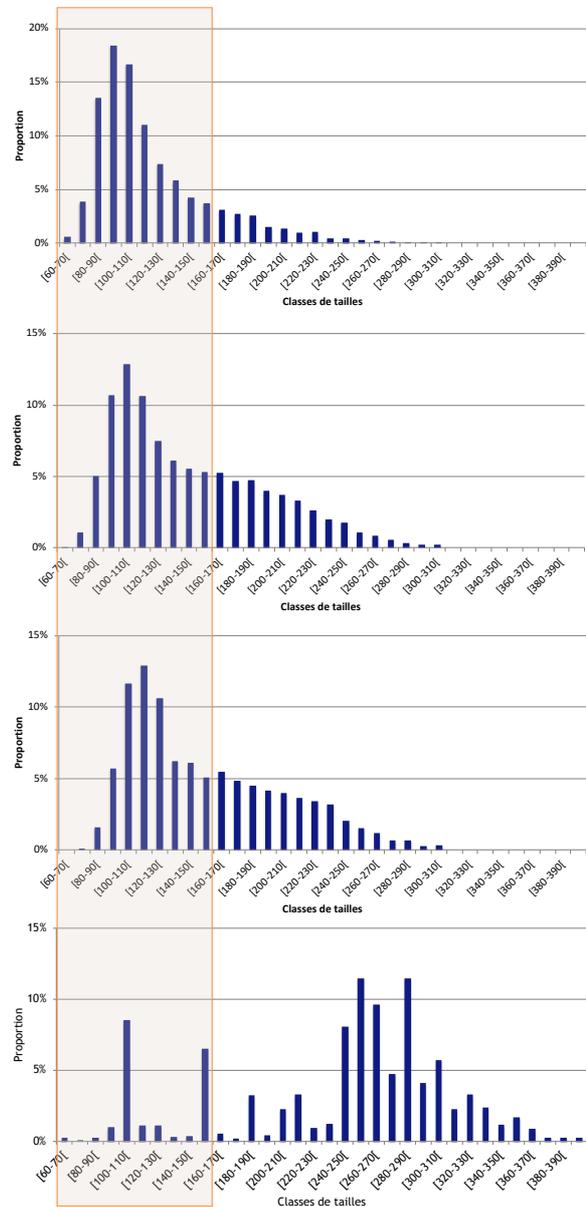


Figure 18 : Comparaison des structures en tailles interannuelles observées sur les différentes passes-pièges

b) Réseau de pêche électrique sur la Durance

Les stations de pêche du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) de l'OFB (ex-ONEMA) sont présentes dans la Zone d'Action Prioritaire de la Durance (Aval Bonpas, Cheval Blanc et Cadenet) (*Figure 19*), pêchées chaque année depuis respectivement 1997, 2003 et 1995. Une station supplémentaire du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP), identifiée au niveau de Saint-Paul-Les-Durance, est pêchée tous les deux ans depuis 2007. Toutes ces pêches sont réalisées par prospection par ambiance à un seul passage.

Cette technique est utilisée lorsque les caractéristiques du cours d'eau ne permettent pas de conduire une prospection complète à pied en raison de la largeur importante du cours d'eau ou la présence de zones difficilement prospectables (profonds, vitesses de courant élevée, etc.). De plus, l'échantillonnage par « ambiance » permet d'obtenir un échantillon relativement stable entre les pêches sur des secteurs fréquemment remaniés par les crues.

En 2020 les résultats sont très faibles, avec seulement 15 anguilles capturées sur la station de Cheval blanc, et 0 sur la station de Cadenet. La pêche en aval de Bonpas a été annulée pour des raisons sanitaires et n'a pas pu être reprogrammée.

Les stations situées en amont de Mallemort confirment les résultats observés à la passe-piège puisque 1 seule anguille a été capturée depuis 1995 sur la station de Cadenet et aucune sur celle de Saint Paul Les Durance depuis 2007 (en 6 pêches). En effet, les faibles effectifs relâchés en amont du barrage de Mallemort ont la possibilité de coloniser un vaste secteur (50 km jusqu'à Cadarache + affluents) conduisant ainsi à de faibles abondances et à la difficulté à retrouver ces individus lors des opérations de pêches électriques. (*Figure 19*).

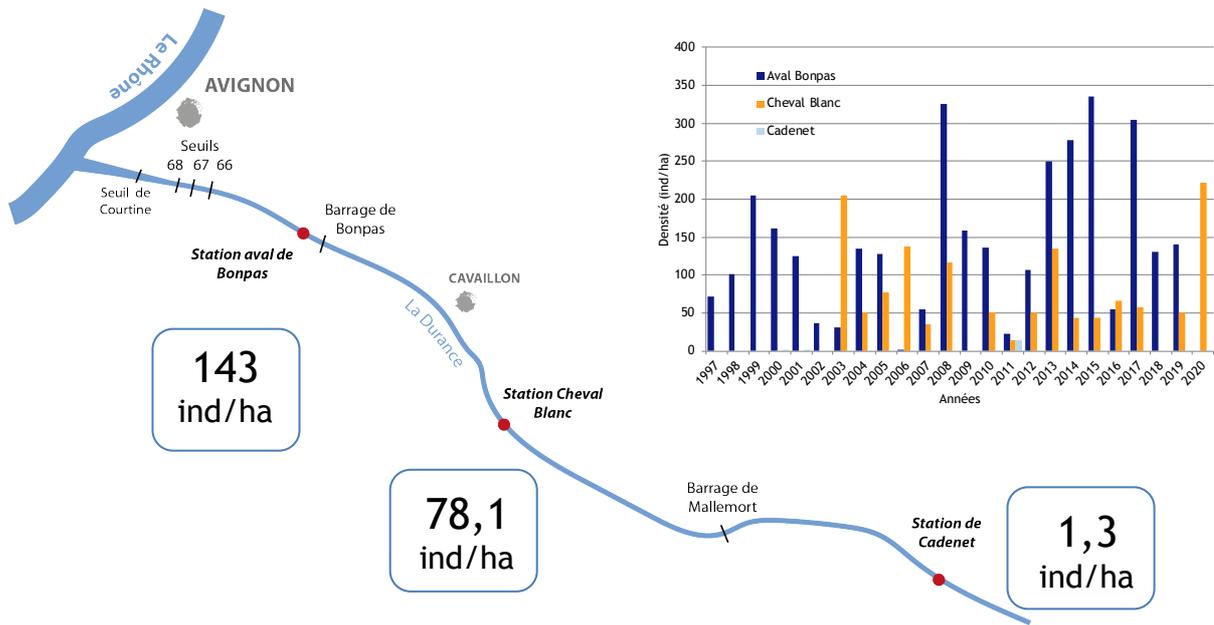


Figure 19 : Localisation des stations RCS de l'AFB et évolution des abondances d'anguilles et abondances moyennes par station de 1997 à 2020.

Les classes de tailles observées lors de ces pêches sont majoritairement supérieures à 300 mm (63 % à l'aval de Bonpas et 99 % à Cheval Blanc) et aucun individu inférieur à 150 mm n'a été pêché en amont de Bonpas.

Par ailleurs, sur la station aval Bonpas, l'abondance de petits individus (< 300 mm) est plus importante depuis 2013 (supérieure à 100ind/ha) sauf en 2016 où la densité globale était inférieure à 100. A l'inverse depuis 2 ans la densité d'individus supérieurs à 300mm est inférieure à 50 ce qui est rare sur la chronique de données (Figure 20).

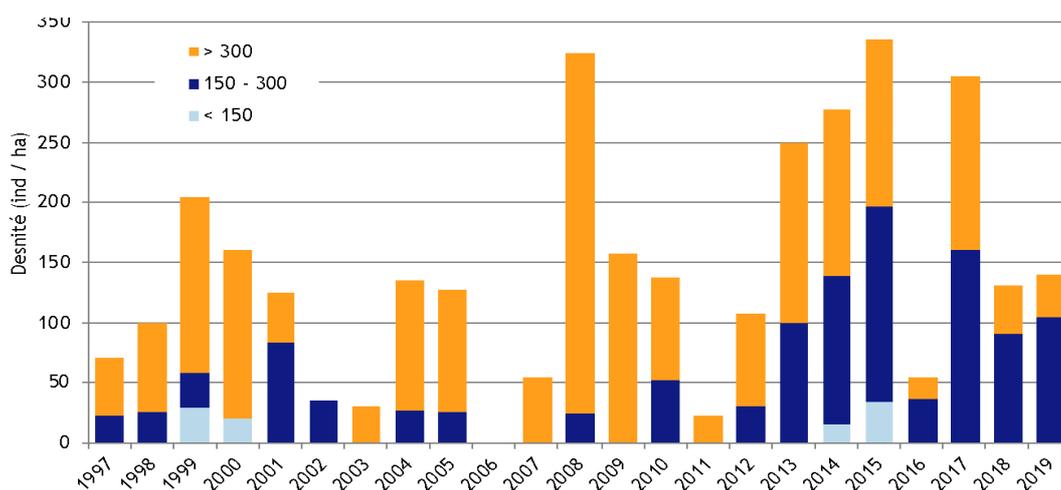


Figure 20 : Evolution des abondances par classes de tailles sur la station aval Bonpas

Il faut cependant rester prudent dans l'interprétation de ces résultats compte tenu de la difficulté à capturer les anguilles lorsqu'elles ne sont pas spécifiquement ciblées dans les opérations de pêches électriques (comportement, réactivité au champ électrique, etc.) et particulièrement les individus de petites tailles (détection visuelle et maille des épuisettes pas adaptée à leur capture) (Lamarque, 1976).

Toutefois, certaines tendances peuvent être observées notamment en ce qui concerne la proportion plus importante des petites tailles après 2013 sur la station aval Bonpas, tendance plus ou moins similaire à ce qui peut être observé à la passe-piège de Mallemort.

L'apparition de ces petites tailles depuis 2011 à Mallemort dans les différents jeux de données peut s'expliquer tout d'abord par la réfection du seuil 68 en 2009 (suite à la formation d'une brèche dans le seuil en 2008) qui a par conséquent pu favoriser le franchissement par les petits individus en créant des surfaces de reptation plus importantes et en effaçant certaines zones d'affouillements en pied de seuil.

De plus, la même année, des améliorations ont été apportées au pied de la passe-piège de Mallemort par la mise en place d'enrochements permettant de préserver le débit d'attrait de la passe du débit réservé (en limitant les turbulences) et de garantir un chenal en eau en bas de la rampe (en limitant l'engravement).

Enfin depuis 2014, le débit réservé a été doublé de 4,6 à 9,2 m³/s ce qui augmente l'attrait de la Durance et peut expliquer la présence plus importante d'individus de petite taille issus des recrutements récents.

c) Étude de la migration anadrome de l'anguille en basse Durance

Dans le cadre du contrat de rivière Durance, une étude sur les conditions de migration anadrome de l'anguille en basse Durance a été menée par MRM en partenariat avec les FDPMA 13 et 84 entre 2015 et 2016 (Georgeon *et al*, 2016). Des pêches électriques ont ainsi été réalisées durant les deux années d'étude sur les affluents de la Durance (Anguillon, Malautière, Mourgon et Calavon), en déployant une méthodologie spécifique au suivi des fronts de migration de l'anguille développée par MRM (Campton *et al*, 2014) (Figure 21).

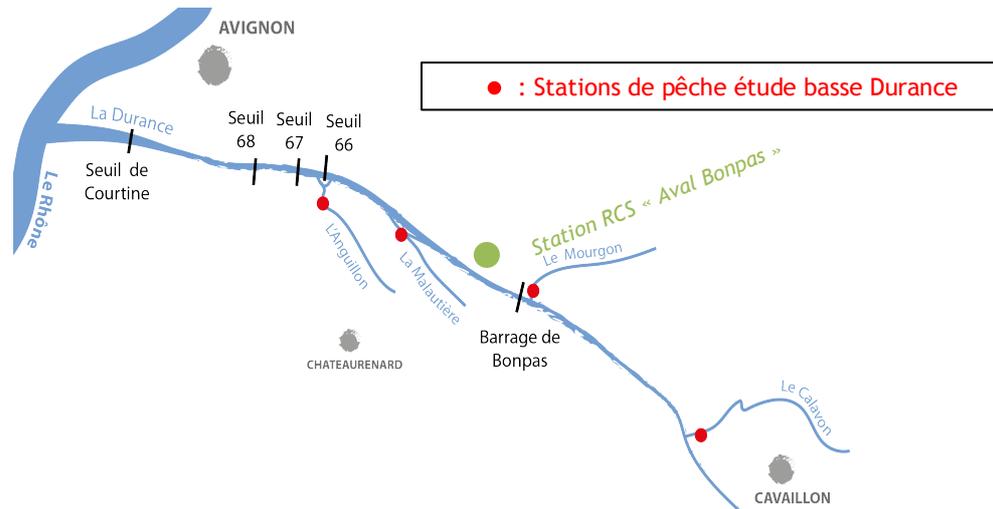


Figure 21 : Localisation des stations de pêche de l'étude des conditions de migration de l'anguille en basse Durance et de la station RCS de l'AFB

Sur les affluents localisés à l'aval du barrage de Bonpas, de très fortes densités d'anguillettes ont été observées (Figure 22) (comparables à celles observées sur les petits fleuves côtiers à proximité de la mer) illustrant ainsi l'importance du recrutement sur ce secteur malgré la distance à la mer et donc une bonne attractivité de la Durance sur les anguilles en migration. Ces résultats indiquent également que les seuils situés à l'aval des stations de pêche sont franchissables et non sélectifs (en termes de tailles) sur les anguilles en migration, mais peuvent toutefois engendrer un retard.

Au contraire, sur les affluents localisés en amont de Bonpas les densités sont moyennes et aucun individu de taille inférieure à 150 mm n'est observé, soulignant ainsi des difficultés de franchissement de l'ouvrage et une sélectivité sur les plus petites tailles (Georgeon *et al*, 2016), observations en cohérence avec les données de Mallemort et des pêches de l'OFB.

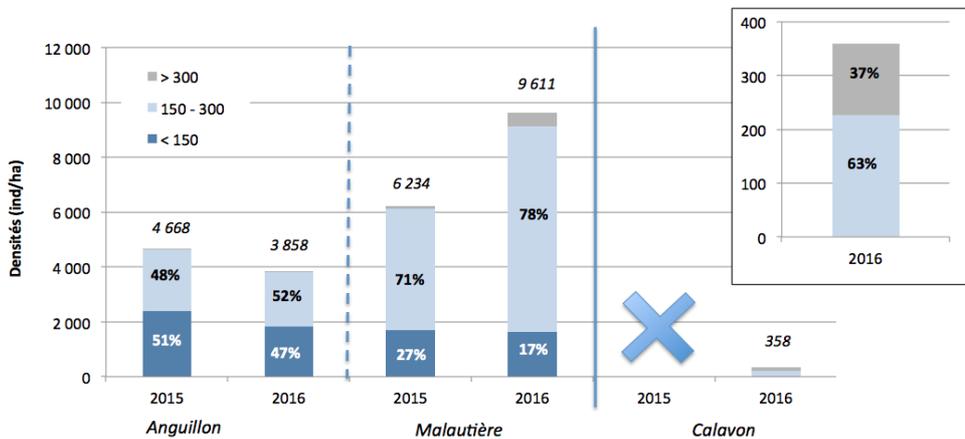


Figure 22 : Densités et proportion des classes de taille observées durant les pêches Conclusions et perspectives

Conclusion

Avec 404 anguilles enregistrées à la passe-piège de Mallemort cette saison, les résultats sont à la baisse mais restent dans la moyenne de la chronique. Le chiffre est tout de même bien inférieur à la moyenne constatée depuis 2010.

Par ailleurs, bien que la tendance semble stable, deux périodes se distinguent : la première entre 2004 et 2009 durant laquelle les captures sont particulièrement faibles (166 en moyenne) ; la seconde entre 2010 et 2020 durant laquelle les captures sont plus élevées (548 en moyenne). Les travaux réalisés en 2009, pour préserver le débit d'attrait de la passe du débit réservé, auraient ainsi amélioré l'attractivité et les conditions de migration à l'aval de la rampe. De plus, les petits individus, de tailles inférieures à 150 mm, apparaissent dans les captures depuis 2010 en proportion plus importante.

Ce constat apparaît également dans les résultats de pêches électriques de l'OFB sur la station « aval Bonpas » et pourrait ainsi être la conséquence de la réfection du seuil 68 en 2009 ainsi que l'augmentation du débit réservé en 2014.

Néanmoins, les effectifs enregistrés à Mallemort sont faibles comparativement à ceux observés dans les passes-pièges du Rhône et en particulier à ceux de l'aménagement de Caderousse dont la distance à la mer est équivalente à celle de Mallemort. De même, les structures en tailles sont très différentes entre les deux axes et les individus capturés sur la Durance sont globalement plus âgés que ceux capturés sur le Rhône. Ces résultats peuvent ainsi être la conséquence de l'impact cumulé des 5 ouvrages présents à l'aval de Mallemort qui engendreraient non seulement un retard du flux migratoire mais également une sélectivité des classes de tailles.

L'étude menée entre 2015 et 2016 sur les conditions de migration anadrome de l'anguille en basse Durance a montré que les abondances d'anguilles de petites tailles étaient élevées à l'aval du barrage de Bonpas et chutaient sensiblement à l'amont de ce dernier. Il semblerait donc que cet ouvrage, difficilement franchissable et sélectif sur les plus petites tailles, conditionne les effectifs à l'amont.

Toutefois, un certain nombre d'interrogations persistent encore sur le secteur de Mallemort concernant notamment :

- **L'effet des restitutions** sur la migration anadrome des anguilles compte tenu des variations de débits et de la thermie qui peuvent être importantes sur un pas de temps très court. Dans ce sens, EDF a mené une étude sur l'impact environnemental de ces restitutions et cherche des solutions permettant de les réduire. Des modélisations hydrauliques ont été réalisées aux différentes gammes de débits des restitutions afin de définir des recommandations de gradients de montée et de baisse ainsi que des débits minimum et maximum. Une analyse technico-économique de faisabilité a été menée et une phase expérimentale sera lancée en 2021.
- **L'attractivité du tronçon court-circuité** vis à vis de la restitution en termes de débits et/ou de températures. Comme cela a été évoqué dans la bibliographie, les anguilles en migration sont attirées par des eaux plus chaudes et leurs mouvements conditionnés par l'hydrologie (généralement des hausses de débit). Or, bien que le tronçon court-circuité puisse être plus attractif que la restitution en termes de températures, les débits, faibles et stables, ne semblent pas être favorables.

- **L'attractivité de la passe-piège** et / ou son positionnement. En effet, le positionnement en rive gauche du barrage à proximité de la restitution du débit réservé a engendré certaines difficultés (engravement et turbulences) et a donc conduit EDF à effectuer des travaux afin d'isoler le débit d'attrait du débit réservé ce qui a eu des effets positifs sur les captures.

Par ailleurs, dans le cadre du Plan de Gestion anguille et du classement de la Durance en Zone d'Action Prioritaire (ZAP) jusqu'au barrage de Cadarache, des travaux doivent être réalisés afin de rétablir la continuité en faveur de l'anguille sur ce secteur, en particulier sur le barrage de Bonpas qui semble être aujourd'hui le principal frein à la migration anadrome de cette espèce. Par conséquent, le maintien du suivi de la passe-piège du barrage de Mallemort est essentiel sur le long terme afin d'apprécier d'une part l'effet des futurs aménagements et de l'autre les modalités de la colonisation du bassin rhodanien par les anguilles.

Bibliographie

ACOU A., 2006. Bases biologiques d'un modèle pour estimer la biomasse féconde de l'anguille européenne en fonction des recrues fluviales et du contexte de croissance : approche comparative à l'échelle de petits bassins versants. Thèse Université Rennes 1. 333p.

ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C., 2008, L'anguille européenne : indicateurs de présence et de colonisation, éditions Quae, 393p.

AMILHAT E., 2007, Etat sanitaire de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône Méditerranée Corse : synthèse bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Ceparlmar. CBETM, Université de Perpignan, 88 p.

ALS T., HANSEN M., MAES G., CASTONGUAY M., RIEMANN L., ARESTRUP K., MUNK P., SPARHOLT H., REINHOLD H., BERNATCHEZ L., 2011. All roads lead to home : panmixia of European eel in the Sargasso Sea. *Molecular Ecology* (2011) 20, 1333-1346. 14p.

ANONYME, 2003. Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France - Le bassin de la Durance. Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance.

ANTUNES C., TESCH F-W., 1997, A critical consideration of the metamorphosis zone when identifying daily rings in otoliths of European eels, *Anguilla anguilla* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 6 : pp 102-107.

AUPHAN N. & DELHOM J., 2006 ; Suivi des passes-pièges à anguilles de l'usine hydroélectrique de Beaucaire - Campagne d'étude 2006, Rapport MRM.

BANNING P., HAENEN O., 1990. Effects of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in wild and farmed eel, *Anguilla anguilla*. *Pathology in Marine Science. PAMAQ 3 Proceedings*. Virginia, USA, 1988. Academic Press. p 317-330.

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.

BERG T., STEEN J-B., 1965, Physiological mechanisms for aerial respiration in the eel., *Comp Biochem Physiol*, 15(4) : 469-84.

CAMPTON P. ABDALLAH Y., LEBEL I., 2014. Colonisation des fleuves côtiers méditerranéens par l'anguille. Retour d'expérience 2014 et stratégie pour l'élaboration d'un indicateur e colonisation. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée 50p. + Annexes

CREUTZBERG F., 1961. On the orientation of migrating elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) in a tidal area, *Neth. J. Sea Res.* 1, 257-338.

CHANCEREL F., 1994. La répartition de l'anguille en France. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 335: 289-294.

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

COGEPOMI RMC, 2004. Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin Rhône Méditerranée Corse 2004-2008, 49p + annexes.

DESAUNAY Y., GUERRAULT D., 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae : a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. *J. of Fish Biol.*, 51 (supplément A) 317 - 339

DURIF C.M.F., VAN GINNEKEN V., DUFOUR S., MÜLLER T., ELIE P., 2009, Seasonal Evolution and Individual Differences in Silvering Eels from Different locations., Van den Thillart et al., Spawning Migration of the European Eel., Springer Science + Business Media B.V., Chapter 2, pp.13-38.

EDELIN E., 2005, Facteurs de contrôle de la dispersion continentale chez l'anguille., Thèse Université de Toulouse II, 144p.

ELIE P., LECOMTE-FINIGER R., CANTRELLE I., CHARLON N., 1982, Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'Anguilla anguilla L. (poisson téléostéen anguilliforme)., Vie et Milieu 32 :149-157.

ELIE P., 1998. Vie d'anguille. Eaux libres, 24 : 4-7

ELIE P. & RIGAUD C., 1984, Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine : pêche, biologie, écologie. Examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome. Rapport CEMAGREF, 174 p.

FEUNTEUN E., ACOU A., GUILLOUET J., LAFAILLE P. LEGAULT A., 1998, Spatial distribution of an eel population (*Anguilla anguilla*) in a small coastal catchment of northern Brittany (France)., Consequences of hydraulic works. Bulletin Français de Pêche et Pisciculture, 349 : 129-139.

FEUNTEUN E., LAFAILLE P., ROBINET T., BRIAND C., BAISEZ C., OLIVIER J-M., ACOU A., 2003, A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Toward a general theory. In Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., Eel Biology. Tokyo, Springer Verlag, 191-213

FINIGER, 1976, Contribution à l'étude biologique et écologique des civelles (*Anguilla anguilla* Linné 1758) lors de leur pénétration dans un étang méditerranéen. Vie Milieu, 26, 123-144.

FREYHOF J. & KOTTELAT M., 2008, *Anguilla anguilla*, in IUCN 2008, IUCN 2008 Red List of Threatened Species, www.iucnredlist.org

GEORGEON M., ABDALLAH Y., LEBEL I., 2016, Etude de la migration anadrome de l'anguille européenne en basse Durance, Association Migrateurs Rhône Méditerranée, 39p.

GEORGEON M., ALAMELLE B., LEBEL I., 2016, Suivi de la passe-piège à anguilles du barrage E.D.F. de Mallemort sur la Durance, Campagne 2015, Synthèse des résultats 2004 - 2015. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, Fédération de pêche du Vaucluse. 44 p. + Annexes

GEORGEON M., ALAMELLE B., LEBEL I., 2017, Suivi de la passe-piège à anguilles du barrage E.D.F. de Mallemort sur la Durance, Campagne 2016, Synthèse des résultats 2004 - 2016. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, Fédération de pêche du Vaucluse. 44 p. + Annexes

GEORGEON M., CAMPTON P., LEBEL I., 2017a, Suivi des passes pièges à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'étude 2016., Association Migrateurs Rhône-Méditerranée.

GEORGEON M., GUILLERMOU J., LEBEL I., 2017b. Caractérisation de la migration des anguilles du Rhône aval - Analyse pluriannuelle du suivi des passes à anguilles de Beaucaire et Avignon sur la période 2008-2015.

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

ICES Advice 2008, Book 9, 9.4.9, European eel.123-129.

ICES, 2016, Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL).

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

LAFAILLE P., CARAGUEL J.M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eel (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam, Estuarine, coastal and shelf science, 73(1-2) :81-91.

LAMARQUE P., 1976. Types de courant électrique à utiliser pour la capture optimale des poissons principalement les anguilles. La pisciculture française, 47.

LAMBREMON J., GEORGEON M., CAMPTON P., 2019, Suivi des passes pièges à anguilles sur le Rhône aval, Campagne d'étude 2018 - Tendances 2008- 2018, Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 39p. + Annexes

LAMBREMON J., CAMPTON P., MATHERON C., 2019. Suivi des passes pièges à anguilles sur le Rhône aval. Campagne d'Études 2019. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 50 p + annexes

LEGAULT A., 1988. Le franchissement des barrages par l'escalade de l'anguille, Etude en Sèvre Niortaise, Bull. Fr; Pêche Pisc., 308: 1-10

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

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, 285-306.

MUCHIUT S., GALLET F., AUBIN D., BARANGER L., LE BIHAN V., PERREAUDEAU Y., 2002, Principaux facteurs à prendre en compte pour une meilleure gestion de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Rapport Observatoire des pêches et des cultures marines du golfe de Gascogne, Aglia edition, 82p.

NYMAN L., 1972. Some effects of temperature on eel (*Anguilla*) behaviour. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 52 :90-102.

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

SMAVD, 2008. Contrat de rivière du val de Durance, 20 novembre 2008.

TESCH F.W., NIERMANN U., PLAGA A., 1986, Differences in development stage and stock density of larval *Anguilla anguilla* off the west coast of Europe. Vie et Milieu, 36 : pp 255-260.

TESCH F.W., NIERMANN U., 1992, Stock density of eel larvae (*Anguilla anguilla*) on the European continental slope, based on collections made between 1985 and 1989. Ir. Fish. Invest. (Ser. A), 36 : pp 110-113.

TESCH F.W., 1998, Age and growth rates of North Atlantic eel larvae (*Anguilla* ssp.), based on published length data. Helgoländer Meeresunters., 52 : pp 75-83.

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

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

WHITE E.M. & KNIGHTS B., 1997, Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. J. Fish. Biol., 50, 1104-1116.

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

XIMENES M.C., LE CORRE G., LECOMTE-FINIGER R., MALLAWA R., SAGLIOCCO M., 1986, L'anguille en Méditerranée française. Aspects écobiologiques et halieutiques. Rapport CEMAGREF, Secrétariat d'Etat de la Mer, 99 p + annexes

Table des figures et tableaux

Figure 1 : Cycle de vie de l'anguille (MRM)	6
Figure 2 : Les stades de développement de l'anguille : (a) civelle, (b) anguillette et (c) anguille argentée (MRM)	7
Figure 3 : Différentes menaces de l'anguille	10
Figure 4 : Évolution des tonnages d'anguille produits par pays depuis 1950 (source FAO in ICES 2016).....	11
Figure 5 : Barrage EDF de Mallemort (Géoportail) et localisation de la passe-piège .	15
Figure 6 : Schéma du fonctionnement hydrologique de la Durance aval (MRM)	16
Figure 7 : Évolution des captures journalières en 2020	18
Figure 8 : Structure de taille de la population d'anguilles	18
Figure 9 : Évolution de la température moyenne journalière sur les stations amont de Mallemort confrontée aux captures journalières (Source des températures : SMAVD) pour 2020	19
Figure 10 : Évolution des débits journaliers de restitution du canal EDF à Mallemort et du tronçon court-circuité confrontée aux captures au cours du suivi 2019 (Source EDF)...	20
Figure 11 : Évolution des captures annuelles depuis 2004.....	21
Figure 12 : Périodes de migration et flux migratoires constatés au barrage de Mallemort depuis 2004.....	22
Figure 13 :Proportion des captures mensuelles de la saison 2020 comparée à la période 2004-2020.....	23
Figure 14 : Structure en taille de la population d'anguilles capturées depuis 2004..	23
Figure 15 : Évolution des tailles annuelles observées depuis 2004	24
Figure 16 : Proportion d'individus de taille inférieure ou égale à 100 mm depuis 2004 observés à la passe-piège de Mallemort et tendance du recrutement Vaccarès depuis 2014.	25
Figure 17 : Évolution des captures annuelles observées sur les aménagements du Rhône (A) et comparaison des captures annuelles moyennes sur les 4 passes-pièges (B).....	25
Figure 18 : Comparaison des structures en tailles interannuelles observées sur les différentes passes-pièges.....	26
Figure 19 : Localisation des stations RCS de l'AFB et évolution des abondances d'anguilles et abondances moyennes par station de 1997 à 2020.	27
Figure 20 : Evolution des abondances par classes de tailles sur la station aval Bonpas	28
Figure 21 : Localisation des stations de pêche de l'étude des conditions de migration de l'anguille en basse Durance et de la station RCS de l'AFB.....	29
Figure 22 : Densités et proportion des classes de taille observées durant les pêches	29
Conclusions et perspectives	29
Tableau 1 : Caractéristiques des ouvrages situés à l'aval de la zone d'étude	14

Table des Annexes

Annexe 1 : Fiche de terrain de la passe piège de Mallemort.....	36
Annexe 2 : Structure en taille annuelle des anguilles capturées à Mallemort depuis 2004	37

Annexe 1 : Fiche de terrain de la passe piège de Mallemort

SUIVI DE LA PASSE-PIÈGE DE MALLEMORT

DATE : 02/05/2010

NB LIGES PIÈCEPAGE :

HEURE :

OPÉRATEUR : H Alarrelle

LIEU DE RELACHE :

PETTITES 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	

Annexe 2 : Structure en taille annuelle des anguilles capturées à Mallemort depuis 2004

