

- RAPPORT D'ETUDE -

2020 N° 9/15

Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens

Suivi 2019-2020 par RFID sur la Cagne & Caractérisation du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure

PERRIER C., CAMPTON P. • Mai 2021



Photo de couverture
(© MRM)

Référence à citer

PERRIER C., CAMPTON P., 2021. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Suivi 2019/2020 RFID sur la Cagne & Caractérisation du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure. - 52p. + Annexes.

Remerciements

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

PARTENAIRES FINANCIERS

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
- Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Département des Alpes-Maritimes et SMIAGE
- Fédération Nationale pour la Pêche en France
- Électricité de France

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

- Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) des Alpes Maritimes
- EDF R&D et Unité production Rhône Méditerranée
- OFB pôle écohydraulique ;
- OFB DiR Sud PACA, Service départemental 06
- SMIAGE Maralpin
- Agence de l'Eau
- Propriétaires Riverains
- Association Nice Météo 06
- INRAe Unité RiverLy de Lyon Grenoble

Résumé



L'expérimentation conduite depuis 2017 sur la Cagne, petit fleuve côtier des Alpes-Maritimes, vise à marquer et à suivre des anguilles argentées (ou en cours d'argenture), via la technologie RFID HDX, pour identifier les paramètres impulsant la dévalaison sur ce type de cours d'eau. Le suivi expérimental a permis d'acquérir des données et un retour d'expériences sur

trois saisons de dévalaison (2017-2018 / 2018-2019 / 2019-2020), mais aussi sur la fiabilité du RFID en situation critique, en raison des conditions hydrologiques exceptionnelles cette dernière saison.

La saison 2019-2020 aura été marquée par deux événements majeurs :

→ L'évolution du protocole de marquage, qui a permis d'équiper 300 nouvelles anguilles, tous stades de maturité confondus, avec des Pit-Tags.

→ Un épisode de crue exceptionnel sur la Cagne en décembre 2019 (seuil de crue cinquantennale dépassé) qui a lourdement endommagé le matériel RFID et compromis le suivi pendant environ 3 mois. Ces crues ont endommagé les câbles des antennes et les boîtiers des tuners associés sur les 2 sites suivis. Le matériel a pu être réparé au mois de mars 2020.

Malgré cela, les antennes ont permis de détecter 23 anguilles à l'occasion de hausses du débit survenues aux mois d'octobre et novembre 2019. 19 d'entre elles avaient été identifiées comme des individus suffisamment matures pour dévaler. Compte tenu des avaries subies par les antennes et des conditions hydrologiques exceptionnelles, on peut supposer que d'autres anguilles ont dévalé sans être détectées.

Le pic de dévalaison le plus important a été observé lors de la première hausse de débit automnale à mettre en lien avec des hausses de pluviométrie, comme ce fut le cas pour les deux saisons précédentes. Les hausses de débit suivantes ont également engendré de la dévalaison, mais de façon plus ponctuelle. Environ 50% des anguilles ont été détectées entre 18h et minuit.

Le Tracking mobile réalisé en Août 2020 a permis de détecter 131 anguilles sur les 336 encore potentiellement présentes dans le système d'études. Avec une efficacité moyenne de 40 à 60% pour un unique passage, il est fort probable qu'un nombre plus important d'anguilles soit encore présent dans le système. Une très forte sédentarité des individus marqués a pu être observée : tous ont été retrouvés à proximité de leur lieu de marquage. L'absence quasi-totale de détection d'individus matures lors du Tracking laisse supposer que plusieurs ont pu dévaler sans être détectés.

Après 3 saisons de suivi, des observations récurrentes commencent à émerger, notamment concernant le rôle des premières crues d'automne dans la stimulation de la migration de dévalaison. De même, la migration peut être réalisée d'une traite (environ 50% des anguilles détectées franchissent les deux sites de suivi le même jour), mais aussi de façon discontinue (50% des anguilles détectées sur le site amont lors d'une première crue, puis sur le site aval lors de la crue suivante).

En parallèle de cette étude *in situ* du phénomène de dévalaison sur un petit côtier, une **analyse du fonctionnement hydrologique des côtiers de plus grande envergure** (Var, Hérault, Vidourle, Aude, Orb, Tech, Tavignano, etc.) est également en cours de réalisation. Les données issues de cette étude pourront par la suite être utilisées pour limiter l'impact des aménagements hydroélectriques sur les axes présentant un fort enjeu pour la dévalaison.

Les premières investigations réalisées en 2019 sur le Var et l'Hérault avaient permis de proposer quatre critères de caractérisation hydrologique : la cohérence amont-aval des débits sur un bassin versant, l'estimation de la contribution des affluents aux crues observées à l'aval, l'analyse du nombre de crues saisonnières, et enfin les caractéristiques des premières crues automnales, qui semblent étroitement liées au phénomène de dévalaison au regard de la bibliographie existante et du retour d'expérience Cagne.

Ces premières analyses ont fait émerger la nécessité de définir la « valeur seuil » à partir de laquelle une hausse de débit pouvait être considérée comme une « crue ». Parmi les différentes approches envisagées, la méthode basée sur un seuil limite de crue fixée à 2x la valeur du module donne les résultats les plus pertinents.

La synthèse bibliographique dressée cette année fait aussi ressortir l'importance potentielle des premiers coups d'eau d'automne pour stimuler la dévalaison des anguilles argentées. Plusieurs études tendent à montrer que les observations de dévalaisons les plus nombreuses interviennent sur ces premiers coups d'eau, dont le QJ_{max} se situe en dessous du seuil de crue biennal. Ces observations mettent en valeur l'intérêt de disposer d'une valeur seuil réduite pour ne pas occulter certains épisodes de migration.

Outre l'intérêt de ces premiers coups d'eau d'automne, l'arrivée tardive de premières crues saisonnières sur certains affluents pourraient potentiellement stimuler la dévalaison, plusieurs semaines voire plusieurs mois après le passage des premières crues automnales.

Un suivi au cas par cas en temps réel de chaque saison de dévalaison nécessitera de disposer de données hydrologiques et pluviométriques en divers points du bassin pour assurer une gestion efficace. La suppression ou l'absence de stations hydrométriques sur certains affluents à fort enjeu risque néanmoins de constituer un frein à la mise en place d'un suivi futur de l'évolution journalière des débits.

Malgré un fonctionnement hydrologique très spécifique des côtiers méditerranéens, les dernières avancées tendent à montrer que les stimuli qui vont enclencher la dévalaison sont comparables entre la Méditerranée et la façade atlantique. En méditerranée, ces pics de débit sont à mettre en lien avec les premières précipitations automnales qui vont gonfler le lit des cours d'eau. Ces premières analyses devront être étendues à d'autres fleuves côtiers.

Sommaire

PARTIE 1 : ÉTUDE RFID DE LA DEVALAISON SUR LA CAGNE

1. Contexte	4
2. Méthode	4
3. Bilan de la saison 2019-2020	5
3.1. Capture et marquage des anguilles argentées	5
a) Captures sur chaque station de pêche	5
b) Caractéristiques de l'échantillonnage de septembre 2019 :	5
c) Nombre d'anguilles marquées en 2019	7
d) Nombre total d'anguilles marquées sur la Cagne avant la saison 2019-2020 ?	7
3.2. Détections 2019-2020	8
a) Détections au niveau des antennes fixes	8
b) Les conditions de dévalaison en lien avec le nombre d'interrogations des Tags	11
c) La fonctionnalité des antennes	12
3.3. L'influence des paramètres environnementaux sur la dévalaison	16
a) Influence du débit et de la pluviométrie	16
b) Influence de la luminosité	16
c) Influence de la température sur la dévalaison	17
4. Perspectives et retour d'expérience	19
4.1. Des données sur la croissance et les déplacements des anguilles dans le système	19
4.2. Quelle approche pour identifier clairement les périodes clefs de dévalaison ?	20
4.3. Quelle efficacité de la technologie RFID après trois saisons de suivi ?	21
5. Conclusion	22

PARTIE 2 : CARACTERISATION DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES COTIERS DE GRANDE ENVERGURE

1. Contexte	23
2. Méthode	24
2.1 Rappels des avancées et de problématiques soulevées	24
2.2 Arguments en faveur du maintien de la méthode « 2x le module »	24
2.3 Les références proposées pour l'étude hydrologique du Var et de l'Hérault	28
3 Résultats 2019-2020	29
3.1 Synthèse des connaissances sur le comportement de dévalaison de l'Anguille européenne	29
a) Plusieurs approches méthodologiques	29
b) Des hypothèses convergentes sur les périodes clefs de dévalaison et sur l'influence des facteurs environnementaux.	30
c) Des avancées récentes qui précisent les périodes clefs de la dévalaison	31
3.2 Des précisions sur les périodes clefs pour la dévalaison sur le Var et l'Hérault	31
a) Quelles fenêtres de dévalaison avec la méthode « 2x le module » ?	31
b) Prise en compte des affluents des grands fleuves pour détecter d'autres fenêtres potentielles de dévalaison	32
c) Illustration de fenêtres potentiellement critiques de dévalaison au travers de deux exemples	36
d) Focus sur les modalités de gestion actuellement pratiquées sur le Fleuve Var	38
4 Conclusion	40
Table des Figures	45
Table des Tableaux	46
Table des Annexes	46
Annexes	47

Introduction

L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), un migrateur amphihalien thalassotoque, est une espèce *en danger critique d'extinction*, classée en liste rouge de l'UICN. Elle subit en effet de nombreuses pressions (d'origines anthropiques et naturelles) qui affectent chaque phase de son cycle de vie. Cette situation a conduit en 2007 à la mise en place d'un règlement européen (n° 1100/2007), transcrit à l'échelle nationale sous la forme du *Plan de Gestion Anguille* (PGA), qui vise la reconstitution du stock.



Un des objectifs du PGA est d'assurer un taux d'échappement de 40 % de la biomasse pristine¹. De plus, les Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) 2010-2014 et 2016-2021 ont soulevé la nécessité d'approfondir les connaissances sur l'Anguille et en particulier sur sa phase de dévalaison en Méditerranée. Une étude est donc actuellement menée pour définir une méthode permettant d'estimer l'échappement en anguilles argentées sur le Rhône et les fleuves côtiers méditerranéens.

A l'heure actuelle, peu d'études sur le sujet ont été conduites sur la façade méditerranéenne alors que le phénomène de dévalaison est vastement documenté sur la façade atlantique. Toutefois, des analyses hydrologiques menées par l'ONEMA (désormais OFB) sur l'Aude en 2013 montrent qu'il est peu probable que la dévalaison sur les côtes méditerranéennes s'opère dans les mêmes conditions (Campton *et al.* ; 2016) en raison de la soudaineté des événements pluviométriques et hydrologiques.

Depuis 2012, l'Association MRM a engagé des investigations visant à mieux comprendre les mécanismes de dévalaison des anguilles argentées sur le bassin Rhône-Méditerranée.

Les retours d'expériences des premières années par vidéocomptage et piégeage avaient montré la difficulté à capter un signal de migration durant plusieurs mois, notamment pendant des événements hydrologiques brefs et violents, générant des contraintes élevées pour le matériel.

Face à ce constat, un collège d'experts (pôle écohydraulique de l'OFB, EDF R&D, OFB DiR Montpellier et Aix en Provence) et de gestionnaires locaux (FDAAPPMA06, SD06 de l'OFB) a été réuni par MRM en 2015 pour évoquer la faisabilité d'une étude comportementale des anguilles argentées sur un côtier des Alpes-Maritimes.

Ces échanges ont abouti à la mise en place d'une expérimentation sur un fleuve côtier de petite envergure (la Cagne) via la technologie RFID-HDX d'une part, et la conduite d'investigations sur les fleuves côtiers de grandes envergures à l'hydrologie plus complexe d'autre part.

Sur la Cagne, le principe repose sur le suivi des anguilles argentées à l'aide de transpondeurs miniature (*Pit-Tags*) qui sont détectés lorsque les individus s'approchent de stations fixes et mobiles.

Après une saison de tests en 2017-2018 (Rautureau & Campton, 2018) suivie d'une saison de suivi en routine en 2018-2019 (Perrier et Campton, 2020), le dispositif de suivi de

¹ : PRISTINE : Fait référence à une *population théorique parfaite*, incluant 100 % des individus de l'espèce

la Cagne dispose à présent de deux sites d'enregistrements, autour desquels évoluent plus de 300 anguilles marquées.

Ce rapport présente donc les résultats obtenus lors de cette troisième saison de suivi, dont l'objectif *in fine* reste d'évaluer la cinétique de dévalaison selon 2 orientations :

- (1) Identifier les principales plages migratoires et leurs étalements sur la saison
- (2) Mettre en lumière les paramètres environnementaux impulsant la dévalaison

Concernant l'analyse des fleuves côtiers de grande envergure, le retour d'expérience accumulé sur le Var a montré la difficulté de capturer des anguilles argentées sur ce fleuve. De fait, la mise en place d'un suivi comportemental via la radio télémétrie initialement envisagée a dû être délaissée au profit d'une nouvelle approche méthodologique. Cette nouvelle approche se base sur une caractérisation du fonctionnement hydrologique des fleuves côtiers de grande envergure, qui doit permettre de cibler les périodes théoriques de dévalaison.

En accord avec cette méthode, des investigations ont été réalisées sur le Var et l'Hérault en 2019. Quatre critères de caractérisation hydrologique ont été proposés : la cohérence amont-aval des débits sur un bassin versant, la contribution des affluents, le nombre de crues durant la saison de dévalaison et les caractéristiques des premières crues automnales (qui semblent étroitement liées au phénomène de dévalaison au regard de la bibliographie existante).

Néanmoins, ces premières analyses ont également mis en avant la nécessité de définir très précisément la notion de « crue » et les valeurs seuils qui permettront de déterminer si des fluctuations hydrologiques peuvent ou non être considérées comme des crues. Cet aspect a bénéficié d'une attention toute particulière en 2020, car il conditionne la représentativité de l'ensemble des résultats qui seront obtenus par la suite, et qui permettront *in fine* de caractériser et de comparer le fonctionnement des fleuves côtiers méditerranéens ciblés.

PARTIE 1 : ÉTUDE COMPORTEMENTALE SUR LA CAGNE

1 Contexte

Espèce migratrice amphihaline, l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est dite thalassotroque, c'est à dire qu'elle se reproduit en mer et réalise une grande partie de son cycle de vie dans les cours d'eau continentaux.

Les spécificités liées à cette espèce et à son cycle de vie sont décrites précisément sur le site de *l'Observatoire des poissons migrateurs en Rhône Méditerranée*², animé par l'association MRM. Le phénomène d'argenteure, qui précède la migration de dévalaison, est décrit en détail dans l'Annexe 1.



Figure 1 : La description de l'espèce *Anguilla anguilla* telle que présentée sur le site de l'observatoire

2 Méthode

La présentation du site de la Cagne, la description du matériel utilisé, de la méthode de biométrie et de la définition du stade d'argenteure, ainsi que du fonctionnement du suivi RFID sont détaillés en Annexe 2. Les modalités liées à la méthode de pêche électriques et aux précautions prises durant le marquage des anguilles, (anesthésie, contrôle post opératoire, etc.) sont également détaillées en Annexe 2.

Avant 2019, seules les anguilles présentant des stades d'argenteure avancés (FIII, FIV, FV et MD) étaient équipées de Pit-Tags. Cependant, face au faible nombre d'individus marqués ces deux dernières années (une quarantaine d'individus chaque année en 2017 et 2018), il a été proposé d'étendre le marquage à des stades immatures en 2019 (FI, FII).

Cette évolution permettait de mieux rentabiliser l'effort de pêche fournie par la FDAAPPMA, mais offrait aussi l'opportunité d'espacer de 3 ans les futures campagnes de marquages, pour limiter les perturbations du milieu. L'évolution du protocole a été validée par le COGEPOMI en amont du lancement de la campagne de marquage 2019. De fait, toutes les anguilles présentant un poids supérieur à 30g ont pu être marquées. L'association MRM s'était fixée pour objectif de marquer 300 anguilles supplémentaires en 2019.

² : <https://www.observatoire-rhone-mediterranee.fr/anguille-europeenne-2/>

3 Bilan de la saison 2019-2020

3.1 Capture et marquage des anguilles argentées

a) Captures sur chaque station de pêche

La campagne de pêche s'est déroulée du 3 au 5 septembre 2019. Les linéaires de stations pêchées sur les sites du Pont-des-Salles, Poutaoutchou et de Simbille ont été respectivement de 330, 962 et 571 m, soit un linéaire cumulé de 1863 m. Un bilan global du marquage de la saison 2019-2020 est proposé dans le *Tableau 1* ci-dessous.

Tableau 1 : Résumé des captures d'anguilles effectuées sur la Cagne lors de la campagne de marquage 2019

Stade	Individus marqués (saison 2019-2020)						Individus marqués	Individus non marqués	TOTAL STATION
	FI	FII	FIII	FIV	FV	MD			
Pont des Salles (03/09/2019)	38	3	1	0	1	4	47	25	72
Poutaoutchou (04/09/2019)	105	25	2	0	1	6	139	7	146
Simbille (05/09/2019)	46	55	5	0	5	3	114	6	120
TOTAL STADE	189	83	8	0	7	13	300	38	338

b) Caractéristiques de l'échantillonnage de septembre 2019

- **Relation taille poids des individus capturés en Août 2019**

Les points projetés sur la *Figure 2* représentent la relation taille/poids des individus capturés lors des pêches de 2019, associé au stade de développement de chaque individu, tel que défini par la méthodologie de Durif (2003). Peu d'individus dévient de la courbe de régression, en dehors d'un MD et d'une FII dont les poids paraissent surprenants. Trois individus de bonne taille (2 FV et 1 FIII) se démarquent.

Le graphique suivant (*Figure 3*) montre une augmentation progressive du rapport taille/poids moyen des individus au fur et à mesure de la progression vers l'amont. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie, et montrent que les stations les plus à l'aval sont colonisées par les individus de petite taille (en cours de migration anadrome) participant à la colonisation du bassin. La densité de ces individus diminue au fur et à mesure que l'on remonte vers l'amont, pour laisser la place à des individus plus âgés.

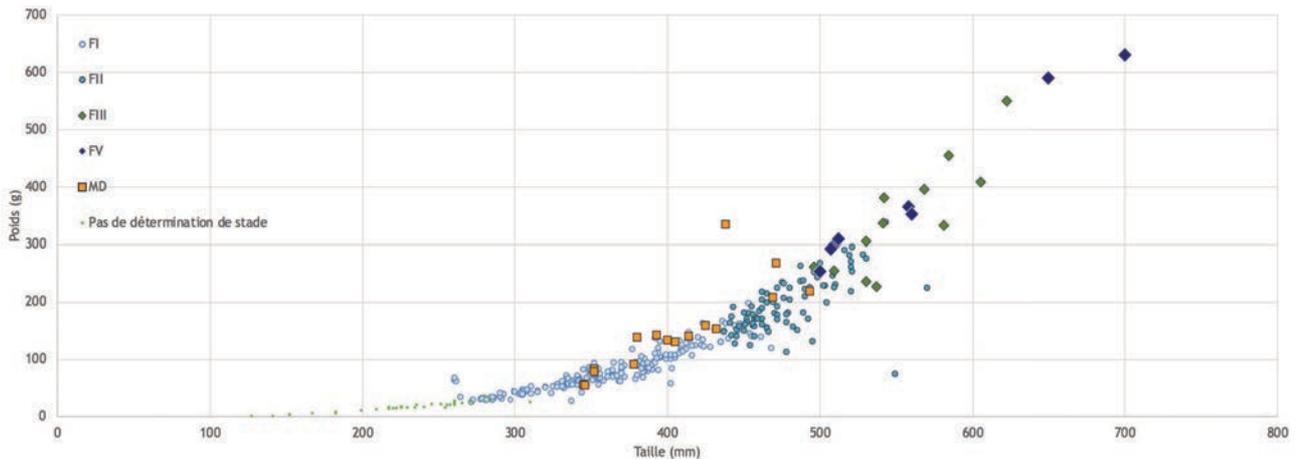


Figure 2 : Relation Taille/poids de l'échantillonnage 2019 (toutes stations confondues)

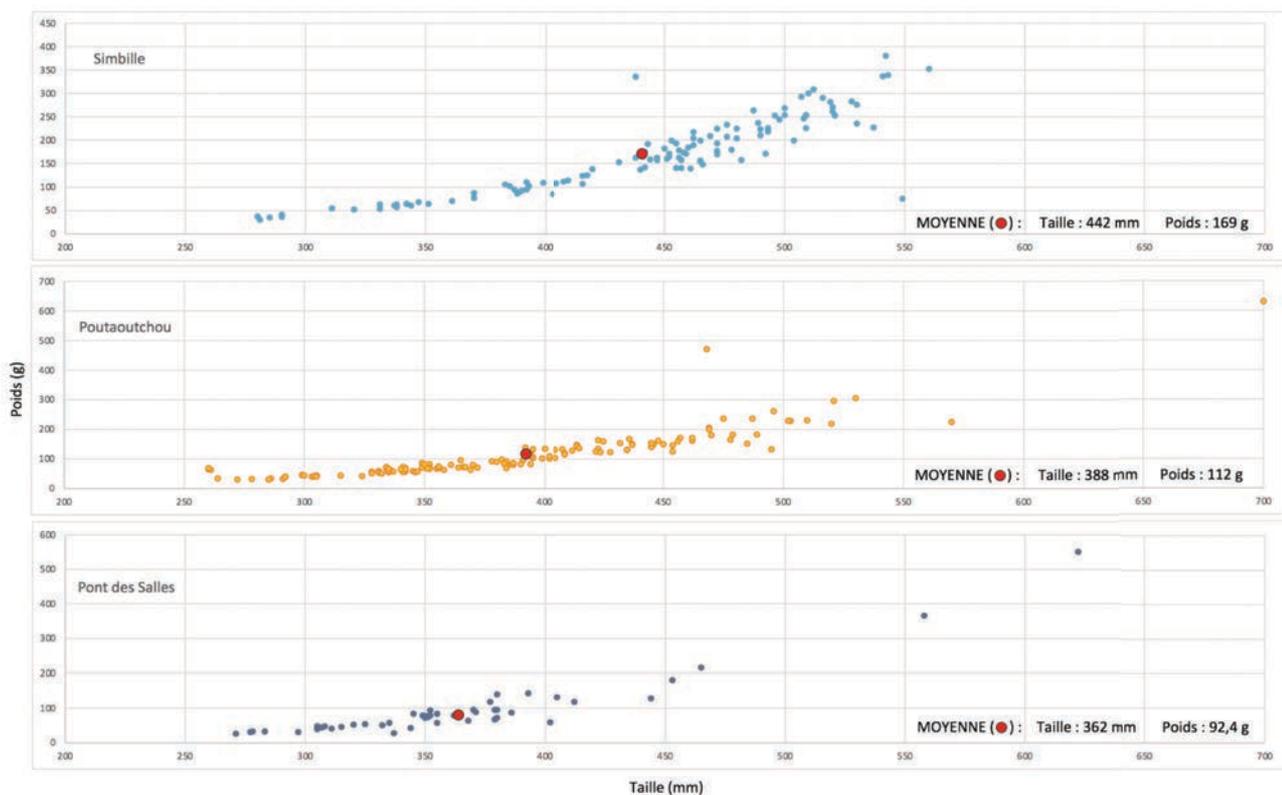


Figure 3 : Evolution du ratio taille/poids des individus capturés en 2019 sur les différentes stations de pêche

- **Tolérance au Pit-Tag et mortalité post marquage**

La mise en place d'un marquage d'individus immatures en 2019 a été réalisée en suivant les recommandations associées à ce type d'expérimentation (Baras et Philippart en 1989 recommandent que le dispositif implanté n'excède pas 2-3% du poids de l'animal).

Seules deux anguilles de stade FI ont été retrouvées mortes dans le bac de réveil, sans que des complications particulières aient pu être notées lors du marquage. Aucun dégât n'a d'ailleurs été relevé lors de leur autopsie. Le Tag a été retiré de ces individus, désinfecté soigneusement dans un bain de produit adapté (Bétadine), puis réutilisé sur deux autres individus. Ces derniers n'ont montré aucun signe de complication après l'opération. Le reste des individus marqués a retrouvé un comportement de nage normal après quelques minutes d'observation.

Les vidéos enregistrés par la FDAAPPMA 06 lors du relâcher des individus ont aussi permis de noter que l'une des anguilles au moins a expulsé son Pit-Tag. Ce phénomène est donc possible, même s'il reste tout à fait anecdotique compte tenu du fait que le diamètre de l'incision est en principe inférieur à celui du Tag.

Plusieurs individus issus des marquages de 2017 et 2018 ont été recapturés et ont montré une excellente cicatrisation au niveau du point d'implantation (*Figure 6*).



Figure 4 : Exemples de cicatrisations d'individus marqués sur la Cagne en 2017 et 2018 (© MRM)

c) Nombre d'anguilles marquées en 2019

Suite à l'évolution du protocole de marquage, 300 nouvelles anguilles ont pu être marquées avant le lancement de la saison 2019-2020 (190 FI, 83 FII, 8 FIII, 6 FV et 13 MD), en collaboration avec la FDAAPPMA 06 et les services de la DiR PACA de l'OFB.

L'espacement de 3 ans des campagnes de marquage offre une opportunité d'étudier les déplacements naturels des individus marqués au sein de leur milieu de vie, tout en supprimant les biais comportementaux éventuels (mouvements de fuite notamment) qui pourraient être induits par des opérations de type pêche électrique. Le Tracking-mobile tiendra une place prépondérante dans cette nouvelle approche.



Figure 5 : Les différents partenaires de l'étude (MRM, Fédération de pêche des Alpes Maritimes, l'Office français de la Biodiversité et EDF) au travail lors du marquage 2019.

d) Nombre total d'anguilles marquées sur la Cagne avant la saison 2019-2020 ?

Cet inventaire pouvant s'avérer rapidement complexe à appréhender pour des lecteurs extérieurs à l'étude, il convient de dresser un bilan étape par étape. Une synthèse est proposée dans le *Tableau 2* en page suivante.

Avant la campagne de marquage réalisée en Août 2019, 93 anguilles avaient déjà été marquées entre 2017 et 2018 (Rautureau & Campton., 2018 ; Perrier et al., 2019). 32 de ces 93 anguilles avaient *de façon certaine* quitté le système d'étude en 2017/2018. A ce moment-là, $93 - 32 = 61$ anguilles pouvaient donc encore être présentes dans le système d'étude.

Néanmoins, certaines anguilles ont pu dévaler sans être détectées³. Pour lever cette incertitude, une campagne de Tracking mobile a été réalisée avant le marquage 2019. **17** anguilles sur les 61 se trouvant théoriquement encore sur place ont été détectées. De fait, on ignorait alors le devenir de $61 - 17 = 44$ anguilles (elles peuvent être encore présentes mais avoir échappé à toute détection, ou avoir dévalé sans être détectées).

Lors du marquage réalisé en septembre 2019, 11 individus issus des marquages 2017 et 2018 ont aussi été recapturés. Parmi eux, **6** n'avaient pas été détectés lors du Tracking mobile (on peut donc les soustraire aux 44 anguilles dont on ignorait le devenir).

Lors du lancement de la saison 2019-2020, 300 nouvelles anguilles ont été marquées. On peut donc dresser la synthèse suivante : **300 + 17 + 6 = 323 anguilles présentes de façon certaines dans le système d'étude**, auxquelles on peut ajouter **38 anguilles potentiellement encore présentes** mais jamais détectées (elles peuvent être encore présentes, ou elles peuvent avoir dévalé sans être détectées).

Tableau 2 : Synthèse du devenir des individus marqués au moment du lancement de la saison 2019-2020 (septembre 2019)

	Total marqués	Effectif ayant dévalé de façon certaine	Effectif toujours en place en septembre 2019	Individus jamais détectés depuis leur marquage (incertitude)
2017	47	19	5 (3 détectées Tracking + 2 recapturées lors du marquage 2019)	23
2018	46	13	18 (14 détectées Tracking + 4 recapturées lors du marquage 2019)	15
2019	300	0	300	0

3.2 Détections 2019-2020

a) Détections au niveau des antennes fixes

- Un suivi interrompu involontairement cette saison suites à des dégâts de crue

La collecte de données a été incomplète sur la saison 2019-2020. En effet, à la suite de plusieurs crues particulièrement violentes, les antennes de Bugadières ont cessé de fonctionner le 23/11/2019.

Concernant le site de Pont-des-Salles, il existe une incertitude sur la fonctionnalité des antennes entre le 23/11/2019 et la fin du mois de décembre. En effet, elles ont continué à émettre jusqu'à cette date, mais elles ont été retrouvées plaquées sur la rive au mois de mars, avec une capacité de détection très faible (quelques cm).

Comme il n'est pas possible de déterminer à quelle date elles ont été plaquées sur la rive, on considérera donc que durant cette période, elles n'étaient pas en capacité de détecter des anguilles. On peut néanmoins affirmer qu'après le passage de la crue cinquantennale le 21 décembre, plus aucune des antennes de la Cagne ne fonctionnait

³ : Les antennes ont un périmètre de détection compris entre 75 et 100 cm. Or, en cas de crue, le niveau de l'eau peut excéder les capacités de détections des antennes. A ce moment-là, des anguilles peuvent donc franchir les antennes sans être détectées si elles dévalent près de la surface.

(Figure 6). Les deux sites ont été remis en service le 11/03/2020, soit environ 2 mois et demi sans possibilité de collecter des données. Ce point sera développé ultérieurement dans le rapport. De fait, il est fort probable que le nombre d'anguilles ayant réellement dévalé cette saison soit plus important que le nombre d'individus réellement détecté.

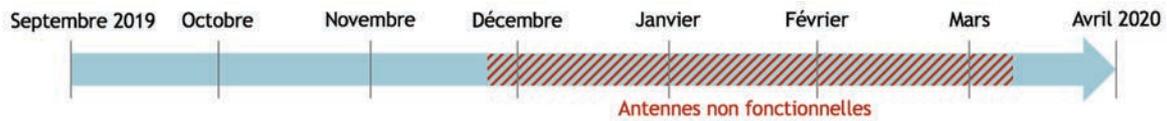


Figure 6 : Période d'interruption de fonctionnement de toutes les antennes sur la saison 2019-2020 suite aux crues de Novembre et Décembre 2019

- **Bilan des détections 2019-2020 :**

Après quelques détections en septembre sur le site le plus amont (Pont-des-Salles), la dévalaison a véritablement débuté à la mi-octobre, avec 12 anguilles détectées le 15/10/2019 sur la station amont, et 7 d'entre elles ont ensuite été détectées le même jour sur la station aval de Bugadières.

La superposition de ce premier épisode de dévalaison avec la courbe des débits montre que le début de la migration saisonnière sur la Cagne s'est produit en même temps que le premier pic de débit enregistré après l'étiage estival (Figure 7).

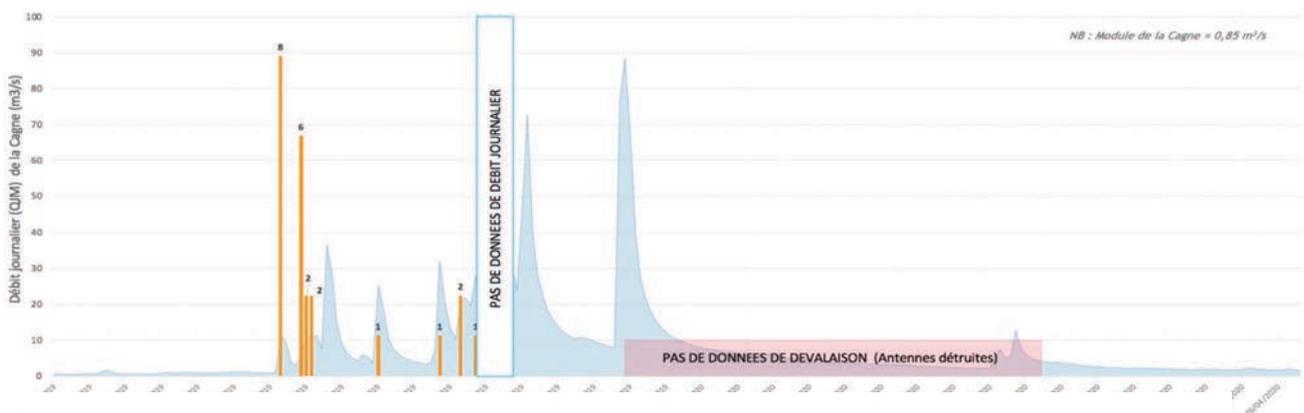


Figure 7: Chronologie des dévalaisons enregistrées sur le site de Bugadières, en lien avec les fluctuations journalières de débit de la Cagne

Un schéma récapitulatif des détections 2019-2020 est présenté ci-dessous en Figure 8. Il décrit en détail les déplacements des anguilles par rapport à leur site de marquage, les identifiants et les stades de maturation des individus, ainsi que les dates de passages aux différentes stations.

Une seconde vague de détections a ensuite débuté le 19/10/2019. A cette occasion, plusieurs anguilles qui avaient interrompu leur dévalaison en cours de route le 15 octobre ont été détectées sur le site aval de Bugadières. Cette seconde vague de dévalaison s'est étalée du 19 au 21 octobre sur la station la plus aval. Au total, ce sont 10 individus (3 de 2018 et 7 de 2019) qui ont quitté le système d'étude sur ce créneau.

Suite à cela, plusieurs autres dévalaisons ponctuelles (5 au total) ont été enregistrées tout au long du mois de novembre, en corrélation avec plusieurs pics de débit. Deux comportements de dévalaison différents ont donc pu être observés :

→ Certaines anguilles dévalent la Cagne en moins de 24h (ex : CA18_018 ou CA19_010 sur la Figure 7), voire en une heure seulement (CA19_222 et CA18_036, qui ont dévalé en l'espace d'une heure les 5 km séparant les deux stations, en plein après-midi)

→ A l'inverse, d'autres anguilles dévalent partiellement lors d'un premier coup d'eau, puis s'interrompent pour des raisons non connues, et enfin terminent de dévaler lors d'un pic de débit ultérieur (ex : CA18_028 et CA18_032 sur la Figure 7).

Enfin les dernières détections effectuées fin Novembre illustrent bien la pertinence de disposer de deux stations de suivis. Les individus ont en effet passé le site de Pont des Salles sans être détectés, mais ont pu être captés sur le site le plus aval.

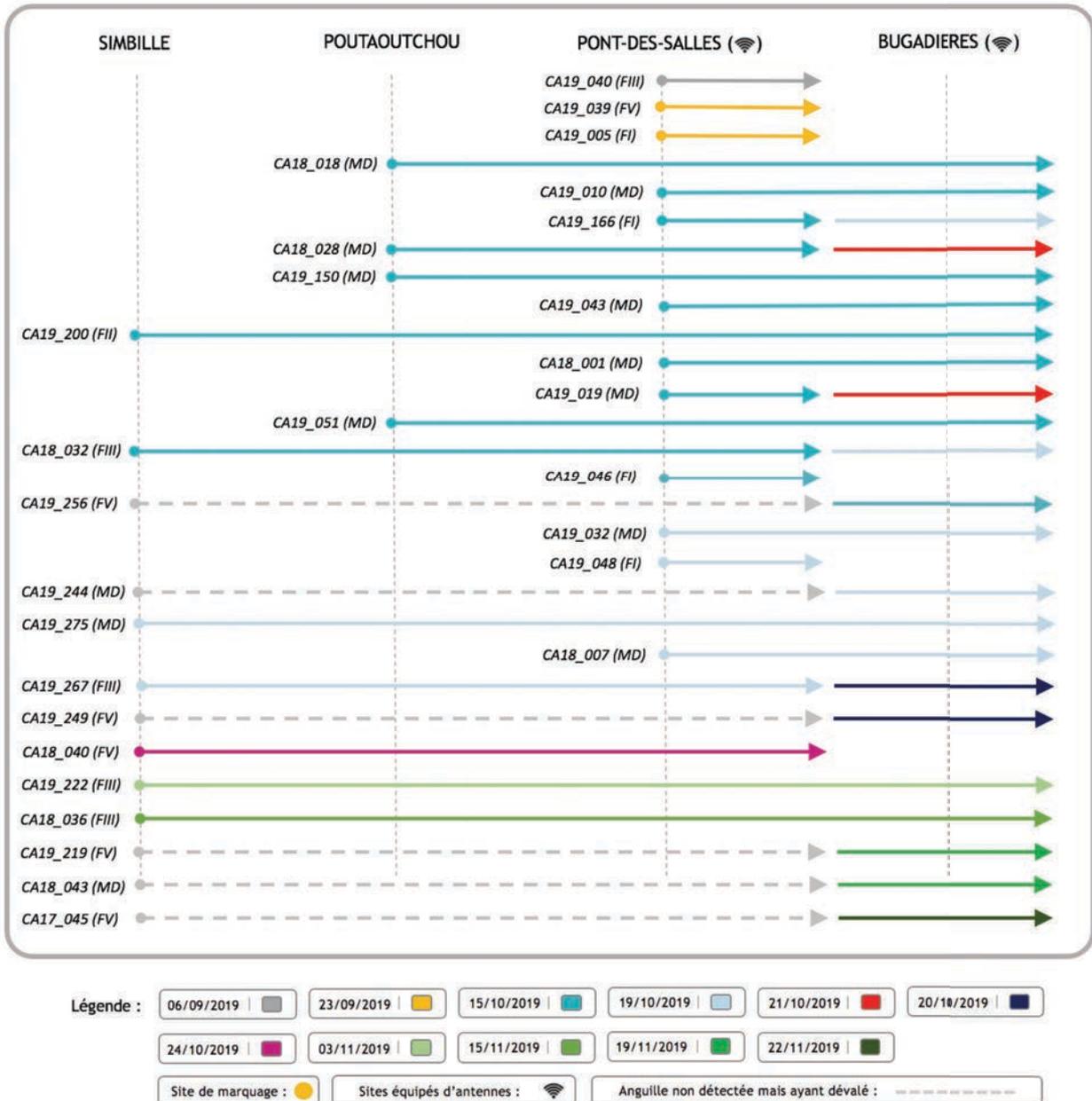


Figure 8 : Schéma des détections enregistrées en 2019-2020 sur les sites de Bugadières et Pont-des-Salles, en lien avec les sites de marquages et les stades d'argenterure

Concernant les stades d'argenture des individus détectés, Il est intéressant de noter que les détections enregistrées sur le site le plus aval (Bugadières) concernent quasi-uniquement des individus présentant des signes avancés d'argenture (stades FIII-MD-FV) (*Figure 9* ci-dessous), alors même que ces individus sont à présent minoritaires dans le système. La proportion d'individus MD est particulièrement élevée, et ce sur les deux stations.

Sur le site amont, la proportion d'individus immatures détectés est plus importante. Ce second site possède donc un double intérêt. D'une part, il permet d'estimer si des individus matures dévalent en une ou plusieurs fois lors des pics de dévalaison, mais il permet aussi de contacter régulièrement des individus immatures (pendant mais aussi en dehors de la période de dévalaison), ce qui permet de réduire l'incertitude liée au nombre d'individus encore présent dans le système.

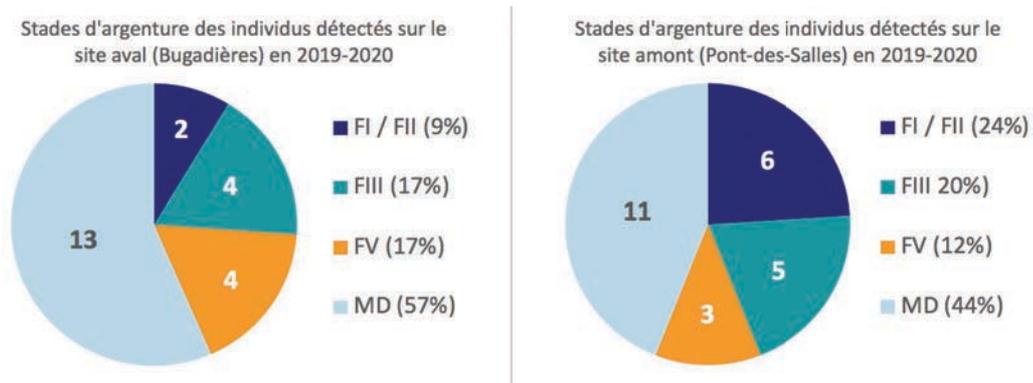


Figure 9 : Comparaison des stades d'argenture des anguilles détectées sur les stations (saison 2019-2020).

b) Les conditions de dévalaison en lien avec le nombre d'interrogations des Tags

Lorsqu'un Pit-Tag (et donc une anguille) se présente dans le champ électromagnétique généré par l'antenne, il reçoit et renvoie au maximum 10 signaux par secondes. Le nombre total de détection d'un même Pit-Tag permet donc d'évaluer s'il a été interrogé dans un certain « confort » de lecture ou s'il l'a été de façon brève, ce qui pourrait signifier un passage de l'animal très rapide ou en limite du champ de détection. Le fournisseur du dispositif RFID estime ainsi qu'un seuil minimal de 3 interrogations assure un certain confort de lecture (comm. personnelle SCIMABIO-Interface).

La *Figure 10* retranscrit le nombre de détections consécutives de chaque Pit-Tag lors de son passage dans le champ électromagnétique d'une antenne.

La quasi-totalité des anguilles détectées dépassent le seuil de confort pour a minima une antenne et un grand nombre dépassent les 10 détections. Seules trois anguilles (CA18_007 et CA19_046 à Pont des Salles, et CA18_001 à Bugadières) sont en deçà ou en limite du seuil de confort communiqué par le fabricant. Ces anguilles sont donc vraisemblablement passées très rapidement au-dessus des antennes et/ou en limite de leur champ de détection, des conditions qui correspondent à des périodes de pics de débits, en lien avec des fortes hauteurs d'eau. Les résultats illustrent la diversité des conditions de passages des anguilles au droit des antennes.

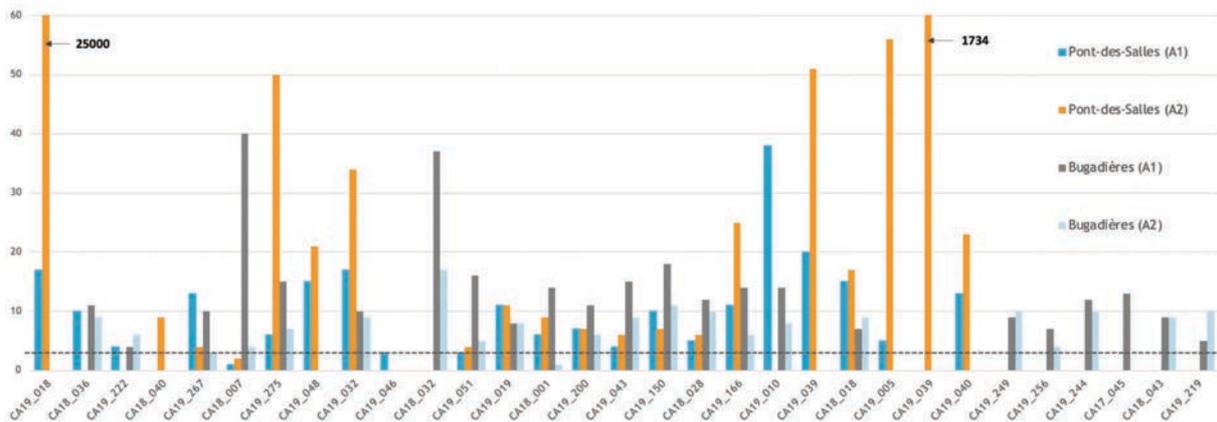


Figure 10 : Nombre d'interrogations du Pit-Tag pour chaque détection effectuée en 2019-2020

L'individu CA19_046 (individu immature de petite taille (stade FI) a été détecté lors du premier pic de débit enregistré le 15/10/2019. On peut avancer l'hypothèse que cet individu a été entraîné par l'onde de crue, en limite des capacités de détections de l'une des antennes. La crue l'a transporté sur une longue distance, puisque cette anguille a été retrouvée environ 4 km plus bas dans le cadre du Tracking Mobile de 2020, à seulement quelques dizaines de mètres en amont du second site de suivi (Bugadières).

Deux anguilles ont été détectées un très grand nombre de fois sur la deuxième antenne de Pont-des-Salles (CA19_018 et CA19_039). Elles sont restées à proximité des antennes pendant plusieurs minutes pour l'une, et plusieurs heures pour l'autre. Ce phénomène peut se révéler problématique, en masquant éventuellement le passage d'autres anguilles qui pourraient franchir l'antenne à ce moment-là.

Cette analyse confirme aussi la pertinence de dupliquer les antennes d'un même site, pour maximiser les chances de détections d'individus passant en limite du champ de détection. Ce constat va dans le sens des observations réalisées les année précédentes.

c) La fonctionnalité des antennes

Les résultats montrent globalement que les capacités de détections des antennes (environ 80-90 cm à ce moment-là) sont satisfaisantes et adaptées à la configuration du site, malgré une possible perte d'information au plus fort des épisodes de crue. L'évolution des capacités de détection des antennes au cours de la saison est détaillée dans le *Tableau 3* ci-dessous.

Tableau 3 : Evolution du range des antennes RFID en 2019-2020 :

		Au lancement de la saison 2019-2020	Après les crues de décembre 2019	Après réparation (mi-Mars 2020)	Mesure réalisée mi-juin
Bugadières (site aval)	Antenne 1	75 cm	0 (détruite)	85 cm	85 cm
	Antenne 2	95-100 cm	0 (détruite)	85 cm	85 cm
Pont-des-Salles (site amont)	Antenne 1	80 cm	5 cm (endommagée)	100 cm	80 cm
	Antenne 2	80cm	5 cm (endommagée)	95 cm	60 cm

Ces observations ne permettent malheureusement pas de visualiser les conditions de passage des anguilles marquées qui auraient potentiellement pu être emportées lors de la crue cinquantennale qui a détruit les antennes (*Figure 11*). Il est néanmoins cohérent de supposer que plusieurs passages en limite des seuils de confort auraient pu être constatés durant ces épisodes cévenols.



Figure 11 : L'Antenne 1 de Bugadières avant et après réparation. L'ensemble du dispositif a été remplacé

Sur le 242 jours que comptait cette saison de suivi, on estime que les antennes ont été fonctionnelles (c'est à dire en capacité de détecter des anguilles) sur une période de 136 jours (soit environ 56 % du temps). Il s'agit de la plus basse efficacité de fonctionnement constatée depuis le lancement du suivi. Elle s'explique par les conditions hydrologiques exceptionnelles rencontrées cette saison (seuils de crue vicennale et cinquantennale dépassés), pour lesquelles il n'est pas possible de certifier la résistance d'un dispositif RFID type *pass-over*, implanté dans le lit d'un cours d'eau (comm. pers. SCIMABIO Interface)

En dépit de ces dégâts inévitables, le RFID reste néanmoins une technologie particulièrement efficace pour étudier de façon non invasive le comportement de dévalaison, comme le montrent les résultats obtenus ces deux dernières saisons.

Les prospections mobiles de 2020 Quatre mois après la fin officielle de la saison 2019-2020, et environ un an après le dernier marquage, une opération de Tracking mobile a été menée en collaboration avec le Service départemental 06 de l'OFB (*Figure 12*). Suite à la destruction des antennes au mois de décembre 2019, de nombreuses interrogations demeuraient sur le nombre d'anguilles qui avaient potentiellement pu dévaler ou être emportées lors de cet évènement exceptionnellement violent.

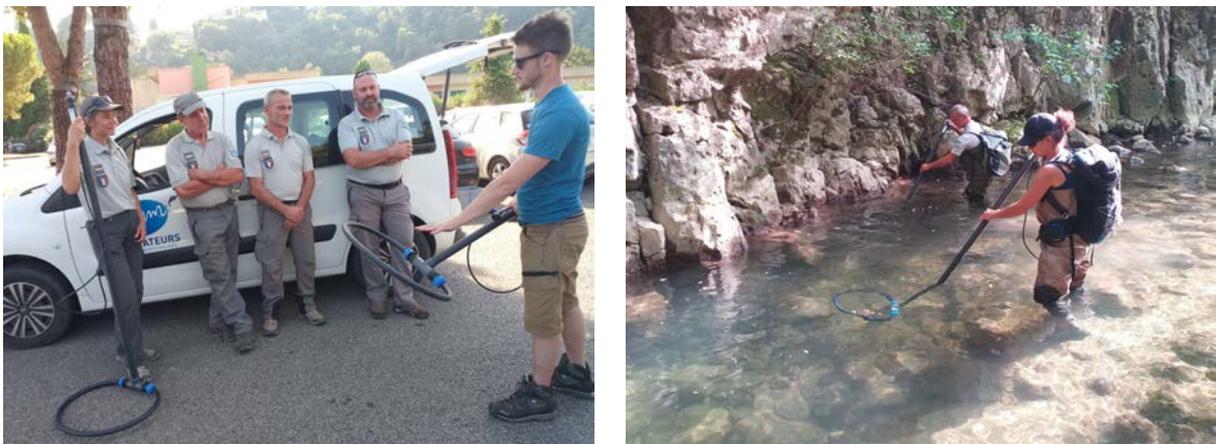


Figure 12 : L'équipe technique de l'Association MRM et le Service départemental des Alpes-Maritimes de l'OFB à pied d'œuvre sur la Cagne lors du Tracking 2020 (© MRM, 2020)

Cette campagne a permis de détecter 131 anguilles, majoritairement issues du marquage 2019 (seuls 4 anguilles de 2018 et une de 2017 ont été détectées). Les tests réalisés par le fabricant des antennes estiment que les antennes mobiles permettent de capter environ 60% des individus marqué sur un linéaire d'étude (comm. pers. SCIMABIO Interface). Les détections sont illustrées sur la *Figure 13* ci-contre.

Si l'on se fie à ce chiffre, on peut donc supposer qu'il resterait environ 218 individus marqués sur la Cagne. Ces hypothèses devront néanmoins être considérées avec une extrême précaution.

La deuxième session de Tracking 2020, planifiée à l'origine au mois de Novembre, a dû être annulée en raison du confinement liée à l'épidémie de Covid-19.

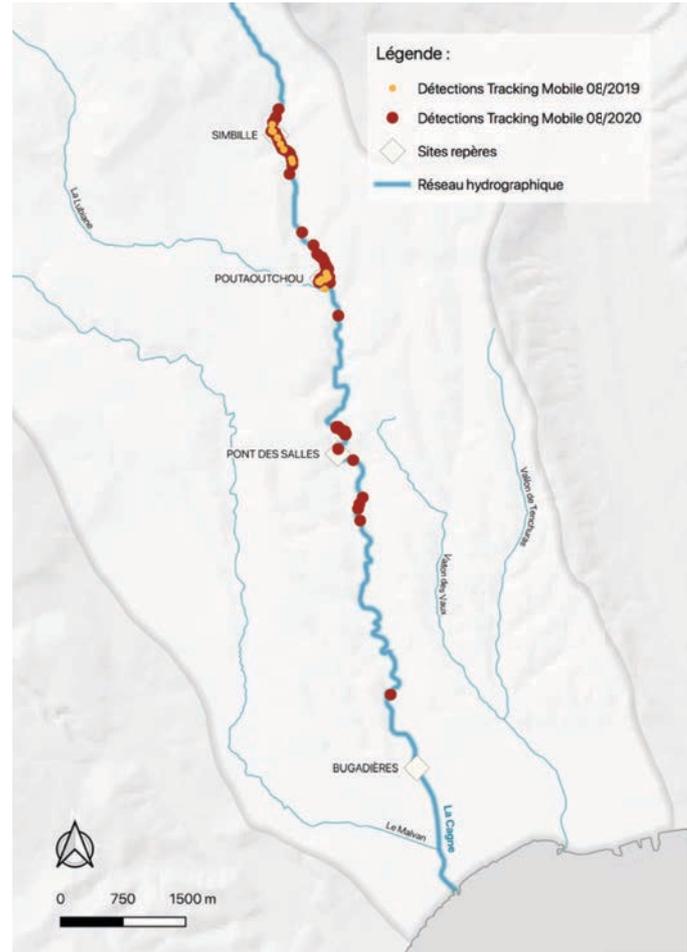


Figure 13 : Détections d'anguilles via le Tracking Mobile

Plus de 95 % des individus retrouvés lors de ce Tracking 2020 sont issus des marquages réalisés en 2019. Ce sont quasi uniquement des individus de stade immatures FI ou FII. Seuls 3 individus de stades dévalants (2 MD et 1 FV) issus des marquages 2019 ont pu être recontactés. Quatre autres individus détectés proviennent du lot marqué en 2018, et 1 autre de celui de 2017.

Les sessions de Tracking réalisées en 2019 et 2020 ont permis d'obtenir des informations sur le devenir des individus après leur marquage :

→ Il est d'abord intéressant de constater qu'en dehors des mouvements liés à la dévalaison, les individus ont très peu bougé depuis leur marquage. En effet, tous les individus détectés l'ont été à proximité de leur site de marquage, en 2019 comme en 2020.

→ Trois individus ont été détectés à la fois par le Tracking de 2019 et par celui de 2020. Deux d'entre eux se sont déplacés de 30 et 230m vers l'amont entre 2019 et 2020, et le troisième a été détecté 1500m en aval de sa dernière position connue en 2019. Ce dernier s'est vraisemblablement déplacé lors d'un pic de débit.

Le *Tableau 4* dresse un rapide bilan du nombre total d'anguilles retrouvé lors du Tracking 2020. Il est intéressant de noter le faible nombre d'individus argentés (stades MD et FIV / FV) retrouvés lors de ces prospections.

Tableau 4 : Stades d'argenture des individus recontactés lors des Tracking-mobiles de 2019 et 2020

Année du marquage		<i>FI</i>	<i>FII</i>	<i>FIII</i>	<i>FIV</i>	<i>FV</i>	<i>MD</i>
2017	<i>Anguilles potentiellement présentes</i>	-	-	5	1	8	13
	<i>Retrouvées en 2020</i>	-	-	0	0	1	0
2018	<i>Anguilles potentiellement présentes</i>	-	-	13	0	5	7
	<i>Retrouvées en 2020</i>	-	-	3	-	0	1
2019	<i>Anguilles potentiellement présentes</i>	188	82	6	0	3	5
	<i>Retrouvées en 2020</i>	81	38	3	-	1	2

La forte concentration d'anguilles observée autour des sites de marquages par rapport au reste du linéaire permet de dresser l'hypothèse que si des individus argentés étaient encore présents en quantité significative, ils auraient dû être détectés sur ces portions de linéaire. Cette observation conforte l'hypothèse qu'une partie d'entre eux au moins a pu dévaler sans être détectée.

Il est toutefois possible qu'un certain nombre d'anguilles marquées aient pu élire domicile dans l'une des zones profondes qui ponctuent le linéaire de prospection de la Cagne, et qui ne peuvent pas être prospectées en Tracking mobile.

Enfin, il est intéressant de s'attarder sur le devenir des 6 anguilles ayant uniquement été détectées sur le site amont de Pont-des-Salles. Les suivis RFID fixes et mobiles réalisés au début de la nouvelle saison 2020-2021 ont permis d'apporter de précieuses informations sur le devenir de ces 6 individus :

- CA19_040 (FIII) a été détectée à mi-chemin entre les deux stations de suivi lors du Tracking 2020. De même, CA19_005 (FI) et CA19_046 (FI) ont été détectées à quelques centaines de mètres au-dessus du site de Bugadières lors du Tracking 2020. Elles n'ont pas été détectées depuis. On peut donc supposer qu'elles sont toujours dans le système d'étude.
- CA19_039 (FV) et CA19_048 (FI) ont quant à elles retraversé les antennes fixes de Pont-des-Salles environ 1 an après leur détection sur cette même station. Cette observation inédite montre que des individus argentés peuvent choisir de remonter le cours d'eau après avoir en partie dévalé.
- Seule CA18_040 (FV) n'a jamais été re-détectée. Étant un individu de stade avancé (FV) on peut raisonnablement supposer que cette anguille mature a dévalé durant la période où les antennes étaient hors-services. Il n'est cependant pas exclu qu'elle ait été manquée lors du Tracking-mobile.

3.3 L'influence des paramètres environnementaux sur la dévalaison

a) Influence du débit et de la pluviométrie

La réponse de l'hydrogramme de la Cagne suite aux précipitations survenues cette saison est typique d'un bassin méditerranéen de faible envergure. L'évolution du débit en fonction des précipitations journalières est présentée en *Figure 14*.

Le premier événement hydrologique saisonnier majeur (dépassement des 30 m³/s) est survenu après la chute de 40 mm de pluie le 14/10/2019. Cet épisode a entraîné la plus importante détection d'anguilles de la saison, avec 8 individus détectés ce jour-là sur le site de Bugadières.

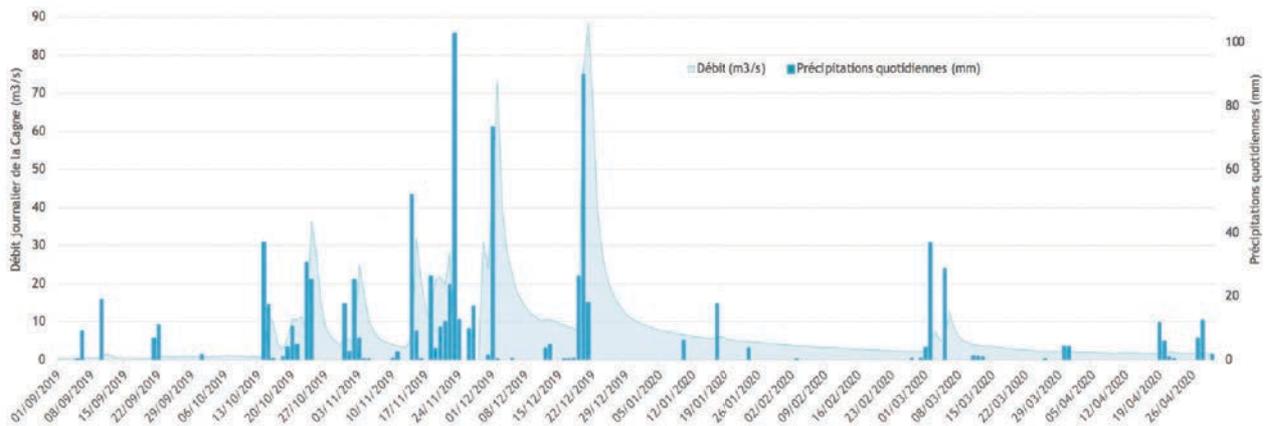


Figure 14 : Evolution de l'hydrogramme de la Cagne en fonction des précipitations journalières.

Pour rappel, lors de la dernière saison (2018-2019), les 12 premières détections s'étaient enchaînées lors des deux premières montées en charge du cours d'eau en octobre 2018. Les résultats étaient similaires lors de la première saison de suivi (2017-2018), avec 15 anguilles détectées lors d'un premier coup d'eau très tardif (décembre 2017).

Après trois saisons de suivis, les détections d'anguilles dévalantes semblent principalement concentrées au moment du premier pic de débit automnal, marqué par un fort différentiel par rapport aux débits d'étiage enregistrés jusque-là. Les pics de débits suivants engendrent également de la dévalaison, mais de façon plus ponctuelle. Cette observation est en accord avec celles des saisons précédentes, ainsi qu'avec les autres études menées récemment sur le territoire français, qui mettent en avant le rôle d'un différentiel de débit, en synergie avec des changements environnementaux soudains, dans le déclenchement de la dévalaison.

b) Influence de la luminosité

L'anguille adopte un comportement lucifuge. De fait, l'intensité migratoire serait maximale durant la première partie de la nuit (Tesch, 1977), même si une turbidité élevée aurait tendance à lisser les écarts de captures entre le jour et la nuit (Behrmann-Godel et Beckmann, 2003). L'activité migratoire serait donc influencée par l'intensité lumineuse perçue par l'anguille dans son milieu.

Sur la Cagne, l'analyse des passages enregistrés par créneaux horaires montre que depuis le lancement du suivi, plus de 50 % de l'activité des anguilles a été observée durant la première partie de la nuit entre 18 h et minuit. On observe néanmoins une activité non négligeable au cours de l'après-midi, particulièrement entre 15 et 18h, à un moment où la luminosité commence déjà à décliner sur la période Automne-Hiver.

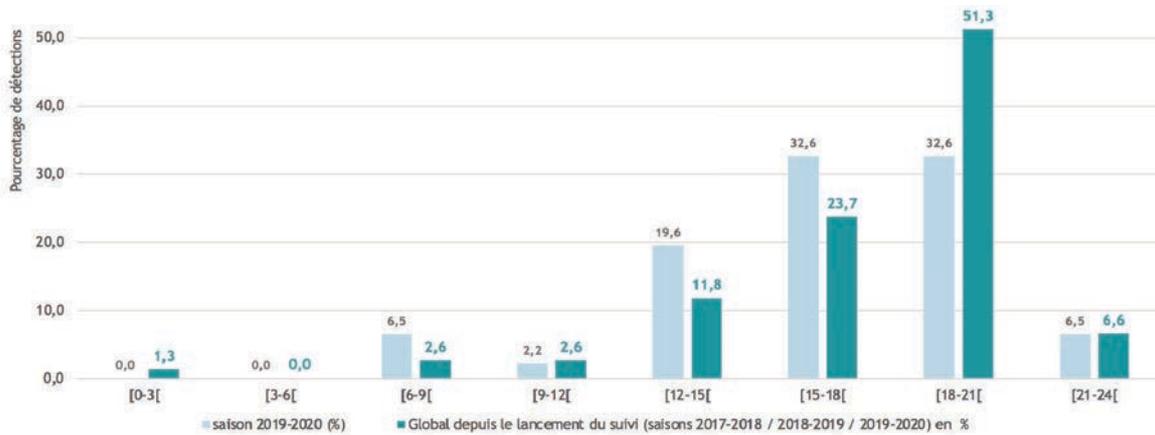


Figure 15 : Répartition des détections tous sites confondus en fonction de la tranche horaire

Ces observations semblent montrer que l'activité migratoire des anguilles débute dans le courant de l'après-midi, puis augmente au fur et à mesure que l'intensité lumineuse décroît, pour atteindre un pic entre le coucher du soleil et l'apparition de la lune (plus de 60 % des captures entre 17h et minuit).

L'absence de détections en pleine nuit laisse également supposer que, plus que l'intensité lumineuse en elle-même, c'est l'évolution rapide de la luminosité (probablement en lien avec la variation d'autres facteurs abiotiques) sur une courte période qui pourrait intervenir dans la stimulation du comportement de dévalaison.

Ces observations sont globalement en cohérence avec les études menées précédemment sur d'autres bassins (Vollestad et al, 1986 in Acou et al, 2009, Trancart et al., 2013).

c) Influence de la température sur la dévalaison

Durant la saison 2019-2020, une sonde type HOBO implantée au niveau du site de Pont-des-Salles a permis d'effectuer des relevés de températures tous les quart-d'heure entre le 01 septembre 2019 et le 30 avril 2020 (Figure 16 ci-dessous).

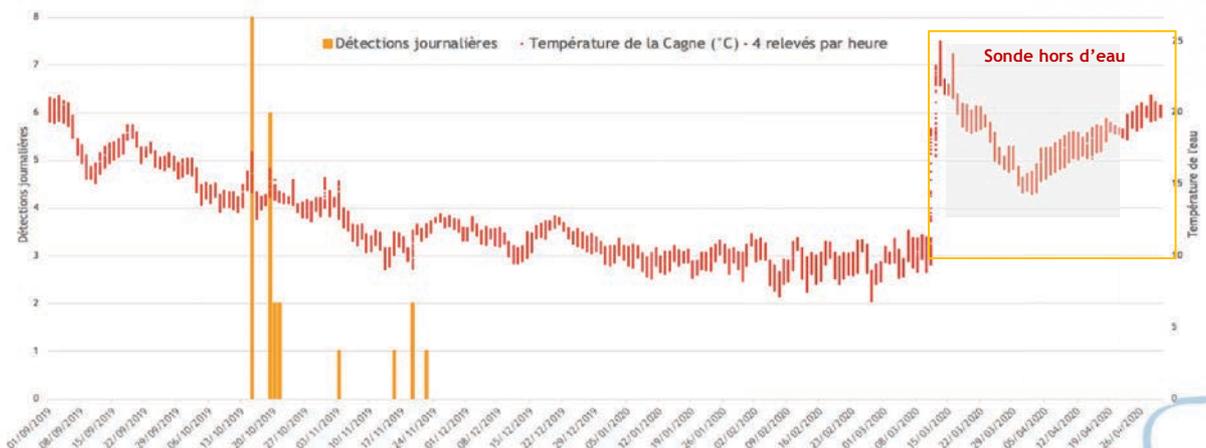


Figure 16 : Fluctuations horaire de la température de l'eau durant la saison de dévalaison 2019-2020

Cette superposition des données permet d'observer que les mouvements de dévalaison surviennent lorsque de forts écarts de températures sont constatés au cours d'une même journée (15 et 19 octobre).

Partant de ce constat, une analyse plus fine des deux principaux pics de dévalaison observée cette saison a été réalisée. Les fluctuations de température observées durant les journées du 15/10/2019 et du 19/10/2019 sont présentées dans la *Figure 17* ci-dessous.



Figure 17 : Focus sur l'évolution horaire de la température au moment des pics de dévalaisons 2019-2020

On constate que dans les deux cas, les détections sur le site le plus aval ont lieu au cours d'une période où la température de l'eau baisse fortement, supposément en lien avec l'augmentation des précipitations, qui entraîne la hausse du débit d'une part, et la baisse de la luminosité globale d'autre part.

En conclusion, et en accord avec les dernières observations réalisées sur d'autres bassins en France (Acou et al., 2009 ; Der Mikaelian, 2015 ; Besson et al., 2016) les résultats obtenus sur la Cagne semblent pour l'heure conforter l'hypothèse selon laquelle la dévalaison serait entre autres stimulée par l'action synergique de variations importantes et subites du débit, de la luminosité, et de la température de l'eau, étroitement corrélées avec l'apparition de fortes précipitations durant la période automnale.

A ce titre, sur la Cagne en 2020, les variations des paramètres environnementaux semblent particulièrement brusques lors des toutes premières crues automnales, qui provoquent des modifications qui tranchent avec les conditions estivales. Ces premières conclusions sont néanmoins à considérer avec précaution. Elles devront être confirmées par des futures analyses pluriannuelles.

4 Perspectives et retour d'expérience

4.1 Des données sur la croissance et les déplacements des anguilles dans le système

L'utilisation combinée des antennes fixes et du Tracking-mobile, associé au marquage d'individus de stades FI et FII et aux pêches de suivi conduites par la FDAAPPMA 06, a permis d'obtenir de nouvelles informations sur les déplacements et la croissance des anguilles marquées de la Cagne :

→ Le Tracking mobile s'est d'ailleurs révélé primordial, puisqu'il a permis d'observer que les individus immatures marqués en 2019 étaient particulièrement sédentaires (déplacements très localisés entre 2019 et 2020). Ceci permet en partie d'expliquer qu'ils aient été détectés en plus grand nombre par les antennes fixes de Pont des Salles.

→ Les détections d'anguilles marquées sur les antennes fixes de Pont-des-Salles (site amont) apportent également des informations de présence et de déplacements. En effet, si l'anguille est détectée successivement par les deux antennes d'un même site, il est possible de déterminer si elle se déplace vers l'amont ou vers l'aval. Deux types de déplacements peuvent donc être distingués :

- Des déplacements liés à l'activité quotidienne des anguilles (détections sans lien avec des pics de débits). Quelques exemples :
 - Cette saison, 5 individus immatures (stades FI et FII) ont été détectés à Pont-des-Salles, dont certains plusieurs fois, ce qui traduit des comportements d'aller-retours à proximité des antennes, sans lien avec la dévalaison.
 - Après s'être déplacé lors d'une crue au mois d'octobre, une anguille marquée (CA19_048) a remonté le cours de la Cagne. Elle a été re-détectée en train de remonter vers l'amont environ un an après sa première détection, alors qu'elle n'avait pas été détectée via le Tracking-mobile.
- Des déplacements en lien avec les crues survenues les 15 et du 19 octobre 2019. Deux individus ont d'ailleurs été transportés jusqu'aux antennes de Bugadières par ces deux crues (CA19_200 et CA19_166). Trois autres (CA19_018, CA19_046 et CA19_005) ont été retrouvés entre les deux stations de suivi fixe lors du Tracking Mobile.

Concernant la croissance des individus, quelques données d'évolution de taille ont pu être collectées par la FDAAPPMA 06. Ces éléments seront publiés après analyse, dans le cadre d'une future synthèse pluriannuelle.

4.2 Quelle approche pour identifier clairement les périodes clefs de dévalaison ?

Certaines études récentes (Trancart et *al.*, 2013 ; Besson et *al.*, 2016), traitant de la dévalaison sur d'autres bassins, avancent l'hypothèse que plus que le débit en lui-même, ce serait la forte variation de plusieurs paramètres abiotiques sur une période très courte qui déclencherait la dévalaison chez des individus ayant subi leur argenture.

Ainsi, les débits observés sur la Cagne ont été convertis en « deltas » de débits (*Figure 18*) : chaque débit journalier a été soustrait à celui du lendemain. Cette approche permet de faire ressortir les fortes variations journalières de débit sous forme de différentiels.

Les pics de détections semblent corrélés à de très fortes variations journalières de débit. On note qu'à la suite d'une longue période d'étiage, le premier différentiel de débit qui survient après l'étiage semble particulièrement stimulant pour la dévalaison.



Figure 18 : Corrélation entre le déclenchement de la dévalaison et l'apparition de très forts différentiels de débits sur la Cagne (approche préliminaire)

Pour l'heure, du fait du peu de nombre de dévalaison observées, il n'est pas possible de tirer des conclusions viables sur ce point. Des analyses supplémentaires lors des prochaines saisons de dévalaison permettront ou non de corroborer ces premières observations. Cette approche sera éventuellement développée dans le cadre d'un bilan pluriannuel.

4.3 Quelle efficacité de la technologie RFID après trois saisons de suivi ?

Compte tenu de l'étendue de la période de dysfonctionnement cette saison, il n'est pas pertinent de chercher à déterminer avec précision l'efficacité des différentes antennes. Les données récoltées peuvent néanmoins être mises à profit pour compléter les données pluriannuelles déjà disponibles, et ainsi dresser un premier bilan de l'efficacité de détection globale des antennes fixes sur la Cagne depuis le lancement de l'étude.

Au total, 393 anguilles ont été marquées depuis le lancement du suivi. Tous sites confondus, les antennes fixes ont détecté au total 69 anguilles différentes (17 %) depuis 2017 :

- Le site de Bugadières (aval) a permis de détecter 55 anguilles différentes depuis le lancement de l'étude, et le site de Pont-des-Salles (installé 5 km en amont un an plus tard) a quant à lui permis d'en détecter 44.
- Au total, 29 anguilles ont été détectées sur les deux sites.
- Plus de 95 % des individus détectés sur le site de Bugadières correspondent à des stades avancés, susceptibles de dévaler (FIII / FV / MD). Cette proportion d'individus chute à 70% pour le site amont.

Le positionnement actuel des antennes de Bugadières se révèle bien adapté aux objectifs de l'étude. Celui des antennes de Pont-des-Salles permet d'obtenir un supplément d'information pertinent (vitesses et modalités de dévalaison), mais permet de réduire l'incertitude liée au nombre d'anguilles encore présentes dans le système, via la détection d'anguilles immatures hors période de crues.

Enfin, si l'on prend en compte les deux sessions de Tracking mobiles réalisées en 2019 et 2020, on atteint un total de 202 anguilles différentes (soit 51 %) ayant été détectées d'une façon ou d'une autre par un dispositif RFID depuis le lancement de l'étude.

L'utilisation combinée des antennes fixes et portatives permet de se rapprocher de l'efficacité de détection communiquée par le fabricant (évaluée à environ 60 % (comm. pers. SCIMABIO Interface)), malgré les dysfonctionnements survenus cette saison.

La technologie RFID se révèle donc particulièrement bien adaptée au suivi de la dévalaison sur la Cagne, et les moyens engagés doivent être pérennisés pour renforcer la robustesse des données obtenues.

Conclusion

La mise en place d'un suivi de la dévalaison sur la Cagne *via* la technologie RFID-HDX a permis d'obtenir des premiers retours d'expérience encourageants depuis trois ans, tant au niveau des résultats que de la pertinence d'utiliser le RFID pour un tel suivi.

Les trois saisons de dévalaison étudiées ont suivi des logiques similaires, avec un premier pic de dévalaison systématiquement enregistré lors des premiers coups d'eau saisonniers. Il est intéressant de noter que la période à laquelle survient ce premier coup d'eau (automne en 2018 et 2019, ou hiver en 2017) n'a pas eu d'impact sur le schéma observé. Au cours de la saison 2019-2020, les antennes installées au niveau du site le plus aval (Bugadières) ont détecté un total de 23 anguilles, dont 19 présentent des stades d'argenteure suffisamment avancés pour supposer qu'elles aient rejoint la mer.

L'ajout du second site de suivi (Pont-des-Salles) en 2018 apporte une plus-value incontestable. Ce site permet non seulement de déterminer les modalités de dévalaison des anguilles, mais permet aussi de détecter des individus qui ne sont pas nécessairement en train de dévaler. Il permet donc de réduire l'incertitude liées au nombre d'anguilles encore présentes dans le système d'étude. 6 anguilles ont ainsi été détectées exclusivement sur ce site amont durant la saison 2019-2020.

Au cours de la saison 2019-2020, les premières hausses de débit observées en octobre ont engendré l'essentiel de l'activité migratoire enregistrée cette saison. Entre 50 et 88 anguilles étaient susceptibles de dévaler au lancement de la saison. Avec 19 anguilles dévalantes détectées, ce sont *entre 20 et 30 %* des individus potentiellement « détectables » qui ont effectivement quitté le système. Toutefois, les dégâts importants subis par les antennes à la fin du mois de décembre ont empêché la détection d'anguilles pendant environ 3 mois. Du fait des débits exceptionnels observés sur cette période, il est raisonnable de supposer qu'un nombre non négligeable d'anguilles ont pu dévaler sans être détectées...

La campagne de Tracking mobile conduite en Août 2020 a permis de lever une partie de l'incertitude concernant ces dévalaisons potentiellement passées inaperçues, ou tout du moins de formuler certaines hypothèses. 131 anguilles ont été retrouvées durant le Tracking, en majorité des individus immatures (stades FI et FII) issus des marquages 2019.

La quasi-absence d'individus susceptibles de dévaler (stades FIII, FV et MD) parmi les détections permet de conforter l'hypothèse que des dévalaisons ont été manquées lors de la crue cinquantennale de décembre 2019. Il faut néanmoins rappeler que le Tracking ne peut pas détecter 100 % des individus présents, notamment en raison de la topographie parfois très abrupte de la Cagne, qui empêche de prospecter la totalité du linéaire.

Les résultats vont dans le sens des postulats figurant dans la bibliographie, avec un départ des anguilles argentées corrélé avec les premières crues d'automne. Compte tenu des faibles effectifs détectés, il est encore difficile de caractériser l'intensité migratoire. Il semble néanmoins que parmi les différentes variables environnementales, la pluviométrie soit susceptible de jouer un rôle primordial, dans la mesure où elle va influencer sur tous les autres paramètres (débit, luminosité, température).

L'acquisition de chroniques de données plus importantes sur un nombre d'individus plus élevé s'avèrera indispensable au renforcement des connaissances et à la validation de ces tendances.

PARTIE 2 : CARACTERISATION DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES CÔTIERS DE GRANDE ENVERGURE

1 Contexte

L'un des objectifs du PLAGEPOMI 2016-2021 est d'acquérir des connaissances sur le comportement de dévalaison de l'Anguille européenne sur les côtières méditerranéens. Outre l'aspect RFID sur la Cagne, qui fournit des informations sur les petits côtières, l'atteinte de cet objectif concerne aussi les côtières de plus grande envergure, au fonctionnement plus complexe.

Des investigations conduites en 2013 sur l'Aude par l'ONEMA avaient en effet suggéré qu'il était peu probable que la dévalaison de l'anguille européenne s'opère dans les mêmes conditions que celles décrites sur la façade atlantique (Dougados, 2013).

L'étude de la dévalaison sur ces grands côtières méditerranéens est donc importante pour favoriser la mise en place de mesures de gestion adaptées, et notamment pour minimiser l'impact des aménagement hydroélectriques durant cette phase critique du cycle de vie de l'espèce (Campton et al., 2013).

En raison des contraintes rencontrées en 2016 et 2017 pour mettre en place une expérimentation *in situ* sur le Var, l'association MRM a aujourd'hui tourné ses investigations vers une analyse comparative du fonctionnement hydrologique de plusieurs grands côtières méditerranéens, en vue d'identifier les périodes théoriques de dévalaison de l'Anguille européenne. Les fleuves pressentis sont le Var (qui possède de très forts enjeux en termes d'hydroélectricité), l'Hérault, le Tech, l'Aude, l'Orb et le Tavignano.

Les investigations réalisées l'an dernier ont permis de proposer plusieurs critères de fonctionnement hydrologique, qui pourraient être déterminants dans l'accomplissement de la dévalaison, et par conséquent être utilisés comme points de comparaison pour distinguer d'éventuelles analogies de fonctionnement entre certains côtières.

Les objectifs globaux de cette démarche sont les suivants :

- 1) Déterminer les périodes critiques où la dévalaison est susceptible de survenir sur les différents fleuves côtiers et leurs tributaires, en se basant sur les analyses menées en 2019, ainsi que sur la bibliographie et sur les expérimentations conduites sur la Cagne.
- 2) A moyen terme, identifier des fleuves où la dévalaison est susceptible de se dérouler dans des conditions hydrologiques similaires au fleuve Var, et pourquoi pas identifier un axe abordable d'un point de vue méthodologique pour du suivi par télémétrie. Une éventuelle étude comportementale pourra alors être envisagée dans ce cas de figure.

Les analyses étant susceptibles de mobiliser une quantité importante de données (nombreux côtières à étudier, multitude de stations hydrométriques, nombreuses années de données à trier et valider, etc.), il a été décidé de continuer à travailler sur les deux grands fleuves côtiers déjà étudiés l'an passé, à savoir le Var et l'Hérault (Perrier et Campton, 2019), qui présentent certaines caractéristiques proches en termes de surface de bassin et de module notamment (2 820 km² - 49,3 m³/s à Nice pour le Var, 2 582 km² - 43,7 m³/s à Agde pour l'Hérault). Ces deux bassins disposent également de plusieurs stations hydrométriques réparties sur les tributaires et sur le cours principal, susceptibles de fournir des données sur une longue période.

2 Méthode

Le retour d'expérience des premières investigations menées l'an dernier a clairement montré que la caractérisation du fonctionnement hydrologique des fleuves côtiers de grande envergure nécessite la mise en place d'une démarche standardisée, déclinable de façon identique sur chacun des fleuves que l'on souhaite étudier.

2.1 Rappels des avancées et de problématiques soulevées

Les premières expérimentations conduites sur le Var et l'Hérault la saison précédente ont permis de proposer plusieurs critères de caractérisation du fonctionnement hydrologique d'un grand fleuve côtier : cohérence amont-aval des débits/Contribution des affluents aux crues des stations aval/Nombre de crues par saison/caractéristiques hydrologiques des premières crues automnales (Perrier et *al.*, 2019). Ces différents critères avaient ensuite été étudiés en première approche, pour discerner des grandes tendances de fonctionnement des deux grands fleuves côtiers évoqués précédemment.

Malgré des premiers résultats encourageants, plusieurs problématiques sont néanmoins ressorties de ces premières analyses. Il est apparu nécessaire de les résoudre avant de pousser plus loin l'analyse du fonctionnement hydrologique en tant que tel.

→ Le caractère très chronophage de la recherche, du tri/validation, du traitement, de la bancarisation, de la mise en forme et de l'analyse des données (regroupement de 30 saisons de données pour 3 stations d'un fleuve côtier, ainsi que de plusieurs affluents, à répéter sur plusieurs bassins hydrographiques).

→ La difficulté à trouver une méthode standardisée efficace pour arrêter une **valeur seuil de débit** permettant de définir un événement hydrologique comme une crue. Pour rappel, faute de solution technique plus appropriée, la valeur seuil permettant de définir un événement comme une crue a été fixée par défaut à 2 fois la valeur du module de la station étudiée.

Le retour d'expérience des analyses réalisées sur le Var et l'Hérault a montré que la valeur seuil de **2x le module** présente l'avantage d'être suffisamment faible pour prendre en compte un grand nombre d'événements. Toutefois, cette approche reste critiquable, car elle résulte d'un choix subjectif, ne reposant sur aucune donnée scientifique validée. Il convient donc d'argumenter le maintien de cette valeur en vue de sa validation pour des analyses ultérieures.

2.2 Arguments en faveur du maintien de la méthode « 2x le module »

En prélude à toute analyse hydrologique complémentaire de celles déjà réalisées, il convient de définir très clairement la notion de « *crue* » et les débits pouvant y être associés. En effet, si ce terme est familier, il s'avère en fait assez délicat de fixer un seuil à partir duquel une hausse de débit peut être caractérisée de « *crue* ».

Il est pourtant primordial de définir cette notion avec précision, car les crues qui ressortiront des analyses vont potentiellement conditionner le déclenchement de la dévalaison.

D'un point de vue biologique, les connaissances actuelles (Durif et al., 2003, Vollestad, 1986, Feunteun, 2012 ; Acou et al., 2009 etc.) tendent à considérer que ces phénomènes de « crue » vont jouer un rôle primordial dans le déclenchement de la migration de dévalaison.

La problématique peut être formulée de la façon suivante : *Pour une station hydrologique donnée, une hausse de débit inférieure au seuil de crue biennale peut-elle tout de même être considérée comme une crue, et est-elle susceptible d'engendrer de la dévalaison ?* Ce cadrage est fondamental, et conditionne la pertinence des résultats qui seront obtenus par la suite.

- **Le retour d'expérience de la Cagne**

Les expériences conduites sur la Cagne ont permis d'observer que de la dévalaison peut survenir, même lorsque les pics de débits sont très inférieurs au seuil de crue biennale (20 m³/s) :

- Saison 2017-2018 : dévalaisons enregistrées lors d'un unique pic de débit à 30 m³/s
- Saison 2018-2019 : dévalaisons enregistrées lors de pics de débits de 2 à 6 m³/s
- Saison 2019-2020 : dévalaisons enregistrées lors de pics de débits de 10 à 20 m³/s

Ce retour d'expérience permet de mettre en avant la nécessité de rabaisser le seuil permettant de considérer un événement hydrologique comme une crue. En effet, si l'on se limite au seuil de crue biennale (valeur de crue minimale donnée via la méthode de Gumbel) pour identifier des fenêtres théoriques de dévalaison, certaines périodes propices à la migration pourraient *a priori* être occultées.

- **La nécessité de mettre en place une terminologie précise**

Les échanges récents entre l'*Unité RiverLy* de l'INRAe et MRM ont permis de mettre en avant une notion intéressante pour caractériser ces crues présentant un QJM_{max} inférieur au seuil de crue biennale : la notion de crue « **annuale** ».

Elle correspond à une crue dont la fréquence de retour est de 1 an, et pourrait constituer une valeur seuil plus pertinente pour définir un événement comme une crue, au moins vis à vis de l'objectif dévalaison.

Toutefois, cette valeur est surtout théorique, puisque la loi de Gumbel utilisée pour définir les fréquences de retour de crue « classiques » atteint ses limites de représentativité pour une période de retour égale à un an (comm. pers. Inrae).

En effet, pour des périodes très proches de 1 (1,001 ; 1,0001 etc.), la formule de Gumbel donne des valeurs de débits aberrantes, voire négatives (*Figure 19* ci-dessous). Cette méthode n'est donc pas adaptée, mais la terminologie de crue « **annuale** » reste cependant bien représentative du seuil limite que l'on cherche à mettre en avant : elle définit la plus petite valeur possible de crue observable. Ce terme sera donc conservé.

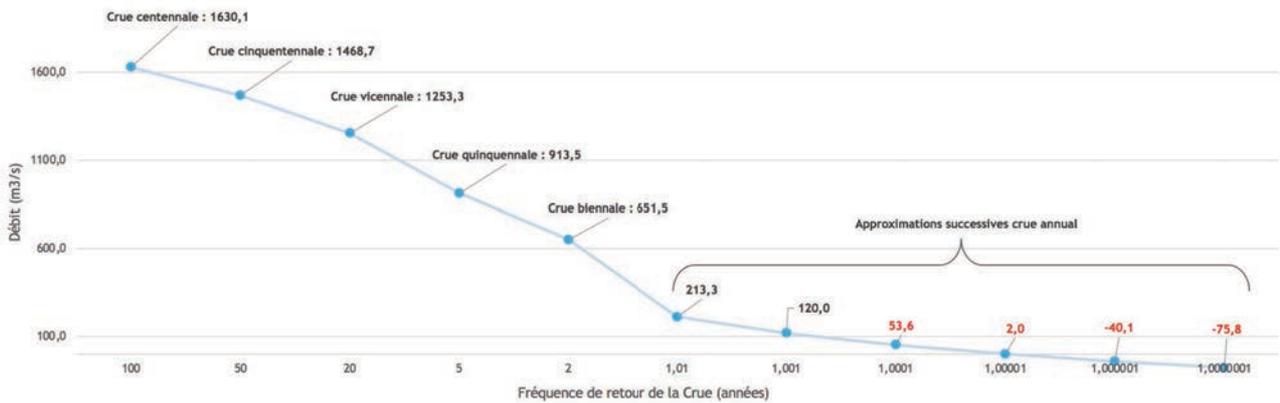


Figure 19 : Résultats obtenus pour la station aval de l'Hérault (Agde), en déclinant la méthode de Gumbel sur les 30 dernières saisons de dévalaison, pour des fréquences de retour < 2 ans.

- **La complexité de mettre en place une approche normée sur le court-terme**

Une autre approche possible consisterait à utiliser la méthode dite *sup-seuil* (comm. pers. INRAe). Comme son nom l'indique, cette approche vise à sélectionner uniquement les crues supérieures à un certain seuil. Contrairement à la méthode Gumbel, celle-ci permet d'obtenir une estimation de débit seuil pour des périodes de retour < 1 an.

Cette approche est plus complexe à mettre en œuvre, car il faut dans un premier temps distinguer manuellement les pics de débits qui peuvent ou non appartenir à une même crue : exemple, deux pics de débits séparés de 48h doivent-ils être considérés comme des crues distinctes ou non ?

L'INRAe recommande de mettre en place deux critères stricts, qui devront ensuite être intégrés sous forme de code PYTHON dans une interface. L'outil pourra ensuite détecter les pics et décider de façon autonome du classement comme un seul ou plusieurs événements. Ainsi, on pourra considérer que deux pics sont indépendants si ces deux critères sont réunis :

- Les deux pics sont espacés d'au moins N jours
- Après le premier pic, le débit redescend au moins sous la valeur de X % du pic initial.

Dans le cas contraire, le pic qui a la plus petite valeur de débit est éliminé. Il y a donc deux critères à fixer : N et X.

Cette approche est pertinente, mais se révèle très chronophage à mettre en œuvre. Elle est inenvisageable sur le court terme. Elle requiert non seulement des compétences en programmation (langage PYTHON), mais nécessite aussi de fixer précisément plusieurs paramètres, qui restent subjectifs. Il semble néanmoins possible à moyen terme d'automatiser ce processus, notamment par le biais d'une interface dérivée d'un outil INRAe. Cette piste est en cours d'étude.

Il convient néanmoins de s'interroger sur le rapport coût-bénéfice de la mise en place d'une telle méthode. En effet, le degré de précision supplémentaire qu'elle pourra éventuellement apporter offrira-t-il une plus-value réelle par rapport à la valeur 2x le module actuellement envisagée ?

- **La valeur « 2x le module », une proposition cohérente avec les résultats observés sur d'autres bassins**

A l'instar de l'étude Cagne, d'autres études menées en France et ailleurs tendent à montrer que la dévalaison peut survenir bien en dessous du seuil de crue biennale du cours d'eau concerné. Dans la suite du rapport, une synthèse non exhaustive de connaissances sur les périodes de déclenchement de la dévalaison de l'anguille intègre cet aspect.

Pour ces différentes études, les seuils de crues biennales et les modules des différents cours d'eau étudiés ont été recherchés. Les seuils de crues annuelles (*2x le module*) ont aussi été calculés, afin de déterminer si des événements de dévalaison sont observés lors de pics de débits inférieurs au seuil de crue biennale (**Annexe 4**, colonne 5).

Les résultats montrent que dans la plupart des cas, les pics de débits engendrant le plus de dévalaison présentent en général des QJM_{max} situés entre la valeur *2x le module* et le seuil de crue biennale. Cette approche permet de justifier encore un peu plus la pertinence de rabaisser la valeur seuil permettant de considérer un événement hydrologique comme une crue.

- **Des résultats encourageants et en accord avec la bibliographie**

L'approche utilisée l'an dernier (Perrier et Campton, 2019) consistait à fixer une valeur seuil de crue correspondant au double du module pour chaque station considérée.

Cette valeur seuil est en effet couramment employée pour définir les limites de fonctionnalités des ouvrages de franchissement piscicoles dans des conditions de forts débits. Elle semblait donc cohérente pour définir un seuil de débit permettant de caractériser une crue susceptible d'engendrer de la dévalaison, tout en étant suffisamment basse pour potentiellement intégrer un nombre conséquent d'événements hydrologiques chaque année.

Les analyses conduites sur les bassins du Var et de l'Hérault ont donné en partie raison à cette approche « subjective ». En effet, des variations de débit modérées (inférieures au seuil de crue biennale) ont été détectées et prises en compte, sans que le nombre total de crues défini pour chaque saison ne s'envole pour autant.

Un autre argument en faveur de cette valeur seuil de 2x le module est qu'elle a globalement permis de détecter à chaque saison les toutes premières variations significatives de débits qui survenaient après des périodes d'étiage.

En effet, sur la période 1989-2019, plus de 90 % des 2 premiers événements saisonniers qui surviennent sur l'Hérault et le Var sont des élévations de débit présentant un QJM_{MAX} inférieur au seuil de crue biennal.

Enfin, les dates de ces premières crues (Figure 20) semblent cohérentes avec les périodes courantes d'observation de déclenchement de la dévalaison (Septembre à Novembre) un peu partout en Europe, synthétisées dans une publication d'Acou et al., (2009).

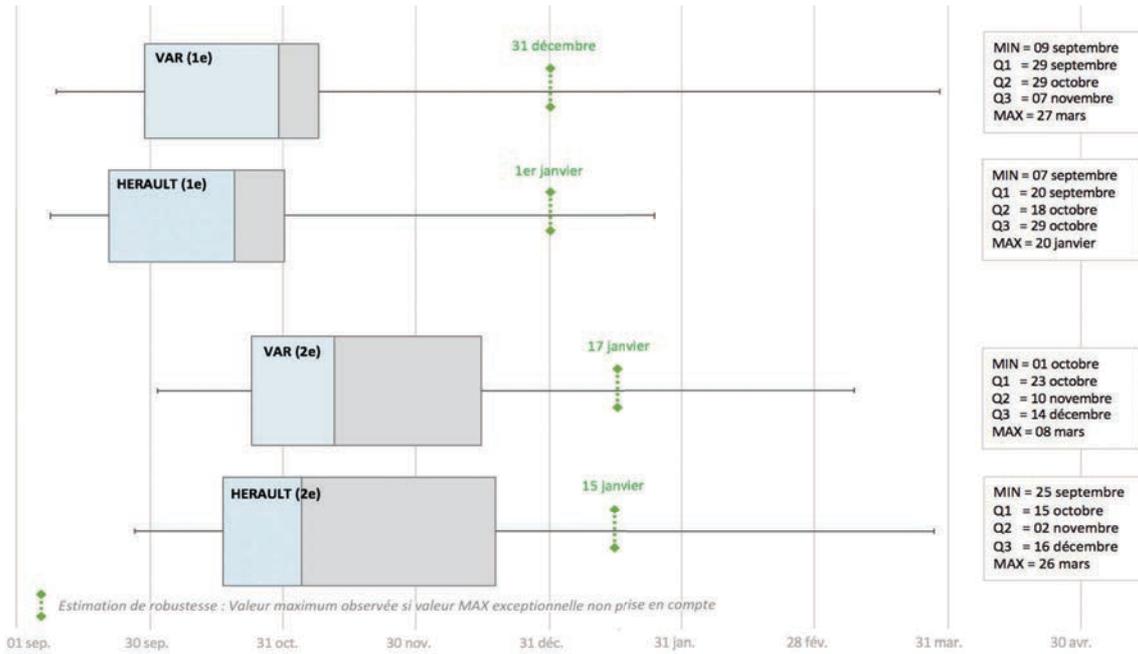


Figure 20 : Dates de survenues récurrentes de premières crues saisonnières sur le Var et l'Hérault sur une trentaine de saisons de dévalaison (Perrier et Campton, 2019)

En conclusion, faute d'une solution concrète plus robuste et facilement mobilisable sur le court terme, l'utilisation d'une valeur de 2x le module comme seuil de crue annuelle semble une option pertinente pour un seuil minimal permettant de définir un événement hydrologique comme une crue pouvant engendrer de la dévalaison.

Les outils PYTHON mobilisant la méthode sup-seuil qui sont actuellement à l'étude pourront à terme, éventuellement permettre de déterminer si cette valeur seuil doit être affinée ou non. Il est en effet raisonnable de supposer que même si cette valeur est approximative, elle soit suffisamment précise au regard des objectifs de l'étude.

2.3 Les références proposées pour l'étude hydrologique du Var et de l'Hérault

Les valeurs seuils de référence qui seront utilisés dans la suite du rapport sont celles présentées dans le *Tableau 6* ci-après. Elles ont été définies dans le cadre des analyses réalisées l'an dernier. Les portions de linéaire sur lesquelles la présence d'anguilles est attestée sont également présentées.

Tableau 5 : Valeurs seuils de crues annuelles/biennales/quinquennales telles que définies par le rapport 2019 pour les fleuves côtiers Var et Hérault, ainsi que leur affluents

	VAR AVAL (Mescla + Estéron, puis Carros)	VAR MEDIAN (Entrevaux)	VAR AMONT (Villeneuve)	ESTERON (La Clave)	VESUBIE (Pont de Cros)	TINEE (Pont de la Lune)	VAIRE (?)
<i>Module</i> (m ³ /s)	46,17	15,7	2,77	7,01	8,01	14,6	2,81
Seuil de crue annuale (m ³ /s) (2 x module)	92,3	31,4	5,5	14	16	29,2	5,6
Crue Biennale (m ³ /s)	500	85	14	93	/	45,8	21
Crue Quinquennale (m ³ /s)	660	120	23	140	/	96	34
Présence d'anguille	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui

	Hérault AVAL (Agde)	Hérault MEDIAN (Aspiran)	Hérault AMONT (Laroque)	PEYNE (Roujan)	LERGUE (Lodève)	VIS (St Laurent)	ARRE (Le Vigan)
<i>Module</i> (m ³ /s)	41,5	36,8	19,3	0,05	4,52	9,85	5,27
Seuil de crue annuale (m ³ /s) (2 x module)	83	73,6	38,6	0,1	9,0	19,7	10,5
Crue Biennale (m ³ /s)	630	620	320	Non renseigné	69	210	92
Crue Quinquennale (m ³ /s)	940	890	540	Non renseigné	110	310	140
Présence d'anguille	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non

3 Résultats 2019-2020

3.1 Synthèse des connaissances sur le comportement de dévalaison de l'Anguille européenne

a) Plusieurs approches méthodologiques

Comme évoqué précédemment, le comportement de dévalaison du genre *anguilla* a été vastement étudiée sur la façade atlantique, mais également dans le reste du monde.

Les premières études sur le sujet (Frost, 1950 ; Lowe, 1952) ont soulevé la complexité de ce phénomène, qui semble résulter d'une combinaison entre des changements physiologiques internes des individus, lié à une synergie de stimuli externes provoqués par des changements environnementaux saisonniers (Durif et al., 2003).

Compte tenu de ces éléments, mais aussi de l'évolution de statut de l'Anguille européenne (passage d'une espèce longtemps considérée comme nuisible à celui d'espèce protégée inscrite sur la liste rouge de l'UICN), les études la concernant se sont multipliées. De façon schématique, on peut considérer que les recherches ciblant le comportement de dévalaison des anguilles ont abordé cette migration sous l'une (ou plusieurs) de ces trois approches :

- Une approche « fondamentale », centrée sur l'analyse des changements morpho-anatomiques et physiologiques subis par les anguilles avant la dévalaison (Durif, 2003 ; Fontaine, 1994, etc.)
- Une analyse de la survie des individus lors d'épisodes de dévalaison réalisés au droit d'obstacles anthropiques ou d'une activité de pêche (Winter et *al.*, 2006 ; Besson et *al.*, 2016 Verhelst et *al.*, 2017 ; Trancart et *al.*, 2018).
- Une analyse des périodes de migration et des facteurs environnementaux susceptibles de stimuler le comportement de dévalaison (Vollestad, 1986, Feunteun, 2012 ; Acou et *al.*, 2009 etc.), souvent à des fins opérationnelles de gestion.

b) Des hypothèses convergentes sur les périodes clefs de dévalaison et sur l'influence des facteurs environnementaux.

Concernant le dernier point évoqué au paragraphe précédent, Vollestad et *al.* ont émis en 1986 l'hypothèse que l'automne était un période clef pour la dévalaison des anguilles, avec un départ de migration plus précoce les années où l'étiage en été est plus marqué (faible débit et température élevée).

S'appuyant sur ces conclusions, Acou et *al.* (2009) ont dressé une synthèse des dates médianes de migration des anguilles dévalantes en fonction de la latitude. Même si un déclenchement précoce de la migration semble être observé sous les latitudes les plus froides, il ressort de façon globale une période clef pour la dévalaison située entre Septembre et Novembre.

L'étude avance également l'hypothèse que sur les entités hydrologiques de grande taille, ce serait plutôt la variabilité journalière du débit, (plutôt qu'un pic de débit proprement dite) qui stimulerait le phénomène de dévalaison.

Ces deux éléments semblent appuyer l'hypothèse selon laquelle la dévalaison pourrait notamment être stimulée par la mise en place d'un différentiel de débit très important sur une courte période.

Il paraît également pertinent de mettre en avant le rôle fondamental d'un paramètre environnemental en particulier dans la mise en place d'un tel delta de débit. Il s'agit du facteur « précipitations », prioritaire pour espérer prévoir des mouvements de dévalaison (Trancart et *al.*, 2013).

En effet, les fortes variations de cet unique paramètre vont consécutivement engendrer des modifications des autres paramètres abiotiques (température de l'eau, débit, turbidité, luminosité, pression atmosphérique, etc.) dont le rôle synergique dans le déclenchement de la dévalaison chez les anguilles argentées a été largement documenté (Durif et *al.*, 2003 ; Cullen et McCarthy, 2003 ; Okamura et *al.*, 2002).

Haro (2003) et Trancart et *al.*, (2013) dressent des synthèses particulièrement documentées sur le sujet, qui regroupent les études ayant traité du rôle de tous ces paramètres environnementaux dans la dévalaison de différentes espèces du genre *anguilla*.

c) Des avancées récentes qui précisent les périodes clefs de la dévalaison

En s'inspirant des travaux de synthèse entrepris par Haro (2003), Acou *et al.* (2009) et Trancart *et al.* (2013), il semble pertinent de faire le point sur les dernières expérimentations traitant des périodes de survenu des épisodes de dévalaison pour l'anguille européenne, en lien avec des changements environnementaux. Ces expérimentations prennent place sur la façade atlantique, mais aussi dans d'autres pays européens (Tableau présenté en **Annexe 4**).

Cette synthèse montre la pertinence d'étudier avec une attention toute particulière les tous premiers pics de crues automnaux (en lien avec les précipitations) qui surviennent après les périodes d'étiage de l'été. Les différentes données disponibles dans ces différentes études montrent que les premiers pics de débits se situent généralement entre les seuils de crue annuelle et biennale.

Pourtant, malgré les différences de contexte et de méthode de ces différentes études, les résultats publiés convergent vers des observations très proches, à savoir que les premiers pics de débit sont quasi-systématiquement corrélés avec les premières observations de dévalaison. Ces premiers pics de dévalaison sont généralement les plus importants d'un point de vue quantitatif, même si d'autres épisodes de dévalaison sont observés ultérieurement.

Ces observations convergentes, appuyés par les résultats observés sur la Cagne depuis 3 ans, permettent d'envisager que, dans le cadre du contexte hydrologique particulier de la Méditerranée (épisodes cévenols brefs et intenses susceptibles de faire varier de façon très soudaine les paramètres abiotiques) les premiers pics de crues automnaux puissent se révéler critiques pour le succès de la dévalaison.

3.2 Des précisions sur les périodes clefs pour la dévalaison sur le Var et l'Hérault

Pour rappel sur le Var et l'Hérault, environ 95 % des premiers événements hydrologiques automnaux des 30 dernières saisons présentaient un QJM_{max} inférieur au seuil de crue biennale. Ils peuvent donc être caractérisés comme des crues annuelles.

Or, la synthèse bibliographique publiée précédemment, en accord avec le retour d'expérience de trois saisons sur la Cagne, tend à montrer que ces premières crues automnales sont déterminantes dans le déclenchement du phénomène de dévalaison.

On peut donc raisonnablement avancer l'hypothèse que pour chacune des saisons de dévalaison, ces premières crues ont engendré de la dévalaison. On peut dès lors transposer la méthode proposée ici à différentes saisons de dévalaison, afin de proposer rétrospectivement des dates pour lesquelles de la dévalaison aurait pu avoir lieu, sur la base des données hydrologiques disponibles sur Banque Hydro.

a) Quelles fenêtres de dévalaison avec la méthode « 2x le module » ?

Compte tenu du retour d'expérience de la Cagne et des résultats de l'analyse bibliographique présentée en annexe, il semble que les tous premiers pics de crues saisonniers (observés après le 1^{er} septembre) constituent les créneaux les plus critiques pour la migration des anguilles argentées.

Dans le cas du contexte méditerranéen, les fortes variations de paramètres abiotiques (notamment débit), observées sur les grands fleuves côtiers sur un pas de temps très court, vont potentiellement réduire la durée des fenêtres « optimales de dévalaison ».

Les résultats obtenus sur la Cagne, ainsi que d'autres études menées ailleurs en France (Durif et al., 2003 ; Stein et al., 2013), laissent supposer que dans ces conditions très fluctuantes, certaines anguilles vont dévaler par étape : déclenchement de la dévalaison, puis interruption si les conditions deviennent défavorables, puis ré-enclenchement de la migration lors du pic de crue suivant.

D'autres pics de débit qui surviendraient après ces deux premières crues pourraient également engendrer de la dévalaison, en permettant à des anguilles déjà dévalantes de rejoindre la mer. Les individus provenant de certains affluents dont les premiers coups d'eau sont tardifs pourraient aussi rejoindre la mer tardivement : ce point est développé dans le paragraphe suivant.

b) Prise en compte des affluents des grands fleuves pour détecter d'autres fenêtres potentielles de dévalaison

• Le cas le plus courant

Les analyses réalisées en 2019 ont montré que pour environ 90% des crues saisonnières étudiées, les pics de débits observés sur le Var et l'Hérault surviennent généralement de façon simultanée sur les fleuves et leurs affluents (décalage inférieur à 24h).

En méditerranée, ces crues saisonnières généralisées présentent une configuration très particulière, typique du comportement hydrologique méditerranéen : une variation brutale de débit, globale et simultanée, mais de courte durée (voir la *Figure 21* ci-dessous, qui illustre la configuration la plus rencontrée sur le Var et l'Hérault). Cette réponse hydrologique caractéristique devra être confirmée pour les autres grands bassins côtiers.

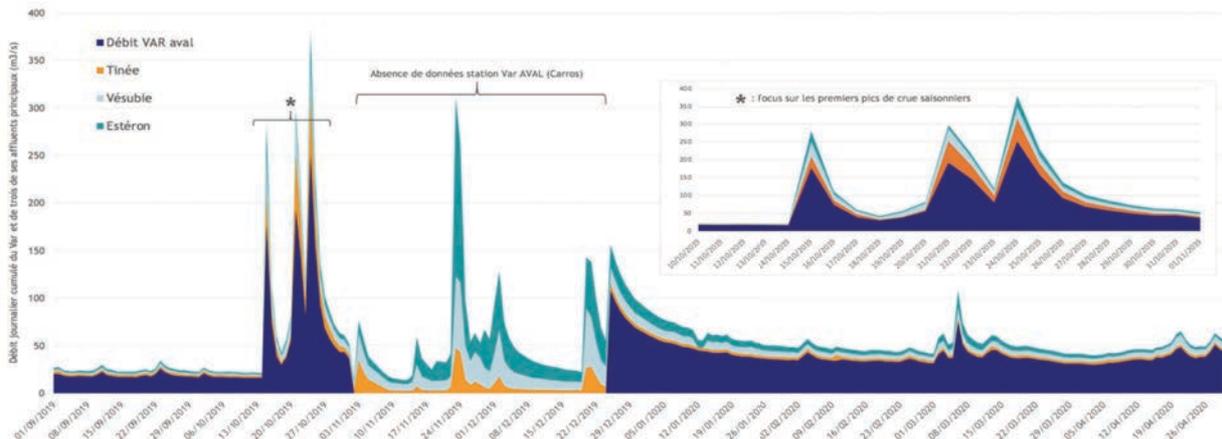


Figure 21 : QJM cumulés sur le Var et ses affluents durant la saison 2019-2020

On peut avancer comme hypothèse que dans cette configuration spécifique (retrouvée dans environ 90% des cas), la dévalaison va intervenir simultanément sur l'ensemble des cours d'eau du bassin abritant des anguilles. Il convient néanmoins de ne pas se limiter à cette seule hypothèse.

- Cas particuliers à ne pas négliger

Malgré l'omniprésence du cas de figure précédent, les analyses ont aussi mis en avant la survenue tardive de premières crues post étiage, spécifiques à certains affluents, qui contrastent avec le modèle « classique » présenté plus haut.

Bien que ce cas de figure soit minoritaire par rapport aux événements de crues généralisés (environ 10 % des cas), ces crues localisées peuvent néanmoins avoir un rôle non négligeable lors de la dévalaison, en alimentant le cours principal en individus migrants dans le cas où l'affluent en question est colonisé par les anguilles.

Compte tenu de la synthèse présentée précédemment, le rôle potentiel de ces crues localisées sur un seul affluent devient particulièrement important si le pic de crue en question est le premier pic saisonnier du dit-affluent. Il peut alors se révéler particulièrement stimulant pour la dévalaison. Une synthèse des événements particuliers a été dressée pour le bassin du Var. Elle est présentée dans le *Tableau 6* ci-dessous.

Tableau 6 : Crues exclusives à un affluent sur les bassins du Var et de l'Hérault, sur les 30 dernières saisons de dévalaison

	Nombre de crues saisonnières exclusives à chaque affluent du Var*				Mois	chronologie saisonnière
	Estéron	Tinée	Vésubie	Vaire		
1989-1990	1	0	/	/	Nov.	1e crue
1990-1991	1	0	/	/	Déc.	1e crue
1991-1992	0	0	/	/		
1992-1993	0	0	/	/		
1993-1994	1	0	/	/	Oct.	3e crue
1994-1995	1	0	/	/	Fév.	saison incomplète
1995-1996	2	0	/	/	Nov. / Mar.	1e et 4e crue
1996-1997	0	1	/	/	Oct.	1e crue
1997-1998	0	0	/	/		
1998-1999	1	0	/	/	Mar.	1e crue
1999-2000	0	0	/	/		
2000-2001	0	0	/	/		
2001-2002	2	0	/	/	Fev. / Mar.	1e crue
2002-2003	2	1	/	/	Déc. / Jan. / Avr.	3e 5e et 6e crue
2003-2004	0	0	/	/		
2004-2005	0	0	/	/		
2005-2006	2	0	/	/	Jan. / Fév.	3e 4e crue
2006-2007	0	0	/	1	Avr.	3e crue
2007-2008	1	0	/	1	Jan. / Avr.	1e crue (Vaire)
2008-2009	0	0	/	2	Déc. / Mar.	1e et 2e crue
2009-2010	1	0	/	1	Jan. / Mar.	2e crue (Estéron) 3e crue (Vaire)
2010-2011	2	0	0	0	Nov. / Jan.	3e et 6e crue
2011-2012	0	0	0	3	Nov. / Mar. / Avr.	3e à 6e crue
2012-2013	0	0	1	0	Sept.	1e crue
2013-2014	1	0	0	0	Déc.	1e crue
2014-2015	0	0	0	0		
2015-2016	1	0	0	/	Fév.	2e crue
2016-2017	2	0	0	/	Déc. / Fév.	4e et 5e crue
2017-2018	0	0	0	0		
2018-2019	1	0	0	0	Avr.	5e crue

* : c. à d. n'ayant pas généré de crues sur le fleuve Var au regard d'un seuil fixé à 2x le module

Dévalaison des anguilles en Rhône-Méditerranée - Saison 2019-2020 -

	Nombre de crues saisonnières exclusives à chaque affluent de l'Hérault*				Mois	chronologie saisonnière
	Peayne	Lergue	Vis	Arre		
1989-1990	/	0	1	1	Fév.	saison incomplète
1990-1991	/	1	1	0	Jan.	2e crue
1991-1992	/	0	0	0		
1992-1993	/	0	1	3	Oct. / Fév. Mar.	2e et 3e crue
1993-1994	/	0	0	0		
1994-1995	/	1	0	0	Fév.	4e crue
1995-1996	/	0	0	0		
1996-1997	/	0	0	1	Nov.	3e crue
1997-1998	/	0	0	0		
1998-1999	/	0	0	1	Sep.	1e crue
1999-2000	/	0	0	0		
2000-2001	/	0	0	0		
2001-2002	/	0	0	0		
2002-2003	/	1	0	0	Fév.	4e crue
2003-2004	/	1	0	0	Jan.	5e crue
2004-2005	/	0	0	0		
2005-2006	/	0	0	0		
2006-2007	/	0	0	0		
2007-2008	1	0	0	0	Sep.-Mar.	1e crue
2008-2009	1	0	0	0	Sep.	1e crue
2009-2010	2	0	0	0	Sep.	1e 2e crue
2010-2011	0	0	0	1	Oct.	1e crue
2011-2012	1	0	0	0	Avr.	4e crue
2012-2013	2	0	0	0	Sep.	1e 2e crue
2013-2014	3	0	0	0	Sep. / Oct. / Nov.	1e 2e et 4e crue
2014-2015	0	0	1	1	Mar.	5e crue
2015-2016	0	0	0	0		
2016-2017	0	0	1	0	Déc.	5e crue
2017-2018	0	0	0	0		
2018-2019	0	0	0	0		

* : c.à.d. n'ayant pas généré de crues sur le fleuve Hérault au regard d'un seuil fixé à 2x le module

Cette analyse permet d'émettre l'hypothèse que, ponctuellement, de la dévalaison peut se dérouler sur les affluents du bassin, même si le seuil minimal de crue (fixé à 2x le module) n'est pas franchi sur le cours d'eau principal.

Ainsi, des crues tardives du fleuve pourraient tout de même présenter un intérêt du point de vue de la dévalaison, si l'un des affluents vient à connaître une première crue tardive. Une énième crue du fleuve pourrait alors permettre à des anguilles provenant d'un affluent de continuer leur migration.

- **Plusieurs scénarios de dévalaison possibles :**

Compte tenu des informations ci-dessus, on peut schématiquement distinguer 3 configurations de dévalaison sur les affluents des grands fleuves côtiers méditerranéens. Ces différents cas de figure peuvent se succéder et ne s'excluent donc pas mutuellement.

- **CAS n° 1 : Crues simultanées sur tout ou partie du bassin (fleuve + 1 ou plusieurs affluents) au début/milieu de la saison (environ 90 % des cas sur le Var et l'Hérault)**

Ce cas de figure est celui qui va potentiellement déclencher le plus de dévalaison, et sur la plus longue distance. Cette configuration est la plus à même de « vider » le bassin de ses anguilles potentiellement dévalantes. En effet, les anguilles provenant des affluents vont rencontrer des conditions hydrologiques comparables dans le cours principal, et il est pertinent de supposer qu'elles vont poursuivre la dévalaison tant que les conditions favorables perdurent (Figure 22).

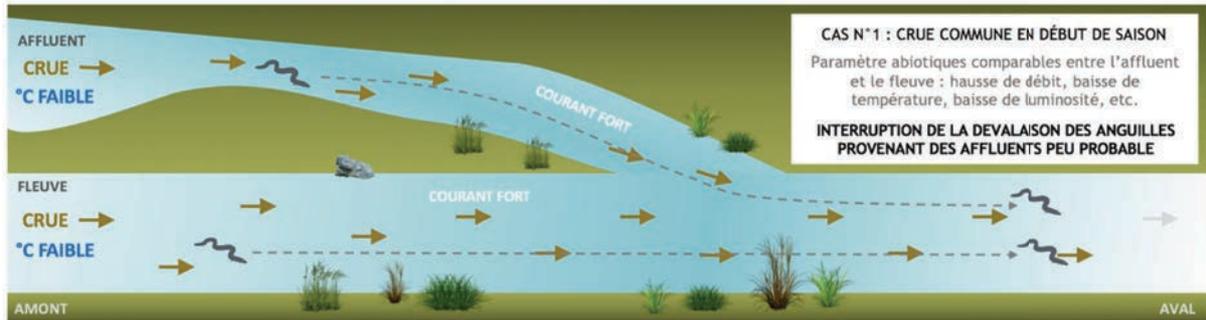


Figure 22 : Illustration de la Configuration de dévalaison n°1 sur un Grand fleuve côtier méditerranéen.

- **CAS n°2 :** Affluent n'ayant pas connu de crue saisonnière alors que les premières crues ont déjà été enregistrées sur le Fleuve et/ou certains autres affluents (environ 10% des cas sur le Var et l'Hérault).

On peut alors distinguer 3 cas de figures :

- A- Si aucune crue n'est enregistrée sur l'affluent plus tard dans la saison : on peut supposer que la dévalaison sera très faible voire nulle ;
- B- Si l'affluent connaît sa première crue plus tard mais qu'elle n'est pas suivie par une crue du cours d'eau principal, on observera de potentiels mouvements de dévalaison jusqu'à la confluence, mais il est possible que les anguilles interrompent leur migration si les conditions ne sont plus favorables au niveau du fleuve (Durif et al., 2003 ; Stein et al., 2013) ;
- C- Si l'affluent connaît sa première crue plus tard et qu'elle est suivie d'une crue du cours d'eau principal, alors cette énième crue du fleuve pourrait engendrer de la dévalaison. Les cas B et C sont schématisés ci-dessous (Figure 23).

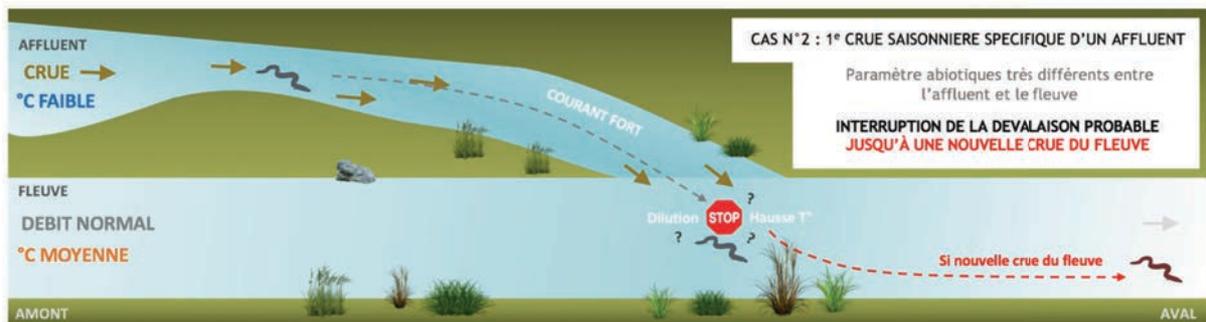


Figure 23 : Illustration de la Configuration de dévalaison n°2 sur un Grand fleuve côtier méditerranéen.

- **CAS n°3 :** Affluent qui enregistre une première crue isolée en début de saison, AVANT l'arrivée de la première crue sur le Fleuve.

Ce cas diffère du précédent, puisque les anguilles du tributaire vont venir grossir les rangs du stock en place sur le fleuve, avant la première crue de celui-ci. Elles vont ensuite potentiellement stopper leur dévalaison puisque les conditions du fleuve ne sont pas encore favorables à la migration. Cette dernière configuration permet d'augmenter l'intensité de la dévalaison lors du premier épisode de crue saisonnier observé sur le Fleuve. Le schéma reste identique à celui présenté en Figure 23.

A partir de ces 3 configurations, on peut tenter de mettre en avant le rôle de certains affluents sur les deux bassins versants étudiés :

→ Le cas n°1 domine très largement sur les deux bassins, avec des montées en crues conjointes du fleuve et d'un ou plusieurs de ses affluents. D'un point de vue opérationnel, des mesures de gestions adaptées devront être prises rapidement lors des premiers épisodes de crues, qui semblent particulièrement stimulants pour la dévalaison au regard des connaissances actuelles.

→ Sur le bassin du Var, le Tableau 6 permet d'identifier ponctuellement des configurations hydrologiques qui correspondent au cas n°2 pour chaque affluent, mais aucun ne semble se démarquer clairement des autres. Des premières crues en décalage par rapport aux crues du cours d'eau principal sont observées sur tous les affluents.

En terme opérationnel, il serait donc nécessaire de surveiller les périodes où surviennent les premières crues de ces affluents, puis d'adapter la gestion lors de la crue du Var qui interviendra après celle de l'affluent.

→ A l'inverse, sur le bassin de l'Hérault, le Tableau 6 montre que le cas n°3 est observé de façon assez régulière sur la Peyne (le cas de figure n°2 n'a jamais été observé en 30 saisons de dévalaisons). Cet affluent situé à l'aval du bassin pourra donc potentiellement alimenter en anguilles le stock de l'Hérault avant la première crue saisonnière du fleuve.

c) Illustration de fenêtres potentiellement critiques de dévalaison au travers de deux exemples :

• L'Hérault : saison 2019-2020

Pour cette saison, les premiers pics de débits enregistrés sur la station aval d'Agde correspondent à des crues annuelles ($Q_{JM_{max}}$ inférieur au seuil de crue biennale, mais supérieur à 2x le module).

Sur la *Figure 24* ci-après, on distingue clairement 4 pics de crues. D'après les résultats des différentes analyses, on peut considérer que les deux premiers coups d'eau sont particulièrement critiques pour la dévalaison.

L'analyse des QJM de 5 stations réparties sur le bassin⁴ montre que le fleuve et ses affluents vont entrer simultanément en crue en Octobre 2019 (cas n°1). En terme opérationnel, des mesures de gestion doivent donc être prise à ce moment-là pour assurer la survie des futurs reproducteurs.

Les crues suivantes (3 et 4) peuvent ponctuellement engendrer de la dévalaison. Néanmoins, elles auraient pu constituer des périodes critiques pour la migration si l'un des affluents abritant de l'anguille subissait sa première crue sur les périodes désignées dans la *Figure 24*. Cette configuration correspondrait au cas n°2-C.

Les différentes analyses montrent qu'il n'existe pas de « schéma » hydrologique transposables d'une année sur l'autre sur l'Hérault. Chaque saison est donc unique dans son fonctionnement et doit être suivie au cas par cas et en temps réel, en accordant une attention toute particulière aux premières crues et à l'hydrométrie des affluents connus pour abriter de l'anguille.

⁴ : Hérault à Agde (aval du fleuve) / Hérault à Aspiran (partie médiane) / Hérault à Laroque (amont) / Lergue (Lodève) / la Vis (Saint-Laurent-le-Minier). Aucune donnée hydrométrique n'est disponible pour la Peyne et l'Arre pour cette saison

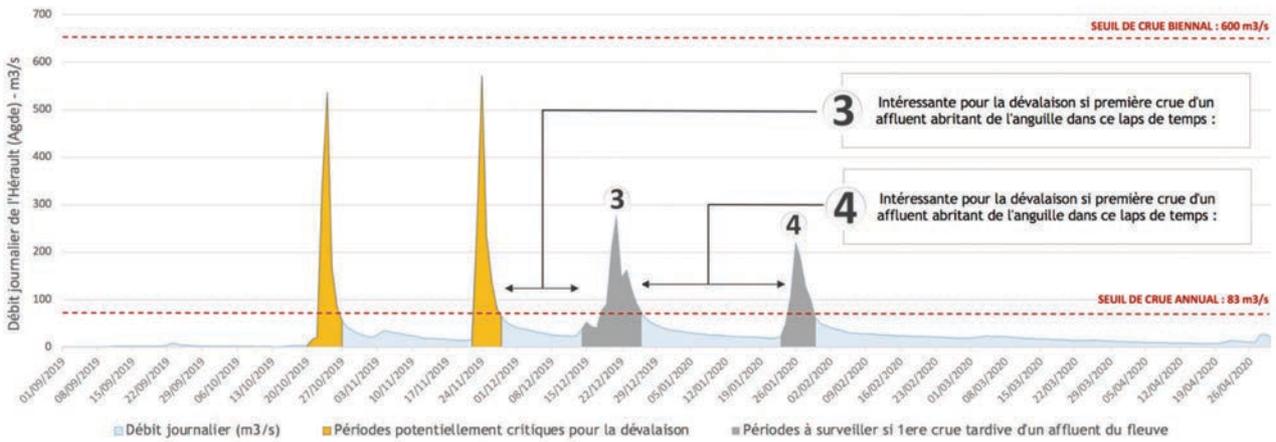


Figure 24 : Périodes critiques pour la dévalaison durant la saison 2019-2020 du bassin de l'Hérault

• **Le Var : saison 2007-2008**

Cette saison a été choisie car elle illustre bien le cas rare d'une survenue de premières crues tardives sur un affluent. Elles peuvent engendrer de la dévalaison malgré l'existence de périodes critiques plus tôt dans la saison.

Ici, le premier coup d'eau de la saison a été tardif sur le Var (23 Novembre 2007). L'analyse des QJM de 5 stations hydrométriques du bassin⁵ montre que les deux premières crues n'ont pas concerné tous les affluents. En effet, la Vaire (affluent haut sur le bassin mais abritant tout de même des anguilles) n'a connu sa première crue que début avril.

Un nouveau pic de débit a ensuite été enregistré sur les différentes stations (amont/médiane/aval) du Var à la fin du mois d'avril. Cette configuration correspond au cas n°2-C : la 3^e crue du Var peut aussi être considérée comme critique pour la dévalaison, car elle peut aider les anguilles de la Vaire à poursuivre leur migration (Figure 25).

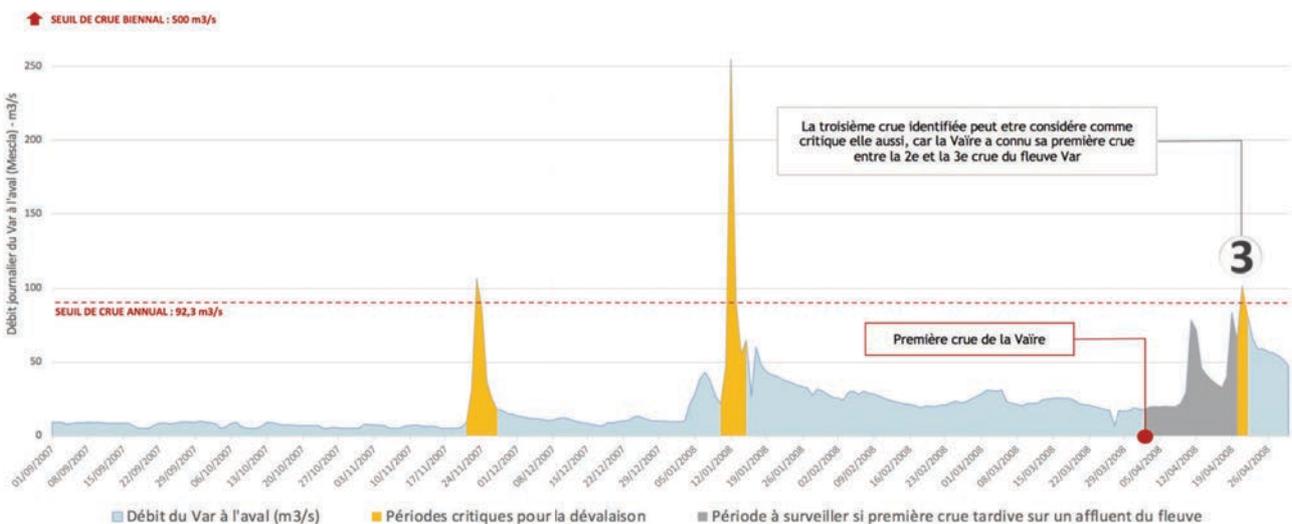


Figure 25 : Périodes critiques pour la dévalaison durant la saison 2007-2008 du bassin du Var

⁵ : Var à la Mescla (aval du fleuve) / Var à Entrevaux (partie médiane) / Var à Villeneuve d'Entraunes (amont) / Estéron au Broc / Tinée à la Tour / Vaire à Annot. Pas de données pour la Vésubie à Pont de Cros cette saison-là.

Comme dans le cas de l'Hérault, les analyses montrent qu'il n'existe pas de « schéma » hydrologique transposable d'une année sur l'autre sur le Var. Chaque saison doit être suivie au cas par cas et en temps réel, en accordant une attention toute particulière aux premières crues et à l'hydrométrie des affluents connus pour abriter de l'anguille.

Dans le cas de ces deux bassins versants, notons néanmoins que la suppression ou l'absence de stations hydrométriques sur certains affluents à fort enjeu (arrêt de la station de Roujan sur La Peyne (Hérault) ou la Vaïre (Var) en 2019) constitue un frein à la mise en place d'un suivi futur de l'évolution journalière des débits.

- **Une première piste de méthode permettant d'anticiper ces évènements hydrologiques critiques**

D'un point de vue opérationnel, il est indispensable de pouvoir anticiper dans les jours ou les heures à venir l'apparition d'un pic de crue susceptible d'engendrer de la dévalaison

L'analyse des précipitations survenues en 2019-2020 sur les bassins du Var et de l'Hérault (en accord avec les préconisations faites par Trancart et *al.*, 2013) montrent que les premiers pics de crues saisonniers sont liés à de fortes précipitations, qui se sont cumulées pendant plusieurs jours sur les deux bassins (environ 200 mm de pluies en 15 jours sur la station de Nice / environ 130 mm entre le 20 et le 24 octobre à Agde).

De fait, la prédiction de possibles évènements de dévalaison passera vraisemblablement par un suivi quotidien et en temps réel de l'évolution des précipitations sur chacun des bassins versants concernés. Les avancées réalisées l'an dernier avaient en effet permis de mettre en avant un temps de réponse très rapide des bassins du Var et de l'Hérault (avec une crue souvent généralisée sur l'ensemble du bassin en 24h maximum), qui nécessitera une forte réactivité en cas d'éventuelles mesures de gestion.

Compte tenu des périodes de survenues de ces premières crues saisonnières depuis 30 ans, il semble pertinent de mettre en place ce suivi des précipitations dès le début du mois de Septembre sur le Var et sur l'Hérault.

L'observation ponctuelle de mouvements de dévalaison décalés sur certains affluents montre la nécessité de réaliser ce suivi des précipitations sur la totalité de la saison de migration (septembre-Avril), et en prenant en compte les précipitations qui surviennent sur les affluents.

Chaque saison étant spécifique, il faudrait dans l'idéal identifier à quelle configuration (n°1/n°2/n°3) correspondent les crues observées, et adapter le suivi des précipitations, ainsi que la gestion, en fonction des observations réalisées sur chacun des tributaires. Ces premières réflexions seront affinées avec les prochaines analyses.

d) Focus sur les modalités de gestion actuellement pratiquées sur le Fleuve Var

Dans le cas du Var, la gestion actuellement pratiquée consiste à stopper les actions de turbinage au-delà d'un débit de 200 m³/s. On peut dès lors se demander si ces modalités de gestions sont compatibles avec les enjeux de dévalaison des anguilles argentées.

Compte tenu des observations réalisées et de la synthèse bibliographique présentée précédemment, on considèrera que les deux premières crues saisonnières sont particulièrement stimulantes pour la dévalaison.

Pour les 30 dernières saisons de dévalaison, les analyses ont permis de déterminer le QJM_{max} atteint par les premiers et seconds évènements de crue de chaque saison (voir Tableau en Annexe 5). Une analyse synthétique de ces résultats est présentée dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Intensité des premières crues saisonnières observées sur le Var depuis 30 ans

	Nombre de crues saisonnières identifiées sur 30 saisons de dévalaison	Nombre de crues dont le QJM_{max} est inférieur à 200 m^3/s	Nombre de crues dont le QJM_{max} est supérieur à 200 m^3/s
1 ^e crue du Var	28	15 (53 %)	13 (46 %)
2 ^e crue du Var	27	10 (37 %)	17 (63 %)

Les résultats de cette analyse montrent ainsi qu'avec la gestion actuellement pratiquée, plus de 50 % des premières crues et 37 % des secondes crues n'auraient pas bénéficié de mesures de gestions appropriées à la dévalaison des anguilles. De fait, les anguilles qui auraient dévalé lors de coups d'eau inférieurs à 200 m^3/s auraient potentiellement pu subir de la mortalité.

Il semble donc pertinent d'envisager d'adapter plus finement les mesures de gestion au cas spécifique de l'anguille, par rapport à une chronologie d'évènements induisant des périodes « critiques » pour la dévalaison (1^e, 2^e crue du fleuve, 1^e crue isolée d'un affluent suivi d'une crue du fleuve, etc. : se référer aux Figures 25 et 26), plutôt que de se limiter à une valeur « seuil » de 200 m^3/s , qui risque d'engendrer de la mortalité dans 50% des cas.

Conclusion

Les investigations réalisées cette année ont permis d'apporter des précisions sur le fonctionnement hydrologique des grands fleuves côtiers méditerranéens.

La méthode Gumbel s'est révélée inadaptée pour définir des valeurs seuils de crues adaptées aux besoins de l'étude, qui nécessite d'intégrer des fréquences de retour de 1 an. Compte tenu des résultats encourageants obtenus en 2019 et 2020, le maintien de la méthode « 2x le module » semble pertinent : la méthode permet de faire ressortir un nombre cohérent de crues, et particulièrement les premières crues d'automne de chaque saison, que ce soit pour les fleuves ou pour leurs affluents.

La synthèse bibliographique fait d'ailleurs ressortir l'importance de ces premiers coups d'eau d'automne. Elle donne de fait du crédit à la méthodologie basée sur la valeur seuil « 2x le module ». En effet, dans ces différentes études, la plupart des observations de dévalaisons interviennent en dessous du seuil de crue biennal. Cela confirme l'intérêt de disposer d'une valeur seuil réduite pour ne pas occulter certains épisodes de migration.

Dans le cas du Var, les microcentrales arrêtent de turbiner au-delà de 200 m³/s pour des raisons de maintenance. En se limitant à cette valeur, environ 50 % des premières crues qui sont survenues au cours des trente dernières saisons, auraient potentiellement déclenché de la dévalaison alors que les microcentrales continuent de fonctionner.

Pourtant, qu'elles soient bibliographiques ou hydrologiques, les analyses mettent en avant le rôle prépondérant de ces toutes premières crues d'automne dans le déclenchement de la dévalaison. Les résultats obtenus sur la Cagne dans le cadre de l'étude RFID tendent à montrer des résultats comparables après trois années de suivi. Ainsi, la gestion devrait être définie par rapport à une chronologie d'évènements induisant des périodes « critiques » pour la dévalaison (1^e, 2^e crue du fleuve, 1^e crue isolée d'un affluent suivi d'une crue du fleuve, etc. : se référer aux *Figures 25 et 26*).

La contribution des affluents à ce processus de dévalaison a en effet été précisé. Différentes configurations ont pu être présentées dans ce rapport. L'arrivée tardive de premières crues saisonnières sur certains d'entre eux peuvent potentiellement réalimenter le fleuve en anguilles migrantes et générer de nouvelles périodes critiques de dévalaison, plusieurs semaines voire plusieurs mois après le passage des premières crues automnales.

Un suivi au cas par cas en temps réel de chaque saison de dévalaison nécessitera de disposer de données hydrologiques et pluviométriques en divers points du bassin pour assurer une gestion efficace. La suppression ou l'absence de stations hydrométriques sur certains affluents à fort enjeu risque néanmoins de constituer un frein à la mise en place d'un suivi futur de l'évolution journalière des débits.

En conclusion, même si le fonctionnement hydrologique des côtiers méditerranéens demeure très différent de ceux de la façade atlantique, les dernières avancées tendent à montrer que les stimuli qui vont enclencher la dévalaison sont comparables. En méditerranée, ces pics de débit sont à mettre en lien avec les premières précipitations automnales qui vont gonfler le lit des cours d'eau.

La prochaine étape de l'étude consistera à apporter des précisions sur certaines incertitudes qui persistent, notamment la notion de « période critique » pour la dévalaison. Cette terminologie, qui englobe pour l'instant les deux premières crues saisonnières, devra

être précisée et soumise à une validation en comité de pilotage, avant de pouvoir être exportée sur d'autres bassins. Il conviendra notamment de définir avec précision le nombre de crues pouvant être considérées comme véritablement critiques, en se basant entre autres sur le retour d'expérience de la Cagne et sur la recherche bibliographique déjà effectuée.

Face au caractère potentiellement chronophage des futures analyses hydrologiques, MRM est actuellement en discussion avec l'INRAe pour développer un outil permettant de collecter, de mettre en forme, de trier et de synthétiser des jeux de données provenant du site Banque Hydro.

Bibliographie

NB : La bibliographie intègre les sources issues des éléments méthodologiques en Annexe

ACOU et al. ; 2009. Prédiction des pics de dévalaison des anguilles argentées à partir des données environnementales : état des connaissances et développement d'un modèle opérationnel sur la Loire pour la gestion du turbinage. Rapport du Muséum National d'histoire Naturelle, CRESCO, Dinard. 96p. + annexes.

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

AMILHAT E., FARRUGIO H., LECOMTE-FINIGER R., SIMON G., SASAL P., 2009, Silver eel population size and escapement in a Mediterranean lagoon : Bages-Sigean, France. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems (2008) 390-391, 05. 11p.

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.

ARTELIA, 2015. Étude de restauration de la continuité écologique de la Cagne. Phase 1 : définition des enjeux piscicoles sur le bassin de la Cagne. 120p.

BARAS E., PHILIPPART JC., 1989. Application du radiopistage à l'étude éco-éthologique du barbeau fluviatile (*Barbus barbus*) : problèmes, stratégies et premiers résultats. Cah. Ethol. appl.

BAU F., GOMES P., LAFITTE J., ALRIC A., BARAN P., LARINIER M., TRAVADE F., DE OLIVEIRA E., 2011a. Anguille et ouvrages : migration de dévalaison - Suivi par radiopistage de la dévalaison de l'anguille argentée sur le Gave de Pau au niveau des ouvrages hydroélectriques de Biron, Sapso, Castebarbe, Baigts et Puyoo (2009-2010)., Rapport d'étape n°3., Anguilles Ouvrages Programme National de Recherche-Developpement. 100p.

BEHRMANN-GODEL J., ECKMANN R., 2003. A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. Ecology of Freshwater Fish, 12: 196-202.

BESSON M., TRANCART T., ACOU A., CHARRIER F., MAZEL V., LEGAULT A., FEUNTEUN E., 2016, Disrupted downstream migration behaviour of European silver eels (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river, Environ Biol Fish, Springer Edition, 13p.

BOETIUS J., 1967. Experimental indication of lunar activity in European silver eels, *Anguilla anguilla* (L.). Med. Danm. Fisk. Havunders, 6: 1-6.

CAMPTON P., ABDALLAH Y., LEBEL I., 2013, Caractérisation de la dévalaison des anguilles argentées en Rhône-Méditerranée. Synthèse des investigations déployées en France et à l'étranger., Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 77p.+Annexes.

CAMPTON P., ABDALLAH Y., LEBEL I., 2016. Dévalaison des anguilles en Rhône-Méditerranée : Expérimentation d'échantillonnage sur le Salaison (Hérault) / Faisabilité d'études sur le bassin du Var et sur la Cagne., Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 22p. + Annexes

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

CULLEN P., McCARTHY T.K., 2003. Hydrometric and meteorological factors affecting the seaward migration of silver eels (*Anguilla anguilla* L.) in the Lower River Shannon. *Env. Biol. Fish.* 67: 349-357.

DE OLIVEIRA E., 2012, Estimation des taux de survie et de blessures pour des anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) franchissant une turbine Kaplan. Tests du Groupe 3 de l'usine de Fessenheim (2009) et du Groupe 3 de l'usine d'Ottmarsheim (2010). Rapport EDF R&D, Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement. Gestion Hydro-environnementale des ouvrages., 97p.

DER MIKAELIAN S., Suivi de l'Anguille argentée sur la rivière Index Sèvre Niortaise., saisons de suivi 2013/2014 et 2014/2015., PNR Marais Poitevin, 44p+annexes.

DROUINEAU H., BAU F., ALRIC A., DELIGNE N., GOMES P., SAGNES P., 2017. Silver eel downstream migration in fragmented rivers: use of a Bayesian model to track movements triggering and duration. *Aquatic Living Resources*, 30: 5p.

DURIF C., ELIE P., GOSSET C., RIVES J., TRAVADE F., 2003., Behavioral study of downstream migrating eels by radio telemetry at a small hydroelectric powerplant. *American Fisheries Society Symposium* 33 : 343-356.

DURIF C., 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : Caractérisation des fractions dévalantes, phénomènes de migration et franchissement des obstacles. Doctorat de l'Université en Écologie Aquatique, Université de Toulouse II, 357pp.

DURIF C.M.F., VAN GINNEKEN V., DUFOUR S., MÜLLER T., ELIE P., 2009a. 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.

DURIF C., GUIBERT A., ELIE P., 2009b. Morphological Discrimination of the Silvering Stages of the European Eel., *American Fisheries Society Symposium*, 58:103-111.

EELREP, 2005. Estimation of the reproduction capacity of European eel. Final Report Q5RS-2001-01836, European Union, 272 pp.

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.* *Bull. Fr. pêche piscic.*, 349: 129-139.

FONTAINE M., 1975. Physiological mechanisms in the migration of marine and amphihaline fish. *Adv. Mar. Biol.*, 13 : 241-355.

FEUNTEUN E., ACOU A., LAFFAILLE P., LEGAULT A., 2000. European eel (*Anguilla anguilla*) : prediction of spawner escapement from continental population parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, NRC Research Press, 2000, vol. 57, 10.1139/f00-096.

FONTAINE M., 1983. Introduction à une écophysiologie d'anticipation. *Bull. Soc. Eco.*, 8 : 63-69.

FONTAINE Y.A, 1994. L'argenture de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 335.

GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARICOECHEA C., 2000. Étude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive, 64)., INRA/EDF, rapport de contrat, 35p. + Annexes.

HARO A., 2003. Downstream migration of Silver-Phase Anguillid Eels. In: Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K. (eds) *Eel Biology*. Springer, Tokyo : 215-222.

LOWE R.H., 1952. The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*Anguilla anguilla* L.). *Journal of Animal Ecology*, 21 :275-309.

OKAMURA A., YAMADA Y., TANAKA S., HORIE N., UTOH T., MIKAWA N., AKAZAWA A., OKA H., 2002. Atmospheric depression as the final trigger of the seaward migration of the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 234 : 281-288.

PANKHURST N. W., 1982. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *J. Fish Biol.*, 21: 127-140.

PERRIER C., CAMPTON P., 2020. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Suivi 2018/2019 RFID sur la Cagne & Caractérisation du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure. - 81p. + Annexes.

RAUTUREAU, C., CAMPTON, P., 2018. Étude comportementale de l'anguille argentée sur la Cagne - Campagne d'études 2017. Association Migrateurs Rhône Méditerranée - 52p + Annexes.

STEIN F.M., HÜBNER E., VAN SCHAIK N.L.OES.M.B., CALLES O., SCHRÖDER B., 2013. Investigating downstream migration patterns of European eel (*Anguilla anguilla* L.), *Biohydrology*, 2013., Conference Poster.

STEIN F.M., BRAMICK U., DOERING-ARJES P., SCHRÖDER B., 2016. Downstream migration of the European eel (*anguilla anguilla*) in the Elbe river, Germany : movement patterns and the potential impact of environmental factors, *River Res. Applic.* (2015)

TEICHERT N., TETARD S., TRANCART T., DE OLIVEIRA E., ACOU A., CARPENTIER A., BOURILLON B., FEUNTEUN E., 2020. Towards transferability in fish migration models: A generic operational tool for predicting silver eel migration in rivers, *Science of The Total Environment*, Vol. 739, 140069, ISSN 0048-9697.

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

TRANCART, T., ACOU, A., DE OLIVEIRA, E., FEUNTEUN, E., 2013. Forecasting animal migration using SARIMAX: an efficient means of reducing silver eel mortality caused by turbines. *Endanger. Species Res.* 21, 181-190.

VAN DEN THILLART G., DUFOUR S., CLIFF RANKIN J., 2009. *Spawning Migration of the European Eel.*, Springer Science + Business Media B.V., Fish and fisheries series 30, 477 p.

VERBIEST H., BREUKELAAR A, OVIDIO M., PHILIPPART JC., BELPAIRE C., Escapement success and patterns of downstream migration of female silver eel *Anguilla Anguilla* in the River Meuse, 2012, *Ecology of Freshwater Fish* 2012: 21: 395-403

VOEGTLE B., LARINIER M., 2008. Définition d'une stratégie de restauration de l'axe de migration pour l'anguille. Cours d'eau du Gave de Pau. Rapport MIDIVAL-ECOGEA-GHAAPPE RA08.02.

VOLLESTAD L.A., B. JONSSON, N.A. HVIDSTEN, T.F. NAESJE, O. HARALDSTAD & J. RUUD-HANSEN., 1986. Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels '*Anguilla anguilla*'). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43: 1909-1916.

VERDEYROUX P., GUERRI O, 2015, suivi de la dévalaison de l'Anguille, Rivière Index Dronne, troisième saison de suivi 2013 2014, EPIDOR, 47p.

Table des Figures

Figure 1 : La description de l'espèce <i>Anguilla anguilla</i> telle que présentée sur le site de l'observatoire	4
Figure 2 : Relation Taille/poids de l'échantillonnage 2019 (toutes stations confondues)	6
Figure 3 : Evolution du ratio taille/poids des individus capturés en 2019 sur les différentes stations de pêche	6
Figure 4 : Exemples de cicatrisations d'individus marqués sur la Cagne en 2017 et 2018 (© MRM)	7
Figure 5 : Les différents partenaires de l'étude (MRM, Fédération de pêche des Alpes Maritimes, l'Office français de la Biodiversité et EDF) au travail lors du marquage 2019.	7
Figure 6 : Période d'interruption de fonctionnement de toutes les antennes sur la saison 2019-2020 suite aux crues de Novembre et Décembre 2019	9
Figure 7: Chronologie des dévalaisons enregistrées sur le site de Bugadières, en lien avec les fluctuations journalières de débit de la Cagne	9
Figure 8 : Schéma des détections enregistrées en 2019-2020 sur les sites de Bugadières et Pont-des-Salles, en lien avec les sites de marquages et les stades d'argenture	10
Figure 9 : Comparaison des stades d'argenture des anguilles détectées sur les stations (saison 2019-2020).....	11
Figure 10 : Nombre d'interrogations du Pit-Tag pour chaque détection effectuée en 2019-2020	12
Figure 11 : L'Antenne 1 de Bugadières avant et après réparation. L'ensemble du dispositif a été remplacé.....	13
Figure 12 : L'équipe technique de l'Association MRM et le Service départemental des Alpes-Maritimes de l'OFB à pied d'œuvre sur la Cagne lors du Tracking 2020 (© MRM, 2020)	13
Figure 13 : Détections d'anguilles via le Tracking Mobile	14
Figure 14 : Evolution de l'hydrogramme de la Cagne en fonction des précipitations journalières.	16
Figure 15 : Répartition des détections tous sites confondus en fonction de la tranche horaire	17
Figure 16 : Fluctuations horaire de la température de l'eau durant la saison de dévalaison 2019-2020.....	17
Figure 17 : Focus sur l'évolution horaire de la température au moment des pics de dévalaisons 2019-2020.....	18
Figure 18 : Corrélation entre le déclenchement de la dévalaison et l'apparition de très forts différentiels de débits sur la Cagne (approche préliminaire)	20
Figure 19 : Résultats obtenus pour la station aval de l'Hérault (Agde), en déclinant la méthode de Gümbel sur les 30 dernières saisons de dévalaison, pour des fréquences de retour < 2 ans.	26
Figure 20 : Dates de survenues récurrentes de premières crues saisonnières sur le Var et l'Hérault sur une trentaine de saisons de dévalaison (Perrier et Campton, 2019).....	28
Figure 21 : QJM cumulés sur le Var et ses affluents durant la saison 2019-2020.....	32
Figure 22 : Illustration de la Configuration de dévalaison n°1 sur un Grand fleuve côtier méditerranéen.....	35
Figure 23 : Illustration de la Configuration de dévalaison n°2 sur un Grand fleuve côtier méditerranéen.....	35
Figure 24 : Périodes critiques pour la dévalaison durant la saison 2019-2020 du bassin de l'Hérault	37
Figure 25 : Périodes critiques pour la dévalaison durant la saison 2007-2008 du bassin du Var	37

Table des Tableaux

Tableau 1 : Résumé des captures d'anguilles effectuées sur la Cagne lors de la campagne de marquage 2019	5
Tableau 2 : Synthèse du devenir des individus marqués au moment du lancement de la saison 2019-2020 (septembre 2019)	8
Tableau 3 : Evolution du range des antennes RFID en 2019-2020 :.....	12
Tableau 4 : Stades d'argenture des individus recontactés lors des Tracking-mobiles de 2019 et 2020.....	15
Tableau 5 : Valeurs seuils de crues annuelles/biennales/quinquennales telles que définies par le rapport 2019 pour les fleuves côtiers Var et Hérault, ainsi que leur affluents	29
Tableau 6 : Crues exclusives à un affluent sur les bassins du Var et de l'Hérault, sur les 30 dernières saisons de dévalaison.....	33
Tableau 7 : Intensité des premières crues saisonnières observées sur le Var depuis 30 ans 39	

Table des Annexes

Annexe 1 : Focus sur les phénomènes d'argenture et de dévalaison	47
Annexe 2 : Eléments méthodologiques	50
Origine de la démarche expérimentale sur la Cagne	50
Présentation du bassin versant de la Cagne	51
Présentation du système d'étude	52
Fonctionnement de la technologie RFID.....	53
La capture et le marquage des anguilles	56
Annexe 3 : Temps de fonctionnement des antennes RFID sur la saison 2019/2020.....	58
Annexe 4 : Synthèse des dernières études traitant de la période de survenue de la dévalaison	59
Annexe 5 : Synthèse des QJ_{max} observés sur les premières/secondes crues saisonnières subies par le Var au cours des 30 dernières saisons de dévalaison.	62

Annexes

Annexe 1 : Focus sur les phénomènes d'argenture et de dévalaison

L'acquisition de l'argenture

Au terme de sa période de vie continentale, l'Anguille subit une métamorphose qui accompagne l'acquisition de la maturité sexuelle, et prépare l'animal à la migration transocéanique. Cette métamorphose marque la fin de la phase de croissance. En effet, plus l'anguille grandit rapidement, plus cette métamorphose semble intervenir précocement (Adam et al., 2008). L'argenture s'effectue à l'âge de 4 à 20 ans pour les femelles et 2 à 15 ans pour les mâles, ce qui correspond à des tailles comprises entre 50 et 100 cm pour les femelles et 35 à 46 cm pour les mâles (Durif *et al.*, 2009 b, in Van den Thillart *et al.*, 2009).

- **Changements physiologiques externes**

La métamorphose des anguilles jaunes en anguilles argentées va se manifester sous la forme d'une succession de modifications physiologiques externes, qui préparent l'Anguille à son retour vers la mer des Sargasses (voir *Figure* ci-dessous).

L'argenture se caractérise par un épaissement et un assombrissement de la peau, avec une différenciation claire/brun entre la partie ventrale et dorsale, puis une augmentation de la taille des yeux, des nageoires pectorales. On note aussi une apparition bien marquée de la ligne latérale, qui devient plus visible que chez l'anguille jaune.



Figure : Comparaison entre deux anguilles : En haut, un individu présentant des caractéristiques d'une argenture avancée. En dessous, une anguille sédentaire immature (© MRM)

Ces modifications permettront à l'anguille de s'adapter à la vie marine (meilleure vision dans les grandes profondeurs, meilleure osmorégulation dans l'eau de mer, etc.)

- **Changements physiologiques internes**

Des changements invisibles accompagnent également la prise d'arg

- Le principal changement interne est une accumulation de graisse (au 28 % des réserves lipidiques (Durif et al., 2009a).
- Le tube digestif de l'Anguille tend aussi à dégénérer. Ce phénomène fait que les anguilles argentées arrêtent de s'alimenter au fur et accomplissent leur maturation sexuelle.

- La paroi de la vessie natatoire s'épaissit et devient moins étanche aux gaz, ce qui la rend plus performante et mieux adaptée à la migration vers de grandes profondeurs.
- Le poids des gonades augmente sensiblement chez les femelles. Ce dernier doublera une fois que les anguilles auront quitté les eaux continentales.

L'argenteure s'accompagne aussi de nombreux changements hormonaux (sécrétion plus importante d'hormones stéroïdiennes, thyroïdiennes...) qui régissent les changements présentés ci-dessus. Les facteurs qui induisent ces changements hormonaux (et donc l'âge des individus lors de l'argenteure) ne sont toutefois pas connus, même s'il est supposé que chaque individu posséderait une masse lipidique « seuil » qui déclencherait l'argenteure.

- **Les stades de maturation des anguilles**

Afin de caractériser plus aisément l'accomplissement de la métamorphose qui s'opère sur les anguilles jaunes, cinq stades sont distingués dans le processus d'argenteure (Pankhurst, 1982 ; EELREP, 2005 ; Durif et al., 2009 b). Ils sont détaillés ci-dessous.

Tableau : Stades d'argenteure des individus, tels que définis par la littérature

STADE	CARACTERISATION	MODIFICATIONS INTERNES / EXTERNES
F1	Anguilles jaunes non différenciées sexuellement	Pas de différenciation morphologique
FII	Anguilles jaunes femelles	
FIII	Mâles / Femelles pré-migrants	Premières modifications hormonales Légère augmentation du diamètre des yeux
FIV	Femelles avec premières vellétés de migration	Sécrétion de gonadotrophine Arrêt de l'alimentation
FV	Femelles migrantes	Diminution significative du Tube digestif, augmentation du diamètre de l'œil, augmentation de la nageoire pectorale, changement de la couleur de la peau, etc.
MD	Mâles migrants	

Chez les mâles, tous les changements physiologiques interviendraient de manière simultanée, ce qui explique pourquoi on ne différencie que deux stades.

Lors des campagnes d'études, un « indice d'argenteure » peut être estimé sur chaque individu grâce aux travaux de Caroline Durif (Durif et al., 2009b) via la mesure de la taille des yeux, de la nageoire pectorale, de la taille et du poids des anguilles pêchées (*Figure ci-dessous*) (Pankhurst, 1982 ; EELREP, 2005).



Figure : Réalisation d'une biométrie permettant de déterminer le stade d'argenteure d'une anguille. (© MRM)

La migration de reproduction et le comportement de dévalaison

- **Les mécanismes à l'origine de la migration d'avalaison**

Il est intéressant d'observer que toutes les adaptations au milieu marin citées précédemment ont lieu alors que le poisson est toujours dans un environnement dulcicole. On parle de changements anticipateurs (FONTAINE, 1983), car ils ne sont pas une réponse à un nouveau milieu de vie, mais une adaptation anticipée.

Des changements internes (comme l'osmorégulation) préparant le poisson à la vie en mer, provoquent un déséquilibre ionique en eau douce. Cela pourrait induire une incommodité à la vie en rivière et donc jouer un rôle dans le déterminisme migratoire d'avalaison (FONTAINE, 1994).

Cependant, ces seuls critères sont aujourd'hui insuffisants, car les individus ayant réalisé leur croissance dans des milieux littoraux saumâtres vont tout de même effectuer une migration d'avalaison. En l'état actuel des connaissances, il semble que la dévalaison soit à la fois déclenchée par des processus internes (Fontaine, 1994) et par des stimuli environnementaux (Durif et al., 2003 ; Haro, 2003 ; Trancart et al., 2013).

Des études récentes semblent indiquer que la survenue de fortes précipitations semble pourrait fortement stimuler la dévalaison (Trancart et al., 2013). En effet, les fortes variations de ce paramètre peuvent consécutivement engendrer des modifications d'autres paramètres abiotiques (température de l'eau, débit, turbidité, luminosité, etc.) dont le rôle synergique dans le déclenchement de la dévalaison chez les anguilles argentées a été largement documenté (Durif et al., 2003 ; Cullen et McCarthy, 2003 ; Okamura et al., 2002).

Une synthèse des périodes de dévalaison observées sur l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce a été dressée par Acou et al. (2009). Elle montre que globalement, cette migration commence à être observée en automne et se poursuit jusqu'au début du printemps.

Néanmoins, le pic de migration peut être différent selon la localisation de la zone de croissance des individus au niveau de l'aire de répartition de l'espèce. Ainsi, pour les anguilles se situant au centre de l'aire de répartition et sur les côtes méditerranéennes, plusieurs études semblent montrer que le pic de migration de dévalaison interviendrait préférentiellement entre l'automne et l'hiver (Gosset et al., 2000 ; Amilhat et al., 2009).

- **Une problématique spécifique liée au contexte méditerranéen**

Pour rappel, cette étude vise à définir les modalités et les périodes critiques pour la dévalaison des anguilles argentées sur les fleuves côtiers méditerranéens. En effet, malgré l'existence de nombreuses références bibliographiques sur la façade atlantique et dans d'autres pays d'Europe, très peu d'études de la dévalaison ont été réalisées en Méditerranée.

Or, les fleuves côtiers méditerranéens possèdent un fonctionnement hydrologique très particulier, avec des épisodes de crues souvent imprévisibles, brefs et très violents. De fait, il apparaît peu probable que la dévalaison se déroule dans les mêmes conditions que sur la façade atlantique. C'est dans ce contexte de renforcement des connaissances qu'une étude RFID a été mise en place sur la Cagne, un fleuve côtier de petite envergure (module de 0,85 m³/s), abordable d'un point de vue méthodologique.

Annexe 2 : éléments méthodologiques

Origine de la démarche expérimentale sur la Cagne

Le retour d'expérience a montré les limites des dispositifs de piégeage professionnels aux filets et du vidéocomptage pour connaître le déroulement de la dévalaison des anguilles sur les côtières méditerranéens (Campton et *al.*, 2014. ; Campton et *al.*, 2015).

Il s'avère donc nécessaire d'utiliser des dispositifs plus efficaces, (tels que le suivi RFID impliquant l'utilisation de Pit-Tags) ayant fait leurs preuves sur les autres bassins hydrographiques français (De Oliveira, 2012 ; Durif et al, 2003).

MRM a été sollicité par la Fédération de Pêche des Alpes-Maritimes et EDF pour lancer des suivis scientifiques dans le département, en raison de captures récurrentes d'anguilles argentées sur la Cagne et les Paillons (comm. pers. FDAAPPMA06 à l'occasion d'opérations de pêches électriques) et de la présence d'ouvrages hydroélectriques potentiellement mortels pour une partie des individus lors de leur migration vers la mer.

Afin de répondre aux attentes du PLAGEPOMI et de ces deux partenaires, une rencontre d'experts scientifiques (MRM, pôle écohydraulique de l'AFB, EDF, AFB DiR Montpellier et Aix en Provence) et de partenaires locaux (FDAAPPMA06, SD06 de l'AFB) a eu lieu pour évoquer la faisabilité d'une étude comportementale de la dévalaison des anguilles sur les côtières des Alpes Maritimes. À la suite de ces échanges, un protocole a été envisagé. Le choix du site d'expérimentation s'est porté sur le fleuve côtier Cagne.

En effet, ce côtier présente des caractéristiques hydromorphologiques compatibles avec les impératifs techniques du RFID, ainsi qu'une densité d'anguilles argentées permettant a priori de capturer et marquer suffisamment d'individus.

L'objectif défini consiste alors à déterminer le comportement migratoire des anguilles argentées sur un fleuve côtier méditerranéen *de faible envergure*. Les expérimentations sont conduites par l'Association MRM, qui a en charge la mise en place du protocole, la coordination des équipes, l'analyse des données récoltées et la rédaction de ce rapport.

Pour mener à bien cette étude, l'association peut compter sur ses différents partenaires tels la FDAAPPMA 06, l'AFB et EDF (*Figure 5* ci-dessous) qui par leurs compétences techniques et leur ancrage local, apportent une plus-value indispensable à la bonne conduite de ce projet. L'association MRM s'est également appuyée sur les compétences du bureau d'étude SCIMABIO Interface, prestataire de l'étude, qui a conçu et installé les antennes, et a assuré la formation du personnel à la technologie RFID.

Présentation du Bassin versant de la Cagne

La Cagne est un petit fleuve côtier des Alpes-Maritimes dont le bassin versant s'étend sur 100 km² (Figure 4). Elle prend sa source dans le massif du Cheiron situé à 1 150 mètres d'altitude et se jette en méditerranée au niveau de la commune de Cagnes-sur-Mer. Ses deux principaux affluents sont situés en rive droite : la Lubiane (7 km) et le Malvan (16 km).

Le bassin versant est globalement très encaissé. Après un premier secteur de plateau, le cours d'eau traverse des gorges abruptes et adopte les caractéristiques d'un torrent où les pentes atteignent localement des pourcentages supérieurs à 10 %.

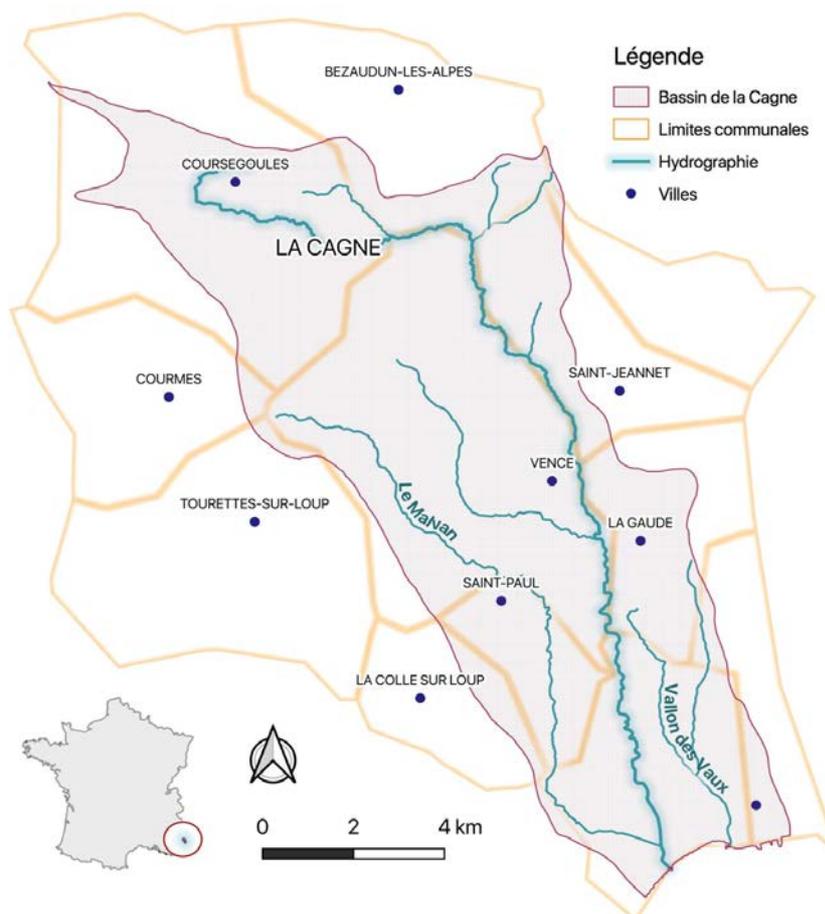


Figure 1 : Le bassin versant de la Cagne (© MRM)

L'aval du bassin est constitué d'une zone collinaire, bien que les couloirs d'écoulement de la Cagne restent très pentus jusqu'à la plaine alluviale du littoral à Cagnes-sur-Mer (pente moyenne proche de 6 %).

L'été, la Cagne est soumise à un étiage sévère allant parfois jusqu'à l'assec (Métropole Nice Côte d'Azur, 2014) et se caractérise par un régime hydrologique méditerranéen typique : de fortes amplitudes entre les débits de bases et les débits de pointes ainsi que des étiages sévères en été.

Le linéaire d'étude, localisé sur la partie basse de la Cagne, s'étend sur une dizaine de kilomètres, du seuil de l'ancienne pisciculture (le site de Simbille) jusqu'à l'embouchure.

Le fleuve est classé Liste 2 sur cette portion, au titre de l'article L.214-17 du Code de l'Environnement.

La Cagne est aussi classée *Zone d'Action Prioritaire Anguille (ZAP)* dans le PLAGEPOMI 2016-2021 et a fait l'objet d'une étude sur l'évaluation de la franchissabilité des obstacles, réalisée par MRM en 2010, d'études des « fronts de colonisation » en 2013 et 2014 conduites par MRM et la FDAAPPMA 06, qui attestent de la présence récurrente d'anguilles argentées sur cet axe.

Présentation spécifique du système d'étude mis en place sur la Cagne

Les sites de pêche et de marquage sont positionnés en amont des antennes et en aval immédiat des principaux obstacles à l'écoulement. Plusieurs stations sont nécessaires à la réalisation de cette étude. Elles sont localisées à 7, 10 et 13 km de l'embouchure. Le site le plus amont (Simbille) correspond à la limite de la ZAP anguille. La seconde station est localisée au niveau du pont du Poutaoutchou et la 3^{ème} se situe de part et d'autre du seuil de Val de Cagnes (Pont-des-Salles). Les antennes RFID sont déployées au niveau des Bugadières (à 2 km de l'embouchure) et au niveau du site de Pont-des-Salles (situé à 7 km de l'embouchure).

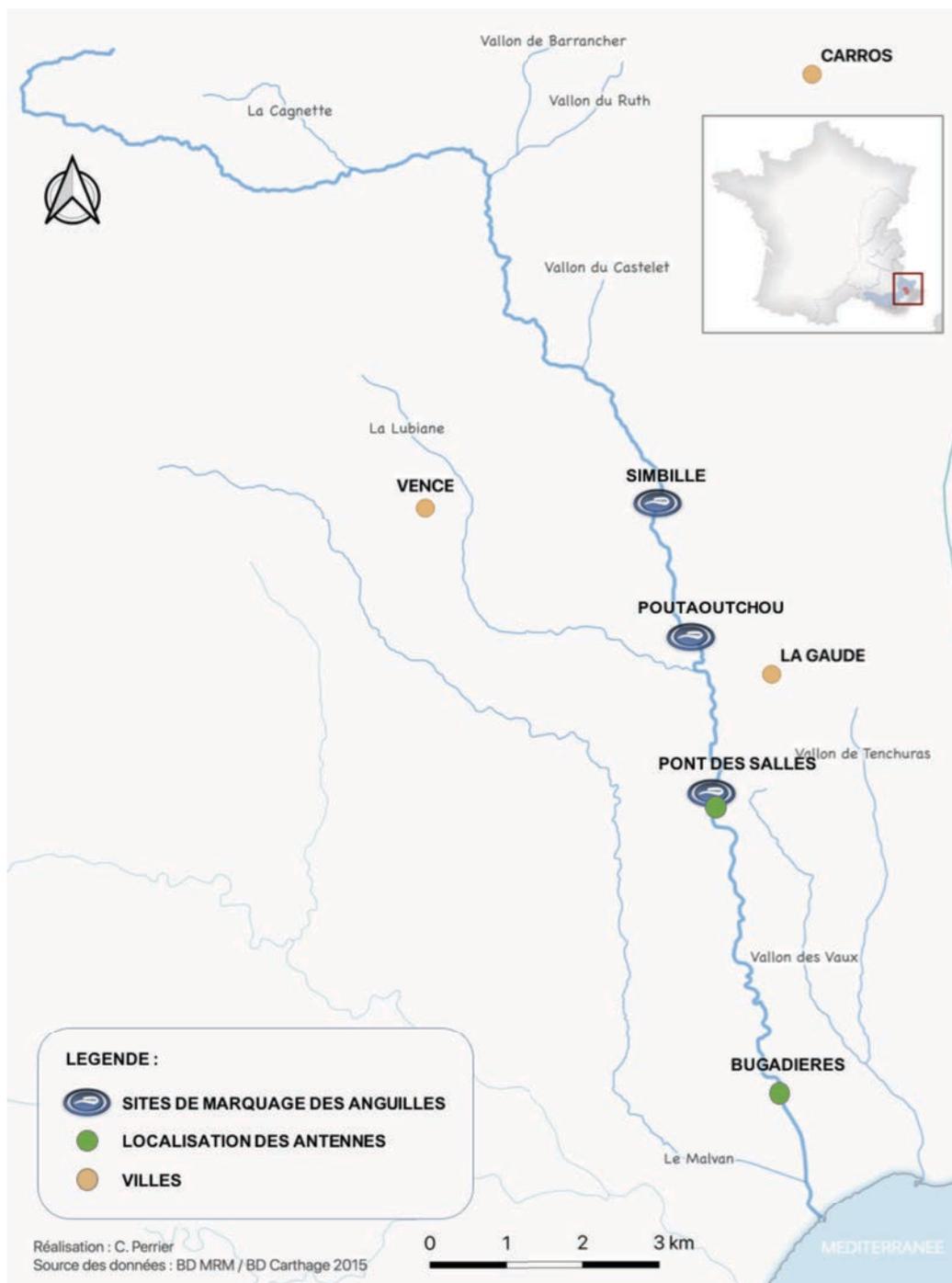


Figure : Localisation du secteur de l'étude RFID sur la Cagne (© MRM)

Fonctionnement de la technologie de suivi RFID - Les Pit-tags

Le système RFID (*Radio Frequency IDentification*) permet de détecter des animaux (et notamment des poissons) directement dans le milieu naturel, sans intervention de recapture. Pour cela, le RFID repose sur des transpondeurs passifs « **Pit-Tags** » de 23 mm (*Figure* ci-dessous). Ces dispositifs sont passifs, c'est à dire qu'ils n'ont pas de batterie. Ils ne sont alimentés en électricité que lors de leur passage à proximité d'une antenne. Cette configuration offre deux avantages majeurs : une durée de vie quasi-illimitée, et un coût très réduit (2 € la marque environ).

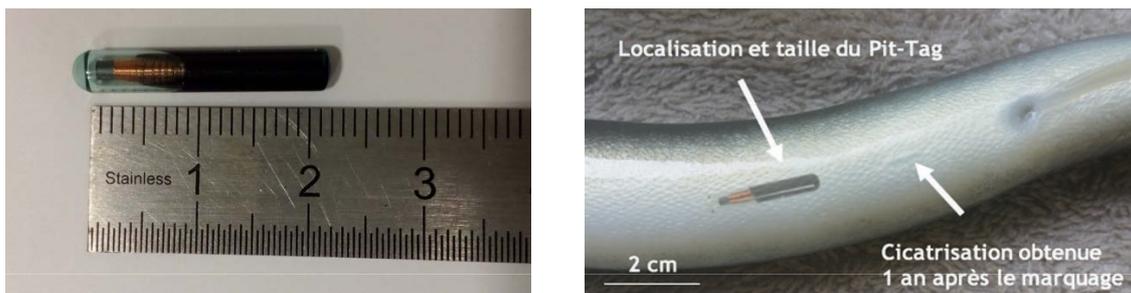


Figure : Un Pit-Tag 23 mm, et sa localisation sur une anguille marquée (© MRM)

Les Pit-Tags sont constitués d'une bobine et d'un circuit intégré, enveloppés dans une capsule en verre biocompatible. Chaque marque porte un code unique (ex : 900_228000000001) permettant son identification.

Le système étant passif, il a besoin d'une stimulation électrique pour communiquer son numéro d'identification. Leur activation est stimulée par le champ électromagnétique que génère l'antenne. Ce champ charge la bobine du transpondeur et génère suffisamment d'électricité pour permettre au Pit-Tag de transmettre son code d'identification à un récepteur connecté à l'antenne (on parle alors « *d'interrogation* » du Pit-Tag par l'antenne). Le système utilisé sur la Cagne permet à l'antenne de d'interroger jusqu'à 10 fois un tag sur un laps de temps de 1 seconde.

Fonctionnement de la technologie de suivi RFID - les antennes

a) Les antennes fixes

L'installation des antennes a été initiée en 2017 sur le site de Bugadières. Le second site (Pont-des-Salles), situé 5 km en amont, a été équipé l'année suivante. Chaque site de suivi est équipé d'une paire d'antennes, nommées A1 (la plus amont) et A2 (la plus aval).

Le fonctionnement de ces antennes est illustré dans la *Figure* ci-dessous. Les dispositifs tirent leur électricité d'un branchement réalisé chez deux propriétaires riverains associés à l'étude (1). Ce transformateur est associé à une mallette de contrôle et de réglages (2), reliée directement à l'antenne implantée dans le cours d'eau (3). Le rôle de chaque composant est détaillé par la suite.

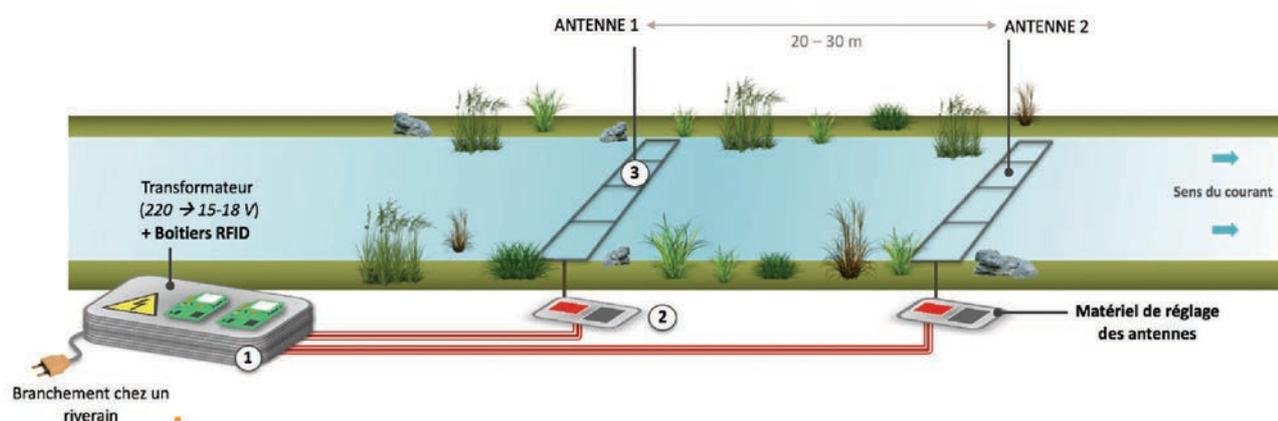


Figure : Représentation schématique des dispositifs RFID installés aux Bugadières et à Pont-des-Salles (© MRM)

- **Un lecteur / enregistreur StreamInnov' :** C'est le cœur du dispositif. Il génère le champ électromagnétique et enregistre les détections avant de les consigner sur un serveur sécurisé. Ce composant essentiel est protégé par un coffre étanche IP66 de 26 x 21 x 14 cm (élément A de la Figure ci-dessous).
- **Un Tuner :** Il permet de régler précisément le champ magnétique de l'antenne. Isolé dans un boîtier de protection, il est également installé dans un coffret étanche IP 66 identique au précédent (élément C de la Figure ci-dessous).
- **Un marqueur-Tag :** C'est l'élément qui permet à l'opérateur de contrôler à distance le bon fonctionnement du dispositif (Figure 8, élément B). Toutes les 30 minutes, ce boîtier interrompt le champ magnétique qu'il génère en continu, permettant à l'antenne de capter le Pit-Tag de contrôle associé au boîtier. Si tout fonctionne normalement, l'opérateur recevra 48 signaux du marqueur-Tag par jour.
- **Les antennes :** de dimension moyenne de 11 m x 1,20 m, elles sont de type « pass over » c'est-à-dire fixées sur le fond du lit (Figure 11, élément D). Elles sont fabriquées à partir de câble hifi de 6 mm² et protégées par une gaine en PVC rigide de 20 mm de diamètre. Elles sont ancrées au fond du lit via des pieux enfoncés d'une soixantaine de centimètres dans le matériau alluvial.



Figure : Les différents éléments composant les systèmes RFID HDX installés sur la Cagne (© MRM)

Le dédoublement des antennes sur chaque site permet d'augmenter l'efficacité du dispositif (comm. pers SCIMABIO Interface, Perrier et al., 2019). L'espacement des 2 antennes étale la surface de détection, et accroît également les chances de détecter un individu qui dévalerait en limite des capacités de détection du dispositif. La distance entre A1 et A2 laisse alors la possibilité à l'anguille de changer sa direction de nage, augmentant ainsi la probabilité qu'elle passe dans la fenêtre de détection.

b) Les antennes mobiles

En 2019, MRM s'est dotée de 4 dispositifs de Tracking mobile (Figure 9). Elles se composent d'une antenne portative de 70 cm de diamètre, d'un sac à dos 30L contenant le lecteur enregistreur, associée à une puissante batterie lithium de 15 V.

Comme pour les antennes fixes, le lecteur/récepteur active l'antenne 10 fois par seconde. Lorsqu'un Pit tag est détecté dans un rayon d'environ 1m autour de l'antenne, le lecteur enregistre l'identifiant et émet un signal sonore. Pour reporter la position de l'individu détecté, un GPS est également utilisé.

Les prospections ont lieu préférentiellement à l'étiage, avant les premières crues automnales, afin de maximiser les capacités de prospections, tout en assurant des conditions sécurisées pour les opérateurs. Ces derniers couvrent un linéaire de 11 km (depuis l'amont de Bugadières jusqu'à la limite de ZAP). Deux à trois équipes de deux se partagent la zone d'étude.



Figure : Les 4 antennes mobiles de l'Association, utilisées en 2019 et 2020 sur la Cagne (© MRM)

La capture et le marquage des anguilles

La capture des anguilles est réalisée par le personnel de la FDAAPPMA 06, à l'aide d'un dispositif de pêche électrique portatif de type Martin Pêcheur (DREAM), qui offre une plus grande mobilité sur un linéaire encaissé comme celui de la Cagne.

Il n'y a pas de protocole standardisé pour la capture d'anguilles dans ce cas de figure. En effet, l'objectif n'est pas d'estimer une densité, mais de réaliser une pêche prospective par sondage des habitats les plus biogènes.

Une attention particulière a été portée aux milieux profonds offrant des caches sous les blocs ainsi que les radiers à la granulométrie assez grossière (comm. Interne FDAAPPMA 06). Les pêches ont été effectuées à l'aide d'une anode et de 2 épuisettes avec une prospection d'aval vers l'amont en un seul passage.

Seules les anguilles sont capturées et placées dans des sceaux dédiés à leur transfert vers la zone de marquage située à proximité. Tout au long de ces opérations, l'accent est porté sur le bien-être animal (conditions de stabulation optimales, viviers de 80 à 100 litres en environnement obscur, avec une mise en charge inférieure à 3 kg de biomasse par bac).

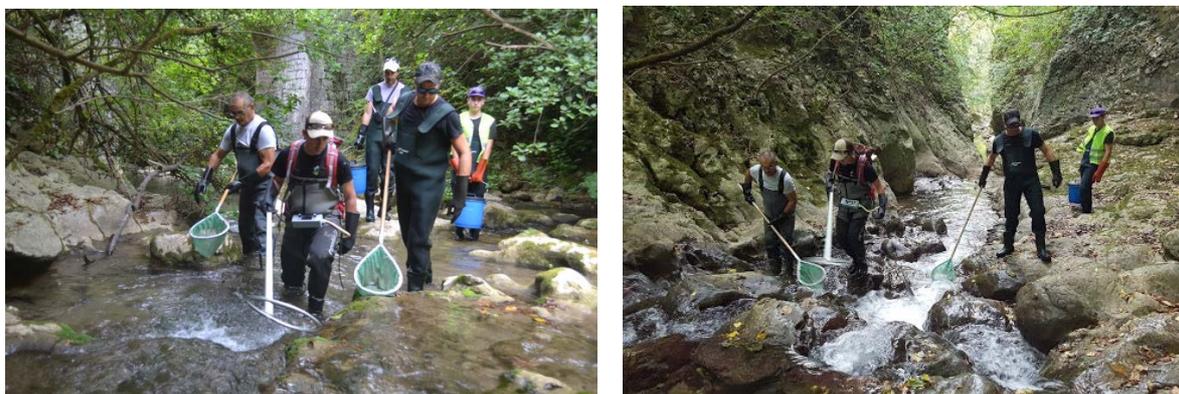


Figure : Les pêches électriques réalisées dans le cadre des marquages sur la Cagne (© FDAAPPMA06)

Le marquage des anguilles

Les anguilles remplissant les critères validés en COGEPOMI (poids supérieurs à 30 g et/ou présentant des signes d'argentures visibles ou soupçonnés) sont tout d'abord endormies. Elles sont alors placées par lots de 15-20 individus dans un bac contenant une solution anesthésiante à base d'huile essentielle de clou de girofle, mélangée à l'eau du cours d'eau (dosage : 3 à 4 cc pour 10 L).

Une fois endormis, elles sont soumises à une biométrie au cours de laquelle sont annotées la taille et le poids. La taille des nageoires pectorales et le diamètre oculaire sont ensuite mesurés via un pied à coulisse électronique. Ces informations sont utilisées pour définir l'indice d'argenteure avec la méthode de Durif (Durif et al., 2009). Ces informations permettront de définir des taux de croissance en cas de recaptures ultérieures.

Une attention particulière est aussi portée à l'état sanitaire des individus. Des points précis tels que la présence de malformations, de parasites, de traces d'érosions, d'hémorragies, de plaies seront recherchés. Ceci pour éviter de marquer des poissons en mauvaise santé.

Enfin, chaque individu est scanné à l'aide d'une scannette portative pour déterminer s'il est déjà porteur d'une marque RFID (potentiellement posée en 2017 ou 2018). Si l'appareil

confirme la présence d'un Pit-Tag, la cicatrice de l'opération est recherchée et photographiée, puis l'individu est immédiatement placé dans le bac de réveil.



Les anguilles non marquées sont ensuite marquées par *injection intra-péritonéale* d'un Pit Tag *via* une seringue ou une légère incision d'environ 5 mm sur la ligne ventrale médiane (Figure 13). Les marques utilisées correspondent à des transpondeurs Half Duplex 23 mm d'Oregon RFID (longueur : 23 mm ; diamètre : 3,65 mm ; masse : 0,6 g). Les Tags préalablement désinfectées dans de la Bétadine avant d'être introduites dans l'animal.

Le retour d'expérience d'études antérieures a montré que l'usage d'une colle chirurgicale (préconisé sur les poissons pour prévenir d'éventuelles infections et accélérer la cicatrisation) n'est pas adapté à l'utilisation sur les anguilles. En effet, la forme serpentiforme de l'anguille fait qu'elle a tendance à se mordre lors de l'application de la colle, augmentant les risques d'infection de la plaie. Son usage n'est donc pas recommandé dans le cadre de cette étude.

En complément, précisons que la réalisation d'un point de suture peut éventuellement être préconisée par l'opérateur, dès lors qu'il considère que l'incision réalisée est suffisamment grande pour laisser ressortir le Pit-Tag inséré. Ce cas de figure reste néanmoins extrêmement rare, et la suture (1 seul point) ne génère pas de modification comportementale.

Suite au marquage, une phase d'observation a lieu jusqu'à récupération complète. Le poisson est stabulé dans un bac de réveil obscur et oxygéné durant 15 à 60 min selon son comportement. Suite à cela, la totalité des anguilles est restituée dans le cours d'eau.

Annexe 3 : Temps de fonctionnement des antennes RFID sur la saison 2019/2020

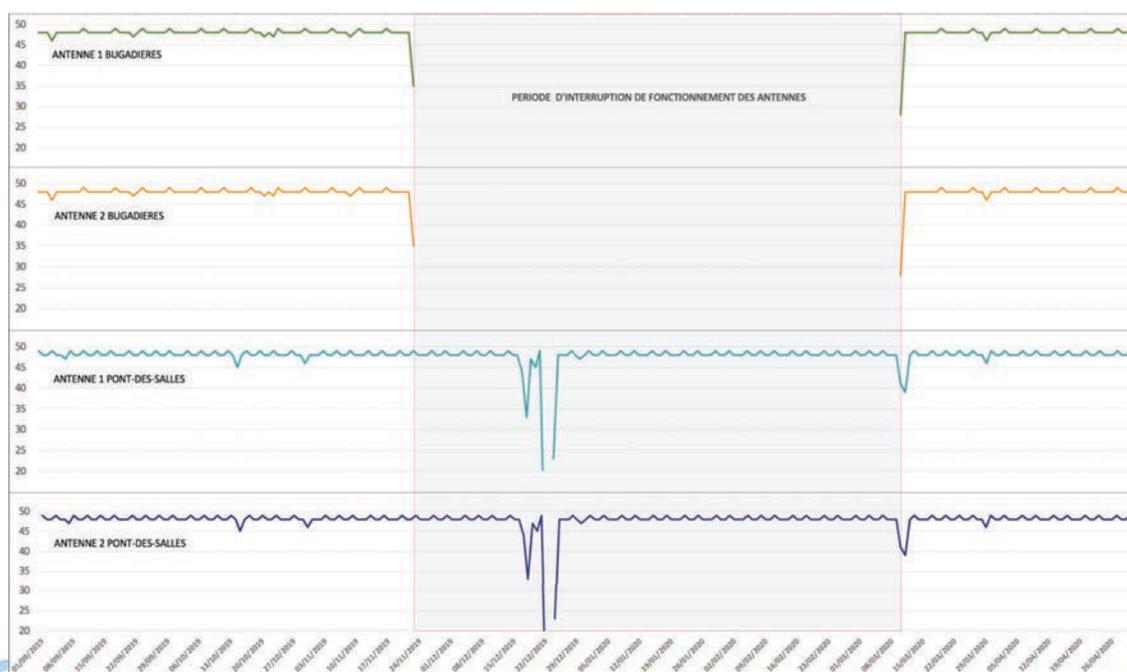
Au cours de la saison 2019-2020, les antennes de Bugadières ont cessé de fonctionner le 23/11/2019. Il existe une incertitude sur la fonctionnalité des antennes de Pont-des-Salles entre le 23/11/2019 et la fin du mois de décembre. Les deux sites ont été remis en service le 11/03/2020. On peut néanmoins affirmer qu'après le passage de la crue cinquantennale fin décembre, plus aucune des antennes de la Cagne ne fonctionnait. L'analyse du nombre de détections quotidiennes des Marqueur-Tag installés sur les différentes antennes permet d'illustrer la fonctionnalité des différents dispositifs cette saison. (*Figure ci-dessous*).

Le diagramme transcrivant l'activité des antennes de Pont des Salles peut donner l'impression que les antennes de ce site sont restées fonctionnelles toute la saison. Ceci n'est pas exact. En effet, les dégâts subis par le matériel de détection étaient différents sur les deux sites, aucun n'était en capacité de détecter le passage d'anguilles :

→ Les antennes de Bugadières ont été tout simplement arrachées, ce qui a provoqué une perte de signal dès le 23/11/2019. Les coffrets contenant les marqueurs tag et le tuner de l'antenne ont été emportés et enfouis dans le lit. Ils ont pu être retrouvés. A ce titre, on peut noter la résistance exceptionnelle des deux boîtiers marqueurs Tag, qui étaient toujours fonctionnels malgré plus de 3 mois passés dans l'eau. L'État des antennes avant et après réparation est illustré par la *Figure 21* en page suivante.

→ Les antennes de Pont-des-Salles ont été seulement partiellement détruites. En effet, elles ont vraisemblablement été tordues et décollées du lit entre les crues du mois de Novembre et celles du mois de décembre, puis plaquées sur la rive droite de la Cagne. Elles étaient néanmoins toujours reliées au système électrique, ce qui permet d'expliquer que le nombre d'interrogation du marqueur Tag ait été maintenu. Leur consommation électrique a néanmoins fortement fluctué durant cette période.

Les mesures de range effectuées *in situ* avant leur réparation ont cependant montré qu'avec la déformation qu'elles avaient subies, elles ne disposaient que de quelques cm de range. Elles ne pouvaient donc pas être considérées comme fonctionnelles, ni du point de vue de leur localisation, ni du point de vue de leurs capacités de détection.



Annexe 4 : Synthèse des dernières études traitant de la période de survenue de la dévalaison

Étude	Localisation de l'étude	Facteurs environnementaux pris en compte	Résumé des Conclusions	Dévalaison en dessous du seuil de crue biennale ?
Der Mikaelian, 2015 (Lien)	Sèvre Niortaise (Deux-Sèvres)	Débit	Dévalaison corrélée aux premiers pics de débits saisonniers Aucun pic de dévalaison en période de débits forts "installés" dans la durée	<p>Valeurs de débit à la station de Niort (La Tiffardière) :</p> <p>Module : 11,40 m³/s Seuil de crue annuelle : 22,80 m³/s (calcul MRM) Seuil crue biennale 87 m³/s</p> <p>Pics de débits approximés et corrélation avec la dévalaison lors de l'étude :</p> <p>Premier pic : ≈ 30 m³/s → Dévalaison ++++ (plus de 1100 individus) Autres pics : 55 - 90 m³/s → Dévalaisons ponctuelles</p> <p>DEVALAISON LA PLUS IMPORTANTE OBSERVEE LORS DU PREMIER PIC DE DEBIT, INFERIEUR AU SEUIL DE CRUE BIENNALE</p>
Besson et al., 2016 (Lien)	Frémur (Bretagne)	Débit, température, pression atmosphérique, cycles lunaires	Les mouvements migratoires sont enregistrés durant des fortes montées (« rises ») et les pics de débit. Les anguilles argentées utilisent le mouvement crée par la hausse de débit pour dévaler plus facilement et diminuer les dépenses énergétiques.	<p>Valeurs de débit à la station de Preslin-Trivagou :</p> <p>Module : 0,231 m³/s Seuil de crue annuelle : 0,462 m³/s (calcul MRM) Seuil crue biennale 2,7 m³/s</p> <p>Pics de débits approximés et corrélation avec la dévalaison lors de l'étude :</p> <p>Premier pic : 2,4 m³/s → Dévalaison +++ Autres pics : 3,5 - 4 m³/s → Dévalaison +</p> <p>DEVALAISON LA PLUS IMPORTANTE OBSERVEE LORS DU PREMIER PIC DE DEBIT, INFERIEUR AU SEUIL DE CRUE BIENNALE</p>

<p>Verdeyroux et Guerri, 2015 (Lien)</p>	<p>Dronne (Dordogne)</p>	<p>Débit</p>	<p>Captures entre octobre et fin juin. La dévalaison peut avoir lieu une grande partie de l'année</p> <p>Les anguilles sont capturées lors de conditions de débit très variées</p> <p>Les premières captures sont les plus importantes et sont réalisées lors du premier pic de débit automnal</p>	<p>Valeurs de débit à la station de Bonnes :</p> <p>Module : 19,3 m³/s Seuil de crue annuelle : 38,6 m³/s (calcul MRM) Seuil crue biennale 110 m³/s</p> <p>Pics de débits approximés et corrélation avec la dévalaison lors de l'étude :</p> <p>Premier pic : 55 m³/s → Dévalaison +++++ (90 captures) Autres pics : 80 - 120 m³/s → Dévalaisons ponctuelles</p> <p>DEVALAISON LA PLUS IMPORTANTE OBSERVEE LORS DU PREMIER PIC DE DEBIT, INFERIEUR AU SEUIL DE CRUE BIENNALE</p> <p><i>NB : résultats identiques sur les 2 autres stations de suivi de l'étude (stations hydrologiques de Coutras et de Villeteureix)</i></p>
<p>Drouineau et al., 2017 (Lien)</p>	<p>Dronne (Dordogne)</p>	<p>Débit, température de l'air et de l'eau, turbidité, conductivité, oxygénation</p>	<p>L'étude suggère que le principal facteur déclencheur de la migration est une variation (« <i>relative change</i> ») de débit lors des lâchers</p> <p>La migration peut survenir même avec des petits lâchers, tant que la variation de débit avant-après lâcher est importante.</p>	<p>Valeurs identiques à la ligne précédente (station de Bonne sur la Dordogne)</p> <p>DEVALAISON IMPORTANTE OBSERVEE LORS DU PREMIER PIC DE DEBIT, SYSTEMATIQUEMENT INFERIEUR AU SEUIL DE CRUE BIENNALE</p>
<p>Verbiest et al., 2012 (Lien)</p>	<p>Meuse</p>	<p>Débit, Température, Turbidité, Conductivité</p>	<p>Les données suggèrent qu'une augmentation des lâchés hydroélectriques va déclencher la migration</p>	<p>DEVALAISONS SURTOUT ENREGISTREES AU DELA DU SEUIL DE CRUE BIENNAL (Deux épisodes de crue très intenses au moment de l'étude)</p>
<p>Voegtler et Larinier, 2008 (Lien)</p>	<p>Gave de Pau</p>	<p>Débit</p>	<p>De façon schématique, 20 % des dévalaisons annuelles sont observées à un débit voisin de Q75/Q95/Q97,5/Q99</p>	<p>Les auteurs observent que :</p> <p>« Pour chaque campagne, [...] environ 80 % des passages d'anguilles marquées [...] se produisent pour des débits [...] supérieurs au module interannuel du cours d'eau », soit 45,3 m³/s.</p> <p>Compte tenu du type de données disponible dans l'étude, il est compliqué d'identifier si de la dévalaison a lieu en dessous du seuil de crue biennale</p>

Teichert et al., 2020	Meuse Dordogne Scorff	Débit	<p>L'étude recommande de mettre en place des arrêts ciblés de turbinage à la tombée de la nuit, les jours où des variations importantes du débit journalier sont observées durant la période de migration.</p> <p>La dévalaison peut survenir même lorsque les niveaux d'eau sont relativement bas</p>	<p>→ À l'aval de la Meuse, la valeur du module peut être estimée à environ 140 m³/s et le seuil de crue biennal à environ 500-600 m³/s (soit une valeur 2x le module d'environ 280 m³/s) DES ARRETS TURBINAGE SONT PRECONISES POUR UNE VASTE GAMME DE DEBITS, DONT CERTAINS TRES INFERIEURS AU SEUIL DE CRUE BIENNAL.</p> <p>→ À l'aval de la Dordogne, la valeur du module peut être estimée à environ 260 m³/s et le seuil de crue biennal à environ 1000 m³/s (soit une valeur 2x le module d'environ 420 m³/s) DE NOMBREUX ARRETS DE TURBINAGE ONT ETE PRECONISES POUR DES DEBITS NETTEMENT INFERIEURS AU SEUIL DE CRUE BIENNAL</p>
Stein et al., 2016 (Lien)	Rivière de l'Elbe (Allemagne)	?	<p>Mouvement de dévalaison souvent discontinu</p> <p>Pics de dévalaisons enregistrés majoritairement en automne (sept-oct.-Nov.) puis au printemps</p> <p>Les principaux paramètres déclencheurs de la dévalaison observés sont la température, les précipitations cumulées et la phase lunaire</p>	<p><i>Analyse impossible à réaliser (Compte rendu d'un suivi pluriannuel). De fait, le nombre de détections journalières, en lien avec le QJM, n'est pas donné)</i></p>
Acou et al., 2009 (Lien)	Loire	Pression, °C, pluviométrie, vent, débit, turbidité, luminosité, type de temps, Vitesse du vent	<p>Ce serait plutôt la variabilité journalière du débit (plutôt qu'un pic de débit proprement dite) qui stimulerait le phénomène de dévalaison.</p>	<p><i>Pas de données de débit disponibles</i></p>
Rautureau et Campton, 2018 Perrier et Campton, 2020	Cagne (Alpes-Maritimes)	Débit, Température, pression,	<p>Sur les trois saisons de suivi, les pics de dévalaison les plus importants sont enregistrés lors des deux premiers coups d'eau d'automne</p>	<p>Des pics de dévalaison ont été enregistrés par RFID lors de pics de débits inférieurs au seuil de crue biennal. (Voir Partie 1 du rapport)</p>

Annexe 5 : Synthèse des QJM_{max} observés sur les premières/secondes crues saisonnières subies par le Var au cours des 30 dernières saisons de dévalaison

NB : Les données en vert correspondent aux crues présentant un QJM_{max} inférieur au seuil d'arrêt de turbinage actuel fixé à 200 m³/s sur le fleuve Var.

Premières crues saisonnières identifiées sur la partie aval du Var sur une période de 30 saisons de dévalaisons							
SAISON	DATE	n° Crue	QJM maximum (m3/s)	Temps de montée (jours)	Etalement (jours)	Temps de descente (jours)	Type de crue
1989-1990	/	<i>Pas de crue identifiée</i>					
1990-1991	30/10/1990	1	102,05	1	1	1	Annuale
1991-1992	29/09/1991	1	423,8	2	3	1	Annuale
1992-1993	28/09/1992	1	106,5	1	1	1	Annuale
1993-1994	24/09/1993	1	251,9	2	2	1	Annuale
1994-1995	23/09/1994	1	328	4	6	4	Annuale
1995-1996	31/12/1995	1	140,6	2	2	6	Annuale
1996-1997	11/11/1996	1	520	2	13	11	Biennale
1997-1998	06/11/1997	1	427,8	3	4	2	Annuale
1998-1999	27/03/1999	1	168,6	1	1	1	Annuale
1999-2000	20/09/1999	1	298,9	2	1	1	Annuale
2000-2001	30/09/2000	1	148	2	1	1	Annuale
2001-2002	/	<i>Pas de données cette année</i>					
2002-2003	10/11/2002	1	106,6	1	1	1	Annuale
2003-2004	31/10/2003	1	314,5	2	2	1	Annuale
2004-2005	29/10/2004	1	126	1	1	1	Annuale
2005-2006	09/09/2005	1	171	4	1	1	Annuale
2006-2007	25/09/2006	1	324,6	1	2	1	Annuale
2007-2008	23/11/2007	1	106,71	2	1	1	Annuale
2008-2009	03/11/2008	1	224	4	6	3	Annuale
2009-2010	22/10/2009	1	134	2	1	1	Annuale
2010-2011	05/10/2010	1	113	2	1	1	Annuale
2011-2012	25/10/2011	1	173	1	1	1	Annuale
2012-2013	05/11/2012	1	251	2	2	1	Annuale
2013-2014	04/01/2013	1	311	2	3	1	Annuale
2014-2015	04/11/2014	1	327,7	3	2	1	Annuale
2015-2016	04/10/2015	1	114,8	3	1	1	Annuale
2016-2017	15/09/2016	1	97,9	1	1	1	Annuale
2017-2018	11/12/2017	1	181	3	2	1	Annuale
2018-2019	29/10/2018	1	252	5	17	15	Annuale
MOYENNE :			223,0	2,1	2,8	2,3	

Dévalaison des anguilles en Rhône-Méditerranée - Saison 2019-2020 -

Secondes crues saisonnières identifiées sur la partie aval du Var sur une période de 30 saisons de dévalaisons							
SAISON	DATE	n° Crue	QJM maximum (m3/s)	Temps de montée (jours)	Etalement (jours)	Temps de descente (jours)	Type de crue
1989-1990	/	<i>Pas de crue identifiée</i>					
1990-1991	08/03/1991	2	263	4	3	1	Annuale
1991-1992	06/10/1991	2	143,12	1	2	1	Annuale
1992-1993	06/10/1992	2	123,1	2	1	1	Annuale
1993-1994	01/10/1993	2	240,8	3	3	1	Annuale
1994-1995	21/10/1994	2	117	2	1	1	Annuale
1995-1996	07/01/1996	2	1065	6	12		Cinquentenale
1996-1997	13/12/1996	2	159,1	2	3	1	Annuale
1997-1998	12/11/1997	2	182,2	1	2	1	Annuale
1998-1999	/	<i>1 seule crue cette saison</i>					
1999-2000	21/10/1999	2	498	6	8	7	Biennale
2000-2001	12/10/2000	2	429,5	6	8	4	Annuale
2001-2002	/	<i>Pas de données cette année</i>					
2002-2003	14/11/2002	2	714	4	19	16	Quinquennale
2003-2004	01/12/2003	2	258,8	2	5	3	Annuale
2004-2005	01/11/2004	2	138	1	3	2	Annuale
2005-2006	03/12/2005	2	101,4	2	1	1	Annuale
2006-2007	06/12/2006	2	233,7	2	5	2	Annuale
2007-2008	12/01/2008	2	254,6	2	1	1	Annuale
2008-2009	14/12/2008	2	279	2	4	2	Annuale
2009-2010	23/12/2010	2	333	4	5	2	Annuale
2010-2011	31/10/2010	2	403	2	4	2	Annuale
2011-2012	04/11/2011	2	841	2	11	9	Annuale
2012-2013	10/11/2012	2	447	2	4	2	Annuale
2013-2014	17/01/2014	2	582	<i>Données non fiables (station en panne après le pic de crue)</i>			Biennale
2014-2015	10/11/2014	2	268,8	2	9	3	Annuale
2015-2016	29/10/2015	2	108,7	1	1	1	Annuale
2016-2017	14/10/2016	2	201	3	2	1	Annuale
2017-2018	09/01/2018	2	114	1	1	1	Annuale
2018-2019	24/11/2018	2	157	2	2	1	Annuale
MOYENNE :			320,6	2,6	4,6	2,7	

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

