



- RAPPORT D'ETUDE -

2022 N° 9/16

# Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens

Suivi 2021-2022 par RFID sur la Cagne  
& résultats préliminaires 2022-2023

PERRIER C., RIVOALLAN D., CAMPTON P. • Mai 2023



Photo de couverture  
(© *MRM*)

Référence à citer

PERRIER C., RIVOALLAN D., CAMPTON P., 2023. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Suivi 2020-2021 par RFID sur la Cagne résultats préliminaires 2022-2023, 15 p.

# 1 Contexte et objectifs

L'anguille européenne est un migrateur amphihalien soumis à de multiples pressions, qui ont conduit à une forte régression de cette espèce, aujourd'hui classée en danger critique d'extinction (réduction de plus de 95% des effectifs en 40 ans)<sup>1</sup>.

Parmi ces différentes pressions, plusieurs études ont montré un retard à la migration ou une surmortalité significative des futurs reproducteurs, en lien avec la présence d'aménagements hydroélectriques<sup>2 3</sup>.

Cette migration, appelée « dévalaison » des anguilles argentées, constitue la première étape de leur voyage vers leur aire de reproduction de la Mer des Sargasses<sup>4</sup>. Il est donc indispensable de faciliter le bon déroulement de cette étape clef de leur cycle de vie, en adaptant la gestion des ouvrages hydroélectriques au moment des pics de migration.

Pour mettre en place une gestion efficace, il faut donc pouvoir prédire rapidement et le plus précisément possible les périodes « critiques » où cette migration se produit. L'expérimentation conduite par MRM depuis 2017 sur la Cagne, petit fleuve côtier des Alpes-Maritimes, vise à répondre à cette problématique, pour laquelle très peu de données sont disponibles en Méditerranée.

L'étude repose sur une approche *in situ*, consistant à suivre les déplacements d'anguilles européennes, *via* la technologie RFID, pour :

- Identifier les principales fenêtres de migration ;
- Déterminer les paramètres impulsant la dévalaison ;
- Étudier l'argenteure et les déplacements des anguilles en contexte méditerranéen.

Ce suivi a permis d'acquérir un retour d'expérience sur 6 saisons de dévalaison (2017-2022). De même, l'étude a également permis d'apporter de solides arguments vis-à-vis de la fiabilité de la technologie RFID pour un suivi sur un petit fleuve côtier. Le matériel a permis d'acquérir des données précieuses, malgré les conditions hydrologiques particulières rencontrées en Méditerranée (épisodes cévenols imprévisibles et intenses).

Ce rapport présente les résultats finaux de la saison de migration 2021-2022, ainsi que les premiers retours de la saison 2022-2023, encore en cours. En parallèle, grâce à une nouvelle campagne de marquage conduite en 2022, des anguilles déjà marquées en 2019 ont pu être recapturées. Ce rapport présentera l'évolution de leur croissance et de leur stade de maturation.

Les résultats obtenus pour la saison 2021-2022 seront ensuite mis en perspectives par une approche basée sur des modèles prédictifs de dévalaison, développés par le *MNHN et EDF R&D*<sup>5</sup>. Cette approche permettra de conforter ou non les tendances qui semblent se dégager de ce suivi après plusieurs saisons.

---

<sup>1</sup> : Dekker W., 2003. Worldwide decline of eel resources necessitates immediate action. *Fisheries*, 28(12): 28-30.

<sup>2</sup> : Winter H. V., Jansen H. M., Breukelaar A., 2007. Silver eel mortality during downstream migration in the River Meuse, from a population perspective. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1444-1449.

<sup>3</sup> : Dainys, J., Staknas, S., Gorfine, H., Ložys, L. 2018. Mortality of silver eels migrating through different types of hydropower turbines in Lithuania. *River Research and Applications*, 34(1): 52-59.

<sup>4</sup> : Wright, R.M., Piper, A.T., Aarestrup, K. *et al.*, 2022. First direct evidence of adult European eels migrating to their breeding place in the Sargasso Sea. *Sci Rep* 12, 15362.

<sup>5</sup> : Teichert N., Tétard S., Trancart T., De Oliveira E., Acou A., Carpentier A., Bourillon B., Feunteun E., 2020. Towards transferability in fish migration models: A generic operational tool for predicting silver eel migration in rivers, *Science of The Total Environment*, Vol. 739: 140069.

## 2 La technologie RFID et son fonctionnement

Une présentation détaillée de l'étude et du fonctionnement de la technologie RFID est disponible sur le site de l'association MRM [via ce lien](#).

### 2.1 Le marquage des anguilles par Pit-Tags

Depuis 2017, 577 anguilles ont été marquées à l'aide de transpondeurs miniatures (23 mm), appelés Pit-Tags, implantés par chirurgie dans la cavité néo-péritonéale des animaux, placés sous anesthésie générale. En 2022, 184 anguilles supplémentaires ont été marquées, et 48 anguilles issues de marquages précédents ont été recapturées.

La procédure est réalisée par du personnel habilité, formé aux techniques de marquage. L'association MRM, qui s'était auparavant appuyé sur les compétences de l'OFB, a obtenu en 2022 un agrément lui permettant de réaliser ce genre d'expérimentation *in situ* de façon autonome, sous le contrôle d'un comité d'éthique spécialisé (CEEA 71).

Quatre campagnes de marquages ont été conduites depuis 5 ans (2017, 2018, 2019 et 2022). Les deux premières ont ciblé exclusivement des anguilles prêtes ou quasiment prêtes à dévaler, tandis que les suivantes ont également ciblé les stades immatures (*Figure 1*). Pour rappel, les anguilles sont classées par stade de développement selon plusieurs critères (taille/poids, diamètre oculaire, taille de la nageoire pectorale) attestant d'une préparation à la migration de dévalaison. On distingue les : stades immatures : FI et FII / Stade immature en transition : FIII / Stade dévalant : FIV, FV (femelles) et MD (mâles).

Une extension du protocole de marquage à des individus immatures a été validée en COGEPOMI en 2019, dans le but d'inscrire l'étude sur un temps long et d'étudier la croissance et les déplacements des anguilles dans le système d'étude.

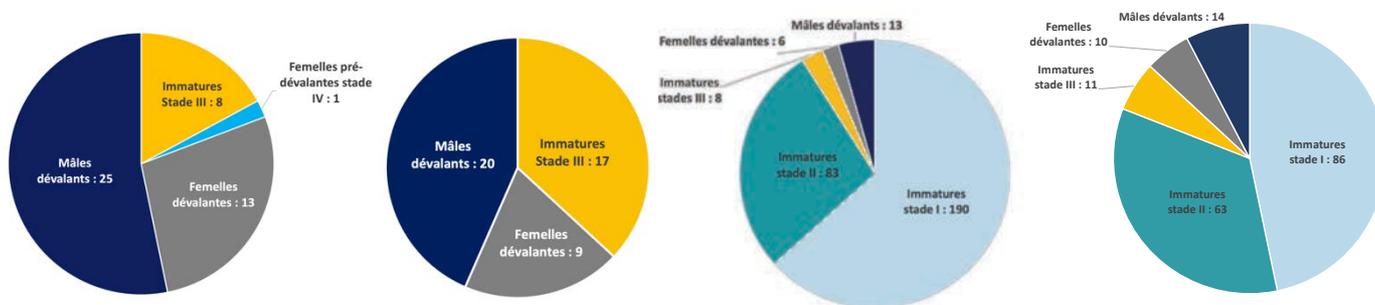


Figure 1 : Bilan des marquages d'anguilles réalisés sur la Cagne en 2017, 2018, 2019 et 2022 (de gauche à droite)

### 2.2 Les systèmes de détection RFiD

Le suivi sur la Cagne mobilise deux types d'antennes RFID (*Figures 2*) :

→ 2 paires de dispositifs fixes situés sur la partie aval du bassin versant (sites de *Bugadières* à l'aval, et site de *Pont-des-Salles*, 5km en amont), destinées à capter les anguilles en cours de migration.

→ 4 antennes mobiles, une déclinaison portative du modèle fixe, utilisées pour des prospections à pied et destinées à dénombrer les anguilles à l'intérieur du site d'étude.



Figure 2 : A gauche, une des antennes fixes installées dans le lit de la Cagne. A droite, les antennes mobiles utilisées lors des prospections à pied.

## 3 Résultats de la saison 2021-2022

### 3.1 Détections 2021-2022

Le prérequis à tout lancement d'une nouvelle saison d'étude de la dévalaison est simple : connaître, de la façon la plus précise possible, le nombre d'anguilles marquées encore présentes dans le système d'étude. Cette variable est estimée grâce à des prospections avec du matériel Rfid portatif : on parle de « Tracking mobile ».

#### a) Les détections réalisées via le Tracking-mobile

- Une efficacité des prospections en hausse

Comme en 2021, deux sessions de Tracking successives ont été menées en 2022 (en juin, puis en Août). Pour rappel, l'ajout d'un second passage au mois d'Aout avait permis de détecter 45% d'anguilles supplémentaires en 2021 . Cette méthode a donc été reconduite en 2022. Les résultats et le total de ces deux sessions 2022 sont présentées ans le *Tableau 1* ci-dessous, et comparés aux résultats des années précédentes.

Tableau 1 : Bilan des détections des dernières campagnes de Tracking-mobile

Tracking 2020	Tracking 2021			Tracking 2022		
	Session unique	Session 1 (juin)	Session 2 (septembre)	TOTAL 2021	Session 1 (juin)	Session 2 (Août)
131* anguilles	157** détections	147** détections	209 anguilles	143 <sup>A</sup> détections	128 <sup>A</sup> détections	178 anguilles
* : dont 20 n'ont pas dévalé et/ou n'ont pas été détectées en 2021. Elles peuvent donc être ajoutées au total				A : Dont 91 anguilles détectées lors des deux sessions, soit 178 anguilles au total.		
** : dont 99 détectées lors des deux sessions, soit 209 anguilles au total						

Il est intéressant de noter qu'en 2022, la seconde campagne de Tracking a permis de détecter 38 nouvelles anguilles, soit environ 21% d'anguilles supplémentaires.

Ce résultat peut potentiellement s'expliquer de 2 façons complémentaires. D'une part, par une très bonne efficacité de prospections lors du premier passage en juin 2022, qui avait permis :

- De redétecter 122 anguilles déjà détectées en Tracking mobile en 2020 ou 2021 ;
- De détecter 16 nouvelles anguilles qui n'avaient jamais été recontactées depuis leur marquage en 2019.

D'autre part, 2 antennes mobiles sont tombées en panne pendant la seconde session de Tracking, limitant les possibilités de prospection par endroit. De même, au mois de juin, l'une des antennes mobiles avait détecté 5 anguilles qui n'ont pas pu être identifiées (Tag identifié dans un format inconnu, vraisemblablement en lien avec la panne survenue par la suite). Il n'est donc pas possible de statuer sur une éventuelle primo-détection pour ces 5 individus.

Si l'on tient compte du nombre total de dévalaisons déjà enregistrées depuis le lancement de l'étude (87), du nombre total d'anguilles marquées (396) et du nombre total d'anguilles déjà détectées en Tracking depuis 2020 (257), **on peut estimer qu'environ 73% des anguilles encore présentes sur le site d'étude ont été détectées**. Ce chiffre est un minimum, car il ne tient pas compte des dévalaisons hors champ de détection des antennes, qui semblent avoir été nombreuses en 2019 (une trentaine d'individus argentés jamais retrouvés en Tracking-mobile). **Le doublement des sessions permet donc d'augmenter sensiblement l'efficacité de ces prospections, et doit être pérennisé.**

- **Un comportement très sédentaire mis en évidence chez les anguilles marquées**

**Le Tracking 2022 a majoritairement permis de détecter des anguilles issues du marquage 2019** (seuls 5 anguilles de 2018 et une de 2017 ont été détectées). Ce sont quasi uniquement des individus de stade immatures FI ou FII (respectivement 61% et 29% des détections). Seuls 15 individus potentiellement dévalants (5 FIII, 1 FV et 5 MD) ont pu être recontactés. **Cette répartition est très proche de celle observée après le Tracking 2021.**

**L'ensemble des sessions de Tracking menée depuis 2020 a aussi permis de mettre en avant la forte sédentarité des anguilles marquées** (*Figure 3 en page suivante*). La très grande majorité ne se déplacent que de quelques dizaines de mètres entre chaque année, et restent à proximité de leur site de marquage. On note ainsi des zones de *sur-détections* à proximité des points de marquage, où plusieurs dizaines d'individus sont retrouvés.

Compte tenu de la précision des GPS utilisés pour annoter la position des anguilles (une dizaine de mètres), ainsi que celle du matériel RFID (environ 1m) il est toutefois délicat d'évaluer avec précision les déplacements des anguilles. L'investissement dans des modèles d'antennes mobiles pourvus de systèmes GPS intégrés pourrait permettre de gagner en précision. Une version interactive de cette carte, retraçant les détections effectuées lors des Tracking-mobiles 2019-2020-2021-2022 est disponible en libre accès sur le [site Umap](#).

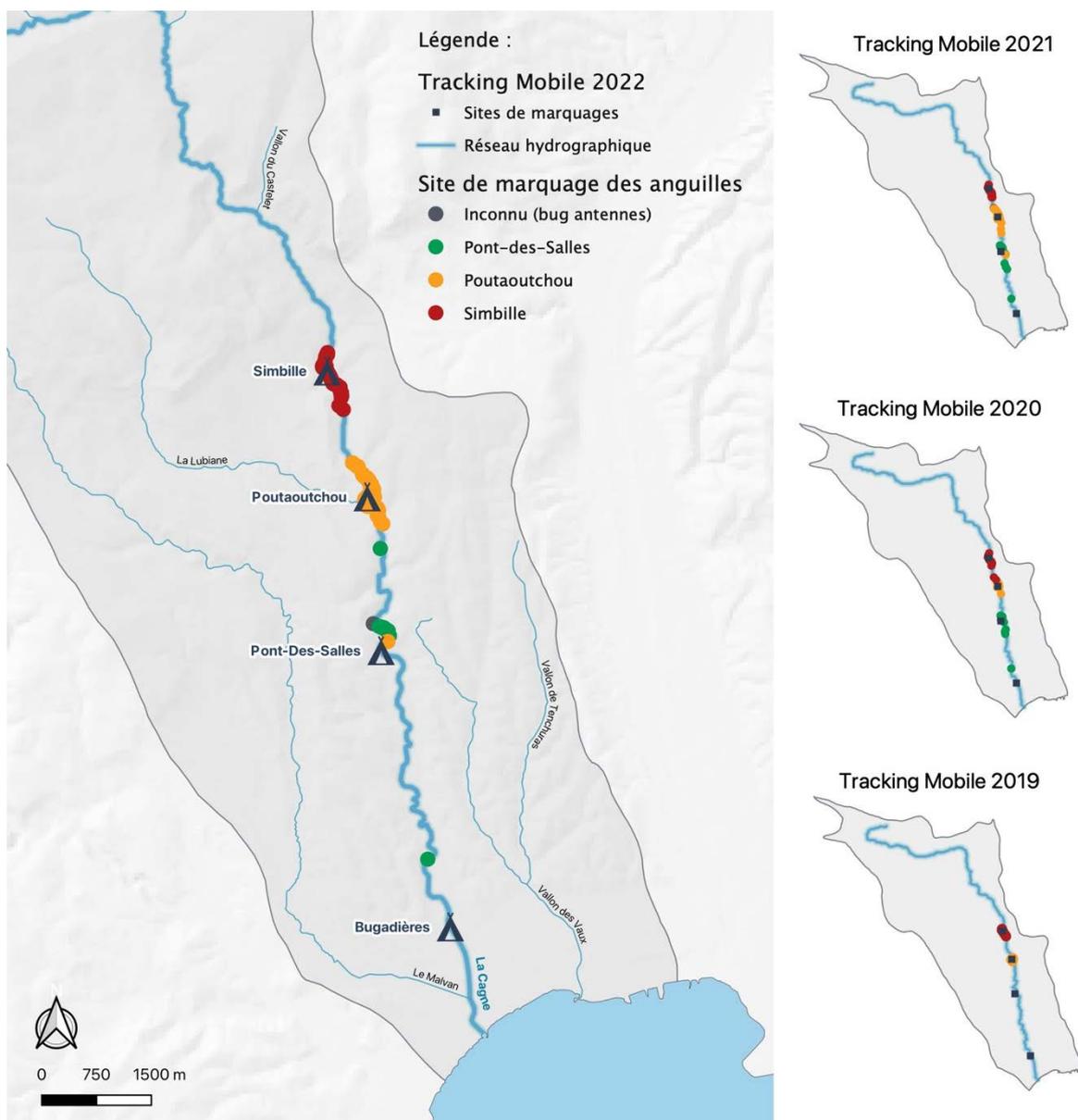


Figure 3 : Analyse interannuelle de la sédentarité des anguilles marquées de la Cagne, en comparant les sites de marquages des individus à leurs sites de détections

### b) Quel schéma de migration pour la saison 2021-2022 ?

Le suivi a été complet cette saison, avec un fonctionnement sans interruption des antennes fixes du 01/09 au 30/04. 17 détections ont été effectuées sur le site aval (Bugadières), et 14 sur le site amont (Pont-des-Salles). Certaines anguilles ayant été détections sur les deux sites, il est possible de modéliser une cinétique de dévalaison. Ce point sera abordé ultérieurement dans le rapport. Un bilan des détections de la saison 2021-2022 est proposé dans le *Tableau 2*.

Tableau 2 : Bilan des détections des antennes fixes RFID sur la saison 2021-2022

STADE	Code Pit-Tag	BUGADIERES (aval)		PONT-DES-SALLES (amont)	
		DATE	HEURE	DATE	HEURE
FII	CA19_259	01/04/2022	18:38:26	05/01/2022	23:52:21
FI	CA19_046	11/03/2022	22:17:03	11/03/2022	14:19:28
FI	CA19_266	25/12/2021	17:13:46	01/11/2021	18:54:50
FI	CA19_034			01/11/2021	22:10:35
FII	CA19_273	01/11/2021	21:28:19		
FII	CA19_255	01/11/2021	20:37:52		
FIII	CA19_193	01/11/2021	19:42:00	01/11/2021	18:23:10
FI	CA19_002	01/11/2021	19:32:05	01/11/2021	12:27:02
FII	CA19_224	01/11/2021	19:20:17	01/11/2021	17:37:03
FIII	CA18_037	01/11/2021	19:17:28	01/11/2021	17:36:40
FI	CA19_017	01/11/2021	18:58:30	01/11/2021	17:01:21
FI	CA19_214	01/11/2021	18:44:07	01/11/2021	13:03:53
FI	CA19_031	01/11/2021	18:42:45	01/11/2021	12:53:12
FI	CA19_137	01/11/2021	18:41:16		
FI	CA19_011	01/11/2021	18:36:46	01/11/2021	13:19:22
MD	CA18_013	01/11/2021	18:22:54	01/11/2021	13:49:04
FI	CA19_029	01/11/2021	18:13:09		
FI	CA19_008	01/11/2021	18:09:22	04/10/2021	19:15:43

Le schéma de migration observé cette saison est comparable à celui de la plupart des saisons de suivi de la Cagne. Un unique pic de 14 dévalaisons a été enregistré au début du mois de novembre 2021, à l'occasion de la première hausse de débit notable de cette saison particulièrement sèche.

Comme la saison dernière, la majorité des anguilles détectées sont identifiées comme des stades immatures, mais il convient de garder à l'esprit que l'évaluation de leur stade de croissance date de 2019. Il est donc pertinent de supposer qu'au moins certaines de ces anguilles ont pu s'argenter depuis. De recaptures récentes, réalisées dans le cadre du tout dernier marquage 2022, apportent des informations en ce sens.

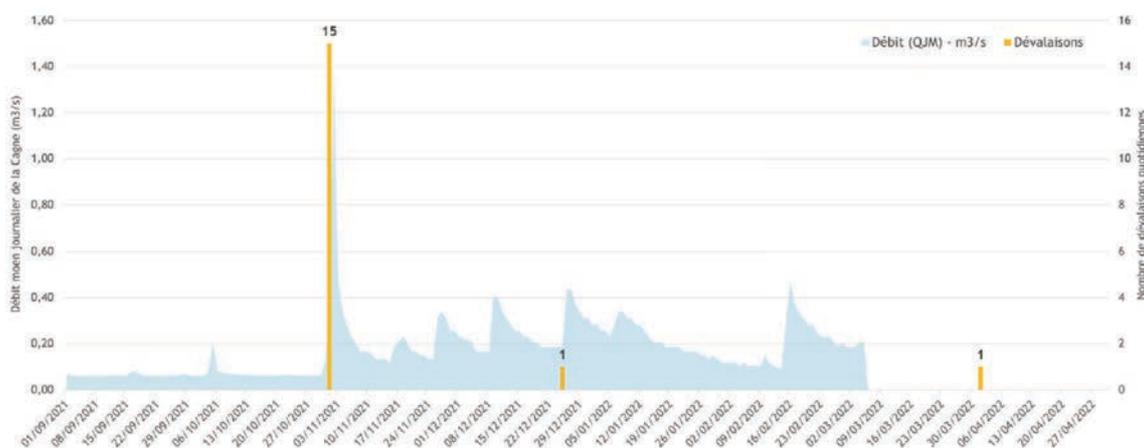


Figure 4 : détections réalisées sur les antennes du site aval (Bugadières) sur la saison 2021-2022

L'analyse des détections réalisées sur les deux sites de suivis permet de classer les déplacements migratoires des anguilles en deux catégories cette saison :

- **Des dévalaisons *ininterrompues*** : La plupart des anguilles migrantes de la saison ont franchi les 5km séparant les deux stations le 01/11/2021, en quelques heures à peine.
- **Des dévalaisons *par étape*** : trois individus ont été détectés en deux temps : sur le site amont de Pont-des-Salles lors d'un coup d'eau N, puis sur le site aval de Bugadières lors du coup d'eau suivant. La durée entre deux coups d'eau est variable (de quelques jours à plusieurs semaines).

Le nombre d'individus n'ayant pas été détectés sur les deux stations est faible cette saison (moins de 20 %) en comparaison des saisons précédentes. En effet, les hauteurs d'eau étaient compatibles avec les capacités de détections du matériel. Il est aussi intéressant de noter que les individus détectés uniquement sur Pont-des-Salles en 2020-2021 (*Tableau 2* en page 5) ne sont pas les mêmes que ceux retrouvés uniquement à Bugadières en 2021-2022.

Les « dévalaisons partielles » enclenchées en 2020-2021 n'ont donc pas continué cette saison. Cela permet de conforter l'hypothèse selon laquelle certains individus n'ont pas réellement « dévalé », mais ont plutôt été emportés lors d'un pic de débit. Il est vraisemblable qu'ils se soient installés quelque part entre les deux sites de suivi.

Également, la proportion d'individus « dévalants » identifiés comme des anguilles immatures FI/FII en 2019 est majoritaire (16/19, soit 85 %, contre 13 % en 2019-2020) cette saison, ce qui confirme la tendance observée en 2020-2021. **La recapture d'individus déjà marqués est donc primordiale pour étudier en détail l'évolution du stade de maturité.**

### c) Analyse horaire de la cinétique de dévalaison du 01 novembre 2021

Pour rappel, un seul épisode de dévalaison notable a été enregistré au tout début du mois de novembre. Les données fournies par Nice Métropole font état d'une hauteur d'eau d'environ 60cm de la Cagne au plus fort du pic de débit. Il est intéressant de constater que lors de cet événement hydrologique, la totalité des détections d'anguilles des deux stations fixes ont été enregistrées entre 17h et 22h30 le 01/11/2021. Dès lors, une analyse plus fine de la corrélation entre l'augmentation horaire de débit et le moment de la dévalaison des anguilles s'impose.

La hausse rapide du niveau de l'eau le 01/11 (environ 40 cm en 4h), semble avoir stimulé le départ des anguilles, comme le montrent les détections enregistrées dès 17h sur le site amont. Les individus ont mis entre 1h et 5h pour parvenir au site aval, comme l'illustre la *Figure 5* en page suivante, qui décrit la succession de détections enregistrées. Compte tenu du nombre important de dévalaisons simultanées entre 18h et 20h, certaines anguilles ont été masquées afin que la figure reste lisible.

Ce résultat, qui confirme des tendances déjà observées précédemment, semble mettre en avant le caractère opportuniste de la dévalaison, qui semble pouvoir s'amorcer très rapidement dès lors que les conditions deviennent favorables. Il n'est toutefois pas possible de différencier les anguilles qui ont dévalé de leur plein gré de celles qui ont été emportées « involontairement ».

## Suivi par RFID sur la Cagne - Saison 2021-2022 -

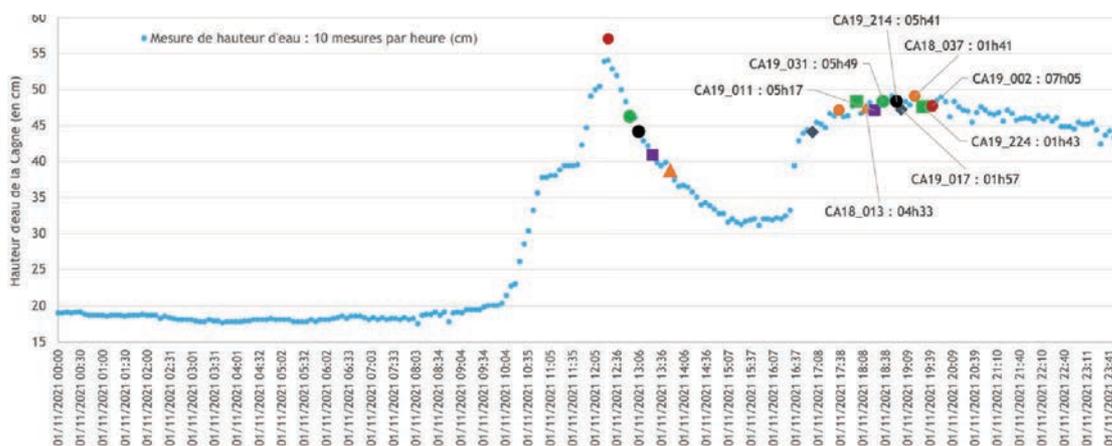


Figure 5 : Analyse des horaires de détection des anguilles marquées lors du pic de migration du 01/11/2021

### 3.2 Données préliminaires pour la saison 2022-2023

#### a) Des recaptures essentielles pour comprendre la croissance des anguilles en rivière.

Comme évoqué précédemment, une nouvelle campagne de marquage a été conduite en septembre 2022, afin de marquer des anguilles supplémentaires, en vue d'une pérennisation du suivi. Si 184 nouvelles anguilles ont pu être équipées de transpondeurs, cette campagne a aussi permis de recapturer 48 individus qui avaient déjà été marqués les années précédentes (46 en 2019, 1 en 2018 et 1 en 2017).

Une biométrie complète a été effectuée sur ces 48 individus après anesthésie : mesure de la taille du corps, du diamètre oculaire, de la longueur de la nageoire pectorale. Ils ont également été pesés. Ces données biométriques ont ensuite été utilisées pour définir leur stade de croissance en 2022, et comparer ce stade avec celui issu de leur précédente biométrie en 2019, 2018 ou 2017.

Les évolutions sont hétérogènes, mais en moyenne, les anguilles ont grandi d'environ 25 mm depuis 2019 et ont grossi d'environ 30 g. Des évolutions de stade de croissance, ainsi que des phénomènes d'argenture, ont également pu être observés. La Figure ci-dessous résume les évolutions de stades observées pour les 46 anguilles issues des biométries 2019. Notons que les deux anguilles recapturées issues des marquages 2017 et 2018 sont exclues, car leur temps de croissance est différent et risque de biaiser les résultats de l'analyse. De plus, leur faible nombre exclu toute analyse séparée.



Figure 6 : Evolution du stade de croissance en 3 ans, sur un lot de 46 anguilles immatures marquées en 2019

Les évolutions biométriques liées aux 8 argentures mises en avant par la Figure précédente sont détaillées dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Evolutions biométriques des 8 anguilles marquées ayant subi une argenture entre 2019 et 2022

	Biométrie 2019					Biométrie 2022				
	Taille (mm)	Poids (g)	LN (mm)	Dm (mm)	Stade	Taille (mm)	Poids (g)	LN (mm)	Dm (mm)	Stade
CA19_065	503	229	24,12	5,86	FII	536 (+ 33)	305 (+ 76)	30,23 (+6)	7,98	FV
CA19_169	423	164	23,05	3,46	FI	443 (+ 20)	175 (+ 11)	24,65 (+1)	6,37	MD
CA19_204	493	226	20,54	5,06	FII	486 (- 7)	240 (+ 14)	25,98 (+6)	6,64	MD
CA19_223	520	261	23,42	6,06	FII	563 (+ 43)	340 (+ 79)	26,68 (+3)	6,44	FIII
CA19_248	549	276	25,94	5,74	FII	565 (+ 16)	375 (+ 99)	32,8 (+7)	7,46	FV
CA19_288	456	179	21,37	6,29	FII	491 (+ 35)	205 (+ 26)	24,81 (+3)	6,84	FIII
CA19_291	543	339	23,07	6,62	FII	644 (+ 99)	510 (+ 171)	32,91 (+9)	7,55	FIII
CA19_300	476	233	21,32	5,34	FII	505 (+ 29)	280 (+ 47)	25,79 (+4)	8,05	FV

#### b) Un schéma de dévalaison « standard », similaire à la saison 2021-2022

L'analyse des premiers résultats de la saison de dévalaison en cours semble montrer une dynamique de dévalaison similaire à la grande majorité des saisons précédentes, avec des migrations qui semblent s'enclencher lors de la première élévation soudaine de débit.

L'année 2022 ayant été particulièrement sèche, ce premier pic de débit est survenu très tard, au début du mois de décembre. **13 dévalaisons ont ainsi été enregistrées le 09/12/2022, puis 3 supplémentaires le 15/12/2022.** Il est intéressant de noter que parmi les dévalaisons observées, on trouve l'une des anguilles décrites dans le Tableau 3 (CA19\_300, qui s'est argenté depuis 2019).

Après plus de 5 années de suivi, il est raisonnable de conclure que sur les petits côtiers, les premiers pics de débits qui surviennent après les périodes estivales sont le principal facteur à surveiller pour anticiper efficacement les mouvements de dévalaison de l'Anguille européenne.

En effet, l'augmentation des précipitations sur la période automnale (et donc du débit) va provoquer des modifications physico-chimiques du milieu, qui tranchent avec les étiages de la période estivale (hausse du débit, chute brutale de la température, augmentation de la turbidité, baisse de la luminosité, etc.). Or, ces différents paramètres vont agir de façon synergique sur les anguillidés, en stimulant leur comportement de migration<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> : Haro A., 2003. Downstream migration of Silver-Phase Anguillid Eels. In: Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K. (eds) Eel Biology. Springer, Tokyo: 215-222.

### c) Analyse de la cinétique de dévalaison sur le premier pic de migration 2022-2023

Compte tenu du nombre important de dévalaisons lors de la journée du 09 décembre 2022, il est intéressant d'étudier à nouveau les horaires de détection des différentes anguilles, en lien avec la variation de la hauteur d'eau de la Cagne. Cette analyse, similaire à celle conduite en Figure 5 pour la saison 2021-2022, permet de se faire une idée des conditions hydrologiques privilégiées par les anguilles pour lancer leur migration, mais fournit aussi de précieuses informations sur la vitesse de dévalaison globale des anguilles. Les résultats sont présentés dans la *Figure 7* ci-dessous :

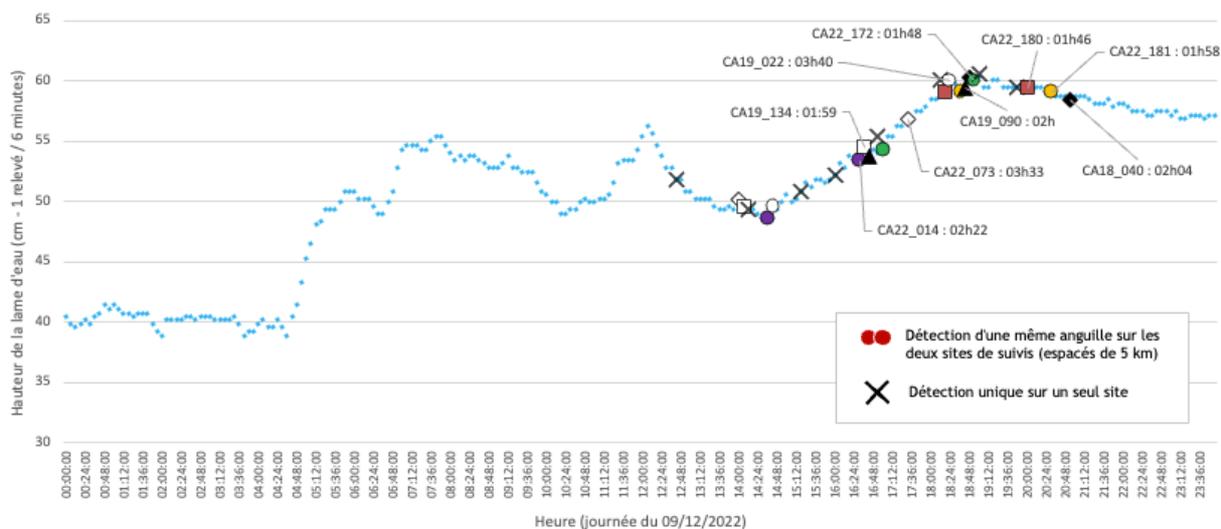


Figure 7 : Analyse des horaires de détection des anguilles marquées lors du pic de migration du 09/12/2022.

La hausse rapide du niveau de l'eau le 09/12/2022 semble avoir stimulé le départ des anguilles, comme le montrent les détections enregistrées dès 13h sur le site amont.

Les différentes anguilles ont mis entre 1h et 4h pour parcourir les 5km séparant les deux sites de suivi, un résultat comparable à celui de l'analyse similaire menée pour la saison précédente. Ce résultat, comme le précédent, illustre le caractère opportuniste de la dévalaison, qui s'amorce très rapidement dès lors que les conditions deviennent favorables.

Il convient aussi de noter que le premier coup d'eau significatif intervient très tard lors de cette saison, et les anguilles profitent alors de la moindre hausse de débit pour rejoindre la mer. Il s'avèrera pertinent de reconduire cette analyse les saisons prochaines, notamment pour observer si les conclusions des saisons 2021-2022 et 2022-2023 se répètent.

### 3.3 Quelle application concrète pour ces résultats ?

Pour rappel, il est aujourd'hui admis que la présence sur les axes de migration d'ouvrages hydroélectriques est susceptible d'engendrer un retard à la migration, ou une surmortalité significative des futurs reproducteurs d'anguilles européennes ; la mortalité intervenant principalement lors du passage des poissons par les turbines.

MRM développe donc depuis 2019 une méthode pour identifier les pics de débit susceptibles d'engendrer de la dévalaison. Une synthèse bibliographique, associée à l'étude Cagne <sup>7</sup> a montré que des pics de dévalaisons étaient souvent observés pour des débits très inférieurs au seuil de crue biennal, plus faible valeur de référence accessible sur Banque-Hydro. MRM a donc expérimenté des simulations de dévalaison avec une valeur seuil inférieure à ce seuil de crue biennal, correspondant à **2x le module** d'un cours d'eau étudié.

Les précédentes expérimentations avaient montré de bons résultats, puisque tous les épisodes de dévalaison enregistrés sur la Cagne depuis 2017 avaient eu lieu pour des débits supérieurs au seuil « *2x le module* ». Néanmoins, le retour d'expérience de la saison 2021-2022 semble indiquer qu'en présence d'une année particulièrement sèche, la dévalaison peut avoir lieu en légèrement en deçà de ce seuil de 2x le module (1,4 m<sup>3</sup>/s en 2021, alors que le seuil 2x le module de la Cagne est de 1,7 m<sup>3</sup>/s).

Cette exception ne remet toutefois pas en cause la viabilité globale de la méthode proposée par MRM. En effet, lors d'une saison particulièrement sèche avec un premier coup d'eau tardif, les dévalaisons observées montrent que les anguilles tirent parti du moindre pic de débit pour dévaler. Ainsi, le premier coup d'eau saisonnier apparaît primordial à prendre en compte dans le cadre d'actions de gestion, peu importe son intensité.

### 3.4 Comparaison des résultats 2021-2022 avec les prédictions du modèle *SilvRpeak*

#### a) Présentation rapide de l'outil et rappel des résultats précédents

*SilvRpeak* est un outil de modélisation qui peut être utilisé sous forme de « package » via le logiciel de statistique R, pour visualiser des périodes probables de dévalaison à partir de données de débit journalières. Développé conjointement par le MNHN, EDF R&D et l'OFB ce modèle a été publié dans *Science of the Total Environment*.

L'utilisation de ce modèle permet de confronter des dévalaisons « théoriques », identifiées automatiquement, à celles observées in situ sur la Cagne. Cette approche permet de tester la fiabilité du modèle du MNHN pour les petits fleuves côtiers Méditerranéens.

Pour rappel, les essais réalisés l'an dernier sur les saisons 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 et 2020-2021 se sont montrés très encourageants. **Une forte concordance avait été observée entre les observations *in situ* et les prédictions du modèle.** En effet, toutes les détections sur le terrain sont réalisées pour des conditions de débit où le modèle prédisait une forte probabilité de dévalaison (même si *SilvRpeak* prédit plus d'évènements que ce qui est réellement observé grâce aux anguilles marquées).

Les essais avaient aussi mis en lumière la prédisposition du modèle *SilvRpeak* à « surestimer » le nombre d'évènements potentiellement intéressants sur les petits cours d'eau méditerranéens, où des variations mineures de débits (de l'ordre de 0,1 → 0,5 l/s) vont parfois « affoler » le modèle.

<sup>7</sup> : Perrier C., Campton P., 2021. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Suivi 2019/2020 RFID sur la Cagne & Caractérisation du fonctionnement hydrologique des côtiers de grande envergure. 52p. + Annexes.

**b) Prédiction de dévalaison 2021-2022 par le modèle SilvrPeak.**

Les données de débit de la Cagne disponibles pour la saison de migration 2021-2022 ont été analysées via le package *SilvrPeak*. Le résultat est présenté dans la Figure 8 ci-dessous. Les dévalaisons d'anguilles marquées observées in situ sont symbolisées par un astérisque.

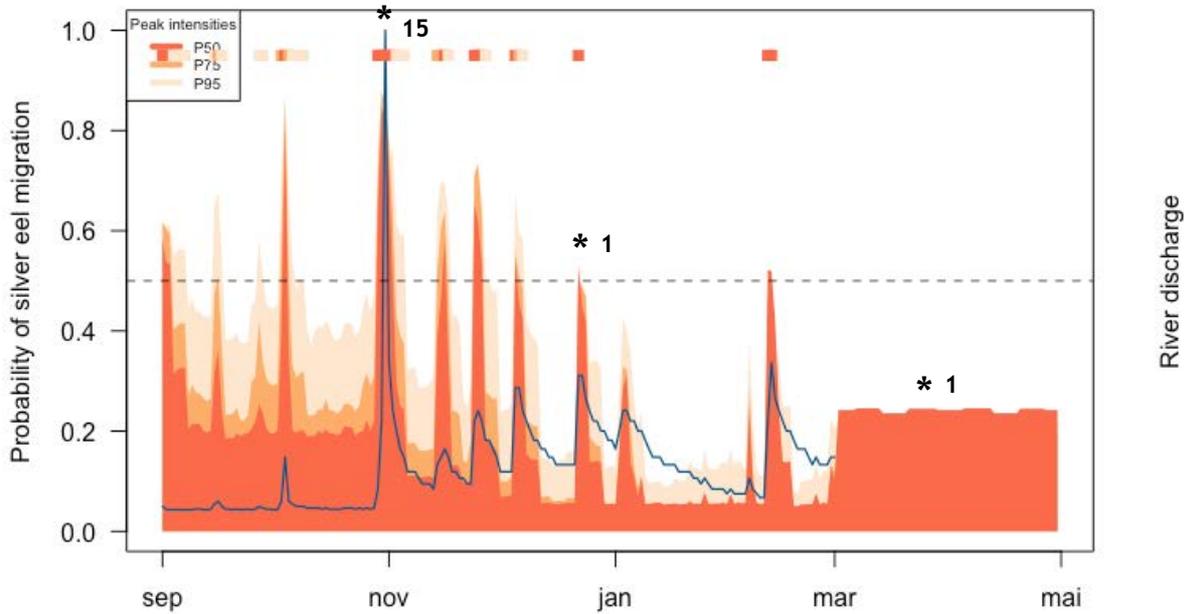


Figure 8 : Episodes de dévalaison prédit sur la Cagne par le modèle *SilvrPeak* pour la saison 2021-2022.

La plus forte probabilité de dévalaison identifiée par le modèle (plus de 80% au 01/11/2021) correspond aux 15 dévalaisons observées ce même jour grâce aux antennes RFID.

Le modèle identifie toutefois d'autres pics de débits potentiellement stimulants pour la dévalaison, notamment à la mi-octobre et au mois de décembre. Ces prédictions sont intéressantes, car il convient de bien garder à l'esprit que les dévalaisons enregistrées par RFID ne sont pas représentatives de l'ensemble des fenêtres de migration, potentiellement exploitables par des anguilles non marquées.

## Conclusion

Grâce à cette étude, la thématique de l'Anguille européenne et de sa préservation s'est implantée au niveau local, grâce à des actions ciblées de la part de MRM, mais aussi par les multiples collaborations mises en place dans le cadre des opérations de Tracking-Mobile (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse, FDAAPPMA 06, DDTM06, Mairie de Cagnes-sur-Mer, Nice-Métropole, Service départemental 06 de l'OFB, SMIAGE Maralpin, Association Cagnes Zéro Déchet).



Figure 9 : A gauche et à droite, une intervention de MRM à Cagnes-sur-Mer lors de la fête de la Nature (22/05/2022). Au centre, les partenaires techniques impliqués dans les opérations de Tracking-mobile de 2022.

Le dédoublement de la campagne de Tracking (une session en juin, puis une autre en septembre) a permis de détecter 21% d'anguilles supplémentaires. L'application de cette nouvelle méthodologie pour les saisons à venir est préconisée. Cette double campagne a permis de détecter 178 anguilles, en majorité des individus immatures issus des marquages 2019. La forte sédentarité des anguilles marquées se confirme.

L'étude du comportement migratoire grâce aux antennes fixes permet quant à elle de mieux comprendre les facteurs environnementaux régissant la dévalaison des anguilles argentées sur les petits fleuves côtiers de Méditerranée. En effet, les résultats 2021-2022 sont similaires à ceux des autres saisons. Depuis 6 ans maintenant, les principaux pics de migration observés ont eu lieu au moment des premiers pics de débits qui surviennent après les étiages estivaux. Le retour d'expérience montre aussi que lors des saisons très sèches et avec des premiers coups d'eau très tardifs, même des hausses de débits largement inférieures au seuil de crue biennal (et à la valeur seuil 2x le module) sont suffisantes pour déclencher la dévalaison.

Les analyses horaires des dévalaisons enregistrées montrent clairement que la hausse de débit va entraîner une réponse comportementale quasi-instantanée des individus migrants. Si les conditions sont favorables, les anguilles mettent environ 1 à 4h pour franchir les 5 km séparant les deux sites de suivi. Dans le cas contraire, des pauses ont été observées dans le comportement migratoire : les anguilles stoppent leur migration lorsque les conditions hydrologiques deviennent moins favorables, puis poursuivent la dévalaison lors d'un pic de débit ultérieur.

Ces observations de terrain sont globalement corroborées par des prévisions réalisées *ex-situ* via le modèle prédictif *SilvRpeak* développé par le MNHN. La combinaison des deux approches permet donc d'apporter des propositions très concrètes en matière de gestion. Ces deux méthodes *in* et *ex situ* confirment aussi la pertinence de l'approche « 2x le module » développée par MRM depuis 2019.

La mise à disposition et l'utilisation conjointe de ces différents outils de modélisation, associée à la viabilité éprouvée par des retours de terrain, offre aujourd'hui la possibilité de prévoir de façon relativement efficace les mouvements de dévalaison de anguilles en 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
- Département des Bouches du Rhône
- Fédération Nationale pour la Pêche en France
- Électricité de France

## MEMBRES MRM

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

## PARTENAIRES TECHNIQUES

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

## Financeurs

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



## Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

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

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

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

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

ASSOCIATION MIGRATEURS  
RHÔNE-MÉDITERRANÉE

ZI Nord, rue André Chamson, 13200 Arles  
contact@migrateursrhonemediterranee.org  
Tél. : 04 90 93 39 32  
[www.migrateursrhonemediterranee.org](http://www.migrateursrhonemediterranee.org)

