-RAPPORT D'ETUDE-

2019 N°9/15

Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens

Suivi 2018/2019 par RFID sur la Cagne & Caractérisation du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure

PERRIER C., CAMPTON P. • Mai 2020

MIGRATEURS RHÔNE-MÉDITERRANÉE

FÉDÉRATION NATIONALE PÊCHE

Photo de couverture
(© MRM)

Référence à citer

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.

MIGRATEURS
RHÔNE-MÉDITERRANÉE

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
- Électricité de France (EDF)

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 Aix en Provence et Montpellier, Service départemental 06
- SMIAGE Maralpin
- Agence de l'Eau
- Propriétaires Riverains
- SCIMABIO Interface
- Association Nice Météo 06

Résumé

L'anticipation des mouvements migratoires liés à la dévalaison présente un intérêt fondamental dans la gestion et la protection de l'Anguille européenne, une espèce classée en *danger critique d'extinction* et fortement menacée dans cette phase de son cycle biologique.

Or, les mécanismes incitant les anguilles argentées à quitter les cours d'eau pour entamer leur migration de reproduction ne sont pas connus en Rhône-Méditerranée et les travaux réalisés sur la façade atlantique sont difficilement transposables au contexte hydrologique atypique de la façade méditerranéenne.

La présence avérée d'hydroélectricité sur certains fleuves côtiers nécessite d'améliorer nos connaissances, en accord avec les objectifs fixés par le règlement européen (n°1100/2007) et transcrit dans le plan national de gestion de l'Anguille. Les réflexions conduites par MRM depuis 2012 sur le bassin Rhône-Méditerranée s'inscrivent durablement dans cette démarche.

L'expérimentation conduite depuis 2017 sur la Cagne, petit fleuve côtier des Alpes-Maritimes, vise à marquer et à suivre des anguilles argentés (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 initié en 2017 a permis d'acquérir des données et un retour d'expériences sur deux saisons de dévalaison (2017-2018 et 2018-2019), mais aussi sur la fiabilité du RFID en situation critique.

En complément du site de Bugadières (situé à 3 km de l'estuaire) le dispositif de suivi a été étoffé. Un second site (Pont-des-Salles) situé 5 km en amont a été équipé de deux antennes fixes en juillet 2018. Cette densification du dispositif de suivi permettra d'apporter des informations sur diverses modalités de dévalaison.

Sur la saison 2018-2019, **17 Anguilles** ont été détectées dont certaines sur les deux sites de suivis. Elles ont vraisemblablement rejoint la mer :

- Une première vague de déplacement a été enregistrée les 10-11 octobre 2018 avec 8 individus détectés sur le site amont dont **2** ont passé le site aval moins de 24h plus tard.
- Une seconde vague du 29 Octobre au 1er Novembre constituée de **14 anguilles** sur le site aval.
- Enfin, **un dernier individu** a rejoint la mer à la fin du mois de Décembre.

Environ 90 % des anguilles ont été détectées entre 21h et minuit, et tous les pics de dévalaisons sont corrélés à des subites augmentations de débit en lien avec des hausses de pluviométrie journalière.

Le Tracking-mobile et le marquage réalisés en août et septembre 2019 ont montré la présence de 24 individus marqués à l'amont des antennes. 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 incertitude demeure pour 36 individus.

Avec un dispositif resté fonctionnel sur plus de 95 % de la saison 2018-2019, l'utilisation de la technologie RFID pour un suivi en continu semble adaptée. Elle apporte des éléments de réponse dans le suivi de la dynamique migratoire des anguilles argentées notamment pour caractériser les plages migratoires et leurs étalements sur la saison. Toutefois, avec une lame d'eau atteignant 1,3 m lors du pic de crue et une capacité maximale de détection des antennes oscillant autour de 80 cm, le dispositif n'a pu couvrir l'ensemble de la colonne d'eau.

MIGRATEURS
RHÔNE-MÉDITERRANÉE

Certaines anguilles ont donc pu dévaler sans être détectées par les antennes fixes. L'évaluation de l'intensité migratoire nécessitera donc de marquer de nouveaux individus et de poursuivre le suivi sur plusieurs années.

Les crues exceptionnelles du mois de décembre 2019 (vicennale suivie d'une cinquantenale) ont endommagé les câbles des antennes et les boitiers des tuners associés sur les 2 sites suivis. Ils ont été changés au mois de mars reconnectés aux coffrets électriques des dispositifs de suivi qui eux étaient restés intacts. Les nouvelles hauteurs de détection sont plus élevées (de l'ordre de 1 à 1,2 mètres)

La saison 2019/2020 est marquée par l'extension du marquage aux anguilles immatures. 300 anguilles sont désormais suivies, ce qui permettra de réduire la fréquence d'échantillonnage par pêche électrique et d'acquérir de nouvelles informations sur l'utilisation de l'habitat et l'acquisition de l'argenture.

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.

En raison des contraintes rencontrées ces dernières années pour capturer des anguilles argentées en vue de réaliser un suivi comportemental sur le Var via la radio télémétrie, une nouvelle approche méthodologique est envisagée. Elle vise à faire le lien entre le fonctionnement hydrologique d'un cours d'eau et les connaissances acquises par ailleurs sur le comportement de dévalaison (sur la Cagne notamment et sur d'autres cours d'eau de la façade Atlantique).

Les analyses issues de cette étude seront bénéfiques pour estimer le comportement de dévalaison sur des cours d'eau méditerranéens regroupés par « type de fonctionnement hydrologique » ainsi mieux cibler les enjeux en termes de restauration de la continuité et d'hydroélectricité.

Les premières investigations ont été réalisées sur le Var et l'Hérault. Elles constituent la première étape de la démarche visant à proposer une démarche méthodologique et des critères d'analyse qui permettront *in fine* de caractériser et de comparer le fonctionnement des fleuves côtiers méditerranéens ciblés.

Quatre premiers critères de caractérisation ont été étudiés : 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).

Les premiers résultats montrent des résultats encourageants quant à la viabilité de la méthode, même s'il est encore trop tôt pour tirer des conclusions sur le fonctionnement hydrologique de l'Hérault et du Var. L'ajout de critères de caractérisation supplémentaires apparaît en effet indispensable pour confirmer les résultats des premières analyses présentées dans ce rapport.

La démarche sera proposée pour avis à un collège d'experts en hydrologie et biologie des populations afin de la valider. A partir des premiers résultats du Var et de l'Hérault et sur les différentes propositions de ce rapport, cette validation permettra de réaliser des ajustements méthodologiques et de définir clairement la grille de critères et les modalités qui permettront d'étendre les analyses à l'ensemble des côtiers de grande envergure en Méditerranée.

Sommaire

Partie 1 :

1 Contexte ____ 3

1.1. Contexte biologique ____ 3
- a) Présentation de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) ____ 3
- b) Acquisition de l'argenture ____ 5
- c) Vers le comportement de dévalaison ____ 6

1.2. Origine de la démarche expérimentale sur la Cagne ____ 8

2 Méthodologie ____ 9

2.1 2.1. Choix du site d'étude pour le suivi RFID ____ 9

2.2 2.2. Description et fonctionnement du dispositif de suivi RFID ____ 11

2.3 2.3. Fonctionnement des antennes ____ 12
- a) Antennes fixes ____ 12
- b) Antennes mobiles ____ 14

2.4 2.4. Capture et marquage des anguilles de la saison 2018/2019 ____ 15
- a) Méthode d'échantillonnage ____ 15
- b) Marquage ____ 15

2.5 2.5. Données de passages et fonctionnement des antennes ____ 16
- a) Téléchargement et traitement des données ____ 16
- b) Contrôle du fonctionnement des antennes ____ 17

2.6 2.6. Suivi des paramètres environnementaux ____ 18
- a) Le débit ____ 18
- b) Pluviométrie ____ 18
- c) Thermie ____ 19

3 Bilan de la saison de dévalaison 2018-2019 ____ 20

2.7 3.1. Capture et marquage des anguilles argentées ____ 20
- a) Stations de pêche ____ 20
- b) Caractéristiques de l'échantillonnage de septembre 2018 ____ 21
- c) Bilan des marquages pour la saison de dévalaison 2018 2019 ____ 24
- d) Tolérance du Pit-Tag et taux de mortalité post-marquage ____ 25

2.8 3.2. Dynamique migratoire 2018-2019 ____ 25
- a) Détections au niveau des antennes fixes ____ 25
- b) Nombre d'interrogations consécutives par Pit-Tag et par antenne ____ 27
- c) Prospections mobiles d'août 2019 ____ 28
- d) Influence des paramètres environnementaux sur la dévalaison ____ 30
- e) Bilan des détections de la saison 2018-2019 ____ 32

2.9 3.3. Fonctionnalité du dispositif RFID ____ 33
- a) Temps de fonctionnement des antennes ____ 33
- b) Hauteur de détection (range) ____ 34
- c) Comportement du matériel en situation critique ____ 34

4 Premiers résultats 2019-2020 ____ 34

Conclusion ____ 36

MIGRATEURS RHÔNE-MÉDITERRANÉE

Partie 2 :

1 Méthode ____ 39

1.1 Proposition de critères de comparaison hydrologique ____ 39
1.2 Quelle démarche de caractérisation ? ____ 39
a) Sélection des données à exploiter ____ 39
b) Disponibilité des données pour les affluents ____ 40

2 Critères de caractérisation hydrologique ____ 41

2.1 Focus préalable sur la notion de « crue » ____ 41
2.2 Étude de la cohérence amont-aval des débits ____ 41
2.3 Contribution des affluents ____ 42
2.4 Nombre de crues observées chaque saison ____ 42
2.5 Caractérisation des premières crues automnales ____ 43

3 Analyse hydrologique du fleuve Var ____ 44

3.1 Contexte hydrologique et données disponibles ____ 44
a) Le bassin versant et les suivis hydrométriques du Var ____ 44
b) Stations retenues sur le Var ____ 46
c) Stations retenues sur les affluents du Var ____ 47
3.1 Cohérence amont-aval des débits du Var ____ 49
a) Répercussion des crues entre la station médiane et la station aval ____ 49
b) Répercussion des crues entre la station amont et la station aval ____ 49
3.2 Analyse de la contribution des affluents au débit du Var lors des épisodes de crues 50
3.3 Nombre de crues par saison sur le bassin du Var ____ 52
3.4 Analyse des premiers épisodes de crues saisonniers du Var ____ 53

4. Analyse hydrologique du fleuve Hérault ____ 56

4.1. Contexte hydrologique et données disponibles ____ 56
a) Le bassin versant et les suivis hydrométriques de l'Hérault ____ 56
b) Stations retenues sur l'Hérault ____ 58
c) Stations retenues sur les affluents de l'Hérault ____ 58
4.2. Analyse de la cohérence amont-aval des débits ____ 60
4.3. Contribution des affluents aux crues ____ 61
4.4. Nombre de crues par saison ____ 62
4.5. Premiers épisodes de crues automnales ____ 64

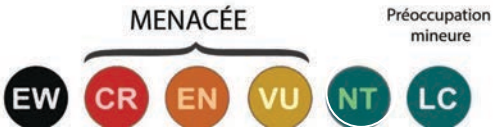
5. Synthèse comparative du Var et de l'Hérault ____ 66

5.1. Comparaison du fonctionnement hydrologique des deux côtiers sur la base des critères proposés ____ 66
a) Caractéristiques des deux bassins et cohérence des écoulements ____ 66
b) Rôle et contribution des affluents ____ 67
c) Nombre de crues par saison sur le fleuve et les affluents ____ 68
d) Analyse comparative des premiers épisodes crue saisonniers ____ 69
5.2. Perspectives ____ 70
a) Retour sur les limites de la méthode proposée ____ 70
b) Les futurs critères de caractérisation à envisager ____ 71
c) Une méthode globale et des critères à faire valider ____ 72

Conclusion ____ 72

Introduction

L'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*), un migrateur amphihalin thalassotoque, est une espèce *en danger critique d'extinction*, classée en liste rouge de l'UICN. Elle subit en effet de nombreuses pressions (d'origine anthropiques et naturelles) qui affectent chaque phase de son cycle biologique. 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 pristine[1]. De plus, le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI) 2010-2014 a soulevé la nécessité d'approfondir les connaissances sur l'Anguille et en particulier sur sa phase de dévalaison.

Le PLAGEPOMI 2016-2021 reprend aujourd'hui ces orientations, avec pour objectif de poursuivre l'acquisition de connaissances sur la dévalaison en Rhône-Méditerranée, mais aussi de définir une méthode permettant d'estimer l'échappement en anguilles argentées sur le Rhône et les fleuves côtiers méditerranéens.

En effet à l'heure actuelle, peu d'études ont été conduites sur la façade méditerranéenne pour étudier la dévalaison de l'anguille, alors que le sujet est vastement documenté sur la façade atlantique. Toutefois, des analyses hydrologiques menées par l'ONEMA sur l'Aude en 2013 montrent qu'il est peu probable que la dévalaison sur les côtiers méditerranéens s'opère dans les mêmes conditions (Campton *et al.* ; 2016) en raison de la soudaineté des évènements pluviométriques et hydrologiques.

Ainsi, 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. Le retour d'expérience a rapidement montré les limites des dispositifs de piégeage professionnels aux filets et du vidéocomptage pour étudier cette migration.

En effet, une des principales difficultés réside dans la capacité à capter un signal de migration durant plusieurs mois avec des événements hydrologiques brefs et violents, qui génèrent des contraintes élevées pour le matériel.
Un suivi à la capetchade semble toutefois possible pour caractériser la dévalaison des tributaires d'étangs/lagunes.

Face à ces difficultés et aux attentes/enjeux locaux (volonté d'une coopération MRM-FDAAPPMA06 pour travailler sur l'Anguille, nombreux aménagements hydroélectriques sur la basse vallée du Var), un collège d'experts (pôle écohydraulique de l'AFB, EDF R&D, AFB DiR Montpellier et Aix en Provence) et de gestionnaires locaux (FDAAPPMA06, SD06 de l'AFB) a été réuni par MRM en 2015 pour évoquer la faisabilité d'une étude comportementale des anguilles argentées sur un côtier des Alpes-Maritimes.

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

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 *Pit-Tags* et la détection de leurs passages au niveau de stations fixes et mobiles. L'installation du matériel a eu lieu en juillet 2017 et un premier marquage s'est déroulé en septembre. En parallèle, un suivi des paramètres environnementaux a été conduit afin d'évaluer leurs influences sur la dynamique migratoire.

La saison 2017-2018 (Rautureau et al., 2019) visait à évaluer la conformité de la technologie déployée sur la Cagne et répondre aux objectifs suivants :

- Acquérir un retour d'expérience sur le fonctionnement des stations
- Familiariser les opérateurs/partenaires avec l'utilisation et la maintenance de cette technologie
- Déterminer l'efficacité du matériel déployé
- Optimiser l'organisation ainsi que la communication entre les opérateurs pour les différentes phases de l'étude.

Fort de deux années d'expérience ayant permis de valider l'utilisation de la RFID, ce rapport présente la seconde saison de dévalaison complète d'un suivi inter annuel visant à terme l'évaluation de la cinétique de dévalaison selon 2 orientations :

(1) Identifier les plages migratoires et leurs étalements sur la saison

(2) Définir l'aspect directif de la migration de dévalaison

Sur le Var, le retour d'expérience a mis en avant les grandes difficultés de mettre en place un radiopistage des anguilles dévalantes. Ce rapport présente l'alternative méthodologique validée en Comité de pilotage, dont la ligne directrice consiste en la réalisation d'une synthèse du fonctionnement hydrologique des fleuves côtiers de grandes envergures. L'Année écoulé a permis de définir les objectifs de la démarche, et d'initier le travail de caractérisation et de comparaison sur deux fleuves côtiers de grande envergure : le Var et l'Hérault.

Partie 1 : Étude comportementale sur la Cagne

1 Contexte

1.1. Contexte biologique

a) Présentation de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla)*

- **Taxonomie et répartition :**

L'Anguille fait partie de la super classe des Ostéichtyens et du super-ordre des Élopomorphes, un taxon de Téléostéens phylogénétiquement ancien.

Le genre *Anguilla* compte 15 espèces répertoriées dans le monde, dont deux se localisent dans l'Atlantique Nord : l'Anguille européenne *(Anguilla anguilla)* (*Figure 1*) et l'Anguille américaine (*Anguilla rostrata*), qui sont morphologiquement identiques mais se distinguent anatomiquement par leur nombre de vertèbres (Ege, 1939 in Imbert, 2008).

Même si des hybridations entre les deux espèces ont été documentées (Daemen *et al.*, 2001 ; Wirth & Bernatchez, 2001), les travaux les plus récents tendent à montrer une ségrégation bien établie entre les deux espèces (Als *et al.*, 2011).

Espèce migratrice amphihaline, l'Anguille européenne est dite thalassotoque (ou catadrome), 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. Elle présente une large distribution géographique, qui s'étend de l'Europe septentrionale (Islande, îles Féroé) en passant par l'Europe occidentale et méridionale et jusqu'au bassin méditerranéen.

Elle est présente sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse avec des densités qui diminuent en s'éloignant de la mer (Chancerel, 1994 ; Elie & Rigaud, 1984 ; Ximenes et al., 1986 ; Feunteun et al., 1998).

À l'âge adulte, l'anguille peut mesurer entre 30 cm et 1 m (1,5 m au maximum), pèse jusqu'à 3 kg et présente un fort dimorphisme sexuel. Les mâles sont plus petits (30 à 40 cm) ce qui implique que toutes les anguilles supérieures à 50 cm sont des femelles (Bruslé & Quignard, 2006).

L'Anguille passe la majeure partie de sa vie (4 à 12 ans) dans les eaux continentales. On la rencontre par ailleurs dans des milieux aussi variés que les fleuves, les rivières, les lacs de plaine ou bien encore dans les eaux saumâtres des lagunes (Crivelli, 1998). Deux illustrations sont présentées en *Figure 1* ci-dessous.

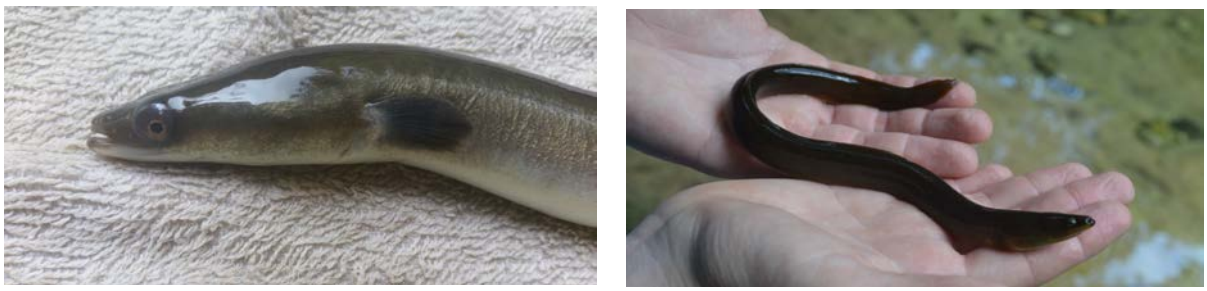


Figure 1 : Ci-dessus à gauche, une anguille jaune en cours de métamorphose. A droite, une jeune anguille jaune (© Association MRM)

- **Cycle de vie :**

L'Anguille est le seul grand migrateur thalassotoque européen. Le cycle de vie de cette espèce, à la fois unique et encore mystérieux sur de nombreux points, (*a fortiori* en région méditerranéenne) suscite encore de nombreuses interrogations. Il est détaillé en *Figure 2* ci-dessous.

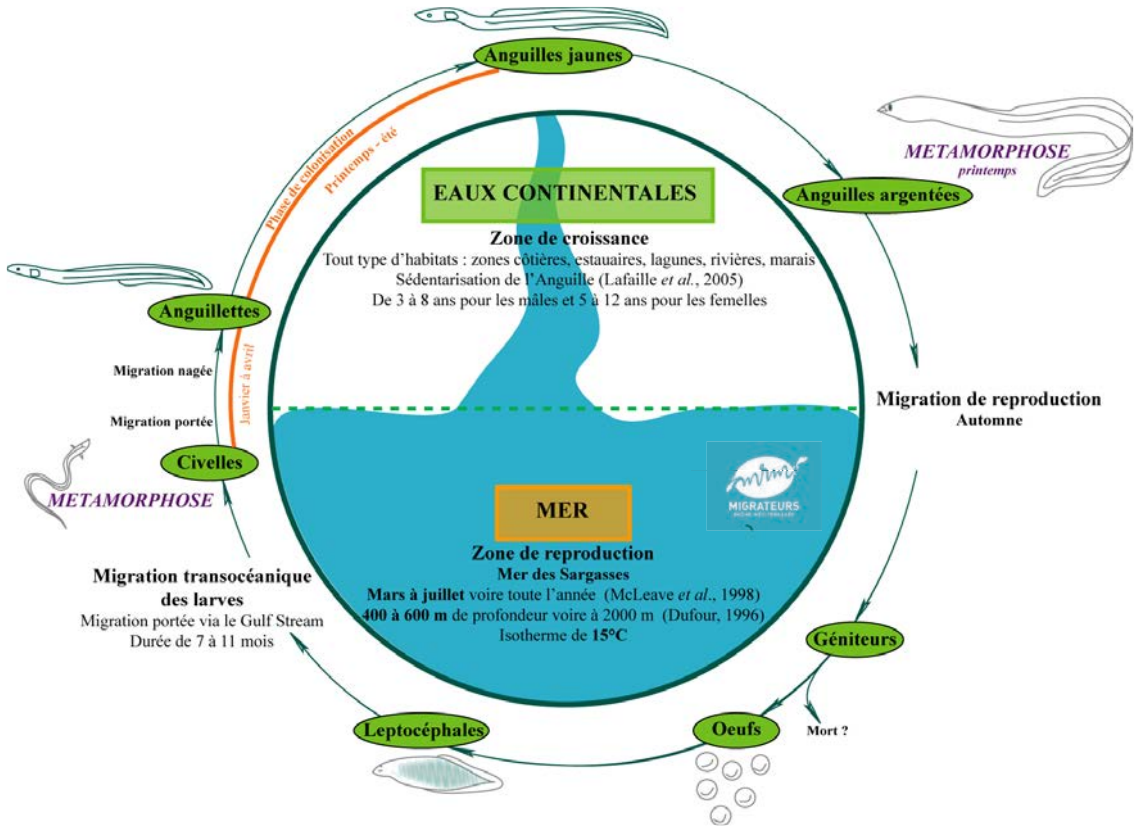


Figure 2 : Cycle de vie de l'Anguille (© MRM)

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

Après éclosion, les larves « leptocéphales » réalisent une migration vers les côtes européennes (voyage de 6 000 km environ) puis se transforment en civelles transparentes à l'abord du plateau continental.

Les civelles colonisent alors les eaux de transition et continentales. Les anguilles se sédentarisent (on parle alors « d'anguilles jaunes ») et effectuent leur croissance aussi bien dans les milieux côtiers que dans les estuaires, marais, fleuves, rivières et ruisseaux.

b) Acquisition de l'argenture

Au terme de sa période de vie continentale, l'Anguille subit une métamorphose (appelée argenture) qui accompagne l'acquisition de la maturité sexuelle et la préparation à la migration transocéanique.

Cette métamorphose, qui marque la fin de la phase de croissance, semble intimement liée à cette 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 3* ci-dessous).

L'argenture se caractérise par 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, ainsi que de l'épaisseur de la peau. On note aussi une apparition bien marquée de la ligne latérale, qui devient plus visible que chez l'anguille jaune.

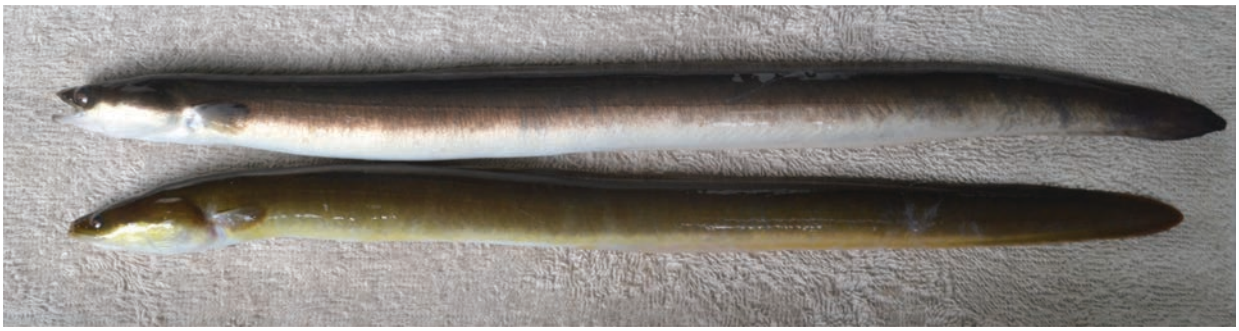


Figure 3 : Comparaison entre deux anguilles de tailles similaires : En haut, un individu présentant des caractéristiques d'une argenture avancée. En dessous, une anguille « jaune » (© MRM)

Ces différentes modifications joueront ensuite un rôle bien précis :

- L'augmentation de la taille des yeux, qui est due à une augmentation du nombre de cellules réceptrices de la lumière, doit permettre à l'Anguille de mieux absorber la lumière dans les fonds obscurs dans lesquels elle se retrouvera lors de la migration de reproduction.

- L'augmentation de l'épaisseur de la peau intervient pour assurer une meilleure osmorégulation dans l'eau de mer (réduction de la perte en eau).

- La ligne latérale des individus argentés devient facilement visible, celle-ci permettant aux anguilles de mieux détecter leur environnement (obstacles, prédateurs, courants océaniques, etc.)

- **Changements physiologiques internes**

Des changements non visibles de l'extérieur accompagnent également la prise d'argenture :

- Le principal changement interne est une accumulation de graisse (augmentation de 8 à 28 % des réserves lipidiques (Durif et al., 2009a, in Van den Thillart et al., 2009)).
- Le tube digestif de l'Anguille tend aussi à dégénérer. Ce phénomène est en partie dû au fait que les anguilles argentées arrêtent de s'alimenter au fur et à mesure qu'elles 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'argenture 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'argenture) ne sont toutefois pas connus, même s'il est supposé que chaque individu possèderait une masse lipidique « seuil » qui déclencherait l'argenture.

c) Vers 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 peut donc parler de **changements anticipateurs** (FONTAINE, 1983). En effet 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 critères sont vraisemblablement insuffisants, car les individus ayant réalisé leur croissance dans des milieux littoraux saumâtres vont tout de même effectuer une migration d'avalaison.

De fait, la stimulation de la dévalaison doit être induite par une combinaison d'adaptats, comme l'augmentation du nombre de cellules réceptrices de la lumière dans l'œil (et donc de la photosensibilité) ou les modifications de la vessie natatoire, qui peuvent conduire à une dérive progressive du préférendum de l'espèce (FONTAINE, 1994).

La caractérisation de l'activité migratoire dans son état passif ou actif est également sujet à discussion. En effet, d'après Fontaine (1975), la déminéralisation préparatoire à la vie en mer serait responsable d'une certaine anesthésie chez l'individu conduisant à une migration passive. À l'inverse, l'augmentation de la sécrétion d'hormone thyroïdienne engendrerait selon certains auteurs un comportement d'hyperactivité.

La migration d'avalaison des anguilles commence généralement 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).

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'argenture (Pankhurst, 1982 ; EELREP, 2005 ; Durif et al., 2009 b). Ils sont détaillés dans le *Tableau 1* ci-dessous :

Tableau 1 : Stades d'argenture des individus, tels que définis par la littérature

STADE	CARACTERISATION	MODIFICATIONS INTERNES / EXTERNES
FI	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 velléités 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'argenture » 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 4*) (Pankhurst, 1982 ; EELREP, 2005).

Figure 4 : Mesure du diamètre occulaire et de la taille de la nageoire pectorale sur un individu présentant des signes visibles d'argenture (© MRM, 2018)

1.2. Origine de la démarche expérimentale sur la Cagne

Le retour d'expérience a montré les grandes limites des dispositifs de piégeage professionnels aux filets et du vidéocomptage pour connaitre le déroulement de la dévalaison des anguilles sur les côtiers méditerranéens (Campton et *al.*, 2014. ; Campton et *al.*, 2015). Pour avancer dans cette démarche, il s'avère 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, 2002).

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 côtiers des Alpes Maritimes. À la suite de ce groupe de travail, un protocole a été envisagé. Au vu du recueil d'informations, le choix du site d'expérimentation s'est porté sur le fleuve côtier Cagne (sud-ouest de Nice).

En effet, la Cagne 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.

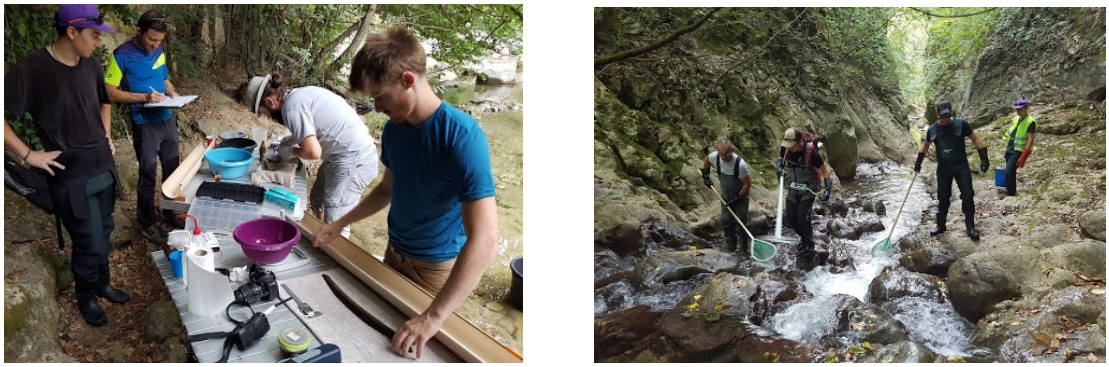


Figure 5 : Le fonctionnement multipartenarial de l'étude sur la Cagne : A gauche, le marquage et la biométrie, assurés par MRM et l'AFB. Cette étape repose sur les opérations de captures réalisées simultanément par le personnel de la FDAAPPMA 06 (à droite) (© FDAAPPMA06)

2 Méthodologie

Pour améliorer les connaissances relatives aux mécanismes impulsant la dévalaison des anguilles argentées en Rhône-Méditerranée, MRM cherche à caractériser la cinétique migratoire sur 3 types de milieux (système lagunaire, fleuves côtiers de grandes et petites envergures). Ce présent rapport décrira :

- Les investigations engagées sur la Cagne (un petit côtier) via la technologie RFID, présentant un lit mouillé à moins de 12 mètres. La méthodologie repose sur le suivi des anguilles argentées à l'aide de transpondeurs Pit-tags et la détection de leurs passages au niveau de stations fixes équipées d'antennes.
- Les premiers résultats de l'étude hydrologique entreprise sur les côtiers de plus grande envergure. Les résultats des premières analyses réalisées sur le Var et l'Hérault seront présentés dans la seconde partie de ce rapport (*voir page 51*).

2.1. Choix du site d'étude pour le suivi RFID

La Cagne est un petit fleuve côtier des Alpes-Maritimes dont le bassin versant s'étend sur 100 km^2 (*Figure 6*). 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 %.

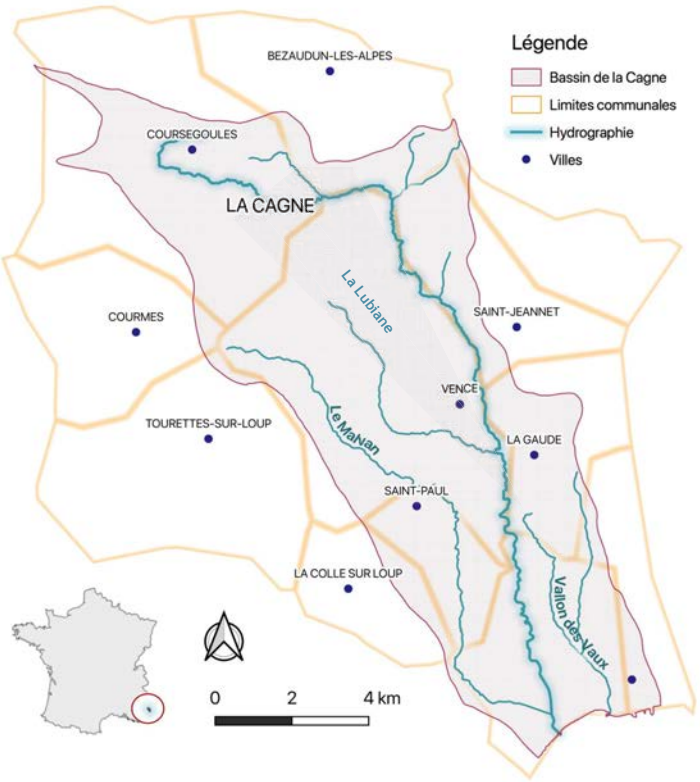


Figure 6 : Le bassin versant de la Cagne (© MRM)

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 (*Figure 7* en page suivante), 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.

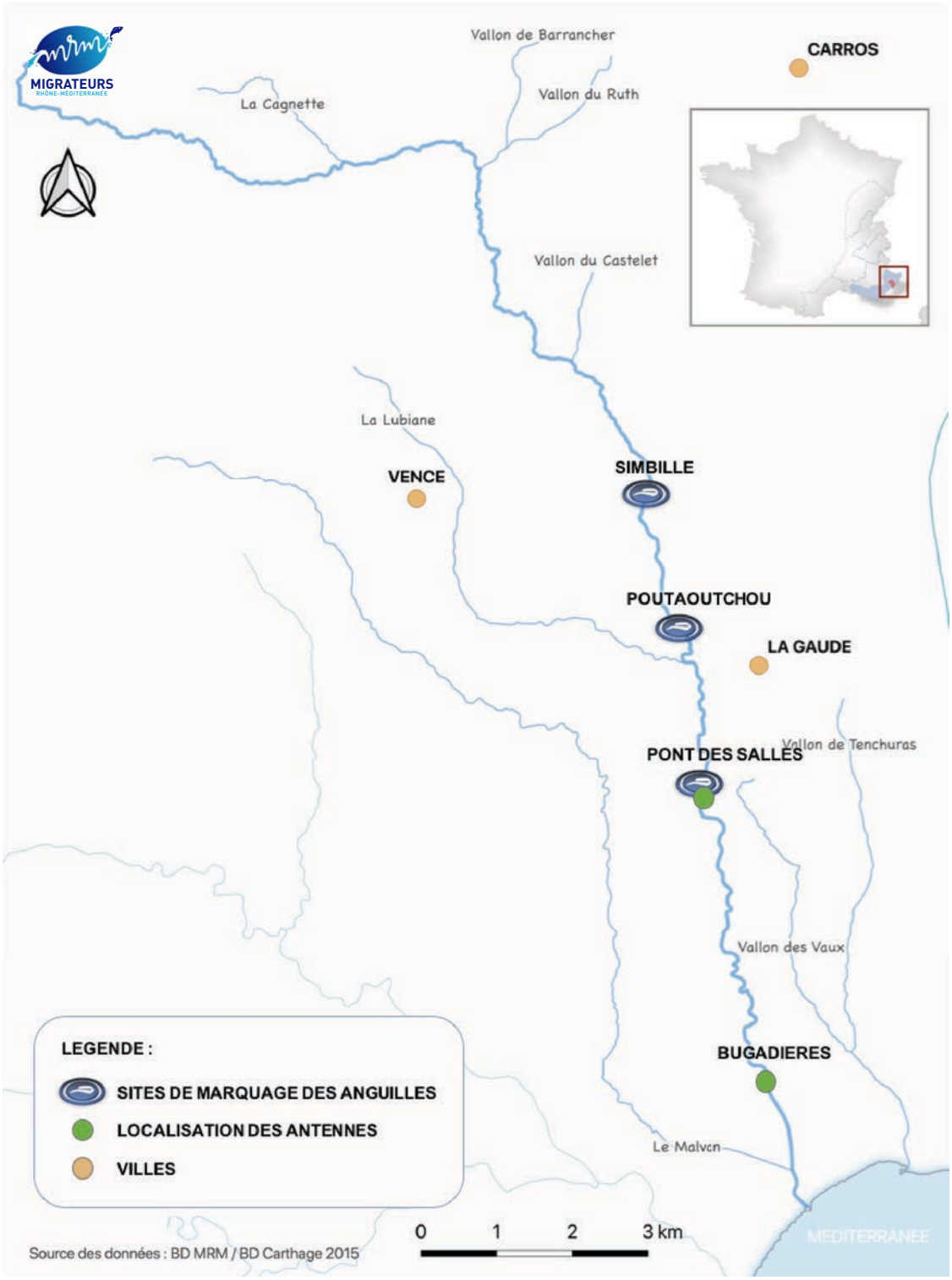


Figure 7 : Localisation du secteur de l'étude RFID sur la Cagne (© MRM)

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

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^{éme} se situe de part et d'autre du seuil de Val de Cagnes (Pont-des-Salles).

Les antennes RFID sont actuellement 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).

2.2. Description et fonctionnement du dispositif de suivi RFID

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 8* ci-contre). 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).

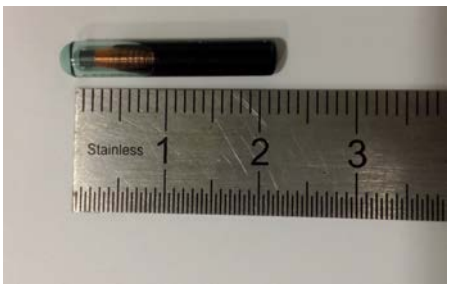


Figure 8 : Un Pit-Tag 23 mm, implanté dans les anguilles (© MRM)

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.

Le système utilisé sur la Cagne fonctionne en mode « Half Duplex » (HDX). Ainsi, l'antenne (activée par le récepteur) émet un champ électromagnétique de façon pulsée. Le Pit-Tag se trouvant à proximité de l'antenne communique son numéro d'identification entre les pulsations. Le récepteur fonctionne donc en 2 temps. Une phase d'excitation (charge) du transpondeur et une phase de lecture. Ce cycle s'effectue 10 fois par seconde (*Figure 9*).

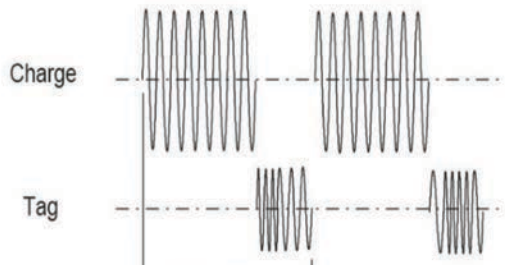


Figure 9 : Cycle de lecture du système RFID HDX (© OREGON RFID)

Cette technologie peut être utilisée en suivi fixe en continu (1) ou en suivi mobile (2).

(1) ***Le suivi fixe en continu*** consiste à suivre les poissons marqués à l'aide d'une ou plusieurs antennes reliées à une station de détection fixe, fonctionnant en continu. Il fonctionne sans interruption temporelle, offrant un confort lors des épisodes pluvieux difficiles à anticiper. Il permet d'obtenir plus de précision sur l'influence des conditions environnementales sur la dévalaison. Lorsque plusieurs sites sont équipés, il est possible de suivre les déplacements dans le temps et d'estimer des vitesses de déplacements.

(2) *Le suivi mobile* (ou « *Tracking-mobile* »), consiste à rechercher les poissons marqués en prospectant le cours d'eau *à l'aide d'antennes portatives*, qui émettent un signal sonore en cas de détection d'un individu marqué. L'identité de la marque est transmise au lecteur et la position du poisson est prise à l'aide d'un GPS. Sans recapture, ces prospections permettent de couvrir une distance non-négligeable (environ 3 km / jour pour un cours d'eau de 8 à 12 m de large) et ne génèrent pas de perturbation pour les individus marqués. Ce mode de prospection vient en complément du premier.

2.3. Fonctionnement des antennes

a) Antennes fixes

L'installation des antennes a été initiée en 2017 sur le site de Bugadières, par le bureau d'étude *SCIMABIO Interface*, avec la contribution de MRM et de la Fédération de pêche des Alpes-Maritimes.

L'année 2018 a ensuite été marquée par un changement dans le fonctionnement des antennes, puisqu'un second site, situé 5 km en amont de Bugadières a été équipé (Pont-des-Salles). Initialement, la technologie alimentant les deux sites était différente : un enregistreur de marque **OREGON** alimentait les antennes situées sur le site le plus aval (Bugadières), tandis qu'un logiciel de marque **StreamInnov'** alimentait les coffrets de Pont-des-salles. L'acquisition des données 2018 a été réalisée avec cette configuration.

Néanmoins, au mois d'août 2019, une opération de maintenance a été réalisée sur le site de Bugadières, qui a aussi été équipé du boitier StreamInnov'. Le matériel utilisé sur les deux sites est donc aujourd'hui identique et se présente sous la configuration de la *Figure 10*. Le rôle de chaque composant est détaillé par la suite et illustré en *Figure 11*.

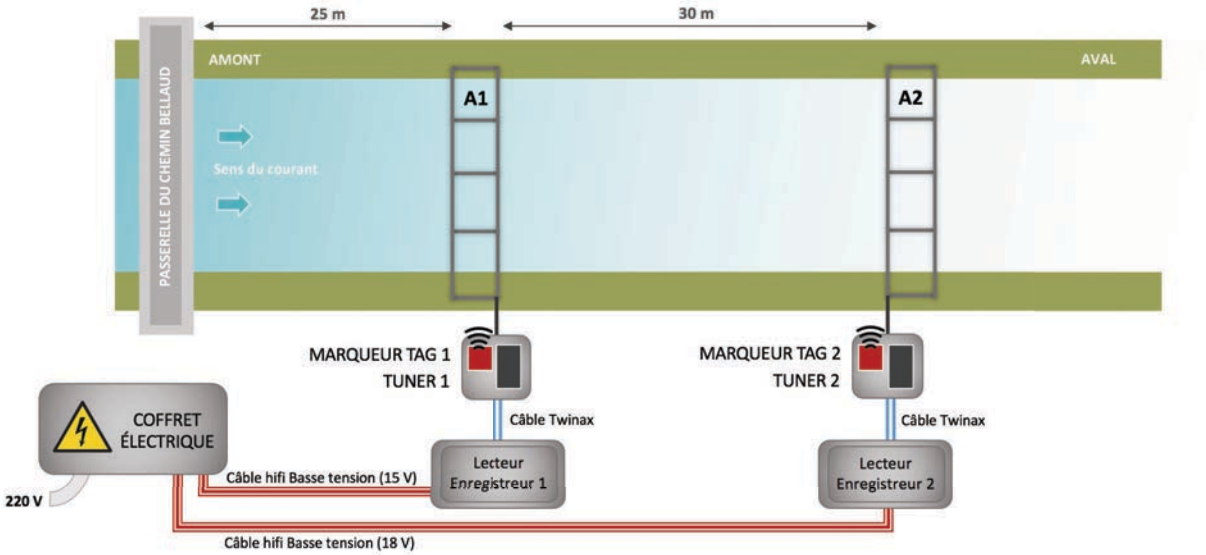


Figure 10 : Représentation schématique des dispositifs RFID installés aux Bugadières et à Pont-des-Salles (© MRM, 2019)

- **Un lecteur / enregistreur StreamInnov'** : Il correspond au système électrique du dispositif **comprenant la carte datalogger, le système TIRIS de Texas Instrument et la carte simplex**. Il est protégé par un coffre étanche IP66 de 26 x 21 x 14 cm (voir *Figure 11*, élément A).

- **Un câble twinax :** Constitué de 2 fils de cuivres isolés, il permet de relier le Lecteur/enregistreur StreamInnov' au tuner qui sert à régler l'antenne.

- **Un Tuner :** Il permet de régler précisément le champ magnétique de l'antenne. Isolé dans un boitier de protection, il est installé dans un second coffret étanche qui joue également un rôle de protection contre le vandalisme **(***Figure 11*, élément B).

- **Un marqueur-Tag** : C'est l'élément qui permet à l'opérateur de contrôler le bon fonctionnement du dispositif *Figure 11*, élément C). Constitué d'un circuit électronique sur batterie, il émet un champ électromagnétique inhibant la détection du transpondeur de contrôle (aussi appelé *marqueur-Tag*) par l'antenne sur laquelle il est fixé. Toutes les 30 minutes, ce champ s'interrompt pendant 1 à 2 secondes permettant à l'antenne puis au récepteur de lire son numéro d'identification. Si tout fonctionne normalement, l'opérateur recevra 48 signaux du marqueur-Tag par jour.

- **Les antennes** : D'une 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 mm^2 et protégées par une gaine en PVC rigide de 20 mm de diamètre. Le tout est solidement ancré au fond du lit via des sangles fixées sur des pieux enfoncés d'une soixantaine de centimètres dans le matériau alluvial. Chaque site de suivi est équipé de 2 antennes fixes (nommées A1 et A2 sur chacun des sites).

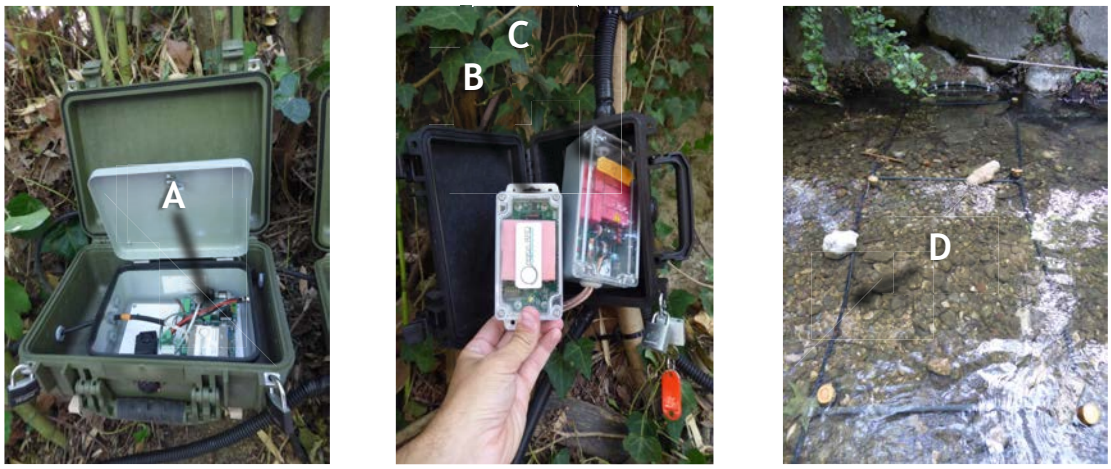


Figure 11 : Illustration des différents éléments composant les systèmes RFID HDX installés sur la Cagne (© MRM)

Sur le site de Bugadières, l'antenne 1 se localise à l'aval direct de la passerelle du chemin Bellaud. Elle est légèrement dissociée de l'antenne 2, installée une trentaine de mètres plus bas.

Cette configuration doit permettre d'augmenter l'efficacité du dispositif. L'espacement des 2 antennes étale la surface de détection, et accroit 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.

Les 2 lecteurs RFID sont branchés sur le même boitier électrique, qui est alimenté par du 220 V. Le raccordement au réseau électrique du dispositif est rendu possible par l'établissement d'une convention annuelle passée entre MRM et un particulier riverain.

Via des transformateurs, le coffret délivre une tension de 15 V pour l'antenne 1 et 18 V pour l'antenne 2. Cette particularité technique est régie par la longueur de câble basse tension reliant le boitier électrique au second coffret RFID. Environ 30 m sont déployés nécessitant une tension plus élevée pour garantir une bonne efficacité des antennes. Concernant l'antenne 1, le coffret RFID étant juxtaposé au coffret électrique, une tension de 15 V est suffisante pour l'obtention d'un bon rendement. Cela permet également de réduire la consommation électrique.

Le site de Pont-des-Salles, localisé à l'extrémité du Chemin des Salles à Cagnes-sur-Mer, est alimenté et configuré de la même façon (cf. *Figure 10 en page 28*).

b) Antennes mobiles

En août 2019, l'association MRM s'est dotée de 4 dispositifs de Tracking mobile (Figure 12). Deux d'entre eux utilisent la technologie OREGON (récupérée sur les anciens coffrets fixes de Bugadières lors du passage aux boitiers StreamInnov') et deux autres utilisent des boitiers StreamInnov'.

La forme globale du dispositif reste cependant la même pour les 4 antennes mobiles. 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 fonctionne en « Half duplex » et 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. Selon le nombre d'individus, il peut être utilisé en mode Tracking ou manuellement. L'utilisation en mode Tracking implique de synchroniser les appareils entre eux. Il suffit ensuite de croiser les fichiers pour déterminer la position réelle de chaque individu détecté.

Les prospections ont lieu préférentiellement à l'étiage (meilleure efficacité), et ce, sur 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 12 : Les 4 antennes mobiles de l'Association, utilisées en 2019 sur la Cagne dans le cadre des prospections mobiles (© MRM)

2.4. Capture et marquage des anguilles de la saison 2018/2019

La campagne de marquage a été réalisée en Septembre 2018, à une période qui précède des changements importants du milieu de vie des anguilles. En effet, le début de l'automne est marqué par une réduction de la photopériode et une baisse de la température de l'eau, des facteurs soupçonnées d'agir dans le déclenchement du phénomène d'argenture. Les conditions hydrologiques de cette période sont également plus favorables pour dévaler les cours d'eau.

a) Méthode d'échantillonnage

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). Le choix de ce matériel a été motivé par la difficulté d'accès à certains secteurs de pêche, condition dans lesquelles le Martin Pêcheur offre une meilleure mobilité.

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. Cette proximité est primordiale pour limiter le stress des individus marqués (et tenter de réduire au maximum le biais comportemental inhérent à toute manipulation). Tout au long de ces opérations de capture, 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).

b) Marquage

Les anguilles 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, les individus sont soumis à une biométrie au cours de laquelle sont annotées la taille et le poids. La taille des nageoire pectorales et du diamètre oculaire (vertical et horizontal) sont ensuite mesurées via un pied à coulisse électronique. Ces différentes informations sont utilisées pour définir l'indice d'argenture avec la méthode de Durif (Durif et al., 2009). Seuls les individus présentant un stade **FIII - FIV - FV - MD** sont marqués. Les autres sont immédiatement placés en bac de réveil.

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 une scannette portative pour déterminer s'il est déjà porteur d'une marque RFID (potentiellement posée en 2017). 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). Elles sont préalablement désinfectées dans de la Bétadine avant d'être introduites dans l'animal.

Figure 13 : A gauche, l'injecteur utilisé lors du marquage. A droite, l'entaille réalisée (© MRM)

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.

S'il s'avère qu'un individu présente des signes probants de détresse, il sera euthanasié. Dans un premier temps, le poisson est placé dans un bain d'anesthésiant à base d'huile essentielle de clou de girofle (3 à 4 cc pour 10 L). Dans un second temps, après endormissement, il est placé dans un autre bac contenant une dose létale d'anesthésiant correspondant à 10 fois la dose utilisée en anesthésie.

2.5. Données de passages et fonctionnement des antennes

a) Téléchargement et traitement des données

Chaque boitier RFID dispose d'un modem permettant le téléchargement automatique des données journalières vers un serveur FTP StreamInnov' ou OREGONRFID. La communication boitier-serveur se fait via le réseau GSM ou 4G à partir de cartes SIM M2M préréglées.

La donnée est récupérée 2 à 3 fois par semaine par MRM durant la période propice à la migration (septembre-avril) afin d'assurer une veille technique réactive en cas de dysfonctionnement.

Dans le cas des données OREGON, la récupération des données se fait sous forme de téléchargement de fichiers texte journaliers (format *.txt*) qui peuvent ensuite être convertis au format Excel.

Dans le cas des données StreamInnov', la date, l'horaire de passage, l'identifiant du PIT Tag, le marqueur tag ainsi que l'antenne associée sont directement accessibles et téléchargeables au format Excel.

b) Contrôle du fonctionnement des antennes

Dans le cadre de la vérification du bon fonctionnement des dispositifs de suivi RFID, plusieurs points de contrôle sont régulièrement effectués par l'association MRM et la Fédération de pêche des Alpes Maritimes.

- ***Vérification du range (hauteur de détection) de chaque antenne***

Il correspond au champ électromagnétique émis par l'antenne et conditionne l'efficacité du dispositif. Il peut être impacté suite à un dérèglement du tuner (boitier de réglage du champ électromagnétique), une modification de la configuration de l'antenne après une crue ou un dysfonctionnement électrique.

La vérification du range nécessite deux manipulations sur place. Dans un premier temps, l'opérateur branche un signal sonore sur le coffret RFID. Cela permet la traduction auditive d'une détection d'un Pit-Tag par le récepteur.

L'opérateur présente ensuite un Pit-Tag en position horizontale au-dessus du câble de l'antenne hors du champ électromagnétique et s'en rapproche progressivement jusqu'à ce que celle-ci détecte le transpondeur. La distance pour laquelle le signal sonore est émis correspond à la hauteur de détection. Au niveau des antennes de Pont-des-Salles et de Bugadières, les ranges mesurés sont respectivement d'environ 95 et 75 cm.

- ***Dysfonctionnement électrique***

Le « marqueur-Tag « dont dispose chaque antenne permet une visualisation rapide des problèmes d'alimentation électrique. Il est programmé pour émettre toutes les 30 min, soit 48 signaux par jour. L'obtention d'un nombre inférieur dans le fichier de téléchargement met en évidence l'incapacité de l'antenne à lire le marqueur Tag durant un certain laps de temps. Il est alors possible de cibler les créneaux horaires durant lesquels le champ électromagnétique n'a pas fonctionné.

Il est également possible de vérifier le bon fonctionnement du dispositif par un contrôle des constantes techniques (intensité et voltage). Celles-ci sont émises toutes les 4 heures. Une variation importante influe sur le range de l'antenne et donc sur l'efficacité de détection. L'incrémentation des informations dans la base de données permet une visualisation rapide de ces dysfonctionnements.

2.6. Suivi des paramètres environnementaux

Pour mieux comprendre l'interaction des anguilles argentées avec leur milieu et voir s'il existe des liens entre les variables environnementales et le comportement migratoire de dévalaison, plusieurs paramètres font l'objet d'un suivi.

a) Le débit

Grâce aux nombreuses études sur le sujet, il est prouvé que l'augmentation du débit agit comme un stimulus à la dévalaison (Bruijs & Durif, 2009 ; Crivelli, 1998 ; Durif, 2003 in Acou et al, 2009). Les crues orientent et aident mécaniquement les anguilles à rejoindre la mer en un minimum d'effort (réduction des dépenses énergétiques en influençant positivement les vitesses de dévalaison) (Deelder 1984 ; Vollestad et al. 1986 in Acou et al, 2009). Sur des axes présentant un enjeu hydroélectrique, il oriente le passage des individus au droit des ouvrages, selon la répartition des débits entre surverse et prise des turbines.

L'analyse de ce paramètre dans l'étude comportementale des anguilles argentées de la Cagne est primordiale, car bien que le sujet ait été largement abordé sur la façade atlantique, il subsiste encore de nombreuses interrogations sur les cours d'eau méditerranéens, dont l'hydrologie particulière ne permet pas la transposition des observations acquises par ailleurs.

L'onde de crue se caractérise notamment par une amplitude importante en méditerranée. Le débit journalier de la Cagne est estimé grâce à :

- La station de jaugeage du Pont des Salles (située à 7 km de l'estuaire) dont les données sont fournies par le SMIAGE (4 mesures par jour). Cette station est installée dans le cadre du suivi des débits en période estivale portée par le département. En l'absence de courbe de tarage pour des débits supérieurs à 400l/s, la précision des données est amoindrie. Toutefois, cela permet une visualisation correcte du coup d'eau et assez précise de la variabilité journalière.
- Une courbe de corrélation hauteur/débit réalisée à 1 km en aval des antennes par le bureau d'étude OTEIS dans le cadre d'une autre étude (gamme de débit : 1 à 120 m^3/s).
- Un relevé d'échelle limnimétrique réalisé par les agents de la Commune de Cagnes-sur-Mer.

b) Pluviométrie

L'intensité et/ou la durée de la pluie sur un bassin versant génère, par ruissellement, une augmentation de la ligne d'eau. Sur des bassins de faibles envergures comme c'est le cas sur la Cagne, une relation claire existe entre la pluviométrie et l'augmentation du débit. Elle se traduit généralement par un temps de réponse plus ou moins long selon l'aménagement du cours d'eau. Le suivi de cette variable peut dans certains cas constituer un élément de prédictions des pics de dévalaison (Boubee et *al.*, 2001).
L'étude des précipitations sur le bassin se fait grâce aux données issues de la station météorologique de Vence, fournies par l'association Nice météo 06. Les résultats sont exprimés en cumul horaire suite à la compilation des relevés effectués chaque minute.

c) Thermie

Selon les différents auteurs, la température ne semble pas jouer un rôle majeur dans le déterminisme de la dévalaison des anguilles argentées bien que les pics soient observés dans certaines gammes ou à la suite d'une chute brutale de la température (Vollestad et al., 1986 in Acou et al., 2009). Elles sont capables de migrer dans des gammes de température très large. En fonction de la situation géographique, elles varient entre 4 et 14 °C dans les pays scandinaves (Vollestad et al. 1994 ; Hvidsten 1985 in Acou et al., 2009), entre 4 °C et 23 °C dans l'ouest de la France (Acou et al., 2009).

Malgré ces résultats, ce paramètre reste intéressant à suivre. Les mesures sont issues de la station hydrométrique située au Pont des Salles et exploitée par le SMIAGE. Comme pour les débits, la fréquence d'acquisition est de 4 mesures par jours avec un niveau de précision de 0,1 °C. Une valeur moyenne journalière est ensuite calculée automatiquement à partir de ces mesures. Elles sont présentées dans la *Figure 14* ci-dessous.

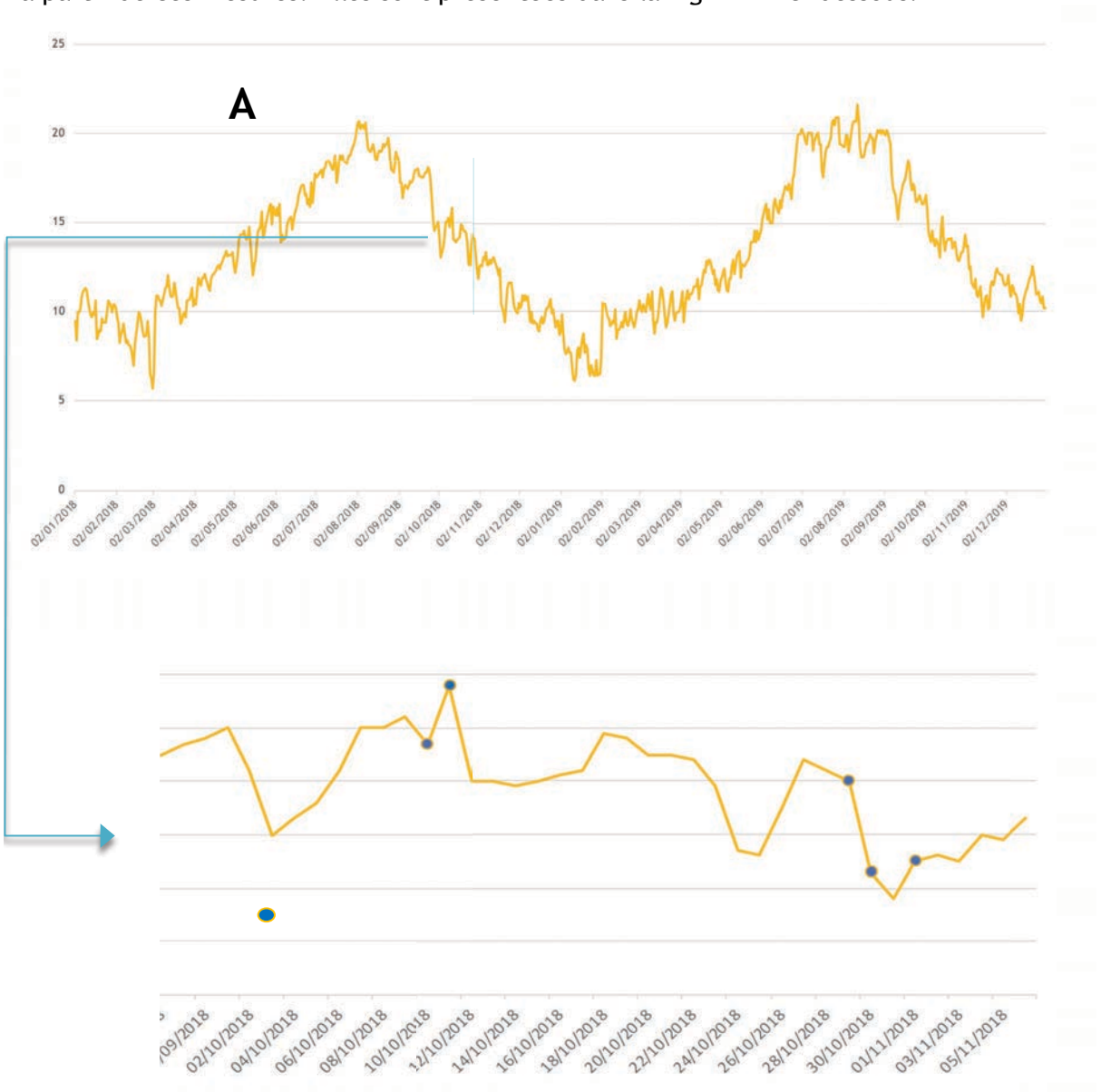


Figure 14 : Evolution journalière de la température de l'eau sur la Cagne au niveau du site de la station du SMIAGE à Pont-des-Salles en 2018 et 2019 (A) et focus sur la période ayant enregistré des dévalaisons (B)

3 Bilan de la saison de dévalaison 2018-2019

3.1. Capture et marquage des anguilles argentées

a) Stations de pêche

La campagne de pêche s'est déroulée du 5 au 7 septembre 2018. Le premier site inventorié est celui de Pont-des-Salles, localisé à 5 km en amont du site de Bugadières (cf. *Figure 7* en page 26).

Le retour d'expérience acquis dans le cadre d'une étude sur la colonisation des anguilles sur la Cagne faisait état d'une abondance relativement importante d'anguilles argentées. En 2014, 46 argentées ont été capturées par la FDAAPPMA06 et MRM sur une station de 80 mètres de long en aval du premier seuil de val de Cagne, probablement en raison de l'accumulation d'anguilles engendrées par le blocage de l'obstacle (Campton et *al.*, 2017).

En septembre 2018, seules 6 anguilles ont pu être marquées sur ce site. Sur les sites amont, les abondances en argentées étaient similaires à celles observées lors des échantillonnages 2013/2014, mais bien inférieures aux densités historiques enregistrées sur la station de Pont-des-Salles. Les marquages de l'automne 2018 ont donc essentiellement été réalisés sur les stations de Poutaoutchou et Simbille.

Sur les 4 stations échantillonnées, 428 anguilles ont été capturées. Parmi elles, 174 ont été soumises au protocole de Durif (*Tableau 2* ci-dessous), et 45 présentant des stades d'argenture suffisants ont été marquées. 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.

Tableau 2 :Bilan des captures et des marquages de la Campagne 2018 sur la Cagne

Stades	*Pont-des-Salles*	*Poutaoutchou*	*Simbille*
I - FII	20	47	62
FIII	1	9	6
FIV	0	0	0
FV	1	2	6
MD	4	11	5
TOTAL des Individus soumis au protocole de Durif	**26**	**69**	**79**
Nombre d'individus marqués	**6**	**22**	**17**

b) Caractéristiques de l'échantillonnage de septembre 2018

- ***Relation taille/poids de l'échantillonnage complet 2018***

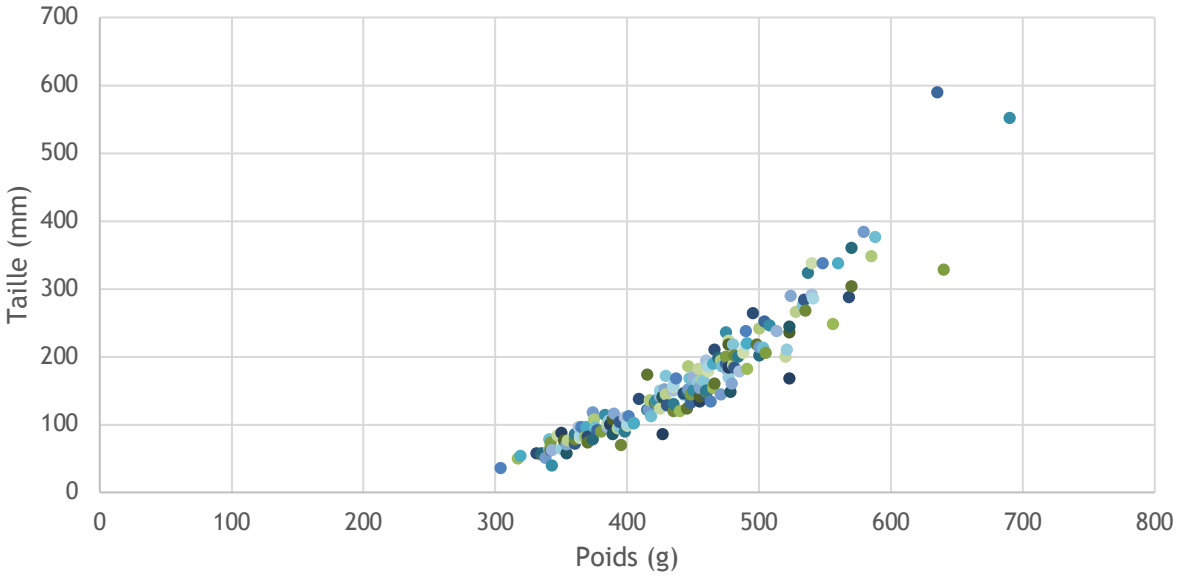


Figure 15 : Relation taille-poids de l'échantillonnage complet de septembre 2018 (FDAAPPMA06)

Les points projetés sur la *Figure 15* représentent la relation taille/poids des individus capturés lors des pêches de 2018. Peu d'individus dévient de la courbe de régression. Seule une anguille présente un poids relativement faible par rapport à sa taille. Deux individus de bonne taille se démarquent.

Le graphique met en évidence une répartition typique de la population avec un gradient de classes de tailles. Les captures réalisées sont en accord avec la bibliographie, et montrent que les stations les plus avals sont colonisées par les individus de petite taille, qui s'estompent au fur et à mesure pour retrouver les individus les plus gros sur l'amont du cours d'eau.

En effet, Le retour d'expérience des pêches réalisées depuis 2013 sur la Cagne a montré que la station la plus proche de la mer (Bugadières) présente une densité importante d'individus inférieurs à 300 mm (90 % de l'effectif échantillonné). Il s'agit d'individus en cours de migration anadrome participant à la colonisation du bassin.

Plus haut sur la Cagne, les pêches de 2017 et 2018 montrent que les individus >300 mm sont majoritaires et constituent la fraction sédentaire de la population. En effet, en 2018 86 % des individus capturés entre Pont-des-Salles et Simbille présentaient une taille supérieure à 300 mm. Dans une stratégie de recherche d'individus matures, le choix des sites de pêche de Pont-des-Salles, Poutaoutchou et Simbille est en accord avec les objectifs.

- ***Distinctions des stades de maturation au sein de l'échantillonnage complet***

Parmi les 428 anguilles pêchées,173 présentaient des signes visuels d'argenture mais pour lesquelles un doute subsistait. Ces dernières ont fait l'objet d'une biométrie poussée afin de déterminer le stade de maturation selon le protocole de Durif. L'application de cette méthode a montré qu'une large majorité (74 %) des individus soumis à une biométrie poussée correspondaient en fait à des stades non dévalants (I-FII). Les anguilles pré-dévalantes (FIII) sont représentées à 9 % alors que les individus matures représentent 18 %. Ces résultats sont schématisés dans la *Figure 16*.

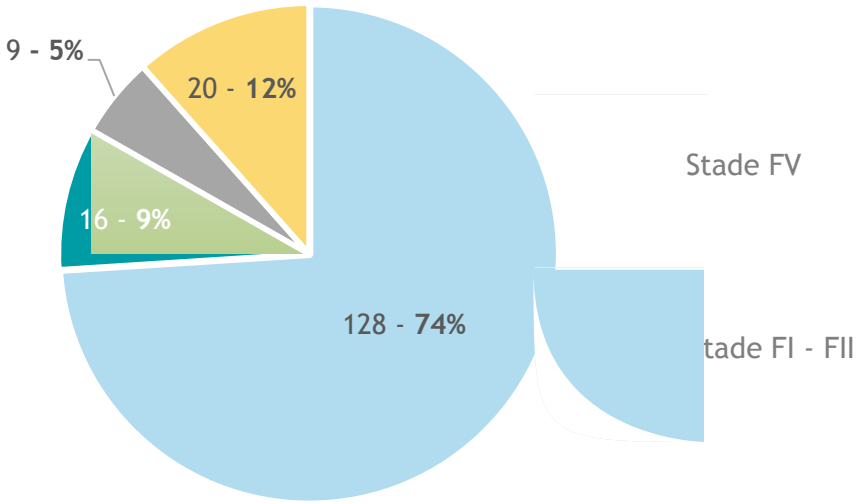


Figure 16 : Re *valuation de l'indice d'argenture*

La pr[illegible] explique par la difficulté à identifier visuellement les premiers stades d'argenture. En effet, certains signes extérieurs comme la pigmentation ou la différenciation de la ligne latérale ne sont pas toujours proéminents. La distinction est particulièrement difficile à effectuer sur les petites argentées.

Néanmoins, lors de la campagne 2018, plusieurs petites anguilles présentant une robe plutôt jaunâtre ou de transition avec peu ou pas de points noirs sur la ligne latérale se sont révélés être des mâles dévalants au regard des critères de Durif.

Par précaution, une majeure partie des individus dont la taille était supérieure à [illegible]re

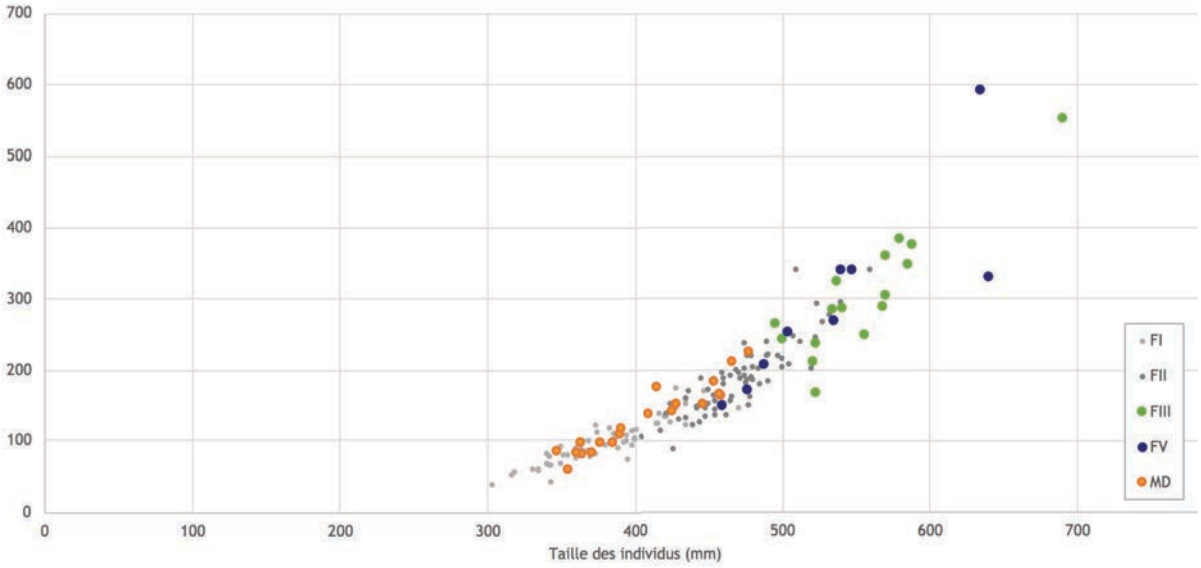


Figure 17 : Dispersion des stades d'argentures selon le ratio taille/poids

La taille ne semble pas être un facteur prépondérant pour la différenciation de l'argenture. En effet, le graphique montre qu'une proportion importante de FI-FII se superpose avec les MD au sein des individus de petite taille.

La dispersion des individus FIII au sein de l'échantillon met en évidence la caractéristique de transition inféodée à ce stade. En effet il recouvre à la fois les stades FII regroupant les femelles jaunes, mais aussi le stade mature FV. Ce constat ne peut pas se vérifier pour le stade intermédiaire FIV qui n'est pas représenté dans les captures de 2018.

- ***Capture Par Unité d'Effort (CPUE) et comparaison interannuelle***

Le *Tableau 3* permet de comparer l'effort de pêche pour capturer des individus argentés. À noter que le temps affiché est le temps de pêche effectif et ne prend pas en compte le temps nécessaire d'accès à la station et de transport du matériel de pêche électrique.

Tableau 3 : CPUE des individus aux stades ultimes de maturation (FIV, FV, MD) par station de pêche. La CPUE est exprimée en Captures/h.

Saison 2018-2019								
Station	**Date**	**Distance à la mer (km)**	**Linéaire de station (m)**	**Nb d'Ang. Argentées**	**Nb. Total captures**	**Temps de pêche (min)**	**CPUE**	**Nb. de mètres / ARG**
Pt-des-Salles	04/09/18	7	330	**5**	49	130	**2,3**	66
Poutaoutchou	05/09/18	9,5	962	**13**	149	320	**2,4**	74
Simbille	06/09/18	14	571	**11**	145	260	**3,0**	44

Saison 2017-2018								
Station	**Date**	**Distance à la mer (km)**	**Linéaire de station (m)**	**Nb d'Ang. Argentées**	**Nb. Total captures**	**Temps de pêche (min)**	**CPUE**	**Nb. de mètres / ARG**
Pt-des-Salles	05/09/17	7	710	**10**	115	230	**2,6**	71
Poutaoutchou	06/09/17	9,5	1080	**14**	173	340	**2,5**	77
Simbille	07/09/17	14	800	**14**	247	325	**2,6**	57

Les CPUE sont calculées sur la base du nombre d'individus FIV, FV ou MD pêchés uniquement. En 2017 comme en 2018, la CPUE est comparable pour les 3 sites de pêche, même si on peut relever une très légère augmentation de cette CPUE sur le site de Simbille en 2018. La CPUE reste cependant très faible, particulièrement sur le site de Pont-des-Salles au regard des résultats de 2014.

Les valeurs de CPUE restent globalement stables sur les sites amont depuis 2015 (source : données FDAAPPMA06 *in* Rautureau et Campton., 2018). Ceci s'explique probablement par les conditions hydro-climatiques précédant les pêches. En 2015, une crue vicennale est survenue juste avant la campagne favorisant la fuite des individus. Pour 2017, l'assec sévère a principalement affecté le cours inférieur de la Cagne expliquant la chute des CPUE sur le site du Pont des Salles et le maintien sur les sites amont.

Les faibles débits enregistrés en 2018 expliquent probablement l'effort considérable qu'il a fallu fournir pour capturer des individus argentés. Au regard de ces résultats et pour diminuer la fréquence des opérations de pêche électrique, le protocole de marquage a été étendu aux autres stades de développement à compter de septembre 2019 (marquage des anguilles de stades FI, FII et FIII présentant un poids > 30 g).

c) Bilan des marquages pour la saison de dévalaison 2018 2019

A l'issue du marquage de septembre 2018, 45 anguilles argentées supplémentaires (stades FIII, MD et FV) ont été taguées. Le bilan comparatif des marquages 2018 est présenté en *Figure 18*.

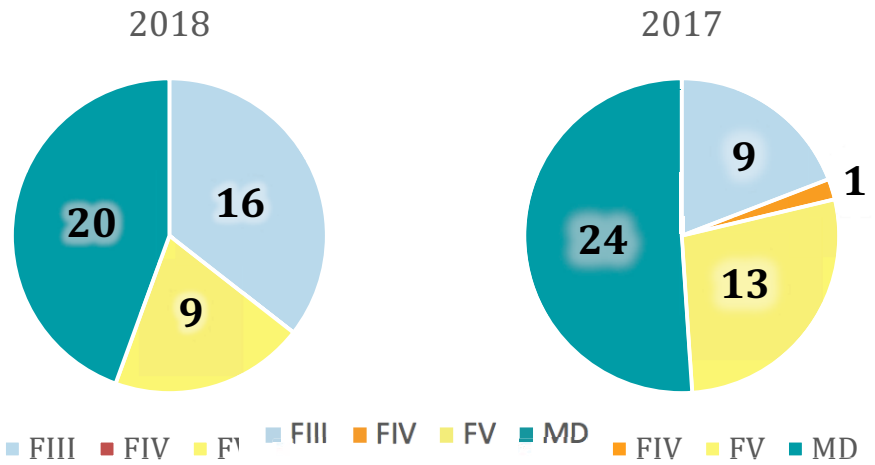


Figure 18 : Répartition des stades de maturation parmi les individus marqués en 2018 et 2017

Près de la moitié (45 %) des individus marqués sont des mâles dévalants. Les individus pré-dévalants (FIII) sont également bien représentés (35,5 %). Les autres individus marqués sont des femelles dévalantes (20 %). En comparant ces résultats avec ceux de 2017, on constate que même si les proportions diffèrent légèrement, le type d'individus marqués reste globalement le même entre 2017 et 2018. Depuis le lancement de l'étude en 2017, ce sont donc **93 anguilles** qui ont été marquées.

Le *Tableau 4* présente la répartition des stades d'argenture selon le lieu de marquage. En 2017 comme en 2018, sur le site de pêche le plus aval (Pont-des-Salles), les argentées sont majoritairement des mâles dévalants et leur proportion diminue d'aval en amont (gradient moins marqué en 2018). L'échantillonnage 2018 paraît donc représentatif de la population d'anguilles en place qui reste en cohérence avec de nombreuses études faisant état d'une distribution densité dépendante régissant la différenciation sexuelle d'aval en amont (Gandolfi Hornyold in Bertin 1951 ; Elie 1979 ; Helfaman et al. 1987). La présence des 2 sexes au sein de l'échantillon est importante et doit nous permettre à termes de mieux caractériser la cinétique de dévalaison.

Tableau 4 : répartition des différents stades d'argenture sur l'axe Cagne

Année	Station	Nb ind marqués	Proportion selon les stades			
			FIII	FIV	FV	MD
2018	Pont des Salles	6	1 - (17%)		1 - (17%)	4 - (66%)
	Poutaoutchou	22	9 - (41%)		2 - (9%)	11 - (50%)
	Simbille	17	6 - (35%)		6 - (35%)	5 - (30%)
2017	Pont des Salles	10	-	-	-	10 - (100%)
	Poutaoutchou	15	7%	7%	20%	66%
	Simbille	22	36%	-	46%	18%

d) Tolérance du Pit-Tag et taux de mortalité post-marquage

Suite au marquage, l'intégralité des anguilles marquées en 2018 a retrouvé un comportement de nage normal après quelques minutes d'observation.

L'argentée la plus petite était un mâle dévalant pesant 58 g pour un Pit-Tag de 0,6 g. Ainsi, avec un transpondeur représentant 0,75 % du poids de l'individu, ce pourcentage reste tout à fait acceptable selon les recommandations de Baras et Philippart en 1989 (2 à 3 % du poids de l'individu au maximum). De plus, des prospections réalisées après la campagne de marquage par la FDAAPPMA06 n'ont pas permis de retrouver d'individus morts. De fait, le taux de mortalité post-marquage peut être considéré faible, voire nul.

Ce constat est conforté par la campagne de marquage suivante, qui a eu lieu en Septembre 2019. A cette occasion, 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 19* ci-dessous).

Figure 19 : Exemples de cicatrisations d'individus marqués sur la Cagne en 2017 et 2018 (© MRM)

3.2. Dynamique migratoire 2018-2019

a) Détections au niveau des antennes fixes

Durant la saison de dévalaison 2018-2019 (septembre 2018 à avril 2019), la détection d'anguilles migrantes s'est opérée en deux temps (*Figures 20 et 21*).

- Une première vague d'anguilles marquées a été enregistrée les 10 et 11 Octobre 2018, lors d'un premier pic de débit, avec 8 individus détectés sur la station de Pont-des-Salles. Deux d'entre eux ont dévalé très rapidement, et ont été détectés à Bugadières moins de 24h plus tard.

- Les autres ont été détectés lors de la seconde vague, qui s'est produite du 29 Octobre au 1er Novembre. Le système installé aux Bugadières a enregistré à ces dates le passage de 14 anguilles qui ont vraisemblablement profité des toutes premières augmentations significatives de débit (*Figure 21*).

Les évènements hydrologiques suivants (qui se sont produits autour du 15, puis du 30 octobre) n'ont engendré aucune détection sur les antennes. Seul le pic de débit observé sur la Cagne à la fin du mois de décembre a permis une détection supplémentaire. Aucune détection supplémentaire n'a ensuite pu être observée entre décembre 2018 et avril 2019.

Aucune différence de thermie majeure n'a pu être constatée entre ces deux périodes, mais il apparaît que les dévalaisons ont été enregistrées au moment de la montée en charge du cours d'eau, avec une forte fluctuation de débit sur une période très courte. Ce point sera développé plus loin (voir d)).

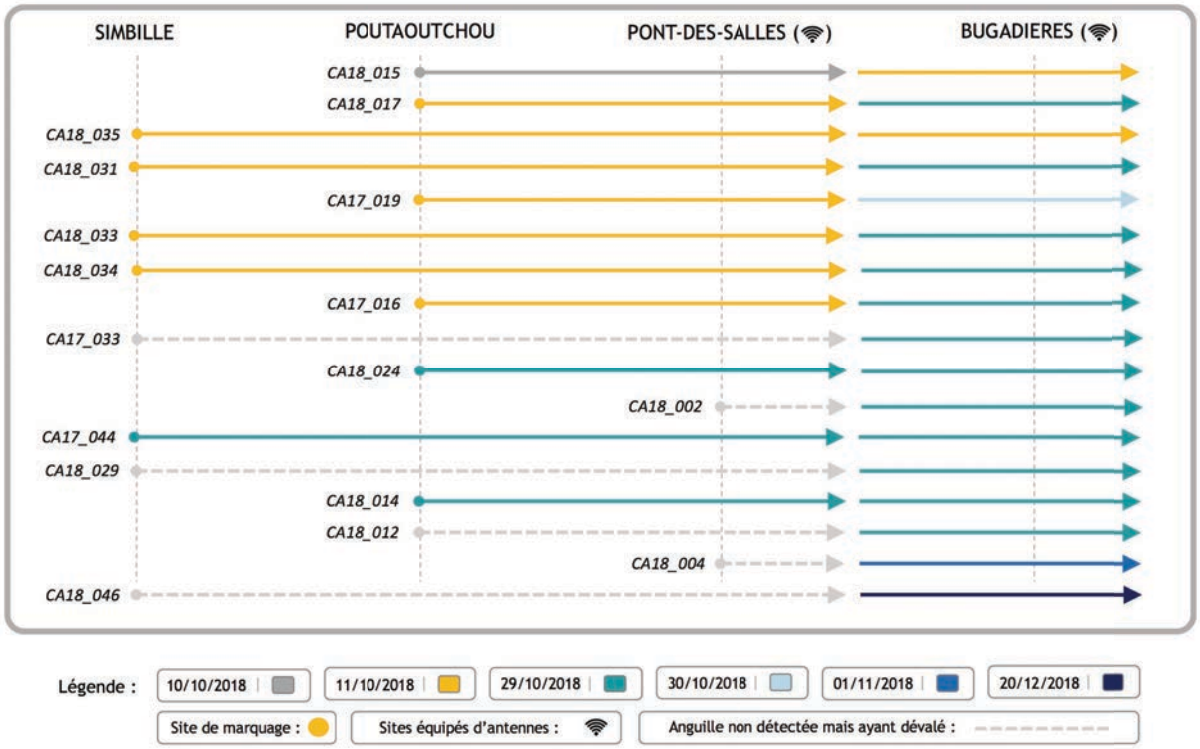


Figure 20 : Schéma des dévalaisons enregistrées sur la Cagne au cours de la saison 2018-2019

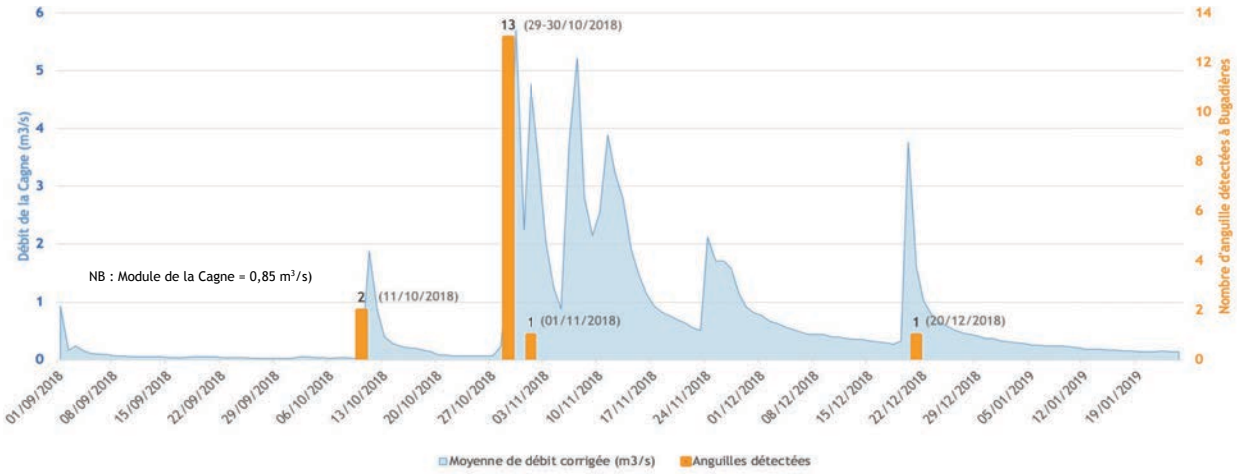


Figure 21 : Anguilles détectées au niveau des antennes de Bugadières sur la saison 2018-2019

(NB : aucune détection suplémentaire entre janvier et avril 2019)

Un tableau de synthèse présentant les caractéristiques des individus détectées à Bugadières et/ou Pont-des-Salles, ainsi que leurs horaires de passages est présenté en *Annexe 1*. Il montre que même si les individus les plus matures ont été détectés en large majorité (58 % de MD et 23 % de FV), 3 individus pré-matures de stade FIII ont également dévalé.

Au niveau de chaque site, la majorité des anguilles a bien été détectée par les antennes A1 et A2 (88 % de doubles détections à Bugadières, et 63 % à Pont-des-Salles) (*Tableau 5*). Ce résultat met également en avant la pertinence du dédoublement des antennes, qui permet d'augmenter les chances de détection, et d'obtenir in fine une indication sur la vitesse instantanée de passage.

Compte tenu de l'écart entre les différents horaires de passages enregistrés, on suppose qu'aucun phénomène de collision ne s'est produit (passage simultané de deux anguilles ou plus susceptible d'inhiber le signal).

Tableau 5 : Efficacité de chaque antenne fixe par rapport au total de détections 2018-2019

		Pourcentage de détections par rapport aux observations sur le site	**Pourcentage de détections par rapport aux observations globales**
Bugadières (17 anguilles détectées)	A1	100 %	100 %
	A2	88 %	88 %
Pont-des-Salles (11 anguilles détectées)	A1	91 %	63 %
	A2	75 %	56 %

Sur le site de Bugadières, l'antenne A1 a détecté la totalité des anguilles identifiées par le système. L'antenne A2 n'apporte pas de plus-value cette année, mais au cours de la saison précédente, elle a permis de détecter 2 anguilles supplémentaires, non visibles sur A1. Le site de Bugadières présente globalement une meilleure efficacité de détection que celui de Pont-des-Salles cette saison (100 % à Bugadières ; 63 % à Pont des Salles).

Les individus détectés de septembre 2018 à avril 2019 sont majoritairement issus de la campagne de marquage de septembre 2018 (76 %).

Enfin, tous les sites de marquage n'ont pas contribué dans les mêmes proportions. En effet, 41 % des individus détectés provenaient de Poutaoutchou et 47 % de Simbille alors que seulement 5 % provenaient de Pont-des-Salles. Ceci s'explique par le nombre d'individus marqués sur chacun des sites (22 anguilles à Poutaoutchou, 17 à Simbille, 6 à Pont des Salles).

b) Nombre d'interrogations consécutives par Pit-Tag et par antenne

Lorsqu'un Pit-Tag se présente dans le champ électromagnétique de détection généré par l'antenne (forme d'ellipsoïde), il reçoit et renvoi 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 22* en page suivante 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 deux anguilles (CA18_014 à Pont des Salles et CA18_029) sont en deçà. Les résultats illustrent néanmoins la diversité des conditions de passages des anguilles au droit des antennes directement liée à la hauteur du passage et la vitesse de passage.

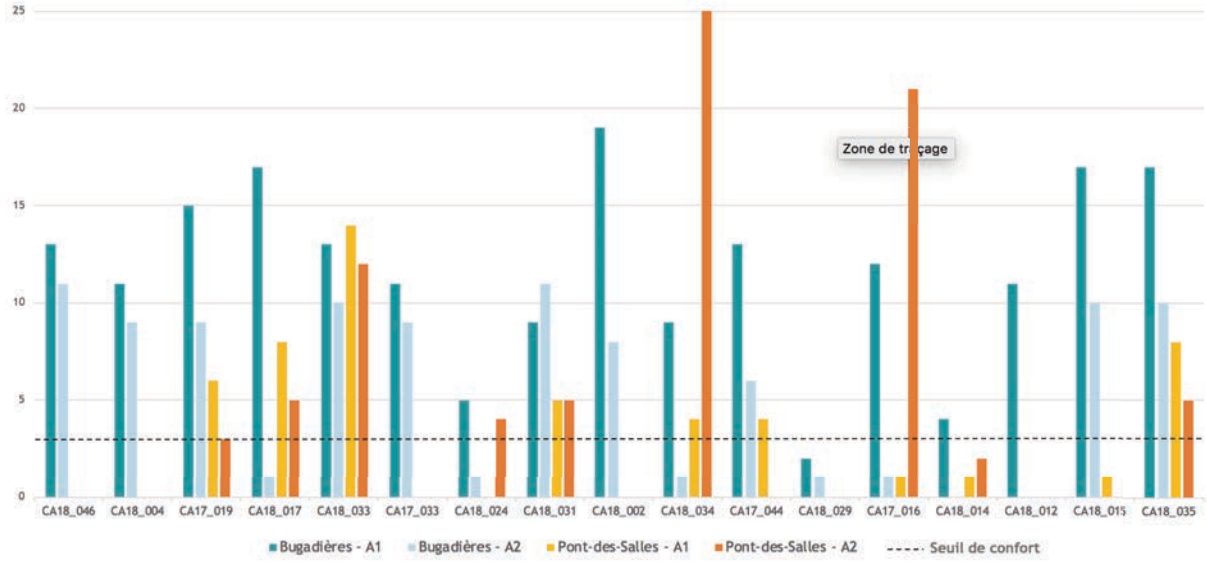


Figure 22 : Nombre d'interrogations individualisées par Pit-Tag et par antennes

Les détections en dessous du seuil de confort ont toutes eu lieu le 29 octobre au plus fort de la hausse de débit (cf. *Figure 20*). Les niveaux d'eau de la Cagne ont atteint à cette date environ 1,30 m, alors que le range maximal de détection des antennes fixes oscille entre 75 et 95 cm.

Il est probable que les individus interrogés seulement 1 à 2 fois soient passés en limite du champ électromagnétique et que les anguilles détectées par une seule antenne aient franchi les autres installations hors du champs. D'autres individus ont pu dévaler sans être détectés mais ce phénomène est réduit par rapport à la saison précédente où la ligne d'eau avait atteint 2,3 m.

Les résultats montrent que les capacités actuelles de détections des antennes (environ 80-90 cm) sont satisfaisantes et adaptées à la configuration du site, malgré une possible perte d'information au plus fort des épisodes de crue.

c) Prospections mobiles d'août 2019

Finalement, sur les 93 anguilles marquées au cours des saisons 2017/2018 et 2018/2019, 32 ont quitté la Cagne et 61 n'ont jamais été détectées aux antennes fixes. Sont-elles toujours présentes dans le système ou ont-elles dévalé sans être détectées ?

Afin de répondre à cette question, une campagne de Tracking mobile a été réalisée en août 2019. Ces prospections ont permis de détecter 18 anguilles marquées encore présentes dans le système (3 marquées en 2017 et 15 marquées en 2018, *Tableau 6*).

De plus, lors de la campagne de marquage de Septembre 2019, 6 autres anguilles déjà marquées et jamais détectées ont été recapturées, ce qui porte à 24 le nombre minimum d'anguilles encore présentes dans la Cagne. **Une incertitude demeure donc pour 37 anguilles** sur les 93 marquées au cours des campagnes menées en Septembre 2017 et 2018.

Ces chiffres sont toutefois à relativiser. En effet, le fabricant des antennes mobiles communique sur une efficacité d'environ 40 et 60% pour les prospections avec un passage unique (com. pers. SCIMABIO). De plus, le linéaire prospecté sur la Cagne comprend plusieurs fosses larges et portions encaissées ou à pic, notamment au niveau du site de Poutaoutchou, qui ne permettent pas de réaliser le Tracking mobile sur l'intégralité de son linéaire.

Que ce soit le Tracking mobile ou la recapture lors des opérations de marquage, ces 2 méthodes apportent une réelle plus-value dans la détermination du devenir de chaque anguille et permettent d'affiner l'efficacité globale du dispositif. Elles apportent également des informations complémentaires sur l'utilisation du milieu (déplacement dans le système), report de migration des stades ultimes et comportement des stades pré-migrant. Les années de suivi à venir permettront d'apporter des précisions sur l'efficacité de ces différents dispositifs RFID.

Tableau 6 : Déplacement des anguilles contactées lors du Tracking mobile 2019

ID TAG	Lieu de marquage	Lieu de détection	Stade	Distance de migration (m)
|CA17_027]	Simbille	Simbille	FV	-350
|CA17_034]	Simbille	Simbille	FV	+420
|CA17_035]	Simbille	Simbille	FIII	-80
|CA18_019]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	MD	-165
|CA18_032]	Simbille	Simbille	FIII	+30
|CA18_037]	Simbille	Simbille	FIII	+150
|CA18_042]	Simbille	Simbille	MD	+280
|CA18_036]	Simbille	Simbille	FIII	-295
|CA18_043]	Simbille	Simbille	MD	+310
|CA18_045]	Simbille	Simbille	FV	+310
|CA18_007]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	MD	0
|CA18_028]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	MD	+15
|CA18_009]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	FIII	+75
|CA18_013]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	MD	+135
|CA18_018]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	MD	+200
|CA18_021]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	FIII	+285
|CA18_026]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	FIII	+315
|CA18_025]	Poutaoutchou	Poutaoutchou	FIII	+950

Toutes les anguilles contactées en Tracking-Mobile ont été ont détectées à proximité de leur lieu de marquage. Ceci traduit une faible exploration du milieu par les individus marqués. Il est également intéressant de noter que 10 des 18 individus recontactés n'ont toujours pas dévalé, alors qu'ils avaient été identifiés comme MD ou FV lors de leur marquage.

Parmi les individus issus du marquage de la saison 2017-2018, deux (CA17_027 et CA17_034) ont été détectés à la fois par le Tracking de 2018 et celui de 2019. L'un d'eux semble se déplacer progressivement vers l'aval, alors que l'autre progresse vers l'amont. Il sera intéressant de déterminer lors de futures prospections l'individu se déplaçant vers l'aval est toujours vivant ou s'il ne s'agit pas d'un Tag à la dérive dans le cours d'eau.

d) Influence des paramètres environnementaux sur la dévalaison

L'influence de plusieurs paramètres environnementaux dans le déterminisme de la dévalaison des anguilles est aujourd'hui bien documentée. Le rôle des crues notamment, associées à l'intensité des précipitations est prépondérante ne serait-ce que par l'aide mécanique et le gain énergétique apporté (Acou *et al*. 2009 ; Lowe 1952 ; Vollestad *et al*. 1986 ; Campton et *al.*, 2013). Toutefois, les stimuli sont probablement liés à d'autres variables environnementales (turbidité, conductivité, luminosité). Il est aujourd'hui admis que ces facteurs environnementaux agissent en synergie et déterminent l'intensité des vagues migratoires (Durif 2003).

- **L'influence de l'ensoleillement sur la dévalaison**

L'anguille est un poisson qui adopte un comportement lucifuge. Depuis longtemps, les pêcheurs savent qu'ils ont plus de chances de capturer des anguilles argentées la nuit (Boetius,1967 ; Deelder, 1948 ; Westin et Nyman, 1979). 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 Eckmann, 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 plus de 80 % de l'activité des anguilles a été observée durant la première partie de la nuit entre 18 h et minuit.

En cohérence avec la bibliographie, il semble que l'activité migratoire soit maximale entre le coucher du soleil et l'apparition de la lune (Vollestad et al, 1986 in Acou et al, 2009). Ces connaissances bibliographiques semblent se vérifier dans le cas de l'étude Cagne, avec plus de 60 % des captures entre 18h et 21h (*Figure 23*).

Toutefois, les observations de cette saison sur la Cagne sont à considérer avec précaution, dans la mesure où elles sont fondées sur seulement 2 saisons de dévalaison et le plus gros coup d'eau de cette saison a eu lieu entre 18h et 24h le 29 octobre. Ceci ne pourrait donc être qu'une coïncidence. Un suivi interannuel sur un plus grand nombre d'individus permettra de confirmer ou d'infirmer ces premières observations.

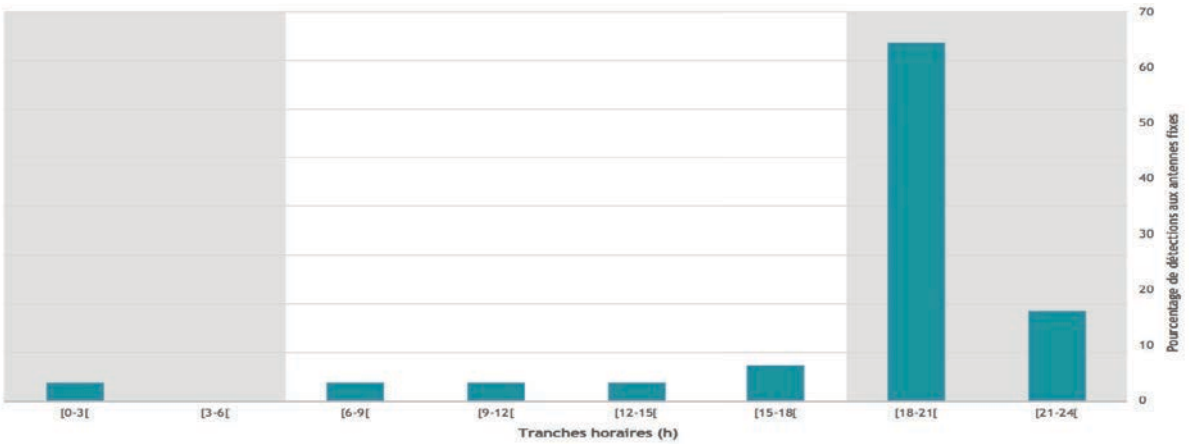


Figure 23 : Répartition des détections d'anguilles au cours de la journée (saison 2018 2019)

- **Pluviométrie et réponse du bassin versant**

La réponse de l'hydrogramme de la Cagne suite aux précipitations survenues le 10 et le 11 octobre, puis les 28-30 Octobre est typique d'un bassin de faible envergure. Elle est présentée dans la *Figure 24*.

Suite aux 30 mm tombés le 10 Octobre, on constate une augmentation brusque du débit (passant de 0,1 à presque 2 m^3/s) et du niveau d'eau (qui passe de 30 à 86 cm entre le 10 et le 11 Octobre) dans la journée.

Un second évènement, de plus grande ampleur, peut être identifié entre le 28 et le 30 Octobre. Pour rappel, c'est à cette occasion que le plus grand nombre de dévalaisons a été enregistré. Durant cet épisode, un pic de précipitation de 44 mm/jour a été atteint le 29/10/2018, ce qui a causé un brusque pic de débit de 5,5 m^3/s, ayant engendré une lame d'eau de plus d'1m25 au 30/10.

Le dernier évènement, enregistré le 20/12 après des précipitations de l'ordre de 35 mm /jour, a également engendré une détection.

Précisons enfin que le seuil de crue biennale (fixée à 20 m^3/s d'après les données Banque Hydro) n'a pas été atteint sur la Cagne en 2018.

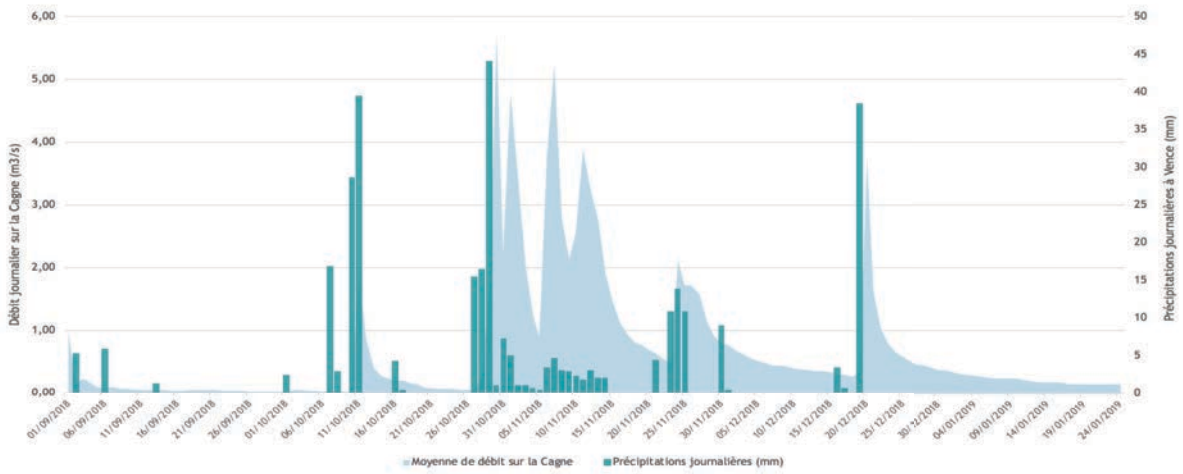


Figure 24 : Relation entre l'élévation du débit (source : SMIAGE) et les précipitations observées (station météo de Vence) (source : Nice Météo)

Les mesures instantanées de hauteur d'eau au moment des détections aux antennes fixes de Bugadières permettent d'avoir une idée précise de l'évolution des conditions hydrologiques au moment du franchissement des antennes par les anguilles (*Figure 25*). On constate alors que les détections se sont enchainées au moment précis de la montée en charge du cours d'eau (entre 18 et 21h le 29/10). En effet, la totalité des 12 détections du 29/10 ont eu lieu dans cette tranche horaire.

L'hypothèse selon laquelle les anguilles seraient stimulées par une variation subite du niveau d'eau supérieur à 50 cm et/ou une hauteur d'eau supérieure à 1m semble se confirmer au cours de la saison 2018/2019 puisque les détections ont eu lieu avec un delta d'un mètre environ (hauteur d'eau d'environ 1,70m).

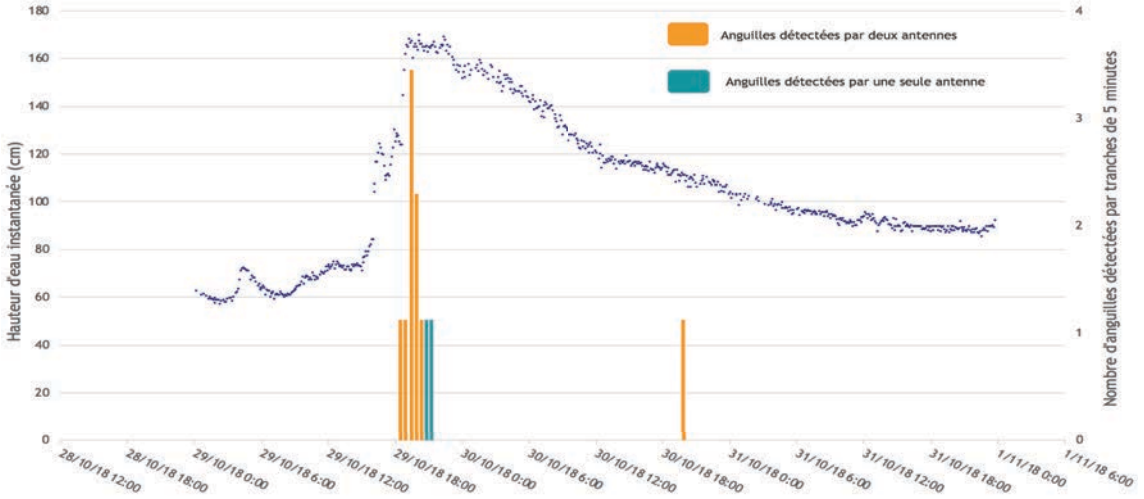


Figure 25 : Hauteur instantanée de la lame d'eau entre le 29/10/2018 et le 01/11/2018 (1 mesure de débit / 6 min) et détections asssociées sur le site de Bugadières (source : Métropole Nice Côte d'Azur)

Pour cette vague de migration, les anguilles détectées par une seule antenne se concentrent lorsque la lame d'eau est au-delà d'une de 1,70 m. Cela pourrait illustrer des passages dans les limites du champ de détection. Les observations ultérieures permettront d'étayer cette hypothèse, déjà avancée en 2017.

e) Bilan des détections de la saison 2018-2019

Les antennes installées au niveau des Bugadières ont détecté 17 anguilles à l'occasion de deux épisodes de hausses du débit survenus au mois d'octobre 2018. Malgré plusieurs autres hausses survenues courant Novembre, aucune activité migratoire n'a été perçue. Seule une anguille supplémentaire a pu être contactée à la fin du mois de Décembre.

De ce fait, ce sont *à minima* 22 % des 93 individus marqués depuis le début du suivi qui ont dévalé au cours de la saison 2018/2019. Le taux de détection entre les antennes est variable (56 à 100 %).

Avec 11 individus détectés, le site amont (Pont-des-Salles) a enregistré 63% des anguilles dévalantes captées cette saison. Sur ce site, A1 a enregistré 10 des 11 anguilles détectées (soit 91 %), tandis que A2 en a enregistré 9 (soit 81 %). Chaque antenne fournit des informations de passage complémentaires à l'autre.

Toutes les anguilles captées à Pont des Salles l'ont été aux Bugadières. A1 a enregistré 100 % des 17 anguilles détectées sur ce site, tandis que A2 en a enregistré 15 (soit 88 %).

Le dédoublement des sites de suivi et des antennes sur chaque site apporte donc une plus-value incontestable. En effet, malgré le fait que le site amont (Pont-des-Salles) n'a pas enregistré de détections supplémentaires par rapport au site aval cette année, l'association des deux sites apporte des informations sur les différentes dynamiques de dévalaison.

La réalisation des campagnes mobiles (Tracking + pêche électrique) en complément du suivi fixe vient améliorer les connaissances sur le devenir de chaque individu et confirme le maintien sur site de 24 anguilles marquées. Toutefois, des incertitudes subsistent pour 37 individus, jamais recontactés depuis leur marquage.

Pour l'instant, les premiers résultats vont dans le sens des postulats figurant dans la bibliographie, avec un départ massif des anguilles argentées dès les premières crues d'automne. Les stades ultimes de maturations sont prépondérants avec la détection de 4 FV et 9 MD à Bugadières. Toutefois, ils ne sont pas exclusifs puisque 3 individus FIII ont également dévalé à la même période.

Outre l'aspect mécanique apporté par l'augmentation du débit, il semblerait que l'intensité lumineuse joue un rôle dans la dynamique migratoire et conditionne les départs. Toutefois, compte tenu des faibles effectifs, il reste néanmoins difficile de caractériser l'intensité migratoire et l'implication de chaque variable environnementale dans le déterminisme migratoire des anguilles argentées. L'acquisition de chroniques de donnée plus importantes sur un nombre d'individu plus élevé s'avèrera indispensable au renforcement des connaissances et à la validation de ces premières observations.

3.3. Fonctionnalité du dispositif RFID

a) Temps de fonctionnement des antennes

Les arrêts et dysfonctionnements des dispositifs de suivi RFID peuvent avoir des conséquences plus ou moins importantes sur l'interprétation des données et la caractérisation de la dynamique migratoire des anguilles (selon la période, la durée ou la nature du problème). Pour vérifier le bon fonctionnement du dispositif, chaque antenne dispose d'un marqueur-Tag programmé pour émettre son signal 1 fois toutes les 30 min, soit 48 marques journalières. Un seuil d'alerte est établi lorsque le taux de réception est inférieur à 35 détections de marqueur-Tag/jour.

Le graphique ci-dessous (*Figure 26*) synthétise la réception des marqueurs tags des deux sites de suivis sur l'ensemble de la saison 2018-2019.

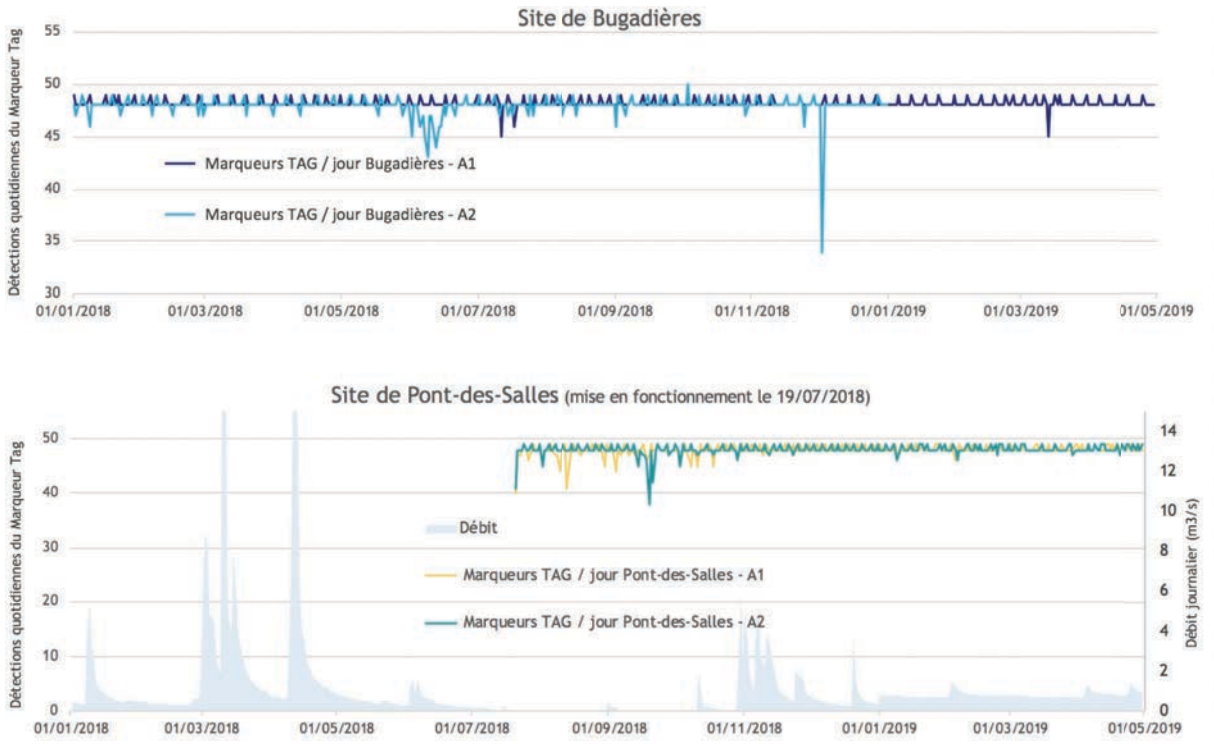


Figure 26 : Taux de réception quotidien des marqueurs Tag au niveau des antennes fixes de la Cagne

Aucun dysfonctionnement majeur n'est apparu sur le site de Bugadières. Une seule anomalie notable a été détectée le 02 Décembre sur l'Antenne 2, avec 34 détections au lieu de 48. L'antenne s'est ensuite remise à fonctionner normalement dès le lendemain. Aucune cause n'a pu être mise en évidence, même si des interférences peuvent potentiellement expliquer ce type de disfonctionnement ponctuel (comm. pers. SCIMABIO Interface). Les antennes de Bugadières sont donc restées fonctionnelles plus de 99 % du temps.

Au niveau du site de Pont-des-Salles, plusieurs variations de détections du marqueur-Tag ont été enregistrées sur les deux antennes dans les premiers mois ayant suivi l'installation du dispositif RFID. Ces variations sont toutefois restées au-dessus du seuil d'alerte et n'ont pas compromis le fonctionnement de l'antenne. La situation s'est depuis stabilisée. Les antennes de Pont-des-Salles sont donc restées fonctionnelles plus de 99 % du temps.

Enfin, si on se concentre sur les principaux épisodes de crue survenus en fin d'année 2018, on constate que les 4 antennes ont fonctionné de façon tout à fait satisfaisante (réception de 40 à 48 marqueurs tag/j à une exception près) durant cette période. Les fluctuations de débit ne semblent pas influer sur le nombre de détection du marqueur-Tag.

b) Hauteur de détection (range)

Du 1er Septembre 2018 au 30 avril 2019, le range des antennes de Bugadières a oscillé autour de 75cm pour A1 et 95-100 cm pour A2. Les hauteurs de détection des antennes du site de Pont des Salles ont quant à elles oscillé autour de 80 cm en moyenne cette saison.

c) Comportement du matériel en situation critique

Du 1er Septembre 2018 au 30 avril 2019, les conditions hydrologiques sont restées clémentes plus de 80 % du temps (H_{eau} < 1 mètre et débit < 1 m^3/s). Les périodes « critiques » de cette saison de suivi correspondent aux 3 hausses importantes de débit enregistrées, et notamment la seconde (entre fin octobre et la mi-novembre) durant laquelle les dispositifs RFID ont résisté à des débits proches des 6 m^3/s.

Malgré cela, l'analyse des paramètres électriques (notamment intensité) n'a révélé aucune anomalie ou variation pouvant traduire une quelconque altération de l'état des antennes.

4 Premiers résultats 2019-2020

Deux changements méthodologiques d'importance ont été opérés en 2019 :

- Après les difficultés rencontrées en 2017 et 2018 pour capturer la quantité espérée d'anguilles argentées, une évolution du protocole (extension du marquage aux stades immatures FI, FII ET FIII présentant un poids > 30 g, puis interruption du marquage pour 3 années consécutives) a été validée par le Comité de pilotage de l'étude. Grâce à cette évolution, **300 individus supplémentaires** présentant des stades d'argentures très divers (190 FI, 83 FII, 8 FIII, 6 FV et 13 MD), ont ainsi été marqués lors de la campagne de la nouvelle saison 2019-2020.

Cette extension du marquage poursuit deux objectifs :

D'une part, l'espacement de 3 ans des pêches électriques permettra de diminuer l'impact sur le milieu, et également observer plus efficacement la croissance et l'évolution de l'argenture chez les anguilles immatures marquées (qui pourront éventuellement être recapturés dans 3 ans).

D'autre part, de multiplier les Tracking mobiles dans les mois et les années à venir, afin de mieux connaître le comportement des anguilles de la Cagne hors dévalaisons (déplacements, habitats privilégiés, etc.)

Cette évolution du protocole s'inscrit dans une volonté de pérenniser ce suivi sur le long terme, et de faire de la Cagne un site précurseur du suivi des anguilles en Méditerranée.

- L'année 2019 a aussi été marquée par un changement du software assurant le fonctionnement des antennes fixes.

Jusque-là, deux logiciels distincts permettaient de détecter les anguilles marquées et de transmettre les informations à l'opérateur de MRM : un logiciel **OREGON** alimentait les antennes situées sur le site le plus aval (Bugadières), tandis qu'un logiciel développé par l'entreprise **StreamInnov'** alimentait les coffrets de Pont-des-Salles.

Néanmoins, depuis le mois d'août 2019, une opération de maintenance a été réalisée sur le site de Bugadières, qui a lui aussi été équipé du logiciel StreamInnov'. Toutes les antennes fonctionnent aujourd'hui avec cette interface, qui permet une lecture en direct des données à l'aide d'une interface plus ergonomique.

Concernant les détections survenues depuis le début de l'année, la station de Pont-des-Salles a enregistré 23 détections, tandis que le site le plus aval (Bugadières) a enregistré 18 détections. 15 anguilles ont été contactées sur les deux stations.

Ces enregistrements ont été réalisés en deux temps : le 15 Octobre d'une part, puis les 19-20-21 Octobre, lors des premiers coups d'eau automnaux.

Si la majorité des individus enregistrés aux antennes correspondaient à des stades avancés (une dizaine d'individus MD ou FV), plusieurs individus immatures (FIII, voir FI) ont aussi été détectés. Les antennes pourraient donc à l'avenir livrer des informations sur des déplacements réalisés hors migrations de dévalaison, et il sera intéressant de surveiller un retour de certains individus immatures emportés par les crues. De futures prospections via le Tracking mobile en aval des antennes pourront aussi permettre d'apporter des informations en ce sens.

L'analyse de ces données permettra à n'en pas douter de révéler de précieuses informations sur les modalités de dévalaisons des individus, mais aussi sur les mœurs des anguilles d'une façon plus globale.

Enfin, précisons qu'un évènement inattendu s'est produit en fin d'année. Le 23 décembre 2019, la Cagne a connu un épisode hydrologique d'une intensité exceptionnelle, correspondant à une crue cinquantennale d'après les relevés du SMIAGE Maralpin (comm. pers.). Cette crue a mis totalement hors service les dispositifs RFID situés sur les deux sites de suivi, en emportant les antennes (la partie située dans le cours d'eau). Les boitiers sécurisés contenant les modules RFID ont quant à eux résisté.

Face à cet imprévu, MRM a aussitôt engagé les démarches financières et techniques pour programmer la reconstruction de ses dispositifs de suivis. Une amélioration des conditions d'écoulements a permis d'entreprendre la réparation des antennes au mois de mars 2020. Les 4 antennes ont été remises à neuf et sont de nouveau actives depuis. Le coût total de l'opération s'est élevé à environ 4 000 euros.

Deux points positifs cependant : d'une part, ce contretemps a créé un précédent qui a permis au personnel de MRM de développer ses compétences techniques pour pouvoir procéder en autonomie à de futures réparations. L'acquisition préventive de matériel de remplacement en vue de prochaines réparations a ainsi pu être envisagée.

D'autre part, les nouvelles antennes mises en place disposent de capacités de détections légèrement meilleures que celles détruites par la crue.

Il reste à vérifier si les 300 anguilles marquées sont restées en place ou si la majorité d'entre elles ont rejoint la mer avec cet événement hydrologique majeur.

Conclusion

La mise en place d'un suivi de la dévalaison sur la Cagne impliquant la technologie RFID-HDX a permis d'obtenir des premiers retours d'expérience encourageants ces deux dernières saisons, tant au niveau des résultats obtenus que de la fiabilité du matériel RFID.

La saison dernière (2017-2018) visait à évaluer la conformité de la technologie déployée sur la Cagne et répondre aux objectifs suivants : Acquérir un retour d'expérience sur le fonctionnement des antennes, familiariser les partenaires avec l'utilisation de cette technologie, et déterminer la fiabilité du matériel (Rautureau et al., 2019). Suite aux premiers résultats encourageants, un second site a été équipé d'antennes en 2018, 5 km en amont du site de Bugadières, afin de densifier le réseau de suivi.

Au cours de la saison 2018-2019, les antennes installées au niveau du site le plus aval (Bugadières) ont détecté un total de 17 anguilles, à l'occasion de deux hausses du débit survenus au mois d'octobre 2018.

Le taux de détection des antennes est variable : les antennes A1 et A2 de Bugadières ont captées respectivement 100 % et 88 % des individus détectés cette saison. Avec 11 individus détectés, le nouveau site amont (Pont-des-Salles) a enregistré 63 % des anguilles dévalantes captées cette saison. Sur ce site, A1 a enregistré 10 des 11 anguilles détectées (soit 91 %), tandis que A2 en a enregistré 9 (soit 81 %). Chaque antenne fournit des informations de passage complémentaires à l'autre.

Le dédoublement des sites de suivi et des antennes sur chaque site apporte une plus-value incontestable. En effet, malgré le fait que le site amont (Pont-des-Salles) n'a pas enregistré de détections supplémentaires par rapport au site aval cette année, l'association des deux sites permet d'observer différentes dynamiques de dévalaison.

Les hausses de débit suivantes (observées en Novembre) n'ont pas permis d'enregistrer d'activité migratoire. Une anguille supplémentaire a finalement été détectée à la fin du mois de décembre lors d'un pic de débit. Il est raisonnable de supposer que quelques individus ont aussi pu dévaler sans être détectés. Ce sont donc *à minima* 22 % des 93 individus marqués depuis le début du suivi qui ont dévalé au cours de la saison 2018/2019.

La réalisation des campagnes mobiles (Tracking + pêche électrique effectuée lors du marquage 2019) en complément du suivi fixe vient améliorer les connaissances sur le devenir de chaque individu, et confirme le maintien sur site de 24 anguilles marquées. Toutefois, des incertitudes subsistent pour 37 individus, jamais recontactés depuis leur marquage.

Pour l'instant, les premiers résultats vont dans le sens des postulats figurant dans la bibliographie, avec un départ des anguilles argentées corrélé avec les premières crues d'automne. Les stades ultimes de maturations sont prépondérants avec la détection de 4 FV et 9 MD à Bugadières. Toutefois, ils ne sont pas exclusifs puisque 3 individus FIII ont également dévalé à la même période.

Compte tenu des faibles effectifs détectés, il reste néanmoins difficile de caractériser l'intensité migratoire et l'implication des différentes variables environnementales dans le déterminisme migratoire des anguilles argentées. L'acquisition de chroniques de donnée plus importantes sur un nombre d'individus plus élevé s'avèrera indispensable au renforcement des connaissances et à la validation de ces premières observations.

Partie 2 : Caractérisation du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure

L'un des objectifs du PLAGEPOMI 2016-2021 est d'acquérir des connaissances sur le comportement de dévalaison de l'Anguille européenne sur les côtiers méditerranéens. Outre l'aspect RFID sur la Cagne qui fournit des informations sur les petits côtiers, l'atteinte de cet objectif concerne aussi les côtiers de plus grande envergure, au fonctionnement plus complexe. Des investigations conduites en 2013 sur l'Aude par l'ONEMA ont en effet suggéré qu'il est peu probable que la dévalaison de l'anguille s'opère dans les mêmes conditions que celles décrites sur la façade atlantique (Dougados, 2013).

L'étude de la dévalaison sur ces grands côtiers 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).

Le fort enjeu hydroélectrique **sur la basse vallée du Var** et la mobilisation des acteurs locaux ont amené MRM à orienter les investigations sur ce bassin versant dès 2015, avec pour ambition une étude radiopistage. Il avait toutefois été admis que la faisabilité d'un tel projet était conditionnée par la possibilité de capturer suffisamment d'anguilles argentées de grande taille afin de pouvoir les marquer avec des transpondeurs pendant plusieurs mois (Campton et al., 2015).

En raison des contrainte rencontrées en 2016 et 2017 pour échantillonner des anguilles argentées en nombre et tailles suffisants sur ce bassin, une révision de la stratégie a été envisagée. L'association MRM a aujourd'hui tourné ses investigations vers une analyse comparative du fonctionnement hydrologique de plusieurs côtiers méditerranéens de grande envergure. Les fleuves pressentis sont le Var, l'Hérault, le Tech, l'Aude, l'Orb et le Tavignano.

Les objectifs sont les suivants :

1) Mettre en lien le fonctionnement hydrologique des côtiers avec les comportements connus de dévalaison de l'anguille européenne, mais aussi avec les premières observations sur la Cagne.

2) Identifier des fleuves côtiers où la dévalaison est susceptible de se dérouler dans des conditions hydrologiques similaires 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. Cette nouvelle stratégie a été validée en comité de pilotage le 21 janvier 2019.

Cette approche est susceptible de mobiliser une quantité importante de données (nombreux côtiers à étudier, multitude de stations hydrométriques, nombreuses années de données à trier et valider, etc.). Les investigations 2019 constituant la première phase de cette nouvelle approche, elles se sont donc focalisées sur deux aspects :

- La proposition de critères comparatifs de caractérisation hydrologique ;
- Un premier retour d'expérience de la démarche proposée sur deux fleuves côtiers : Le Var (pour lequel des analyses avaient déjà été effectuées (Campton et *al.*, 2014) et l'Hérault, qui présente certaines caractéristiques proches de celles du Var en termes de surface de bassin et de module notamment (2 820 km^2 – 49,3 m^3/s à Nice pour le Var, 2 582 km2 – 43,7 m^3/s à Agde pour l'Hérault). Ils disposent également de plusieurs stations hydrométriques susceptibles de fournir des données sur une longue période.

1 Méthode

1.1 Proposition de critères de comparaison hydrologique

Pour mémoire, cette étude a pour finalité d'identifier les périodes les plus propices à la dévalaison des anguilles argentées, et si possible, trouver un côtier présentant un fonctionnement hydrologique comparable à celui du Var, tout en étant abordable d'un point de vue méthodologique pour une éventuelle étude *in situ*.

De fait, il est clair 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.

Il a donc été décidé, sur la base d'études antérieures conduites par l'ONEMA (Dougados, 2013), ainsi que d'échanges avec EDF de baser cette caractérisation du fonctionnement hydrologique des grands côtiers **sur une grille de critères comparatifs** supposés jouer un rôle important pour la dévalaison des anguilles :

1) Les dates de crues les plus régulièrement observées ;
2) Les typologies hydrologiques (Années sèches ; Humides ; etc.) ;
3) La Contribution des affluents au débit du fleuve côtier ;
4) La Cohérence des débits entre l'amont et l'aval du fleuve côtier.

Le principe de la démarche consistera ensuite à valider les critères présentés auprès d'un collège d'experts qui sera prochainement constitué (OFB pôle écohydraulique, DREAL, EDF, autres à préciser) afin d'étendre les analyses aux autres côtiers de grande envergure.

1.2 Quelle démarche de caractérisation ?

Avant d'entreprendre une analyse hydrologique d'un côtier, plusieurs questions doivent être soulevées pour s'assurer que la démarche soit la plus représentative possible du fonctionnement du fleuve et la plus adaptée aux objectifs de l'étude.

a) Sélection des données à exploiter

La démarche proposée pour chaque cours d'eau consiste à dresser un bilan des *données de débits moyens journaliers* disponibles sur le site de la DREAL «*Hydro France* ». Les différents échanges ainsi que les études précédemment citées ont aussi mis en avant la pertinence de ne pas prendre en compte l'année entière pour ce type d'analyse, mais uniquement la période théorique susceptible d'engendrer de la dévalaison (Septembre → Avril).

Dans la mesure du possible, plusieurs stations, réparties sur les parties amont, intermédiaires, et aval du fleuve sont analysées pour déterminer s'il existe une cohérence entre les pics de débits observés à l'amont et ceux observés à l'aval.

Les données hydrologiques doivent être disponibles sur un pas de temps suffisant pour disposer d'une bonne représentativité statistique. Ce pas de temps ne doit pas être trop long pour intégrer les éventuels effets du récent changement climatique sur le fonctionnement hydrologique des côtiers. D'autres études réalisées en Méditerranée ont montré la nécessité de prendre en compte environ 30 ans de données hydrologiques pour caractériser de manière assez représentative le fonctionnement d'un fleuve côtier.

Pour mémoire, ce pas de temps avait d'abord été préconisé dans le cadre d'une étude hydrologique entreprise sur l'Aude par l'ONEMA (Dougados, 2013), avant d'être repris dans le cadre de l'analyse des mortalités théoriques des anguilles à la dévalaison sur le Var (Campton et al., 2015). Il a donc été choisi dans nos analyses.

Certaines stations ne disposant pas de chroniques suffisamment étendues peuvent être malgré tout sélectionnées si elles apportent potentiellement une plus-value dans l'analyse globale de fonctionnement. Le cas échéant, ce choix sera justifié et l'interprétation des résultats devra être réalisée avec prudence.

Par exemple, un regroupement de données entre différentes stations hydrologiques proches peut être envisagé pour estimer les débits moyens journaliers d'une période où les données sont manquantes sur la station de référence.

Sur certaines saisons de dévalaison, l'absence de données sur des périodes plus ou moins étendues peut être observé sur certaines stations. La validité des données de chaque saison a été jugée selon la même méthode suivante (Campton *et al.*, 2014) :

- les saisons où les données manquantes correspondent à plusieurs pics de crues ne sont pas prises en compte. En effet, dans ces cas de figure, les valeurs obtenues pour définir une cohérence amont-aval ou une contribution des affluents se révèlerait erronées. Si un seul pic de crue est néanmoins manquant sur la saison, les données sont tout de même exploitées.
- Les saisons présentant plusieurs semaines de données manquantes sont supprimées. Si plus de 50 % des données de la saison sont manquantes, la saison n'est pas exploitée.
- Les saisons présentant ponctuellement des données manquantes dans des conditions de bas débits peuvent être gardées.

Enfin, il est nécessaire de **démontrer une cohérence amont-aval des débits** sur un fleuve côtier, ainsi que **d'évaluer la contribution des affluents** pour disposer d'une vision globale du fonctionnement hydrologique.

D'une part, si les fluctuations observées à l'amont d'un côtier se retranscrivent globalement toujours à l'aval, alors il peut être admis que les fluctuations enregistrées sur la station la plus aval sont représentatives du fonctionnement global du cours d'eau. De fait, les différentes analyses hydrologiques peuvent se focaliser sur cette station aval.

L'analyse de cette cohérence concerne aussi les affluents, dont la contribution au débit global du fleuve côtier doit être caractérisée. Une attention particulière doit être portée aux affluents les plus susceptibles d'être colonisés par les anguilles. Les stations situées sur ces affluents à proximité de la confluence seront privilégiées.

Les modalités permettant d'estimer cette cohérence amont-aval pour un côtier, ainsi que la contribution de ses affluents, seront présentées plus en détail dans les *parties 2.2. et 2.3.*

b) Disponibilité des données pour les affluents

La démarche employée pour sélectionner les données hydrologiques sur les affluents des fleuves côtiers est globalement la même que celle présentée dans le paragraphe précédent. Toutefois, si plusieurs stations sont disponibles pour un affluent, deux critères vont orienter la sélection : le nombre d'années de données disponibles, et la position de la station sur l'affluent. Si les données présentent un pas de temps suffisant, il faudra privilégier les stations situées le plus en aval possible. Elles fournissent des données plus représentatives du débit total qui alimente quotidiennement le fleuve.

2 Critères de caractérisation hydrologique

Les critères proposés par la suite devront dans l'idéal être définis pour chaque station hydrologique sélectionné par la méthode présentée précédemment.

Pour rappel, ils seront prochainement présentés pour avis à un groupe d'experts pour valider la démarche d'analyses qui sera déployée sur les autres côtiers.

2.1 Focus préalable sur la notion de « crue »

En préambule à l'analyse des critères, il est nécessaire de détailler pour chaque station une « valeur seuil » permettant de définir un événement hydrologique comme une crue. Cette notion est fondamentale et conditionne la pertinence des résultats qui seront obtenus via l'analyse des différents critères.

Les valeurs de crues *biennales*, quinquennales, etc. sont disponibles sur le site « Eau France » *(Banque Hydro)* pour chaque station disposant de suffisamment de données.

Les valeurs de crue annuelle ne sont pas publiées car la Loi de Gumble utilisée pour déterminer les fréquences de retour de crue atteint ses limites de calcul pour une période de retour égale à un an. Nous proposons donc ici de fixer une valeur seuil le débit journalier correspondant à **au double du module pour la station considérée**. Ainsi, tout débit moyen journalier au-dessus de cette valeur sera considéré par la suite comme faisant partie d'une crue. On nommera **étalement de crue** le nombre de jour ou le débit journalier moyen reste supérieur à cette valeur seuil.

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 semble donc cohérente pour définir une crue, tout en étant suffisamment basse pour potentiellement intégrer un nombre conséquent d'évènements hydrologiques chaque année.

2.2 Étude de la cohérence amont-aval des débits

Il semble pertinent de s'intéresser de prime abord à ce critère car il permet de déterminer si les fluctuations hydrologiques observées à l'aval du côtier étudié sont expliquées par les fluctuations des parties amont durant une saison de dévalaison (Septembre-Avril), en lien avec la localisation des affluents. Le cas échéant, la station aval peut être considérée représentative des fluctuations hydrologiques observées sur l'ensemble de l'axe principal.

Certaines particularités naturelles (zones d'épanchement de crues, pluviosité localisée à l'aval, etc.) ou anthropiques (barrages) peuvent néanmoins empêcher un phénomène hydrologique de se propager sur l'ensemble d'un axe. Si sur un cours d'eau, ce phénomène est observé de façon récurrente, il conviendra d'identifier les particularités qui peuvent expliquer l'altération du signal hydrologique entre l'aval et l'amont, avant d'envisager ou non la poursuite des analyses en fonction des potentialités d'accueil de chaque tronçon pour l'anguille.

Cette cohérence est quantifiée en recherchant **le nombre de pics de crues simultanés observés entre l'amont et l'aval** sur une période la plus étendue possible (30 ans si les stations disposent de suffisamment de données).

2.3 Contribution des affluents

La comparaison du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure passe par la détermination du rôle des affluents sur les évènements hydrologiques mesurés sur la station hydrométrique de référence aval.

L'objectif est de déterminer dans quelle mesure ces affluents peuvent entrainer des comportements de dévalaison et comment cela se traduit sur les débits du cours d'eau principal.

Le débit de référence utilisé pour définir un pourcentage de contribution de l'affluent est la valeur maximale enregistrée sur le fleuve et les affluents lors de chaque événement hydrologique, comme l'illustre l'exemple présenté en *Figure 27* ci-dessous. L'étalement de la crue apparaît en rose, et le débit maximal enregistré en rouge.

SAISON	DATE	Hérault Aval (AGDE)	Hérault Médian (Aspiran)	Hérault Amont (Laroque)	La Peyne (2007-2020)	La Lergue (1990-2020)	La Vis (1990-2020)	L'Arre (1990-2020)
1999-2000	10-nov	33,9	10,2	7,15	0	1,55	2,97	2,2
1999-2000	11-nov	41,8	13,9	6,85	0	1,49	2,84	2,16
1999-2000	12-nov	51	26,7	14,5	0	5,04	7,53	8,18
1999-2000	13-nov	232	179	173	0	48,2	115	52,1
1999-2000	14-nov	575	472	276	0	53,6	165	56,7
1999-2000	15-nov	588	292	131	0	29,2	64,9	29,6
1999-2000	16-nov	233	192	68,8	0	17,9	29,1	16,9
1999-2000	17-nov	182	155	47,6	0	12,4	18,7	12,4
1999-2000	18-nov	149	127	37,8	0	10,4	16,7	9,97
1999-2000	19-nov	122	118	37,9	0	10,7	15,3	10,8
1999-2000	20-nov	101	106	33,2	0	9,04	14,2	8,45
1999-2000	21-nov	79,1	89,3	29,3	0	7,56	12,5	7,1
1999-2000	22-nov	71,4	79,2	26	0	6,58	10,4	6,11
1999-2000	23-nov	64,9	71	23,3	0	5,67	9,47	5,32

Figure 27 : Exemple de présentation des données lors d'une crue de l'Hérault (13 Novembre 1999).

Pour chaque crue enregistrée sur la station hydrométrique de référence aval, le pic de débit enregistré sur les affluents est identifié et son pourcentage de contribution peut alors être calculé pour chaque crue, **en considérant que le débit de la station aval correspond à 100%**.

L'exemple ci-dessus permet d'illustrer une autre information prise en compte lors de cette analyse : le décalage éventuel du pic de crue entre l'affluent et le fleuve côtier. Pour chaque événement, ce décalage est quantifié (décalage nul, 24h, 48h, etc.) et une analyse globale est réalisée pour déterminer la vitesse de réponse du bassin versant.

2.4 Nombre de crues observées chaque saison

Pour chaque station on peut définir un nombre d'évènements pouvant être caractérisés de crues (annuelles, biennales etc.). Cette analyse se concentre uniquement sur la période propice à la dévalaison, de septembre à avril.

L'analyse de ce critère permet d'estimer pour chaque saison, le nombre de « fenêtres « susceptibles d'engendrer de la dévalaison », ainsi que leur étalement dans le temps.

Elle fournit des éléments supplémentaires en faveur d'une cohérence amont-aval des écoulements sur le bassin concerné, dans le cas où le nombre d'évènements hydrologiques est comparé entre plusieurs stations d'un même cours d'eau.

2.5 Caractérisation des premières crues automnales

Pour chaque saison de dévalaison, les caractéristiques des deux premières crues automnales sont recherchées (date, intensité, étalement dans le temps).

Les différentes études sur la dévalaison réalisées sur la façade atlantique et ailleurs en Europe tendent à montrer que les anguilles dévaleraient essentiellement **lorsque le débit augmente de manière significative** (Durif *et al.*, 2002 ; Behrmann-Godel & Eckmann, 2003).

Ces conditions de hautes eaux permettraient aux individus de dévaler en économisant leurs réserves énergétiques, tout en facilitant le franchissement de certains obstacles anthropiques (Stein et al., 2013).

Il semble également qu'une chute de température soit nécessaire pour initier la migration de dévalaison (Haraldstad et al., 1985 ; Boubee et al., 2001). Une chute de 14 à 10°C a par exemple été constatée sur la Nive (Durif et al., 2002).

On peut donc supposer que ce serait **lors des premières crues automnales** (périodes caractérisées par des fortes augmentations de débit, corrélées à une baisse de température de l'eau importante après l'été) que les anguilles argentées sont les plus susceptibles de dévaler.

Les premières tendances de dévalaison mises en évidence sur la Cagne lors des saisons 2017-2018 et 2018-2019 semblent aller dans le sens de ces observations.

Une autre étude, réalisée sur le Gave de Pau (Bau et al., 2011) a par ailleurs montré que les anguilles seraient susceptibles de dévaler dans des gammes de débits bien définies. Sur une saison, 20 % des anguilles dévaleraient respectivement à Q75, Q95, Q97,5 et Q99.

Parallèlement, l'étude réalisée sur l'Aude en 2013 par l'ONEMA (Dougados, 2013) semble quant à elle suggérer que les crues de forte intensité sont susceptibles de nuire à la dévalaison.

Afin d'augmenter la robustesse des analyses, il a été décidé de ne pas se limiter à la première crue automnale, mais de **prendre en compte les deux premières crues**. Les variables étudiées pour ces deux évènements saisonniers sont définies comme suit :

- **Le nombre de jours de montée de débit** est défini par le nombre de jours d'augmentations consécutives nécessaires pour atteindre la valeur maximale de QJM enregistrée lors de la crue.

- **L'intensité de la crue** est déterminée par la valeur de débit correspondant à chaque période de retour (annuelle, biennale, etc.), pour une station donnée, à partir des données Banque hydro et de la valeur seuil de 2 fois le module pour la crue annuelle.

- **L'étalement de la crue** est défini par le nombre de jours nécessaire présentant un débit supérieur à 2x le module.

- **Le nombre de jours de décrue** est défini par le nombre de jours nécessaire pour retrouver un débit inférieur à 2x le module après le pic de crue.

Pour les deux crues, les périodes d'observation les plus récurrentes sur une période de 30 saisons sont mises en évidence *via* la méthode des quartiles (box-plots).

3 Analyse hydrologique du fleuve Var

3.1 Contexte hydrologique et données disponibles

a) Le bassin versant et les suivis hydrométriques du Var

Fleuve côtier de 114 km situé dans le Sud-Est de la France, le Var prend sa source à Estenc (Alpes-Maritimes) à 1790 m d'altitude, et se jette dans la Mer Méditerranée à l'embouchure située entre Nice et Saint-Laurent du Var. Son bassin versant s'étale sur une superficie d'environ 2 820 km^2, avec un module à Nice de 49,4 m^3/s.

Cinq affluents principaux se distinguent : l'Estéron, la Vésubie, la Tinée, le Cians et le Coulomp. Les suivis des variations hydrologiques de ce bassin sont ou ont été assurés par les stations suivantes (*Figure 28*) :

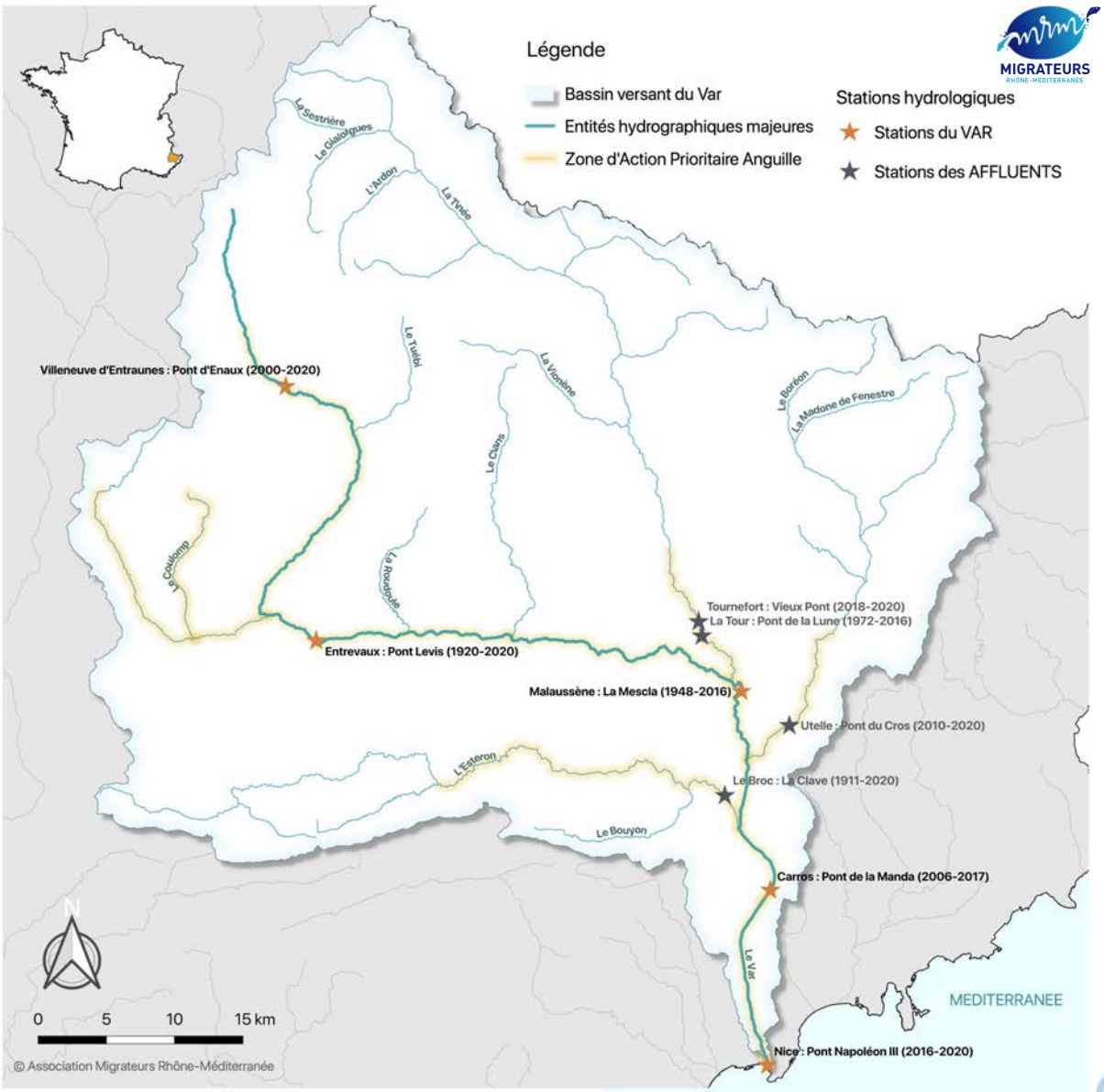


Figure 28 : Le bassin versant du Var et les stations hydrométriques associées

Les caractéristiques de ces stations sont présentées de façon plus détaillée dans le **Tableau 7** ci-dessous :

Tableau 7 : Caractéristiques des principales stations hydrologiques présentes sur le bassin du Var

	N° de station	Commune	Libellé de la station	Position sur l'axe	Module (m³/s)	Plage de données disponibles
VAR	Y6002030	Villeneuve d'Entraunes	*Pont d'Enaux*	Amont	2,77	2000-2020
	Y6042010	Entrevaux	*Pont Levis*	Médiane	15,70	1920-2020
	Y6432010	Malaussène	*La Mescla*	Médiane (en amont de la Vésubie)	37,90	1948-2016
	Y6442020	Carros	*Pont de la Manda*	Aval	51,20	2006-2017
	Y6442015	Nice	*Pont Napoléon III*	Aval	49,4	2016-2020
CIANS	Y6115010	Rigaud	*Cadiera*	10 km de la confluence	/	1971-1977
TINEE	Y6234010	La Tour	*Pont de la Lune*	10 km de la confluence	14,60	1972-2016
	Y6234030	Tournefort	*Vieux Pont*	12 km de la confluence	/	2018-2020
VESUBIE	Y6334040	Utelle	*Pont de Cros*	8 km de la confluence	/	2010-2020
	Y6334050	Levens	*Plan du Var*	Au niveau de la confluence	8,01	1962-1992
VAÏRE (affluent Coulomp)	Y6035610	Annot	*Pont des Scaffarels*	1 km de la confluence avec le Coulomp	/	1908-2019
ESTERON	Y6434020	Le Broc	*La Clave*	1 km de la confluence	7,01	1911-2020

Le fleuve Var se caractérise aussi par un régime nivo-pluvial, qui se traduit généralement par deux pics de débits annuels biens marqués, au printemps puis à l'automne. L'intensité et la période d'observation varient toutefois d'une année sur l'autre, comme l'atteste la *Figure 29* ci-dessous.

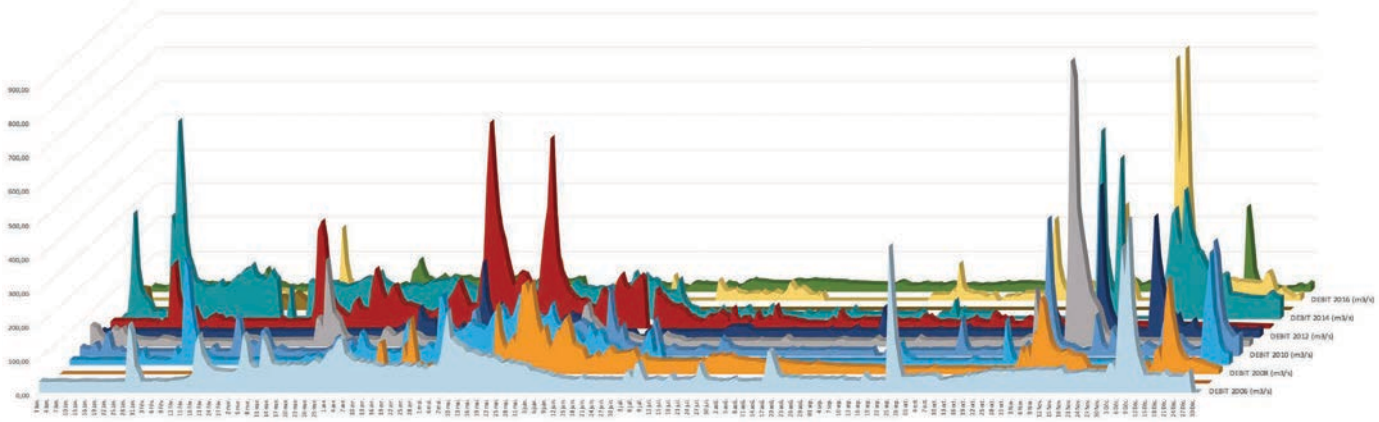


Figure 29 : Evolution journalière du débit du Var sur une année civile (Janvier à décembre) à la station du Pont de la Manda (Nice) entre 2006 et 2017

Ce bassin présente aussi un fort enjeu en matière de production d'hydroélectricité et de restauration de la continuité écologique, avec une dizaine d'usine hydroélectriques majoritairement suréquipées par rapport au module du cours d'eau. 6 d'entre elles sont par ailleurs situées au sein de la Zone d'Action Prioritaire Anguille. Dans une étude préliminaire, MRM avait évalué l'impact théorique de l'hydroélectricité sur chaque aménagement de cet axe, avec un ordre de grandeur de 25 à 30 % de mortalité (Campton et al., 2017).

b) Stations retenues sur le Var

Plusieurs stations présentent un intérêt : sur la partie amont du fleuve, **la station de Pont d'Enaux** (Villeneuve d'Entraunes) dispose de données sur la période 2000-2020 (*figure 28*). Malgré le fait qu'elle soit plus courte qu'espérée, cette chronique de données reste pertinente pour étudier le cohérence amont-aval des débits sur le Var.

La partie médiane du Var dispose quant à elle d'une quantité de données conséquente (1920-2020) au niveau de la **station de Pont Levis à Entrevaux**. Ces deux stations, localisées dans la ZAP, sont toujours en fonctionnement en 2020. Un tableau récapitulatif (**Tableau 8**) est disponible plus bas. Il dresse le bilan de la disponibilité des données sur les stations décrites dans cette partie.

Dans le cas de la partie aval du Var, plusieurs stations ont produit de façon variable des données de débits moyens journaliers entre 1990 et 2020.

Entre 1989 et 2006, seule la **station du barrage de Malaussène (La Mescla**) permet d'obtenir des données hydrologiques pour la partie aval du Var. Entre 2006 et 2016, des données ont été récoltées au niveau de la station de Carros (Pont de la Manda). Enfin, depuis 2017, les données hydrologiques sont récoltées quelques kilomètres plus en aval, au niveau de la station hydrologique de Nice (Pont Napoléon III).

Les stations hydrométriques de Nice et de Carros permettent d'estimer les débits des mêmes aménagements et leurs données ont été validées par la DREAL. Une analyse comparative des données hydrologiques de ces deux stations (Campton et *al.*, 2015) a montré que les différences de débits journaliers observés durant la saison de dévalaison entre les deux sites étaient négligeables. De fait, les premiers éléments de caractérisation du fonctionnement hydrologique du Var présentés dans ce rapport se basent successivement sur des débits journaliers enregistrés à la **station de Carros** (entre 2006 et 2017) et à la **station de Nice** (2017-2020).

Néanmoins, pour les données de débits de la période 1989-2006, le cas de figure est différent. Ces débits sont uniquement disponibles sur la station de la Mescla. Or, ils ne sont pas comparables avec ceux des stations de Nice et de Carros, puisque la station de la Mescla est bien plus haute sur le bassin, en amont de deux affluents majeurs du Var (la Vésubie et l'Estéron).

Afin de disposer d'un pas de temps de 30 années, les débits journaliers de l'Estéron et de la Mescla ont été additionnés sur la période 1989-2006, pour disposer d'un débit assimilable à celui des deux stations de Nice et de Carros. La Vésubie ne disposant pas de chroniques de données suffisantes (2010-2020), elle n'a pas pu être intégrée au calcul.

L'utilisation de cette méthode constitue l'une des limites des analyses présentées dans ce rapport, et devra inciter à la prudence dans l'interprétation des premiers résultats qui seront présentés par la suite.

Afin de limiter ce biais, une partie spécifique à l'étude de la Vésubie sur la période de données disponibles est consacrée dans ce rapport, afin de déterminer sa contribution globale au débit du Var, et donc d'estimer les conséquences potentielles de son retrait des analyses.

c) Stations retenues sur les affluents du Var

- **Colonisation des affluents du Var par les anguilles**

Sur la Tinée, l'intégralité de la zone d'action prioritaire est colonisée par l'Anguille, avec des abondances de captures moyennes en aval du barrage de Bancairon (limite de la ZAP) (ONEMA, 2008). La typologie des habitats varie au gré des crues sur cet axe, ce qui permet d'expliquer que les anguilles qui colonisent la Tinée ne peuvent s'installer à long terme sur un secteur donné (Campton et al., 2010).

Sur la Vésubie, les pêches scientifiques réalisées montrent que les abondances sont fortes jusqu'en amont du barrage de Saint Jean la Rivière (ONEMA, 2008). Ces fortes abondances témoignent des bonnes potentialités d'accueil du cours d'eau, même si certains seuils naturels sont susceptibles de limiter les possibilités de colonisation (Campton et al., 2010).

Sur l'Estéron, un seul ouvrage a été recensé sur la zone d'actions prioritaires (seuil du Pont des français à Roquesteron), mais il est considéré franchissable avec risque de blocage en conditions hydro climatiques limitantes.

Les données de pêches scientifiques de l'ONEMA et de la FDAAPPMA 06 montrent des abondances faibles sur la zone d'actions prioritaires, mais cet affluent reste aisément accessible (affluent principal du Var le plus proche de la mer à 20 km de l'embouchure) jusqu'au secteur de clues naturelles et offre une potentialité d'accueil importante à ne pas négliger (Campton et al., 2010).

Sur le Coulomp, les échantillonnages conduits par l'ONEMA et la FDAAPPMA 06 ne montrent que de rares captures. Néanmoins, d'autres pêches scientifiques réalisées par l'ONEMA montrent que les stations de la Vaïre situées en aval du seuil des Scaffarels accueillent de très fortes abondances d'anguilles, qui diminuent ensuite au fur et à mesure que l'on progresse vers l'amont de la ZAP (Campton et al., 2010).

La Vaïre semble donc être un axe intéressant à étudier même si la présence du seuil des Scaffarels et de deux autres ouvrages situés en amont de ce seuil (microcentrale Velara et du seuil du Fugeret) limite la progression des individus

- **Disponibilité des données sur les affluents pressentis**

Sur la Tinée, deux stations, espacées de seulement quelques kilomètres ont successivement collecté des données : La **station du *Pont de la Lune*** à La Tour entre 1972 et 2016, puis la station du Vieux Pont située 2 km plus en amont à Tournefort depuis 2018 (*figure 28*). Les données de cette seconde station ne sont pas exploitables (seulement trois ans de données, et de nombreuses lacunes).

Sur la Vésubie, seule la **station de Pont de Cros** dispose de données compatibles avec le pas de temps souhaité (2010-2018). Les données disponibles sont de bonne qualité.

Sur l'Estéron la **station de La Clave**, dispose d'un pas de temps conséquent (1911-2020) avec des données de bonne qualité sur la période souhaitée, et est toujours en fonctionnement.

La Vaïre dispose également d'une station hydrométrique. Les données y sont parcellaires, mais elles permettent néanmoins d'observer quelques phénomènes de crues. Ces données sont prises en compte pour l'analyse, mais elles devront être considérées avec une extrême précaution d'autant plus que la Vaïre est un sous affluent du Var (bassin du coulomp sur lequel il n'y a pas de stations hydrométriques disponibles).

Le **Tableau 8** en page suivante dresse une synthèse de la disponibilité et de la qualité des données hydrométriques qui sont utilisées dans le cadre de cette étude.

Tableau 8 : Qualité et validité des données hydrométriques diponibles sur le bassin versant du Var

	Années 90											Années 2000										Années 2010									
Saison de dévalaison	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
Var aval	MESCLA +						ESTERON					X									CARROS					MESCLA + ESTERON		NICE		
Var médian (Entrevaux)																														
Var amont (Villeneuve)																														
Estéron					X	X																								
Tinée						X	X								X															
Vésubie																														
Vaïre																										X			X	

BLEU : Saisons validées (Source : *Banque Hydro*) VERT : Saisons validées douteuses JAUNE : Saisons incomplètes : non exploitable si (X)

ORANGE : Données complètes mais provisoires GRIS : Saisons manquantes.

Les valeurs seuils de crues (définies pour le Var et ses affluents à partir de la valeur équivalent à 2x le module, ainsi que d'après les données Banque Hydro) sont présentées dans le **Tableau 9** ci-dessous.

Tableau 9 : Valeurs seuils utilisées pour définir les crues sur le Var et ses affluents

	VAR AVAL	VAR MEDIAN	VAR AMONT	ESTERON	VESUBIE	TINEE	VAIRE
Module *(m^3/s)*	46,17	15,7	2,77	7,01	8,01	14,6	2,81
Crue annuelle *(2 x module)*	**92,3**	**31,4**	**5,5**	**14**	**16**	**29,2**	**5,6**
Crue Biennale *(banque hydro)*	500	85	14	93	/	45,8	21
Crue Quinquennale *(banque hydro)*	660	120	23	140	/	96	34

3.2 Cohérence amont-aval des débits du Var

a) Répercussion des crues entre la station médiane et la station aval

L'analyse hydrologique montre qu'entre 1990 et 2019 (année 2020 encore incomplète et donc non prise en compte), 112 crues ont été enregistrées sur le Var aval si l'on se base sur une valeur limite de 92,3 m^3/s.

92 % d'entre elles (103) ont été répercutées sur la station médiane du Var (**station de Pont Levis à Entrevaux**). Deux cas de figures ont été notés :

- 91 de ces 103 évènements ont été enregistrés comme des crues (le débit a dépassé la valeur de 2x le module au moins une fois)
- Les 12 évènements restants correspondent à des évolutions de débits notables, mais sont restés trop modérés pour être qualifiés de crues. Ces deux cas de figures sont illustrés en **Annexe 2.**

Les 8 % restants correspondant à des absences de données, on peut donc considérer que sur cette période de 30 ans, toutes les crues enregistrées sur la partie aval du Var sont répercutées sur la partie médiane.

b) Répercussion des crues entre la station amont et la station aval

L'analyse de la cohérence entre la station amont et la station aval est conditionnée par la disponibilité des données sur la station amont, qui ne dispose que de 19 ans de données (2000-2019). Sur cette période, 71 crues ont été enregistrés sur le Var aval si l'on se base sur une valeur limite de 92,3 m^3/s. 80 % d'entre elles (57) ont été retrouvées sur la station amont à Villeneuve d'Entraunes.

Comme pour la station médiane, deux cas de figures sont retrouvés : 41 évènements peuvent être classés comme des crues au regard des valeurs seuils définies dans le Tableau 8, et 16 présentent des variations de débits notables, mais qui sont restées trop modérées pour être qualifiées de crues (voir Annexe 2 pour illustrer ce cas de figure).

Par ailleurs, 7 crues (10%) observées à l'aval du bassin ne sont pas observées à l'amont sur cette période, et 7 autres ne peuvent pas être observées en raison de l'absence de données.

Une synthèse des différentes informations présentées en a) et b) est proposé dans le **Tableau 10** suivant :

Tableau 10 : Répercussion des crues observées à l'aval sur les stations amont et médianes du Var

	Cohérence des données entre les débits médians et aval		Cohérence des données entre les débits amont et aval	
Période de données exploitables	(1989-1990) → (2018-2019)		(2000-2001) → (2018-2019)	
Total de crues enregistrées à l'aval	112	(100 %)	71	(100 %)
Nombre de crues répercutées sur la station médiane / amont	103	**(92 %)**	57	**(80,3 %)**
Crue non répercutées sur la partie médiane / amont	0	0	7	(9,9 %)
Données indisponibles	9	(8 %)	7	(9,9 %)

De manière globale, il semble donc pertinent de supposer que sur 30 saisons de données, les fluctuations hydrologiques enregistrées à l'aval du Var sont représentatives des fluctuations de l'ensemble de l'axe.

Néanmoins, il convient aussi de préciser que ponctuellement, des crues de faibles intensités peuvent être observées uniquement sur les tronçons médians (11 en 30 ans) et amont (4 en 20 ans) du Var, sans qu'elles soient considérées comme tel à l'aval. Dans la quasi-intégralité de ces cas, des augmentations de débit insuffisantes pour générer une crue sont tout de même notées à l'aval (*voir Figure 31 en partie 3.4 pour plus d'informations*).

3.3 Analyse de la contribution des affluents au débit du Var lors des épisodes de crues

Un premier bilan de l'analyse de la contribution des différentes affluents (et sous affluents) du Var est présentée dans le *Tableau 11* ci-dessous.

Tableau 11 : Contribution des différents affluents au débit enregistré sur le Var aval

	ESTERON	VESUBIE	TINEE	VAÏRE
Période considérée	*1990-2019*	2010-2019	1990-2019	2007-2019
Nombre de crues pris en compte	*102*	36	91	35
Contribution minimale (%)	2,2	3,4	1,8	0,2
Contribution moyenne (%)	**20,6**	**14,2**	**18,8**	**2,1**
Contribution maximale (%)	44,2	50,6	85,6	10,4

On peut tout d'abord observer qu'en moyenne, l'Estéron et la Tinée sont les deux affluents qui apportent la plus forte contribution au débit enregistré sur le Var aval sur les 30 dernières saisons de dévalaison.

La contribution de la Vésubie semble également importante, même si la faible période de données disponibles doit encourager à considérer ces premiers résultats avec précaution.

En tant que sous-affluent, la Vaïre contribue logiquement dans une plus faible proportion au débit enregistré à l'aval du Var. Même si les données disponibles pour ce cours d'eau sont fragmentaires, elles permettent néanmoins d'avoir un ordre d'idée de la contribution globale de ce type de cours d'eau au débit global du Var.

La présentation des valeurs minimums et maximum montrent que la contribution des différents affluents peut être très hétérogène suivant les cas. Il convient donc de porter une attention particulière aux périodes où chaque affluent contribue le plus aux débits observés en aval.

La *Figure 30* en page suivante montre les classes de contribution des crues des affluents aux débits enregistrés sur le Var aval.

On note que la majorité des crues enregistrées sur les affluents (environ 40 %) contribuent entre 10 et 20 % aux débits du Var.

On remarque aussi qu'une proportion importante des crues de la Tinée et de l'Estéron (respectivement 40 % et 50 % environ) contribuent au-delà des 20 % du débit enregistré sur le Var aval.

Néanmoins, rappelons que pour certaines saisons, les données du Var aval ont été en partie calculées grâce à l'addition des débits journaliers des stations de la Mescla et de l'Estéron. Ces résultats sont donc à considérer avec précaution. La classe de contribution de l'Estéron et de la Tinée sont donc peut être sur évaluées.

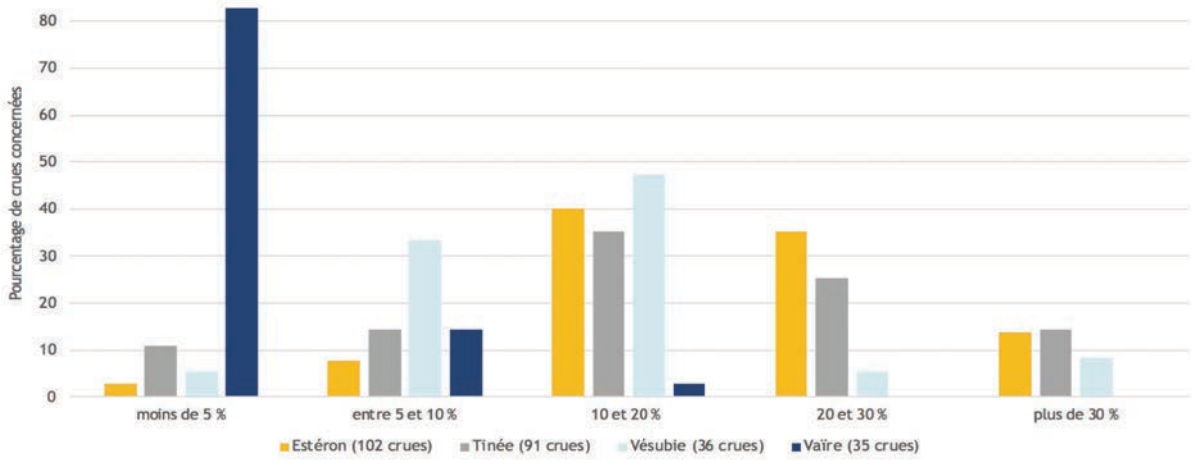


Figure 30 : Classes de contribution des affluents (en % des crues totales enregistrées sur l'affluent) aux crues du Var

Enfin, ces analyses mettent aussi en lumière la réponse très rapide du bassin du Var face à une montée de débit. En effet, les décalages de 24h ou plus entre le pic de crue sur le Var aval et le pic de débit sur les affluents sont rares sur ce bassin, comme en témoigne le **Tableau 12** ci-dessous.

Tableau 12 : Décalages dans l'observation des pic de crue entre les affluents et le Var

	Pic plus tard sur l'affluent	Aucun	24h plus tôt	48h plus tôt	72h plus tôt
Estéron (102 crues)	4 %	90 %	6 %	0	0
Tinée (91 crues)	1 %	95 %	3 %	0	1 %
Vésubie (36 crues)	0	94 %	6 %	0	0
Vaïre (35 crues)	0	92 %	3 %	0	3 %

- **Un point sur la contribution spécifique de la Vésubie**

Comme évoqué précédemment, il convient de définir le rôle de la Vésubie dans la contribution au débit du Var.

Pour rappel, face à l'absence de données sur la partie aval du Var sur la période 1989-2007, nous avons estimé les débits à l'embouchure du Var en additionnant les débits journaliers de la station de la Mescla avec ceux des deux affluents qui se jettent dans le Var en aval de cette station : l'Estéron et la Vésubie.

Cependant, comme la station de la Vésubie ne dispose que de 10 ans de données, elle n'a donc pas pu être utilisée en complément de la station de l'Estéron sur une période significative. Il convient donc de s'intéresser à la contribution spécifique de la Vésubie, pour déterminer si son éviction des analyses a ou non des conséquences importantes sur la fiabilité des données calculées pour le Var aval.

La Vésubie contribue en moyenne dans des proportions très comparables à la Tinée et à l'Estéron (*Tableau 11*), même si la moyenne est légèrement plus basse. On peut donc raisonnablement penser que le fait de ne pas l'intégrer au calcul du débit du Var aval conduit à sous-estimer le nombre de crues qui ont pu avoir lieu sur le Var entre 1989 et 2007. Il **conviendra de tenir compte de cet état de fait, et donc de considérer les résultats correspondant avec précaution**. Selon les critères comparatifs retenus par le comité d'expert pour la suite de l'étude, une analyse des dates de premières crues de la Vésubie et leur contribution moyenne au débit du Var pourrait s'avérer en ce sens intéressante.

3.4 Nombre de crues par saison sur le bassin du Var

Le nombre de crues par saison sur le fleuve Var est présenté ci-dessous (*Figure 31*). Cette première approche apporte des arguments supplémentaires en faveur d'une cohérence globale des fluctuations de débits entre l'amont et l'aval du bassin du Var, avec un nombre de crues qui reste cohérent d'une année sur l'autre entre les différentes stations du Var.

Si comme évoqué précédemment, des crues supplémentaires sont parfois observées sur les stations médianes et amont, elles sont systématiquement corrélées à des légères augmentations de débit à l'aval (insuffisantes pour être considérées comme « crue » au regard de la valeur seuil proposée de 2x le module).

Les rares évènements véritablement non répercutés sur l'aval sont symbolisés dans la *Figure 31* par un « * » surmonté du nombre d'événements non répercutés.

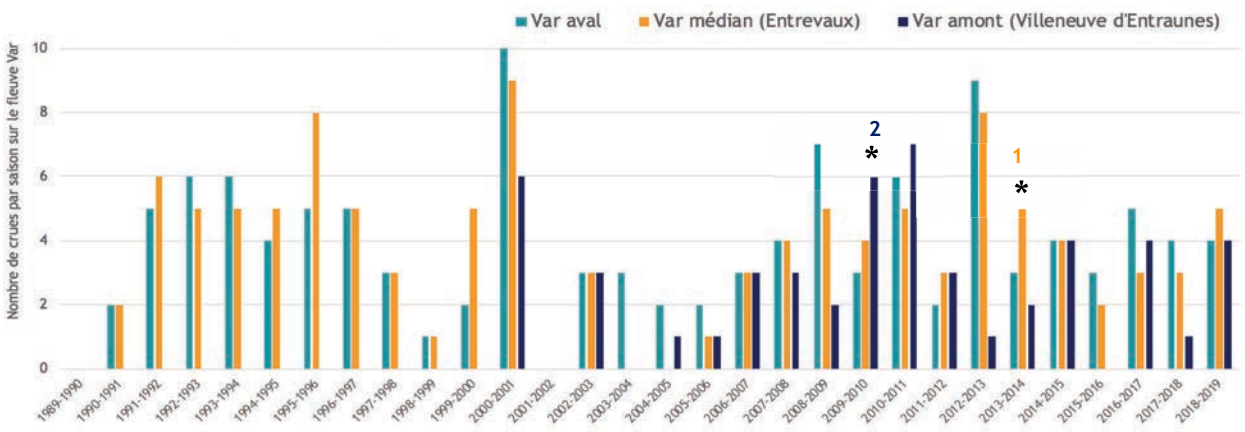


Figure 31 : Nombre de crues saisonnières observées sur les différentes stations du fleuve Var

Les résultats sont très similaires entre les différents sites avec en moyenne 4 crues par saison (*Tableau 13* ci-dessous). Il est aussi intéressant de noter qu'en moyenne, la Tinée semble produire moins de crues par saison que la Vésubie et l'Estéron, mais elles semblent par contre plus violentes (cf. *Figure 30* et *Tableau 11* : contribution de la Tinée jusqu'à 85 % du débit total du Var, 18 % de contribution en moyenne). Le nombre de crues par saison est détaillé en *Annexe 3*.

Tableau 13 : Nombre moyen de crues par saison sur le bassin versant du Var

	Var aval	Var médian	Var amont	Estéron	Vésubie	Tinée	Vaïre
Nombre de saisons exploitables	*29*	*28*	*18*	*27*	*9*	*21*	*11*
Nombre moyen de crue par saison	*4*	*4*	*3*	*4*	*4*	*2*	*2*

Le nombre de saisons où X évènements de crues sont observés est également présenté en *Figure 32*.

On remarque que la majorité des saisons sont marquées par 2 à 4 évènements hydrologiques sur le Var aval. Il n'est pas rare toutefois d'avoir 5 à 6 évènements.

On retrouve *a priori* deux typologies d'affluents. La Vaïre et la Tinée présentent moins de crues par saison que l'Estéron et la Vésubie où il n'est pas rare d'avoir plus de 3 crues par saisons.

A la vue de ces données et des résultats précédents, il semble pertinent de supposer que l'Estéron et la Vésubie soient les affluents qui expliquent le plus souvent les débits du Var aval.

Les crues de la Tinée sont plus rares mais contribuent plus fortement aux débits du Var. Ces résultats restent cependant à relativiser dans la mesure où les données de l'Estéron ont été intégrées au calcul permettant de définir les débits du Var aval entre 1989 et 2007, avec des saisons de données indisponibles concernant la Vésubie et plusieurs saisons non exploitables sur la Tinée.

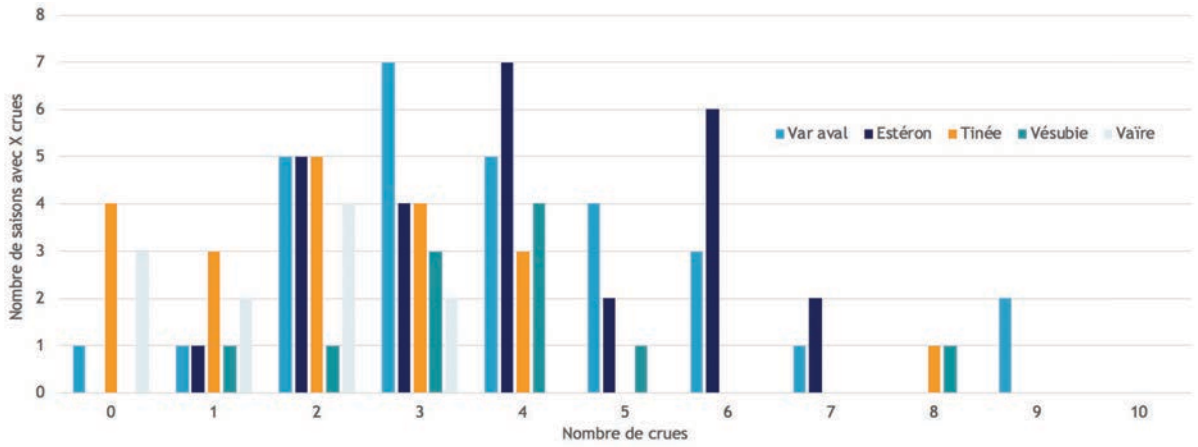


Figure 32 : Nombre de saisons de dévalaisons où X crues sont observées sur le Var aval et les affluents

3.5 Analyse des premiers épisodes de crues saisonniers du Var

Pour mémoire, il est aujourd'hui supposé que la dévalaison des anguilles est régie par l'augmentation de débit (Durif *et al.*, 2002 ; Behrmann-Godel & Eckmann, 2003) et semble également fortement corrélée à une baisse importante des températures (Haraldstad et al., 1985 ; Boubee et al., 2001).

Ces différentes caractéristiques laissent supposer que les premiers coups d'eau rencontrés à l'automne seraient particulièrement favorables à la dévalaison des anguilles argentées. En s'appuyant sur cette hypothèse, les deux premiers épisodes de crues enregistrés chaque saison sur le Var sur la période 1990-2019 ont été recherchés afin de déterminer les périodes où des épisodes de dévalaison seraient les plus susceptibles d'être observés.

La *Figure 33* montre que sur une période de 30 saisons de dévalaison, la première crue saisonnière du Var a tendance à se produire plus régulièrement au début du mois d'octobre. La seconde crue, quant à elle, a plutôt tendance à se produire entre la mi-octobre et la mi-décembre. Le mois d'octobre semble donc être une période particulièrement à enjeu sur le Var.

Cette analyse est toutefois à relativiser, dans la mesure où des premières/secondes crues exceptionnellement tardives ont été observées ponctuellement sur certaines saisons. La date maximale de première crue rencontrée est par exemple au 27 mars, ce qui veut dire que la deuxième crue est en dehors de la période théorique de dévalaison (non visualisée sur la *figure 33*).

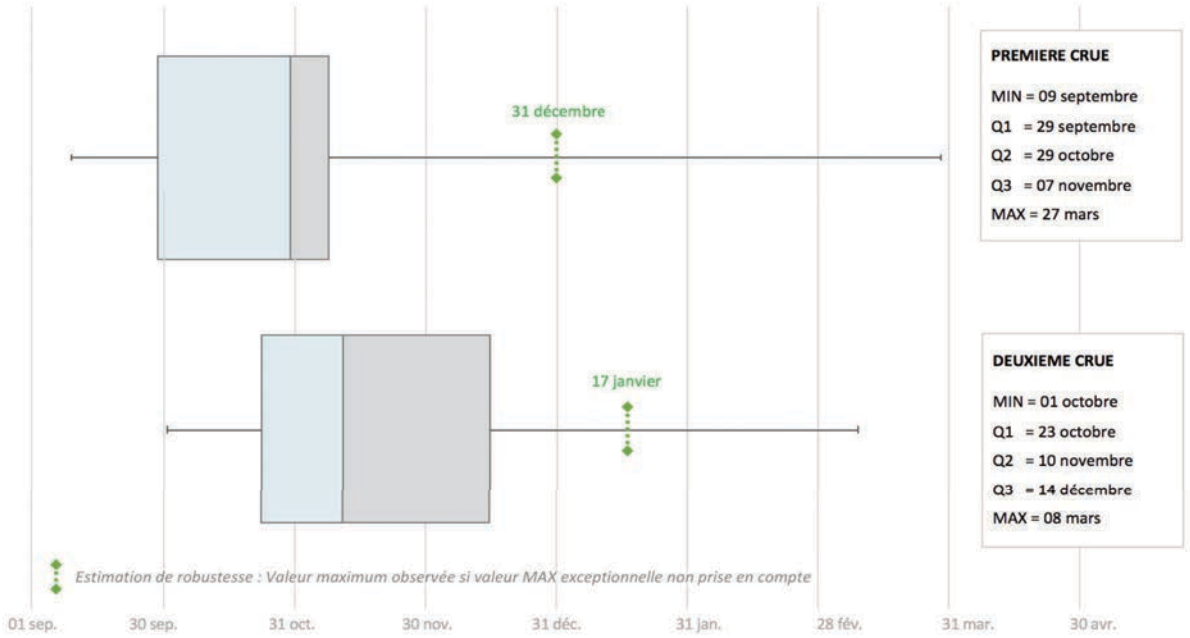


Figure 33 : Périodes récurentes de survenue des premières (en haut) et des deuxièmes (en bas) crues automnales au cours des 30 dernières saisons de dévalaison (1989-2019)

Les analyses ont également permis de faire ressortir plusieurs informations concernant les caractéristiques hydrologiques de ces deux premiers épisodes de crues saisonniers sur le Var. Un premier bilan est présenté ci-après (*Tableau 14*). Un tableau récapitulatif des caractéristiques de l'ensemble des évènements intégrés dans cette analyse est également présenté en *Annexe 4*.

Tableau 14 : Caractéristiques hydrologiques moyennes des 1^{eres} et 2^{e} crues automnales sur la période 1990-2019

	Durée moyenne de montée en charge (jours)	Étalement moyen de l'épisode de crue (jours)	Durée moyenne de décrue (jours)
Première crue du Var	2,1	2,8	2,3
Seconde crue du Var	2,6	4,6	2,7

- **Analyse de la première crue saisonnière du Var**

Tout d'abord, il apparaît que les premières crues automnales sont quasi-exclusivement des crues dont l'intensité correspond à une période de retour annuelle (une seule crue biennale en 1996). Elles présentent un pic de débit moyen journalier de 223 m^3/s.

L'absence de crues particulièrement violentes sur ces premiers épisodes de crue saisonniers (quinquennale, vicennale, etc.) montre que la dévalaison pourrait s'effectuer dans de conditions relativement bonnes sur ces premiers coups d'eau, en minimisant les dépenses énergétiques des individus tout en limitant le risque de blessures.

Ces premières crues présentent des montées en charge très rapides, avec un pic de débit atteint en moyenne au bout de 2,1 jours. Elles s'étalent ensuite en moyenne sur 2,8 jours, même si des fluctuations importantes (entre 1 et 17 jours) peuvent être observées en fonction de la contribution des différents affluents (crue de 17 jours en 2018)
Enfin, après le pic de crue, le Var met en moyenne 2,3 jours pour retrouver un débit inférieur à la valeur seuil de *2x le module*.

Comme précédemment, les résultats restent très hétérogènes en fonction des différents épisodes de crues : sur 28 événements hydrologiques, 14 présentent une baisse de débit très rapide (le débit redevient inférieur à *2x le module* en 1 jour) et 12 mettent entre 2 et 7 jours à redescendre en dessous de la valeur seuil (voir **Figure 34** ci-dessous).

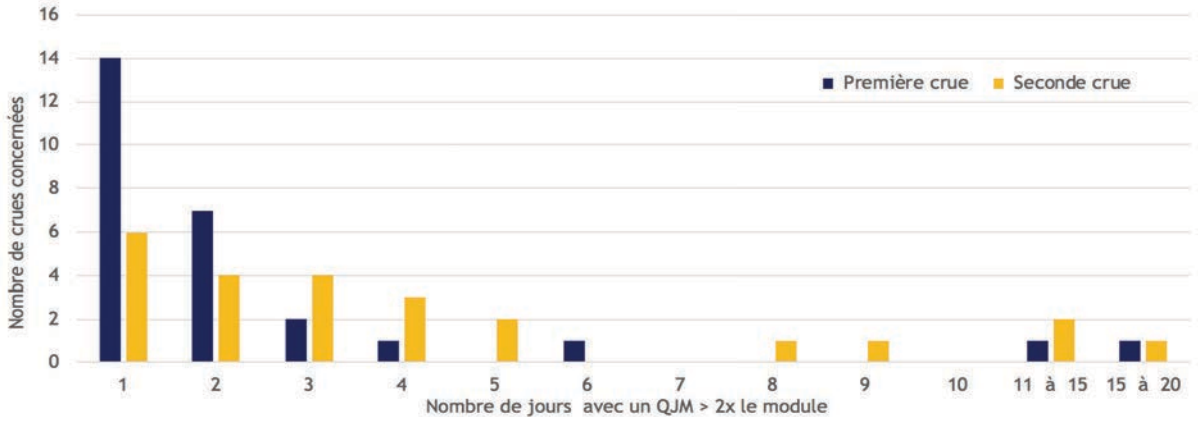


Figure 34 : Etalement des deux premiers épisodes de crues sur une période de 30 ans

Enfin, deux crues se distinguent : celle du 11 novembre 1996 et du 29 octobre 2018. Elles mettent plus de 10 jours à redescendre en dessous de la valeur seuil. Il est intéressant de noter que les intensités ces deux crues sont pourtant très différents (pics respectivement de 520 et 252 m^3/s pour les crues de 1996 et 2018).

S'il semble cohérent que la crue de 1996 (une biennale) a nécessité plus de temps pour retrouver un débit normal, la crue de 2018 est quant à elle dans la moyenne. Son caractère exceptionnel peut néanmoins être expliqué par des apports soutenus de la plupart de ses affluents pendant une longue période.

- **Analyse de la seconde crue**

Le *Tableau 14* en page précédente montre que les durées de montée en charge et de décrue sont en moyenne très proches à celles de la première crue. Néanmoins, l'étalement de ces secondes crues saisonnière est plus important (*Figure 34*).

Sur les 28 évènements concernés, on retrouve en effet, une majorité de crues annuelles (23, soit 82 %), mais aussi deux crues biennales (7 %), ainsi qu'une crue quinquennale (3 %) le 14 novembre 2002 et une crue cinquantennale le 07 janvier 1996.

Il est raisonnable de supposer que ces crues exceptionnelles ont pu nuire à la qualité de la dévalaison, et puissent occasionner des blessures voir des mortalités chez les anguilles dévalantes, mais aussi chez les individus non dévalants.

Sur ces 30 ans de données, il apparaît donc que sur le Var, les seconds épisodes de crues automnales soient plus intenses. La moyenne des pics de premières crues sont en effet moins élevés (223 m^3/s contre 321 m^3/s pour la deuxième crue)

4 Analyse hydrologique du fleuve Hérault

4.1 Contexte hydrologique et données disponibles

a) Le bassin versant et les suivis hydrométriques de l'Hérault

L'Hérault est un fleuve côtier long de 147 km, qui prend sa source à 1 435 m d'altitude sur le Mont Aigoual (Cévennes), et se jette dans la mer Méditerranée au niveau du Grau de la ville d'Agde. Son bassin versant s'étale sur une superficie de 2 582 km^2, et le module du fleuve à Agde est de 41,5 m^3/s.

Ses affluents principaux sont La Thongue, La Peyne, La Boyne, La Lergue, La Vis, le Rieutord et l'Arre. Les principales stations hydrométriques localisées sur ce bassin sont décrites dans le *Tableau 14* ci-dessous, et le contexte global est présenté dans la *Figure 29* en page suivante.

Tableau 15 : Caractéristiques des principales stations hydrologiques présentes sur le bassin de l'Hérault

	N° de station	Commune	Libellé de la station	Position sur l'axe	Module (m^3/s)	Plage de données disponibles
HERAULT	Y2102010	Laroque	*Aucun*	Amont	19,30	1969-2020
	Y2312010	Aspiran	*Aucun*	Médiane	36,80	1993-2020
	Y2372010	Agde	*Bassin Rond*	Aval	41,50	1952-2020
L'ARRE	Y2015010	Vigan	*La Terrisse*	3 km de la confluence	5,27	1953-2020
LA VIS	Y2035010	St Laurent le Minier	*Aucun*	2 km de la confluence	9,85	1961-2020
RIEUTORD	Y2105010	Sumène	*Pont-Vieux*	5 km de la confluence	/	2016-2020
LA LERGUE	Y2214010	Lodève	*Aucun*	12 km de la confluence	4,52	1959-2020
LA PEYNE	Y2344020	Roujan	*Aucun*	8 km de la confluence	/	2007-2019

L'Hérault est aussi caractérisé par un régime pluvial de type Cévenol. De fait, les variations de débits qui peuvent être observées sur l'Hérault (*Figure 30*) sont le plus souvent dues à des épisodes orageux soudains et violents, qui provoquent de fortes fluctuations du niveau d'eau sur un laps de temps très court

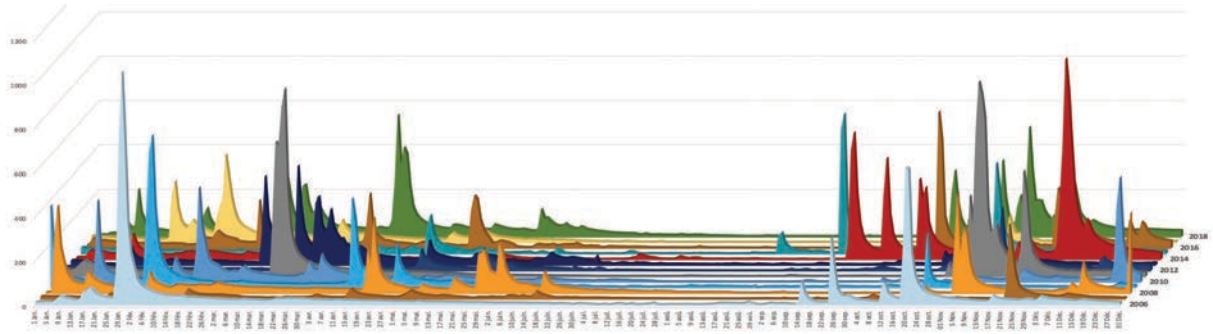


Figure 35 : Exemple d'évolution journalière du débit sur l'Hérault à la station d'Agde sur une année civile sur la période 2006-2018

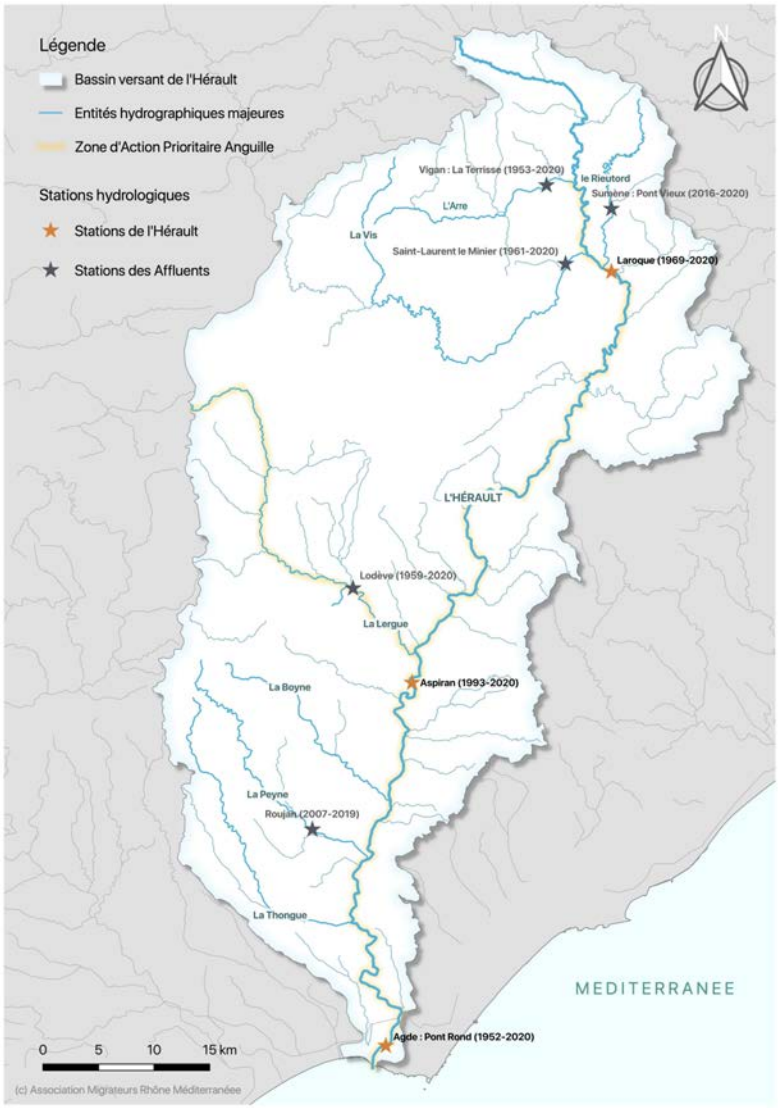


Figure 36 : Le bassin versant de l'Hérault et les principales stations hydrométriques associées

Comme dans le cas du Var, de forts enjeux hydroélectriques existent sur cet axe, avec notamment 6 microcentrales situées dans la Zone d'Action Prioritaire Anguille. Elles sont pour la plupart équipées de grilles fines pour limiter le passage des anguilles argentées dans les turbines.

b) Stations retenues sur l'Hérault

Des données hydrologiques sont disponibles sur des pas de temps suffisants pour les différents secteurs du fleuve :

Sur la partie amont du fleuve, la station située à Laroque dispose de données de débits moyens journaliers sur la période 1969-2020. Elle a donc été retenue pour les analyses.

La station située sur la partie médiane du fleuve à Aspiran dispose elle aussi de données sur une période conséquente (1993-2020), même si plusieurs années de suivi consécutives sont manquantes (2003 à 2007 incluse).

Enfin, concernant la partie aval, la station de Bassin rond à Agde dispose de données couvrant la période 1952-2020. Sur la période 1989-2019, seules deux saisons sont incomplètes. Elles seront néanmoins tout de même exploitées car le nombre de crues pour ces saisons peut être aisément déterminé via les autres stations.

Comme dans le cas du Var, les données de ces 3 stations de l'Hérault ont été collectées sur une période s'étalant de Septembre à Avril pour chaque saison de dévalaison.

Une synthèse récapitulative des saisons exploitables et de la qualité des données disponibles pour ces stations est présentée en page suivante (**Tableau 14**).

c) Stations retenues sur les affluents de l'Hérault

- **Colonisation des affluents de l'Hérault par les anguilles**

L'estimation de l'impact cumulé des ouvrages anthropiques réalisée en 2008 par MRM sur l'ensemble du linéaire de l'Hérault montre la présence d'une vingtaine d'ouvrages présentant des degrés de franchissabilité divers entre l'embouchure de l'Hérault et des affluents comme la Vis ou l'Arre. Ces deux affluents sont donc assez limités d'un point de vue accessibilité. Les suivis RCS/RSA indiquent des abondances très faibles sur ces deux cours d'eau voire absence totale.

LE PDPG de l'Hérault (FDAAPPMA 34, 2017) atteste de la présence d'anguilles sur l'axe principal jusqu'au niveau du seuil de la Meuse, situé à une soixantaine de kilomètres de l'embouchure. De fait, les affluents les plus avals comme la Thongue, la Peyne, la Boyne, la Dourbie, et surtout la Lergue (classée en ZAP sur 11 km) sont susceptibles d'être colonisés.

- **Disponibilité des données hydrométriques sur les affluents de l'Hérault**

Le bassin de l'Hérault peut être découpé en 3 principales unités hydrographiques : les sous-bassins de l'Hérault, de la Vis (affluent principal du fleuve) et de la Lergue (second affluent le plus important). On peut également distinguer la Thongue ou encore la Peyne, qui constituent les troisième et quatrièmes affluents de l'Hérault par ordre d'importance du bassin (Campton et *al.*, 2008).

De fait, même si la colonisation de la Vis est très limitée, il est indispensable de la prendre en compte si l'on souhaite réaliser une analyse robuste du fonctionnement hydrologique du bassin de l'Hérault. On peut en effet supposer de part sa localisation amont, qu'elle génère des fluctuations hydrologiques importantes sur des secteurs avec présence d'anguilles (secteur intermédiaire et aval de l'Hérault). Plusieurs stations hydrométriques de la Vis disposent de données suffisamment robustes pour être intégrées à l'analyse. La station de Saint Laurent le Minier (disponibilité des données sur 1961-2020) a été retenue.

Sur l'Arre, la station du Vigan dispose de données sur la période 1953-2020 et est toujours en fonctionnement. Les données de la période 1989-2019 sont de bonne qualité (*Tableau 16*).

La station de la Lergue à Lodève qui collecte des données depuis 1953 et possède des informations de bonne qualité sur la période 1990-2019 a également été retenue.

Enfin, la station de la Peyne, a été incluses dans les analyses. Ces données sont néanmoins moins fiables et moins étendues que celles des autres affluents, mais elles permettront d'avoir un ordre d'idée de sa contribution sur une période de 10 ans. Les résultats devront néanmoins être considérés avec précaution.

Une synthèse de la disponibilité et de la qualité des données sur ces différentes stations est proposée si dessous dans le *Tableau 16* :

Tableau 16 : Qualité et validité des données hydrométriques diponibles sur le bassin versant de l'Hérault

	Années 90											Années 2000										Années 2010								
Saison de dévalaison	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
Hérault aval (Agde)																														
Hérault médian (Aspiran)																														
Hérault amont (Laroque)																		X												
La Peyne (Roujan)																										X				
La Lergue (Lodève)	X			X	X																									
La Vis (St Laurent)																		X												
L'Arre (Vigan)	X																													

BLEU : Saisons validées (Source : *Banque Hydro*) VERT : Saisons validées douteuses JAUNE : Saisons incomplètes : non exploitable si (X)

ORANGE : Données complètes mais provisoires GRIS : Saisons manquantes.

Les valeurs seuils de crues qui seront utilisées par la suite sont présentées dans le **Tableau 17** ci-dessous. La valeur de module de la Peyne à la station de Roujan n'est pas disponible sur Banque Hydro. Elle a donc été déterminée en calculant la moyenne des débits journaliers enregistrés sur la période 2007-2019.

Tableau 17 : Valeurs seuils utilisées pour définir les crues sur le Var et ses affluents (Source : banqueHydro)

	Hérault AVAL	Hérault MEDIAN	Hérault AMONT	PEYNE	LERGUE	VIS	ARRE
Module *(m^3/s)*	41,5	36,8	19,3	0,05	4,52	9,85	5,27
Crue annuelle *(2 x module)*	**83**	**73,6**	**38,6**	**0,1**	**9,0**	**19,7**	**10,5**
Crue Biennale	630	620	320	Non renseigné	69	210	92
Crue Quinquennale	940	890	540	Non renseigné	110	310	140

4.2 Analyse de la cohérence amont-aval des débits

L'analyse hydrologique montre qu'entre les saisons 1989-1990 et 2018-2019, 141 crues ont été enregistrées sur la station aval de l'Hérault à Agde, si l'on se base sur une valeur seuil de 83 m^3/s pour considérer un événement hydrologique comme une crue sur cette station.

Sur cette période, 76 % (107) se retrouvent sur la partie médiane. Les 24 % restants (34 crues) sont des données manquantes. On peut donc considérer que sur cette période de 30 ans, la station aval est représentative des fluctuations observées sur la partie médiane.

97 % des crues enregistrées à l'aval le sont aussi sur la partie amont (137 crues). Seules deux crues de l'aval n'engendrent aucune hausse de débit à l'amont (25 mars 1991 et 15 février 1994). On peut donc considérer que la station aval est représentative des fluctuations observées sur la partie amont de l'Hérault.

Une synthèse des différentes informations présentées ci-dessus est proposée dans le **Tableau 18** en page suivante.

Précisons enfin que comme dans le cas du Var, on peut aussi observer une quinzaine crues qui ont lieu uniquement sur les parties amont et/ou médianes du fleuve sur cette période. Toutefois, ces crues médianes/amont engendrent systématiquement des augmentations de débit à l'aval qui restent néanmoins inférieures au seuil de crue définie via la valeur de *2x le module*. Elles n'ont pas été prises en compte dans le reste de l'analyse.

Tableau 18 : Répercussion des crues observées à l'aval sur les stations amont et médianes de l'Hérault

	Cohérence des données entre les débits médians et aval		Cohérence des données entre les débits amont et aval	
Période de données exploitables	(1989-1990) → (2018-2019)		(1989-1990) → (2018-2019)	
Total de crues enregistrées à l'aval	141	(100 %)	141	(100 %)
Nombre de crues répercutées sur la station médiane / amont	107	**(76 %)**	137	**(97 %)**
Crue non répercutées sur la partie médiane / amont	0	0	2	(1,5 %)
Données indisponibles	34	(24 %)	2	(1,5 %)

4.3 Contribution des affluents aux crues

Les résultats de l'analyse de la contribution des différentes affluents (et sous-affluents) de l'Hérault sont présentés dans le *Tableau 19* ci-dessous.

Tableau 19 : Contribution des différents affluents au débit enregistré sur la partie aval de l'Hérault

	PEYNE	LERGUE	VIS	ARRE
Période considérée	*2007-2019*	*1990-2019*	*1990-2019*	*1990-2019*
Nombre de crues pris en compte	*52*	129	130	129
Contribution minimale (%)	0	0,47	3,26	0
Contribution moyenne (%)	**0,11**	**11,3**	**36,07**	**13,79**
Contribution maximale (%)	0,87	39,48	111	34,9

La présentation des valeurs minimums et maximum montre que comme pour le Var, la contribution des différents affluents étudiés est très hétérogène suivant les cas. Néanmoins dans le cas des affluents de l'Hérault, on constate des différences de contribution très marquées comme le montre la *Figure 37* ci-dessous.

La Vis apparaît clairement comme l'affluent majoritaire de l'Hérault sur la période considérée (60 % de ses crues contribuent à plus de 30 %). On note que sa contribution maximum est au-delà de 100 %, ce qui correspond très certainement à un problème de mesure de la station de l'Hérault à Agde. La hausse se retrouve en effet sur l'Hérault médian. On peut penser que la crue a généré une inondation sur la basse vallée engendrant un dysfonctionnement de la station aval. Les autres valeurs de contribution maximales sont fréquemment supérieures à 60 %, ce qui montre l'intensité des crues de la Vis et leur répercussion sur l'Hérault aval.

Environ 50 % des crues de la Lergue contribuent entre 10 et 20 % au débit de l'Hérault et sa contribution maximale est d'environ 38 %. Les crues de la Lergue seraient donc susceptibles d'engendrer de la dévalaison. En considérant l'ensemble des données hydrométriques disponibles, il semble donc que le sous-bassin de la Lergue soit visiblement un secteur primordial pour la dévalaison sur le bassin de l'Hérault.

L'Arre dispose d'une contribution non négligeable avec une contribution moyenne supérieure à 10 % et un maximum de 34 %. Les crues de l'Arre contribuent rarement au delà de 20 % au débit de l'Hérault.

La contribution de la Peyne apparaît négligeable au vu des données étudiées (100 % des crues observées contribuent à moins de 1 %). Néanmoins, les données de débits moyens journaliers disponibles pour cet affluent ne sont pas validées et doivent donc être considérées avec précaution.

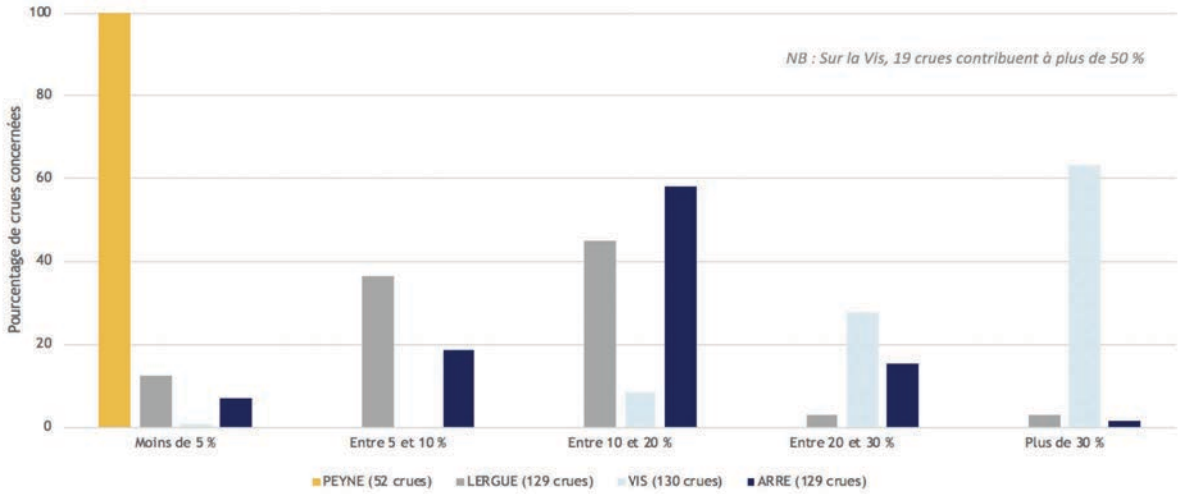


Figure 37 : Classes de contributions des affluents aux crues de l'Hérault

De plus, les analyses montrent aussi une réponse rapide du bassin de l'Hérault, malgré un décalage très récurrent de 24-48h entre le pic de débit sur l'affluent et celui du fleuve lui-même (voir **Tableau 20** ci-dessous).

Tableau 20 : Décalages dans l'observation des pics de crue entre les affluents et l'Hérault

	Pic plus tard sur l'affluent	Aucun	24h plus tôt que sur l'Hérault	48h plus tôt	72h plus tôt
Peyne (52 crues)	/	51,9 %	38,5 %	3,8 %	5,8 %
Lergue (129crues)	/	40,3 %	55,8 %	3,1 %	0,8 %
Vis (130 crues)	/	32,3 %	61,5 %	5,4 %	0,8 %
Arre (129 crues)	/	26,3 %	69,8 %	3,9 %	0 %

4.4 Nombre de crues par saison

Le nombre de crues par saison de dévalaison sur l'Hérault est présenté ci-dessous (*Figure 38*). Comme dans le cas du Var, cette première approche apporte des arguments supplémentaires en faveur d'une cohérence globale des fluctuations de débits entre l'amont et l'aval du bassin de l'Hérault, avec un nombre de crues qui reste cohérent d'une année sur l'autre entre les différentes stations. Le détail du nombre de crues par saison pour l'ensemble des stations (affluents compris) est présenté en *Annexe 5*.

Les crues supplémentaires parfois observées sur les stations médianes et amont sont systématiquement corrélées à des augmentations de débit à l'aval (même si le débit aval n'augmente pas suffisamment pour produire une « crue » au regard de la valeur seuil proposée de *2x le module*).

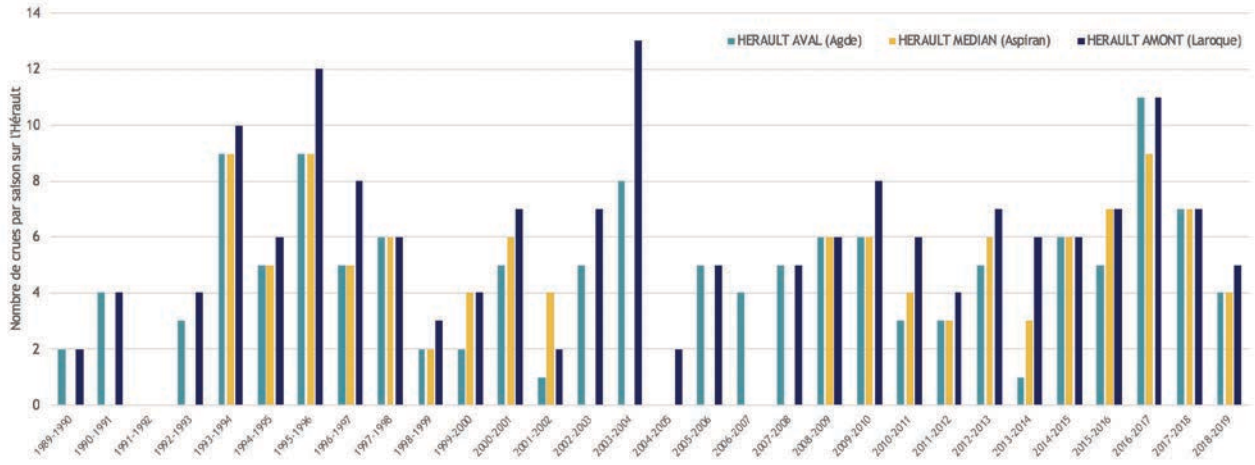


Figure 38 : Nombre de crues saisonnières observées sur les différents stations de l'Hérault entre 1989 et 2019

On observe également que pour les stations disposant du plus grand nombre de données, les résultats sont très similaires entre les différents sites, avec en moyenne 5 à 6 crues par saison (*Tableau 21* ci-dessous). Le nombre de crues par saisons reste également cohérent entre le fleuve et ses affluents.

Tableau 21 : Nombre moyen de crues par saison sur le bassin versant du Var

	Hérault aval	Hérault médian	Hérault amont	La Peyne	La Lergue	La Vis	L'Arre
Nombre de saisons exploitables	*30*	*20*	*18*	*11*	*28*	*29*	*29*
Nombre moyen de crues par saison	***5***	***6***	***6***	***3***	***5***	***6***	***5***

Comme pour le Var, le nombre de saisons où X évènements de crues sont observés est présenté par la suite en *Figure 39*.

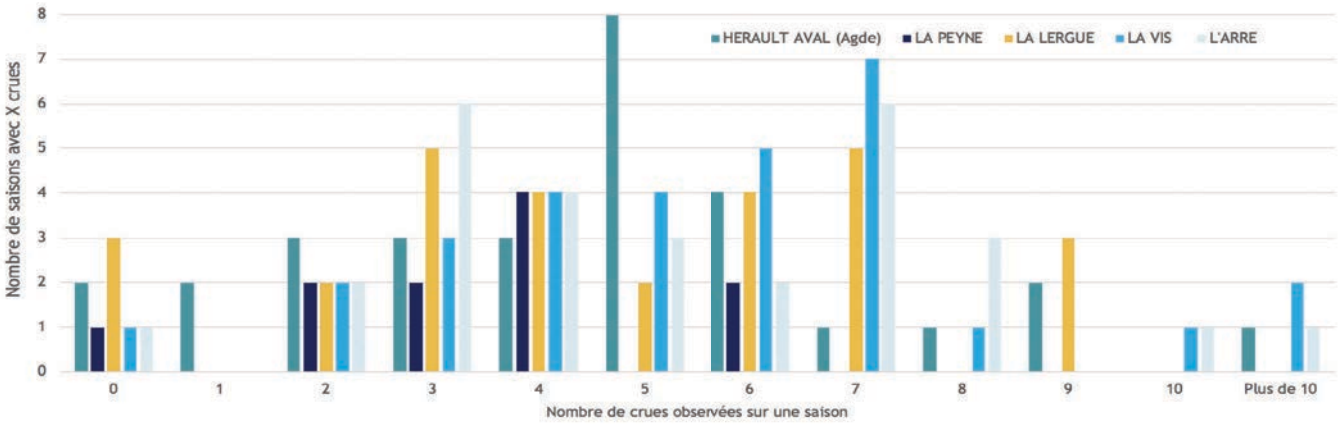


Figure 39 : Nombre de saisons de dévalaisons où X crues sont observées à l'aval de l'Hérault et sur les affluents

Cette analyse apporte plusieurs informations. D'une part, elle confirme le rôle important de la Vis d'un point de vue hydrologique, où il n'est pas rare d'observer entre 5 et 7 crues sur une saison de dévalaison. Le constat est similaire pour l'Arre.

Même si ces deux affluents localisés sur les secteurs amont de la ZAP anguille de l'Hérault sont peu colonisés, leur rôle majeur sur les fluctuations hydrologiques de l'Hérault sont susceptibles de régir des mouvements migratoires.

La Lergue semble également jouer un rôle majeur pour la dévalaison. En effet, la Lergue contribue assez fortement aux débits de l'Hérault, avec des crues nombreuses et un pourcentage de contribution moyen non négligeable sur 30 ans.

Enfin les données de la Peyne ne semblent pas suffisamment robustes à l'heure actuelel pour que sa participation au phénomène de dévalaison puisse être étudiée plus en détail. Avec plusieurs crues par an en moyenne, il est cependant raisonnable de supposer que les crues de la Peyne soient susceptibles d'engendrer de la dévalaison.

Toutefois, les faibles fluctuations de débits observées laissent penser que la dévalaison est plus étalée dans le temps sur une saison que sur un affluent comme la Lergue. En effet, plusieurs études tendent à montrer que l'activité migratoire serait plus fractionnée dans le temps lorsque le débit du cours d'eau est faible ou modéré (Boubee et al., 2001 ; Durif et al., 2002 ; Gosset et al., 2005 ; Travade et al., 2010).

4.5 Premiers épisodes de crues automnales

Comme pour le Var, les dates récurrentes des premiers et des seconds épisodes saisonniers de crues ont été identifiées (*Figure 40* en page suivante). La cohérence amont-aval ayant été établie, les résultats présentés par la suite sont issus des données de la station la plus aval de l'Hérault, située à Agde.

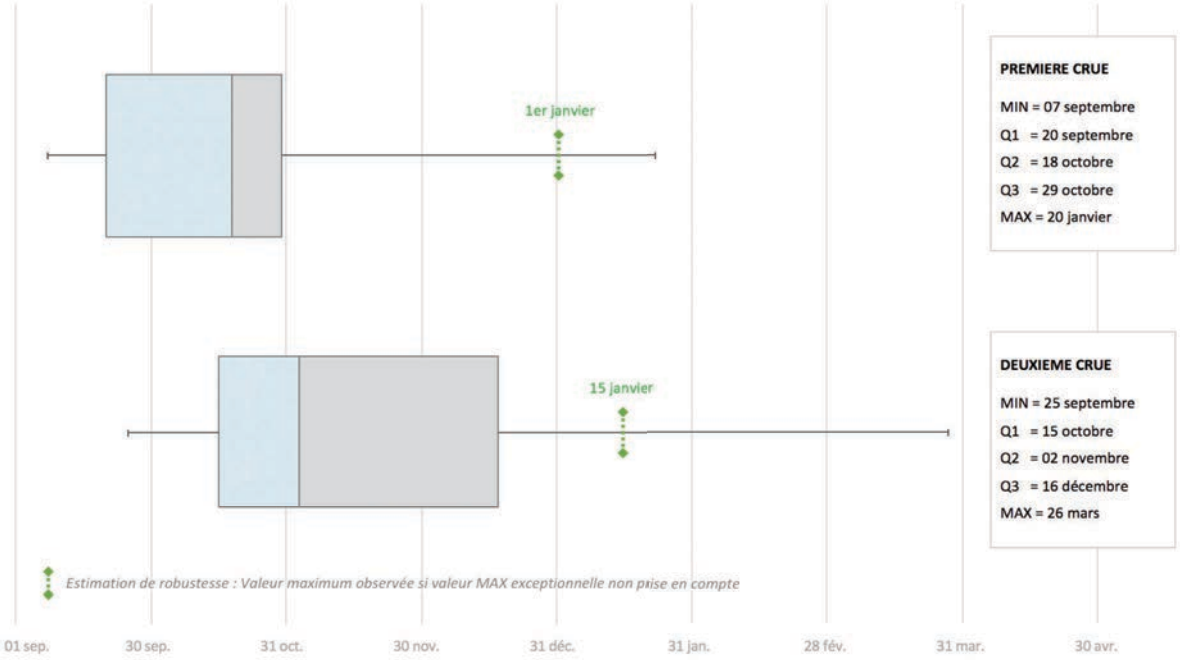


Figure 40 : Dates des premières et des deuxièmes crues automnales sur l'Hérault au cours des 30 dernières saisons de dévalaison (1989-2019)

Au cours des 30 dernières saisons de dévalaison, on observe ainsi que la première crue automnale de l'Hérault a eu tendance à se produire plus souvent entre fin septembre et fin octobre. La seconde crue a quant à elle eu tendance à survenir de façon plus aléatoire, sur un pas de temps plus étendu : entre la mi-octobre et la mi-décembre, avec une valeur médiane située autour de début novembre. Un tableau récapitulatif des différentes évènements pris en compte dans cette analyse est disponible en **Annexe 6.**

Octobre et novembre constituent donc une période clé pour la dévalaison des anguilles sur l'Hérault. On constate en particulier que le premier événement hydrologique survient fréquemment durant la première quinzaine d'octobre. Les premiers coups d'eau les plus tardifs ont été observés au mois de janvier.

Les analyses ont également permis de faire ressortir plusieurs informations concernant les caractéristiques hydrologiques de ces deux premiers épisodes de crues saisonniers de l'Hérault. Un premier bilan est présenté ci-après (**Tableau 22**) :

Tableau 22 : Caractéristiques hydrologiques moyennes des 1eres et 2e crues automnales sur la station aval de l'Hérault (Agde), sur la période 1989-2019

	Durée moyenne de montée en charge (jours)	Étalement moyen de l'épisode de crue (jours)	Durée moyenne de décrue (jours)
Première crue de l'Hérault	2,3	3	2,1
Seconde crue de l'Hérault	2,5	4,5	2,7

- **Analyse de la première crue saisonnière de l'Hérault**

Les premières crues automnales sont quasi-exclusivement des crues annuelles (deux crues biennales en 1997 et 2015). La moyenne des débits journaliers maximums durant ces premières crues est de 284 m^3/s.

Ces premières crues présentent des montées en charge très rapide, avec un pic de débit atteint en moyenne au bout de 2,3 jours. Elles s'étalent ensuite en moyenne sur 3 jours. Il est intéressant de noter que dans plus de 30 % des cas, ces premières crues redescendent en dessous de la valeur seuil de 2x le module en moins d'une journée. Après le pic de crue, le fleuve met en moyenne 2,1 jours pour retrouver un débit inférieur à la valeur seuil de 2x le module.

Les résultats restent cependant assez hétérogènes en fonction des différents épisodes de crues (voir *Figure 41* ci-dessous).

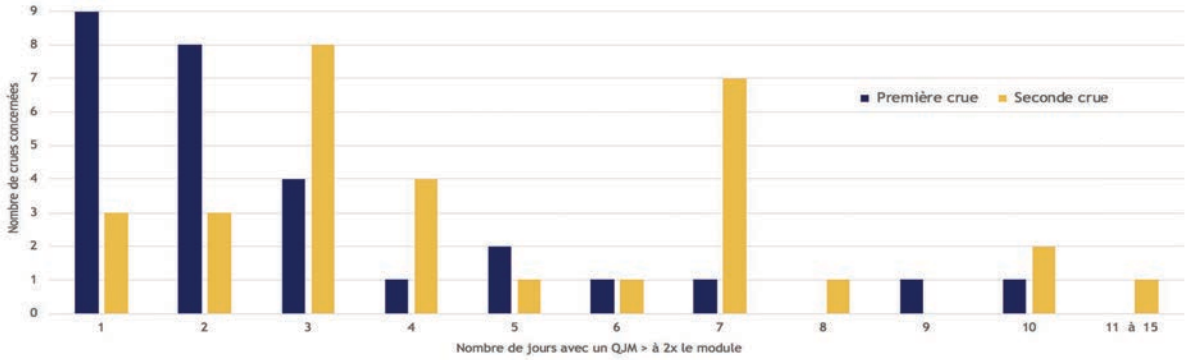


Figure 41 : Etalement en jours des deux premiers épisodes de crues sur la station aval de l'Hérault (Agde) sur une période de 30 saisons de dévalaison

Sur 28 de ces évènements hydrologiques, 9 crues présentent une baisse de débit très rapide (il redevient inférieur à 2*x* le module en 1 jour) et 17 mettent entre 2 et 7 jours à redescendre en dessous de la valeur seuil. Enfin, deux crues se distinguent : celle du 22 septembre 1992 et du 18 octobre 1999. Elles mettent entre 9 et 10 jours à redescendre en dessous de la valeur seuil de débit.

- **Analyse de la seconde crue saisonnière de l'Hérault**

Le **Tableau 22** en page précédente montre que les durées de montée en charge et de décrue sont en moyenne très proches à celles de la première crue. Néanmoins, et comme pour le Var, l'étalement des secondes crues saisonnières est plus important (*Figure 41*). Sur les 28 évènements concernés, on retrouve 26 crues annuelles et 2 biennales. Si les proportions sont identiques à celles observées avec les premières crues, on constate néanmoins que la moyenne des débits journaliers maximums enregistrés durant ces deuxièmes crues est plus élevée que celle des premières crues (386 m^3/s contre 284 m^3/s). Les seconds épisodes de crues sont donc globalement plus intenses sans pour autant atteindre des valeurs exceptionnelles.

5 Synthèse comparative du Var et de l'Hérault

5.1 Comparaison du fonctionnement hydrologique des deux côtiers sur la base des critères proposés

a) Caractéristiques des deux bassins et cohérence des écoulements

Comme évoqué en Introduction, le choix du binôme Var-Hérault pour cette première analyse comparative du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure a été motivé par deux aspects.

D'une part, les deux bassins versants possèdent des surfaces comparables (2 820 km^2 pour le Var, et 2 582 km^2 pour l'Hérault), mais aussi des modules relativement proches sur leur tronçon aval (49,3 m^3/s à Nice pour le Var, et 41,5 m^3/s à Agde pour l'Hérault).

D'autre part, une vaste quantité de données est disponible pour ces deux fleuves ainsi que pour plusieurs de leurs affluents (voire sous-affluents), sur une période suffisamment longue pour assurer une certaine robustesse aux analyses.

Pour mémoire, rappelons que quatre critères de caractérisation distincts ont pu être étudiés pour chacun des deux fleuves dans le cadre de cette première approche : la cohérence globale des écoulements entre l'amont et l'aval du bassin versant, la contribution des affluents, le nombre global de crues par saison et les caractéristiques des deux premières crues saisonnières.

La comparaison de la cohérence amont-aval pour les deux fleuves côtiers permet de déterminer si lors d'un épisode de crue, les fluctuations de débits vont se répercuter de façon identique sur les deux bassins versants.

Les deux bassins réagissent de façon assez comparable sur ce point, avec des montées en charge qui ont en général lieu sur l'ensemble du bassin.

Le déclenchement de crues sur la partie amont et/ou médiane provoque une crue à l'aval dans la très grande majorité des cas. On constate également que ponctuellement (une dizaine de cas en 30 ans sur le Var et une vingtaine sur l'Hérault), les augmentations de débits qui surviennent à l'aval sont insuffisantes pour être caractérisées de crue au regard des valeurs seuils choisies.

Sur les deux bassins, les évènements engendrant des crues uniquement sur une portion du linéaire sans augmentation de débit notable sur le reste du bassin sont quasi-inexistants.

Les deux bassins semblent donc réagir de manière assez comparable lorsqu'une crue survient sur une partie de l'axe principal.

b) Rôle et contribution des affluents

- **Comparaison sur le plan hydrologique**

Les premières analyses tendent à montrer que la contribution des affluents est plus homogène sur le Var que sur l'Hérault.

En effet, sur l'Hérault on observe la nette dominance de la Vis, qui apparaît comme le tributaire majeur (6 crues saisonnières en moyenne et 30% de contribution aux crues du fleuve en moyenne). L'Arre contribue également de manière importante au débit du fleuve. Dans le cas de l'Hérault, ce sont plutôt les affluents les plus à l'amont qui semblent le plus contribuer.

La situation semble différente sur le Var, puisque les contributions des affluents est beaucoup plus équilibrée avec deux types de cours d'eau : les affluents contribuant fréquemment aux crues du Var aval (Estéron, Vésubie) et des affluents contribuant moin souvent mais à des intensités plus importantes (Tinée).

Cette observation doit néanmoins être relativisée dans le cas du Var, car certains affluents amont importants n'ont pas pu être étudiés faute de données. Or l'analyse réalisée sur la Vaïre (sous affluent du Var) montre que dans certains cas, le débit du Coulomp peut potentiellement être important.

La configuration spatiale des bassins du Var et de l'Hérault étant différente, on observe également une autre différence hydrologique intéressante dans le comportement des affluents.

Sur le Var, les analyses ont montré que le pic de débit est observé quasi systématiquement le même jour sur l'ensemble des stations hydrométriques.
Sur l'Hérault en revanche, on observe régulièrement un décalage de 24h à 72h entre le pic de débit enregistré à l'aval et celui enregistré sur les affluents. On constate que plus l'affluent est situé à l'amont, plus la proportion de crues avec décalage est importante. Ce décalage est néanmoins observé pour environ 50 % des crues qui surviennent sur les affluents les plus aval (Lergue et Peyne).

- **Potentiel d'accueil pour l'anguille**

Les analyses précédentes ont permis de déterminer quels sont les affluents apportant la plus forte contribution hydrologique au débit des fleuves étudiés. Il convient dès lors de s'intéresser à la contribution biologique de ces différents affluents.

Dans le cas du Var, les trois principaux affluents (Estéron, Vésubie, Tinée) montrent une contribution importante au débit du fleuve, et sont tous significativement colonisés par les anguilles.

Dans le cas de l'Hérault, les affluents qui apportent la plus forte contribution sont, les moins accessibles car situés très à l'amont sur le bassin (Vis et Arre). Leur localisation et leur contribution leur confère potentiellement un rôle majeur dans le déclenchement de comportements de dévalaison de l'ensemble des anguilles présentes sur l'Hérault.

c) Nombre de crues par saison sur le fleuve et les affluents

Entre 1989 et 2019 et sur la période Septembre-Avril, 112 crues ont été enregistrées sur le Var si l'on considère une valeur seuil de 92,3 m^3/s pour définir une crue. Sur l'Hérault, 141 crues ont été enregistrées sur la même période, en prenant une valeur seuil de 83 m^3/s.

Cette différence ne s'explique pas par la différence de valeurs seuils car le nombre d'événements recensés sur 30 saisons ne varie quasiment pas sur le Var en prenant la même valeur seuil que l'Hérault.

Pour une saison de dévalaison données, l'Hérault produit donc en moyenne plus de crues que le Var (5 à 6 contre 3 à 4 pour le Var), même si les résultats sont très fluctuants d'une année sur l'autre, et ce sur les deux bassins. La *Figure 42* ci-dessous permet d'illustrer ce propos. Les astérisques symbolisent le fleuve ayant enregistré le plus de crue sur la saison.

D'autre part, les crues sont plus intenses sur l'Hérault avec un débit journalier maximum de 353 m^3/s en moyenne contre 251 m^3/s sur le Var.

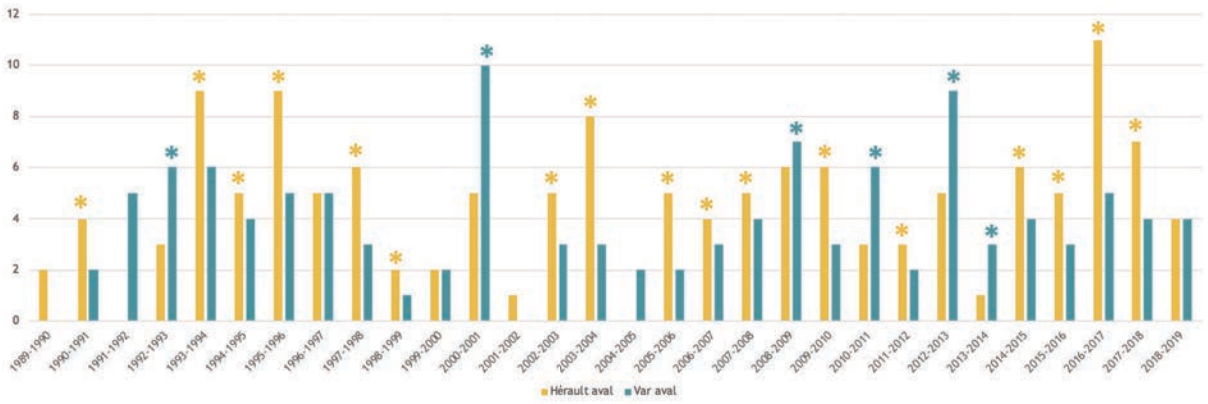


Figure 42 : Nombre de crues pour chaque saison de dévalaison à l'aval du Var et de l'Hérault

d) Analyse comparative des premiers épisodes crue saisonniers

Afin de faciliter les comparaisons des périodes d'apparition des premières crues saisonnières sur les deux côtiers, une synthèse est proposée ci-dessous en *Figure 43*.

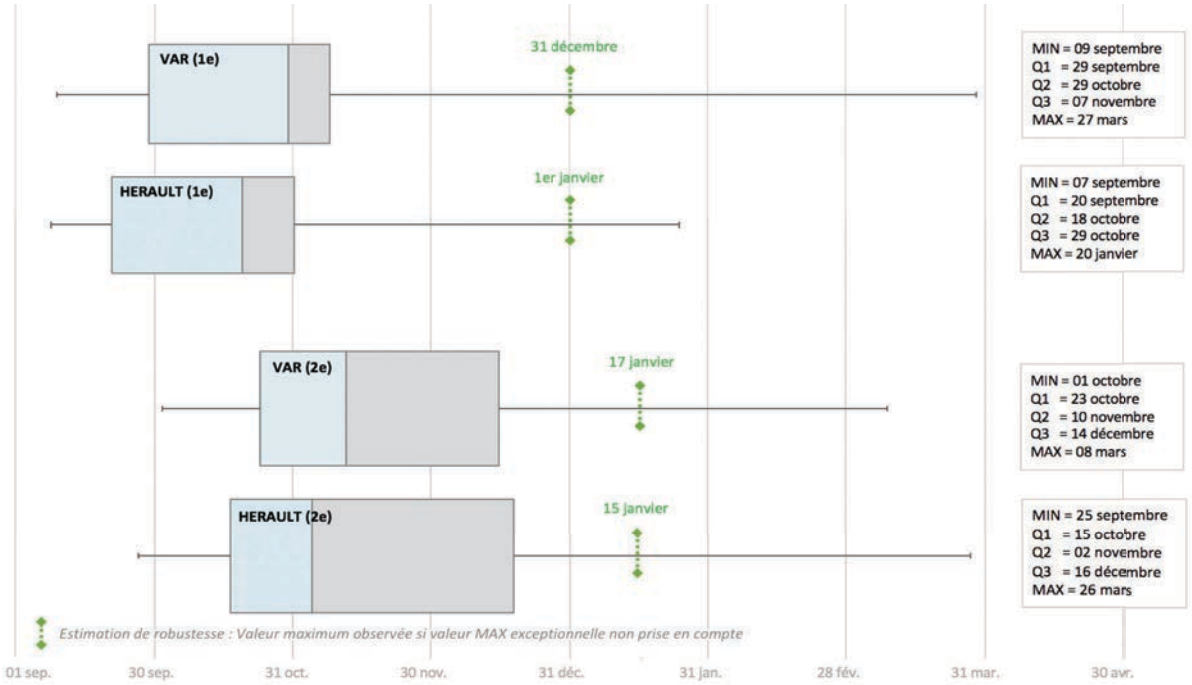


Figure 43 : Périodes d'observations récurrentes des 1e et 2e crues saisonnières sur les stations aval du Var et de l'Hérault au cours des 30 dernières saisons de dévalaisons

Un premier coup d'œil permet d'observer que les périodes récurrentes d'observations des deux premières crues automnales sont très similaires sur les deux bassins versants.

Les première et deuxième crues saisonnières ont tendance à se produire légèrement plus tôt sur l'Hérault que sur le Var. La période sur laquelle la deuxième crue est susceptible de se produire est plus étalée sur l'Hérault mais reste très similaire au Var.

Un autre point attire l'attention : l'estimation de la robustesse montre qu'une fois les valeurs les plus exceptionnelles supprimées, les dates maximales d'observations des premières et secondes crues se superposent presque parfaitement pour les deux bassins. Les similitudes entre les premières crues des deux bassins ne s'arrêtent pas là. En effet, il apparaît que leurs caractéristiques hydrologiques moyennes sont très similaires, comme l'illustre la *Figure 44* ci-dessous. Les montées en charge, l'étalement moyen et les durées de décrue sont du même ordre de grandeur.

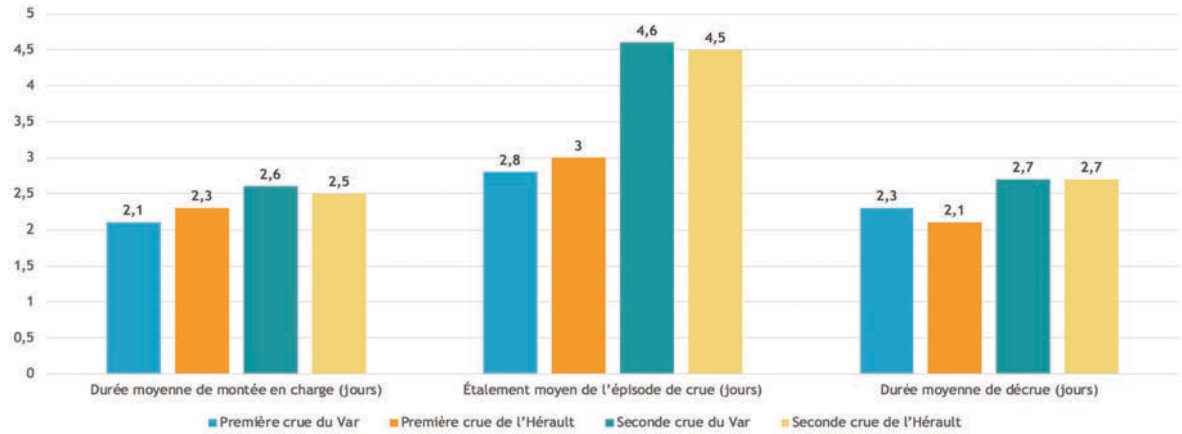


Figure 44 : Compraraison des caractéristiques hydrologiques moyennes des deux premières crues automnales des stations aval du Var et de l'Hérault sur une période de 30 saisons de dévalaison.

Le tableau 23 montre aussi que la deuxième crue est en moyenne plus intense que la première pour les deux côtiers.

On peut noter que la valeur moyenne des débits maximums enregistrées sur ces premiers et seconds événements hydrologiques est plus élevée sur l'Hérault que sur le Var, comme en témoigne le **Tableau 23** ci-dessous. Il existe toutefois de fortes variations interannuelles dont quelques évènements exceptionnels sur l'Hérault (plusieurs crues biennales supérieures à 600 m^3/s).

Globalement les premières crues automnales des deux bassins sont assez similaires en termes de période d'apparition et de réponse du bassin

Tableau 23 : Moyenne des débits maximums journaliers enregistrés sur les premières et secondes crues des deux fleuves

	Var aval	Hérault aval
Valeur moyenne du débit maximum enregistré sur la première crue (m^3/s)	223	284
Valeur moyenne du débit maximum enregistré sur la seconde crue (m^3/s)	323	391

5.2 Perspectives

a) Retour sur les limites de la méthode proposée

La représentativité de l'étude du comportement hydrologique des fleuves côtiers proposée dans ce rapport a été fortement conditionnée par la disponibilité et la qualité des données d'une part, mais aussi par le choix des critères de caractérisation proposés.

Concernant la qualité des données, les lacunes constatées concernant la disponibilité des données sur la partie aval du Var nous ont contraint à regrouper les données issues de différentes stations hydrologiques, ainsi qu'à cumuler les débits journaliers du Var à la station de la Mescla avec ceux de l'Estéron, pour obtenir des débits journaliers aussi proche que possible de la réalité.

Néanmoins, l'absence de données sur la Vésubie rend cette méthode incomplète, et les données utilisées pour définir le débit du Var entre 1989 et 2006 comportent donc une marge d'erreur potentiellement non négligeable, comme l'a montré l'analyse spécifique de la contribution de la Vésubie durant les périodes de crue.

Globalement, la qualité des données utilisées sur le bassin du Var reste donc assez discutable (sauf pour l'Estéron) et constitue l'une des limites de cette étude. Les données disponibles sur l'Hérault sont quant à elles beaucoup plus fiables. La plupart ont été validées, et elles n'ont pas nécessité de cumul de stations comme dans le cas du Var. On peut considérer les résultats obtenus sur l'Hérault comme plus robustes que ceux du Var.

Le choix de la valeur seuil de crue annuelle correspond au double du module de la station étudiée et peut être discuté. Il est en effet possible que des méthodes de calculs plus pertinente existent pour définir ce seuil. Ce point devra vraisemblablement faire l'objet d'ajustements et d'une validation de la part de plusieurs spécialistes en hydrologie. Un collège d'experts sera prochainement réuni pour ajuster, compléter et valider la méthode de caractérisation proposée dans ce rapport.

Enfin, la principale autre limite de ce premier bilan concerne le nombre de critères de caractérisation/comparaison pris en compte lors de l'analyse. En effet, si les 4 critères étudiés à l'heure actuelle semblent montrer plusieurs similitudes de fonctionnement entre le Var et l'Hérault, il faut supposer que d'autres critères *non étudiés* viendront peut-être à l'avenir montrer des différences de fonctionnement majeurs entre les deux côtiers.

b) Les futurs critères de caractérisation à envisager

Deux critères de caractérisation hydrologique supplémentaires sont actuellement à l'étude et n'ont pas été détaillés dans ce rapport.

- **Les débits classés**

Si plusieurs études montrent que la dévalaison semble s'opérer lors des premières crues automnales, une autre étude réalisée sur le Gave de Pau a produit un modèle montrant que la dévalaison d'une saison était répartie sur des gammes de débits précises (20 % de dévalaison à Q75, 20 % à Q90, 20 % à Q97.5, 20 % à Q99).

Leur analyse peut apporter des informations sur les périodes où sont susceptibles de se produire des dévalaisons saisonnières. Cette information devra donc être affinée.

- **La mise évidence de typologies d'années (sèches, humides, etc.)**

Il est intéressant de distinguer les années sèches des années humides afin de vérifier si les caractéristiques des événements hydrologiques remarquables (en lien avec les comportements potentiels de dévalaison) changent fondamentalement ou non.

La méthode de définition d'année sèche ou humide doit encore être affinée sur la base notamment de celle utilisée par l'OFB sur l'Aude (ration du quartile 75 et du module).

- **L'influence des affluents sur la thermie des fleuves**

Comme évoqué précédemment, il semble que la baisse soudaine de température soit fortement corrélée au phénomène de dévalaison. Il pourra donc être intéressant de chercher à mettre en évidence le rôle des affluents les plus froids dans la baisse de la température automnale du fleuve côtiers étudié.

c) Une méthode globale et des critères à faire valider

La démarche d'analyses et les critères comparatifs proposés dans ce rapport seront soumis pour avis à un collège d'expert en hydrologie et en biologie comportementale afin de figer une méthode la plus représentative possible.

Cette méthode sera alors transposée aux autres côtiers de grande envergure pour aboutir in fine à une grille comparative de ces milieux.

Les membres pressentis sont le pôle écohydraulique de l'OFB, des experts en hydrologie de la DREAL et de l'INRAE, d'EDF, mais aussi des experts indépendants.

Conclusion

Les investigations réalisées cette année sur le Var et l'Hérault constituent la première étape de la démarche portée par MRM visant à mieux comprendre le fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre du renforcement des connaissances sur le comportement de dévalaison de l'Anguille européenne sur les côtiers méditerranéens, une notion figurant aux objectifs du PLAGEPOMI 2016-2021.

Les éléments méthodologiques abordés dans ce rapport avaient pour but de présenter les critères de caractérisation hydrologiques définis au fil des échanges EDF-MRM, mais aussi les pistes proposées dans le cadre de l'étude réalisée sur l'Aude en 2013 par l'ONEMA. Les premiers critères de caractérisation hydrologiques proposés dans ce rapport sont les suivants :

- *Étude de la cohérence amont aval des débits sur un fleuve côtier*
- *Étude de la contribution des affluents*
- *Caractérisation des phénomènes de crues (nombre, intensité, amplitude, etc.)*
- *Caractérisation des deux premiers évènements saisonniers*

Les analyses basées sur ces différents critères ont montré des premiers résultats intéressants, en permettant de mieux appréhender certains aspects du fonctionnement hydrologique du Var et de l'Hérault, et d'entrevoir des pistes de réponses à plusieurs des interrogations qui avaient été soulevées :

- Sur une période englobant les 30 dernières saisons de dévalaison, une cohérence amont-aval des débits du Var et de l'Hérault a pu être montrée. En effet, dans les deux cas, des pics de débits semblent enregistrés simultanément à l'amont, sur la partie médiane et à l'aval. Les débits maximums semblent globalement plus élevés sur l'Hérault.

- L'analyse du rôle des différents affluents a permis de cibler les cours d'eau qui, d'une part contribuent le plus sur le plan hydrologique, mais aussi de déterminer ceux qui sont susceptibles de restituer des anguilles argentées en période de dévalaison.

- Sur le Var, l'Estéron semble pour l'instant s'imposer comme le tributaire le plus intéressant (plus forte contribution aux crues du Var, peu d'obstacles à la colonisation et positionnement idéal sur le bassin), même si la Tinée et la Vésubie semblent elles aussi présenter un enjeu non négligeable. Sur le plan hydrologique, les 3 affluents contribuent dans des proportions assez similaires.
- Sur l'Hérault, la Lergue dispose d'une contribution non négligeable alors qu'elle est bien colonisée par les anguilles. Il sera toutefois pertinent de chercher à déterminer plus précisément les apports hydrologiques et biologiques de la Peyne. Les affluents les plus importants sur le plan hydrologique (Vis, Arre) ne sont pas colonisés, mais leur localisation à l'amont du bassin leur confère un intérêt majeur car ils peuvent déclencher de la migration sur l'ensemble de la zone d'actions prioritaires anguille de l'Hérault.
    - L'analyse des débits du Var et de l'Hérault a permis de déterminer le nombre de crues annuelles, ainsi que l'intensité et l'amplitude de ces évènements. Il semble que le bassin de l'Hérault produise *en moyenne* plus de crues par an que celui du Var. Toutefois, les résultats sont toutefois très variables d'une année sur l'autre et le nombre de crues saisonnières du Var entre 1989 et 2007 a vraisemblablement été sous-estimé.
    - L'analyse des deux premières crues automnales sur les deux bassins a permis de mieux cibler les périodes supposées critiques pour la dévalaison au regard de la bibliographie existante, et de caractériser les conditions dans lesquelles la dévalaison est susceptible de s'effectuer. Ces évènements sont d'intensité assez modérée même si des exceptions existent. Ils surviennent généralement entre fin septembre et fin octobre sur les deux côtier. Enfin il apparaît aussi que la seconde crue des deux bassins s'étale sur une plus longue période et soit plus intense que la première.

Toutefois, il semble à l'heure actuelle important de relativiser les résultats obtenus. En effet, même si plusieurs caractéristiques du fonctionnement des deux bassins ont pu être montrées et comparées, il est encore trop tôt pour tirer des conclusions.

De nombreuses limites (qualité des données, choix méthodologiques, etc.) doivent inciter à la prudence dans l'interprétation des résultats. La mise en place d'autres critères de caractérisation, ainsi que la validation de la méthode par des experts en hydrologie et biologie comportementale apparaissent indispensables pour améliorer la représentativité des résultats et pouvoir ainsi étendre l'étude hydrologique à d'autres côtiers de Méditerranée.

Bibliographie

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.

BERTIN L., 1951. Les anguilles. Payot, Paris

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.

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

BOUBEE J.A., C.P MITCHELL, B.L CHISNALL, D.W. WEST, E.J. BOWMAN & A. HARO, 2001. Factors regulating the downstream migration of mature eels (*Anguilla spp.)* at Aniwhenua Dam, Bay of Plenty, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 35: 121-134.

BRUIJS M.C.M. & DURIF C.M.F., 2009, Silver eel migration and behaviour., Van den Thillart et al.(eds.), Spawning migration of the European Eel, Springer Science + Business Media B.V.

BRUSLE J., QUIGNARD J.P., 2006, Biologie des poissons d'eau douce européens., éditions Tec & Doc : 387- 422.

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., 2017. 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.

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

DAEMEN E., CROSS T., OLLEVIER F., VOLCKAERT A.M., 2001. Analysis of the genetic structure of European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellite DNA and MtDNA markers., Marine Biology, 139: 755–764.
DEELDER C.L., 1984. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries Synopsis 80, Rome, Fao, 73 p.

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.

DURIF C., ELIE P., GOSSET C., RIVES J., TRAVADE F., 2002., 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.

EGE V., 1939, A revision of the genus Anguilla Shaw: a systematic, phylogenetic and geographical study., Dana report, vol. 16.

ELIE P., 1979. Contribution à l'étude des montées de civelles d'*Anguilla anguilla* Linné (Poisson, Téléostéen, Anguilliforme) dans l'estuaire de la Loire : Pêche, Écologie, Écophysiologie et Élevage. Thèse de doctorat, Université de Rennes. 1, 381 pp

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

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

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.

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.

GERMIS, 2009. Évaluation de l'état de la population d'anguille en Bretagne par la méthode des indices d'abondance « anguille » de 2003 à 2008.

GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAICOECHEA 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.

HARALDSTAD Ø., VØLLESTAD L.A., JONSSON B., 1985, Descent of European silver eels, Anguilla Anguilla L., in a Norwegian watercourse., J. Fish Biol. 26, 37-41

HELFMAN GS, FACEY DE, SANTON HL, BOZEMAN EL, 1987. Reproductive ecology of the American eel. Am. Fish. Soc. Symp., 1: 42-56.

HVIDSTEN N.A, 1985. Yield of silver eel and factors affecting downstream migration in the stream Imsa, Norway. Inst. Fresh. Res., 62: 75-85.

IMBERT H., 2008, Stratégie conditionnelle contrôlant la dispersion continentale de l'Anguille européenne., Université de Bordeaux 1, 199 p + annexes.

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.

METROPOLE NICE COTE D'AZUR, 2014. Étude de restauration de la continuité écologique de la Cagne. Cahier des clauses techniques particulières.

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.

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

SCIMABIO Interface, 2017. Fourniture et installation de dispositifs RFID pour le suivi de la dévalaison des anguilles sur la basse Cagne et formation du personnel, 11p.

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

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

TRAVADE F., LARINIER M., SUBRA S., GOMES P., DE OLIVEIRA E., 2010a, Behaviour and passage of European eels (Anguilla anguilla) at a small hydropower plant during their downstream migration., Knowledge and management of aquatic ecosystems 398, 01

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

VAN DEN THILLART G., 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.

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.

VOLLESTAD L.A., B. JONSSON, N.A. HVIDSTEN & T.F. NAESJE, 1994: Experimental test of environmental factors influencing the seaward migration of European silver eels. Journal of Fish Biology, 45: 641-651.

WESTIN L. & L. NYMAN, 1979. Activity, orientation, and migration of Baltic Eel (*Anguilla anguilla L.)*. Rapp. P.-V. Réunion CIEM, 174: 115-23.

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

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

Liste des figures

Figure 1 : Ci-dessus à gauche, une anguille jaune en cours de métamorphose. A droite, une jeune anguille jaune (© Association MRM) 3

Figure 2 : Cycle de vie de l'Anguille (© MRM) 4

Figure 3 : Comparaison entre deux anguilles de tailles similaires : En haut, un individu présentant des caractéristiques d'une argenture avancée. En dessous, une anguille « jaune » (© MRM) 5

Figure 4 : Mesure du diamètre occulaire et de la taille de la nageoire pectorale sur un individu présentant des signes visibles d'argenture (© MRM, 2018) 7

Figure 5 : Le fonctionnement multipartenarial de l'étude sur la Cagne : A gauche, le marquage et la biométrie, assurés par MRM et l'AFB. Cette étape repose sur les opérations de captures réalisées simultanément par le personnel de la FDAAPPMA 06 (à droite) (© FDAAPPMA06) 8

Figure 6 : Le bassin versant de la Cagne (© MRM) 9

Figure 7 : Localisation du secteur de l'étude RFID sur la Cagne (© MRM) 10

Figure 8 : Un Pit-Tag 23 mm, implanté dans les anguilles (© MRM) 11

Figure 9 : Cycle de lecture du système RFID HDX (© OREGON RFID) 11

Figure 10 : Représentation schématique des dispositifs RFID installés aux Bugadières et à Pont-des-Salles (© MRM, 2019) 12

Figure 11 : Illustration des différents éléments composant les systèmes RFID HDX installés sur la Cagne (© MRM) 13

Figure 12 : Les 4 antennes mobiles de l'Association, utilisées en 2019 sur la Cagne dans le cadre des prospections mobiles (© MRM) 14

Figure 13 : A gauche, l'injecteur utilisé lors du marquage. A droite, l'entaille réalisée (© MRM) 16

Figure 14 : Evolution journalière de la température de l'eau sur la Cagne au niveau du site de la station du SMIAGE à Pont-des-Salles en 2018 et 2019 (A) et focus sur la période ayant enregistré des dévalaisons (B) 19

Figure 15 : Relation taille-poids de l'échantillonnage complet de septembre 2018 (FDAAPPMA06) 21

Figure 16 : Répartition des différents stades pamis les individus soumis à l'évaluation de l'indice d'argenture via la méthode de Durif. 22

Figure 17 : Dispersion des stades d'argentures selon le ratio taille/poids 22

Figure 18 : Répartition des stades de maturation parmi les individus marqués en 2018 et 2017 24

Figure 19 : Exemples de cicatrisations d'individus marqués sur la Cagne en 2017 et 2018 (© MRM) 25

Figure 20 : Schéma des dévalaisons enregistrées sur la Cagne au cours de la saison 2018-2019 26

Figure 21 : Anguilles détectées au niveau des antennes de Bugadières sur la saison 2018-2019 (NB : aucune détection suplémentaire entre janvier et avril 2019)..... 26

Figure 22 : Nombre d'interrogations individualisées par Pit-Tag et par antennes 28

Figure 23 : Répartition des détections d'anguilles au cours de la journée (saison 2018 2019) 30

Figure 24 : Relation entre l'élévation du débit (source : SMIAGE) et les précipitations observées (station météo de Vence) (source : Nice Météo) 31

Figure 25 : Hauteur instantanée de la lame d'eau entre le 29/10/2018 et le 01/11/2018 (1 mesure de débit / 6 min) et détections asssociées sur le site de Bugadières (source : Métropole Nice Côte d'Azur) 32

Figure 26 : Taux de réception quotidien des marqueurs Tag au niveau des antennes fixes de la Cagne 33

Figure 27 : Exemple de présentation des données lors d'une crue de l'Hérault (13 Novembre 1999). 42

Figure 28 : Le bassin versant du Var et les stations hydrométriques associées 44

Figure 29 : Evolution journalière du débit du Var sur une année civile (Janvier à décembre) à la station du Pont de la Manda (Nice) entre 2006 et 2017 45

Figure 30 : Classes de contribution des affluents (en % des crues totales enregistrées sur l'affluent) aux crues du Var 51

Figure 31 : Nombre de crues saisonnières observées sur les différentes stations du fleuve Var 52

Figure 32 : Nombre de saisons de dévalaisons où X crues sont observées sur le Var aval et les affluents 53

Figure 33 : Périodes récurentes de survenue des premières (en haut) et des deuxièmes (en bas) crues automnales au cours des 30 dernières saisons de dévalaison (1989-2019) 54

Figure 34 : Etalement des deux premiers épisodes de crues sur une période de 30 ans.... 55

Figure 35 : Exemple d'évolution journalière du débit sur l'Hérault à la station d'Agde sur une année civile sur la période 2006-2018 57

Figure 36 : Le bassin versant de l'Hérault et les principales stations hydrométriques associées 57

Figure 37 : Classes de contributions des affluents aux crues de l'Hérault 62

Figure 38 : Nombre de crues saisonnières observées sur les différents stations de l'Hérault entre 1989 et 2019 63

Figure 39 : Nombre de saisons de dévalaisons où X crues sont observées à l'aval de l'Hérault et sur les affluents 63

Figure 40 : Dates des premières et des deuxièmes crues automnales sur l'Hérault au cours des 30 dernières saisons de dévalaison (1989-2019) 64

Figure 41 : Etalement en jours des deux premiers épisodes de crues sur la station aval de l'Hérault (Agde) sur une période de 30 saisons de dévalaison 65

Figure 42 : Nombre de crues pour chaque saison de dévalaison à l'aval du Var et de l'Hérault 68

Figure 43 : Périodes d'observations récurrentes des 1e et 2e crues saisonnières sur les stations aval du Var et de l'Hérault au cours des 30 dernières saisons de dévalaisons 69

Figure 44 : Compraraison des caractéristiques hydrologiques moyennes des deux premières crues automnales des stations aval du Var et de l'Hérault sur une période de 30 saisons de dévalaison. 70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Stades d'argenture des individus, tels que définis par la littérature 7

Tableau 2 :Bilan des captures et des marquages de la Campagne 2018 sur la Cagne 20

Tableau 3 : CPUE des individus aux stades ultimes de maturation (FIV, FV, MD) par station de pêche. La CPUE est exprimée en Captures/h. 23

Tableau 4 : répartition des différents stades d'argenture sur l'axe Cagne 24

Tableau 5 : Efficacité de chaque antenne fixe par rapport au total de détections 2018-2019 27

Tableau 6 : Déplacement des anguilles contactées lors du Tracking mobile 2019..... 29

Tableau 7 : Caractéristiques des principales stations hydrologiques présentes sur le bassin du Var 45

Tableau 8 : Qualité et validité des données hydrométriques diponibles sur le bassin versant du Var 48

Tableau 9 : Valeurs seuils utilisées pour définir les crues sur le Var et ses affluents 48

Tableau 10 : Répercussion des crues observées à l'aval sur les stations amont et médianes du Var 49

Tableau 11 : Contribution des différents affluents au débit enregistré sur le Var aval..... 50

Tableau 12 : Décalages dans l'observation des pic de crue entre les affluents et le Var .. 51

Tableau 13 : Nombre moyen de crues par saison sur le bassin versant du Var 53

Tableau 14 : Caractéristiques hydrologiques moyennes des 1eres et 2e crues automnales sur la période 1990-2019 54

Tableau 15 : Caractéristiques des principales stations hydrologiques présentes sur le bassin de l'Hérault..... 56

Tableau 16 : Qualité et validité des données hydrométriques diponibles sur le bassin versant de l'Hérault 59

Tableau 17 : Valeurs seuils utilisées pour définir les crues sur le Var et ses affluents (Source : banqueHydro) 60

Tableau 18 : Répercussion des crues observées à l'aval sur les stations amont et médianes de l'Hérault 60

Tableau 19 : Contribution des différents affluents au débit enregistré sur la partie aval de l'Hérault 61

Tableau 20 : Décalages dans l'observation des pics de crue entre les affluents et l'Hérault 62

Tableau 21 : Nombre moyen de crues par saison sur le bassin versant du Var 63

Tableau 22 : Caractéristiques hydrologiques moyennes des 1eres et 2e crues automnales sur la station aval de l'Hérault (Agde), sur la période 1989-2019 65

Tableau 23 : Moyenne des débits maximums journaliers enregistrés sur les premières et secondes crues des deux fleuves..... 70

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Résumé des détections enregistrées en 2018 sur la Cagne_____ 82

ANNEXE 2 : Analyse de deux cas de figures de crues sur le Var :_____ 83

ANNEXE 3 : Nombre de crues identifiées par saison de dévalasion sur les différentes stations du bassin versant du Var_____ 84

ANNEXE 4 : Bilan des deux premières crues saisonnières enregistrées à l'aval du Var pour chacune des 30 dernières saisons de dévalaison _____ 85

ANNEXE 5 : Nombre de crues identifiées par saison de dévalasion sur les différentes stations du bassin versant de l'Héraut_____ 87

ANNEXE 6 : Bilan des deux premières crues saisonnières enregistrées à l'aval de l'Hérault pour chacune des 30 dernières saisons de dévalaison_____ 88

Annexes

ANNEXE 1 : Résumé des détections enregistrées en 2018 sur la Cagne

IDENTIFIANT	*STADE*	*SITE / ANNEE DE MARQUAGE*	*DETECTION PONT DES SALLES*	*DETECTION BUGADIERES*
[CA18_015]	MD	Poutaoutchou 2018	10/10/2018 - 21:43	11/10/2018 - 19:51
[CA18_017]	MD	Poutaoutchou 2018	11/10/2018 - 20:17	29/10/2018 - 18:37
[CA18_035]	MD	Simbille 2018	11/10/2018 - 20:21	11/10/2018 - 21:20
[CA18_031]	FV	Simbille 2018	11/10/2018 - 20:25	29/10/2018 - 18:37
[CA17_019]	MD	Poutaoutchou 2017	11/10/2018 - 20:28	30/10/2018 - 19:48
[CA18_033]	FV	Simbille 2018	11/10/2018 - 20:47	29/10/2018 - 18:08
[CA18_034]	FV	Simbille 2018	11/10/2018 - 20:52	29/10/2018 - 19:24
[CA17_016]	MD	Poutaoutchou 2017	11/10/2018 - 22:35	29/10/2018 - 19:38
[CA17_033]	FIII	Simbille 2017	-	29/10/2018 - 18:15
[CA18_024]	MD	Poutaoutchou 2018	29/10/2018 - 04:37	29/10/2018 - 18:34
[CA18_002]	MD	Pont-des-Salles 2018	-	29/10/2018 - 19:20
[CA17_044]	FIII	Simbille 2017	29/10/2018 - 16:55	29/10/2018 - 19:27
[CA18_029]	FIII	Simbille 2018	-	29/10/2018 - 19:37
[CA18_014]	MD	Poutaoutchou 2018	29/10/2018 - 17:03	29/10/2018 - 20:07
[CA18_012]	MD	Poutaoutchou 2018	-	29/10/2018 - 20:38
[CA18_004]	MD	Pont-des-Salles 2018	-	01/11/2018 - 19:46
[CA18_046]	FV	Simbille 2018	-	20/12/2018 - 04:44

ANNEXE 2 : Analyse de deux cas de figures de crues sur le Var :

SAISON	DATE	Var Aval (Mescla+Estéron/Nice/Carros)	Var Médian (Entrevaux)	Var Amont (Villeneuve d'Entreaunes)	Estéron	Tinée	Vésubie	Vaire
2009-2010	16-févr	13,5	8,93	0,907	6,92	1,52	0	2,19
2009-2010	17-févr	16,3	11,8	1,39	10,8	2,63	0	2,16
2009-2010	18-févr	41	15,3	1,69	22	2,59	0	2,12
2009-2010	19-févr	112	29,6	2,58	40,9	4,42	0	2,16
2009-2010	20-févr	106	24,4	2,17	33,6	3,75	0	2,21
2009-2010	21-févr	42,5	18,3	1,81	22,6	2,7	0	2,2
2009-2010	22-févr	26,9	17	1,79	19,5	2,46	0	2,16
2009-2010	23-févr	40,8	19,6	1,86	26,1	2,6	0	2,15
2009-2010	24-févr	36,9	19,2	1,9	22,3	2,54	0	2,1
2009-2010	25-févr	31,8	18,9	1,97	20,2	2,44	0	2,08
2009-2010	26-févr	39,9	20,4	2,27	19,4	2,46	0	2,08
2009-2010	27-févr	76,3	19	2,02	18,4	2,34	0	2,08
2009-2010	28-févr	73,2	18,3	1,95	17,3	2,27	0	2,08
2009-2010	01-mars	47,3	17,7	1,87	16,3	2,19	0	2,05
2009-2010	02-mars	20,3	16,7	1,9	15,1	4,88	0	2
2009-2010	03-mars	18,1	19	2,09	16,1	3,98	0	2
2009-2010	04-mars	26,4	19,4	2,02	18,9	2,34	0	2
2009-2010	05-mars	20,9	17,7	1,87	17,5	2,25	0	1,97
2009-2010	06-mars	15,4	16,4	1,85	15,7	2,16	0	1,93
2009-2010	07-mars	13,8	15,6	1,76	14,4	2,12	0	1,93
2009-2010	08-mars	13,6	14,5	1,62	13,2	2,12	0	1,93
2009-2010	09-mars	13,6	13,7	1,51	12,2	1,86	0	1,93
2009-2010	10-mars	16,1	13,1	1,43	11,4	1,81	0	1,93
2009-2010	11-mars	16,3	12,6	1,4	10,6	1,76	0	1,93
2009-2010	12-mars	14,2	12,4	1,45	9,99	1,68	0	2
2010-2011	18-déc	21,5	14,9	2,3	8,46	0,844	6,9	1,16
2010-2011	19-déc	22,1	14,6	2,23	8,06	0,807	6,77	1,14
2010-2011	20-déc	20,3	14,2	2,11	7,72	1,21	6,39	1,38
2010-2011	21-déc	20,5	15	2,19	8,49	0,912	6,9	1,82
2010-2011	22-déc	89,2	27,8	4,27	28,9	2,51	17,3	1,8
2010-2011	23-déc	338	116	13	86	22,9	36,6	1,79
2010-2011	24-déc	292	69,8	9,29	62,8	14,3	27,6	1,8
2010-2011	25-déc	168	42,9	6,05	36,9	4,97	18,8	1,78
2010-2011	26-déc	103	33,1	4,55	28,5	2,78	16	1,76
2010-2011	27-déc	80,6	27,7	3,6	23,3	2,36	14	1,76
2010-2011	28-déc	67,1	23,6	3,33	20	2,13	12,4	1,76
2010-2011	29-déc	54,6	21,6	2,97	17,9	2,01	11,2	1,75
2010-2011	30-déc	61,7	19,7	2,79	16,2	1,86	10,2	1,72
2010-2011	31-déc	61,9	17,9	2,64	15	1,74	9,53	1,71
2010-2011	01-janv	63,9	16,7	2,57	14,1	1,66	8,93	1,71
2010-2011	02-janv	60,4	15,9	2,49	13,3	1,6	8,52	1,75
2010-2011	03-janv	55,8	15,1	2,36	12,6	1,55	8,5	1,72
2010-2011	04-janv	35,6	14,4	2,23	12	1,58	8,41	1,71
2010-2011	05-janv	26,8	13,6	2,1	11,3	1,45	8,31	1,71
2010-2011	06-janv	19,4	13,6	2,12	11,1	1,16	8,27	1,72
2010-2011	07-janv	35,7	18,7	2,97	12,4	2,69	11,3	1,7

On note que le débit augmente sur les stations médianes et amont au 19 février 2010 (cases en jaune), mais pas suffisamment pour générer une crue au regard des critères choisis pour l'étude. C'est visiblement l'Esteron qui explique l'événement hydrologique enregistré à l'aval.

Au 23 décembre 2010, le débit augmente suffisamment pour que la crue se répercute véritablement sur les trois stations hydrologiques (amont, médiane, aval) du Var.Il s'agit d'un événement généralisé au bassin.

ANNEXE 3 : Nombre de crues identifiées par saison de dévalasion sur les différentes stations du bassin versant du Var

VAR AVAL	
Saison	NB crues
1989-1990	0 *
1990-1991	2 *
1991-1992	5 *
1992-1993	6 *
1993-1994	6 *
1994-1995	4 *
1995-1996	5 *
1996-1997	5 *
1997-1998	3 *
1998-1999	1 *
1999-2000	2 *
2000-2001	10 *
2001-2002	non exploitable
2002-2003	3 *
2003-2004	3 *
2004-2005	2 *
2005-2006	2 *
2006-2007	3 *
2007-2008	4
2008-2009	7
2009-2010	3
2010-2011	6
2011-2012	2
2012-2013	9
2013-2014	3
2014-2015	4
2015-2016	3
2016-2017	5
2017-2018	4
2018-2019	4

* : sous estimation probable du nombre de crue

VAR MEDIAN (Entrevaux)	
Saison	NB crues
1989-1990	0
1990-1991	2
1991-1992	6
1992-1993	5
1993-1994	5
1994-1995	5
1995-1996	8
1996-1997	5
1997-1998	3
1998-1999	1
1999-2000	5
2000-2001	9
2001-2002	0
2002-2003	3
2003-2004	non exploitable
2004-2005	non exploitable
2005-2006	1
2006-2007	3
2007-2008	4
2008-2009	5
2009-2010	4
2010-2011	5
2011-2012	3
2012-2013	8
2013-2014	5
2014-2015	4
2015-2016	2
2016-2017	3
2017-2018	3
2018-2019	5

VAR AMONT (Villeneuve)	
Saison	NB crues
1989-1990	pas de données
1990-1991	pas de données
1991-1992	pas de données
1992-1993	pas de données
1993-1994	pas de données
1994-1995	pas de données
1995-1996	pas de données
1996-1997	pas de données
1997-1998	pas de données
1998-1999	pas de données
1999-2000	pas de données
2000-2001	6
2001-2002	0
2002-2003	3
2003-2004	non exploitable
2004-2005	1
2005-2006	1
2006-2007	3
2007-2008	3
2008-2009	2
2009-2010	6
2010-2011	7
2011-2012	3
2012-2013	1
2013-2014	2
2014-2015	4
2015-2016	0
2016-2017	4
2017-2018	1
2018-2019	4

ESTERON	
Saison	NB crues
1989-1990	1
1990-1991	2
1991-1992	4
1992-1993	6
1993-1994	non exploitable
1994-1995	non exploitable
1995-1996	5
1996-1997	4
1997-1998	4
1998-1999	2
1999-2000	2
2000-2001	6
2001-2002	2
2002-2003	6
2003-2004	4
2004-2005	non exploitable
2005-2006	4
2006-2007	2
2007-2008	3
2008-2009	7
2009-2010	4
2010-2011	6
2011-2012	3
2012-2013	7
2013-2014	5
2014-2015	3
2015-2016	3
2016-2017	6
2017-2018	4
2018-2019	6

TINEE	
Saison	NB crues
1989-1990	0
1990-1991	2
1991-1992	3
1992-1993	4
1993-1994	3
1994-1995	non exploitable
1995-1996	non exploitable
1996-1997	non exploitable
1997-1998	2
1998-1999	0
1999-2000	2
2000-2001	8
2001-2002	0
2002-2003	3
2003-2004	non exploitable
2004-2005	2
2005-2006	non exploitable
2006-2007	non exploitable
2007-2008	1
2008-2009	4
2009-2010	2
2010-2011	1
2011-2012	1
2012-2013	4
2013-2014	2
2014-2015	3
2015-2016	0
2016-2017	pas de données
2017-2018	pas de données
2018-2019	pas de données

VESUBIE	
Saison	NB crues
1989-1990	pas de données
1990-1991	pas de données
1991-1992	pas de données
1992-1993	pas de données
1993-1994	pas de données
1994-1995	pas de données
1995-1996	pas de données
1996-1997	pas de données
1997-1998	pas de données
1998-1999	pas de données
1999-2000	pas de données
2000-2001	pas de données
2001-2002	pas de données
2002-2003	pas de données
2003-2004	pas de données
2004-2005	pas de données
2005-2006	pas de données
2006-2007	pas de données
2007-2008	pas de données
2008-2009	pas de données
2009-2010	pas de données
2010-2011	4
2011-2012	1
2012-2013	8
2013-2014	4
2014-2015	3
2015-2016	2
2016-2017	3
2017-2018	5
2018-2019	3

VAÏRE	
Saison	NB crues
1989-1990	pas de données
1990-1991	pas de données
1991-1992	pas de données
1992-1993	pas de données
1993-1994	pas de données
1994-1995	pas de données
1995-1996	pas de données
1996-1997	pas de données
1997-1998	pas de données
1998-1999	pas de données
1999-2000	pas de données
2000-2001	pas de données
2001-2002	pas de données
2002-2003	pas de données
2003-2004	pas de données
2004-2005	pas de données
2005-2006	0
2006-2007	2
2007-2008	1
2008-2009	2
2009-2010	2
2010-2011	1
2011-2012	4
2012-2013	0
2013-2014	0
2014-2015	pas de données
2015-2016	pas de données
2016-2017	pas de données
2017-2018	2
2018-2019	4

ANNEXE 4 : Bilan des deux premières crues saisonnières enregistrées à l'aval du Var pour chacune des 30 dernières saisons de dévalaison

→ *Premières crues*

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	/	*Pas de crue identifiée*					
1990-1991	30/10/1990	1	102,05	1	1	1	Annuelle
1991-1992	29/09/1991	1	423,8	2	3	1	Annuelle
1992-1993	28/09/1992	1	106,5	1	1	1	Annuelle
1993-1994	24/09/1993	1	251,9	2	2	1	Annuelle
1994-1995	23/09/1994	1	328	4	6	4	Annuelle
1995-1996	31/12/1995	1	140,6	2	2	6	Annuelle
1996-1997	11/11/1996	1	520	2	13	11	Biennale
1997-1998	06/11/1997	1	427,8	3	4	2	Annuelle
1998-1999	27/03/1999	1	168,6	1	1	1	Annuelle
1999-2000	20/09/1999	1	298,9	2	1	1	Annuelle
2000-2001	30/09/2000	1	148	2	1	1	Annuelle
2001-2002	/	*Pas de données cette année*					
2002-2003	10/11/2002	1	106,6	1	1	1	Annuelle
2003-2004	31/10/2003	1	314,5	2	2	1	Annuelle
2004-2005	29/10/2004	1	126	1	1	1	Annuelle
2005-2006	09/09/2005	1	171	4	1	1	Annuelle
2006-2007	25/09/2006	1	324,6	1	2	1	Annuelle
2007-2008	23/11/2007	1	106,71	2	1	1	Annuelle
2008-2009	03/11/2008	1	224	4	6	3	Annuelle
2009-2010	22/10/2009	1	134	2	1	1	Annuelle
2010-2011	05/10/2010	1	113	2	1	1	Annuelle
2011-2012	25/10/2011	1	173	1	1	1	Annuelle
2012-2013	05/11/2012	1	251	2	2	1	Annuelle
2013-2014	04/01/2013	1	311	2	3	1	Annuelle
2014-2015	04/11/2014	1	327,7	3	2	1	Annuelle
2015-2016	04/10/2015	1	114,8	3	1	1	Annuelle
2016-2017	15/09/2016	1	97,9	1	1	1	Annuelle
2017-2018	11/12/2017	1	181	3	2	1	Annuelle
2018-2019	29/10/2018	1	252	5	17	15	Annuelle
MOYENNE :			*223,0*	*2,1*	*2,8*	*2,3*	

→ *Secondes crues*

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	/	*Pas de crue identifiée*					
1990-1991	08/03/1991	2	263	4	3	1	Annuelle
1991-1992	06/10/1991	2	143,12	1	2	1	Annuelle
1992-1993	06/10/1992	2	123,1	2	1	1	Annuelle
1993-1994	01/10/1993	2	240,8	3	3	1	Annuelle
1994-1995	21/10/1994	2	117	2	1	1	Annuelle
1995-1996	07/01/1996	2	1065	6	12		**Cinquentenale**
1996-1997	13/12/1996	2	159,1	2	3	1	Annuelle
1997-1998	12/11/1997	2	182,2	1	2	1	Annuelle
1998-1999	/	*1 seule crue cette saison*					
1999-2000	21/10/1999	2	498	6	8	7	**Biennale**
2000-2001	12/10/2000	2	429,5	6	8	4	Annuelle
2001-2002	/	*Pas de données cette année*					
2002-2003	14/11/2002	2	714	4	19	16	**Quinquennale**
2003-2004	01/12/2003	2	258,8	2	5	3	Annuelle
2004-2005	01/11/2004	2	138	1	3	2	Annuelle
2005-2006	03/12/2005	2	101,4	2	1	1	Annuelle
2006-2007	06/12/2006	2	233,7	2	5	2	Annuelle
2007-2008	12/01/2008	2	254,6	2	1	1	Annuelle
2008-2009	14/12/2008	2	279	2	4	2	Annuelle
2009-2010	23/12/2010	2	333	4	5	2	Annuelle
2010-2011	31/10/2010	2	403	2	4	2	Annuelle
2011-2012	04/11/2011	2	841	2	11	9	Annuelle
2012-2013	10/11/2012	2	447	2	4	2	Annuelle
2013-2014	17/01/2014	2	582	*Données non fiables (station en panne après le pic de crue)*			**Biennale**
2014-2015	10/11/2014	2	268,8	2	9	3	Annuelle
2015-2016	29/10/2015	2	108,7	1	1	1	Annuelle
2016-2017	14/10/2016	2	201	3	2	1	Annuelle
2017-2018	09/01/2018	2	114	1	1	1	Annuelle
2018-2019	24/11/2018	2	157	2	2	1	Annuelle
MOYENNE :			*320,6*	*2,6*	*4,6*	*2,7*	

ANNEXE 5 : Nombre de crues identifiées par saison de dévalasion sur les différentes stations du bassin versant de l'Héraut

HERAULT AVAL (Agde)	
Saison	**NB crues**
1989-1990	2
1990-1991	4
1991-1992	0
1992-1993	3
1993-1994	9
1994-1995	5
1995-1996	9
1996-1997	5
1997-1998	6
1998-1999	2
1999-2000	2
2000-2001	5
2001-2002	1
2002-2003	5
2003-2004	8
2004-2005	0
2005-2006	5
2006-2007	4
2007-2008	5
2008-2009	6
2009-2010	6
2010-2011	3
2011-2012	3
2012-2013	5
2013-2014	1
2014-2015	6
2015-2016	5
2016-2017	11
2017-2018	7
2018-2019	4

HERAULT MEDIAN (Aspiran)	
Saison	**NB crues**
1989-1990	*Pas de données*
1990-1991	*Pas de données*
1991-1992	*Pas de données*
1992-1993	*Pas de données*
1993-1994	9
1994-1995	5
1995-1996	9
1996-1997	5
1997-1998	6
1998-1999	2
1999-2000	4
2000-2001	6
2001-2002	4
2002-2003	Non exploitable
2003-2004	Non exploitable
2004-2005	Non exploitable
2005-2006	Non exploitable
2006-2007	Non exploitable
2007-2008	Non exploitable
2008-2009	6
2009-2010	6
2010-2011	4
2011-2012	3
2012-2013	6
2013-2014	3
2014-2015	6
2015-2016	7
2016-2017	9
2017-2018	7
2018-2019	4

HERAULT AMONT (Laroque)	
Saison	**NB crues**
1989-1990	2
1990-1991	4
1991-1992	0
1992-1993	4
1993-1994	10
1994-1995	6
1995-1996	12
1996-1997	8
1997-1998	6
1998-1999	3
1999-2000	4
2000-2001	7
2001-2002	2
2002-2003	7
2003-2004	13
2004-2005	2
2005-2006	5
2006-2007	Non exploitable
2007-2008	5
2008-2009	6
2009-2010	8
2010-2011	6
2011-2012	4
2012-2013	7
2013-2014	6
2014-2015	6
2015-2016	7
2016-2017	11
2017-2018	7
2018-2019	5

LA PEYNE	
Saison	**NB crues**
1989-1990	*Pas de données*
1990-1991	*Pas de données*
1991-1992	*Pas de données*
1992-1993	*Pas de données*
1993-1994	*Pas de données*
1994-1995	*Pas de données*
1995-1996	*Pas de données*
1996-1997	*Pas de données*
1997-1998	*Pas de données*
1998-1999	*Pas de données*
1999-2000	*Pas de données*
2000-2001	*Pas de données*
2001-2002	*Pas de données*
2002-2003	*Pas de données*
2003-2004	*Pas de données*
2004-2005	*Pas de données*
2005-2006	*Pas de données*
2006-2007	*Pas de données*
2007-2008	2
2008-2009	0
2009-2010	6
2010-2011	6
2011-2012	4
2012-2013	4
2013-2014	4
2014-2015	3
2015-2016	Non exploitable
2016-2017	3
2017-2018	4
2018-2019	2

LA LERGUE	
Saison	**NB crues**
1989-1990	0
1990-1991	7
1991-1992	0
1992-1993	Non exploitable
1993-1994	Non exploitable
1994-1995	7
1995-1996	9
1996-1997	4
1997-1998	6
1998-1999	2
1999-2000	4
2000-2001	3
2001-2002	3
2002-2003	7
2003-2004	9
2004-2005	2
2005-2006	5
2006-2007	5
2007-2008	4
2008-2009	7
2009-2010	3
2010-2011	3
2011-2012	4
2012-2013	6
2013-2014	0
2014-2015	6
2015-2016	6
2016-2017	9
2017-2018	7
2018-2019	3

LA VIS	
Saison	**NB crues**
1989-1990	**3**
1990-1991	**6**
1991-1992	0
1992-1993	4
1993-1994	8
1994-1995	6
1995-1996	13
1996-1997	5
1997-1998	7
1998-1999	3
1999-2000	4
2000-2001	6
2001-2002	2
2002-2003	6
2003-2004	11
2004-2005	3
2005-2006	5
2006-2007	Non exploitable
2007-2008	5
2008-2009	6
2009-2010	7
2010-2011	7
2011-2012	4
2012-2013	7
2013-2014	2
2014-2015	7
2015-2016	7
2016-2017	10
2017-2018	7
2018-2019	5

L'ARRE	
Saison	**NB crues**
1989-1990	Non exploitable
1990-1991	**3**
1991-1992	0
1992-1993	3
1993-1994	8
1994-1995	4
1995-1996	12
1996-1997	6
1997-1998	7
1998-1999	3
1999-2000	4
2000-2001	7
2001-2002	2
2002-2003	7
2003-2004	10
2004-2005	3
2005-2006	5
2006-2007	2
2007-2008	4
2008-2009	5
2009-2010	8
2010-2011	7
2011-2012	3
2012-2013	5
2013-2014	4
2014-2015	6
2015-2016	7
2016-2017	8
2017-2018	7
2018-2019	3

MIGRATEURS
RHÔNE-MÉDITERRANÉE

ANNEXE 6 : Bilan des deux premières crues saisonnières enregistrées à l'aval de l'Hérault pour chacune des 30 dernières saisons de dévalaison

→ *Premières crues*

Premières crues saisonnières identifiées sur la partie aval de l'Hérault 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	29/10/1989	1	142	1	1	1	Annuelle
1990-1991	20/10/1990	1	144	4	2	7	Annuelle
1991-1992	/	*Pas de crue identifiée cette saison*					
1992-1993	22/09/1992	1	443	1	9	7	Annuelle
1993-1994	23/09/1993	1	145	7	3	1	Annuelle
1994-1995	24/09/1994	1	283	2	2	1	Annuelle
1995-1996	18/09/1995	1	572	2	6	4	Annuelle
1996-1997	20/09/1996	1	187	2	2	1	Annuelle
1997-1998	05/11/1997	1	714	3	5	3	**Biennale**
1998-1999	01/01/1999	1	300	2	2	1	Annuelle
1999-2000	18/10/1999	1	629	5	10	6	Annuelle
2000-2001	30/09/2000	1	289	3	1	1	Annuelle
2001-2002	20/10/2001	1	218	3	2	1	Annuelle
2002-2003	09/09/2002	1	101	1	2	1	Annuelle
2003-2004	02/10/2003	1	116	2	1	1	Annuelle
2004-2005	/	*Pas de crue identifiée cette saison*					
2005-2006	07/09/2005	1	89,3	2	1	1	Annuelle
2006-2007	15/09/2006	1	109	2	1	1	Annuelle
2007-2008	22/11/2007	1	339	2	3	2	Annuelle
2008-2009	02/11/2009	1	455	3	7	5	Annuelle
2009-2010	22/10/2009	1	249	2	1	1	Annuelle
2010-2011	31/10/2010	1	102	3	2	1	Annuelle
2011-2012	28/10/2011	1	165	1	3	2	Annuelle
2012-2013	26/10/2012	1	321	2	2	1	Annuelle
2013-2014	20/01/2014	1	118	1	1	1	Annuelle
2014-2015	18/09/2014	1	573	2	5	3	Annuelle
2015-2016	13/09/2015	1	631	3	4	2	**Biennale**
2016-2017	15/09/2016	1	102	1	1	1	Annuelle
2017-2018	05/11/2017	1	125	1	1	1	Annuelle
2018-2019	15/10/2018	1	298	2	3	1	Annuelle
MOYENNE :			*284,3*	*2,3*	*3,0*	*2,1*	

→ *Secondes crues*

Secondes crues saisonnières identifiées sur la partie aval de l'Hérault 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	19/11/1989	2	912	5	7	3	**Biennale**
1990-1991	23/10/1990	2	606	3	10	7	Annuelle
1991-1992	/	*Pas de crue identifiée cette saison*					
1992-1993	17/12/1992	2	180	3	10	7	Annuelle
1993-1994	15/10/1993	2	114	2	1	1	Annuelle
1994-1995	02/10/1994	2	210	2	3	1	Annuelle
1995-1996	04/10/1995	2	441	3	3	3	Annuelle
1996-1997	15/10/1996	2	624	3	6	4	Annuelle
1997-1998	26/11/1997	2	232	2	3	1	Annuelle
1998-1999	26/03/1999	2	165	1	1	1	Annuelle
1999-2000	13/11/1999	2	588	4	8	5	Annuelle
2000-2001	07/12/2000	2	124	3	2	1	Annuelle
2001-2002	/	*1 seule crue cette saison*					
2002-2003	10/10/2002	2	294	3	3	1	Annuelle
2003-2004	16/11/2003	2	510	3	4	2	Annuelle
2004-2005	/	*Pas de crue identifiée cette saison*					
2005-2006	16/10/2005	2	284	3	7	3	Annuelle
2006-2007	25/09/2006	2	307	2	2	1	Annuelle
2007-2008	05/01/2008	2	397	4	5	3	Annuelle
2008-2009	15/12/2009	2	144	3	1	1	Annuelle
2009-2010	15/01/2010	2	370	1	3	2	Annuelle
2010-2011	23/12/2010	2	475	3	4	2	Annuelle
2011-2012	02/11/2011	2	879	2	14	10	**Biennale**
2012-2013	10/11/2012	2	283	2	3	1	Annuelle
2013-2014	/	*1 seule crue cette saison*					
2014-2015	29/09/2014	2	457	2	4	2	Annuelle
2015-2016	28/10/2015	2	342	2	3	1	Annuelle
2016-2017	14/10/2016	2	615	2	4	3	Annuelle
2017-2018	08/01/2018	2	275	2	2	1	Annuelle
2018-2019	01/11/2018	2	344	1	3	2	Annuelle
MOYENNE :			*391,2*	*2,5*	*4,5*	*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.migrateursrhonemediterranée.org

MIGRATEURS
RHÔNE-MÉDITERRANÉE