



- RAPPORT D'ETUDE -

2021 N° 9/16

Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens

Suivi 2020-2021 par RFID sur la Cagne & bilan des cinq premières saisons de suivi

PERRIER C., RIVOALLAN D., CAMPTON P. • Mai 2022



Photo de couverture
(© *MRM*)

Référence à citer

PERRIER C., RIVOALLAN D., CAMPTON P., 2021. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Suivi 2020-2021 par RFID sur la Cagne et bilan des 5 premières saisons de suivi. - 15p.

1 Contexte et objectifs de l'étude

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 ans¹).

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^{2 3}.

Cette migration, appelée « dévalaison » des anguilles argentées, constitue la première étape de leur voyage vers leur aire de reproduction supposée. 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.

Toute la question est donc de savoir comment déceler 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 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 de 393 anguilles, via la technologie RFID, pour identifier d'une part les principales fenêtres de migration, et d'autre part les paramètres impulsant la dévalaison.

Ce suivi a permis d'acquérir un retour d'expériences sur cinq 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 ce type de suivi. Le matériel a permis d'acquérir des données précieuses depuis cinq ans, malgré les conditions hydrologiques particulières rencontrées en Méditerranée (épisodes cévenols imprévisibles et intenses).

Ce rapport dresse un premier bilan interannuel, visant à mettre en avant les observations récurrentes concernant le comportement de dévalaison des anguilles en méditerranée.

L'une des principales interrogations relatives à ce type d'expérimentation concerne néanmoins la transposabilité des résultats obtenus sur des systèmes de plus grande envergure. On peut en effet se demander si les résultats obtenus sur la Cagne peuvent décrire la dynamique de dévalaison d'un bassin versant de plus grande taille. MRM mène donc en parallèle de ses recherches sur la Cagne, une analyse du fonctionnement hydrologique des grands fleuves côtiers de Méditerranée.

Cette année, les résultats obtenus dans le cadre de ces deux approches seront mis en perspectives via une approche basée sur des modèles prédictifs de dévalaison, développés par le MNHN et EDF R&D⁴. Les résultats obtenus permettront de conforter ou non les tendances qui semblent se dégager de ce suivi après plusieurs saisons.

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

² : 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.

³ : 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.

⁴ : 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, 393 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.

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, obtiendra 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.

Trois campagnes de marquages ont été conduites depuis 5 ans (2017, 2018 et 2019). Les deux premières ont ciblé exclusivement des anguilles prêtes ou quasiment prêtes à dévaler (*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 le temps long et d'étudier la croissance et les déplacements des anguilles dans le système d'étude.

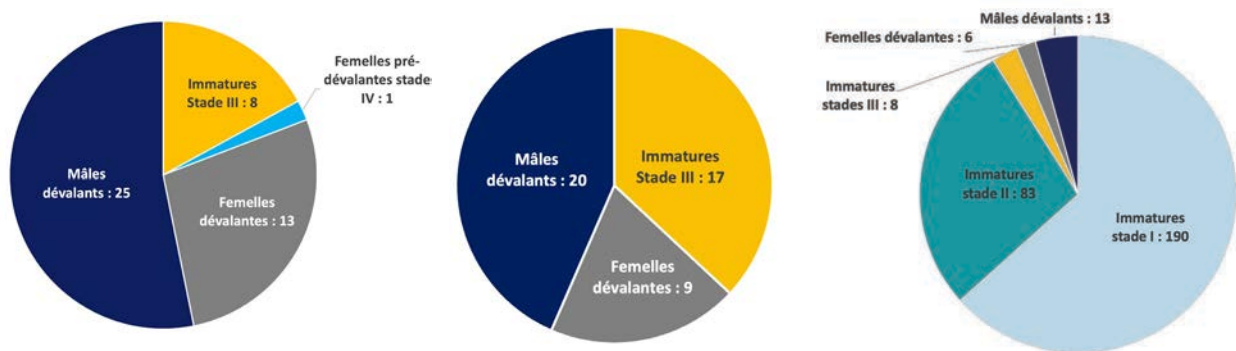


Figure 1 : Bilan des 3 campagnes de marquage réalisées en 2017, 2018 et 2019.

2.2 Les systèmes de détection RFiD

Le suivi sur la Cagne mobilise deux types d'antennes RFID (*Figures 2 et 3*) :

→ 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).

→ 4 antennes mobiles, une déclinaison portable du système fixe. Cette dernière est utilisée pour des prospections à pied destinées à suivre les anguilles à l'intérieur du système d'étude.



Figure 2 : L'une des 2 antennes fixes du site de Bugadières

3 Résultats de la saison 2020-2021

3.1 Détections 2020-2021

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.

a) Les détections réalisées via le Tracking-mobile

- Une efficacité des prospections en hausse

Grâce aux opérations de Tracking-mobile menées en 2020 et en 2021, 229 anguilles marquées ont pu être détectées, notamment grâce au doublement des campagnes de prospection en 2021, qui a permis d'augmenter de 45% le nombre d'anguilles détectées (Tableau 1) :

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

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



Figure 3 : Le matériel de Tracking-mobile de l'association MRM

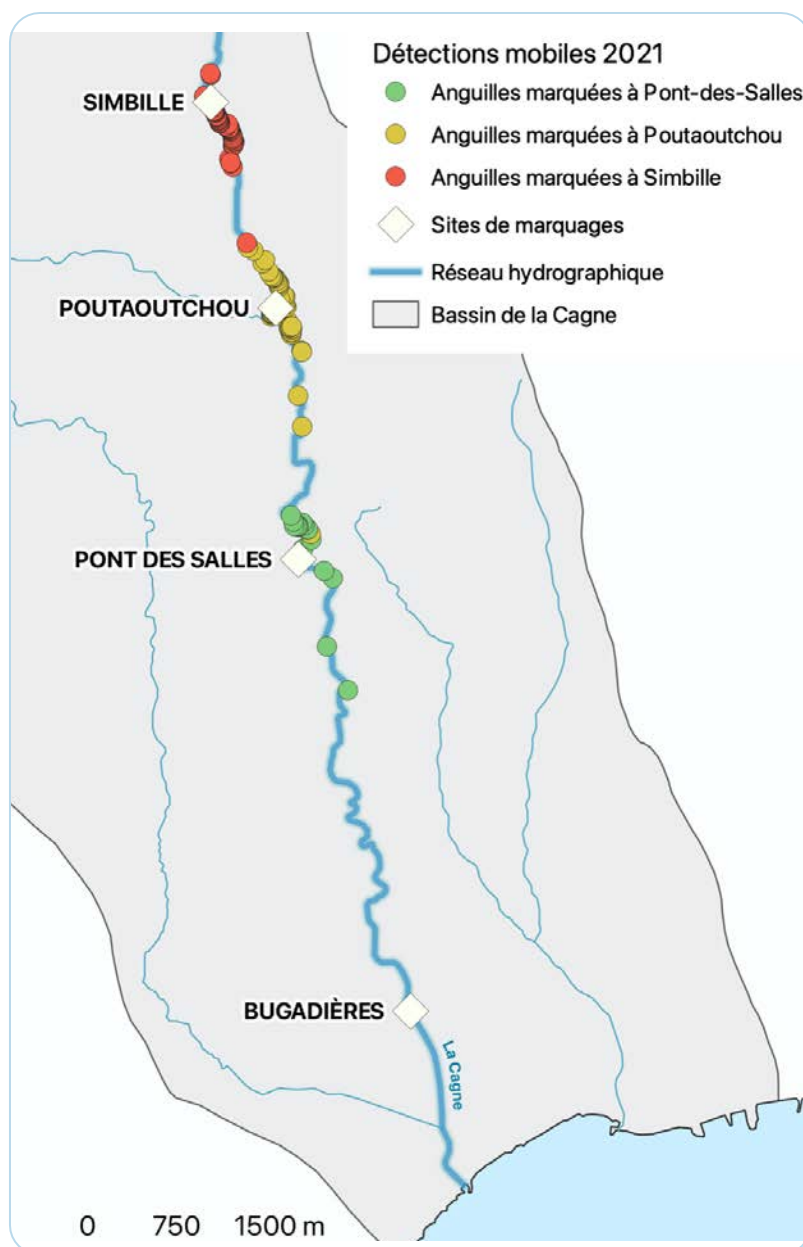
Les calculs réalisés ont permis d'estimer que la double-campagne 2021 de Tracking-mobile a permis de détecter entre 75 et 92% des anguilles encore présentes sur le site d'étude, contre 60% seulement en 2020. La mise en place saisonnière de campagnes mobiles, associées à un doublement des sessions permet donc d'augmenter sensiblement l'efficacité de ce genre de prospection.

On estime donc qu'avant le lancement de la saison de dévalaison 2020-2021, entre 229 et 285 anguilles étaient encore présentes dans le système d'étude.


- Un premier retour d'expérience sur le comportement anguilles marquées

Cette double campagne a majoritairement permis de détecter des anguilles issues du marquage 2019 (seuls guilles de 2018 et une de 2017 ont été détectées). Ce sont quasi uniquement des individus de stade immatures FI ou FII (respectivement 64% et 29% des détections). Seuls 15 individus potentiellement dévalants (6 FIII, 4 FV et 6 MD) ont pu être recontactés.

L'ensemble des sessions de Tracking a aussi permis de mettre en avant la forte sédentarité des anguilles marquées (Figure 4). La très grande majorité ne se sont déplacées que de quelques dizaines de mètres par rapport à leur dernière détection et/ou leur site de marquage. On note ainsi des zones de *sur-détections* à proximité des points de marquage, où plusieurs dizaines d'individus sont retrouvées, espacées de zones sans détection.



Une version interactive de cette carte, retraçant les détections effectuées lors des Tracking-mobiles 2019-2020-2021 est disponible en libre accès, soit :

Via le site uMap	Via le lien suivant
En écrivant <i>Tracking- mobile</i> dans la barre de recherche du site	

b) Quel schéma de migration pour la saison 2020-2021 ?

Contrairement à la saison dernière, le suivi a été complet cette saison, avec un fonctionnement sans interruption des antennes fixes du 01/09 au 30/04.

Seize détections ont été effectuées sur le site aval (Bugadières), et 11 sur le site amont (Pont-des-Salles). Certaines anguilles ont été détectées sur les deux sites.

Figure 4 : Localisation des 209 anguilles détectées lors des deux sessions de Tracking-mobile 2021

On peut aussi ajouter 4 anguilles ⁵ détectées à Pont-des-Salles alors qu'elles se déplaçaient vers l'amont. Un bilan des détections 2020-2021 est proposé dans le *Tableau 2*.

Le schéma de migration observé cette saison est inédit. Alors que la plupart des pics de dévalaison semblaient corrélés avec les premiers pics de débits lors des 3 saisons précédentes, les départs ont été beaucoup plus ponctuels et diffus cette saison, comme le montre la *Figure 5*. Le premier pic de la saison, qui aurait normalement dû être le plus stimulant au regard de son intensité, n'a entraîné qu'une seule dévalaison.

⁵ : Les anguilles CA19_039 (le 14/09/2020), CA19_048 et CA19_020 (le 15/09/2020) et CA18_025 (le 01/12/2020) ne sont pas comptabilisées dans le *Tableau 2*, car elles peuvent à nouveau franchir l'antenne de Pont-des-Salles

Tableau 2 : Bilan des détections des antennes fixes RFID sur la saison 2020-2021

STADE	Code Pit-Tag	BUGADIERES (aval)		PONT-DES-SALLES (amont)	
		DATE	HEURE	DATE	HEURE
FIV	CA17_021	22/01/2021	20:07		
FII	CA19_080	22/01/2021	17:58		
FI	CA19_038	03/01/2021	19:51	20/12/2021	22:32
MD	CA19_209	20/12/2020	18:28	20/12/2021	16:48
FII	CA19_143	20/12/2020	18:07		
FI	CA19_159	20/12/2020	17:25		
FII	CA19_206	20/12/2020	17:20	04/12/2020	21:02
FI	CA19_116	04/12/2020	22:04		
FIII	CA19_118	04/12/2020	21:50	18/11/2020	18:16
FII	CA19_272	04/12/2020	21:30	04/12/2020	19:50
FIII	CA18_039	04/12/2020	20:53	03/10/2020	03:19
MD	CA18_022	26/11/2020	01:07		
FII	CA19_194	26/10/2020	17:50		
FIII	CA19_040	26/10/2020	13:17	Déjà franchi en 2020	
MD	CA18_019	14/10/2020	17:30		
FI	CA19_020			08/10/2020	20:02
FI	CA19_021	03/10/2020	18:10		
MD	CA17_009			03/10/2020	02:08
MD	CA19_181			02/10/2020	17:17
FI	CA19_034	/	/	Stagnation entre 26/10/2020 et 07/11/2021	

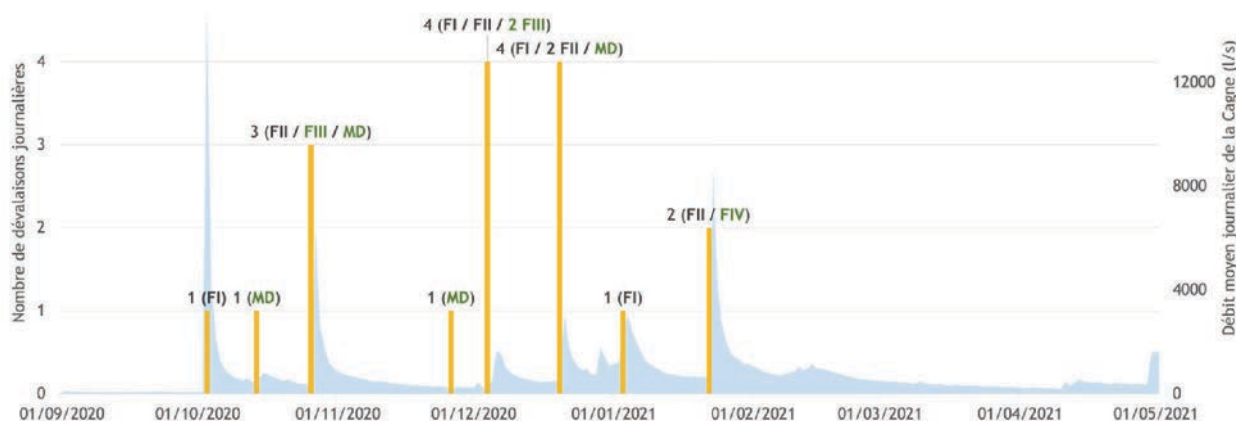


Figure 5 : détections réalisées sur les antennes du site aval (Bugadières) sur la saison 2020-2021

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

- Des dévalaisons *ininterrompues* : Deux MD (CA19_209 et CA19_272) a dévalé les 5 km séparant les deux stations en deux heures.
- Des dévalaisons *par étape* : Les autres individus ont globalement 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)
- Des déplacements *partiels ou non détectés* : Deux individus MD (CA17_009 et CA19_181) ont été détectés à Pont-des-Salles mais pas à Bugadières lors du premier pic de débit de la saison. Ils n'ont pas été retrouvés lors du Tracking-mobile 2021.

Le nombre d'individus n'ayant pas été détectés sur les deux stations est élevé cette saison (plus de 50%) en comparaison des saisons précédentes, alors que les hauteurs d'eau étaient compatibles avec les capacités de détections du matériel. Ce résultat peut s'expliquer par la présence d'une anguille « parasite » (CA19_034), qui a élu domicile sur les antennes de Pont-des-Salles pendant près d'un an. Sa détection perpétuelle a pu masquer certaines autres détections (comm. pers. SCIMABIO Interface).

c) Des cas de détections d'anguilles immatures en augmentation

Une forte proportion d'individus classés « immatures » en 2019 ont franchi le site aval en 2020-2021 (9/16 contre 3/23 la saison précédente). On peut avancer deux hypothèses :

- Ces anguilles se sont argentées depuis 2019 et ont dévalé de leur plein gré ;
- Elles sont toujours immatures et ont été emportées lors d'un pic de débit.

Une synthèse englobant près de 100 ans de recherche sur la croissance des anguilles a proposé un modèle pour l'espèce ⁶. Il prédit des taux de croissance en rivière de l'ordre de 40-60 mm / an pour des individus âgés d'environ 5-10 ans. Ce taux se stabilise autour de 10-20 mm/an au-delà de 10 ans ⁷.

Ces projections de croissance ont été appliquées aux anguilles FI et FII qui ont « dévalé » la Cagne pendant la saison 2020-2021 (Tableau 3). Gardons toutefois en tête que les taux de croissance des anguilles sont très variables selon les milieux et les latitudes ⁸.

Tableau 3 : Projection d'évolution de tailles sur une année pour les anguilles FI et FII ayant dévalé en 2020

	Code PIT-TAG	Taille 2019 (mm)	Projection Taille 2020 (+ 40 mm/an)	Projection Taille 2020 (+ 60 mm/an)
FI	CA19_021	351	391	411
	CA19_038	368	408	428
	CA19_116	394	434	454
	CA19_159	392	432	452
FII	CA19_080	521	561	581
	CA19_143	469	509	529
	CA19_194	482	522	542
	CA19_206	472	512	532
	CA19_272	462	502	522

Ces estimations, montrent que l'hypothèse d'une argenture (de certaines FI en MD) ne peut pas être écartée : les tailles de ces individus ont pu évoluer vers des valeurs compatibles avec l'apparition de stades MD ⁹.

Le départ des FII est plus délicat à expliquer, car leurs projections de tailles ne sont pas compatibles avec des stades FIII ou supérieurs. Les marquages de 2022 permettront de recapturer une partie des anguilles immatures marquées en 2019, et de réactualiser leur stade de développement.

⁶ : Daverat F., Beaulaton L., Poole R., Lambert P., Wickström H., Andersson J., Aprahamian M., Hizem B., Elie P., Gumus A., 2012. One century of eel growth : changes and implications. Ecology of Freshwater Fish, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Vol. 21(3): 325-336.

⁷ : Svedaung H., Neuman E., Wickström H., 1996. Maturation patterns in female European eel: age and size at the silver eel stage. Journal of Fish Biology, Vol. 48: 342-351.

⁸ : Meunier F.J., 1994. Données sur la croissance de l'anguille (*Anguilla anguilla*, L.) dans le cours moyen du Rhin, région alsacienne. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335: 133-144.

⁹ : Durif C., Dufour S., Elie P. 2005. The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. Journal of Fish Biology, Vol. 66: 1025-1043.

Stades	Undifferentied	MD	FI	FII	FIII	FIV	FV
Tailles (mm)	339 +/- 40	393 +/- 23	399 +/- 55	526 +/- 62	658 +/- 82	746 +/- 110	644 +/- 122

3.2 Données préliminaires pour la saison 2021-2022

L'analyse des premiers résultats de la saison de dévalaison en cours semble montrer une dynamique de dévalaison proche des saisons 2019-2020 et précédentes, qui contraste fortement avec la saison 2020-2021.

Les données présentées dans le *Tableau 4* ci-dessous englobent la période *Septembre-janvier* (les mois de février mars et avril sont manquants). Une analyse plus détaillée de la saison complète sera proposée dans le rapport 2022. Des informations essentielles ressortent néanmoins de cette première analyse.

Tableau 4 : Bilan des détections des antennes fixes sur la période septembre-janvier de la saison 2021-2022

STADE	Code Pit-Tag	BUGADIERES (aval)		PONT-DES-SALLES (amont)	
		DATE	HEURE	DATE	HEURE
FI	CA19_266	25/12/2021	17 :14	01/11/2021	18 :54
FII	CA19_273	01/11/2021	21 :28		
FII	CA19_255	01/11/2021	20 :37		
FIII	CA19_193	01/11/2021	19 :42	01/11/2021	18 :23
FI	CA19_002	01/11/2021	19 :32	01/11/2021	18 :09
FII	CA19_224	01/11/2021	19 :20	01/11/2021	17 :37
FIII	CA18_037	01/11/2021	19 :17	01/11/2021	17 :36
FI	CA19_017	01/11/2021	19 :05	01/11/2021	17 :01
FI	CA19_214	01/11/2021	18 :44	01/11/2021	13 :03
FI	CA19_031	01/11/2021	18 :43	01/11/2021	12 :53
FI	CA19_137	01/11/2021	18 :41		
FI	CA19_011	01/11/2021	18 :37	01/11/2021	13 :19
MD	CA18_013	01/11/2021	18 :23	01/11/2021	13 :49
FI	CA19_029	01/11/2021	18 :13		
FI	CA19_008	01/11/2021	18 :09		
FI	CA19_034*			01/11/2021	22 :10
FI	CA19_044			01/11/2021	17 :43

* : Il s'agit de l'anguille parasite évoquée en page 6. Elle semble avoir quitté le site à la toute fin du pic de crue, plusieurs heures après les autres. Avec CA19_044, elles sont vraisemblablement toujours dans le système d'étude en 2022, n'ayant pas été détectées sur le site aval.

Il est intéressant de noter que l'absence de détections de certains individus sur le site amont n'est pas corrélée avec les dévalaisons partielles enregistrées la saison précédente. Autrement dit, 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 devient majoritaire (16/19, soit 85 %, contre 13 % en 2019-2020) sur cette première partie de 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.

Durant cette période, un seul pic de dévalaison a été enregistré au tout début du mois de Novembre, suivie d'une dévalaison d'un individu isolé en décembre. Malgré l'absence de données hydrologiques du SMIAGE Maralpin pour le début du mois de novembre, les données complémentaires 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 *Figure 6* ci-dessous décrit la succession de détections enregistrées.

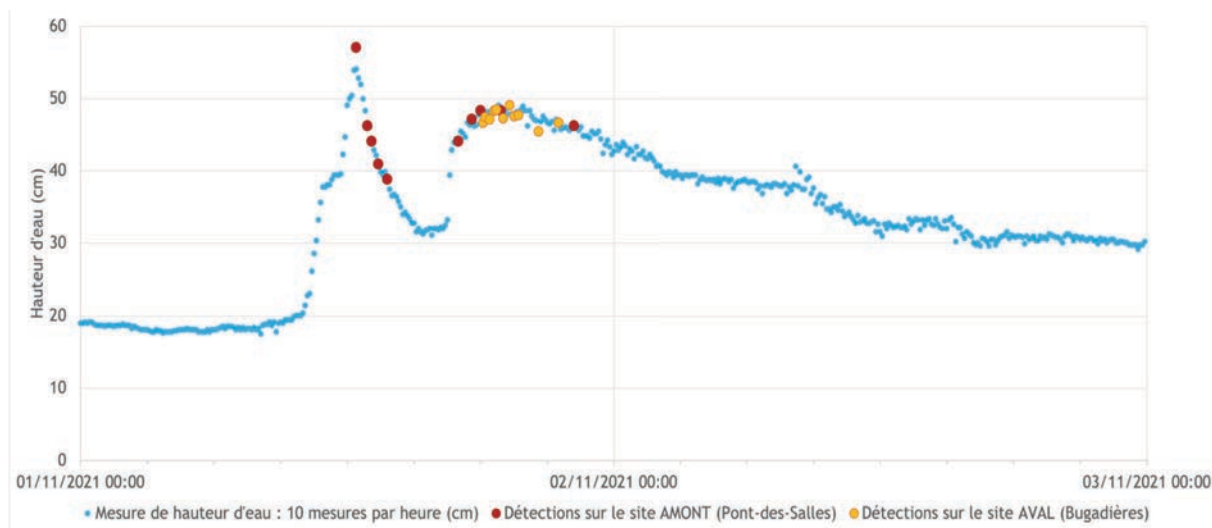


Figure 6 : Détections enregistrées sur les deux sites de suivi lors du premier pic de débit de la Cagne fin 2021, en lien avec l'évolution horaire du niveau d'eau (certains individus détectés sur un seul site).

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 (Tableau 4).

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 ».

Il convient enfin de nuancer en rappelant que cette hausse du niveau, bien que rapide, reste très légère par rapport à d'autres pics enregistrés sur la Cagne les saisons précédentes. De plus, l'absence immédiate de données de débits journaliers pour cette date complique également l'analyse, qui sera éventuellement développée dans un rapport ultérieur.

4 Synthèse pluriannuelle

4.1 Les tendances observées après 5 saisons de suivi

Une synthèse des résultats obtenus sur la Cagne durant la période 2017-2022 est proposée dans le *Tableau 5* ci-dessous.

Tableau 5 : Bilan pluriannuel des observations et des résultats sur la Cagne après 5 saisons de suivi

	Schéma de dévalaison observé sur la saison	Interprétation	Remarques
2017-2018	Un seul pic de 15 dévalaisons les 11-12/12/2017, lors du premier pic de crue (décembre - 30 m ³ /s)	La montée en crue après une période d'étiage semble stimulant pour la dévalaison	Le seuil de crue biennal est de 20 m ³ /s sur la Cagne
2018-2019	2 dévalaisons lors du premier pic de crue saisonnier (octobre - 2 m ³ /s) 14 dévalaisons lors du second pic de crue (6 m ³ /s) quelques jours plus tard 1 dévalaison en décembre lors d'un pic de crue tardif (4 m ³ /s)	Les deux premiers pics de crue semblent très stimulants pour la dévalaison. Des dévalaisons plus ponctuelles peuvent se produire à d'autres moments.	Des dévalaisons peuvent survenir pour des fluctuations de débits très inférieures au seuil de crue biennal
2019-2020	8 dévalaisons lors du premier pic de crue de la saison (octobre - 10 m ³ /s) 10 dévalaisons lors du 2 ^e pic saisonniers (10 m ³ /s) quelques jours plus tard 3 dévalaisons isolées lors des pics de crue suivants (20-30 m ³ /s) Passage d'une crue cinquantennale en décembre → destruction du matériel de suivi	Les premiers pics de débit après l'étiage estival semblent particulièrement stimulants pour la dévalaison. Plus de 40 anguilles argentées n'ont pas pu être retrouvées via les Tracking-mobiles 2020 et 2021 → La crue cinquantennale a probablement emporté « <i>incognito</i> » certaines anguilles matures	Suivi incomplet en raison de la destruction des antennes Pas de données entre décembre et mi-mars
2020-2021	17 départs d'anguilles éparpillés de façon ponctuelles sur la saison, lors de plusieurs pics de débits modérés (entre 4 et 10 m ³ /s) <i>Modalités de dévalaisons inhabituelles !</i>	Le premier coup d'eau n'a pas semblé plus attractif que les autres malgré un débit suffisant pour stimuler la dévalaison (15 m ³ /s) Nombre d'immatures détectées en hausse ? argenture possible ou avalaison accidentelle ?	Peu d'argentées retrouvés lors des prospections 2020-2021 Proportion de FI/FII « dévalantes » en hausse
2021-2022	Un seul pic de 15 dévalaisons lors du premier pic de débit de la saison (estimée entre 1 et 1,5 m ³ /s, non confirmée) Une autre dévalaison isolée en décembre	Le premier pic de débit après l'étiage estival semble stimulant pour la dévalaison.	Proportion de FI/FII « dévalantes » en hausse <u>Saison en cours : données incomplètes</u>

A l'échelle de l'ensemble du suivi, les résultats indiquent que les premiers pics de débit d'automne, même modérés, sont primordiaux pour stimuler la dévalaison. L'hypothèse avancée est que l'augmentation des précipitations sur la période automnale va provoquer de profondes 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, de nombreuses études semblent indiquer que ces paramètres vont agir de façon synergique sur les anguillidés, en stimulant leur comportement de migration ¹⁰.

Le marquage de 2022, associé à des recaptures et/ou de nouvelles dévalaisons d'anguilles déjà marquées, permettra de valider ces résultats, tout en obtenant des données sur la croissance des anguilles immatures sur un petit fleuve côtier de Méditerranée.

4.2. Des avancées concrètes pour anticiper la dévalaison

Parallèlement à l'étude Cagne, d'autres investigations ont été réalisées pour mieux comprendre l'hydrologie de deux grands fleuves côtiers de Méditerranée, le Var et l'Hérault. Les analyses ont mis en avant le besoin de définir (vis-à-vis d'un objectif d'anticipation de la migration) un seuil minimal de crue susceptible d'enclencher la dévalaison.

Une synthèse bibliographique, associée à l'étude Cagne ¹¹ 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.

Dès lors, il était nécessaire de développer une méthode (et une valeur seuil) plus pertinente vis-à-vis de l'objectif de l'étude. Les expériences ont conduit à proposer une valeur de « *crue annuelle* », fixée à une valeur seuil de 2x le module d'un cours d'eau étudié.

La transposition de cette valeur sur les études présentées dans la synthèse bibliographique de 2020, mais aussi sur la Cagne (*Figure 7* ci-dessous) a montré de bons résultats. En effet, tous les épisodes de dévalaison ont eu lieu pour des débit supérieurs au seuil « 2x le module » depuis 2017 (points orange présent exclusivement sur les aires turquoise de la Figure).

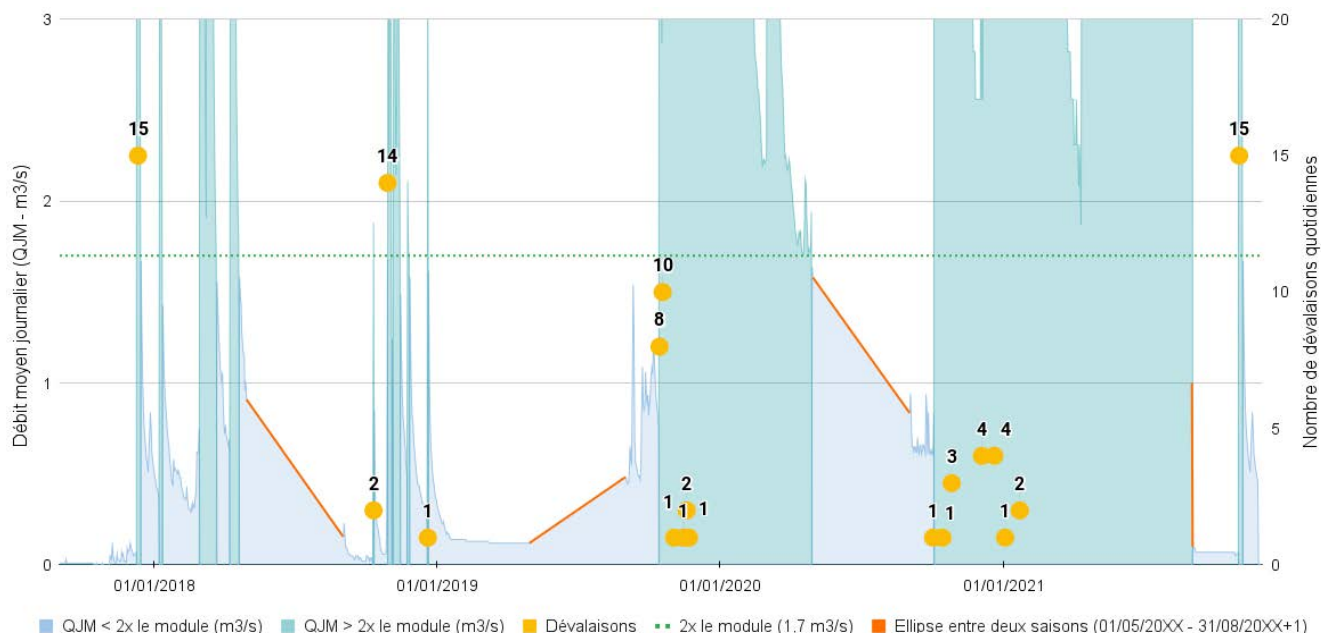


Figure 7 : Corrélation des dévalaisons sur la Cagne avec le seuil 2x le module associé au débit moyen journalier

¹⁰ : Haro A., 2003. Downstream migration of Silver-Phase Anguillid Eels. In: Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K. (eds) Eel Biology. Springer, Tokyo: 215-222.

¹¹ : 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.

4.3 Comparaison des résultats pluriannuels in situ avec les prédictions du modèle *SilvRpeak*

a) Présentation rapide de l'outil

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 pour comparer des périodes de dévalaison « théoriques » à celles observées sur la Cagne permettra d'étayer ou non de façon globale les hypothèses formulées à l'issue de plusieurs saisons d'expérimentations.

b) Comparaison des résultats sur la saison 2017-2018

Pour rappel, un seul pic de dévalaison de 15 anguilles marquées avait été observé sur la saison 2017-2018, au moment du premier pic de débit saisonnier survenu les 11 & 12 décembre. La modélisation des probabilités de dévalaison du modèle *SilvRpeak* pour cette saison est présentée ci-dessous (Figure 8). Les astérisques symbolisent les détections d'anguilles effectuées *in situ* avec les antennes RFID.

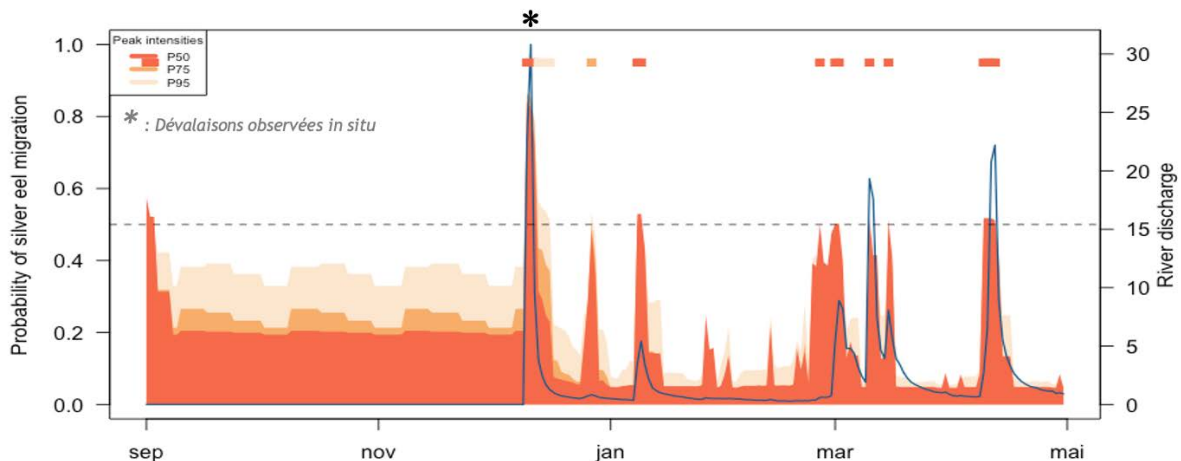


Figure 8 : Comparaison des dévalaisons observées et des prédictions des périodes de dévalaison potentielles pour la saison 2017-2018 de la Cagne via *SilvRpeak*.

Les courbes P50/P75/P95 estiment l'intensité (en pourcentage : 50, 75, 95) des pics de migration prédits par le modèle par rapport au débit maximum observé sur chaque pic.

On constate que lors des pics de débits brefs et intenses (typiques des côtières de Méditerranée), les trois courbes se superposent quasi-parfaitement, puisque l'intensité maximum est atteinte très rapidement après le début de la hausse de débit (souvent le même jour ou lendemain).

La ligne en pointillée symbolise une probabilité de 50% d'observer de la dévalaison. Les événements hydrologiques franchissant ou dépassant ce seuil sont identifiés par des carrés orange sur le haut du graphique.

Le modèle indique que le pic de crue observé les 11-12 décembre a 80% de chance d'engendrer un épisode de dévalaison d'anguilles argentées (barres orange la plus haute pour ces dates). Les pics de crues suivants, plus modérés, ont quant à eux 50 % de chance d'engendrer un épisode de dévalaison. Aucune dévalaison *in situ* d'anguilles marquées n'a pu être observée sur la Cagne pour ces pics de crue survenues entre janvier et avril 2018.

Avec seulement 47 anguilles argentées marquées sur la Cagne à ce moment-là, il est logique de supposer que seul le plus fort pic a pu être mis en évidence *via* les anguilles marquées.

Les très faibles débits observés sur la Cagne durant la période janvier-mars (0,1 l/s en moyenne) rendent le modèle très sensible sur cette période, le conduisant à surestimer l'importance des variations de débit mineures (0,1 → 0,2 l/s) vis-à-vis de la dévalaison (voir également la *Figure 11* en page 14 pour une illustration plus flagrante de ce cas de figure)

Dans un premier temps et sur les conseils de l'auteur du modèle, le jeu de données a donc été « lissé » manuellement pour gommer ces différences mineures de débit (comm. pers. Nils Teichert, MNHN).

c) Comparaison des résultats sur la saison 2018-2019

Pour rappel, deux anguilles avaient dévalé lors d'un premier pic de crue annuel en octobre, puis 14 dévalaisons avaient ensuite été enregistrées lors du second pic de crue de la saison. Une dévalaison isolée avait ensuite été enregistrée fin décembre lors d'un pic de crue tardif (voir les astérisques et le modèle présentés sur la *Figure 9*).

Le modèle identifie clairement les deux premiers événements comme propice à la dévalaison (probabilité de dévalaison de 80%). Le pic de crue ayant entraîné une détection isolée en décembre est également mis en évidence par le modèle, qui lui associe une probabilité de 50% d'engendrer de la dévalaison.

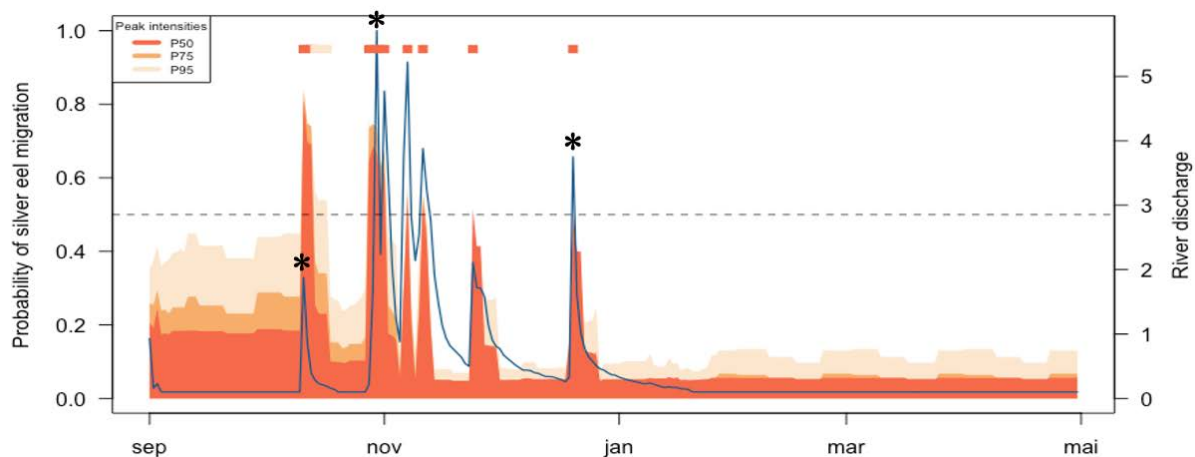


Figure 9 : Comparaison des dévalaisons observées et des prédictions des périodes de dévalaison potentielles pour la saison 2018-2019 de la Cagne via SilvRpeak.

Enfin on constate que d'autres créneaux potentiels de dévalaison (associés à une probabilité de 50%) sont mis en évidence par le modèle entre novembre et janvier. Aucune dévalaison sur la Cagne n'a pu être effectuée lors de ces différents pics de débit.

d) Comparaison des résultats sur la saison 2019-2020

Pour rappel, huit anguilles avaient dévalé lors du premier pic de débit d'octobre, puis 10 dévalaisons avaient été enregistrées lors du second pic de débit. Des dévalaisons ponctuelles avaient ensuite été enregistrées lors des fluctuations de débit suivantes. Une crue cinquantennale avait ensuite compromis le suivi de décembre à la mi-mars.

Le modèle (*Figure 10*) montre que lors de cet événement exceptionnellement violent, la probabilité d'observer de la dévalaison était comparable à celles calculée pour les premières crues de la saison. Le constat est identique pour le pic de débit du mois de mars. Cette observation conforte l'hypothèse selon laquelle un nombre non négligeable d'anguilles a dévalé sans pouvoir être détectées lors de cet événement.

Le modèle est moins catégorique dans ses prédictions que lors de la saison 2018-2019, En effet, il estime ici que la probabilité de dévalaison se situe autour de 50% pour l'ensemble des pics de débit. Les dévalaisons potentielles prédites en début de saison par le modèle ont été observées sur le terrain, ce qui n'est pas le cas pour celles prédites au mois de mars.

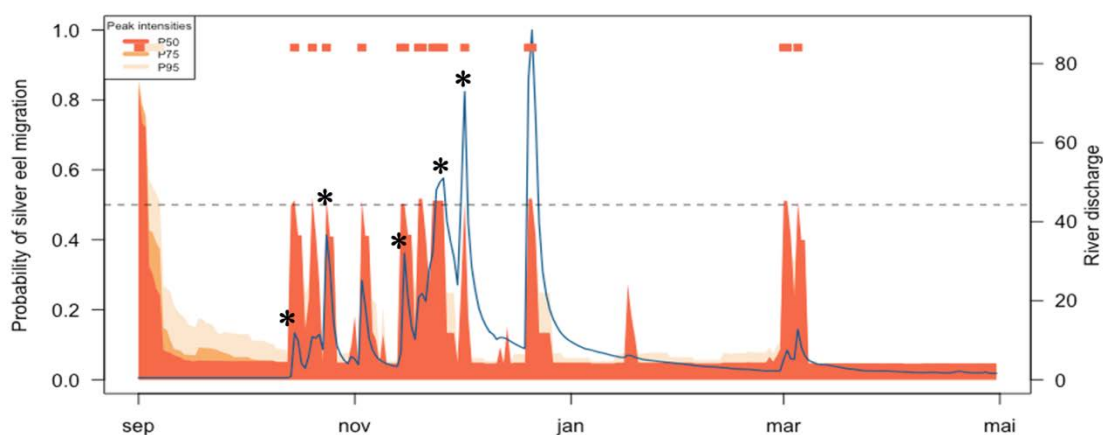


Figure 10 : Comparaison des dévalaisons observées et des prédictions des périodes de dévalaison potentielles pour la saison 2019-2020 de la Cagne via SilvRpeak.

e) Comparaison des résultats sur la saison 2020-2021

Pour rappel, des dévalaisons ponctuelles ont été observées entre octobre et février cette saison, sans que les premiers pics de débit paraissent plus stimulants que les suivants. Sur une dizaine d'épisodes dévalaison potentiels prédits par le modèle (chacun ayant une probabilité de 50% de survenir - *Figure 11*), 7 ont été observés de manière effective via les antennes fixes installées sur la Cagne.

L'encadré de gauche illustre de quelle manière les micro-variations de débit (de l'ordre de quelques dizaines de l/s) peuvent altérer la lecture du graphique final.

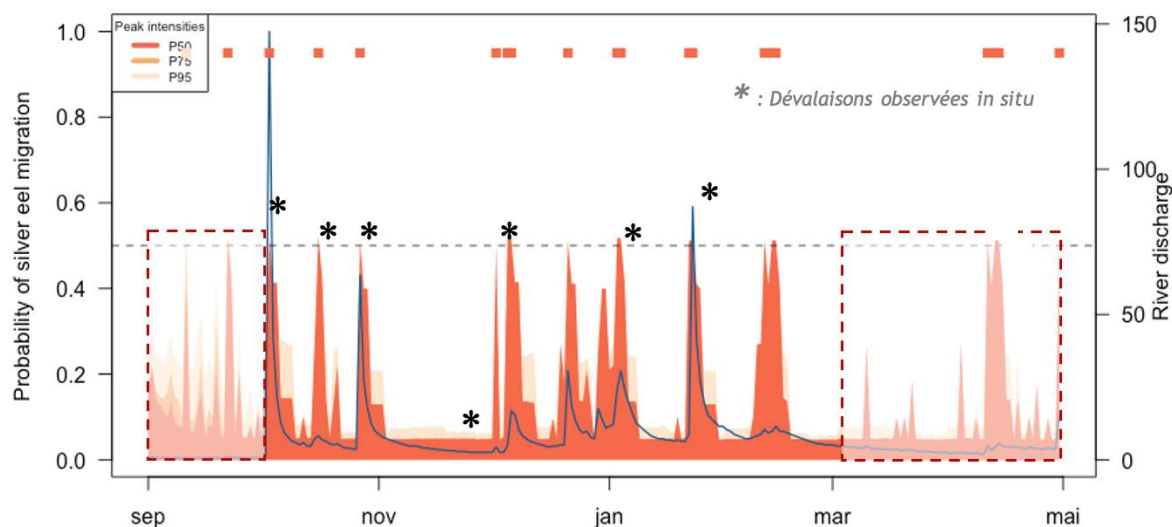


Figure 11 : Comparaison des dévalaisons observées et des prédictions des périodes de dévalaison potentielles pour la saison 2020-2021 de la Cagne via SilvRpeak.

f) Bilan de la comparaison

Le modèle *SilvRpeak* a été conçu de façon à être transposable sur un maximum de cours d'eau. Le problème majeur noté durant les essais est la tendance du modèle à « surestimer » le nombre d'évènements potentiellement intéressants sur les petits cours d'eau, où des variations mineures de débits (de l'ordre de 0,1 → 0,5 l/s) vont parfois « affoler » ce dernier, comme le montre la période *septembre-octobre* de la Figure 12 (laissée à titre d'exemple).

Malgré tout, les résultats sont très encourageants. On observe une forte concordance entre les observations *in situ* et les prédictions du modèle : toutes les détections sur le terrain sont réalisées pour des conditions de débit où le modèle prédit une forte probabilité de dévalaison (même si *SilvRpeak* prédit plus d'évènements que ce qui est réellement observé grâce aux anguilles marquées).

Enfin, l'association des deux approches permet aussi de conforter la pertinence de la valeur seuil « *2x le module* ». En effet, la totalité des épisodes de migration ont été observés pour des débits supérieures au seuil *2x le module*, sur des hausses de débits où le modèle *SilvRpeak* prédit une probabilité de dévalaison supérieure ou égale à 50%.

Les deux méthodes sont donc complémentaires, et offrent une diversité d'outils appréciable pour mieux comprendre et anticiper la dynamique de dévalaison de l'anguille européenne.

5 Conclusion

La mise en place d'un suivi RFID sur la Cagne a permis d'obtenir des résultats très concrets et encourageants depuis cinq ans, tant au niveau de la connaissance du phénomène de dévalaison que de la pertinence d'utiliser le RFID pour un tel type de suivi. La saison 2020-2021 a montré des résultats inédits, avec des épisodes de dévalaisons très ponctuels qui contrastent avec les autres saisons. La saison 2021-2022 est plus classique, avec un seul pic de dévalaison survenu lors du premier coup d'eau automnal (résultats provisoires).

Lors de ces deux saisons, le nombre d'individus détectés alors qu'ils avaient été marqués comme immatures est en augmentation par rapport aux saisons précédentes.

Deux hypothèses permettent d'expliquer cette observation : une argenture de ces individus depuis 2019 ou une avalaison « accidentelle » lors d'un coup d'eau. Les pêches électriques qui seront réalisées en 2022 permettront d'obtenir de précieuses données sur la croissance d'anguilles déjà marquées.

La double campagne de Tracking-Mobile effectuée en juin-Septembre 2021 a également permis des avancées indispensables :

Sur le plan biologique, cette double campagne a permis de lever une partie de l'incertitude concernant ces dévalaisons potentiellement passées inaperçues, ou tout du moins de formuler certaines hypothèses. 209 anguilles ont été retrouvées cette saison, en majorité des individus immatures (FI/FII) issus des marquages 2019. La très forte sédentarité des anguilles marquées observées en 2020 a été confirmée cette saison. Également, ces sessions permettent d'affiner session après session la vision globale du stock en place.

Sur le plan méthodologique, le dédoublement de la campagne de Tracking (une session en juin, puis une autre en septembre) s'est révélé particulièrement pertinent, avec une augmentation de 50% des détections. Le gain d'efficacité de ce type de prospections encourage donc l'application de cette nouvelle méthodologie pour les saisons à venir.

Enfin, sur le plan humain et institutionnel, ces sessions de Tracking s'avèrent primordiales pour pérenniser la dynamique multi partenariale qui s'est mise en place autour de l'étude. Ainsi, depuis 2019, six structures associées au projet ont pu concrètement prendre part à l'étude et participer à l'obtention des résultats détaillés dans ce rapport (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse, FDAAPPMA 06, DDTM06, Nice-Métropole, Service départemental 06 de l'OFB, SMIAGE Maralpin).

Concernant les attentes associées à l'étude en termes de gestion, les différentes analyses réalisées (sur la Cagne mais aussi *via* la synthèse publiée dans le rapport de 2020) montrent le rôle prépondérant des premiers pics de crues automnaux pour impulser la dévalaison des anguilles.

Ces observations de terrain ont été 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.

En effet, les deux méthodes confirment la pertinence de l'approche « *2x le module* » proposée par MRM en 2019-2020. Rappelons que cette valeur correspond à un seuil de débit minimal propre à chaque cours d'eau, à partir duquel la dévalaison va s'enclencher

Les observations effectuées sur la Cagne depuis 5 ans, ainsi que les prévisions de dévalaisons du modèle du MNHN sont intégralement observées pour des débits supérieurs au seuil de *2x le module* de la Cagne. Cette valeur seuil propre à chaque cours d'eau paraît donc pertinente pour envisager des mesures de gestion à *court terme* sur les fleuves côtiers méditerranéens.

Remerciements

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

PARTENAIRES FINANCIERS

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

MEMBRES MRM

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

PARTENAIRES TECHNIQUES

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

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

