

- RAPPORT D'ETUDE -

2022 N° 10/16

Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens

Étude comparative du fonctionnement hydrologique de deux fleuves côtiers de grande envergure, le Var et l'Argens

PERRIER C., RIVOALLAN D. • Avril 2023



Photo de couverture
(© MRM)

Référence à citer

PERRIER C., RIVOALLAN D., 2022. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Étude comparative du fonctionnement hydrologique de deux fleuves côtiers de grande envergure, le Var et l'Argens, 14p.

1 Contexte

L'un des objectifs du PLAGEPOMI est d'acquérir des connaissances sur le comportement de dévalaison de l'Anguille européenne (espèce en danger critique d'extinction) sur les côtières méditerranéens. Des investigations conduites sur l'Aude par l'ONEMA¹ avaient en effet mis en évidence le manque de connaissances sur cette migration dans le contexte hydrologique méditerranéen, connu pour ses épisodes cévenols violents.

Dans cette optique, l'étude RFID sur la Cagne (un côtier de petite envergure) a apporté des informations cruciales sur le phénomène de dévalaison, qui semble particulièrement important lors des premiers pics de débit automnaux². Néanmoins, la transposabilité de ces résultats sur des fleuves de plus grande envergure peut poser question. Une étude a donc également été initiée en parallèle sur ces derniers pour étayer les conclusions de l'étude Cagne et faciliter la mise en place de mesures de gestion spécifiques, notamment au droit des ouvrages hydroélectriques, qui peuvent engendrer une surmortalité lors de cette phase critique du cycle de vie de l'Anguille³.

En raison de contraintes techniques rencontrées en 2016 et 2017 pour mettre en place une expérimentation *in situ* sur le Var, l'association MRM a initié en 2019 une approche *ex situ*, (validée en comité de pilotage) qui se décline en plusieurs étapes :

1. Identifier un fleuve côtier de grand envergure, susceptible d'accueillir une étude *in situ* de la dévalaison, et où la présence d'anguilles a été attestée par des données historiques. Cette première phase s'appuie sur les connaissances locales de différents partenaires techniques (FDAAPPMA, OFB, etc.)
2. Lorsqu'un fleuve côtier a été ciblé, des similarités de fonctionnement entre le Var (où les attentes en termes de gestion sont particulièrement fortes) et ce dernier sont recherchées, selon une liste de critères prédéfinis, afin de s'assurer que les résultats obtenus par la suite seront au moins en partie transposables⁴.
3. Lorsqu'un côtier présente des similitudes avec le Var en termes de fonctionnement hydrologique, ses débits moyens journaliers seront ensuite analysés en vue d'identifier les périodes théoriques de dévalaison de l'Anguille européenne. Deux outils seront alors mis à contribution, à savoir la méthode *2x le module*, développée par MRM et le modèle *SilvRpeak*, mis en place par le MNHN et EDF R&D⁵.
4. Une approche de terrain pourra ensuite être développée, en réalisant tout d'abord des pêches prospectives pour estimer la disponibilité du milieu en anguilles argentées. Le cas échéant, une approche *in situ* pourra être mise en place pour valider les résultats théoriques obtenus par les différentes modélisations.

En 2022, les échanges avec les différents partenaires ont permis de cibler l'Argens, où la présence d'anguilles potentiellement dévalantes a pu être confirmée la FDAAPPMA 83.

¹ : Dougados A., 2013, Étude de la dévalaison de l'Anguille sur l'axe Aude., rapport de stage ONEMA / École polytechnique de Montpellier., 45p.

² : Perrier C., Rivoallan D., Campton P., 2021. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Suivi 2021-2022 par RFID sur la Cagne et bilan pluriannuel. - 15p.

³ Campton P., Abdallah Y., Lebel I., 2015, Faisabilité d'investigations visant à approfondir les connaissances sur la dévalaison des anguilles en Rhône-Méditerranée., Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 36p.

⁴ : 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.

⁵ : 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.

⁶ : Perrier C., Rivoallan d., 2022. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Analyse du fonctionnement hydrologique des grands fleuves côtiers et proposition d'une méthodologie d'anticipation de la dévalaison- 17p.

2 Méthode

2.1 Les bassins versants ciblés par l'analyse comparative

a) Le bassin versant 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 km², avec un module à Nice de 49,4 m³/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 1 : Le bassin versant du Var, ses différentes entités hydrographiques et stations de mesures associées.

Les enjeux et les attentes partenariales en termes de gestion sont particulièrement forts sur cet axe de migration de l'Anguille européenne, notamment en raison de la présence de nombreux ouvrages hydroélectriques, qui entravent la libre circulation des anguilles dévalantes.

b) Le bassin versant de l'Argens

L'Argens est un fleuve côtier méditerranéen géographiquement proche du bassin du Var (environ 50 km séparent les estuaires des deux fleuves). Long de 115 km, l'Argens prend sa source à Seillon-Source-d'Argens à 280m d'altitude, et se jette dans la méditerranée à Fréjus. Son bassin versant s'étale sur une superficie de 2700 km², avec un module à Roquebrune sur Argens de 17,8 m³/s. Quatre affluents principaux se distinguent : l'Endre, la Nartuby, l'Aille et la Bresque. Les suivis des variations hydrologiques de ce bassin sont ou ont été assurés par les stations suivantes :

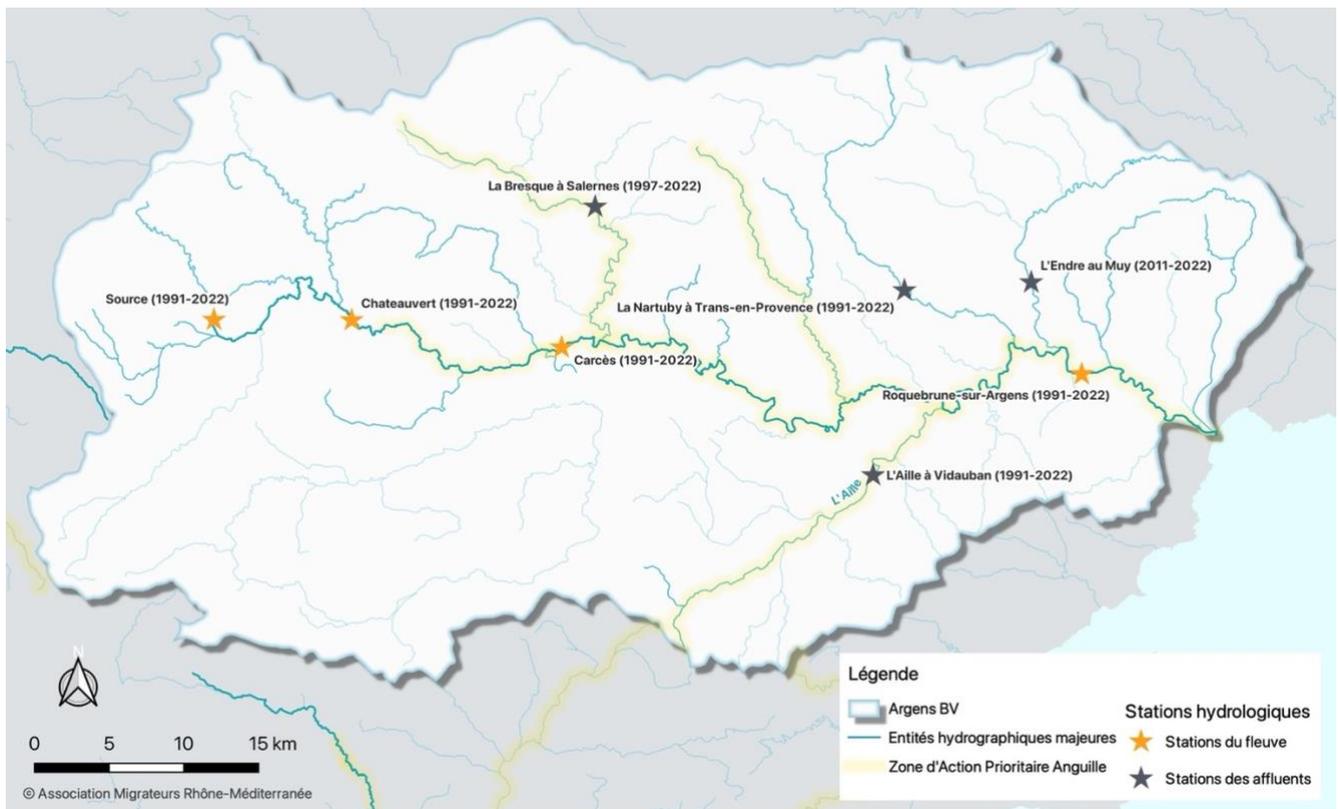


Figure 2 : Le bassin versant de l'Argens, ses différentes entités hydrologiques et stations de mesures associées.

Les deux bassins hydrographiques présentent des surfaces de bassins comparables, mais des modules bien différents. Néanmoins, c'est surtout la proximité géographique des deux entités qui a motivé la réalisation d'une analyse comparative en 2022. En effet, l'hypothèse est que, du fait de leur proximité, ces deux territoires sont globalement soumis aux mêmes phénomènes météorologiques, avec des crues potentiellement simultanées sur les deux fleuves. Cette composante, si elle se vérifie, serait un atout si l'on souhaite transposer au Var des résultats obtenus sur l'Argens.

2.2 Définitions et périodes ciblées

c) Définir efficacement une « crue », une première étape indispensable

Qu'est-ce qu'une crue ? Si la réponse à cette question semble simple d'un point de vue hydrologique, elle cache dans les faits une réponse assez complexe, notamment si l'on souhaite mettre en jeu cette notion dans le cadre d'une étude de la dévalaison des anguilles.

En effet, les différentes approches conduites précédemment (REX Cagne, recherches bibliographiques, modélisations *2x le module* & *SilvRpeak*) ont mis en avant le fait que la migration des anguilles survient régulièrement pour des hausses de débit très modérées, qui peuvent même être inférieures au seuil de crue biennal.

Or, ce seuil de crue biennal est justement la plus petite valeur fournie par le site Banque-Hydro pour identifier une variation de débit comme une crue. Son utilisation pour identifier/dénombrer les pics de crue n'est toutefois pas pertinente dans le cadre de cette étude, puisque des épisodes de migration potentiels risqueraient d'être occultés.

Il faut donc avant tout clarifier la sémantique du mot « crue », dans le cadre spécifique de l'étude de la dévalaison. En effet, si l'on souhaite comparer le fonctionnement hydrologique de deux fleuves côtiers, il faut d'abord s'accorder sur la définition d'une crue, car d'un point de vue méthodologique, ce sont les hausses de débit identifiées comme des crues qui seront dénombrées, mesurées et comparées par la suite.

Il a donc fallu définir une valeur de crue minimal, inférieure au seuil biennal. Les différents essais ont fini par conduire à la proposition d'un seuil correspondant à 2x la valeur du module de débit de la station étudiée. Cette méthode a été testée avec succès :

- Sur la Cagne (où plus de 95% des 104 dévalaisons observées depuis 2017 ont été enregistrées dans des conditions de débit supérieures à 2x le module de la Cagne) ;
- Lors d'analyses comparatives de simulations de dévalaisons⁷, menées en parallèles via la méthode *2x le module* et le modèle *SilvRpeak* du MNHN. Cette comparaison a globalement montré que les deux approches identifiaient les mêmes périodes critiques pour la dévalaison.

En conclusion, dans la suite du rapport, toute hausse de débit présentant un débit moyen journalier (QJM) supérieur à 2x le module de débit de la station étudiée, sera considéré comme une crue, et donc intégré à l'analyse comparative Var-Argens.

d) Des analyses qui ciblent une période précise

Les connaissances scientifiques actuelles et le retour d'expérience Cagne montrent que la période de dévalaison des anguilles débute à l'automne et se poursuit jusqu'au printemps, en fonction des conditions hydrologiques de la saison.

De fait, les analyses de débit présentées par la suite incluront des données saisonnières biennuelles, s'étalant du 01/09 d'une année n au 30/04 de l'année n+1. La saison correspondante sera nommée saison « n-n+1 » (ex : la saison 2003-2004, qui intègre les données de débit moyen journalier (QJM) du 01/09/2003 au 30/04/2004).

2.3 Les critères de comparaison hydrologiques retenus

Le retour d'expérience des analyses menées en 2019 lors de la comparaison du fonctionnement hydrologique du Var et de l'Hérault a permis de caler quatre critères d'analyses, qui seront déclinés cette année dans le cadre de la comparaison Var-Argens :

⁷ : Perrier C., Rivoallan d., 2022. Dévalaison des anguilles sur les fleuves côtiers méditerranéens : Analyse du fonctionnement hydrologique des grands fleuves côtiers et proposition d'une méthodologie d'anticipation de la dévalaison- 17p.

a) La Cohérence amont-aval des débits

L'étude préalable de ce critère permet de déterminer si les fluctuations hydrologiques observées à l'aval d'un fleuve sont cohérentes avec les fluctuations observées plus haut sur le bassin versant, en lien avec la localisation des affluents. Le cas échéant, la station aval peut être considérée représentative des fluctuations de l'ensemble de l'axe principal.

Toutefois, certaines particularités naturelles (zones d'épanchement de crues, pluviosité localisée à l'aval, etc.) ou anthropiques (barrages) peuvent 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 longue période (30 saisons si les stations disposent de suffisamment de données).**

b) La contribution des affluents aux crues des stations aval

Cette analyse nécessite tout d'abord de connaître globalement l'accessibilité des différents tributaires du fleuve pour les anguilles, afin de déterminer si des individus dévalants peuvent être restitués au fleuve par ces affluents. Une fois cette donnée acquise, l'analyse proprement dite de la contribution des affluents au débit du fleuve est réalisée.

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 3* ci-dessous. L'étalement de la crue apparaît en rose, et le débit maximal enregistré en rouge.

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 utilisant le débit de la station aval comme base 100%.

SAISON	DATE	ARGENS AVAL (Roquebrune sur Argens)	Nartuby (aff. Aval)	L'Aille (aff. Médian)	La Bresque (aff. Amont)
2017-2018	10-avr	11,8	1,93	4,37	0,405
2017-2018	11-avr	24,4	4,63	40,2	0,422
2017-2018	12-avr	240	34,7	94,4	2,4
2017-2018	13-avr	194	15,2	25,9	1,63
2017-2018	14-avr	93,6	8,54	11,1	0,769
2017-2018	15-avr	63,7	5,94	7,07	0,742
2017-2018	16-avr	46,8	4,58	5,24	0,714
2017-2018	17-avr	36,5	3,55	4	0,694
2017-2018	18-avr	30,3	3,01	3,19	0,692
2017-2018	19-avr	25,6	2,67	2,6	0,693
2017-2018	20-avr	24,2	2,39	2,2	0,695

Figure 3 : Identification des débits maximums journaliers observés sur les tributaires de l'Argens, durant une crue de la saison 2017-2018. Ces valeurs max sont utilisées pour calculer des pourcentages de contribution.

c) Le nombre de crues par saison

Ce critère est le plus simple à analyser. Pour la station aval de chaque fleuve, le **nombre de crue** (cf. le nombre de pics de débits avec un QJM supérieur à 2x le module) est **identifié pour chaque saison**. L'analyse de ce critère permet d'estimer pour chaque saison, le nombre de fenêtres potentielles de dévalaison, ainsi que leur étalement dans le temps.

d) Les caractéristiques hydrologiques des deux premières crues automnales

Pour chaque saison de dévalaison, quatre variables des deux premières crues automnales sont recherchées (date, intensité, étalement dans le temps). Le REX Cagne 2017-2022 et les différentes modélisations du modèle SilvrPeak montrent en effet que **ces tous premiers coups d'eau sont critiques du point de vue de la migration**. 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**. Ainsi, sont étudiées :

- **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 (biennale, etc.), pour une station donnée, à partir des données Banque hydro et de la valeur seuil de *2x le module* comme limite de crue.
- **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 (boxplots).

2.4 Les références pour l'étude comparative Var-Argens

Les valeurs seuils de référence qui seront utilisés dans la suite du rapport sont celles présentées dans le **Tableau 1**. Elles sont basées sur les propositions faites pour le Var dans le cadre du rapport MRM 2019.

Tableau 1 : Valeurs seuils de crues (en m³/s) des bassins hydrographiques du Var et de l'Argens.

	VAR AVAL (Mescla + Estéron, puis Carros)	VAR MEDIAN (Entrevaux)	VAR AMONT (Villeneuve)	ESTERON (Le Broc)	VESUBIE (Pont de Cros)	TINEE (Pont de la Lune)
Module	46,17	15,7	2,77	7,01	8,01	14,6
Seuil de crue (2 x module)	92,3	31,4	5,5	14	16	29,2
Crue Biennale	500	85	14	93	/	45,8
Accessibilité anguilles	Oui	Oui	Non		Oui	Oui

	ARGENS AVAL (Roquebrune sur Argens)	ARGENS MEDIAN (Carcès)	ARGENS AMONT (Châteauvert)	NARTUBY (Trans-en- Provence)	AILLE (Vidauban)	BRESQUE (Salernes)
Module	17,80	7,33	3,27	1,39	2,31	0,58
Seuil de crue (2 x module)	35,6	14,6	6,5	2,8	4,6	1,2
Crue Biennale	258	88	44,1	37,6	151	7,93
Accessibilité anguilles	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Ponctuelle en aval

3 Résultats

3.1. Premier critère : la cohérence amont aval des débits.

Les analyses réalisées en 2019-2020 avaient permis de montrer que sur le fleuve Var, il existait une cohérence amont-aval des débits journaliers, avec des seuils de crues dépassés simultanément sur les stations amont, médianes et aval du fleuve :

- **92%** des pics de crues observés à l'aval du fleuve Var étaient également détectés sur la station médiane du fleuve, sur la période de disponibilité des données (1990-2019).
- **80%** des pics de crues aval étaient observés sur la station amont du Var, sur la période de disponibilité des données (2000-2019).

Cette analyse, qui constitue le premier critère de caractérisation (et donc de comparaison) hydrologique, montrait que **la station aval du Var est représentative de l'évolution globale des débits du fleuve**. De fait, c'est cette station qui sera utilisée pour l'analyse comparative du fonctionnement avec un autre côtier.

Cette année, une approche similaire de cohérence amont-aval a donc été réalisée sur le bassin de l'Argens. Les saisons 2006-2007, 2009-2010, ainsi que celles situées entre 2013-2014 et 2016-2017 sont exclues de l'analyse, les données de la station aval de l'Argens étant absentes ou inexploitable.

Tableau 3 : Répercussion des crues observées à l'aval sur les stations amont et médianes de l'Argens

Période de données exploitables	Cohérence des données entre les débits médians et aval		Cohérence des données entre les débits amont et aval	
	(1991-1992) → (2021-2022)		(1991-1992) → (2021-2022)	
Total de crues enregistrées à l'aval	91	(100 %)	91	(100 %)
Nombre de crues répercutées sur la station médiane / amont	65	71 %	62	68 %
Crue non répercutées sur la partie médiane / amont*	24	26 %	29	32 %
Données indisponibles	2	3 %	0	0 %

* : si le débit augmente mais qu'il ne franchit pas le seuil 2x le module, il est considéré comme non répercuté.

Ainsi, sur l'Argens, la majorité des événements hydro climatiques se répercutent sur l'ensemble du fleuve. Afin de faciliter la compréhension de cet aspect essentiel, les différents cas de figure sont illustrés en page suivante. Même si le résultat est moins net que sur le Var, la proportion de crues enregistrées sur l'ensemble du bassin reste conséquente (Tableau 4a et 4b).

Enfin, il convient aussi de préciser que ponctuellement, des crues de faibles intensités peuvent être observées uniquement sur les tronçons médians (7 en 30 ans) et amont (6 en 30 ans) de l'Argens, sans qu'elles soient considérées comme tel à l'aval (Tableau 4c). Dans la quasi-intégralité de ces cas, des augmentations de débit sont constatées à l'aval, mais elles sont insuffisantes pour générer une crue, c'est à dire dépasser le seuil de 2x le module sur la station aval.

Tableaux 4 (a,b,c) : Les différents cas de figures rencontrés en cas de survenue d'une crue sur l'Argens.

4a. Une crue globale qui s'est répercutée sur l'ensemble du fleuve Argens :

		Module	17,80	7,33	3,27
		2 x Module	35,6	14,7	6,5
SAISON	DATE	ARGENS AVAL (Roquebrune sur Argens)	ARGENS MEDIAN (Carcès)	ARGENS AMONT (Chateaufort)	
2008-2009	03-janv	18,6	14	5,2	
2008-2009	04-janv	17,4	13,5	5	
2008-2009	05-janv	17	13,1	4,84	
2008-2009	06-janv	18,1	12,8	4,71	
2008-2009	07-janv	17,1	16	5,67	
2008-2009	08-janv	85,2	19,6	6,11	
2008-2009	09-janv	182	18,2	6,28	
2008-2009	10-janv	133	18,3	6,74	
2008-2009	11-janv	83,5	17,8	6,79	
2008-2009	12-janv	62,4	17,1	6,73	
2008-2009	13-janv	72	16,6	6,62	
2008-2009	14-janv	91,6	16	6,4	
2008-2009	15-janv	110	15,3	6,05	
2008-2009	16-janv	76,6	14,4	5,64	
2008-2009	17-janv	57,8	13,8	5,37	
2008-2009	18-janv	48,5	13,4	5,18	
2008-2009	19-janv	42	13,3	5,17	
2008-2009	20-janv	36,2	13,7	5,51	
2008-2009	21-janv	32	13,4	5,4	
2008-2009	22-janv	29,4	12,8	5,2	

4b. Une crue uniquement observée sur la station la plus aval. Les débits médians et amont n'évoluent pas.

SAISON	DATE	ARGENS AVAL (Roquebrune sur Argens)	ARGENS MEDIAN (Carcès)	ARGENS AMONT (Chateaufort)
2004-2005	24-janv	4,38	2,21	1,14
2004-2005	25-janv	4,39	2,27	1,13
2004-2005	26-janv	4,48	2,13	1,1
2004-2005	27-janv	6,75	2,08	1,11
2004-2005	28-janv	84,4	2,04	1,1
2004-2005	29-janv	209	2,02	1,07
2004-2005	30-janv	179	1,97	1,06
2004-2005	31-janv	108	1,94	1,04
2004-2005	01-févr	68,9	1,94	1,06
2004-2005	02-févr	47,3	1,88	1,04
2004-2005	03-févr	38,8	1,88	1,02
2004-2005	04-févr	32,7	1,81	1,02
2004-2005	05-févr	28,6	1,81	1,01

4c. Une crue localisée uniquement sur les secteurs médians et amont. Le débit aval n'évolue pas.

SAISON	DATE	ARGENS AVAL (Roquebrune sur Argens)	ARGENS MEDIAN (Carcès)	ARGENS AMONT (Chateaufort)
2008-2009	14-avr	15,2	9,13	4,06
2008-2009	15-avr	15,2	9,1	3,89
2008-2009	16-avr	14,4	13,4	5,36
2008-2009	17-avr	13,9	13,8	5,38
2008-2009	18-avr	14,7	15,8	7,33
2008-2009	19-avr	14,6	15,8	7,21
2008-2009	20-avr	13,2	14,9	6,86
2008-2009	21-avr	14,7	13,9	6,38
2008-2009	22-avr	15	13,3	6,02

Des observations similaires, et dans des proportions équivalentes, avaient pu être faites sur le fleuve Var. Des épisodes pluvieux isolés peuvent en partie expliquer les augmentations de débits isolées constatées uniquement sur certains tronçons du fleuve.

Néanmoins, avec environ 70% de crues répercutées sur l'ensemble du bassin en 30 ans la station aval de *Roquebrune-sur-Argens* reste tout de même globalement représentative des fluctuations globales de débit du fleuve. Elle pourra donc être utilisée comme station de référence dans le cadre de la comparaison hydrologique Var-Argens.

3.2. Second critère : la contribution des affluents aux crues observées à l'aval du fleuve.

Afin de mieux comprendre la répartition des débits en période de crue sur les bassins du Var et de l'Argens, une analyse du pourcentage de contribution de différents affluents a été réalisée. Pour réaliser cette analyse, 91 crues observées à l'aval du bassin de l'Argens ont été référencées sur la période 1991-2022, et 110 crues sur la période 1990-2019 sur l'aval du bassin du Var. Pour chaque crue, le pourcentage de contribution des différents affluents a été calculé, à partir des QJM maximum enregistrés sur chaque tributaire durant l'épisode de crue.

Sur le bassin du Var, les analyses réalisées en 2019 avaient montré que l'Estéron, affluent le plus aval, contribuait en moyenne à hauteur de 21 % aux débits enregistrés à l'aval du fleuve. Les deux autres affluents d'envergure, la Tinée et la Vésubie, contribuaient en moyenne à 19 % et 14,5 % respectivement.

Sur l'Argens, les analyses 2022 montrent une répartition différente des débits, avec un affluent majoritaire en termes de contribution : l'Aille, qui participe en moyenne à 30% au débit enregistré à l'aval du fleuve. Les deux autres affluents étudiés contribuent de façon plus modérée (en moyenne 7% pour la Nartuby et 2% pour la Bresque).

Pour rappel, les débits de l'Endre, un affluent aval de l'Argens, n'ont pas été intégrés à l'analyse, et ce pour deux raisons : les données hydrométriques disponibles n'englobent qu'une période réduite (2011-2022) ; les données disponibles au sein du PDPG du Var mettent en avant les assecs répétés sur cet axe, avec une forte mortalité potentielle pour les anguilles.

Tableau 5 : Contribution moyenne des tributaires respectifs de l'Argens et du Var au débit des fleuves

	Bassin de l'Argens			Bassin du Var		
	Nartuby	Aille	Bresque	Estéron	Tinée	Vésubie
Contribution moyenne	6,8	29,8	2,0	20,6	18,8	14,2
Contribution minimale	0,1	0,2	0,2	2,2	1,8	3,4
Contribution maximale	36	77,3	9,0	44,2	85,6	50,6

Il est intéressant de préciser que des analyses complémentaires, menées en ciblant spécifiquement les deux premières crues observées chaque saison, ont montré des résultats identiques : les chiffres de contribution moyenne obtenus pour ces deux premières crues sont équivalents à ceux présentés dans le tableau ci-dessus.

Les deux bassins versants présentent donc globalement un fonctionnement différent en termes de répartition des débits sur les différentes entités hydrologiques. Les débits du Var évoluent majoritairement grâce aux apports de trois affluents principaux, tandis que sur l'Argens, le débit du fleuve évolue en particulier grâce aux apports d'un affluent principal : l'Aille.

3.3. Troisième critère : le nombre de crues par saison

Les analyses réalisées en 2019 sur le bassin du Var avaient montré que ce fleuve connaissait en moyenne 4 crues durant chaque saison de dévalaison. La majorité des saisons du Var étaient marquées par 2 à 4 événements hydrologiques, mais il n'était pas rare toutefois d'observer 5 à 6 événements.

Les résultats, présentés dans le *Tableau 6* ci-dessous, permettent de comparer ces résultats avec ceux obtenus cette année dans le cadre de l'analyse hydrologique du fleuve Argens. Le chiffre entre parenthèses correspond au nombre de saisons disponibles et exploitables, prises en compte pour effectuer le calcul.

Tableau 6 : Comparatif du nombre moyen de crues par saison de migration sur les bassins Var et Argens

	Var aval	Var médian	Var amont	Estéron	Vésubie	Tinée
Nombre moyen de crue par saison	4 (29)	4 (28)	2,8 (18)	4,1 (27)	2,2 (9)	3,6 (21)

	Argens aval	Argens médian	Argens amont	Nartuby	Aille	Bresque
Nombre moyen de crue par saison	3,8 (25)	2,8 (31)	2,7 (31)	3,4 (31)	6,1 (31)	2,7 (25)

NB : Il est important de garder à l'esprit que cette analyse ne préjuge pas de la durée des crues et peut donc être partiellement biaisée. En effet, plusieurs petites crues successives peuvent être comptabilisées sur une période donnée, alors qu'une seule grosse crue peut être enregistrée sur une autre station sur la même période. L'utilisation d'un nombre conséquent de saisons pour réaliser cette analyse permet de lisser en partie ce biais.

On constate que sur une période de 30 ans, le nombre moyen de crues (et donc de fenêtres de dévalaisons potentielles) est similaire entre le Var et l'Argens. L'analyse croisée de chaque saison montre aussi qu'au-delà de cette moyenne, les deux fleuves montrent sur le plan quantitatif des fenêtres de migration comparables durant la plupart des saisons, comme l'illustre la *Figure 4* ci-dessous.

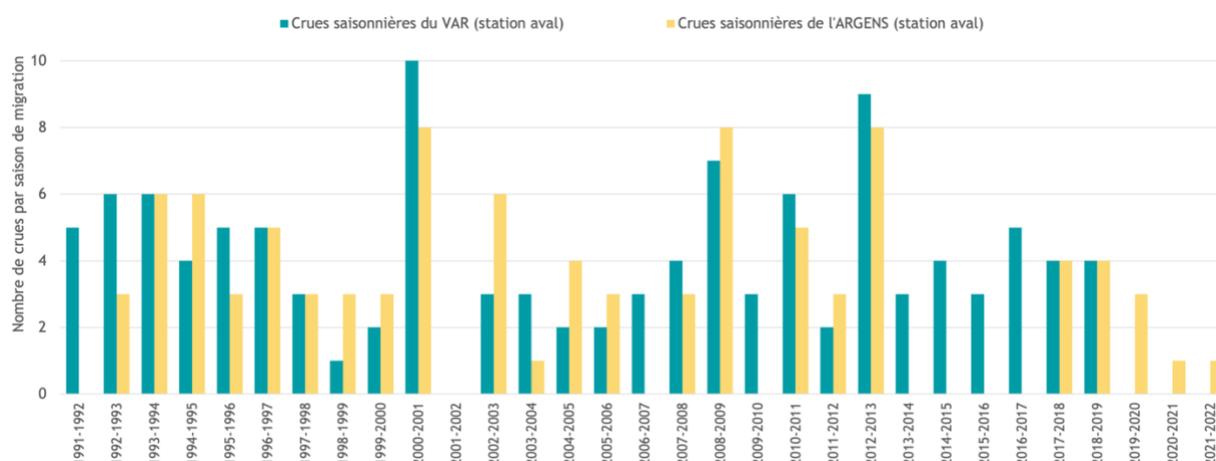


Figure 4 : Comparaison du nombre de crues observées chaque saison sur le Var et l'Argens.

Il convient donc maintenant d'analyser plus en détail ces fenêtres potentielles. Un focus sera réalisé sur les deux premières crues de chaque saison. En effet, le retour d'expérience de la Cagne a mis en avant l'affinité particulière des anguilles pour ces tous premiers pics de débit pour réaliser leur dévalaison vers la Méditerranée.

3.4. Quatrième critère : les caractéristiques hydrologiques des deux premières crues automnales

a) Les périodes propices à l'observation des premières crues sur le Var et l'Argens

Le but de cette analyse est de comparer les périodes auxquelles ont tendance à survenir les deux premières crues saisonnières sur les bassins de l'Argens et du Var. Cette approche permet d'observer si, au fil des saisons, les deux bassins disposent en théorie de fenêtres de dévalaisons comparables.

Pour chaque saison de migration entre 1990 et 2022, la date à laquelle le QJM dépasse pour la première fois le *seuil 2x le module* a été recherchée, sur les stations aval du Var et de l'Argens, évaluées représentatives des évolutions journalières de débit de leurs bassins respectifs en 3.1. Pour l'ensemble des saisons de migrations exploitables, les dates minimales, maximales, et celles correspondant aux valeurs Q1, médiane (Q2), Q3 ont été calculées et exportées sous forme de boxplots (voir Figure 5 ci-dessous).

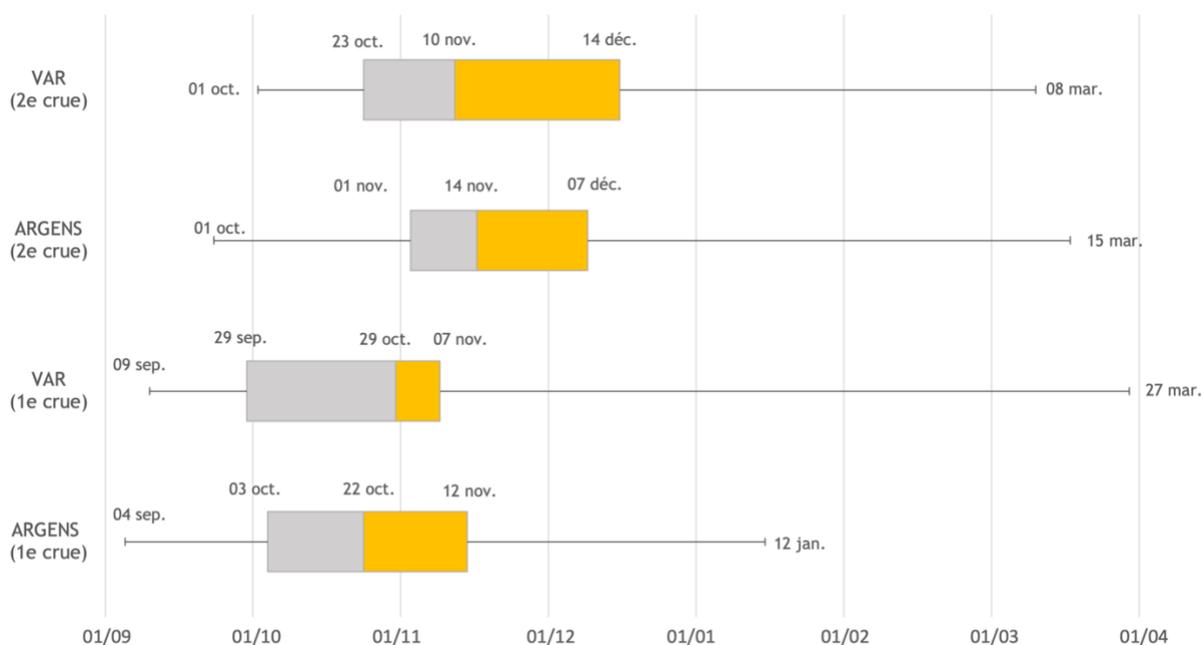


Figure 5 : Périodes de survenues les plus récurrentes des premières et secondes crues saisonnières sur les stations aval des bassins du Var et de l'Argens

Sur une période de 30 saisons de dévalaison, la première crue saisonnière du Var et de l'Argens 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 à la fin du mois d'octobre sur les deux bassins. **Il est intéressant de d'observer que, globalement, les différentes métriques utilisées (MIN, Q1, médiane, Q3 et MAX) se superposent pour les premières et secondes crues respectives des deux fleuves.**

Compte tenu de ces résultats, et du fait que les deux entités hydrologiques sont géographiquement proches (les embouchures des deux fleuves sont éloignées d'une cinquantaine de kilomètres), on peut supposer que la plupart des événements météorologiques locaux vont modifier simultanément les débits des deux fleuves.

Sur ces deux bassins hydrographiques, les mois d'octobre-novembre semblent donc particulièrement critiques vis-à-vis de la dévalaison.

b) Les caractéristiques hydrologiques de ces premières crues sur les deux bassins

Pour chaque saison de dévalaison, les caractéristiques hydrologiques des deux premières crues automnales sont recherchées, à savoir : l'intensité maximale atteinte par ces deux crues (annuelle, biennale, quinquennale, etc.) et l'étalement dans le temps de la crue (le nombre de jours où le débit reste supérieur à 2x le module). Un tableau récapitulatif des résultats de cette analyse est présenté ci-dessous.

Tableau 7 : Caractéristiques hydrologiques moyennes des 1^{ères} et 2^e crues automnales sur 30 ans de données, pour les fleuves Var (1990-2019) et Argens (1991-2022)

	QJM maximal moyen observé (m ³ /s)	Durée moyenne de montée en charge (jours)	Étalement moyen de l'épisode de crue (jours)	Durée moyenne de décrue (jours)
Première crue du Var	223	2,1	2,8	2,3
Première crue de l'Argens	101	1,3	2,6	1,7
Seconde crue du Var	320	2,6	4,6	2,7
Seconde crue de l'Argens	236	2,1	9,2	6,9

Tout d'abord, cette analyse au cas par cas a permis de confirmer que les dates des premières crues observées sur le Var et l'Argens sont globalement similaires. Ce cas de figure typique, avec des premières crues communes auxquelles viennent s'ajouter des crues ponctuelles propres à chaque fleuve, est illustré par la Figure 6 ci-dessous à titre d'exemple.

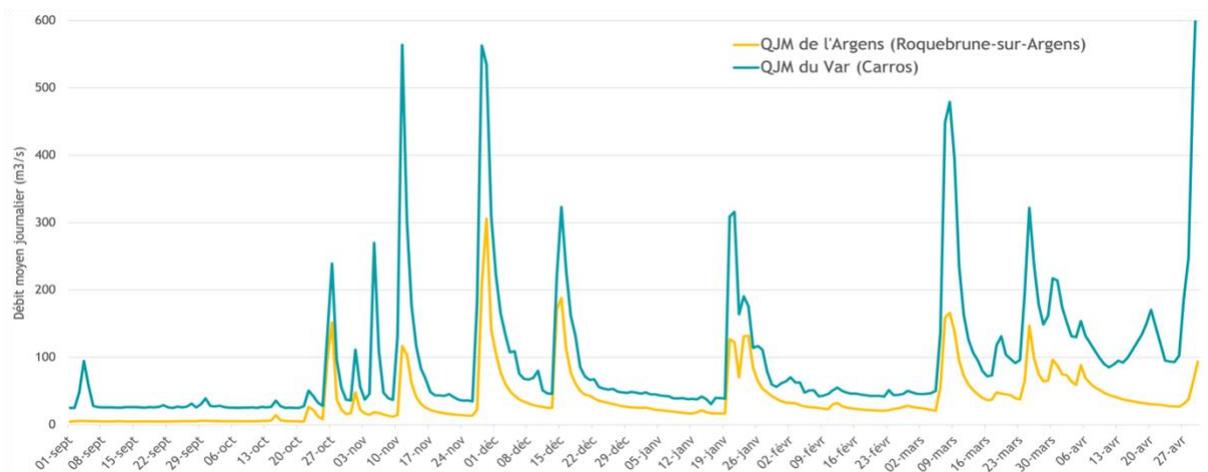


Figure 6 : Evolution journalière du débit sur les fleuves Var et Argens au cours de la saison 2012-2013.

Ces 30 dernières années, la première crue saisonnière observée sur les deux bassins est quasi-exclusivement caractérisée par des pics de débits très brefs (1-2 jours) et peu intenses, avec des QJM_{max} bien inférieurs aux seuils de crues biennaux. Sur l'Argens, 80% des premières crues enregistrées sur la période 1991-2022 ont un QJM_{max} inférieur au seuil de crue biennal, un chiffre similaire à celui estimé pour le Var (85%) entre 1990 et 2019.

L'absence globale 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 anguilles

On note également que sur les deux bassins, les deuxièmes crues de chaque saison sont en moyenne plus longues et plus violentes que les premières. Certaines années exceptionnelles, avec des débits de crues soutenus pendant plusieurs dizaines de jours sur l'Argens (saison 1995-1996), expliquent les différences constatées avec le Var. **En conclusion, les deux premières crues saisonnières sont très similaires sur les deux bassins, en termes d'intensité et de période de survenue.**

Conclusion

Les analyses réalisées cette année ont permis de comparer le fonctionnement hydrologique de deux grands fleuves côtiers de Méditerranée : le Var et l'Argens. L'analyse comparative de leur fonctionnement devait déterminer si les deux fleuves présentaient un fonctionnement suffisamment similaire pour que des résultats d'expérimentations *in situ* de dévalaison d'anguilles européennes, obtenus sur l'un, soient transposables sur l'autre. Pour répondre à cette question, des données hydrologiques journalières des deux fleuves (et de leurs tributaires) ont été comparées pour une trentaine de saisons de dévalaison, selon une liste de critères validés en 2019 en Comité de Pilotage.

Les résultats obtenus cette année sont très encourageants, et mettent en avant des similarités de fonctionnement intéressantes entre le Var et l'Argens.

Tout d'abord, l'analyse de la cohérence amont aval des deux bassins versants a permis de montrer que **les stations aval des deux fleuves** (Carros sur le Var et Roquebrune pour l'Argens) **étaient représentatives des fluctuations de débit observées sur l'ensemble des deux bassins**. Ces deux stations ont donc servi de base aux analyses qui ont suivi.

Concernant les créneaux de dévalaison les plus critiques, à savoir les deux premières crues saisonnières, **les analyses ont montré des similarités importantes pour les deux côtiers**, avec des premières crues peu intenses, qui surviennent globalement aux mêmes périodes, et qui, dans le détail, semblent régulièrement se produire en simultané sur les deux fleuves, en lien avec la proximité géographique des deux bassins.

L'analyse du nombre de crues par saison confirme cette similarité de fonctionnement global, avec des chiffres cohérents entre les deux bassins, qui connaissent en moyenne 4 crues par saison, et avec des résultats saisonniers souvent proches voir identiques. Les crues des deux fleuves ont aussi des morphologies très similaires, typiques des cours d'eaux méditerranéens : une montée en charge très rapide (en moins de deux jours), suivies de décrues tout aussi rapides.

La seule différence majeure à signaler entre les deux bassins concerne la contribution des affluents. Sur le Var, trois affluents alimentent le fleuve de façon comparable (Estéron, Tinée et Vésubie), alors que sur l'Argens, c'est l'Aille qui va majoritairement contribuer aux débits enregistrés à l'aval du fleuve. Les deux autres affluents étudiés (Nartuby et Bresque) contribuent de façon plus modérée. Il convient néanmoins de garder à l'esprit qu'une moindre contribution hydrologique d'un affluent n'est pas synonyme de faible apport en anguilles dévalantes, et ne préjuge donc pas de l'intérêt biologique de ces derniers.

En conclusion, **les similarités hydrologiques mises en avant ont encouragé MRM à planifier en 2023 des opérations de pêches électriques sur le bassin de l'Argens, pour identifier des secteurs propices à la capture d'anguilles argentées, en vue de la mise en place d'une étude *in situ* de la dévalaison sur un fleuve côtier de grande envergure, pour compléter les avancées réalisées au travers de l'étude RFID de la Cagne.**

Les analyses réalisées cette année permettent en effet de s'assurer que d'éventuels résultats *in situ* obtenus sur l'Argens seraient globalement transposables sur le Var, où les attentes en termes de gestion hydroélectrique sont particulièrement fortes. Ces résultats, associées aux outils théoriques déjà proposés par le MNHN (Modèle Silvrpeak) et MRM (méthode 2x le module) offrent des pistes prometteuses en termes de gestion. Compte tenu de l'état critique du stock d'Anguilles européennes, il serait pertinent de mobiliser sans attendre les outils déjà disponibles, dans l'attente de résultats *in situ* qui permettront, à moyen terme, d'affiner ces modèles théoriques.

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

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

