



- RAPPORT D'ETUDE -

2019 N° 10/15

Influence des stations de pompage du Rhône aval sur les anguilles en migration

LAMBREMON J., CAMPTON P., PERRIER C. • Février 2020



Photo de couverture
© MRM / 2019

Référence à citer

LAMBREMON J., CAMPTON P., PERRIER C., 2020. Influence des stations de pompage du Rhône sur les anguilles en migration. Campagne d'Études 2019. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 36 p + annexes

Remerciements

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) tient à remercier vivement tous ceux qui, par leur collaboration technique ou financière, ont contribué à la réalisation de cette étude.

PARTENAIRES FINANCIERS

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse,
- Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Département des Bouches-du-Rhône
- Fédération Nationale pour la Pêche en France (FNPF)

MEMBRES MRM

- Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) de l'Ain, des Alpes de Haute Provence, des Hautes-Alpes, des Alpes-Maritimes, de l'Ardèche, de l'Aude, des Bouches-du-Rhône, de la Corse, de la Drôme, du Gard, de l'Hérault, de l'Isère, de la Loire, des Pyrénées-Orientales, du Rhône, de la Savoie, de Haute-Savoie, de Haute-Saône, de la Saône et Loire, du Var et du Vaucluse
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique PACA (ARFPPMA PACA)
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique Auvergne-Rhône-Alpes (ARPARA)

PARTENAIRES TECHNIQUES

- Parc Naturel Régional de Camargue
- Association Syndicale Autorisée du Sambuc
- Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales du Pays d'Arles (SMGAS)

Résumé

Afin de répondre aux exigences du Plan de Gestion Anguille et d'améliorer la connaissance de l'espèce pour en optimiser la gestion, le PLAGEPOMI 2016-2021 propose d'étudier quelles sont les pressions anthropiques (autres que les obstacles transversaux à la migration) sur lesquels il est possible d'agir et en particulier l'influence des stations de pompages du delta du Rhône sur leur migration.

En effet, sur ce territoire, les importants besoins en eau pour la riziculture conduisent chaque année au pompage de plus 400 millions de mètres cubes d'eau du Rhône entre les mois d'avril et d'octobre. Cette période culturale correspondant à celle de la migration des anguillettes, il est probable que l'influence de ces pompages sur le flux migrant soit significative.

A ce titre, MRM a réalisé en 2016 une étude de faisabilité d'échantillonnage des canaux d'irrigation sur le canal du Sambuc, reposant d'une part sur la connaissance du réseau de pompage et d'autre part sur la conception et l'expérimentation d'un protocole de suivi de l'influence de ce pompage sur la migration des anguilles.

Le suivi a débuté en 2018 et 2019 correspond donc à la deuxième année d'échantillonnage sur la station de pompage du Sambuc. Du 30 avril au 11 septembre, 229 heures de piégeage ont été réparties sur 20 sessions d'échantillonnage. 24 anguillettes, 68 civelles et 87 autres individus appartenant à au moins 9 espèces différentes de poissons ont été capturés, soit 179 poissons au total.

Les premiers retours d'expériences montrent que les anguilles pompées sont essentiellement de petite taille et qu'une proportion non négligeable de ces individus présente des lésions sévères. 39 des 92 anguilles capturées en 2019 ont été trouvées mortes dont 5 présentant des anomalies sévères qui résultent probablement du passage dans les pompes. Concernant les anguilles mortes sans blessures apparentes, cela pourrait être la résultante de leur placage au fond du piège (fort courant et résistance au filet) sans qu'il soit toutefois possible d'exclure que le passage dans les pompes puisse induire une mortalité retardée (variations de pression par exemple).

Par ailleurs, une pompe appartenant au secteur privé est également recensée sur la station du Sambuc. Cette pompe est localisée en pied de berge en rive droite du Grand Rhône et fait l'objet d'échantillonnages complémentaires par flottangs depuis 2018. En 2019, 35 relèves de flottangs ont été réalisées du 7 mai au 11 septembre et 212 anguillettes ont été capturées. Bien que la méthodologie employée par flottangs ne permette pas de comparer de manière exhaustive les résultats obtenus avec ceux des filets, elle apporte néanmoins des premiers éléments de réponse quant à l'influence des deux secteurs (collectif et privé). La faisabilité d'échantillonner cette station privée par le biais de chaussettes est prévue en 2020. Si la méthodologie est validée, elle permettra de visualiser les différences d'abondances entre les captures d'anguilles du secteur collectif et du secteur privé sur le site du Sambuc.

Enfin, le retour d'expérience des échantillonnages sur la station du Sambuc montre que les moyens humains disponibles ne permettent pas de répondre simultanément aux deux objectifs initiaux du suivi : (1) caractériser le recrutement du Rhône et (2) estimer l'influence du pompage sur la migration des anguilles.

L'effort doit ainsi être concentré sur la caractérisation de l'influence du pompage et de nouvelles pistes de réflexions doivent être engagées. Les investigations menées sur le site du Sambuc seront poursuivies afin d'attester des arrivées d'anguilles du Rhône au travers du système de pompage. En complément, la mise en place d'échantillonnages par pêches électriques sur des canaux de drainage associés à une procédure de capture-marquage-recapture pourrait être envisagée afin de connaître le devenir des individus pompés.

Sommaire

1	Introduction	6
2	Contexte de l'étude	7
2.1	L'Anguille européenne	7
a)	Cycle biologique	7
b)	Capacités spécifiques	8
c)	Comportement migratoire et dispersion continentale	9
2.2	Zone d'étude	10
a)	Zonage du territoire et données disponibles	10
b)	Contraintes climatiques et pédologiques	11
c)	Aménagements hydrauliques	11
d)	Usages et besoins en eau	11
e)	Caractérisation du réseau collectif et du réseau privé	12
3	Échantillonnage de la station du Sambuc en 2019	15
3.1	Canal d'irrigation	15
a)	Site choisi	15
b)	Caractéristiques de la station	16
3.2	Stratégie d'échantillonnage	17
c)	Matériel utilisé	17
d)	Période et fréquence d'échantillonnage	18
e)	Traitement des captures	18
f)	Premiers tests sur le secteur privé	19
3.3	Campagne de suivi 2019 sur la station du Sambuc	20
a)	Présentation des résultats	20
b)	Connaissances biologiques	21
3.4	Résultats des tests par flottangs sur le secteur privé	24
4	Perspectives de suivi à l'échelle du delta du Rhône	26
4.1	Rappel des objectifs initiaux et limites identifiées	26
a)	Caractériser l'influence des pompages sur la migration des anguilles	26
b)	Caractériser le recrutement du Rhône	27
4.2	Priorisation des objectifs	28
a)	Influence du pompage selon le type de secteur	28
b)	Devenir des individus pompés	29
	Conclusions et Perspectives	30
	Bibliographie	31
	Liste des figures	35
	Liste des tableaux	35
	Liste des annexes	36

1 Introduction

L'effondrement continu du stock d'Anguille européenne observé sur l'ensemble de son aire de répartition a conduit, en 2007, à l'instauration d'un règlement européen en faveur de l'espèce (n°1100/2007). Chaque état membre a ainsi élaboré un plan de gestion national (PGA) 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 pristine.

En outre, dans le cadre des précédents Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) du bassin Rhône-Méditerranée, des passes-pièges à anguilles ont été installées dans le bassin afin d'apprécier l'évolution de la population d'Anguille et de mieux comprendre les dynamiques migratoires. Un premier dispositif, installé en 2003 sur la commune des Saintes Maries de la Mer, permet de suivre le recrutement en civelles de la façade méditerranéenne française. Ce suivi constitue le seul suivi pérenne dans cette région puisque la pêche de la civelle y est interdite, contrairement à la façade atlantique. Un second site de suivi, installé en 2006 sur l'aménagement hydroélectrique de la CNR de Beaucaire / Vallabrègues (premier ouvrage rencontré sur le Rhône depuis la mer), permet quant à lui de suivre la colonisation du fleuve. Toutefois, compte tenu de la diversité des conditions environnementales de chaque milieu, il est impossible d'établir une relation entre le fleuve et la lagune et donc de caractériser à l'heure actuelle le recrutement du Rhône en termes de flux et de période de migration.

Par ailleurs, le manque d'eau et les remontées salines, caractéristiques de la plaine deltaïque du Rhône, nécessitent des apports d'eau douce essentiels aux diverses activités humaines de ce territoire. L'agriculture, et particulièrement les emblématiques rizières de Camargue, a ainsi contribué à la mise en place d'un dense réseau d'irrigation et à l'installation de nombreuses stations de pompage sur les rives du Rhône. Les besoins en eau de la riziculture provoquent donc chaque année d'importants pompages d'eau du Rhône entre les mois d'avril et d'octobre. Cette période correspondant à celle de la migration des anguillettes, il est probable que l'influence de ces pompages sur le flux migrant soit significative.

Il a donc été proposé, dans le cadre de l'orientation 4 (Améliorer les connaissances sur les espèces et leur habitat) du PLAGEPOMI 2016-2021 et afin de répondre aux exigences du PGA notamment sur les pressions anthropiques, d'étudier la possibilité d'estimer l'impact des pompages agricoles sur les anguilles en migration (civelles et anguillettes) et d'apporter des éléments de connaissance sur le recrutement du Rhône.

Le suivi 2019 se concentre sur un retour d'expérience d'échantillonnage du canal de distribution de la station du Sambuc suite aux investigations menées en 2016 et aux échantillonnages menés en 2018. Les limites associées aux objectifs initialement identifiés sont également abordées et les perspectives d'évolution du suivi discutées.

2 Contexte de l'étude

2.1 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 Féroé) 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).

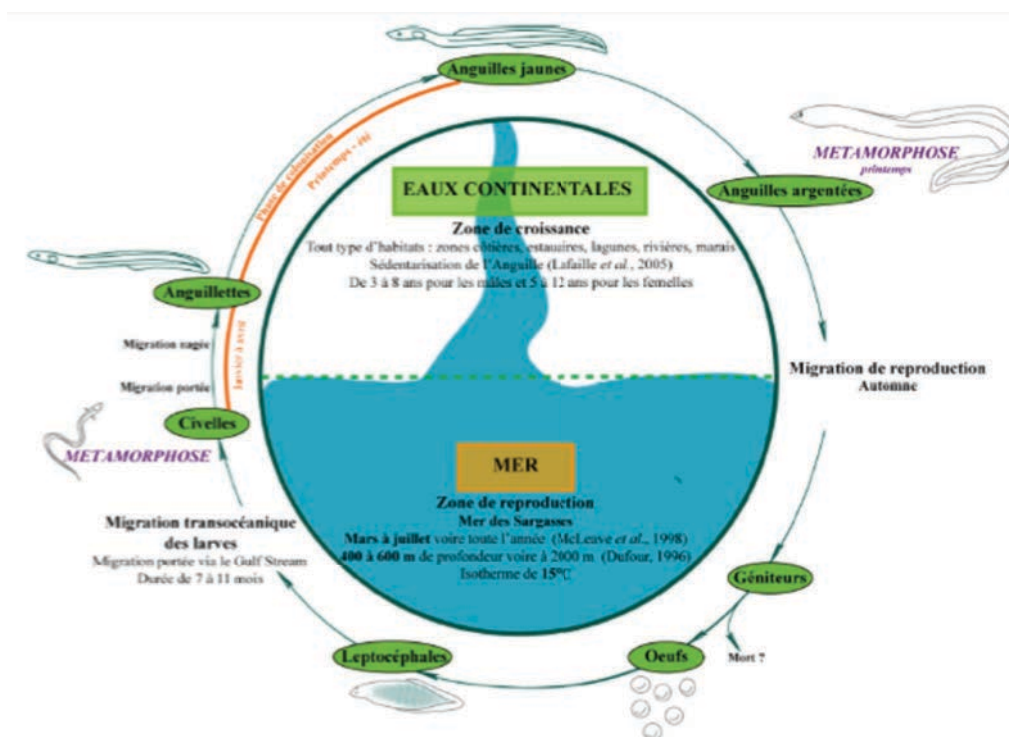


Figure 1 : Cycle de vie de l'Anguille (MRM)

Espèce vraisemblablement semelpare (une seule reproduction) (Tesch, 1977 ; 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 ; Tesch & Wegner, 1990).

A 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 & Niemann, 1992 ; Lecomte Finiger, 1994 ; Antunes & Tesch, 1997 ; McLeave *et al.*, 1998 ; Tesch, 1998).



Figure 2 : Civelles (MRM)

Les civelles se pigmentent progressivement jusqu'à atteindre le stade **Anguillette** (Figure 3) (Elie *et al.*, 1982, in Edeline, 2005) durant lequel elles poursuivent leur migration vers l'amont en colonisant les hydrosystèmes continentaux accessibles. S'ensuit 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.



Figure 3 : Anguillette (MRM)



Figure 4 : Anguille argentée (MRM)

Au terme de sa période continentale, l'Anguille subit une dernière métamorphose pour atteindre le stade **Anguille argentée** (Figure 4). 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, etc.) 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).

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 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 3 mètres 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 qui varie selon une ou plusieurs courbes en cloche dont le pic apparaît 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. Par ailleurs, la variabilité des facteurs océaniques agit sur les vagues successives de leptocéphales (issues d'une période de ponte étalée sur plusieurs mois) (*in 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 par 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 par 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). Ainsi, plus les individus présentent une taille importante, plus leur caractère migratoire diminue.

a) Zonage du territoire et données disponibles

Ce large territoire correspond au périmètre de la Réserve de biosphère identifiée par l'UNESCO dans le cadre du programme Man And Biosphere. Le Parc Naturel Régional (PNR) intervient sur le territoire de la Grande Camargue et du Plan de Bourg alors que le Syndicat Mixte pour la Protection et la Gestion de la Camargue gardoise intervient sur la partie gardoise. Ces deux structures possèdent ainsi un certain nombre de données acquises dans le cadre notamment de la mise en place d'outils de gestion de l'eau (SAGE Camargue gardoise ou Contrat de delta) qui s'avèrent utiles aux investigations de cette étude.



b) Contraintes climatiques et pédologiques

Le climat méditerranéen est caractérisé par une longue période estivale durant laquelle les fortes températures, l'ensoleillement et la violence des vents entraînent une importante évaporation. Cette dernière, associée à la faiblesse des précipitations, contribue ainsi à un déficit hydrique. De plus, la relative proximité de la nappe aquifère salée liée à ce manque d'eau entraîne une salinisation des sols qui peut apparaître dès le mois de mars et se prolonger jusqu'en septembre (Chauvelon, 2002). Ainsi, durant des siècles, les fréquentes inondations du fleuve sont parvenues à compenser ce déficit, garantissant un certain équilibre. Bien évidemment, au-delà des bénéfices attendus, ces crues n'en étaient pas moins redoutées par les populations dont les efforts se trouvaient régulièrement anéantis. Ainsi, au cours des 19^{ème} et 20^{ème} siècles, d'importants travaux de construction de digues insubmersibles ont été entrepris afin de protéger les habitations et les terres agricoles. Cet endiguement continu des 2 bras du Rhône a conduit à stabiliser les embouchures et accentuer le déficit hydrique de la plaine (Suarez 1997). Du fait du manque d'eau et des remontées salines, l'ensemble des activités humaines (et en particulier l'agriculture) nécessite des apports d'eau douce afin de compenser au mieux la sécheresse et les remontées capillaires qui déposent sur le sol le sel néfaste aux cultures (Chauvelon, 2002).

c) Aménagements hydrauliques

Le réseau hydraulique du delta doit son développement à l'essor de la vigne puis de la riziculture (après 1945). Il se décompose en un système d'irrigation et un système de drainage qui eux même se divisent selon leur mode de fonctionnement en un secteur collectif et un secteur privé. Les propriétés situées en bordure du Rhône disposent pratiquement toutes de stations de pompages et d'un réseau d'irrigation privé (Courrier du Parc, 1999). Par contre, les propriétés situées plus à l'intérieur des terres disposent d'eau d'irrigation grâce à un réseau collectif, géré par des Associations Syndicales Autorisées (ASA) dont certaines ont été créées il y a plusieurs siècles (Petite Montlong, 1508).

Les eaux d'irrigation sont conduites aux parcelles agricoles ou aux marais de chasse soit par un canal au niveau du sol nécessitant un relevage des eaux pour alimenter les parcelles les plus éloignées, soit par un canal en relief autorisant une irrigation gravitaire peu coûteuse (Chauvelon, 2002).

Contrairement à l'irrigation qui relève essentiellement du domaine privé, l'essentiel du drainage est réalisé dans un contexte collectif, l'ensemble de la plaine deltaïque se divise alors en 18 ASA de drainage pour un périmètre évalué à 56 000 ha.

d) Usages et besoins en eau

Les potentialités du milieu physique camarguais offrent de nombreuses combinaisons d'activités, toutes dépendantes d'une ressource en eau, qu'elle soit douce, saumâtre ou salée, et qui par conséquent, peuvent être complémentaires ou concurrentes (*Figure 6*).

L'agriculture est ainsi le premier secteur d'activité en termes de superficie (36 % du territoire) et de consommation en eau. Ce secteur est largement dominé par la culture du riz (notamment en Grande Camargue où elle représente jusqu'à 80 % des terres cultivables) qui permet, par le principe d'inondation des parcelles, un dessalement des terres et donc une alternance des cultures (céréalières : blé, colza, sorgho, etc.) sur un cycle généralement de 3 ans. Les besoins estimés pour la culture du riz, de type camarguaise, s'élèvent ainsi chaque année à 23 000 mètres cubes d'eau par hectare, dont 9 000 à 11 000 sont évapotranspirés, 5 000 à 10 000 s'infiltrant et 8 000 à 12 000 sont exportés dans le milieu *via* le réseau de drainage. Plus en marge, la viticulture, le maraichage et les vergers sont exploités sur d'anciens cordons sableux en bordure de littoral ou à l'intérieur des terres de la Camargue gardoise.

Les autres activités, telles que la chasse (mise en eau des marais pour attirer le gibier d'eau), la conservation de la nature, la coupe du roseau ou le pâturage (pour l'élevage emblématique des taureaux et chevaux de Camargue), dépendent ainsi largement du réseau agricole et des besoins de la riziculture.

Les salins (de Giraud à l'est et d'Aigues Mortes à l'ouest) représentent quant à eux 15 % du territoire mais utilisent exclusivement de l'eau de mer (125 millions de mètres cubes par an).

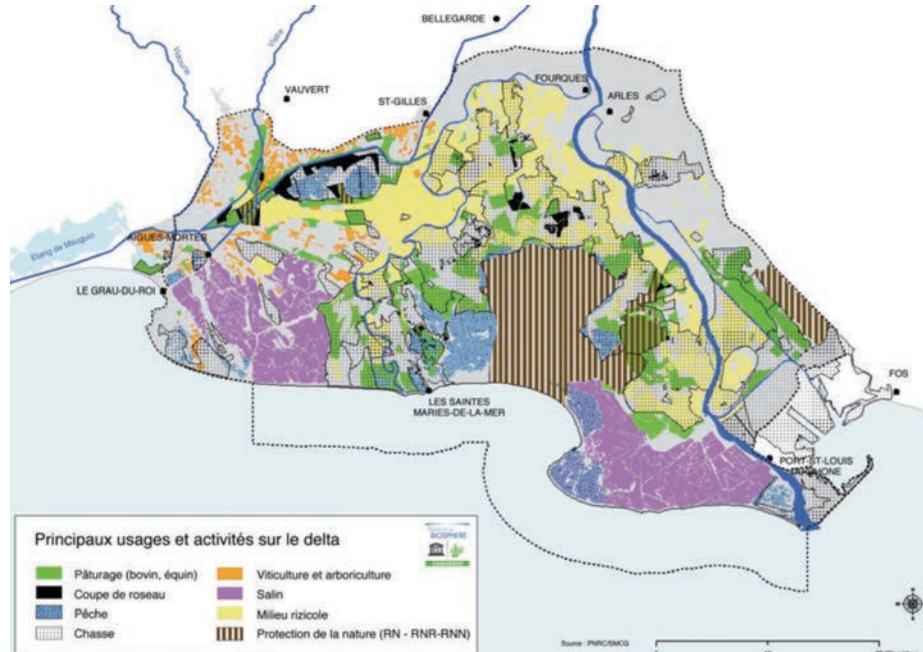


Figure 6 : Localisation des différentes activités de la zone d'étude (Source PNR)

e) Caractérisation du réseau collectif et du réseau privé

Entre Arles et la mer, près de 170 stations de pompages sont recensées sur les 2 bras du Rhône (Courrier du Parc, 1999) (Annexe B), dont la capacité potentielle de prélèvements s'élèverait au total à plus de 63 m³/s. Selon les différentes études menées en grande Camargue et en Camargue gardoise, l'ensemble des volumes prélevés dans les 2 bras du Rhône s'élèverait entre 450 et 500 millions de mètres cubes en moyenne chaque année (Allouche *et al*, 2015, Chauvelon *et al*, 1996, Gindre *et al*, 1995, Heurteaux *et al*, 1996, Poizat *et al*, 1999). La majorité de ces volumes serait prélevée en Grande Camargue (80 %) alors qu'au contraire, les volumes du Plan du Bourg seraient négligeables. En outre, avec 123 stations et 35 m³/s, le Petit Rhône, qui ne reçoit que 10 à 14 % du débit total du fleuve, serait le plus sollicité (Tableau 1).

Tableau 1 : Capacités et volumes annuels minimums selon les rives des 2 bras du Rhône

		N_stations		Capacité (m3/s)		Volumes annuels (millions de m3)	
Petit Rhône	RD	76	123	18	35	50	160
	RG	47		17		110	
Grand Rhône	RD	29	47	28	28	290	290
	RG	18		?		?	
TOTAL		170		63		450	

Par ailleurs, en moyenne, 95 % du volume annuel est pompé durant la période culturale, entre les mois d'avril et de septembre. Les prélèvements seraient majoritaires durant les mois de juillet et d'août où plus de 100 millions de mètres cubes seraient pompés.

- Bonne connaissance du réseau collectif

Stations de pompages et capacités de prélèvements

Tableau 2 : Synthèse du nombre de stations du secteur collectif et capacités de prélèvements

Localisation	Nombre d'ASA	Nombre de stations	Capacité de prélèvement
Grand Rhône	8	26	23 m ³ /s
Petit Rhône	13		22 m ³ /s

Sur l'ensemble de la zone d'étude, 21 ASA équipées de stations de pompage sont dénombrées dont 13 prélèvent dans le Petit Rhône et 8 dans le Grand Rhône (Tableau 2). Certaines d'entre elles possédant plusieurs stations, ce sont ainsi près de 26 stations de pompage qui prélèvent dans les 2 bras du Rhône (Annexe C).

Avec 17 stations de pompage et une cinquantaine de pompes installées (32 sur le Grand Rhône et 18 sur le petit Rhône), la grande Camargue est l'entité géographique la plus équipée et possède ainsi la plus grande capacité de prélèvement de la zone d'étude. La capacité maximale estimée s'élève donc à plus de 30 m³/s (Courrier du Parc, 1999).

La Camargue gardoise compte, quant à elle, 7 stations de pompages (et une quinzaine de pompes) qui représentent une capacité de prélèvement d'environ 12 m³/s (BRL, 2012).

Enfin, le Plan du Bourg avec seulement 2 ASA qui prélèvent directement dans le Grand Rhône ne présente qu'une faible capacité de prélèvement (supposée à environ 3 m³/s).

Ainsi, les prélèvements potentiels du secteur collectif s'élèvent à environ 45 m³/s sur la zone d'étude, dont la majorité est localisée sur le Grand Rhône et plus particulièrement sur la rive droite (environ 23 m³/s, soit 53 % du débit potentiel total).

Volumes prélevés

Certaines stations sont équipées de compteurs volumétriques permettant de quantifier de manière fiable les volumes prélevés. Ces stations sont toutefois peu nombreuses et la plupart des pompes du secteur collectif est équipée de compteurs horaires permettant, à partir du temps d'utilisation des pompes et de leur débit nominal, de quantifier les volumes prélevés (Courrier du Parc, 1999). Enfin, lorsqu'il n'y a pas de compteur, les volumes sont déterminés à partir des données utilisées pour les calculs des redevances de l'Agence de l'eau (BRL, 2012). Les volumes pompés par les 21 ASA de la zone d'étude s'élèvent ainsi à environ 240 millions de mètres cubes en moyenne chaque année (Tableau 4).

Les méthodes de calcul concernant les ASA situées en rive droite du Petit Rhône n'étant pas très fiables (basées sur les redevances de l'Agence de l'eau), il est très probable que les quantités soient sous estimées. D'après les analyses de BRL en 2012, dans le cadre du SAGE Camargue Gardoise à partir des données de la chambre d'Agriculture du Gard, les rizières représenteraient une superficie de l'ordre de 1 700 hectares dans le périmètre de ces ASA. En considérant que 25 000 m³/ha/an soient nécessaires pour la culture du riz, les besoins en eau seraient alors de plus de 40 millions de mètres cubes et non 12 comme cela a pu être déterminé. Cette nouvelle estimation est en accord avec les volumes calculés lors de l'étude de Lonjon (1963) sur la contribution du Petit Rhône à l'irrigation de la Camargue (42,3 millions de m³). Ainsi, ce serait au total plus de 270 millions de mètres cubes pompés chaque année par les ASA.

Avec plus de 170 millions de mètres cubes pompés chaque année ce sont les 6 ASA localisées en rive droite du Grand Rhône qui prélèvent le plus, et particulièrement celles de la Triquette et de la Petite Montlong qui prélèvent respectivement 45 et 50 millions de mètres cubes par an (BRL, 2004).

Les prélèvements du Petit Rhône s'élèveraient quant à eux à un peu moins de 100 millions de mètres cubes par an en considérant les volumes recalculés pour les ASA de la rive droite (respectivement 40 et 56 millions de mètres cubes pour la rive droite et la rive gauche), les volumes étant de l'ordre de 15 millions de mètres cubes pour les ASA effectuant les prélèvements les plus importants sur ce bras (Mas de Vert, Saliers et Petit Beaumont) (Figure 7).

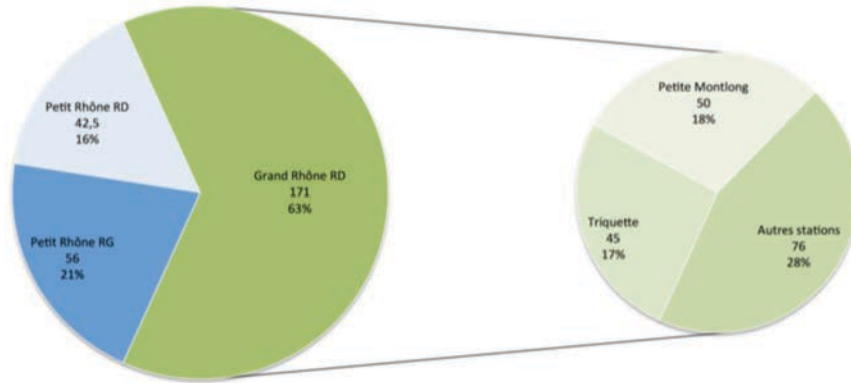
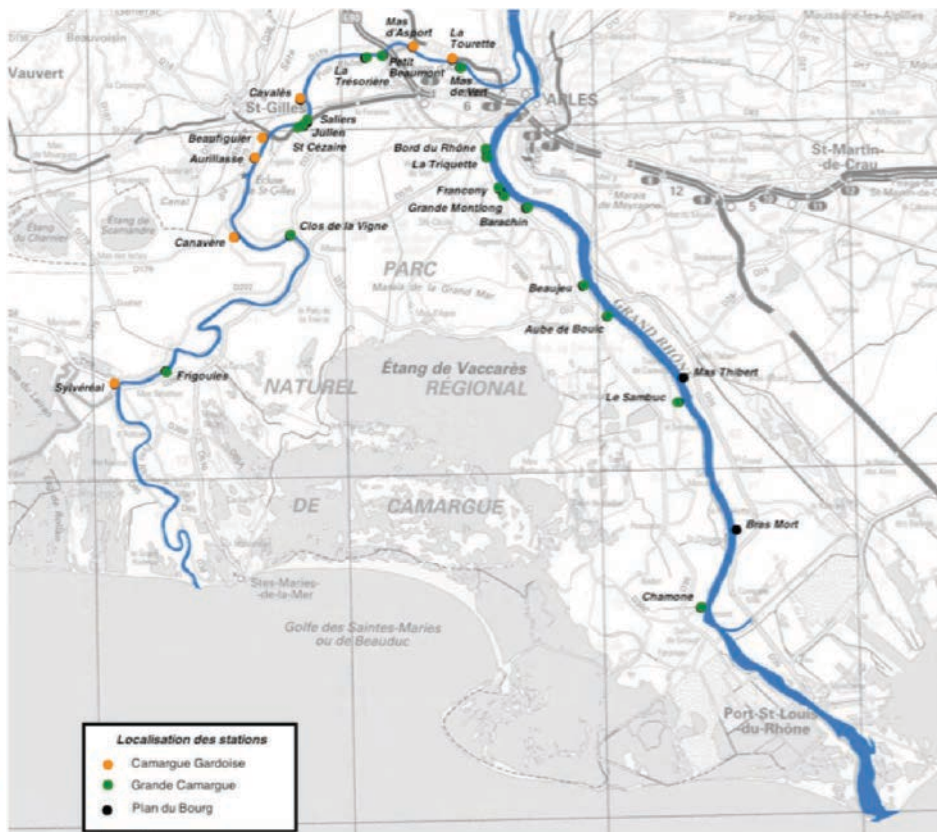


Figure 7 : Répartition des volumes prélevés du secteur collectif (en millions de m³)

Caractéristiques des canaux d'irrigation

Les canaux d'amenée en relief sont majoritairement en terre (au nombre de 11) ou en béton (11), seules 4 stations possèdent des conduites forcées enterrées (Beaumont, Clos de la Vigne, Mas d'Asport et Mas Thibert). Ces canaux font en moyenne une largeur de 2 mètres, excepté pour les stations de Barrachin (3 m) et de Chamone (4 m) qui sont plus larges (Figure 8).



- Un important réseau privé restant à caractériser

Figure 8 : Localisation des stations de pompage du secteur collectif sur le delta du Rhône

Le courrier du Parc n°48/49 (Gindre *et al*, 1999), indique que le secteur d'irrigation privé dessert 74 exploitations agricoles sur l'île de Camargue (23 sur la rive droite du Grand Rhône et 51 sur la rive gauche du Petit Rhône) et comptait 100 unités de pompes (38 sur le Grand Rhône et 62 sur le Petit Rhône) en 1994 (Chauvelon, 1996) dont le débit d'équipement total s'élevait à 27,9 m³/s. Les stations de pompes étant le plus souvent démunies de compteurs horaires, l'estimation des volumes pompés n'a pu être déterminée qu'à partir d'échantillonnages et extrapolations (Gindre, 1995 ; Chauvelon, 1996). Les volumes ainsi calculés s'élevaient à 175 millions de mètres cubes en 1994, soit 44 % du volume total pompé en Grande Camargue.

Par ailleurs, peu de données existent concernant le secteur privé de la rive droite du Petit Rhône. Toutefois, Lonjon (1963) dans son étude comptabilisait une trentaine de stations de pompage sur ce secteur dont l'équipement serait approximativement de 6 m³/s.

Le secteur privé représente donc une proportion non négligeable des volumes prélevés qu'il est difficile de caractériser individuellement tant le nombre de pompes est important sur la zone d'étude.

3 Échantillonnage 2019 de la station du Sambuc

3.1 Canal d'irrigation

a) Site choisi

Compte tenu des données disponibles en termes de localisation et caractéristiques des stations de pompage, le choix du site dans l'étude de faisabilité de 2016 s'était concentré sur le territoire du PNR et l'île de Camargue. Ainsi, seules la rive droite du grand Rhône et la rive gauche du Petit Rhône avaient été étudiées.

Dans un premier temps, afin d'augmenter les possibilités de captures de civelles, il avait été décidé d'identifier une station de pompage la plus proche possible de l'embouchure du Rhône. Dans un second temps, afin d'optimiser l'échantillonnage, les caractéristiques du canal en termes de largeur, débit et matériaux (terre ou béton) avaient été étudiées.

Ainsi, parmi les ASA localisées sur l'île de Camargue, la station du Sambuc avait été choisie au vu de ses caractéristiques potentiellement favorables à un échantillonnage (canal bétonné de largeur de moins de 2 m, débit maximal d'équipement < à 1,5 m³/s, présence de compteurs permettant une analyse des volumes pompés). Cette station représente en effet la seconde station identifiée la plus proche de la mer (28 km) dont le canal possède les caractéristiques recherchées pour un échantillonnage (*Figure 9*). Par ailleurs, cette station a fait l'objet d'échantillonnages par la Tour du Valat et un certain nombre de données sont déjà disponibles (Poizat *et al*, 1999).

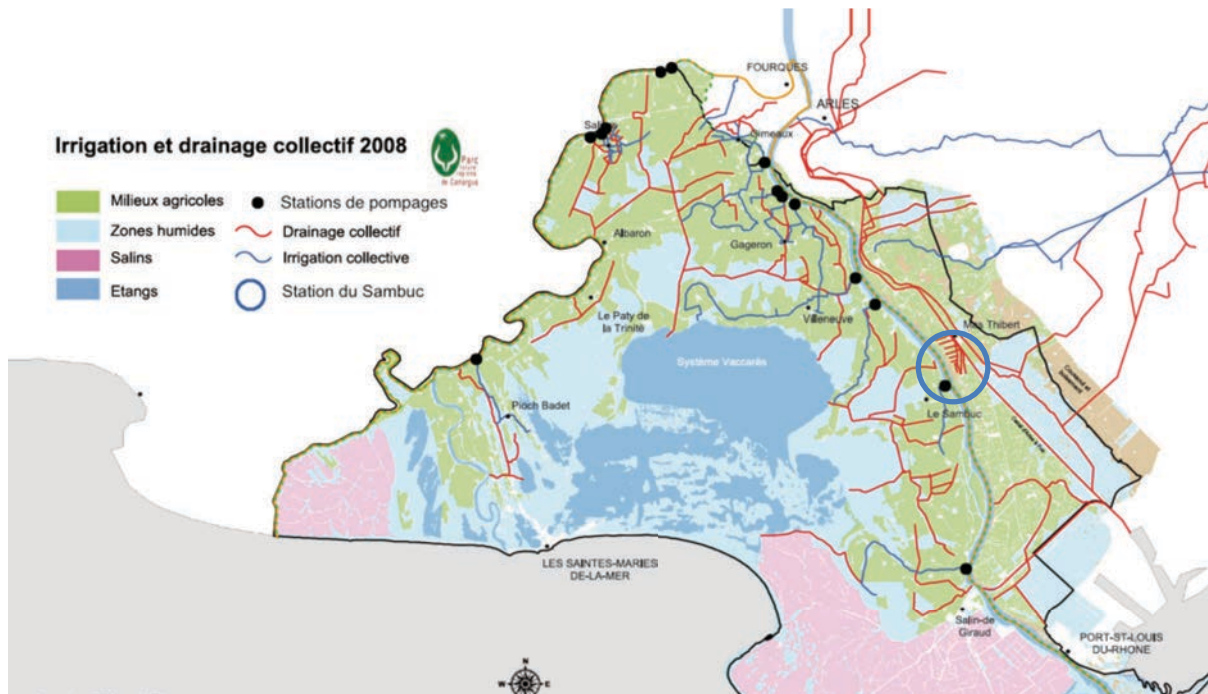
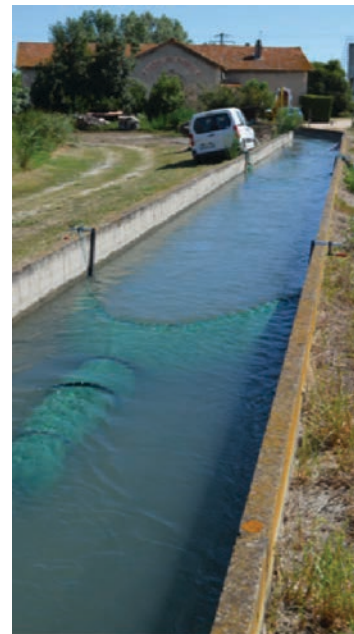


Figure 9 : Localisation des stations de pompage des ASA de l'île de Camargue (Source PNR)

b) Caractéristiques de la station

Cette prise d'eau est équipée de 2 pompes FLYGT de 500 l/s chacune et d'une pompe RATEAU de 200 l/s soit un débit maximum de 1 200 l/s. Concernant les caractéristiques de la prise d'eau, il est difficile d'obtenir des informations notamment sur la distance à la berge et la profondeur, car l'installation est ancienne. Toutefois, en général ces prises d'eau sont équipées d'une grille de 5 cm de vide de maille afin d'éviter de pomper de trop gros débris (Poizat *et al*, 1999).

Le canal de distribution associé à la station de pompage est en relief et bétonné sur une longueur de 4 km et sa largeur est de 2 m pour une profondeur de 1,2 m à la sortie des pompes (Figure 10). Ainsi, les vitesses d'écoulement mesurées à l'entrée du réseau varient entre 0,4 et 0,6 m/s.



3.2 Stratégie d'échantillonnage

Le site d'échantillonnage a été identifié sur le canal de distribution de la station du Sambuc au plus près de la sortie des pompes afin d'éviter tout échappement d'individus dans les parcelles irriguées (*Figure 11*).

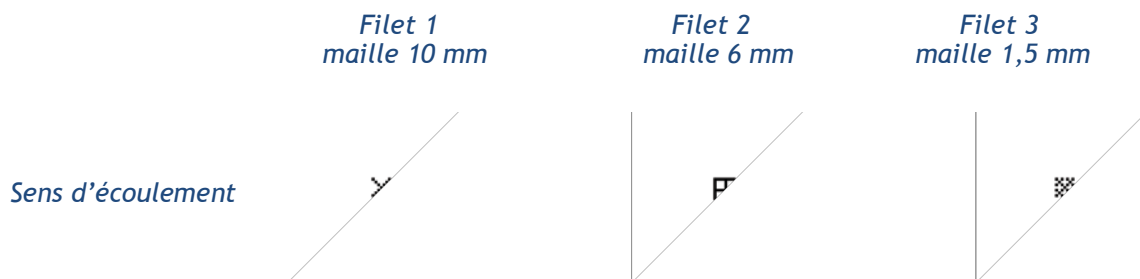


c) Matériel utilisé

3 pièges de type verveux ont successivement été installés au sein du canal de distribution.

Les deux premiers verveux de maille 10 mm et 6 mm permettent tout d'abord de piéger un maximum de débris et ainsi limiter le colmatage (*Figure 12*).

Un piège de type verveux de 1,5 mm de vide de maille a ensuite été installé à l'aval des deux autres verveux afin de pouvoir capturer les civelles. Ce piège a été monté sur des barres fixées aux deux côtés du canal et a été placé de manière à filtrer l'intégralité du volume pompé.



d) Période et fréquence d'échantillonnage

La période d'échantillonnage a été définie selon le fonctionnement de la station de pompage et les besoins en eau de la riziculture ; elle s'étale donc entre les mois d'avril et d'octobre (potentiellement 7 mois). Il a été décidé de réaliser les échantillonnages une fois par semaine pendant toute la période de fonctionnement des pompes avec une pose des filets la veille au soir et une relève le lendemain matin (généralement de 20:00 la veille à 7:00 le lendemain).

e) Traitement des captures

Les anguillettes capturées sont dénombrées et mesurées individuellement.

Les civelles, quant à elles, sont dénombrées, mesurées, pesées individuellement et leur stade pigmentaire déterminé (selon la méthodologie développée par Elie *et al.*, 1982).

Par ailleurs, dans le cas où le nombre de captures est trop important pour relever ces paramètres, un échantillon de 50 individus est réalisé pour chaque stade afin de déterminer le poids moyen d'un individu et ainsi estimer le nombre total d'anguilles (ou civelles) capturées. Les stades pigmentaires sont également réalisés sur l'échantillon de civelles.

Les autres espèces capturées sont uniquement identifiées et dénombrées puis l'ensemble des individus capturés est relâché dans le Rhône.

Enfin, l'état sanitaire de toutes les anguilles piégées est observé au cours des opérations de biométrie et permet notamment d'identifier les anomalies relatives au passage dans les pompes. Ces mesures sont basées sur la description des anomalies par les intervenants à partir de **codes pathologie** (outil d'observation développé par l'ONEMA et adapté par Elie et Girard (2014), qui repose sur des descripteurs de types pathologiques (lésions) et biologiques (macro parasites externes) visibles à l'œil nu et basé sur un code à 3 lettres et un chiffre) (Annexe A).

L'appréciation de la qualité sanitaire des individus capturés dans les filets se base sur l'**Indice pathologie (IP)** qui s'exprime de la manière suivante :

$$I_p = P \times Q$$

où **P** représente la prévalence de poissons atteints et **Q** la sévérité lésionnelle de chaque lésion observée.

L'**Indice pathologie global (IPG)** observé pour l'ensemble de la population étudiée est alors obtenu en additionnant les I_p relatif à chaque lésion observée et s'exprime donc de la manière suivante $IPG = \sum I_p$; la note maximale pouvant être obtenue étant de 4 (100 % des poissons atteints de sévérité 4). Ainsi, l'état de santé des poissons est interprété selon les classes suivantes :

Tableau 3 : Grille d'interprétation de l'Indice pathologie global (Ipg)

IPG	0 - 0,04	0,05 - 0,20	0,21 - 0,80	0,81 - 1,40	1,41 - 4
Condition	Excellente	Bonne	Précaire	Dégradée	Mauvaise

La prévalence (P) s'exprime par le ratio entre le nombre de poissons atteints et le nombre de poissons examinés. Ainsi, pour des valeurs supérieures à 5 %, la qualité du peuplement peut être considérée comme précaire et correspond à des milieux plus ou moins fortement dégradés (Girard, 1998).

La sévérité des anomalies donnée par les codes de quantification (1, 2, 3 ou 4) permet de compléter le jugement en modulant le résultat. En effet, des anomalies d'intensité 1 ou 2 atténuent l'appréciation de la qualité contrairement aux cas de présence d'anomalies d'intensité 3 ou 4 pour lesquels la population peut être considérée dans un état précaire avéré.

f) Premiers tests sur le secteur privé

Au niveau de la station du Sambuc, une pompe appartenant au secteur privé est également recensée. Cette pompe est localisée en pied de berge en rive droite du Grand Rhône (Figure 13). L'eau pompée passe au travers d'une conduite forcée qui se divise en 3 voies distinctes dont l'alimentation dépend de la gestion locale des martelières. Une des voies passe sous le canal d'irrigation du Sambuc et atteint les rizières via des buses se divisant côté gauche et côté droit du canal.

Ce site n'a initialement pas été retenu dans le cadre de l'étude (diversification des voies de passage et caractéristiques du site rendant impossible un échantillonnage par filet), mais des tests via la pose de flottangs sont tout de même réalisés depuis 2018 afin d'attester la présence d'anguilles.

Les flottangs constituent en effet des habitats artificiels pour les anguilles, ciblant les individus de moins de 15 cm. Le principe d'utilisation de ces dispositifs est de multiplier les opérations de relèves afin d'obtenir une succession d'observations de présence/absence (données d'abondance non interprétables), traduisant alors la dynamique du flux.

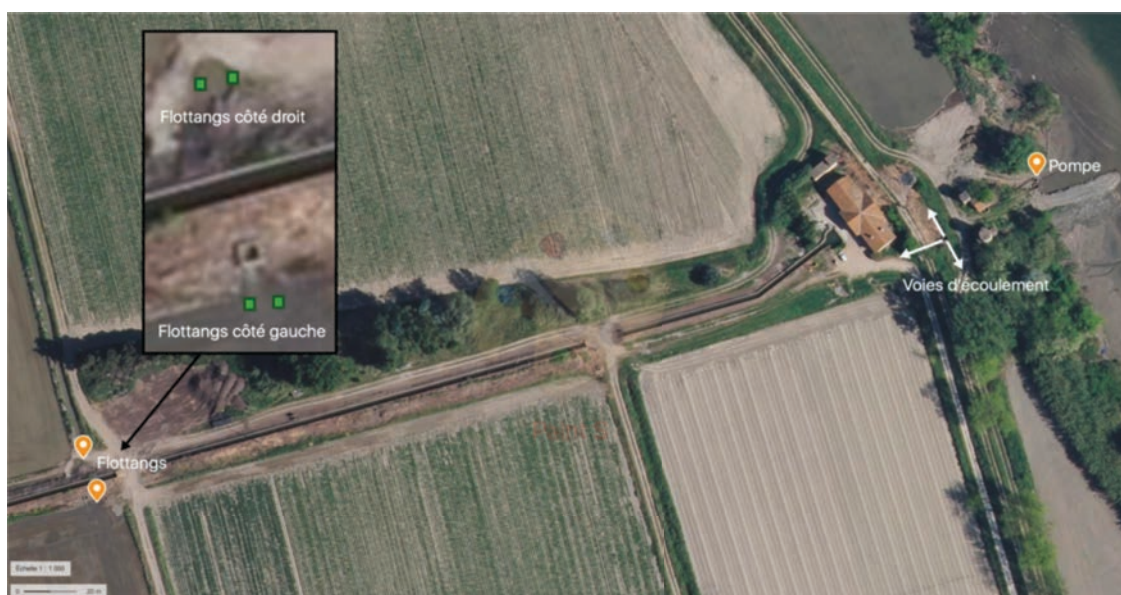


Figure 13 : Vue aérienne des sites avec pose de flottangs (Station du Sambuc)

Quatre flottangs ont ainsi été positionnés aux deux sorties de la conduite forcée passant sous le canal d'irrigation de la station du Sambuc. La relève des flottangs est assurée lors de la pose et de la relève hebdomadaire des filets du canal d'irrigation du Sambuc, soit deux fois par semaine. Le nombre et la taille des individus capturés sont notés lors de chaque relève.

3.3 Campagne de suivi 2019 sur la station du Sambuc

Les faibles précipitations printanières en 2019 ont conduit à l'arrêt précoce du pompage et donc de l'échantillonnage. Le suivi a ainsi été effectif du **30 avril au 11 septembre 2019** et représente **229 heures de piégeage** réparties sur **20 sessions** d'échantillonnage.

a) Présentation des résultats

24 anguillettes, 68 civelles et 87 autres individus appartenant à au moins 9 espèces ont été capturés (Ablette, Goujon, Blageon, Brème, Pseudorasbora, Sandre, Bouvière, Perche, Silure), soit **179 poissons** au total (Figure 14).

Les anguilles représentent ainsi près de **56,4 %** de l'effectif global, proportions similaires aux campagnes 2016 et 2018 où 131 et 84 anguilles avaient respectivement été capturées.

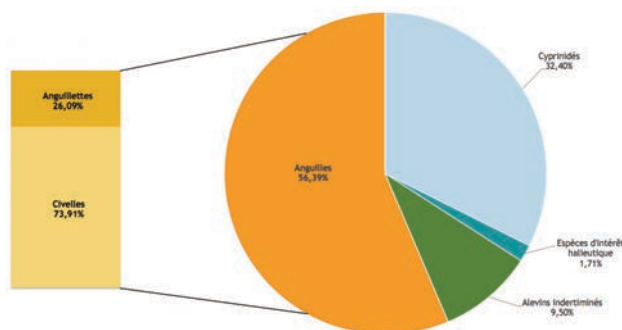


Figure 14 : Répartition des captures par espèces

La Capture Par Unité d'Effort (CPUE) globale s'élève donc à **0,8 poissons** (toutes espèces confondues) et **0,4 anguilles par heure** (civelles et anguillettes). Les volumes pompés lors de ces 16 sessions d'échantillonnage sont proches de 750 420 m³ au total, variant entre 8 280 m³ et 47 520 m³ par relèvement (Tableau 4). Les captures représentent dès lors près de 24 poissons capturés pour 100 000 m³ d'eau pompés dans le Rhône. En considérant qu'en moyenne 14 millions de mètres cubes sont pompés par an à la station du Sambuc, on estime à près de 3 340 le nombre d'individus pompés en 2019 dont 448 anguillettes et 1269 civelles.

En comparaison, l'échantillonnage en 2018 estimait près de 6 900 individus pompés dont 1 280 anguillettes et 763 civelles. Poizat et al (1998) estimaient quant à eux près de 14 700 individus pompés dont 926 anguilles sur le site du Sambuc.

Tableau 4 : Synthèse des résultats obtenus en 2019

Date (relève)	Heure pose	Heure relève	Effort (H)	Volume (m ³)	N_Ang	N_Civ	Autres sp
30/04/2019	19:30:00	07:00:00	11,5	8 280	0	0	1
07/05/2019	19:30:00	07:00:00	11,5	8 280	0	0	2
16/05/2019	20:00:00	07:00:00	11	27 720	0	0	0
23/05/2019	19:30:00	07:00:00	11,5	28 980	0	1	0
29/05/2019	20:00:00	07:00:00	11	27 720	0	1	2
06/06/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	0	0	0
13/06/2019	20:00:00	07:00:00	11	27 720	0	8	5
19/06/2019	20:00:00	07:00:00	11	27 720	1	50	1
26/06/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	0	2	1
03/07/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	0	1	4
10/07/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	1	1	3
16/07/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	0	0	0
24/07/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	2	0	0
31/07/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	2	0	3
07/08/2019	18:00:00	07:00:00	13	56 160	4	0	12
14/08/2019	20:00:00	07:30:00	11,5	49 680	0	1	10
21/08/2019	20:00:00	07:00:00	11	47 520	0	0	27
28/08/2019	20:00:00	08:00:00	12	51 840	2	0	0
04/09/2019	20:00:00	09:00:00	13	46 800	5	3	17
11/09/2019	20:00:00	09:00:00	13	9 360	7	0	84

b) Connaissances biologiques

● Évolution des captures

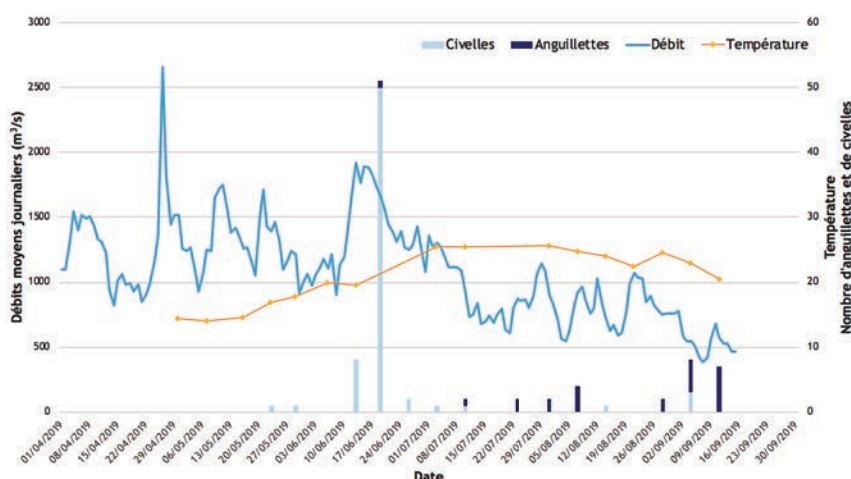


Figure 15 : Comparaison des captures de civelles et d'anguillettes par session d'échantillonnage

Sur les 20 sessions d'échantillonnages, 14 d'entre elles présentaient des captures d'anguilles dont 8 sessions avec captures d'anguillettes et 9 sessions avec captures de civelles. Les captures de civelles représentent 74 % des effectifs d'anguilles contre 26 % pour les anguillettes.

L'ensemble de ces captures se répartissent du **23 mai au 11 septembre** avec les plus fortes captures le **19 juin**, en lien probable avec le pic de débit observé à partir du 9 juin (débit maximal observé le 13 juin avec 1 920 m³/s). En 2018, on observait les plus fortes captures les 19 juin et 14 août, en lien également avec des augmentations de débit.

● Caractéristiques de la population migrante

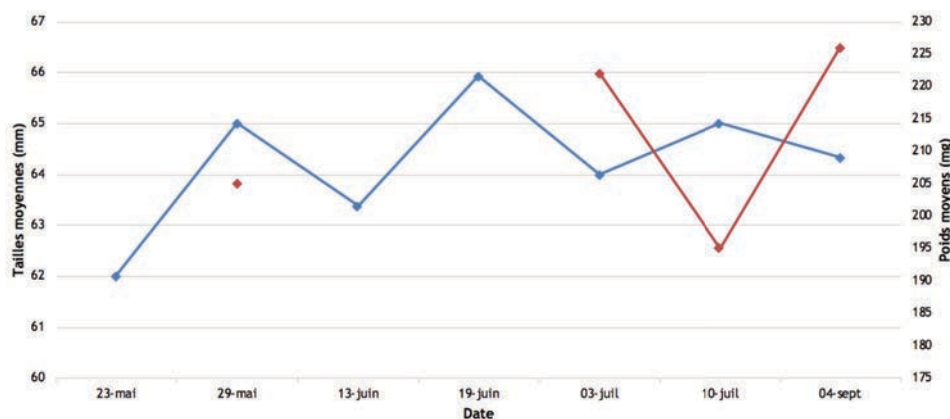
Taille et poids moyens

Figure 16 : Tailles moyennes et poids moyens des civelles par session d'échantillonnage

Les civelles ont été observées du **23 mai au 4 septembre** réparties sur 9 sessions d'échantillonnage. Au total, ce sont donc **68 civelles** qui ont été comptabilisées avec une taille moyenne de **65 mm** pour un poids moyen de **231,5 mg** (Figure 16), résultats comparables à 2018 (65,6 mm et 252,2 mg en moyenne). Les poids moyens des civelles capturées les 23 mai, 13 et 19 juin ne sont cependant pas représentés sur le graphique, le calcul du poids étant impossible en lien avec la forte mortalité des individus capturés sur ces journées.

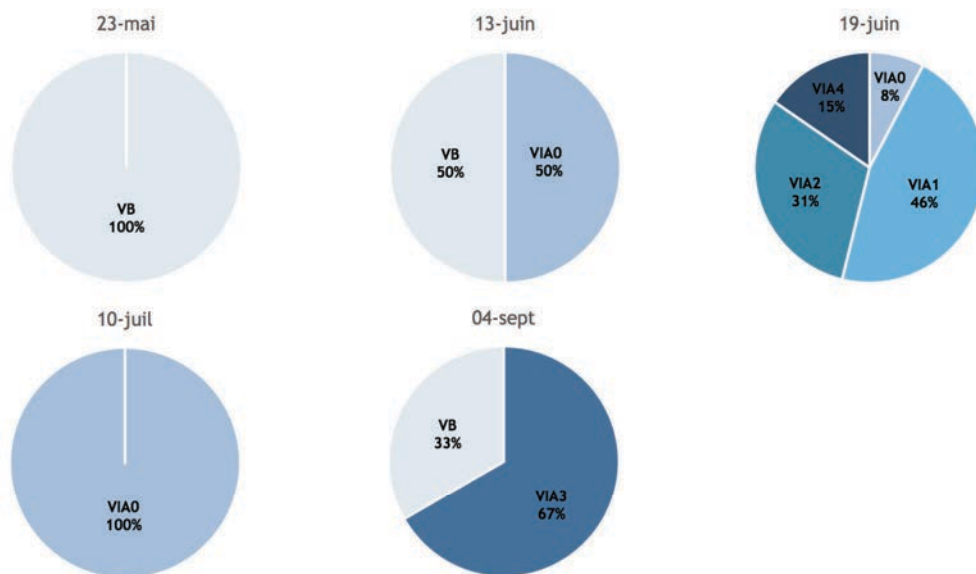
Stades pigmentaires

Figure 17 : Proportion des stades de pigmentation par session d'échantillonnage

Les données d'évolution des stades pigmentaires montrent une **prépondérance des jeunes stades en début de suivi** (VB et VIA0) (Figure 17). Les données des stades pigmentaires sont cependant difficilement analysables cette saison en raison des fortes mortalités observées notamment le 19 juin (50 civelles capturées soit 74 % des captures totales dont 30 civelles mortes). A noter cependant que des **civelles non pigmentées ont été observées jusqu'au 4 septembre**, témoignant potentiellement d'une arrivée récente dans le système.

Cette observation est particulièrement intéressante compte tenu de la distance à la mer (28 km) et de la température de l'eau élevée (22,9°C) enregistrée en moyenne durant cette période. En effet, une température élevée accélère normalement la pigmentation alors qu'au contraire, la salinité la freine (Briand *et al*, 2004). En 2016 et 2018, une observation similaire avait respectivement eu lieu le 10 août et du 18 juillet au 2 août. Il semblait que les faibles débits du Rhône observés en août 2016 (720 m³/s) avaient provoqué une remontée du biseau salé jusqu'à proximité de la station de pompage (observé jusqu'au PK 303 - soit environ 25km de l'embouchure du Grand Rhône - pour des débits compris entre 600 et 800 m³/s - Bravard *et al*, 2008), salinité qui aurait donc ralenti la pigmentation des civelles. Les débits observés pour la situation de 2018 étant sensiblement supérieurs à ceux décrits dans la littérature (927,7 m³/s), le lien entre salinité et vitesse de pigmentation n'avait pas pu être établi avec certitude. En 2019, les débits observés sur le Rhône sont inférieurs à 800 m³/s depuis le 27 août, corroborant ainsi l'hypothèse de l'influence du biseau salé sur la pigmentation des civelles.

Les résultats montrent ainsi qu'il est possible, via le suivi des canaux d'irrigation, d'apprécier les arrivées de civelles qui colonisent le Rhône en examinant d'une part les variations de flux et d'autre part la présence d'individus non pigmentés.

La répartition des stades pigmentaires pouvant néanmoins varier selon les conditions environnementales du fleuve (température et débit), il s'avère primordial de mettre en parallèle l'évolution des résultats à celle des paramètres environnementaux. Ces données sont toutefois difficiles à interpréter actuellement du fait de la faible représentativité de notre échantillonnage. Obtenir une vision plus complète du recrutement à l'échelle du territoire choisi nécessiterait ainsi la mise en place de stations supplémentaires sur le Petit Rhône et le Grand Rhône.

Caractéristiques de la population d'anguillettes

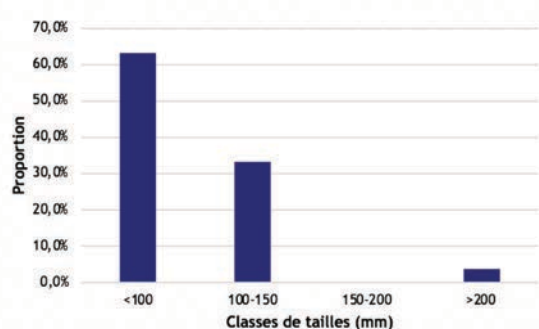


Figure 18 : Proportion des classes de tailles pour les anguillettes

Concernant les anguillettes capturées pour la saison 2019, seules les données de tailles ont été référencées. Les analyses sur les **24 individus** capturés fixent une taille moyenne à **94,1 mm** avec une prépondérance d'individus dont la taille est inférieure à 100 mm (63% de l'ensemble des anguillettes comptabilisées), induisant une majorité d'individus capturés qui seraient arrivés au cours de la saison 2019 dans le système (Figure 18).

Pathologies et mortalités observées

Parmi les 92 anguilles capturées (anguillettes et civelles), **5** (toutes mortes) présentaient visuellement des anomalies sanitaires (plaies) et **34** supplémentaires ont été retrouvées mortes sans blessures apparentes.

En comptant l'ensemble des individus retrouvés morts avec ou sans blessures apparentes, **42,4 %** des anguilles capturées en 2019 présente ainsi des anomalies. 12,8 % de ces individus présentent des lésions qui résultent très probablement du passage dans les pompes, ces dernières sont sévères et ont très probablement entraîné la mort des individus (Figure 19). 87,2 % du reste des individus retrouvés mort dans le filet ne présente pas de blessures apparentes, il est alors possible que leur mort soit la résultante de leur placage au fond du piège (fort courant et résistance au filet), sans qu'il soit toutefois possible d'exclure que le passage dans les pompes puisse induire une mortalité retardée (lésions internes dues au changement de pression et fortes turbulences). En considérant la sévérité de ces anomalies, l'indice pathologique calculé en 2019 révèle un état précaire de la population d'anguilles pompées ($lpg = 1,70$).

A titre de comparaison, on observait lors du suivi de 2016 et 2018 respectivement 32 % et 19,3 % d'individus avec anomalies suggérant également un état précaire de la population.

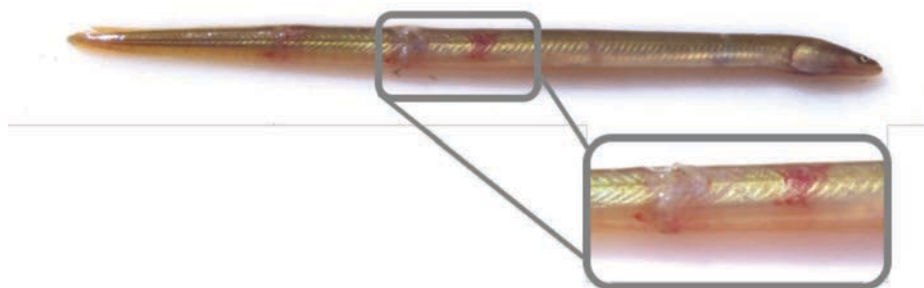


Figure 19 : Plaies et hémorragie observées sur une anguille piégée

Les études récentes sur les différents types de pompes montrent qu'en l'absence de grilles au niveau de celles-ci (pour rappel, la pompe de la station du Sambuc est équipée d'une grille de 5 cm de vide de maille), tous les stades et classes de tailles de poissons sont susceptibles d'être prélevés par les systèmes de pompage (King & O'Connor, 2007).

En termes de mortalité, Baumgartner et al (2009) suggéraient une influence plus importante des pompes à hélices (types de pompes supposées utilisées au Sambuc) sur les individus de tailles < 50 mm et > 200 mm avec les plus gros individus blessés directement par les pales des hélices et les plus petits individus sujets quant à eux aux changements de pression et fortes turbulences induisant des phénomènes de cisaillement (McNabb *et al*, 2003, Neitzel *et al*, 2000, Neitzel *et al*, 2014). Les études réalisées spécifiquement sur les anguilles ne concernent que les individus argentés, Buysse et al (2013) constataient cependant une mortalité plus importante des pompes à hélice en comparaison des pompes à vis d'Archimède avec respectivement $97 \pm 5 \%$ de mortalité contre $17 \pm 7 \%$ à $19 \pm 11 \%$.

3.4 Résultats des tests par flottangs sur le secteur privé

35 relèves de flottangs ont été réalisées du 7 mai au 11 septembre dont l'ensemble des captures sont référencées dans le tableau ci-dessous (Tableau 5). 212 anguillettes ont été capturées et aucune civelle n'a été observée au cours des relèves.

Tableau 5 : Synthèse des relèves de flottangs en 2019 (FG - FD : Flottangs Gauche - Droit)

Date (relève)	Heure (relève)	Effort (H)	N_FG	N_FD	N_Total	Remarques
07-mai	07:00	11,5	1	3	4	
15-mai	07:00	192	2	4	6	
16-mai	07:00	11	1	0	1	
22-mai	07:00	144	3	0	3	FD2 arraché
23-mai	07:00	11,5	2	1	3	
28-mai	07:00	120	4	1	5	
29-mai	07:00	11	0	1	1	
04-juin	07:00	144	1	5	6	
05-juin	07:00	11	5	5	10	morceau de silure > 1m
12-juin	07:00	144	3	0	3	
13-juin	07:00	11	0	1	1	
18-juin	07:00	120	5	2	7	
19-juin	07:00	11	2	7	9	
25-juin	07:00	144	6	13	19	
26-juin	07:00	11	1	8	9	
02-juil	07:00	144	0	15	15	
03-juil	07:00	11	0	1	1	
09-juil	07:00	120	5	9	14	
10-juil	07:00	11	3	5	8	
16-juil	07:00	120	4	0	4	
17-juil	07:00	11	3	3	6	
23-juil	07:00	120	0	9	9	
24-juil	07:00	11	3	0	3	
31-juil	07:00	11	2	2	4	
06-août	07:00	120	0	3	3	
07-août	07:00	11	1	2	3	
13-août	07:00	120	0	3	3	
14-août	07:00	11	1	0	1	
20-août	07:00	120	2	6	8	
21-août	07:00	11	2	2	4	1 Brème
28-août	07:00	11	1	6	7	
03-sept	07:00	120	1	1	2	
04-sept	07:00	11	2	3	5	
10-sept	07:00	120	11	6	17	
11-sept	07:00	11	6	2	8	

La méthodologie employée pour ce suivi ne permet pas de comparer les résultats obtenus en termes d'abondance avec ceux du canal d'irrigation de la station du Sambuc. La justesse des données d'abondance obtenues via l'utilisation de flottangs n'est en effet pas avérée, les flottangs étant des habitats artificiels non piégeant pour les individus. De plus, trois voies d'échappement ont été dénombrées mais seulement une présentait les conditions favorables pour la pose de flottangs. Enfin, 4 flottangs ont été installés et il est possible que le nombre d'anguilles observé puisse différer selon le nombre de flottangs utilisés (différent du filet qui filtre la quasi-totalité de la colonne d'eau du canal). Il est également à noter que les anguilles captées par flottangs ne sont pas forcément des individus nouvellement arrivés dans le système (possibilité de stabulation des individus dans les trous d'eau au niveau desquels sont posés les flottangs).

Les résultats suivants (*Figure 20*) montrent la comparaison des captures obtenues sur les deux types de suivi. Les captures des relèves de flottangs avec un temps de pose d'une semaine (captures intermédiaires sur la figure) ont été dissociées des captures réalisées au moment de la relève des filets (temps de pose d'une nuit). En termes de présence/absence, les journées où des captures sont observées par filet présentent toutes des captures au sein des flottangs. Certaines journées avec présence d'anguilles dans les flottangs sont néanmoins marquées par une absence de capture dans les filets. Cinq journées sont concernées par cette observation, à savoir les 7 mai, 16 mai, 5 juin, 16 juillet et 21 août.

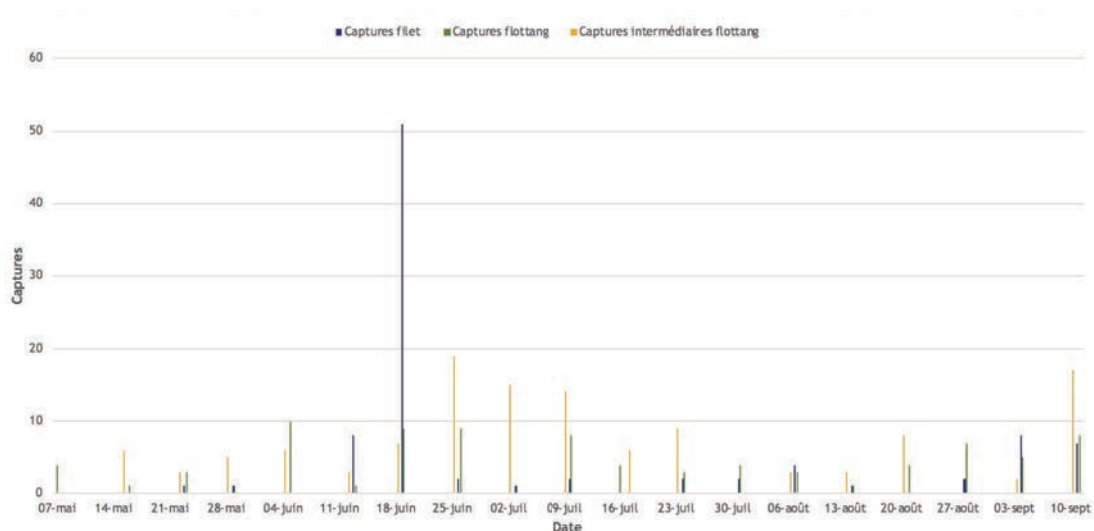


Figure 20 : Comparaison des captures des flottangs à celles obtenues par filet à la station du Sambuc en 2019

La taille moyenne des anguillettes capturées est de **78 mm** contre **94,1 mm** pour le suivi du canal d'irrigation de la station du Sambuc. On observe une répartition des classes de tailles relativement similaire entre les deux types de suivis (*Figure 21*).

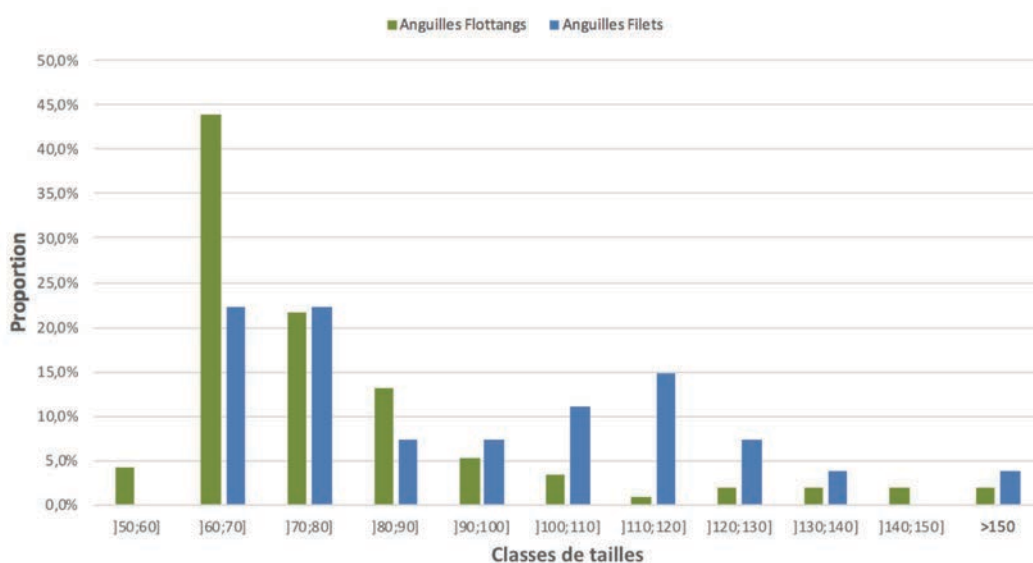


Figure 21 : Comparaison des proportions des classes de tailles d'anguilles sur les deux types de suivi en 2019

On observe notamment une proportion d'individus de l'année (inférieurs à 100 mm) similaire entre les deux types de suivi (88,2 % pour les captures par flottangs et 88,5 % pour les captures au filet). Cette observation soulignerait que la majorité des individus capturés via les stations de pompage proviendrait d'individus arrivés au cours de l'année. Des mesures de tailles et de poids ainsi que la détermination du stade pigmentaire des civelles capturées dans les flottangs pourraient être envisagés lors du suivi 2020.

Bien que la comparaison de ces données avec celles issues des échantillonnages par filets ne nous permet que des analyses de présence/absence, elle apporte toutefois des premiers éléments de réponse quant aux possibles variations dans les captures entre les deux types de secteurs et l'implantation des pompes. On observe en effet des tendances différentes sur nos deux suivis (prédominance d'anguillettes sur les flottangs contrairement aux filets, présence d'individus sur les flottangs lors d'absence sur les filets) qui pourraient non seulement impliquer une influence différente du pompage sur les anguilles selon les secteurs mais également des interprétations différentes sur la dynamique du recrutement dans le Rhône.

Afin de mieux pouvoir caractériser ces variations, un échantillonnage complémentaire aux flottangs pourrait être déployé via la pose de chaussettes de 10 m de long et de maille de 1,5 mm directement positionnées sur les buses d'irrigation. La faisabilité de cette méthodologie devra cependant être validée en 2020 en raison notamment du risque de colmatage des chaussettes qui conditionnera le temps de pose du piège.

4 Perspectives de suivi à l'échelle du delta du Rhône

4.1 Rappel des objectifs initiaux et limites identifiées

a) Caractériser l'influence des pompages sur la migration des anguilles

Les prises d'eau des stations de pompage peuvent, selon leur implantation, avoir une influence plus marquée sur le flux d'anguilles en migration sur le Rhône. Par ailleurs, il est probable que l'implantation de ces prises d'eau diffère selon le secteur (privé ou collectif), impliquant alors une influence potentiellement différente entre secteurs.

Ainsi, des échantillonnages réalisés simultanément (afin d'être comparés) sur ces **différents types de prises d'eau** permettraient d'identifier le plus impactant sur le flux d'anguilles en migration sur le Rhône. Les résultats obtenus pourront par la suite être **extrapolés à l'ensemble des stations** de la zone d'étude, selon leurs volumes pompés, afin d'avoir une vision globale de cet impact à l'échelle du delta du Rhône.

Au-delà du nombre d'individus pompés dans le Rhône et de la mortalité induite par le passage au travers des pompes, le devenir des individus pompés est néanmoins inconnu à ce jour.

Les canaux d'irrigation se retrouvant à sec en dehors de la période d'exploitation des rizières, la seule potentialité de survie pour les individus pompés semble être d'atteindre les canaux de drainage qui restent alimentés en eau par les précipitations automnales et hivernales via les marais (Chauvelon *et al*, 1996). La survie au sein des canaux de drainage semble ensuite fortement liée aux conditions hydrologiques, habitats disponibles et qualité de l'eau au sein de ces canaux (Baumgartner *et al*, 2005).

La figure 22 montre les différentes voies de passage entre le réseau d'irrigation (canal d'irrigation sur la figure) et de drainage (Fumemorte sur la figure) en prenant pour exemple le bassin de Fumemorte dont la station du Sambuc fait partie (Poulet, 2014). On observe ainsi trois voies de passages possibles entre le réseau d'irrigation et de drainage : les rizières (mortalité probable des individus avec faible profondeur, fortes températures et prédation élevée), les marais temporaires et enfin un passage possible par surverse (selon la gestion locale des martelières) lorsque les deux types de canaux se côtoient.

Deux possibilités se dégagent alors selon que nous nous trouvons au sein d'une surface poldérisée ou non. Dans le cadre d'une surface poldérisée (l'eau de drainage retourne au Rhône par pompage), déterminer le devenir des individus pompés revient à estimer la proportion d'individus colonisant le réseau de drainage et celle à nouveau pompée vers le Rhône. Dans le cadre d'une surface non poldérisée (cas du bassin du Fumemorte où l'eau de drainage s'écoule gravitairement dans le Vaccarès), déterminer le devenir des individus revient à estimer le nombre d'anguilles pompées venant se rajouter à la population du Vaccarès.

Les moyens et la méthodologie actuellement mis en place concernant la caractérisation de l'influence du pompage sur la migration des anguilles visent ainsi à **estimer la quantité d'anguilles prélevée chaque année au Rhône** mais ne permettent pas de statuer sur le devenir de ces individus.

b) Caractériser le recrutement du Rhône

Compte tenu de la diversité des conditions environnementales entre le Rhône et la lagune du Vaccarès, il est probable que le recrutement fluvial soit différent de celui observé à la passe-piège de la Fourcade que ce soit en termes de flux et périodes de migration. De même, les différences de débits, donc de vitesses d'écoulement, entre les deux bras du Rhône peuvent également influencer la répartition du flux.

Ainsi, des échantillonnages réalisés à **l'échelle d'une année** sur des canaux d'irrigation localisés sur les **deux bras du Rhône** apporteraient des éléments de réponse.

Par ailleurs, une meilleure connaissance du recrutement permettrait, selon les flux et périodes de migration, de mieux caractériser l'influence des pompes sur la migration des anguilles.

Étant donnée le nombre de stations à déployer (stations sur le secteur privé et collectif, sur le Petit et le Grand Rhône, en période culturale et hivernale, répondant chacune aux caractéristiques permettant un échantillonnage par filets), les **moyens humains disponibles ont été identifiés comme limite principale à l'atteinte de cet objectif**. De plus, le retour d'expérience du suivi réalisé sur la station du Sambuc montre qu'il est difficile de caractériser le recrutement du Rhône à raison d'une nuit d'échantillonnage par semaine, multipliant ainsi les moyens humains nécessaires pour répondre à cet objectif.

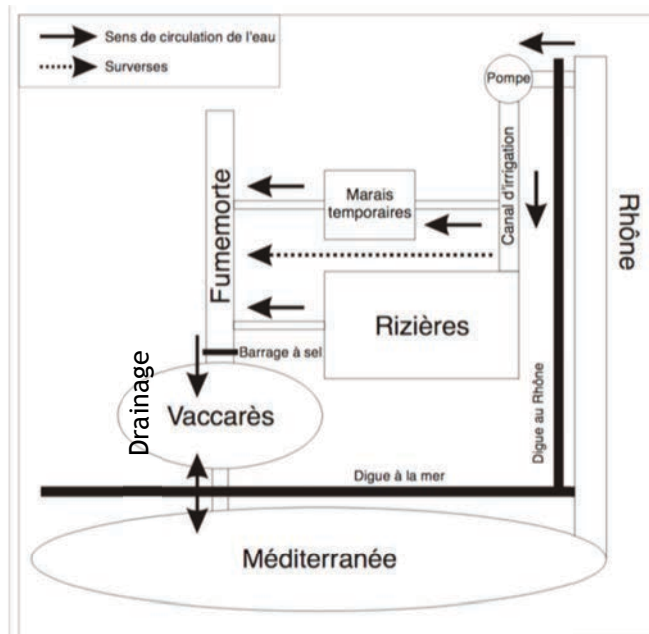


Figure 22 : Fonctionnement hydraulique du bassin de Fumemorte (Poulet, 2014)

4.2 Priorisation des objectifs

a) Influence du pompage selon le type de secteur

Compte tenu des moyens humains disponibles, il semble difficile de répondre à l'ensemble des objectifs de façon simultanée (caractériser l'influence du pompage sur la migration des anguilles et obtenir des données du recrutement du Rhône), une priorisation doit ainsi être établie.

Comme souligné précédemment, une meilleure connaissance du recrutement du Rhône permettrait à long terme de mieux estimer l'influence du pompage à l'échelle du delta (attractivité du Petit Rhône et du Grand Rhône potentiellement différente). Les moyens humains ne permettent cependant pas de déployer nos échantillonnages sur un nombre important de stations et les efforts devront donc être portés sur la caractérisation de l'influence du pompage selon le type de secteur concerné.

Concernant la méthodologie employée, il est important d'identifier des stations privées proches de celle du Sambuc afin d'éviter au maximum les variations liées à la zone d'échantillonnage et obtenir ainsi un comparatif fiable entre les deux secteurs étudiés.

Dans cette optique, des tests de faisabilité seront lancés en 2020 sur la station privée du Sambuc via la pose de chaussettes de 10 m de long et de maille de 1,5 mm directement positionnées sur les buses d'irrigation.

Si la faisabilité de cette méthode n'est pas confirmée, une nouvelle station du secteur privé pourrait être échantillonnée en se référant au retour d'expérience de la station du Sambuc qui a permis de déterminer les principales caractéristiques permettant un échantillonnage par filets. Le canal en béton et la largeur modérée du canal (2 mètres) ont en effet facilité la pose des engins.

Toutefois, il est apparu en 2016 quelques difficultés lorsque les capacités maximales des pompes étaient utilisées (3 pompes et un débit de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$) ou lorsque le Rhône était en crue (augmentation du colmatage).

Ainsi, le choix de la station susceptible d'être retenue dépendra, d'une part, des caractéristiques du canal qui vont influencer l'efficacité de piégeage. **Les canaux bétonnés et de largeur modérée (+/- 2m)** semblent ainsi les plus efficaces.

D'autre part, le débit d'équipement ne doit pas être trop important pour éviter un colmatage trop rapide des engins de pêche. Les débits observés à la station du Sambuc lors des tests de faisabilité semblent donc être les débits limites selon les conditions d'échantillonnage.

Les stations retenues devront donc posséder un **débit maximal d'équipement inférieur à $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$** . Enfin, il est primordial d'échantillonner une station dont les volumes pompés peuvent être déterminés (pour des analyses de captures par volumes) dès lors, seule une **station équipée de compteurs** (volumétriques idéalement ou horaires) peut être retenue.

Des investigations pourront être menées afin de relever les principales caractéristiques de stations privées pré-identifiées qui pourraient correspondre aux besoins d'un échantillonnage sur le secteur privé (Tableau 6). Les propriétaires de ces stations devront être contactées afin de convenir d'une potentielle visite sur site qui permettra de rassembler des données utiles à la mise en place du échantillonnage :

- **Caractéristiques de la pompe** : type de pompe, fonctionnement (débit), implantation de la prise d'eau, présence ou non d'une grille de protection, mode de détermination des volumes pompés ;
- **Caractéristiques du canal d'irrigation** : largeur, longueur, profondeur, vitesse d'écoulement.

Tableau 6 : Stations privées susceptibles d'être retenues pour la mise en place d'un suivi

Bras	Rive	Stations	Debit max (m3/s)	Volumes annuels (millions de m3)	Mode de détermination des volumes	Type de canal	Largeur (m)
Grand Rhône	Droite	Cazeau	0,53	4	?	Béton	?
Petit Rhône	Gauche	Mas d'Yvan	0,2	?	?	Béton	?
		Beaujeu de Castre	0,55	?	?	Béton	?

b) Devenir des individus pompés

La limite identifiée quant à la caractérisation de l'influence du pompage sur la migration des anguilles concerne le manque de données vis-à-vis du devenir des individus pompés. Les anguilles pompées peuvent-elles accéder aux canaux de drainage à la fin de la période culturale pour y grandir ? Qu'advient-il de ces individus au moment de leur migration de dévalaison ?

Dans le cadre des bassins non-poldérisés, comme pour le bassin du Fumemorte où l'eau s'écoule gravitairement vers le Vaccarès, la question du devenir des individus pompés est complexe dans le sens où les anguilles présentes dans le canal de drainage peuvent provenir à la fois du Vaccarès et du réseau de pompage. Un suivi du peuplement piscicole réalisé par la Tour du Valat depuis 1993 sur le canal du Fumemorte et associé à d'autres suivis (capture-marquage-recapture des anguilles depuis 2001, suivi télémétrique par RFID depuis 2018), pourraient néanmoins apporter des éléments de compréhension.

Dans le cadre des bassins poldérisés où l'eau de drainage retourne à nouveau au Rhône par pompage (55 % de la surface de l'île de Camargue (Allouche *et al*, 2015)), la question du devenir des individus pompés semble plus préoccupante (migration de dévalaison retardée voire impossible, mortalité engendrée par le passage dans les pompes).

De nouvelles réflexions pourraient ainsi être engagées en 2020 concernant les individus présents au sein de ces canaux de drainage. La mise en place d'échantillonnages par pêches électriques (moins chronophages qu'un échantillonnage par filets sur une longue période de suivi) sur des canaux de drainage de bassins poldérisés et non poldérisés pourrait être envisagée. Ces pêches électriques, associées à des suivis de capture-marquage-recapture, pourraient à terme permettre de mieux caractériser le devenir des individus pompés.

Conclusions et Perspectives

Les investigations réalisées depuis 2016 ont permis d'obtenir un état des lieux des stations de pompages présentes dans le delta du Rhône. Près de 170 unités de pompage ont été identifiées entre Arles et la mer dont la grande majorité appartient au secteur privé (près de 150). Ainsi, le nombre important de ces stations de pompage privées, bien que leurs capacités individuelles de prélèvements soient plus faibles que celles du secteur collectif, conduit à un prélèvement quasiment équivalent à celui des 26 stations collectives. De plus, il s'avère que l'essentiel des prélèvements (95 %) sont effectués entre avril et octobre sur les deux types de secteurs pour les besoins de la riziculture.

L'année 2019 marque la deuxième année d'échantillonnage pour la station du Sambuc et a permis d'estimer à près de 3 340 le nombre d'individus pompés dont 448 anguillettes et 1269 civelles.

Bien que les deux objectifs initiaux (caractériser le recrutement du Rhône et estimer l'influence du pompage sur la migration des anguilles) puissent se compléter, le retour d'expérience des échantillonnages sur la station du Sambuc montre que les moyens humains disponibles ne permettent pas de répondre simultanément à ces deux objectifs et que l'effort doit être concentré sur la caractérisation de l'influence du pompage selon les secteurs. Ainsi, dans le but d'établir l'influence globale du pompage à l'échelle du territoire, un échantillonnage simultané sur les stations du **réseau privé et collectif** est recommandé.

Certaines stations privées sur lesquelles un échantillonnage peut être mis en place ont ainsi été pré-identifiées (stations proches du site de la station collective du Sambuc) et la faisabilité d'un échantillonnage sur une de ces stations doit être établie.

En outre, la limite identifiée quant à la caractérisation de l'influence du pompage sur la migration des anguilles concerne le manque de données quant au devenir des individus pompés (conditions d'accès aux canaux de drainage, conditions de retour en mer lors de la migration de dévalaison). De nouvelles réflexions pourraient ainsi être engagées en 2020 concernant les individus présents au sein de ces canaux de drainage. La mise en place d'échantillonnages par pêches électriques sur des canaux de drainage de bassins poldérisés et non poldérisés pourrait être envisagée. Ces pêches électriques, associées à des suivis de capture-marquage-recapture, pourraient à terme permettre de mieux caractériser le devenir des individus pompés.

Dès lors, ce n'est qu'au terme de ces travaux que des mesures de gestion, ou d'équipement, pourront être proposées afin de réduire l'influence des prises d'eau sur la population d'anguilles du Rhône.

Bibliographie

ALLOUCHE A., DERVIEUX A., NICOLAS L., « Adaptation aux changements par renaturation dans une zone humide littorale, le delta du Rhône (France du Sud). Une réponse à l'épuisement d'une gestion concertée de l'eau ? », Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement [En ligne], 25-26 / 2015, mise en ligne le 31 mars 2015, consulté le 19 juillet 2015. URL : <http://tem.revues.org/2768> ; DOI : 10.4000/tem.2768

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

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

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

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.

BAUMGARTNER L.J., REYNOLDSON N.K., CAMERON L. & STANGER J.G. (2009) Effects of irrigation pumps on riverine fish. Fisheries Management and Ecology 16, 429-437.

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

BOYS CA, ROBINSON W, BAUMGARTNER LJ, RAMPANO B, LOWRY M (2013) Influence of Approach Velocity and Mesh Size on the Entrainment and Contact of a Lowland River Fish Assemblage at a Screened Irrigation Pump. PLoS ONE 8(6): e67026. doi:10.1371/journal.pone.0067026

BRAVARD J.-P., CLEMENS A., 2008. Le Rhône en 100 Questions, ZABR, GRAIE, Villeurbanne, 295 p.

BRIAND C., FATIN D., LAMBERT P., 2004. Effet de la température et de la salinité sur le développement de la pigmentation des civelles (*Anguilla anguilla*), Cybium 28 (3). P 247 - 254.

BRL ingénierie, 2004. Etude hydraulique et hydrobiologique des canaux de Camargue. Volume 1 : Etat des lieux - Diagnostic.

BRL ingénierie, 2012. Révision du SAGE Camargue Gardoise : Actualisation de l'état des lieux et du diagnostic. Partie 3 : Etat initial révisé du SAGE.

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

CHAUVELON P., 1996. Hydrologie quantitative d'une zone humide CHAUVELON P., MATHEVET R., 2002. Carrefour des eaux à l'interface nature - société : l'hydrosystème camarguais. *Faire Savoir* n°2, p 57-64. COURRIER DU PARC n°48/49, 1999. Usage de l'eau et équipements hydrauliques en Camargue.

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

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. et GIRARD P., 2014. La santé des poissons sauvages : les Codes pathologie, un outil d'évaluation. *Edit. Association Santé Poissons Sauvages.* 286p.

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 24

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.

GEORGEON M., LEBEL I., 2016, Influence des stations de pompage du Rhône aval sur les anguilles en migration - Étude de faisabilité d'échantillonnage des canaux d'irrigation et Inventaire des stations de pompes. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 25p + Annexes.

GINDRE D., 1995. L'irrigation et le drainage en Camargue. Description et fonctionnement des infrastructures hydrauliques. Réflexion pour une gestion globale de l'eau. Mémoire de fin d'études. ISARA-PNRC, 110 p.

HEURTEAUX P., 1996. L'eau et la riziculture en Camargue. L'irrigation et le drainage : Pourquoi ? Comment ?, Centre français du riz, p 109.

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.

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.
LONJON J., 1963. La contribution du Petit-Rhône à l'irrigation et à l'assèchement de la Camargue et de la Petite Camargue. Méditerranée, n°2. p 49-65.

MCCLEAVE J.D., BRICKLEY P.J., O'BRIEN K.M., KISTNER D.A., WONG M.W., GALLAGHER M., WATSON S.M., 1998, Do leptocephali of the European eel swim to reach continental waters ? Status of the question., J. Mar. Biol. Ass. U. K., 78, 285-306.

MARCY B.C., 1973. Vulnerability and survival of young Connecticut River fish entrained at a nuclear power plant. J. Fish. Res. Board Can., 30, 131-134.

MCNABB C.D., LISTON C.R and BORTHWICK, S.M. (2003). Passage of juvenile Chinook salmon and other fish species through achimedes lifts and a Hidrostral pump at Red Bluff, California. Transactions of the American Fisheries Society, 132: 326-334.

NEITZEL DA, RICHMOND MC, DAUBLE DD, MUELLER RP, MORSUND RA, ABERNETHY CS, GUENSCH GR and CADA GF. (2000). Laboratory studies on the effects of shear on fish: Final report. US Department of Energy, Idaho.

POIZAT G., CHAUVELON P., ROSECCHI E., CRIVELLI A.J., 1999. Passage de poissons du Rhône par les pompes d'irrigation de Camargue : Premiers résultats. Bull. Fr. Pêche Pisc. 352, p 31-43.

POIZAT G., CRIVELLI A.J., 1997. Use of seasonally flooded marshes by fish in a Mediterranean wetland: timing and demographic consequences. Journal of Fish Biology (1997) 51, 106-119.

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

POULET N., Le sandre (*Sander lucioperca* (L.)) : Biologie, comportement et dynamique des populations en Camargue (Bouches du Rhône, France). Écologie, Environnement. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2004. Français. <tel-00008942>

PRINCE E. E., 1923. Irrigation canals as an aid to fisheries development in the West. Transactions of the American Fisheries Society, 52: 157-165.

SUANEZ, S. 1997. Dynamiques sédimentaires actuelles et récentes de la frange littorale orientale du delta du Rhône. Thèse de doctorat en géographie physique. Université Aix Marseille I.

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.

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

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

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

Liste des figures

Figure 1 : Cycle de vie de l'Anguille (MRM).....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 : Civelles (MRM)	8
Figure 3 : Anguillette (MRM)	8
Figure 4 : Anguille argentée (MRM).....	8
Figure 5 : Territoires du delta de Rhône et zone d'étude (Source PNR)	10
Figure 6 : Localisation des différentes activités de la zone d'étude (Source PNR)	12
Figure 7 : Répartition des volumes prélevés du secteur collectif (en millions de m ³)	14
Figure 8 : Localisation des stations de pompage du secteur collectif sur le delta du Rhône	15
Figure 9 : Localisation des stations de pompage des ASA de l'île de Camargue (Source PNR).....	16
Figure 10 : Canal et station du Sambuc.....	16
Figure 11 : Vue aérienne de la station de pompage du Sambuc (Source : Geoportail)	17
Figure 12 : Schéma de l'installation des engins de pêche dans le canal d'irrigation du Sambuc	17
Figure 13 : Vue aérienne des sites avec pose de flottangs (Station du Sambuc)	19
Figure 14 : Répartition des captures par espèces	20
Figure 17 : Comparaison des captures de civelles et d'anguillettes par session d'échantillonnage...	21
Figure 18 : Tailles moyennes et poids moyens des civelles par session d'échantillonnage .	21
Figure 19 : Proportion des stades de pigmentation par session d'échantillonnage.....	22
Figure 20 : Proportion des classes de tailles pour les anguillettes	23
Figure 21 : Plaies et hémorragie observées sur une anguille piégée	23
Figure 22 : Comparaison des captures des flottangs à celles obtenues par filet à la station du Sambuc en 2019.....	25
Figure 23 : Comparaison des proportions des classes de tailles d'anguilles sur les deux types de suivi en 2019	25
Figure 24 : Fonctionnement hydraulique du bassin de Fumemorte (Poulet, 2014).....	27

Liste des tableaux

Tableau 1 : Capacités et volumes annuels minimums selon les rives des 2 bras du Rhône.....	12
Tableau 2 : Synthèse du nombre de stations du secteur collectif et capacités de prélèvements ...	13
Tableau 3 : Grille d'interprétation de l'Indice pathologie global (Ipg)	18
Tableau 4 : Synthèse des résultats obtenus en 2019.....	20
Tableau 5 : Synthèse des relèves de flottangs en 2019 (FG – FD : Flottangs Gauche – Droit)	24
Tableau 6 : Stations privées susceptibles d'être retenues pour la mise en place d'un suivi .	29

Liste des annexes

Annexe A : Grilles de codification et de quantification des anomalies visibles à l'œil nu	37
Annexe B : Liste des stations de pompages recensées dans le delta du Rhône	38
Annexe C : Synthèse des caractéristiques de chaque station de pompage du réseau collectif du delta du Rhône	41

Annexe A : Grilles de codification et de quantification des anomalies visibles à l'œil nu

Les 2 premières lettres correspondant à un type de lésion (ou parasite), la troisième à la localisation de l'altération et le chiffre quant à lui renseigne sur la sévérité de l'altération et/ou l'abondance parasitaire. La sévérité est déclinée en 5 classes (0 absence - 4 très forte altération)

Grille de codification des anomalies anatomo-morphologiques externes et des ectoparasites des poissons visibles à l'œil nu

Altérations anatomo-morphologiques	AA	Localisations anatomiques	Code
Absence d'organes	AO	Tout le corps	C
Bulles de gaz	BG	Tête	T
Déformations, difformités et malformations	AD	Mâchoire	M
Erosions	ER	Bouche	G
Nécroses	NE	Barbillon	J
Hypersécrétion de mucus	HM	Narine	N
Hypertrophie et hyperplasie	HY	Œil	Y
Lésions hémorragiques et congestives	HE	Opércule (fente branchiale chez l'anguille)	O
Maigreur	AM	Branchie (sauf pour l'anguille)	B
Plaies et lésions anciennes (cicatrices)	PL	Dos (= face pigmentée ou zénithale)	D
Tumeurs, kystes, nodules et autres grosseurs	TG	Colonne vertébrale	V
Ulcères (hémorragiques) et ulcérations	UH	Flanc	F
Etat pathologique multiforme	ZO	Ligne latérale	L
Altérations de la couleur	AC	Ecaille	E
Opacité	OP	Abdomen (= face aveugle ou nadirale)	A
Coloration sombre (mélanose)	CS	Orifice urogénital (anus)	U
Coloration terne ou pâle, dépigmentation	CT	Nageoire dorsale	H
Parasitisme	PA	Nageoire pectorale	P
Points blancs	PB	Nageoire pelvienne	R
Points noirs	PN	Nageoire anale	S
Crustacés	PC	Nageoire caudale	Q
Hirudinés (sangsues)	PH	Nageoire adipeuse (salmonidés seulement)	J
Champignons	PM	Pédoncule caudal	K

Grille de quantification des anomalies et du parasitisme externes

Nombre de lésions (N) et/ou abondance parasitaire (Ab)	Code	Taux (%) de recouvrement corporel (S ²)	Code
N = 0 et/ou absence (Ab)	0	S ² = 0%	0
N < 3 et/ou abondance (Ab) faible	1	S ² < 5%	1
N = 4-6 et/ou abondance (Ab) moyenne	2	S ² = 5-10%	2
N = 7-10 et/ou abondance (Ab) forte	3	S ² = 10-20%	3
N > 10 et/ou abondance (Ab) très forte	4	S ² > 20%	4

NB : Codification d'un « Individu sain » (i.e. ne présentant aucune lésion ni aucun parasite externe) : 0

Annexe B : Liste des stations de pompes recensées dans le delta du Rhône

Bras	Rive	Lieu-dit	X	Y	Débit max (m³/s)	ASA
Grand Rhône	Gauche	Mas d'Antonelle	794986	1829620		
		Grand Passon	795887	1831550		
		Bras Mort	795827	1832564		ASA du Bras Mort
		Tour de Parade	795693	1833416		
		Amont Tour Parade	795429	1834120		
		Aval Petit Boisviel	795238	1834643		
		Petit Bois Viel	794800	1835374		
		Isle St Pierre	794595	1837512		
		Ilon du Cassaire	793216	1838034		
		Mas Bonnet aval	793021	1840797		
		Mas Bonnet amont	792730	1841313		ASA Mas Thibert
		Mas Thibert	792018	1842189		
		Champtercier	791261	1842938		
		Les Becasses	790474	1843728		
		Galignan	788076	1846564		
		Le Grand Mollégès	787156	1849282		
		Plan du Bourg	786494	1849826		
		Mas de la Ville	785178	1850341		
	Droite	La Triquette Bord du Rhône	782485	1852802	3	ASA de la Triquette
		La Triquette	782402	1852624	4	ASA de la Triquette
		Franconi	783306	1850884	0,4	ASA de la Grande Montlong
		Grande Montlong	783458	1850740	0,5	ASA de la Grande Montlong
		Petite Montlong	784182	1850235	2,6	Asa de la Petite Montlong
		Mas Neuf des Sansouires	785610	1849770		
		Mas Terrin	787318	1848111		
		Angery des Sansouires	787346	1847067		
		Mas Millet	787475	1846535		
		Beaujeu	787840	1845858	3,2	Asa de la Petite Montlong
		Beaujeu (privé)	787840	1845858		
		Aube de Bouic	789082	1844189	3	ASA de l'Aube de Bouic
		L'Armelière	789636	1843723		
		Mas Giraud	790291	1843283	1	
		Tour de Cazeau amont	792117	1841375		
		Tour de Cazeau aval	792320	1841155	0,5	
		Le Sambuc	792985	1839518	1,3	ASA du Sambuc
		Le Sambuc (privé)	793026	1839523		
		La Commanderie	794024	1837833		
		Le petis Patis	794157	1836448	0,7	
		Grand Manusclat	794514	1834899	0,7	
		Bois verdun	794244	1833896	0,55	
		Griffeuille	794547	1833280	0,7	
		Louisiane	795257	1831511	0,3	
		L'Amérique	794349	1829450	0,3	
		Chamone	794231	1828567	5,2	ASA du Japon
		Salin de Giraud	795024	1827154		
		Bracarin	795296	1826844		

Bras	Rive	Lieu-dit	X	Y	Débit max (m³/s)	ASA
Petit Rhône	Gauche	Mas de Vert	780773	1857596	2	ASA Mas de Vert
		Petit Mas de Rey	779772	1857654	0,12	
		Mas d'Yvan	779772	1857654	0,2	
		Grignard	778468	1858146		
		Beaumont	776986	1858257	0,5	ASA Petit Beaumont
		La Tresorière	776085	1857961	1,5	ASA Petit Beaumont
		Mas du Roy	775701	1857930	0,25	
		Mas de grille	774822	1857855	0,4	
		Mas de grille aval	774480	1857667		
		Léotaud	774136	1857694		
		Beaujeu de Castres	772842	1856008	0,55	
		Mas de Rigaudon	773028	1855145	0,15	
		Moulin de Saliers	772866	1854523	0,7	ASA Salier
		La Vinasse amont	772326	1854197	0,4	ASA Salier
		La vinasse	772213	1854192	1,5	ASA St Cesaire Salier
		La Cabanette	771359	1853955	0,15	
		Figares	770589	1853046	0,25	
		Les Roussettes	770361	1852323		
		La Galante amont	769881	1851324	0,2	
		La Galante	769806	1850913		
		Case Brune	769619	1850256	0,15	
		Lauricet	769199	1848602	0,25	
		Mas de la Vigne	771277	1847982	0,25	ASA du Clos de la Vigne
		Mas du Juge	772310	1848294	0,25	
		Albaron	772727	1847945		
		Mejanès	772939	1847630		
		Combet	772958	1847172	0,15	
		Clos de la Royalette	772328	1846353		
		Clos de la Royalette aval	772271	1846023		
		Bouvet	772007	1845581	0,15	
		Le Jasse amont	771916	1845344		
		Le Jasse aval	771794	1845280		
		Les Bruns aval	770828	1844569	0,0017	
		Mas d'Eymini	769463	1844780		
		Mas Ventabren	768307	1844276	0,0023	
		Mas Sud d'Eymini	768355	1843345		
		Cabanes du Vaccarès	768076	1842383	0,0046	
		Château d'Avignon	767618	1841906	0,007	
		Mas du Pamperdu	766011	1841551		
		Mas du Pamperdu aval	765855	1841491		
		Frigoules	765479	1849737	1,1	ASA Frigoules
		Mas de Sénébier	764406	1840450	0,0034	
		Mas de Jonquière	762990	1839737	0,0016	
		Château d'Astouin	764254	1838336	0,0046	
		Baumelles	764178	1837045	0,0014	
		Mas Cayet	764003	1835955		

Droite

Château de Fourques	783933	1857281	0,05	
Domaine de la Tourette	780852	1857733	0,8	ASA de Beaucaire
Mas d'Adrien	779551	1857829	0,3	
Mas D'asport	778156	1858609	1,5	ASA de la plaine de Fourques
Amont Mas de la Borde	777128	1858636		
Mas du Grand Argence	776417	1858073	0,3	
Domaine de la Grande Cabane	775466	1858011	1,2	
Domaine de Marsane	774932	1858078		
Usine de la Reyranglade	774076	1857955	0,55	
Mas du village	773415	1857617	0,25	
Mas Berthaud	773017	1857062	0,25	
Auzière	772552	1856095	0,005	
Cavalès	772770	1855310	0,6	ASA de l'Esperance
Beaufiguier	770637	1853570	0,2	ASA de St Gilles
Aurillasse / La Saque	770170	1852679	1,3	ASA des Aurillasses
Mas Bousquet	769255	1849921	0,25	
Espeyran	768961	1849554	1,6	
St Roch	768729	1849253	0,25	
La Fosse / Canavère	769001	1848556	4	ASA de Canavère
Mas Marignan	770720	1847587	0,2	
La Motte	772831	1847424	0,2	
Claire farine	772059	1846299	0,2	
Claire Farine aval	771942	1845986		
Beauregard	771383	1845137	0,5	
Montplaisir amont	770567	1844720		
Montplaisir	770056	1844886	0,2	
Bel Air	769129	1844980	0,22	
Les Pradeaux amont	768866	1844885	0,27	
Les Pradeaux	768703	1844775	0,22	
Les Pradeaux aval	768476	1844615	0,25	
Mas neuf de Capette	767064	1843449	0,18	
Mas neuf de Capette aval	767628	1843346	0,1	
Mas de Capette amont	767646	1842175	0,3	
Mas de Capette	766449	1842180		
Station de Capette	765796	1842240		
Astation de Montcalm	765802	1842191	0,1	
Mas de Liviers	764479	1840719	1,2	
Sylvéreal	763462	1840611	3,6	ASA de Sylvéreal
Mas du juge (petite abbaye)	763630	1838211		
Pin Fourcat	763692	1836735	0,25	
Magot	763676	1836225		
Le Grad Sauvage	764256	1835004		
Le Grand Sauvage aval	764410	1834899		
Etang d'Icard	765396	1832021	0,1	
136			60,6	26 stations ASA

Annexe C : Synthèse des caractéristiques de chaque station de pompage du réseau collectif du delta du Rhône

Bras	Rive	ASA	Stations	Nbre pompes	Débit max (m ³ /s)	Volumes annuels (millions de m ³)	Mode de détermination des volumes	Type de canal	Largeur (m)
Grand Rhône	Gauche	Mas Thibert	Mas Thibert - Rhône	1	?	?	?	Conduite	-
		Bras Mort	Bras Mort	3	?	?	?	Béton	2
	Droite 32 pompes 23,1 m ³ /s 171 M m ³	Triquette	La Triquette	5	4,0	45	Compteur horaire	Terre	2
			Bord du Rhône	3	3,0		Compteur horaire	Terre	2
		Grande Montlong	Grande Montlong	2	0,5	8	Compteur horaire	Béton	2
			Francony	1	0,4		Compteur horaire	Béton	2
		Petite Montlong	Barachin	3	2,6	50	Compteur horaire	Béton	3
			Beaujeu	4	3,2		Compteur horaire	Béton	1,6
		Aube de Bouic	Aube de Bouic	5	3,0	24	Compteur horaire	Terre	2,2
		Le Sambuc	Le Sambuc	3	1,3	14	Compteur horaire	Béton	2
		Le Japon	Chamone	6	5,2	30	Compteur horaire	Terre	4
Petit Rhône	Gauche 18 pompes 8 m ³ /s 56 M m ³	Petit Beaumont	Beaumont	2	0,5	12	Compteur horaire	Conduite	-
			Tresorière	3	1,5		Compteur horaire	Terre	
		Mas de Vert	Mas de Vert	5	2,0	15	Compteur horaire	Béton	1,8
		Saliers	Julian	1	0,4		Compteur horaire	Béton	1,4
			Saliers	2	0,7	13	Compteur horaire	Béton	2,4
		St Cesaïre - Saliers	St Cesaïre - Saliers	2	1,5	9	Compteur horaire	Béton	2
		Frigoules	Frigoules	2	1,1	4	Compteur horaire	Terre	2
		Clos de la Vigne	Clos de la Vigne	1	0,3	3	Compteur horaire	Conduite	-
	Droite 17 pompes 12 m ³ /s 12 M m ³	Beaucaire	La Tourette	2	0,8	2,8	Compteur volumétrique	Béton	2
		Plaine de Fourques	Mas d'Asport	3	1,5	3,2	Compteur volumétrique	Conduite	-
		Espérance	Cavalès	2	0,6	1 *	Forfait irrigation	Terre	2
		St Gilles	Beaufiguier	1	0,2	0,55 *	Forfait irrigation	Conduite	-
		Aurillasse	Aurillasse	2	1,3	1,3 *	Forfait irrigation	Béton	1,5
		Canavère	Canavère	4	4,0	1,5 *	Forfait irrigation	Béton	2
TOTAL		Sylvéréal	Sylvéréal	3	3,6	1,5 *	Forfait irrigation	Terre	12
				71	43,1	238,9			

* valeurs très probablement sous estimées

Financeurs

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée ne pourrait agir sans l'engagement durable de ses partenaires financiers



Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique :

- Ain
- Alpes de Haute-Provence
- Hautes-Alpes
- Alpes-Maritimes
- Ardèche
- Aude
- Bouches-du-Rhône
- Corse
- Drôme
- Gard
- Hérault
- Isère
- Loire
- Pyrénées-Orientales
- Rhône
- Haute-Saône
- Saône et Loire
- Savoie
- Haute-Savoie
- Var
- Vaucluse

Association Régionale des Fédérations de Pêche de PACA (ARFPPMA PACA)

Association Régionale des Fédérations de Pêche Auvergne Rhône-Alpes (ARPARA).

ASSOCIATION MIGRATEURS RHÔNE-MÉDITERRANÉE

ZI Nord, rue André Chamson, 13200 Arles
contact@migrateursrhonemediterranee.org
Tél. : 04 90 93 39 32
www.migrateursrhonemediterranee.org

