

FLUX4 : suivis 2025-2026 du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées dans la lagune de Bages-Sigean



Rapport scientifique Septembre 2026

Référence à citer :

Le Gallou I., Lagarde R., Peret N., Simon G., Amilhat E., Bourrin F. & Faliex E. (2026). Rapport scientifique du projet FLUX4 : suivis 2025–2026 du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées dans la lagune de Bages-Sigean. Septembre 2026. CEFREM, Université de Perpignan Via Domitia. 47 pp. + annexes

Contacts :**Coordinateurs du projet :**

Iona LE GALLOU (Ingénieure d'études CDD UPVD) : iona.le-gallou@univ-perp.fr

Responsables scientifiques des suivis de recrutement et dévalaison :

Dr. Elisabeth FALIEUX (Maître de conférences UPVD) : faliex@univ-perp.fr

Dr. Elsa AMILHAT (Ingénieure de Recherche UPVD) : elsa.amilhat@univ-perp.fr

Dr. Raphaël LAGARDE (Maître de conférences UPVD) : raphael.lagarde@univ-perp.fr

Responsable scientifique du suivi des paramètres hydro-climatiques :

Dr. François BOURIN (Maître de conférences UPVD) : fbourrin@univ-perp.fr

Responsable technique des installations de suivi :

Gaël SIMON (Assistant Ingénieur CNRS) : gsimon@univ-perp.fr

Responsables de l'analyse des données de la caméra acoustique :

Iona LE GALLOU

Nicolas PERET (Technicien CDD UPVD)

Responsable de la relève des pièges à civelles :

Nicolas PERET

UMR 5110 CNRS - UPVD

CEntre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM)

Université de Perpignan

52 Avenue Paul Alduy

66860 Perpignan Cedex, France

Tel: 04 68 66 21 86

<http://cefrem.univ-perp.fr/>

Organismes financeurs :

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

La Région Occitanie

Remerciements :

Nous tenons à remercier le service portuaire de Port-la-Nouvelle de la Région Occitanie pour leur aide dans l'installation de la caméra acoustique (fabrication et installation de la poutre et du support de la caméra). Nous tenons également à remercier la CCI pour le prêt gracieux d'une case au niveau du port pour stocker notre matériel. Nous remercions ces deux organismes pour leur accompagnement dans nos démarches visant à l'obtention des autorisations nécessaires pour l'installation de nos systèmes de suivi. Nous tenons à remercier l'IFREMER de Sète pour le prêt de deux H-ADCP. Enfin, nous remercions les financeurs qui ont rendu ce projet possible.

Table des matières

1	Rappel contexte et enjeux de suivi des anguilles dans les lagunes méditerranéennes.....	8
1.1	Contexte et problématique de gestion des anguilles dans les lagunes méditerranéennes	8
1.2	Objectifs généraux du projet FLUX4.....	9
2	Matériel et méthodes.....	10
2.1	Site d'étude	10
2.2	Mesures des paramètres hydro-climatiques	12
2.2.1	Récupération et compilation des données climatiques.....	12
2.2.2	Mesures des données environnementales du milieu aquatique	14
2.3	Suivi de l'échappement des anguilles argentées	15
2.3.1	Positionnement et réglage de la caméra.....	16
2.3.2	Enregistrement et lecture des vidéos	17
2.4	Suivi du recrutement des civelles.....	18
2.4.1	Description et localisation des flottangs.....	18
2.4.2	Fréquence et période de relève des flottangs	19
2.4.3	Biométrie.....	20
2.4.4	Expérimentation pour étudier la possibilité de réduire la fréquence de relève des flottangs.....	20
2.5	Traitement et analyse des données.....	21
2.5.1	Variabilité des conditions hydro-climatiques	21
2.5.2	Variabilité saisonnière des abondances des anguilles argentées.....	22
2.5.3	Evolution saisonnière des structures de taille et du sex-ratio des anguilles argentées	22
2.5.4	Effet de la fréquence de relève des flottangs sur le nombre de civelles capturées.....	23
2.5.5	Variabilité des abondances et des caractéristiques biologiques des civelles	24
2.5.6	Effet des paramètres hydro-climatiques sur les dynamiques d'échappement des anguilles argentées et de recrutement des civelles	24
3	Résultats.....	25
3.1	Echappement des anguilles argentées	25
3.1.1	Dynamique de l'échappement des anguilles argentées sur les huit saisons suivies	25
3.1.2	Variabilités temporelles des structures de taille et du sex-ratio.....	28
3.1.3	Lien entre les déplacements d'anguilles et les conditions hydro-climatiques	29

3.2	Recrutement des civelles.....	31
3.2.1	Variabilité temporelle des abondances journalières et des caractéristiques biologiques des civelles.....	31
3.2.2	Lien entre l'intensité du recrutement des civelles et les conditions hydro-climatiques	35
3.2.1	Expérimentation sur la réduction de fréquence de relève des flottangs ...	37
4	Discussion	38
4.1	Echappement des anguilles argentées	38
4.1.1	Phénologie saisonnière de l'échappement des anguilles argentées.....	38
4.1.2	Structure de taille et sex-ratio des anguilles argentées.....	39
4.1.3	Effet des paramètres hydro-climatiques sur l'échappement des anguilles argentées	40
4.2	Recrutement des civelles.....	41
4.2.1	Expérimentation pour étudier la possibilité de réduire la fréquence de relève des flottangs.....	41
4.2.2	Phénologie saisonnière du recrutement des civelles	42
4.2.3	Variabilité temporelle des caractéristiques biologiques des civelles	43
4.2.4	Effet des paramètres hydro-climatiques sur le recrutement des civelles .	44
5	Conclusion.....	46
6	Perspectives.....	46

Table des figures et tableaux

Figure 1 : Illustration du cycle de vie diadrome des sous-populations d'anguilles européennes peuplant les lagunes méditerranéennes (A). Localisation de la zone de reproduction dans la Mer des Sargasses (B, point rouge) et de l'aire de répartition continentale et côtière de l'anguille européenne (B, traits verts). Les flèches orange symbolisent les deux migrations transatlantiques effectuées par les anguilles argentées et par les larves leptocéphales (B).....	9
Figure 2 : Localisation du bassin versant de la lagune de Bages-Sigean (en beige) et délimitation de la lagune elle-même et de ses principaux apports en eau douce (en bleu).	11
Figure 3 : Localisation des trois stations Météo France (Narbonne, Durban-Corbières et Leucate) pour lesquelles les données climatiques ont été extraites (points noirs).....	13
Figure 4 : Localisation des stations de jaugeage de Ripaud (triangle noir) mesurant les débits dans la Berre (A) ainsi que des différents instruments de mesures placés dans le grau de la lagune de Bages-Sigean (B). Le point supplémentaire de mesures de la température de l'eau est symbolisé par le « T » noir, enfin, la position des courantomètres H-ADCP et de la sonde CTD par l'étoile noire.	14
Figure 5 : Localisation de la caméra acoustique dans le grau de la lagune de Bages-Sigean (flèche noire).....	16
Figure 6 : Illustration de la proportion du grau pris en compte dans le champ de la caméra. (A) vue de dessus et (B) vue en coupe transversale. La zone grisée représente le champ estimé de la caméra. Le protocole ayant permis d'effectuer ces estimations est détaillé dans Lagarde et al. (2020a).....	17
Figure 7 : Illustration d'un flottang vu de dessous (A) et de dessus (B).	18
Figure 8 : Localisation des flottangs (carrés rouges) utilisés pour le suivi du recrutement des civelles dans le grau de la lagune de Bages-Sigean.	19
Figure 9 : Illustration de la relève d'un flottang.	20
Figure 10 : Localisation des flottangs dans le grau de la lagune de Bages-Sigean (carrés noirs) utilisés lors des suivis entre 2018 et 2026 du recrutement des civelles et des flottangs supplémentaires (4 groupes de 2 flottangs notés de A à D, carrés verts) spécifiquement installés pour les tests de fréquence de relève.	21
Figure 11 : Echappement calculé entre 18h00 et minuit pour les sept saisons de suivi de l'échappement. Les traits rouges représentent les jours pour lesquels un problème technique est survenu empêchant l'enregistrement de tout ou d'une partie des vidéos entre 18h00 et minuit. Enfin, la ligne bleue pointillée délimite les journées pour lesquelles l'échappement calculé était supérieur à 200 individus. Les versions agrandies des graphiques sont disponibles en Annexe 4.	27

Figure 12 : Structures de tailles des anguilles se déplaçant vers la mer entre 18h00 et minuit pour les dates où l'échappement calculé était supérieur à 200 anguilles, par saison de suivi. Le trait vertical bleu pointillé représente la taille de 45 cm.	29
Figure 13 : Relation entre l'échappement calculé des anguilles argentées (log-transformé) et la date (A), la turbidité dans le grau (B), la température de l'eau dans le grau (C) et le débit de la Berre (D). Les figures A, B, C et D sont présentées dans l'ordre décroissant d'indice de pureté des nœuds.	30
Figure 14 : CPUE journalières (nombre moyen de civelles par flottang) pour les huit saisons de suivi de recrutement. Pour chaque saison le suivi a débuté le 1 ^{er} octobre et s'est terminé le 31 mars (sauf pour la première saison avec un début le 12 décembre 2018). Les traits rouges représentent les jours pour lesquels la relève n'a pas été possible du fait de contraintes techniques ou administratives.	32
Figure 15 : Evolution des structures de taille et de poids des civelles capturées entre les mois de décembre 2018 et mars 2026. Le trait vertical pointillé bleu représente la valeur médiane de taille (65 mm) et de poids (0,23 g), le nombre d'individus pour chaque période est présenté sur la Figure 16.....	34
Figure 16 : Evolution des stades de pigmentation des civelles capturées pour les huit saisons de suivi de recrutement (entre déc. 2018 et mars 2026). N : nombre de civelles analysées. Les civelles sont de plus en plus pigmentées entre les stades VA et VII.....	35
Figure 17 : Relation entre les pourcentages de CPUE (en nombre moyen de civelles par flottang et par jour) de civelles toutes saisons confondues et le débit de la Berre en m ³ /s (A), la vitesse du courant en m/s (B) et la date (C). Les figures A, B et C sont présentées dans l'ordre décroissant d'indice de pureté des nœuds.....	36
Figure 18 : Relation entre le logarithme de la somme des civelles relevées quotidiennement sur quatre jours et le logarithme du nombre de civelles capturées après quatre jours, toutes saisons confondues (de 2022 à 2026).	37
Figure 19 : Histogrammes des captures de civelles transformées en logarithme : à gauche, nombre de civelles capturées après quatre jours corrigé par la pente du modèle global ; à droite, somme des captures relevées quotidiennement pendant quatre jours.....	38

Tableau 1 : Nombre d'anguilles allant vers la mer et échappement calculé (en retranchant les anguilles se dirigeant vers la lagune) en fonction des différentes saisons de suivi (2018–2026)	25
Tableau 2 : Statistiques descriptives des longueurs totales corrigées des anguilles détectées à une distance $\leq$ à 8m de la caméra acoustique (N. anguilles), par saison de suivi. Seules les dates pour lesquelles l'échappement calculé était supérieur à 200 individus ont été retenues.	28
Tableau 3 : Pourcentage de femelles (≥ 45 cm LT) en fonction des différentes saisons de suivi (2018–2025) (* indique que l'année de suivi est incomplète).	28
Tableau 4 : Indices de pureté de nœuds et p-values déterminés à partir des random forests modélisant l'échappement calculé des anguilles argentées en fonction des paramètres hydro-climatiques et de la date. Date : date julienne centrée, Turb : turbidité dans le grau ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), T_eau : température de l'eau dans le grau ($^{\circ}\text{C}$), Q_Berre : débit au niveau de la station de jaugeage de Ripaud ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), V_courant : vitesse du courant dans le grau ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), avec par convention les courants allant en direction de la mer prenant une valeur positive et ceux en direction de la lagune une valeur négative, V_vent : vitesse du vent ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), avec par convention les vents de direction 20 à 200° prenant une valeur négative et ceux de direction 200 à 20° une valeur positive, Visi_lune : pourcentage de pleine lune, Sal : salinité dans le grau, P_atm : pression atmosphérique (hPa), Neb : nébulosité (octas), H_pluie : hauteur journalière des précipitations (mm). La date, la turbidité, la température de l'eau et le débit de la Berre (en gras) sont les seuls paramètres ayant une influence significative sur l'échappement calculé.	31
Tableau 5 : Nombre total de civelles capturées par saison de suivi et capture par unité d'effort (CPUE) en nombre moyen de civelles capturées par flottang pour chaque saison de suivi (* indique que l'année de suivi est incomplète).	31
Tableau 6 : Nombre de civelles (N. civelles) mesurées et statistiques descriptives de leur taille (mm) et de leur poids (g) pour chaque saison de suivi.	33

Avant-propos

Le projet FLUX4 s'inscrit dans la continuité des projets FLUX, FLUX2 et FLUX3, menés entre 2018 et 2023 par l'Université de Perpignan, dans l'optique de maintenir un suivi long terme du recrutement et de l'échappement des anguilles en milieu lagunaire. Ce projet permet de combler un manque de données au niveau de la Méditerranée et permettra, dans le futur, d'utiliser ces données dans l'évaluation de l'état de la population au niveau national et international. Le projet FLUX avait notamment pour objectifs de définir les modalités techniques et les périodes de suivis du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées dans le grau de la lagune de Bages-Sigean. Le projet FLUX4 s'appuie sur les nombreux retours d'expériences des projets FLUX, FLUX2 et FLUX3 (Lagarde et al., 2019a ; 2019b ; 2020a ; 2020b ; 2020c ; 2020d ; 2020e ; 2021a ; 2021b ; 2021c ; 2022) pour effectuer 3 saisons supplémentaires de suivi de 2023 à 2026. Le présent rapport synthétise l'ensemble des données recueillies depuis le début des suivis du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées dans le grau de la lagune de Bages-Sigean en 2018 jusqu'à la dernière saison de suivi 2025-2026.

1 Rappel contexte et enjeux de suivi des anguilles dans les lagunes méditerranéennes

1.1 Contexte et problématique de gestion des anguilles dans les lagunes méditerranéennes

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) a un cycle de vie diadrome (Figure 1A) qui implique des migrations entre les milieux aquatiques marins et continentaux à des étapes bien précises de sa vie (McDowall, 1988; Myers, 1949). Les géniteurs d'anguilles se reproduisent dans la Mer des Sargasses (Figure 1B) qui se situe au large des côtes de la Floride (Miller et al., 2019 ; Schmidt, 1923 ; Schoth & Tesch, 1982). Après l'éclosion des œufs, les larves (dites "leptocéphales") sont transportées, principalement par les courants océaniques, jusqu'à leur zone de croissance dans les milieux aquatiques continentaux européens, d'Afrique du Nord et d'Asie de l'Ouest (Miller et al., 2014). Leur croissance se poursuit pendant toute la durée du stade appelé anguille jaune, soit sur une période allant de deux ans jusqu'à plus de 40 ans (Poole & Reynolds, 1996). A la fin de leur croissance, les anguilles vont initier leur maturation. Ceci se traduit par une métamorphose du stade anguille jaune à celui d'anguille argentée et une migration vers la mer ou l'océan pour ensuite rejoindre la Mer des Sargasses (Amilhat et al., 2016 ; Béguer-Pon et al., 2015).

Entre 1980 et 2011 le recrutement des civelles a fortement décliné et correspond en 2024 à 7,2 % (Mer du Nord exclue) du recrutement observé sur la période 1960-1979. (ICES, 2025). Ce déclin de la population d'anguilles a motivé le classement d'*A. anguilla* sur la liste des espèces en danger critique d'extinction par l'UICN en 2008 (Jacoby & Gollock, 2014 ; Pike et al., 2020) et la mise en place d'un règlement européen en 2007 pour sa restauration et sa préservation (European Council, 2007). Ce règlement impose la mise en place d'un plan de gestion par chacun des pays membres de l'Union européenne. L'un des objectifs clefs de ces plans de gestion est de réduire à long terme les causes anthropiques de mortalité des anguilles afin de permettre un taux d'échappement des anguilles argentées vers la mer équivalent à au moins 40 % (en biomasse) de la meilleure estimation de ce que serait cet échappement sans impact d'origine anthropique.

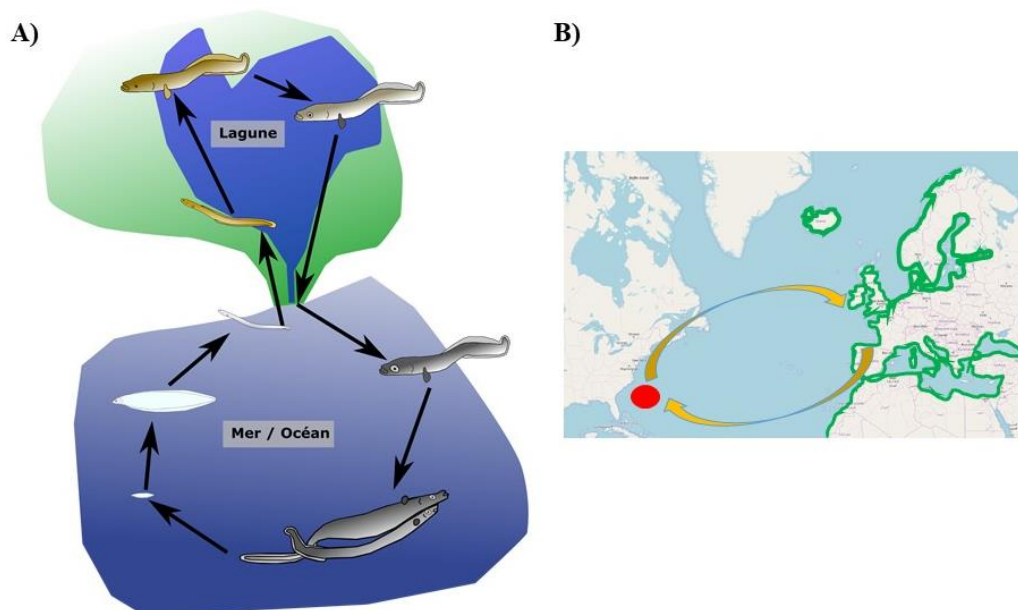


Figure 1 : Illustration du cycle de vie diadrome des sous-populations d'anguilles européennes peuplant les lagunes méditerranéennes (A). Localisation de la zone de reproduction dans la Mer des Sargasses (B, point rouge) et de l'aire de répartition continentale et côtière de l'anguille européenne (B, traits verts). Les flèches orange symbolisent les deux migrations transatlantiques effectuées par les anguilles argentées et par les larves leptocéphales (B).

Les lagunes méditerranéennes, écosystèmes très productifs, sont des habitats clefs pour les sous-populations d'anguilles (Pérez-Ruzafa et al., 2011) en permettant notamment une maturation rapide des futurs géniteurs (anguilles argentées, Amilhat et al., 2014). En Méditerranée, environ 400 lagunes couvrent une superficie estimée à 641 000 ha (Cataudella et al., 2015). Le littoral méditerranéen français regroupe près d'une centaine de lagunes totalisant environ 85 000 ha, dont 36 000 ha (42 %) localisés en région Occitanie (Oswatte Liyanage, 2021).

Malgré cette importance reconnue, peu de données sur le recrutement des civelles dans les lagunes et l'échappement des anguilles argentées vers la mer sont disponibles. Le besoin de renforcer les connaissances sur l'écologie et l'état des sous-populations d'anguilles des lagunes est ciblé dans les orientations 3 et 4 des PLAGEPOMI 2016–2021 et 2022–2027. C'est pour répondre à ces enjeux que les projets (FLUX, FLUX2, FLUX3 et FLUX4) de suivi du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées ont été initiés et se poursuivent depuis 2018 au niveau de la lagune atelier de Bages-Sigean. Depuis 2018, des travaux d'agrandissement du port de Port-la-Nouvelle sont également en cours. Ces aménagements pourraient potentiellement modifier les conditions hydrodynamiques et environnementales locales, avec des répercussions sur les dynamiques de recrutement des civelles et d'échappement des anguilles argentées, ce qui justifie une attention particulière dans l'interprétation des résultats à long terme.

1.2 Objectifs généraux du projet FLUX4

Le projet FLUX4 (2023–2026) s'inscrit dans la continuité des projets FLUX, FLUX2 et FLUX3 qui avaient pour objectif principal de suivre le recrutement des civelles et

l'échappement des anguilles argentées sur la lagune de Bages-Sigean entre 2018 et 2023. Le projet FLUX4 est organisé autour des trois mêmes actions principales, à savoir :

- Le suivi de l'échappement des anguilles argentées,
- Le suivi du recrutement des civelles,
- L'analyse des paramètres environnementaux pouvant influencer ces migrations.

A ces trois actions s'ajoute une expérimentation supplémentaire qui vise à tester une nouvelle méthode qui pourrait permettre de réduire la fréquence de relève des flottangs (pièges passifs pour les civelles).

Ce rapport présente les résultats de la saison 2025–2026 et les compare aux années précédentes. Les méthodes et périodes de suivi sont issues des recommandations formulées lors des projets FLUX précédents (Lagarde et al., 2019a ; 2019b ; 2020a ; 2020b ; 2020c ; 2020d ; 2020e ; 2021a ; 2021b ; 2022). Ainsi, le suivi de l'échappement des anguilles argentées a été effectué à l'aide d'un sonar multifaisceaux (ou caméra acoustique) entre octobre 2025 et avril 2026. Le suivi du recrutement des civelles a été effectué à l'aide de pièges passifs de type flottangs entre octobre 2025 et mars 2026. Ces dispositifs ont été associés à la relève des paramètres hydro-climatiques (température de l'eau, force et direction du courant, salinité, turbidité, force et direction du vent, précipitations, phase lunaire, couverture nuageuse, débit de la Berre et pression atmosphérique) entre octobre 2025 et avril 2026. Dans le cadre du suivi 2025–2026, de nouvelles données ont été collectées afin d'affiner la compréhension des dynamiques (périodicité et abondance) de recrutement des civelles et d'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire, précédemment décrites dans les projets FLUX antérieurs (Lagarde et al., 2022). L'étude porte également sur le lien entre ces dynamiques et les forçages environnementaux, afin de mieux cerner le déterminisme des migrations d'anguilles depuis et vers la lagune. Ce type de données, très rares au niveau national et quasi-inexistantes au niveau du bassin méditerranéen, peut aider à mieux comprendre l'impact des paramètres environnementaux et des pressions anthropiques sur le recrutement des civelles et l'échappement des anguilles argentées à une échelle locale.

2 Matériel et méthodes

2.1 Site d'étude

La lagune de Bages-Sigean se situe dans le département de l'Aude au sud de la ville de Narbonne (Figure 2). Cette lagune d'environ 3800 hectares fait partie du complexe des étangs de la Narbonnaise et est classée site Natura 2000 (INPN & SPN-MNHN, 2011). La profondeur moyenne de la lagune de Bages-Sigean est de l'ordre de 1,5 m. Son bassin versant s'étend sur une surface d'environ 450 km² et est principalement constitué de garrigue et de parcelles agricoles même si des zones urbaines sont localement observées, notamment au niveau de Narbonne au nord et de Port-la-Nouvelle, au niveau de sa communication avec la mer à l'est (données CORINE Land Cover, 2012).

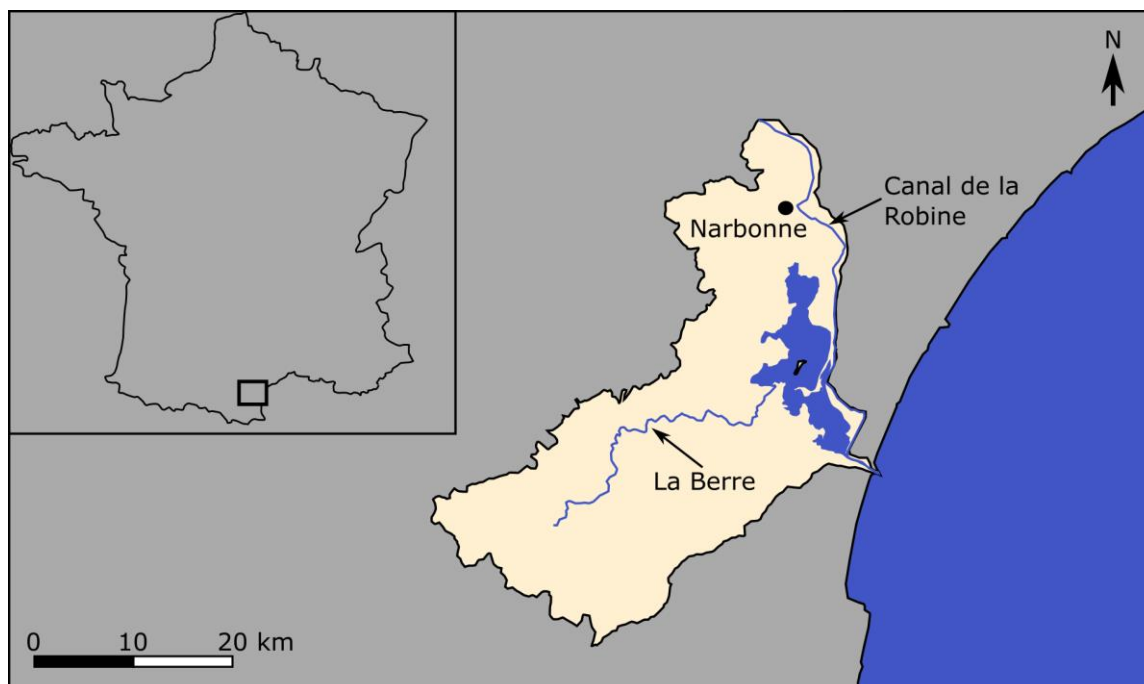


Figure 2 : Localisation du bassin versant de la lagune de Bages-Sigean (en beige) et délimitation de la lagune elle-même et de ses principaux apports en eau douce (en bleu).

Les deux principaux apports en eau douce de la lagune de Bages-Sigean sont la rivière Berre, au sud-ouest de la lagune, et le canal de la Robine au nord-est (Figure 2). La variabilité temporelle des apports en eau douce est extrêmement marquée avec, par exemple, un débit journalier médian de la Berre de l'ordre de 0,06 mètres cubes par seconde ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) alors que les débits de crues peuvent avoisiner les 200 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (source : www.hydro.eaufrance.fr). En ce qui concerne le canal de la Robine, la valeur médiane des débits journaliers dérivés dans le canal à partir du fleuve Aude était en 2018 de 1,3 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ pour une valeur maximale de 2,5 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (Voies Navigable de France, VNF, données non publiées). Cependant, il faut noter que de nombreux prélèvements agricoles ont lieu dans ce canal entre l'Aude et la lagune de Bages-Sigean. Par suite, les débits se déversant dans la lagune à partir du canal de la Robine peuvent être très inférieurs à ceux dérivés à partir de l'Aude (Pôle relais lagunes Méditerranéennes, 2015).

La communication entre la lagune et la mer se fait par un chenal unique, ou grau, au niveau duquel est situé le port de Port-la-Nouvelle. Les débits qui transitent à travers ce grau dépendent principalement de la marée, du vent et des précipitations sur le bassin versant de la lagune. Ainsi, entre le 1^{er} décembre 2005 et le 31 mars 2007, l'IFREMER a évalué un débit moyen sortant de la lagune de 29,3 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ pour un débit moyen entrant de 23,1 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ (Fiandrino et al., 2012). Cependant, une très forte hétérogénéité des débits a pu être aussi observée avec, par exemple, un débit sortant proche de 300 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ mesuré lors d'un épisode pluvieux exceptionnel les 29 et 30 janvier 2006. Depuis 2019, afin de renforcer les atouts du port de commerce et de diversifier ses activités, des travaux d'extension portuaire ont été engagés sous maîtrise d'ouvrage régionale et ont conduit à la construction d'une nouvelle digue nord de 2,5 km et au prolongement de la digue sud existante sur 600 m (<https://www.port-la-nouvelle.com/fr/futur-port/>). Ces aménagements ont probablement modifié la courantologie du chenal. Toutefois, les données actuellement disponibles ne sont pas encore suffisamment robustes pour permettre une analyse fiable de ces changements.

Une activité artisanale et traditionnelle de pêche est pratiquée sur la lagune. Le nombre de pêcheurs déclaré a diminué au fil du temps avec environ 45 pêcheurs au sein des prud'homies de Bages et Port-la-Nouvelle au début des années 1990 (Aranda, 1991) contre 20 à 25 pêcheurs une vingtaine d'années plus tard et enfin, 16 pêcheurs étaient recensés en 2024 (Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée & Comité des pêches, 2014). Les principales espèces ciblées par ces pêcheurs sont l'anguille, la dorade royale (*Sparus aurata*), le loup (*Dicentrarchus labrax*) et les muges (*Mugilidae* spp.) (Le Gallou et al., 2025). Les captures de ces espèces ont diminué depuis les années 80 avec, par exemple, 230 tonnes d'anguilles capturées par an en moyenne sur la période 1981–1991 contre 110 et 55 tonnes par an sur les périodes 2000–2007 et 2008–2013, respectivement (Aranda, 1991 ; Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée & Comité des pêches, 2014). Les autres espèces pêchées suivent en général la même tendance à l'exception de la dorade royale pour laquelle les captures annuelles ont été estimées par les mêmes auteurs à 10 tonnes par an en moyenne entre 1981 et 1991 contre 25 tonnes par an en moyenne entre 2011 et 2013. Il est toutefois important de considérer ces observations avec prudence car le nombre de pêcheurs réellement actifs, leur temps de pêche, le nombre d'engins de capture, leur efficacité etc. ne sont pas pris en compte dans ces estimations. De plus, les informations concernant les quantités et les espèces pêchées sont en général issues des carnets de pêche remplis par les pêcheurs. Or, le taux de remplissage des carnets est variable entre les années, même s'il s'est nettement amélioré ces dernières années (Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée & Comité des pêches, 2014).

2.2 Mesures des paramètres hydro-climatiques

Les paramètres hydro-climatiques mesurés ou compilés dans le cadre des projets FLUX peuvent être regroupés en deux catégories. La première catégorie comprend les paramètres du milieu aquatique susceptibles d'influencer directement le comportement migratoire des anguilles argentées ou des civelles, tels que la température de l'eau et le courant dans le grau (Crivelli et al., 2008). La seconde catégorie regroupe les paramètres climatiques mesurés à l'échelle du bassin versant qui peuvent agir à la fois directement sur le comportement des anguilles et indirectement en induisant des variations des conditions du milieu aquatique. Par exemple, une forte couverture nuageuse peut avoir un effet sur les migrations d'anguilles argentées qui s'effectuent préférentiellement la nuit pendant les périodes durant lesquelles l'obscurité est la plus importante (Bruijs & Durif, 2009). De même, des épisodes de fortes précipitations, souvent associées à une forte couverture nuageuse, entraînent une augmentation des débits des cours d'eau et des débits sortant des lagunes, paramètres du milieu qui sont parmi les plus communément associés aux migrations importantes d'anguilles argentées et de civelles (Finiger, 1976 ; Durif & Elie, 2008 ; Crivelli et al., 2008 ; Teichert et al., 2020a ; b).

2.2.1 Récupération et compilation des données climatiques

Les données climatiques ont principalement été extraites des bases de données provenant de Météo France. Parmi les stations d'acquisition de données climatiques appartenant à Météo France, trois ont été identifiées comme particulièrement intéressantes. Il s'agit des stations de Narbonne et de Durban-Corbière, situées sur le bassin versant de la lagune de Bages-Sigean, mais également celle de Leucate, proche de Port-la-Nouvelle, et dont les conditions sont considérées comme assez représentatives de celles régnant au niveau du grau de la lagune (Figure 3).

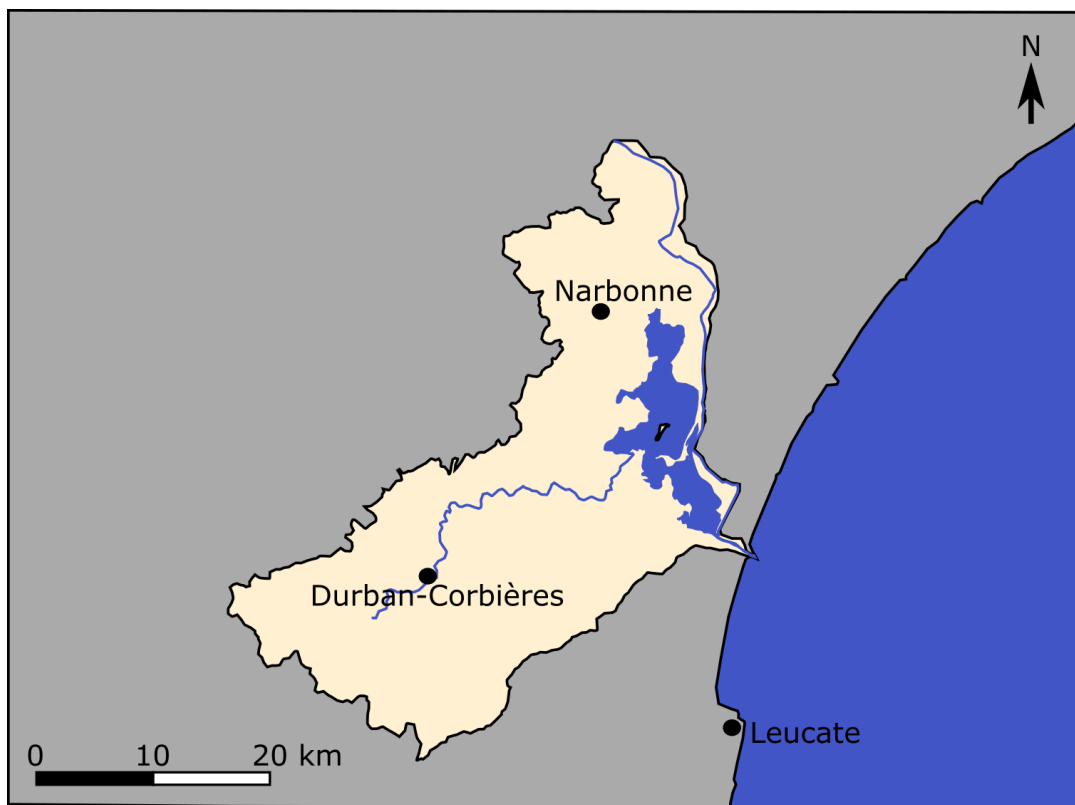


Figure 3 : Localisation des trois stations Météo France (Narbonne, Durban-Corbières et Leucate) pour lesquelles les données climatiques ont été extraites (points noirs).

Le choix des paramètres climatiques extraits de la base de données Météo France pour ces trois stations repose à la fois sur leurs effets supposés sur les migrations de poissons en général (Lucas & Baras, 2001) et des anguilles en particulier (Durif & Elie 2008 ; Arribas et al., 2012 ; Aranburu, Díaz, & Briand 2016), ainsi que sur la disponibilité des données pour au moins l'une des trois stations. Ces paramètres sont :

- le cumul des précipitations en millimètres (mm),
- la température sous abri en degrés Celsius (°C),
- la pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer en hectopascals (hPa),
- la vitesse maximale du vent, instantanée et moyennée sur 10 minutes (m.s^{-1}),
- la direction du vent en degrés,
- la nébulosité totale en octas (0 octa correspond à un ciel complètement dégagé et 9 octas à un ciel complètement couvert).

Toutes ces données ont été extraites au pas de temps horaire pour la période allant du 1^{er} octobre 2018 au 30 avril 2026. Enfin, les phases lunaires de chaque jour, en pourcentage de pleine lune (100 % = pleine lune ; 0 % = nouvelle lune), ont été estimées à partir du package *lunar* (Lazaridis, 2014) du logiciel R version 4.1.1 (R Core Team, 2018).

2.2.2 Mesures des données environnementales du milieu aquatique

Les données environnementales du milieu aquatique ont été obtenues à partir des instruments progressivement déployés dans le cadre des projets FLUX. Les mesures acquises au cours de la saison 2025–2026 à l'aide des dispositifs déjà en place viennent ainsi compléter la base de données constituée lors des saisons précédentes. Les données relatives au principal apport d'eau douce dans la lagune proviennent de la banque Hydro (www.hydro.eaufrance.fr) au niveau de la station de jaugeage de Ripaud (Figure 4A) située sur la Berre. Les données de débits de la Berre à Ripaud ont été extraites pour la période allant du 1^{er} octobre 2018 au 30 avril 2026. A noter que, suite à un problème technique, le débit du canal de la Robine n'est plus mesuré depuis novembre 2018, cette donnée n'a donc pas été prise en compte dans les analyses.

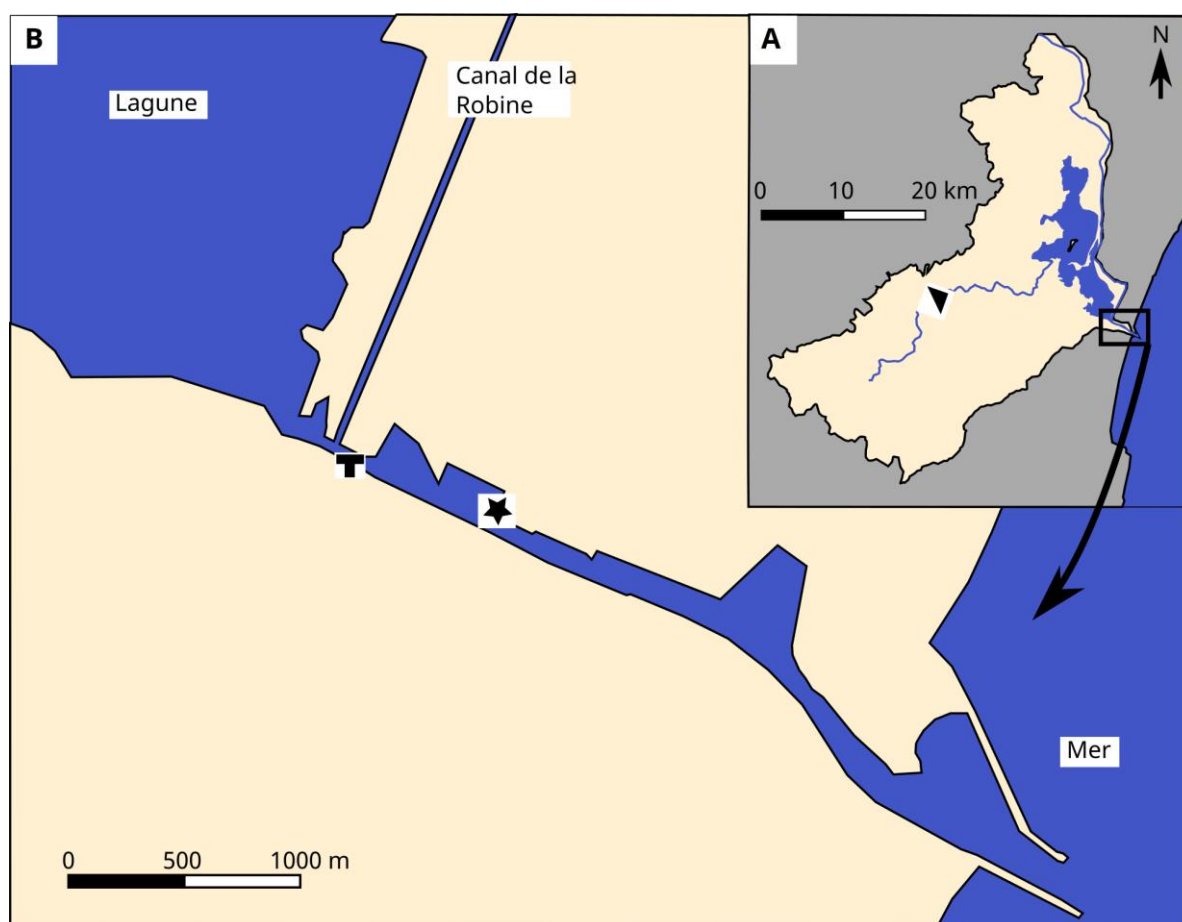


Figure 4 : Localisation de la station de jaugeage de Ripaud (triangle noir) mesurant les débits dans la Berre (A) ainsi que des différents instruments de mesures placés dans le grau de la lagune de Bages-Sigean (B). Le point supplémentaire de mesures de la température de l'eau est symbolisé par le « T » noir, enfin, la position des courantomètres H-ADCP et de la sonde CTD par l'étoile noire.

Au niveau du grau de la lagune de Bages-Sigean, quatre paramètres environnementaux ont été mesurés (Figure 4B) :

- la vitesse du courant (m.s^{-1}),
- la turbidité (g.L^{-1}),
- la salinité,
- la température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$).

La vitesse (m.s^{-1}) et la direction du courant sont mesurées par les deux courantomètres H-ADCP (RDI-Teledyne, Channel Master) installés à une profondeur d'environ 1,5 m et 4,0 m ([Figure 4B](#)). Les courantomètres H-ADCP donnent une estimation des deux paramètres dans une couche horizontale faisant toute la largeur du grau. La précision de mesure des vitesses est de $\pm 0,01 \text{ m.s}^{-1}$.

La turbidité de l'eau a été estimée à partir des données acquises par les H-ADCP, l'intensité du signal acoustique reçu par ce dernier étant proportionnelle à la turbidité (Deines, 1999 ; Moore et al., 2012). L'estimation des valeurs de turbidité à partir de ces données a nécessité une calibration préalable de la relation entre intensité du signal acoustique et turbidité en g.L^{-1} . Cette conversion a été réalisée à partir de 19 échantillons d'eau prélevés dans le grau et analysés au laboratoire. La relation entre l'intensité du signal acoustique et la concentration en MES pour ces 19 échantillons était bonne ($R^2 = 0,63$).

La salinité est mesurée par une sonde CTD (YSI, EX02) installée au même emplacement que les H-ADCP, à 2,5 m de profondeur, avec une précision de $\pm 1 \%$ des valeurs mesurées.

En plus des données de température enregistrées par la sonde CTD, un enregistreur autonome de température (TINYTAG, AQUATIC2, précision $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) a été placé dans le grau ([Figure 4B](#)). Ce dernier a été fixé sur la platine de la caméra acoustique qui se situe à environ 3 mètres sous la surface.

Les dates d'installation de l'ensemble de ces équipements ainsi que leur période de fonctionnement lors de la dernière saison du projet FLUX4 sont détaillées dans l'[Annexe 1](#). La plupart des données manquantes sont dues à un problème de connectique du câble de l'H-ADCP de surface et/ou à des dysfonctionnements de batteries ou d'enregistrement des données des H-ADCP.

L'ensemble des instruments de mesure placés dans le grau de la lagune de Bages-Sigean fournissent des données toutes les heures, quarts d'heure, voire minutes. La fréquence d'enregistrement étant différente entre les instruments, les données ont été ramenées au pas de temps le plus long (horaire) afin de les rendre comparables. En outre, ce pas de temps horaire correspond à celui de l'enregistrement des données climatiques par Météo France. Les données horaires ont été calculées à partir de la moyenne de l'ensemble des mesures réalisées pendant l'heure en question.

2.3 Suivi de l'échappement des anguilles argentées

Le suivi de l'échappement des anguilles argentées de la lagune de Bages-Sigean a été effectué à l'aide d'une caméra acoustique (ARIS, Explorer 1800). Les caméras acoustiques émettent un nombre élevé de faisceaux acoustiques à très haute fréquence. Ces faisceaux peuvent se réfléchir sur plusieurs parties d'un même poisson, plusieurs fois par seconde (Martignac et al., 2015), permettant ainsi de reconstituer une image détaillée de sa morphologie. Outre le caractère non invasif de cette méthode, son avantage réside dans le fait que les échos dus à la réflexion des faisceaux sur des objets sont visibles même lorsque l'eau est turbide et pendant la nuit.

2.3.1 Positionnement et réglage de la caméra

La caméra acoustique a été placée dans le grau de la lagune de Bages-Sigean à l'endroit où la largeur du canal est la moins importante (Figure 5). A ce niveau, la largeur moyenne d'un transect à travers le grau est de 53 m contre environ 55 m à 150 m dans les autres zones. La profondeur le long de ce transect est comprise entre 2,0 et 4,5 m (Lagarde et al., 2020a).

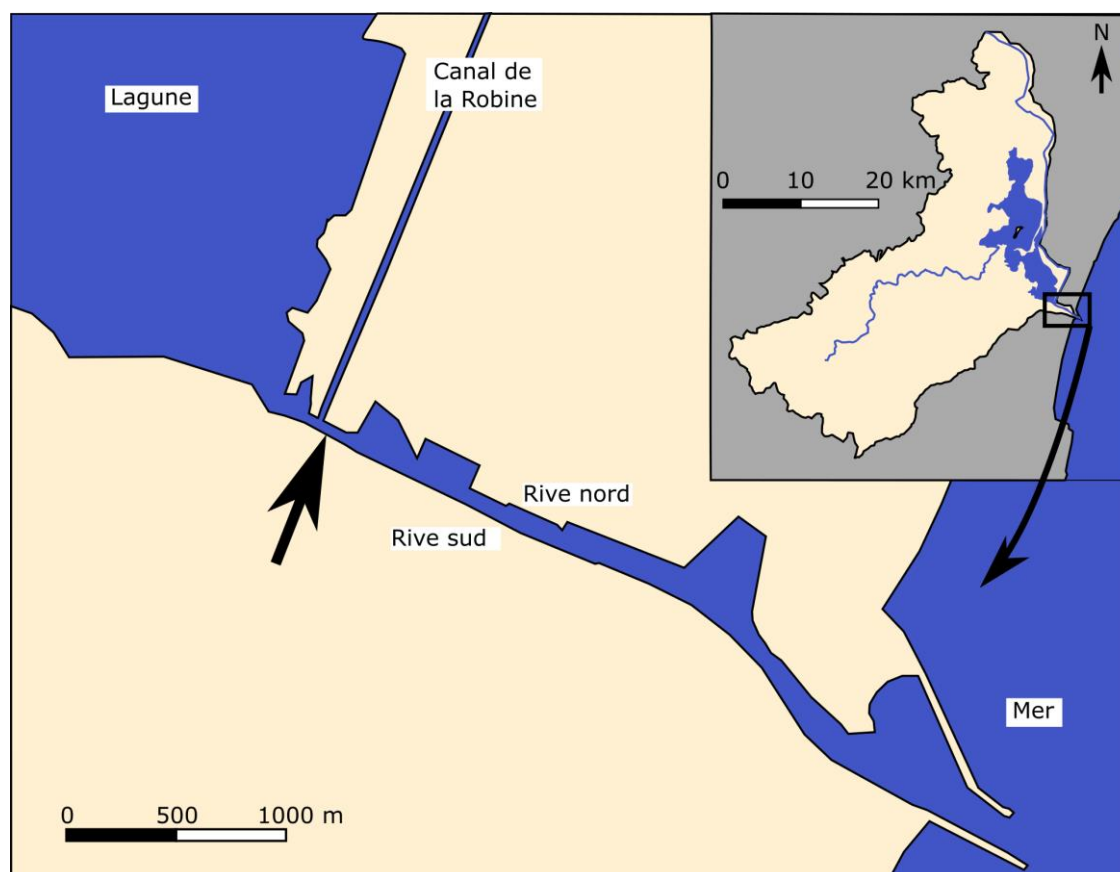


Figure 5 : Localisation de la caméra acoustique dans le grau de la lagune de Bages-Sigean (flèche noire).

La caméra a été placée de manière à ce que l'axe principal de son champ soit perpendiculaire aux berges du grau, à une distance d'environ 20 m de la rive sud. Elle a été fixée à une profondeur approximative de 3,0 m sur un poteau servant d'ancrage à un ponton du port de plaisance, sans aucune inclinaison horizontale ou verticale (Figure 6).

L'identification du comportement de nage étant indispensable pour différencier les anguilles de la plupart des autres espèces (Martignac et al., 2018), la fréquence minimum d'émission des faisceaux acoustiques a été réglé à 1,8 Mhz. A cette fréquence, la surface du champ de la caméra pour laquelle des objets sont identifiables est d'environ 22 m² soit 12% de la surface du grau (Lagarde et al., 2020 ; Figure 6B). La surface du champ de la caméra pour laquelle les objets de petite taille peuvent être clairement identifiés, c'est-à-dire lorsqu'ils sont à moins de 10 m de la caméra (Lagarde et al., 2019b), est d'environ 18 m² soit 10 % de la surface du grau. Enfin, l'angle d'ouverture horizontale des faisceaux émis par la caméra est d'environ 26° (Figure 6A).

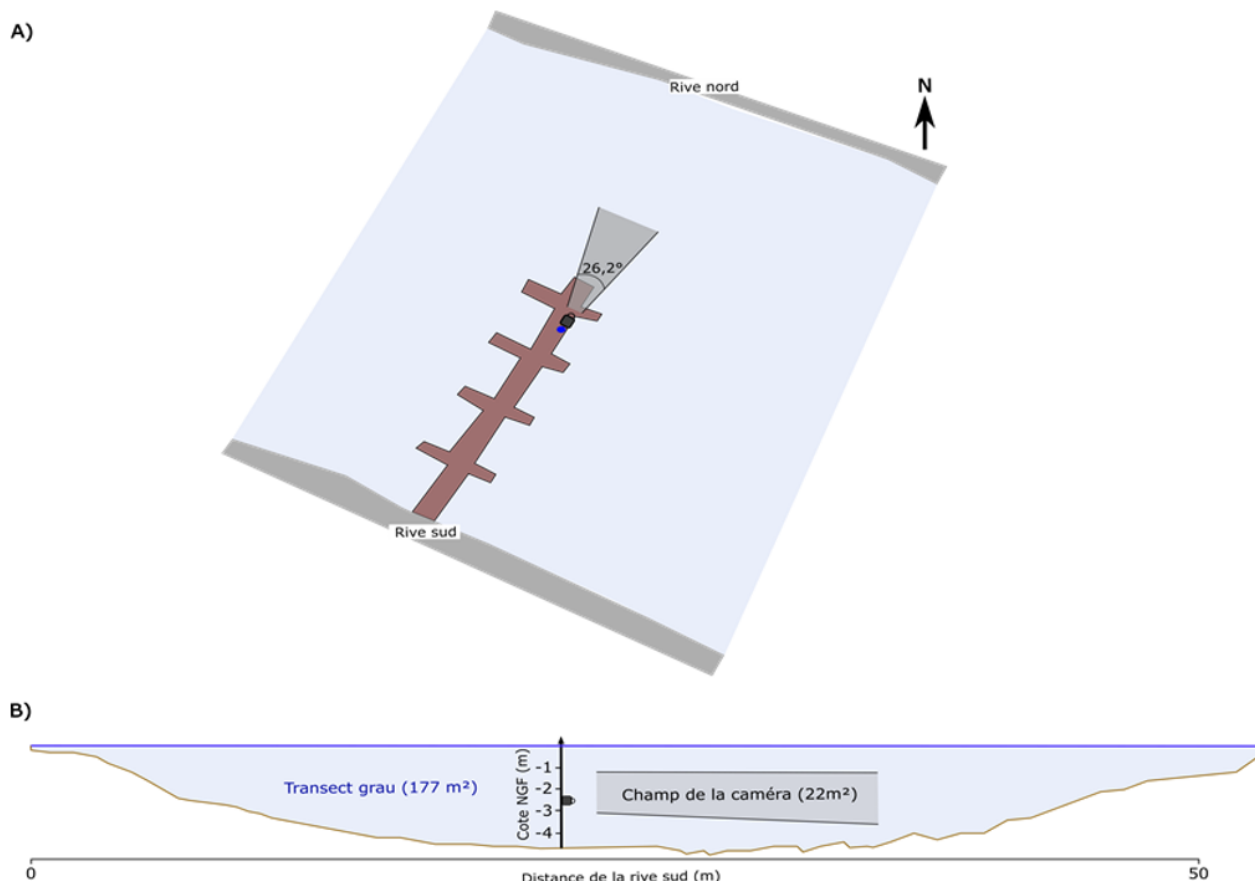


Figure 6 : Illustration de la proportion du grau pris en compte dans le champ de la caméra. (A) vue de dessus et (B) vue en coupe transversale. La zone grisée représente le champ estimé de la caméra. Le protocole ayant permis d'effectuer ces estimations est détaillé dans Lagarde et al. (2020a).

Ce positionnement de la caméra permet théoriquement de maximiser le rapport entre la surface comprise dans le champ de la caméra acoustique et la surface totale du transect du grau. La probabilité d'observer les anguilles lors de leurs déplacements dans le grau est donc optimisée. De plus, les anguilles argentées utilisent de préférence les zones de la colonne d'eau où les vitesses de courant sont les plus élevées, en se déplaçant principalement dans la partie centrale du chenal et en pleine eau, à mi-profondeur, plutôt qu'à proximité des berges (Kjærås et al., 2023). Ce comportement permettrait d'optimiser leur migration vers la mer en exploitant les courants les plus rapides. Le positionnement de la caméra apparaît donc bien adapté au suivi de leur dévalaison (Lagarde et al., 2023).

2.3.2 Enregistrement et lecture des vidéos

Les vidéos issues de la caméra acoustique ont été enregistrées en continu, avec une sauvegarde toutes les 15 mn, entre le 1er octobre 2025 et le 30 avril 2026. L'analyse de ces vidéos a été réalisée par deux opérateurs (N. Peret et I. Le Gallou) à l'aide du logiciel ARIS Fish. Ce logiciel propose une aide au dénombrement et à la mesure des objets observés sur une séquence vidéo. La date et l'heure à laquelle la mesure est effectuée ainsi que la distance (m) à laquelle l'objet est mesuré par rapport à la caméra sont renseignées. Chaque vidéo comprise dans la période 18h00-minuit, qui correspond à la période pendant laquelle les migrations d'anguilles sont les plus intenses (84% des anguilles observées, Lagarde et al., 2023), a été intégralement visionnée par l'un ou l'autre des opérateurs. Lorsqu'un poisson était identifié, à partir de sa forme et de son comportement de nage, comme étant une anguille, elle était mesurée (longueur totale, LT cm) et son sens

de déplacement (i.e. en direction de la lagune ou de la mer) renseigné. A noter qu'une validation des estimations d'effectifs et de tailles réalisées par les différents opérateurs a été effectuée selon le protocole décrit par Lagarde et al. (2020e). Globalement, les estimations d'effectifs étaient très semblables entre les opérateurs ($R^2 \geq 0,92$, [Annexe 2](#)) alors que celles des tailles des anguilles étaient légèrement sous-estimées (entre -1.07% et -10,33% en moyenne, [Annexe 3](#)).

2.4 Suivi du recrutement des civelles

Les pièges passifs (« flottangs ») utilisés dans le projet FLUX4 sont exactement les mêmes que ceux utilisés pour les autres saisons (Lagarde et al., 2019b ; 2020b ; 2021a ; 2022, Laffleur et al., 2023 ; Le Gallou et al., 2024 ; 2025).

2.4.1 Description et localisation des flottangs

Les flottangs utilisés sont constitués de 10 couches successives de treillis géotextile (MACMAT/Geomat, MACCAFERRI), de forme carrée et de 50 cm de côté, empilées les unes sur les autres ([Figure 7A](#)). Une plaque de mousse assure la flottabilité du piège et augmente l'obscurité de l'abri pendant la journée afin de le rendre plus attractif pour les civelles qui sont lucifuges ([Figure 7B](#)). Les flottangs sont positionnés au plus près de la berge en fonction des possibilités de fixation, ce qui correspond en général à une distance d'un à trois mètres de cette dernière (Lagarde et al., 2019a).

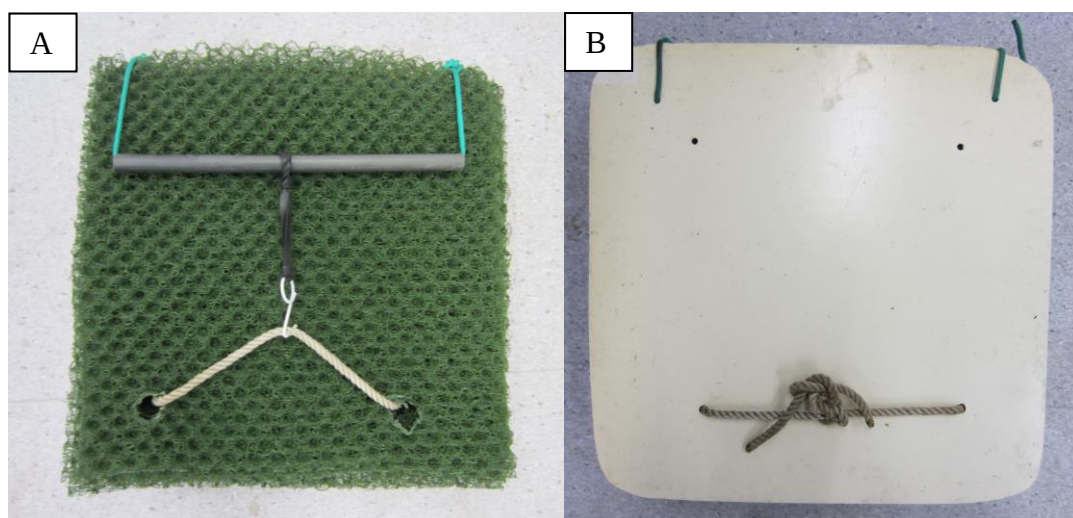


Figure 7 : Illustration d'un flottang vu de dessous (A) et de dessus (B).

Lors des 3 première saisons (2018–2021), jusqu'à 16 flottangs ont été répartis dans le grau depuis la connexion de ce dernier avec la mer jusqu'aux entrées de la lagune de Bages-Sigean et du canal de la Robine. Cependant, les captures de civelles les plus importantes étant systématiquement réalisées dans les flottangs les plus proches de la lagune (Lagarde et al., 2020a), depuis septembre 2022, seuls les huit flottangs les plus efficaces en termes de captures de civelles ont été maintenus pour le suivi ([Figure 8](#)). Cet ajustement a permis d'optimiser le temps de terrain pour un résultat similaire. Les huit flottangs sont installés exactement aux mêmes emplacements que les années précédentes.

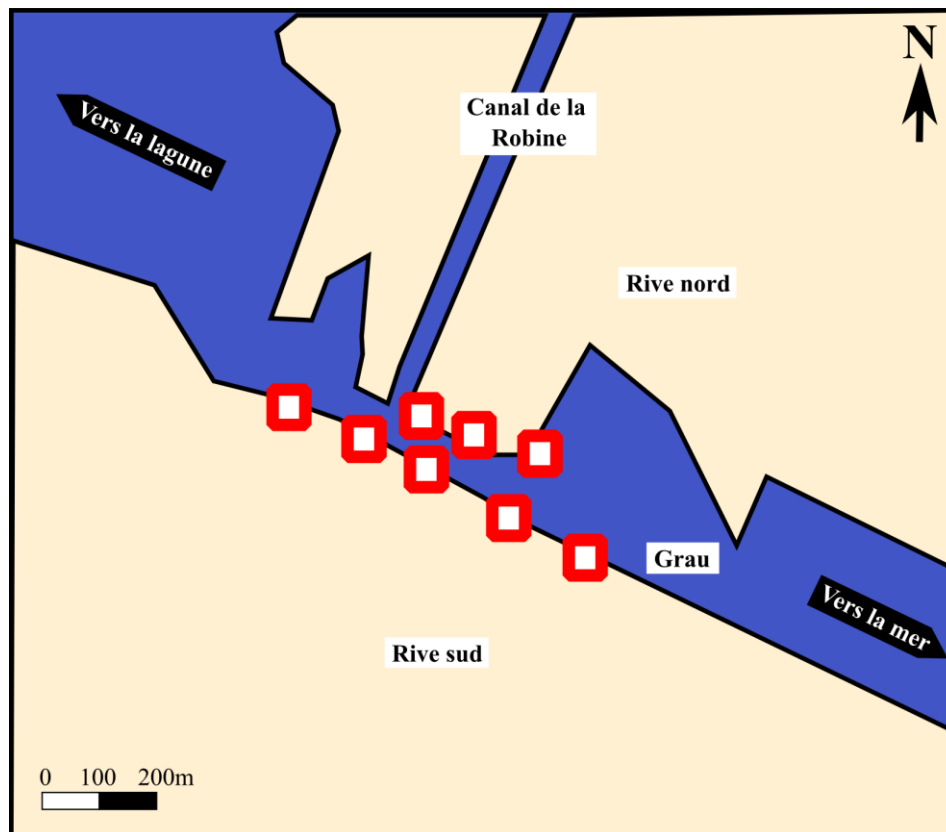


Figure 8 : Localisation des flottangs (carrés rouges) utilisés pour le suivi du recrutement des civelles dans le grau de la lagune de Bages-Sigean.

2.4.2 Fréquence et période de relève des flottangs

Les huit flottangs ont été installés le 30 septembre 2025 et retirés le 31 mars 2026. Les relèves ont été réalisées quotidiennement sur cette période, environ une heure après le lever du soleil. Une large épuisette de 80 cm de diamètre avec une taille de mailles d'un millimètre (Figure 9) a été utilisée pour éviter que des civelles s'échappent. Les civelles capturées dans chaque flottang ont été dénombrées puis relâchées dans la lagune à quelques centaines de mètres en amont du flottang le plus proche de la lagune. Durant la saison 2025–2026, la relève n'ayant pas pu être effectuée le 12 février 2026 en raison de la tempête Nils, les données du 13 février 2026 ont été retirées des analyses journalières afin d'éviter un biais lié à l'absence de relève la veille. Elles ont cependant été gardées pour les analyses par saison.



Figure 9 : Illustration de la relève d'un flottang.

2.4.3 Biométrie

Plusieurs fois par semaine, un échantillon de civelles a été examiné pour évaluer l'évolution de leurs caractéristiques biométriques et pigmentaires. Les civelles ont été anesthésiées par balnéation pendant cinq à dix minutes dans une solution de 0,7 ml de benzocaïne (diluée à 10 %) dans un litre d'eau. Les civelles ont ensuite été délicatement déposées sur un tissu afin d'éliminer l'excès d'eau, pesées (KERN, ALJ500-4A, précision $\pm 0,1$ mg) et mesurées ($LT \pm 1$ mm). Enfin, leur stade de pigmentation a été déterminé à partir de la clef de classification des stades pigmentaires proposée par Briand (2009). Après leur réveil (plusieurs minutes de stabulation dans de l'eau de la lagune aérée par un bulleur), les civelles ont été relâchées dans la lagune à quelques centaines de mètres en amont du flottang le plus proche de la lagune.

2.4.4 Expérimentation pour étudier la possibilité de réduire la fréquence de relève des flottangs

La relève quotidienne des flottangs représente une charge de travail importante, nécessitant le recrutement d'un personnel technique dédié à cette activité. Afin d'évaluer la possibilité de réduire la fréquence des relèves, une étude pilote a été mise en place à partir de la saison 2022–2023. Ce dispositif a été maintenu lors des saisons suivantes entre le 1er novembre et le 1er mars, à l'exception de la saison 2024–2025, pour laquelle le suivi a été prolongé jusqu'au 1er avril. À cette fin, huit nouveaux flottangs ont été installés (Figure 10) : trois groupes de deux flottangs sur la berge sud (groupes A, B et C) et un groupe de deux flottangs sur la berge nord (groupe D).

Afin de limiter l'effet des potentielles variations d'efficacité de capture des flottangs liées à la position de ces derniers (Lagarde *et al.*, 2020a) une alternance de relève entre chacun des deux flottangs des groupes A à D a été mise en place. Les deux flottangs de

chaque groupe ont été installés à moins de 2 m l'un de l'autre. Le choix de la fréquence de relève du premier flottang de chaque groupe (un ou quatre jours) a été fait aléatoirement. Un des deux flottangs de chaque groupe a donc été relevé quotidiennement pendant quatre jours, l'autre une seule fois (représentant trois nuits de capture). A l'issue de cette période de quatre jours, la fréquence de relève des deux flottangs du groupe a été inversée. Lors de chaque relève des flottangs, l'ensemble des civelles capturées a été comptabilisé.

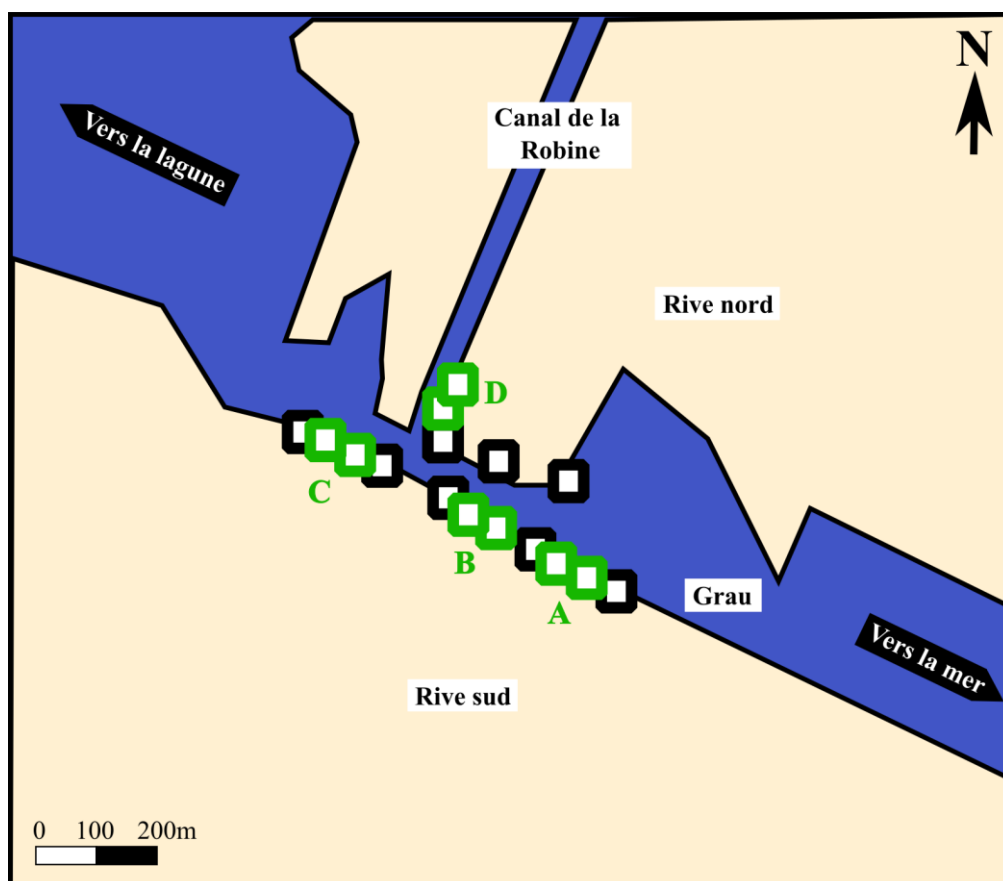


Figure 10 : Localisation des flottangs dans le grau de la lagune de Bages-Sigean (carrés noirs) utilisés lors des suivis entre 2018 et 2026 du recrutement des civelles et des flottangs supplémentaires (4 groupes de 2 flottangs notés de A à D, carrés verts) spécifiquement installés pour les tests de réduction de fréquence de relève.

2.5 Traitement et analyse des données

Les analyses suivantes intègrent les données des huit saisons de recrutement (entre décembre 2018 et mars 2026) et d'échappement (entre octobre 2018 et avril 2026).

2.5.1 Variabilité des conditions hydro-climatiques

Les variables de vitesse et de direction du vent et du courant dans le grau ont été regroupées en deux variables intégrant la force et la direction de chaque paramètre. Les vents de vitesse importante sont généralement de directions nord à ouest (principalement la tramontane N-NO) ou est à sud (principalement le vent marin SE). Afin de distinguer ces deux régimes de vent, un signe a été attribué aux vitesses en fonction de leur direction. Ainsi, la vitesse des vents de direction comprise entre 20° et 200° ont été affectées d'un signe négatif, tandis que celles de direction comprise entre 200° et 20° ont

été affecté d'un signe positif. Une convention similaire a été appliquée aux vitesses de courant : les courants dirigés vers la mer ont été considérés comme positifs et ceux dirigés vers la lagune comme négatifs.

Les valeurs de salinité ont été estimées selon deux approches, en fonction de la disponibilité des données. Lorsque les données mesurées par la sonde CTD étaient disponibles, ces dernières ont été utilisées. En leur absence, elles ont été remplacées par la moyenne des mesures de salinité effectuées chaque matin de suivi à l'aide d'un réfractomètre, une forte corrélation a été mise en évidence entre ces deux méthodes.

Une analyse des corrélations de l'ensemble des paramètres hydro-climatiques a ensuite été réalisée afin d'identifier les paramètres redondants. Lorsque deux ou plusieurs paramètres étaient corrélés entre eux avec un coefficient de corrélation de Pearson supérieur à 0,7, un seul paramètre a été conservé. En général, le paramètre conservé était la moyenne de ce paramètre entre les différents lieux de mesure (différentes localisations géographiques ou profondeurs). C'est par exemple le cas de la température de l'eau dont les valeurs mesurées par plusieurs appareils et à différentes localisations dans le grau étaient très fortement corrélées. Dans ce cas, la donnée de température conservée a été la moyenne de toutes les mesures de température de l'eau. En revanche, lorsque deux paramètres hydro-climatiques différents étaient fortement corrélés, seul un des deux paramètres, considéré comme le plus pertinent, a été conservé. Par exemple, les vitesses maximales du vent instantanée et moyennée sur 10 min étant fortement corrélées, seule la vitesse maximale du vent moyennée sur 10 min a été conservée dans les analyses car elle est considérée comme étant plus représentative des conditions climatiques globales.

2.5.2 Variabilité saisonnière des abondances des anguilles argentées

L'échappement journalier des anguilles argentées vers la mer a été estimé à partir des effectifs dénombrés sur l'ensemble des vidéos acquises entre 18h et minuit. Des observations précédentes faites à la caméra (Lagarde et al., 2019a ; 2019b ; 2020b ; 2021b ; Laffleur et al., 2023 ; Le Gallou et al., 2024 ; 2025) ont montré qu'un nombre non négligeable d'anguilles remontaient vers la lagune. Ces anguilles peuvent correspondre soit à des anguilles argentées ayant différé leur migration, soit à des anguilles jaunes se déplaçant entre le port et la lagune. Dans les deux cas, le nombre d'anguille se déplaçant vers la lagune constitue une estimation de l'intensité de ces déplacements. Afin de limiter leur prise en compte dans l'estimation de l'échappement des anguilles argentées, l'échappement journalier (nombre d'anguilles sortant de la lagune) a été calculé comme la différence entre le nombre d'anguilles se déplaçant vers la mer et celui des anguilles se déplaçant vers la lagune, sur la période comprise entre 18h00 et minuit. Lorsque cette différence était négative, l'échappement était fixé à zéro. Cette correction permet de minimiser l'influence des déplacements des anguilles jaunes et des anguilles argentées ayant différé leur migration sur l'estimation de l'échappement vers la mer. Cette estimation sera nommée « échappement calculé » dans la suite du rapport.

2.5.3 Evolution saisonnière des structures de taille et du sex-ratio des anguilles argentées

Les structures de taille des anguilles ont été comparées entre les saisons de migration à l'aide de la méthode d'estimation de densités de kernel (Langlois et al., 2012). Cette

méthode permet de déterminer automatiquement la largeur de bande des histogrammes la plus adaptée aux données (Sheather & Jones, 1991) puis d'ajuster les fonctions de densité correspondantes. Les distributions obtenues sont ensuite comparées à l'aide d'un test de permutations évaluant leur différence par rapport à un modèle nul d'absence de différence entre les fonctions de densité. Afin de sélectionner seulement des anguilles considérées comme argentées et de limiter les biais potentiels liés aux performances de détection de la caméra, deux hypothèses ont été retenues :

- 1) Des anguilles jaunes pourraient être prises en compte par erreur dans le calcul du nombre d'anguilles s'échappant vers la mer, entraînant un biais dans les analyses de structures de taille et du sex-ratio des anguilles argentées. Afin de limiter ce biais, seules les dates pour lesquelles l'échappement calculé était supérieur à 200 individus ont été retenues (30 dates sur la période 2018–2026), correspondant aux principaux pics d'échappement des anguilles argentées. De plus, les déplacements vers la lagune observés à ces dates étaient très faibles.
- 2) Les analyses d'efficacité de détection des anguilles à la caméra réalisées précédemment ont montré que la probabilité de détection des anguilles diminuait fortement au-delà d'une distance de 8 m de la caméra (Lagarde et al., 2019b) en particulier pour les anguilles argentées mâles ($LT \leq 45$ cm, Vollestad 1992 ; Acou et al. 2003 ; Lagarde et al., 2020a ; 2019b). Afin de limiter ce biais, seules les anguilles mesurées à une distance inférieure à 8 m de la caméra ont été intégrées aux analyses des structures de taille

Enfin, une erreur de mesure, issue des distributions d'erreurs présentées en [Annexe 3](#), a été attribuée à chaque longueur totale (LT) mesurée sur les vidéos traitées par J. Peyre, R. Lagarde, S. Koffi-About, T. Laffleur, R. Maligne, K. Joseph, I. Le Gallou et N. Péret. Les analyses des structures de taille des anguilles argentées ont ensuite été réalisées à partir de ces longueurs corrigées.

2.5.4 Effet de la fréquence de relève des flottangs sur le nombre de civelles capturées

L'effet de la fréquence de relève des flottangs sur l'estimation de l'abondance en civelles a été évalué en comparant deux modalités de suivi : les relèves quotidiennes et les relèves après quatre jours. Pour chaque période de quatre jours, la somme des civelles dénombrées lors des relèves quotidiennes a été comparée au nombre de civelles capturées lors de l'unique relève effectuée au bout de ces quatre jours. La somme des relèves quotidiennes sur quatre jours a été utilisée comme variable explicative, tandis que le nombre de civelles observées après quatre jours a été utilisé comme variable expliquée.

Certaines conditions environnementales et contraintes techniques survenues au cours du suivi ont dû être prises en compte dans l'analyse des résultats, en raison de leur influence potentielle sur l'efficacité du dispositif de piégeage et sur la continuité de l'échantillonnage :

- 1) Les épisodes d'exondation des flottangs ont pu altérer leur efficacité de piégeage, rendre certains dispositifs inaccessibles ou réduire leur attractivité pour les civelles, entraînant ainsi une possible sous-estimation des captures. Afin de limiter ce biais, lorsqu'au moins un des deux flottangs d'un groupe était exondé pendant au moins un jour au cours d'une période de quatre jours, l'ensemble des données associées aux deux flottangs de ce groupe pour cette période a été exclu des analyses suivantes. Au total, ces épisodes d'exondation ont concerné moins de 5% des données sur l'ensemble des quatre saisons étudiées.

- 2) La tempête Nils, survenue les 11 et 12 février 2026, a empêché la relève du matin du 12 février. Les périodes de quatre jours, concernées par ces dates, ont donc été supprimées des analyses pour l'ensemble des groupes de deux flottangs.

Les relations entre les deux modalités de relève ont été analysées à l'aide de régressions linéaires sans intercept. Les abondances présentant de fortes variations et quelques valeurs élevées, les deux variables ont été transformées en logarithme afin de limiter l'influence des fortes valeurs sur les modèles.

Un premier modèle global a été réalisé en regroupant l'ensemble des saisons et des groupes de flottangs, afin d'évaluer la relation générale entre les deux fréquences de relève. La robustesse de cette relation a ensuite été évaluée par 200 tirages aléatoires répétés. À chaque répétition, 70% des données ont été utilisées pour construire un modèle, tandis que les 30% restantes ont été utilisées pour le valider. La pente du modèle et le R^2 obtenu sur les données de validation ont été calculés à chaque répétition.

2.5.5 Variabilité des abondances et des caractéristiques biologiques des civelles

La comparaison des effectifs de civelles entre les années est réalisée à partir des 8 flottangs placés dans la zone la plus proche de la lagune dont la localisation est restée la même sur toutes les années de suivi (Figure 8). Les captures par unité d'effort (CPUE) journalières ont été calculées comme le nombre de civelles capturées dans l'ensemble des flottangs relevés par jour divisé par le nombre de flottangs relevés le même jour.

Les structures de taille (LT) et de poids sont comparées entre les différents mois d'une même saison avec la méthode d'estimation de densités de kernel (Langlois et al., 2012). Le pourcentage relatif des stades pigmentaires des civelles est comparé entre les mois d'une même saison à l'aide d'un test du χ^2 . Etant donné les faibles effectifs de civelles sous-échantillonnées pendant les mois de janvier et février 2019, les données de ces deux mois ont été regroupées pour les analyses.

2.5.6 Effet des paramètres hydro-climatiques sur les dynamiques d'échappement des anguilles argentées et de recrutement des civelles

Pour ces analyses, les mesures au pas de temps horaire des paramètres hydro-climatiques ont été moyennées sur deux périodes différentes. Concernant les anguilles argentées, les paramètres hydro-climatiques ont été moyennés sur la période pour laquelle les données issues de la caméra étaient analysées (18h00–minuit). En ce qui concerne les civelles, l'activité de ces dernières étant principalement nocturne, les paramètres hydro-climatiques utilisés pour faire le lien avec l'intensité du recrutement des civelles ont été moyennés sur la période 18h00–6h00.

Afin de prendre en compte la dynamique temporelle, une variable explicative supplémentaire « date » a été prise en compte, qui correspond au nombre de jours écoulés depuis la date du début de la saison de suivi (le 1^{er} octobre de chaque année, variable « date » ci-après). L'effet des différentes variables explicatives (paramètres hydro-climatiques et date) sur les dynamiques de dévalaison des anguilles argentées et de recrutement des civelles a été estimé à l'aide d'un algorithme Random Forest (Breiman, 2001). Cette méthode présente l'avantage de ne pas être contrainte par des hypothèses de normalité et d'égalité des variances et d'intégrer des réponses non linéaires (Breiman,

2001). Le principe de ces analyses, basées sur l'intégration de nombreux modèles construits en tirant l'ordre des variables explicatives de manière aléatoire, permet de hiérarchiser l'importance de chacune de ces variables dans le modèle final de façon indépendante et non biaisée. L'échappement journalier calculé a été préalablement log-transformé afin de limiter l'influence des forts pics d'échappement sur la variance totale des données. Les CPUE de civelles ont quant à elles été exprimées en % du total des CPUE de chaque saison afin de limiter l'effet des fortes variabilités inter-saisonnières. La significativité de la réponse des log d'échappements calculés ou des % de CPUE de civelles aux variables explicatives a été évaluée à partir de l'indice de pureté des nœuds (Banerjee et al., 2019). Pour chaque variable explicative, cet indice a été comparé à celui issu d'une distribution nulle des variables explicatives, obtenues à partir de 1 000 permutations aléatoires de ces dernières. Les analyses ont été effectuées sur toutes les saisons confondues (1^{er} décembre 2018 au 31 mars 2026). Par ailleurs, un stage de Master 2 (E. Gignon, 2026) a permis d'explorer plus en détail l'effet du type de saison (sèche, humide) et des stades pigmentaires des civelles sur le lien entre leur recrutement et les paramètres hydro-climatiques.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R en utilisant les packages *KernSmooth* (Wand, 2015) et *sm* (Bowman & Azzalini, 2014) pour les comparaisons des structures de taille et de poids et *randomForest* (Liaw & Wiener, 2002) et *rfPermute* (Archer, 2016) pour les analyses de random forest.

3 Résultats

3.1 Echappement des anguilles argentées

3.1.1 Dynamique de l'échappement des anguilles argentées sur les huit saisons suivies

Le nombre d'anguilles se déplaçant vers la mer, ainsi que l'échappement calculé (obtenu en retranchant les individus se dirigeant vers la lagune), entre le 1^{er} octobre et le 30 avril de chaque saison, sont présentés dans le [Tableau 1](#). La dernière saison de suivi (2025–2026) comptabilise 3 707 anguilles se déplaçant vers la mer, correspondant à un échappement calculé de 2 503 individus, le plus faible depuis le début du suivi en 2018.

Tableau 1 : Nombre d'anguilles allant vers la mer et échappement calculé (en retranchant les anguilles se dirigeant vers la lagune) en fonction des différentes saisons de suivi (2018–2026)

Saison	Nombre d'anguilles allant vers la mer	Echappement calculé
2018–2019	4 800	3 502
2019–2020	5 757	3 618
2020–2021	3 695	2 696
2021–2022	6 612	5 139
2022–2023	7 432	5 775
2023–2024	5 951	4 823
2024–2025	4 165	3 019
2025–2026	3 707	2 503

À l'échelle journalière, l'échappement calculé au cours de la saison 2025–2026 présente, comme les autres saisons, une forte variabilité, avec des valeurs comprises entre 0 et 1 016 anguilles par jour. Le maximum journalier a été observé le 18 novembre 2025.

Lorsque toutes les saisons sont prises en compte, l'échappement journalier calculé le plus élevé a été observé le 19 novembre 2022, avec 2 026 anguilles comptabilisées en une seule journée ([Figure 11](#), [Annexe 4](#)).

A noter que ces comparaisons sont à considérer avec précaution, certaines données étant manquantes du fait de problèmes techniques ponctuels ayant empêché l'enregistrement de tout ou d'une partie des vidéos entre 18h00 et minuit au cours des différentes saisons de suivi ([Figures 11](#), [Annexe 4](#)). Ces lacunes sont susceptibles d'entraîner une sous-estimation de l'échappement calculé.

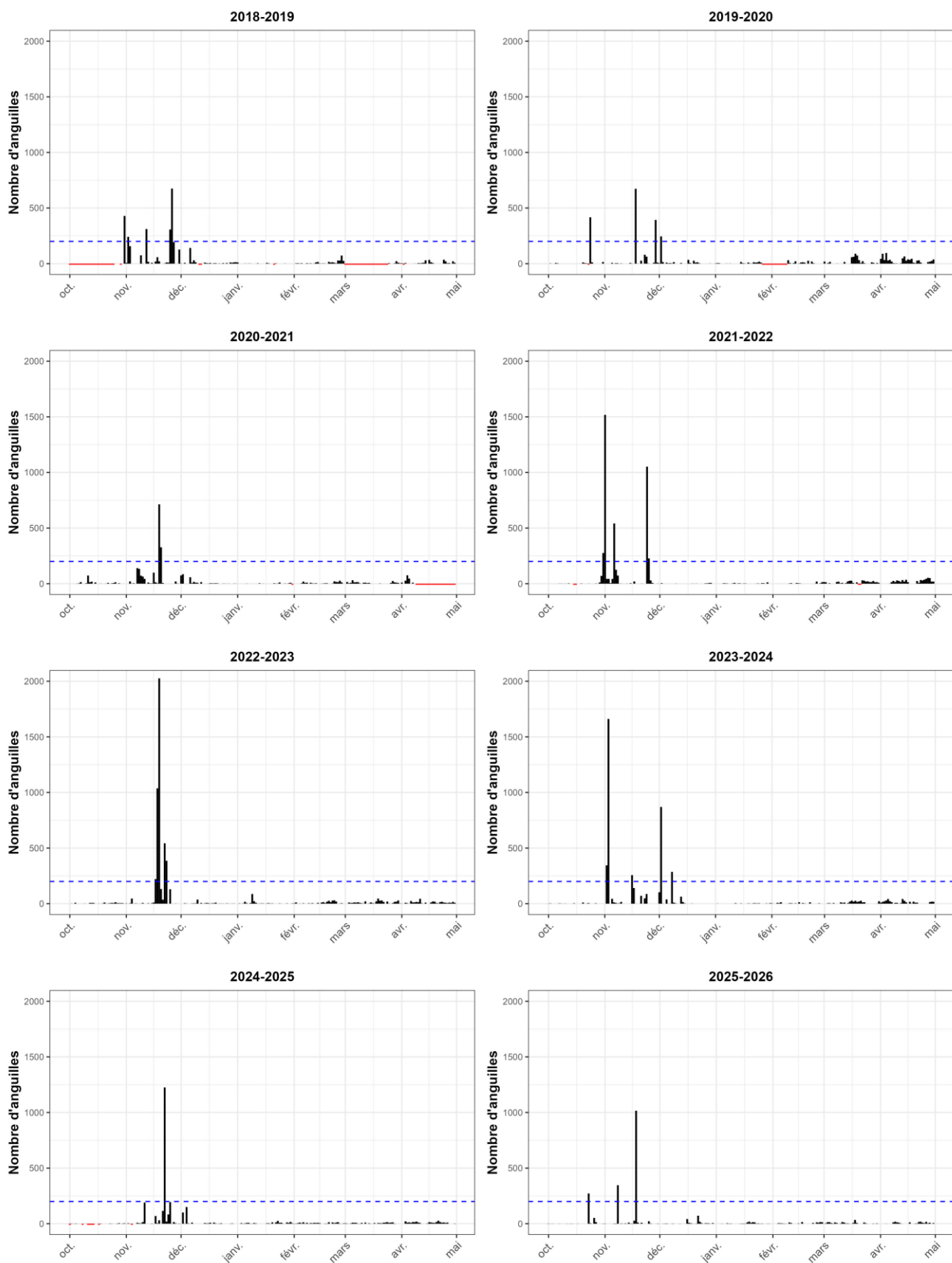


Figure 11 : Echappement calculé entre 18h00 et minuit pour les sept saisons de suivi de l'échappement.
 Les traits rouges représentent les jours pour lesquels un problème technique est survenu empêchant l'enregistrement de tout ou d'une partie des vidéos entre 18h00 et minuit. Enfin, la ligne bleue pointillée délimite les journées pour lesquelles l'échappement calculé était supérieur à 200 individus. Les versions agrandies des graphiques sont disponibles en Annexe 4.

3.1.2 Variabilités temporelles des structures de taille et du sex-ratio

Sur l'ensemble des 30 dates pour lesquelles l'échappement calculé dépassait 200 individus (Figure 11), plus de 97% des anguilles observées à la caméra se déplaçaient vers la mer. La structure de tailles des anguilles se déplaçant vers la mer lors de ces dates a donc été considérée comme représentative de celle des anguilles argentées s'échappant de la lagune. Au total, 12 347 anguilles détectées à une distance inférieure ou égale à 8 m de la caméra ont été mesurées. Leur longueur totale varie de 14,7 à 112,0 cm, pour une moyenne globale de $40,2 \pm 8,7$ cm. La longueur moyenne présente des variations interannuelles, avec une diminution progressive de 44,2 cm en 2018-2019 à 37,2 cm en 2023-2024, suivie d'une augmentation au cours des deux dernières saisons, atteignant 42,2 cm en 2025-2026 (Tableau 2).

Tableau 2 : Statistiques descriptives des longueurs totales corrigées des anguilles détectées à une distance $\leq$ à 8 m de la caméra acoustique (N. anguilles), par saison de suivi. Seules les dates pour lesquelles l'échappement calculé était supérieur à 200 individus ont été retenues.

Saison	N. anguilles	Taille (cm)			
		Min.	Max.	Moy.	Ecart-type
2018-2019	1 327	23,6	92,3	44,2	8,4
2019-2020	1 025	25,6	106,4	41,6	8,2
2020-2021	739	26,3	83,6	41,0	6,6
2021-2022	2 083	22,7	96,5	41,6	7,4
2022-2023	3 032	17,6	111,7	38,7	9,2
2023-2024	2 403	14,7	108,5	37,2	8,8
2024-2025	720	22,3	89,8	39,2	7,0
2025-2026	1 018	21,4	112,0	42,2	9,3

La proportion globale d'anguilles mesurant plus de 45 cm, taille au-delà de laquelle les anguilles sont considérées comme des femelles, est présenté dans le Tableau 33. Cette proportion a globalement diminué au cours des saisons de suivies, passant de 39% en 2018-2019 à 14 % en 2024-2025. Elle a toutefois augmenté pour la saison 2025-2026, atteignant 28 %.

Tableau 3 : Pourcentage de femelles (≥ 45 cm LT) en fonction des différentes saisons de suivi (2018-2025) (* indique que l'année de suivi est incomplète).

Saison	Pourcentage de femelles (≥ 45 cm LT)
2018-2019	39 % *
2019-2020	26 % *
2020-2021	24 % *
2021-2022	26 %
2022-2023	18 %
2023-2024	16 %
2024-2025	14 % *
2025-2026	28 %

Les structures de taille observées sont significativement différentes entre les sept saisons de suivi (estimation de densité de kernel, $p < 0,001$). En particulier, la proportion

d'anguilles dont la taille est supérieure ou égale à 45 cm est plus importante lors de la saison 2018–2019 comparé aux autres saisons (Figure 12).

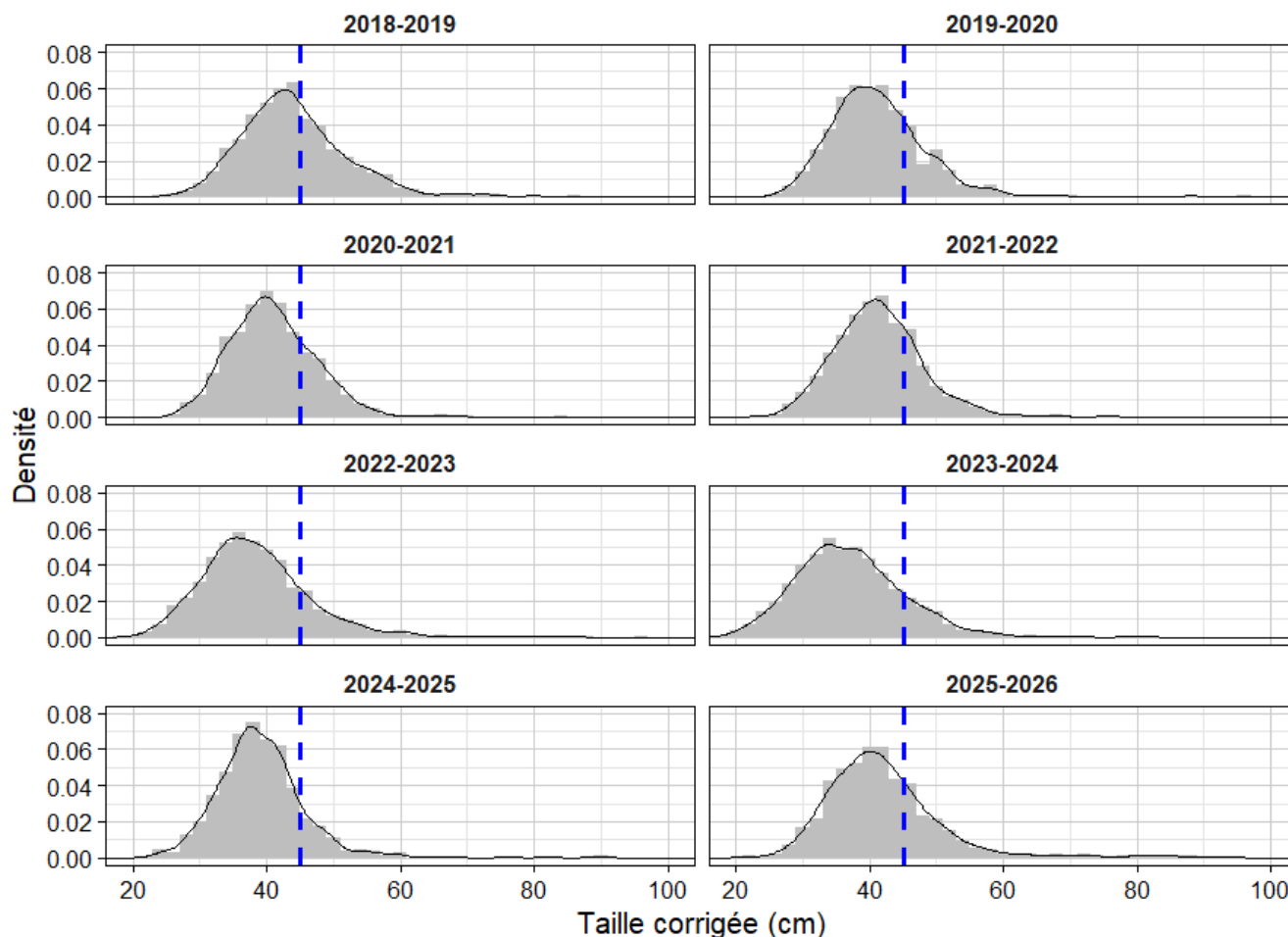


Figure 12 : Structures de tailles des anguilles se déplaçant vers la mer entre 18h00 et minuit pour les dates où l'échappement calculé était supérieur à 200 anguilles, par saison de suivi. Le trait vertical bleu pointillé représente la taille de 45 cm.

3.1.3 Lien entre les déplacements d'anguilles et les conditions hydro-climatiques

Le Random Forest modélisant l'échappement calculé (log-transformé) des anguilles argentées en fonction des paramètres hydro-climatiques et de la date explique 38% de la variance totale. L'échappement calculé des anguilles argentées varie significativement en fonction de la date, de la turbidité, de la température de l'eau dans le grau et du débit de la Berre (Figure 13 ; Tableau 4). Dans le détail, l'échappement calculé est important d'octobre à décembre, faible en janvier et il augmente jusqu'en avril (Figure 13A ; Tableau 4). Le fait que les valeurs maximales d'échappement soit modélisé en avril s'explique probablement par un biais du modèle lié à deux facteurs : la transformation logarithmique des données, qui réduit la différence entre les dates de pics d'échappement et les autres dates, et le nombre important de pics d'échappement d'intensité moyenne observés en mars-avril. L'échappement des anguilles argentées est très faible lorsque la turbidité est quasiment nulle et augmente très rapidement dès que cette dernière dépasse 0,005 g/L, et devient maximal au-delà de 0,01 g/L (Figure 13B ; Tableau 4). L'échappement des anguilles argentées est faible pour des températures de l'eau inférieures à 10°C et il est le plus important pour des températures supérieures à 13°C

jusqu'à atteindre un maximum autour de 15°C (Figure 13C ; Tableau 4). Enfin, l'échappement s'intensifie lorsque le débit de la Berre dépasse sa valeur d'étiage, jusqu'à être maximal pour des débits supérieurs à 40 m³.s⁻¹ (Figure 13D ; Tableau 4).

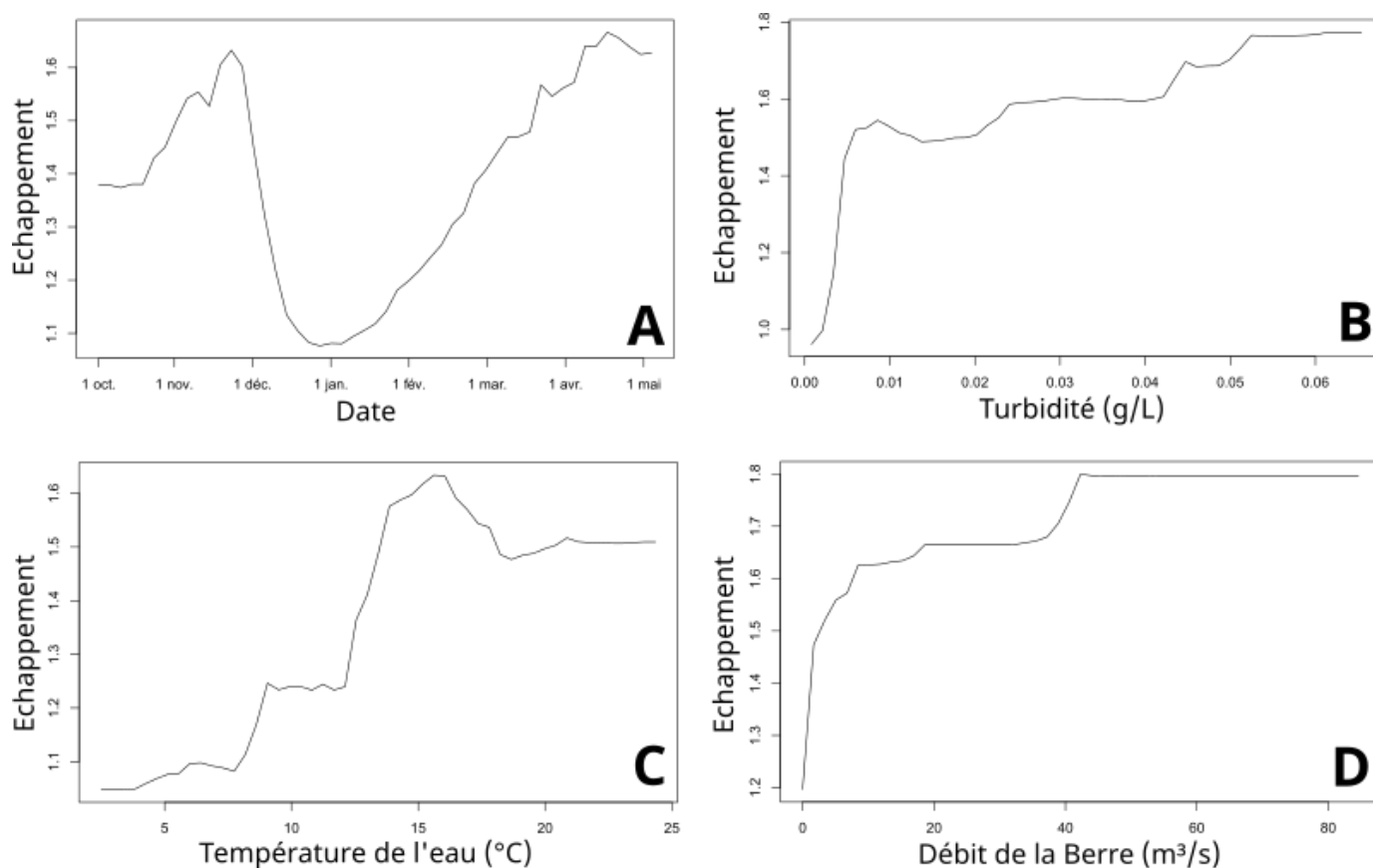


Figure 13 : Relation entre l'échappement calculé des anguilles argentées (log-transformé) et la date (A), la turbidité dans le grau (B), la température de l'eau dans le grau (C) et le débit de la Berre (D). Les figures A, B, C et D sont présentées dans l'ordre décroissant d'indice de pureté des nœuds.

Tableau 4 : Indices de pureté de nœuds et p-values déterminés à partir des Random Forests modélisant l'échappement calculé des anguilles argentées en fonction des paramètres hydro-climatiques et de la date. Date : date julienne centrée, Turb : turbidité dans le grau ($g \cdot L^{-1}$), T_eau : température de l'eau dans le grau ($^{\circ}C$), Q_Berre : débit au niveau de la station de jaugeage de Ripaud ($m^3 \cdot s^{-1}$), V_courant : vitesse du courant dans le grau ($m \cdot s^{-1}$), avec par convention les courants allant en direction de la mer prenant une valeur positive et ceux en direction de la lagune une valeur négative, V_vent : vitesse du vent ($m \cdot s^{-1}$), avec par convention les vents de direction 20 à 200° prenant une valeur négative et ceux de direction 200 à 20° une valeur positive, Visi_lune : pourcentage de pleine lune, Sal : salinité dans le grau, P_atm : pression atmosphérique (hPa), Neb : nébulosité (octas), H_pluie : hauteur journalière des précipitations (mm). La date, la turbidité, la température de l'eau et le débit de la Berre (en gras) sont les seuls paramètres ayant une influence significative sur l'échappement calculé.

Echappement calculé		
Variables	Indices de pureté des nœuds	p
Date	431,70	0,01
T_eau	305,09	0,01
Turb	315,95	0,01
Q_Berre	244,69	0,02
V_courant	273,53	0,28
V_vent	237,52	1,00
Visi_lune	227,37	1,00
Sal	270,74	0,21
P_atm	184,25	1,00
Neb	90,36	1,00
H_pluie	49,73	1,00

3.2 Recrutement des civelles

3.2.1 Variabilité temporelle des abondances journalières et des caractéristiques biologiques des civelles

Sur l'ensemble des huit saisons de suivi, de 2018 à 2026, le nombre total de civelles capturées dans les flottangs (hors flottangs expérimentaux) situés à proximité immédiate de la lagune varie fortement selon les saisons, avec des effectifs compris entre 728 et 26 433 (Tableau 5). Cette variabilité interannuelle se retrouve également dans les captures par unité d'effort (CPUE), qui varient entre 78 et 3 304 civelles par flottang et par saison (Tableau 5, Figure 14).

Tableau 5 : Nombre total de civelles capturées par saison de suivi et capture par unité d'effort (CPUE) en nombre moyen de civelles capturées par flottang pour chaque saison de suivi (* indique que l'année de suivi est incomplète).

Saison	Nombre total de civelles	CPUE
2018-2019	772*	193*
2019-2020	629	78
2020-2021	889*	111*
2021-2022	5 017	627
2022-2023	2 671	334
2023-2024	728	91
2024-2025	1 955	244
2025-2026	26 433	3 304

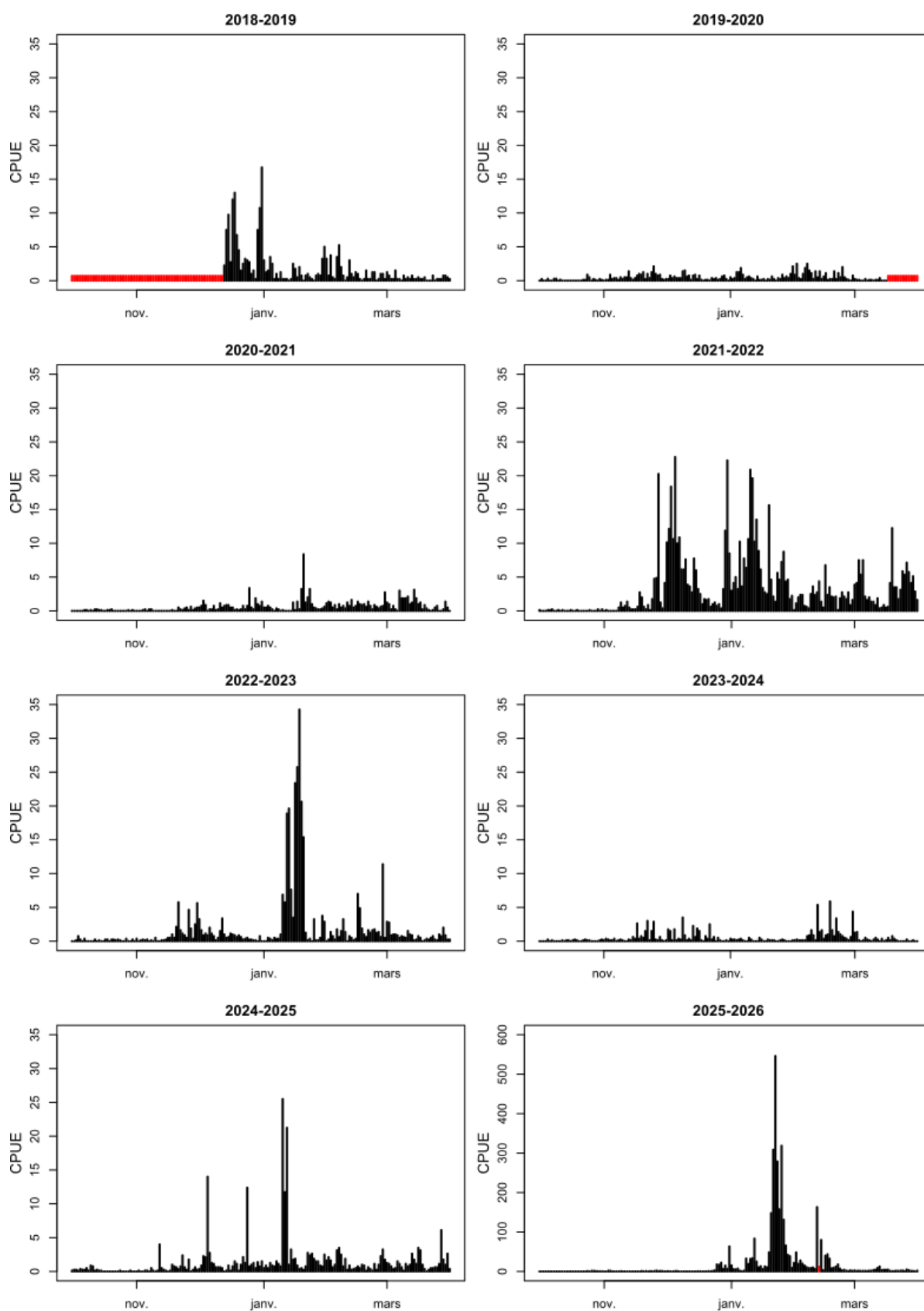


Figure 14 : CPUE journalières (nombre moyen de civelles par flottang) pour les huit saisons de suivi de recrutement. Pour chaque saison le suivi a débuté le 1^{er} octobre et s'est terminé le 31 mars (sauf pour la première saison avec un début le 12 décembre 2018). Les traits rouges représentent les jours pour lesquels la relève n'a pas été possible du fait de contraintes techniques ou administratives.

La taille et le poids ont été mesurés et le stade de pigmentation déterminé pour un total de 5 918 civelles pendant les huit saisons de suivi du recrutement. La taille de ces individus varie entre 49 et 82 mm LT pour un poids compris entre 0,09 et 0,77 g (Tableau 6 ; Figure 15). Les tailles et les poids les plus élevés ont généralement été observé entre octobre et novembre sauf en 2023 (en décembre pour la taille et en janvier pour le poids) et en 2025 (en décembre pour le poids). Les structures de taille et de poids diffèrent significativement entre les 44 périodes d'échantillonnage, correspondant à des mois ou à des regroupements de mois selon la saison (Figure 15, test de densité de kernel $p < 0,001$).

Tableau 6 : Nombre de civelles (N. civelles) mesurées et statistiques descriptives de leur taille (mm) et de leur poids (g) pour chaque saison de suivi.

Saison	N. civelles	Taille (mm)				Poids (g)			
		Min.	Max.	Moy.	Ecart-type	Min.	Max.	Moy.	Ecart-type
2018-2019	110	56	75	65,7	3,47	0,10	0,44	0,24	0,05
2019-2020	337	56	75	65,7	3,72	0,12	0,41	0,24	0,05
2020-2021	543	51	76	65,2	3,94	0,09	0,39	0,23	0,06
2021-2022	828	49	82	67,3	3,81	0,09	0,77	0,26	0,07
2022-2023	1 310	51	79	65,2	3,63	0,12	0,38	0,23	0,05
2023-2024	651	52	75	66,4	3,54	0,12	0,40	0,23	0 05
2024-2025	1 143	51	75	64,4	4,14	0,10	0,40	0,21	0,05
2025-2026	1 012	53	79	64,5	3,64	0,09	0,37	0,21	0,05

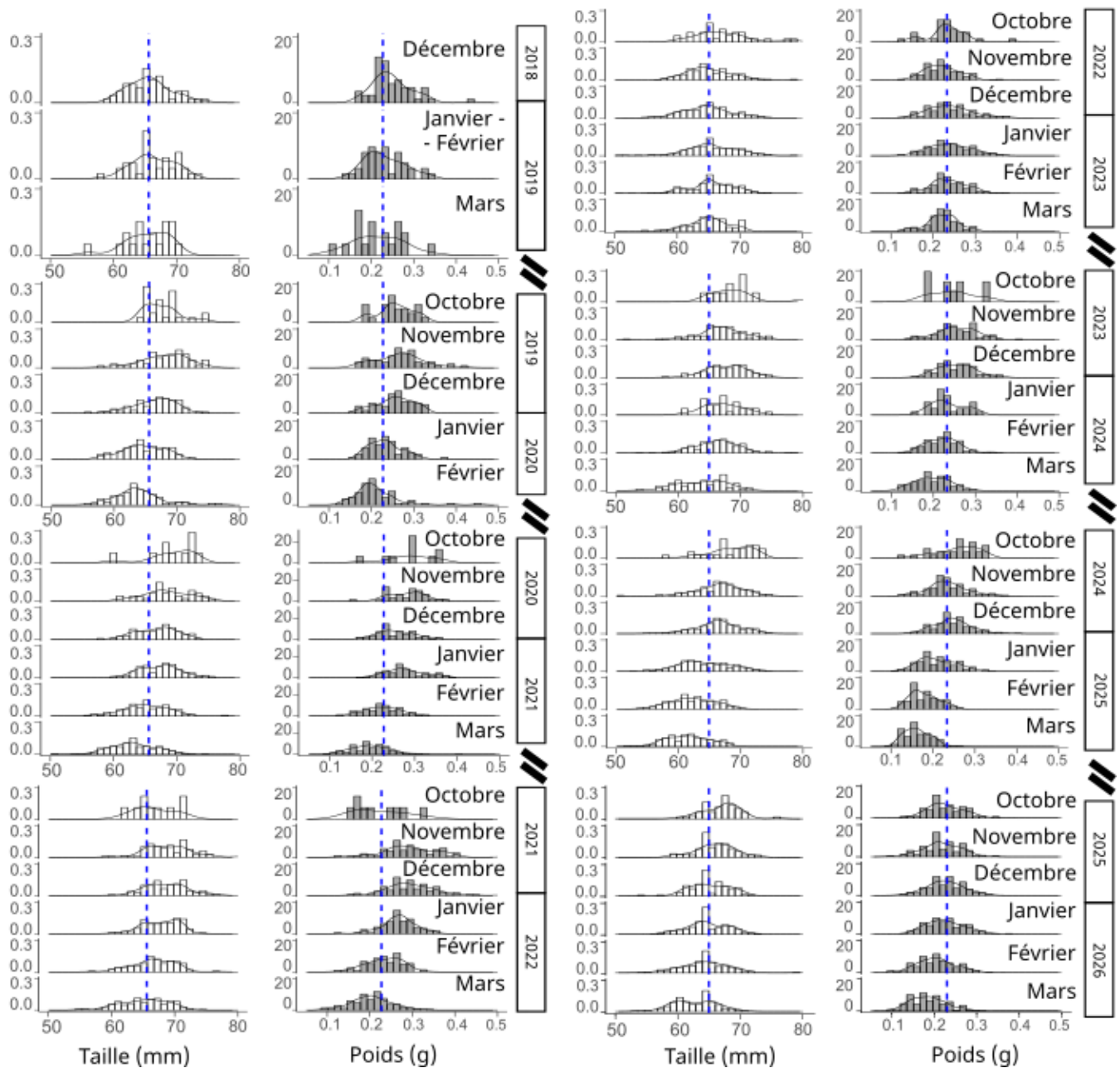


Figure 15 : Evolution des structures de taille et de poids des civelles capturées entre les mois de décembre 2018 et mars 2026. Le trait vertical pointillé bleu représente la valeur médiane de taille (65 mm) et de poids (0,23 g), le nombre d'individus pour chaque période est présenté sur la Figure 16.

Les proportions des différents stades de pigmentation sont significativement différentes entre les 44 périodes présentées (Figure 16, $\text{Chi}^2_{344} = 3\,096$, $p < 0,001$). Globalement, les proportions de civelles à des stades peu pigmentés (VA, VB et VIA0) sont plus élevés pendant les mois de janvier et février de chaque saison. Les proportions de civelles à des stades pigmentaires plus avancés (VIB et VII) sont plus élevée au mois d'octobre, février et mars.

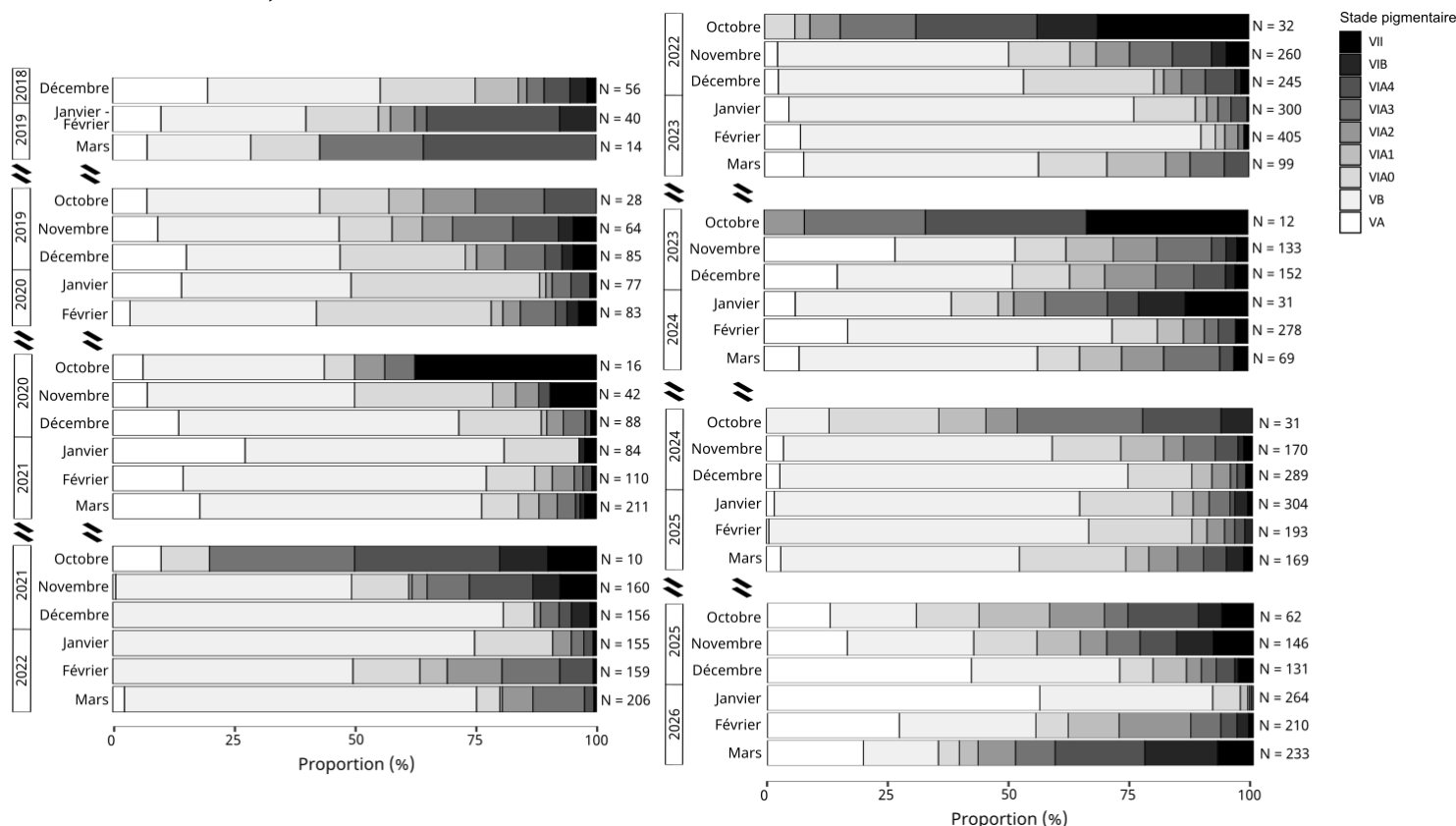


Figure 16 : Evolution des stades de pigmentation des civelles capturées pour les huit saisons de suivi de recrutement (entre déc. 2018 et mars 2026). N : nombre de civelles analysées. Les civelles sont de plus en plus pigmentées entre les stades VA et VII.

3.2.2 Lien entre l'intensité du recrutement des civelles et les conditions hydro-climatiques

Le Random Forest modélisant les pourcentages de CPUE de civelles dans les flottants pour chaque saison en fonction des paramètres hydro-climatiques et de la date d'échantillonnage explique 25,4 % de la variance totale des pourcentages de CPUE de civelles. Seules trois variables sont significatives : le débit de la Berre ; la vitesse du courant et la date d'échantillonnage (Figure 17 ; Tableau 7). Dans le détail, les pourcentages de CPUE augmentent progressivement avec l'augmentation du débit, jusqu'à atteindre un plateau autour de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figure 17A ; Tableau 7). Les pourcentages de CPUE sont élevés lorsque le courant est entrant (vitesses négatives, entre $-0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $-0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Ils diminuent ensuite fortement à mesure que la vitesse se rapproche de $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, puis restent faibles au-delà, lorsque le courant est sortant (valeurs positives) (Figure 17B ; Tableau 7). Enfin, les pourcentages de CPUE demeurent faibles jusqu'au mois de novembre, puis augmentent progressivement jusqu'à atteindre leur maximum entre décembre et février, pour ensuite décroître jusqu'à la fin du mois de mars (Figure 17C ; Tableau 7).

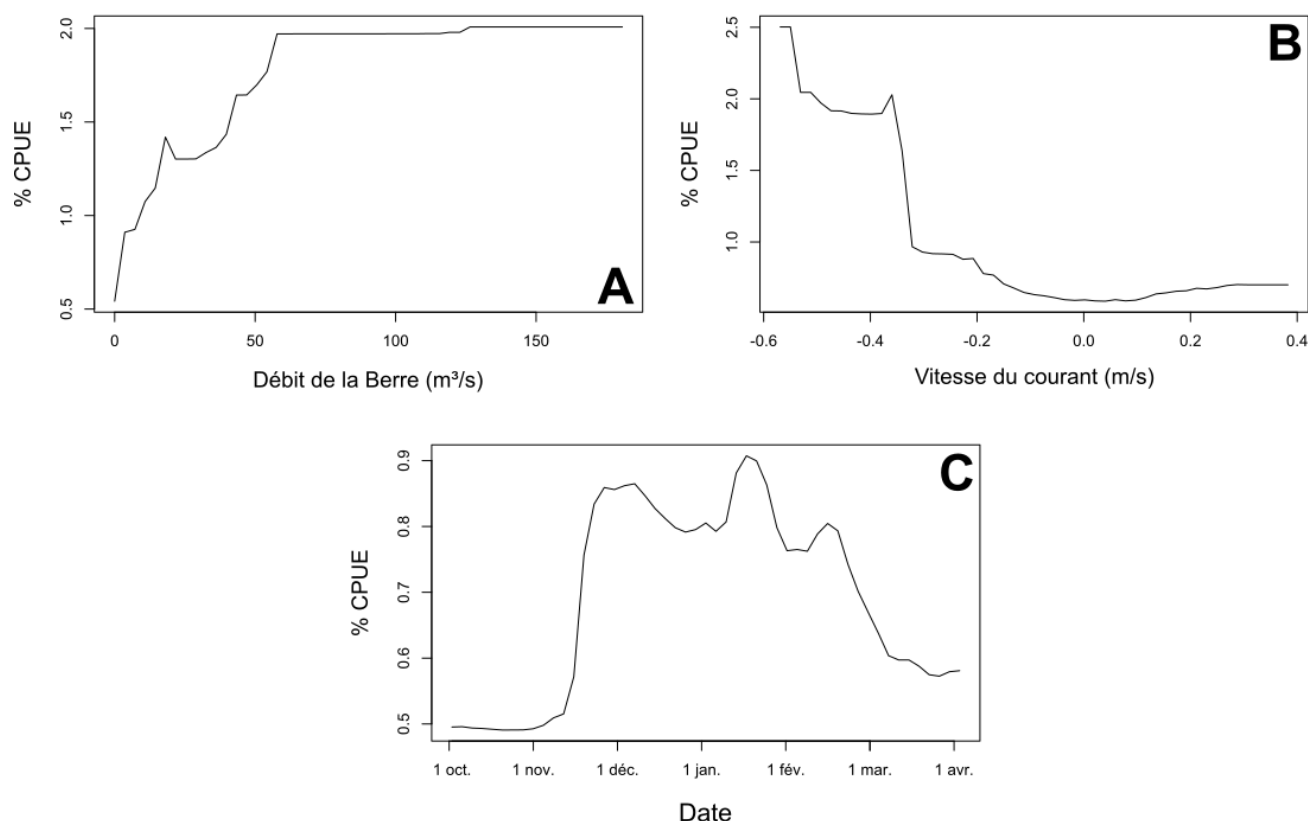


Figure 17 : Relations entre les pourcentages de CPUE (en nombre moyen de civelles par flottang et par jour) de civelles toutes saisons confondues et le débit de la Berre en m³/s (A), la vitesse du courant en m/s (B) et la date (C). Les figures A, B et C sont présentées dans l'ordre décroissant d'indice de pureté des nœuds.

Tableau 7 : Indices de pureté de nœuds et p-values déterminés à partir du Random Forest modélisant les pourcentages de CPUE (nombre moyen de civelles par flottang et par jour) toutes saisons confondues, en fonction des paramètres hydro-climatiques et de la date. *Q_Berre* : débit au niveau de la station de jaugeage de Ripaud ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), *T_eau* : température de l'eau dans le grau ($^{\circ}\text{C}$), *P_atm* : pression atmosphérique (hPa), *Vit_vent* : vitesse du vent ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), avec par convention les vents de direction 20 à 200° prenant une valeur négative et ceux de direction 200 à 20° une valeur positive, *V_courant* : vitesse du courant dans le grau ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), avec par convention les courants allant vers la mer prenant une valeur positive et ceux en direction de la lagune une valeur négative, *Sal* : salinité dans le grau, *Turb* : turbidité dans le grau ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), *Visi_lune* : pourcentage de pleine lune, *Neb* : nébulosité (octas), *H_pluie* : hauteur journalière des précipitations (mm). En gras, les paramètres ayant une influence significative sur les pourcentages de CPUE de civelles.

CPUE de civelles dans les flottangs		
Variables	Indices de pureté des nœuds	p
Q_Berre	234.30	0.01
V_courant	218.41	0.01
Date	195.76	0.02
P_atm	196.26	0.17
Sal	183.22	0.15
Vit_vent	171.58	0.41
T_eau	147.72	0.82
Turb	139.76	0.93
Visi_lune	104.86	1.00
H_pluie	71.52	0.26
Neb	71.04	1.00

3.2.1 Expérimentation sur la réduction de fréquence de relève des flottangs

L'analyse a été réalisée toutes saisons confondues sur un total de 14 661 civelles, dont 2 261 en 2022–2023, 494 en 2023–2024, 1 412 en 2024–2025 et 10 494 en 2025–2026. Les données ont été regroupées par périodes de quatre jours afin de comparer, pour une même période, la somme des captures issues des relèves quotidiennes avec le nombre de civelles observées lors de la relève effectuée au bout de quatre jours.

Toutes saisons confondues, la relation entre les deux modalités de relève est très forte. La régression linéaire réalisée sur les variables log-transformées montre un coefficient de détermination élevé ($R^2 = 0,94$; $p < 0,01$), indiquant que les captures observées après quatre jours sont fortement liées aux captures cumulées obtenues par relèves quotidiennes sur la même période (Figure 18).

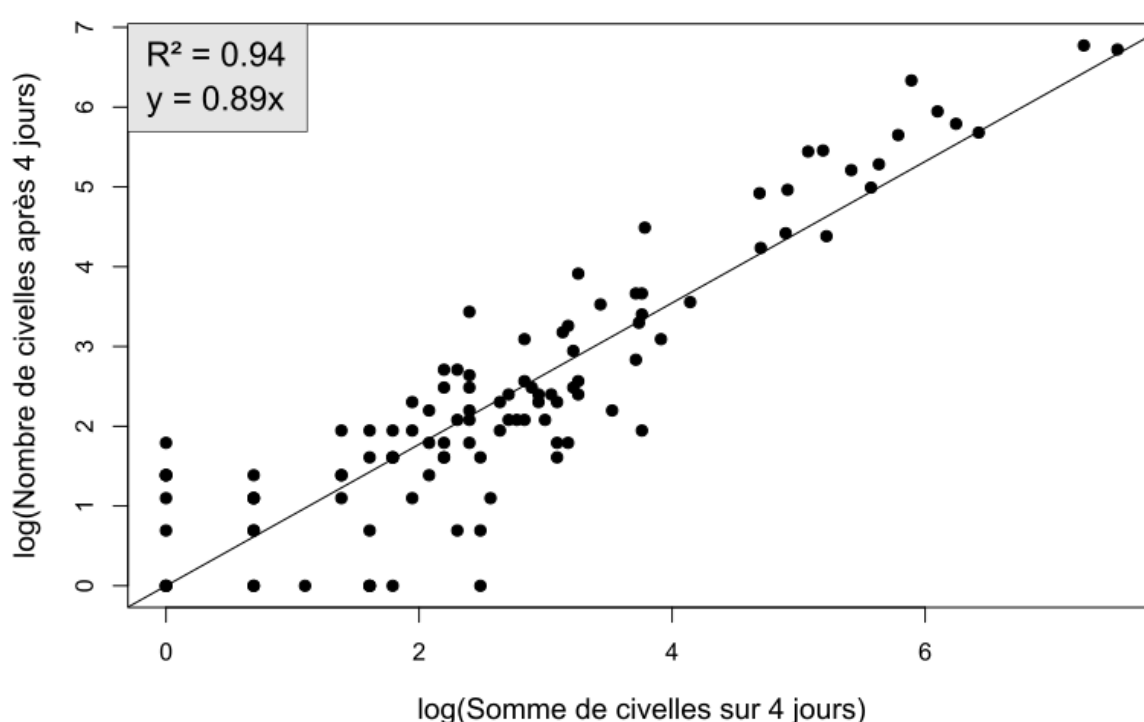


Figure 18 : Relation entre le logarithme de la somme des civelles relevées quotidiennement sur quatre jours et le logarithme du nombre de civelles capturées après quatre jours, toutes saisons confondues (de 2022 à 2026).

La validation par tirages aléatoires répétés confirme la robustesse du modèle global. Sur les 200 répétitions réalisées, le R^2 moyen calculé uniquement sur les données test est de $0,80 \pm 0,06$, avec des valeurs comprises entre 0,50 et 0,92. La pente moyenne de la relation est de $0,89 \pm 0,01$, avec des valeurs comprises entre 0,85 et 0,92. Ces résultats montrent que le modèle conserve une bonne capacité prédictive lorsqu'il est appliqué à des données n'ayant pas servi à son ajustement, même si la qualité de prédiction varie selon les tirages.

Après correction par la pente du modèle global, les histogrammes montrent des distributions globalement proches entre les abondances estimées à partir des relèves après quatre jours et les abondances cumulées issues des relèves quotidiennes. Dans les deux cas, la majorité des observations se concentre dans les classes de faibles à moyennes abondances, tandis que les classes de fortes abondances sont moins représentées. La distribution des abondances corrigées après quatre jours présente un pic principal similaire à celui observé pour les abondances cumulées sur quatre jours, bien que certaines différences persistent dans la répartition des classes intermédiaires et élevées (Figure 19).

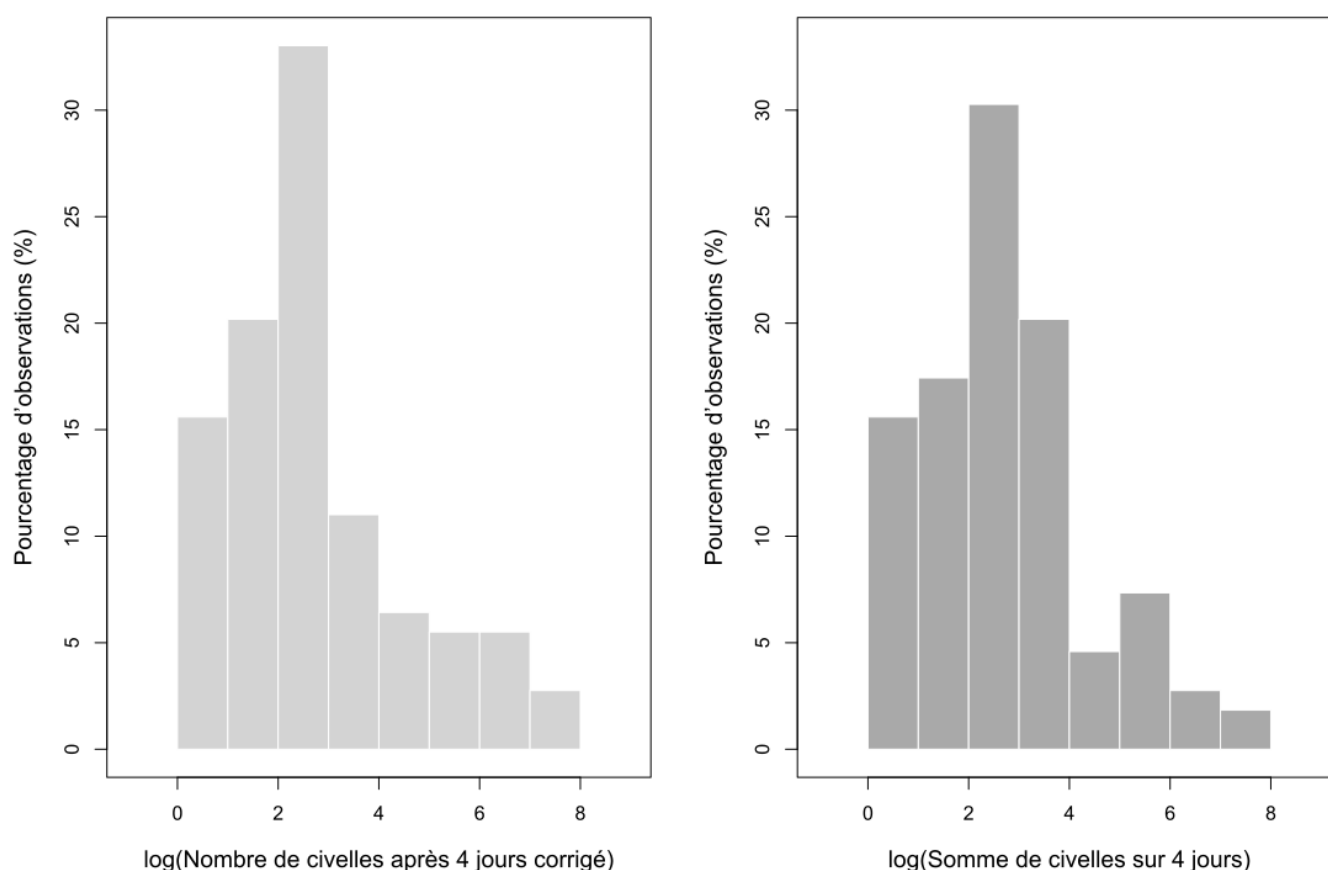


Figure 19 : Histogrammes des captures de civelles transformées en logarithme : à gauche, nombre de civelles capturées après quatre jours corrigé par la pente du modèle global ; à droite, somme des captures relevées quotidiennement pendant quatre jours.

4 Discussion

4.1 Echappement des anguilles argentées

4.1.1 Phénologie saisonnière de l'échappement des anguilles argentées

La période principale d'échappement des anguilles argentées observée à la fin de l'automne (octobre-décembre) lors de la saison 2025-2026 confirme les résultats obtenus lors des saisons précédentes (Lagarde et al., 2021b ; 2022 ; Laffleur et al., 2023 ; Le Gallou et al., 2024 ; 2025). Cette phénologie est également décrite dans de nombreux cours d'eau de la façade atlantique, notamment les rivières Lilleaa et Gudena au Danemark (Aarestrup et al., 2010), le fleuve Mondego au Portugal (Monteiro et al., 2020), la rivière Foyle en Irlande (Barry et al., 2016) ainsi que les fleuves Frémur, Loire et Vilaine en France (Acou et al., 2008 ; Briand et al., 2016 ; 2015 ; 2014 ; Bultel et al., 2014 ; Durif &

Elie, 2008). Une période similaire a également été rapportée dans certaines lagunes méditerranéennes (Bevacqua et al., 2006). En revanche, des périodes d'échappement plus précoces, entre août et novembre, ont été rapporté dans le Nord de l'Europe, sur les bassins versants de Burrishoole en Irlande et Isma en Norvège (Sandlund et al., 2017). Ce décalage latitudinal a déjà été décrit par Bruijs & Durif (2009), qui l'expliquent par la nécessité d'une synchronisation de l'arrivée des géniteurs en mer des Sargasses, les individus issus des zones les plus éloignées migrant plus précocement. Les observations réalisées dans le cadre du projet FLUX ne corroborent toutefois pas cette hypothèse, la période principale d'échappement de la lagune de Bages-Sigean étant similaire à celle observée dans plusieurs rivières de la façade Atlantique pourtant situés plus près de la mer des Sargasses.

Les données obtenues lors de la saison 2025–2026 confirment l'existence d'une période d'échappement secondaire de la lagune de Bages-Sigean en mars-avril. Bien que moins fréquemment décrite, cette période a également été observée dans les rivières Lileaa et Gudena (Aarestrup et al., 2008), dans le fleuve Vilaine (Briand et al., 2014 ; 2015 ; 2016) et dans la lagune de Comacchio en Italie (El Ganainy et al., 2023). Les pêcheurs professionnels de la lagune de Bages-Sigean rapportent également des captures d'anguilles argentées durant cette période, mais en abondance nettement plus faible qu'en octobre–décembre (R. Lagarde, communication personnelle). Enfin, comme précisé plus haut, l'importance de ce deuxième pic d'échappement par rapport au premier paraît être surestimé dans le modèle de Random Forest. Ceci s'explique par la transformation logarithmique de l'échappement dans ce modèle qui limite l'influence des forts pics d'échappement des mois d'octobre à décembre.

4.1.2 Structure de taille et sex-ratio des anguilles argentées

La saison 2025–2026 confirme la tendance observée lors des saisons précédentes, avec un échappement majoritairement composé de mâles dans la lagune de Bages-Sigean. Les structures de taille observées lors des pics d'échappement des anguilles argentées des huit saisons de suivi indiquent en effet un sex-ratio biaisé en faveur des mâles. Ainsi, 77 % des anguilles mesurées sur les huit saisons cumulées présentent une longueur inférieure à 45 cm, seuil au-delà duquel les anguilles sont généralement considérées comme des femelles (Vollestad, 1992 ; Acou et al., 2003). Un sex-ratio biaisé en faveur des mâles est fréquemment observé dans les milieux saumâtres, y compris dans la lagune de Bages-Sigean (Amilhat et al., 2014). Cette tendance n'est toutefois pas systématique, certains habitats saumâtres pouvant être largement dominés par des femelles (Cairns et al., 2009).

La proportion de femelles, estimée ici à partir des mesures réalisées avec la caméra acoustique, est plus importante que celle estimée à partir de captures réalisées par les pêcheurs lors des opérations de relâchers d'anguilles argentées dans la lagune de Bages-Sigean (données non publiées). Les relâchers réalisés entre 2018–2023 indiquent une proportion de femelles d'environ 11,5% contre 23% en moyenne pour les estimations faites à partir des mesures de la caméra sur la période 2018–2026. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les opérations de relâchers reposent généralement sur un seul pic de dévalaison, alors que le sex-ratio estimé à la caméra intègre l'ensemble de la période d'échappement. Cette différence pourrait également s'expliquer par la faible détectabilité des petites anguilles sur les vidéos de la caméra acoustique, les données étant alors biaisées en faveur des individus les plus grands. Ainsi la probabilité de

détection des plus grands individus, les femelles, serait plus importante, augmentant artificiellement le sex-ratio en leur faveur.

4.1.3 Effet des paramètres hydro-climatiques sur l'échappement des anguilles argentées

Les données obtenues lors du projet FLUX4 ont confirmé certains résultats des précédents projets FLUX. Pareillement aux trois saisons précédentes (2022–2023, 2023–2024 et 2024–2025), le débit de la Berre et la température de l'eau ont eu un effet significatif sur l'échappement des anguilles argentées, alors que ce n'était pas le cas avant 2022. L'échappement plus important observé lors des débits élevés de la Berre peut s'expliquer par son effet sur l'intensification du courant sortant dans le grau. En effet, l'augmentation du débit de la Berre génère un flux d'eau douce plus conséquent vers la lagune, ce qui amplifie le courant sortant lors des crues (Cesmat et al., 2012). De plus, il est possible que l'augmentation du débit de la Berre, qui génère un flux d'eau douce plus conséquent, modifie localement les conditions environnementales (baisse de la salinité, augmentation de la turbidité, variation de température), ce qui pourrait stimuler le comportement migratoire des anguilles (Cesmat et al., 2012). L'augmentation de l'échappement observée pour des températures de l'eau supérieures à 10–12°C est cohérente avec les observations réalisées dans d'autres milieux. En effet, dans le Nord de l'Europe, dans les rivières de Burrishoole (Irlande) et Isma (Norvège), les anguilles migrent préférentiellement lorsque les températures de l'eau sont comprises entre 10 et 20 °C. Il est à noter que le changement climatique semble avoir modifié les conditions de migration des anguilles argentées : alors que les températures propices à l'échappement étaient historiquement plus basses, elles apparaissent aujourd'hui plus élevées, traduisant une évolution des seuils thermiques favorables à la dévalaison (Arevalo et al., 2021).

Nous avons montré que les abondances d'anguilles argentées s'échappant de la lagune augmentaient durant les saisons précédentes lors des phases de courant sortant vers la mer. Cette observation était cohérente avec les études menées dans les zones estuariennes, où les courants de marée descendante facilitent l'échappement des anguilles argentées, celles-ci utilisant le flux descendant comme vecteur de déplacement (Bultel et al., 2014 ; Verhelst, et al., 2018). De plus, le débit est connu comme étant un facteur influençant positivement la migration dans divers cours d'eau (Durif & Elie, 2008 ; Monteiro et al., 2020 ; Teichert et al., 2020a) et estuaires (Bultel et al., 2014 ; Verhelst, et al., 2018 ; Monteiro et al., 2020). Cependant, avec l'ajout des deux dernières saisons (2024–2025 et 2025–2026), le courant dans le chenal n'apparaît plus comme un facteur significatif de l'échappement des anguilles. Le courant semble ainsi jouer un rôle plus limité dans la dynamique d'échappement que ne le suggéraient les tendances précédemment identifiées dans la lagune. Ce résultat pourrait toutefois être en partie influencé par les observations des deux dernières saisons (2024–2025 et 2025–2026), au cours desquelles le principal pic d'échappement de chaque saison, représentant 40 % de l'échappement total de chaque saison, a coïncidé avec des phases de courant dirigé vers la lagune. Ces épisodes contribuent ainsi à renforcer l'association observée entre courant entrant et dévalaison.

Par ailleurs, l'analyse intégrant les deux dernières saisons montre, pour la première fois depuis 2018, une significativité de l'influence de la turbidité sur l'échappement. Cette

relation positive entre turbidité et échappement est cohérente avec les observations de Durif et al., 2008, qui ont mis en évidence une corrélation étroite entre les hausses de turbidité et l'augmentation de l'activité des anguilles argentées en captivité. De plus, dans leur étude, les pics d'activité précédaient d'un à deux jours les captures d'anguilles migrantes dans la rivière Nivelle (Pyrénées-Atlantiques), suggérant un rôle déclencheur de la turbidité dans l'initiation de la migration. De plus, Arevalo et al. (2021) montrent qu'une forte turbidité, associée à une température de l'eau comprise entre 10 et 20°C, favorise l'échappement. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cet effet : la turbidité pourrait provoquer un assombrissement du milieu, réduisant ainsi la visibilité et le risque de prédation lors de la migration, ou constituer un signal chimique lié à des changements dans la composition de l'eau. Dans le contexte des dernières années marquées par la sécheresse, il est possible que le manque de précipitations et les faibles débits aient favorisé l'augmentation de la turbidité, du fait d'une moindre dilution des particules dans la colonne d'eau (Ligorini et al., 2022). Cela pourrait avoir contribué à renforcer l'influence de ce paramètre sur les échappements observés récemment.

Enfin de nombreux paramètres environnementaux, largement décrits dans la littérature pour avoir un effet significatif sur l'échappement des anguilles argentées, ne se sont pas révélés ici comme ayant un effet significatif sur l'échappement des anguilles argentées de la lagune de Bages-Sigean. C'est notamment le cas pour la phase lunaire ou la nébulosité (Bruijs & Durif, 2009 ; Teichert et al., 2020a) qui n'ont pas eu d'effet significatif sur l'échappement des anguilles argentées. L'effet de ces paramètres sur l'échappement des anguilles argentées est en général relié à la diminution de la luminosité (Bruijs & Durif, 2009 ; Trancart et al., 2018). Le grau de la lagune de Bages-Sigean est situé dans une zone très urbanisée dans laquelle l'éclairage public limite probablement très fortement l'effet des variations naturelles d'intensité lumineuse. Ceci pourrait expliquer l'absence d'effet des paramètres cités ci-dessus sur l'échappement des anguilles argentées.

Depuis le début du suivi en 2018 :

- La période principale d'échappement des anguilles argentées est située entre fin octobre et début décembre
- Le sex-ratio des anguilles argentées est dominé par les mâles
- L'effet du courant sur l'échappement des anguilles argentées n'est plus parmi les paramètres significatifs
- Les analyses réalisées depuis la saison 2022–2023 mettent en évidence un effet significatif du débit de la Berre sur l'échappement des anguilles argentées, auquel s'ajoute, depuis la saison 2024–2025, un effet significatif de la turbidité

4.2 Recrutement des civelles

4.2.1 Expérimentation pour étudier la possibilité de réduire la fréquence de relève des flottangs

Les résultats obtenus toutes saisons confondues montrent une relation très forte entre la somme des civelles relevées quotidiennement sur quatre jours et le nombre de civelles observées lors de la relève effectuée au bout de quatre jours. Le coefficient de détermination élevé du modèle global ($R^2 = 0,94$) indique que la relève après quatre jours

permet de restituer une grande partie des variations observées avec les relèves quotidiennes. La pente de la relation, inférieure à un ($y = 0,89x$), montre toutefois que les captures observées après quatre jours tendent à être légèrement inférieures aux captures cumulées issues des relèves quotidiennes. Cette différence suggère que les deux modalités de relève ne sont pas strictement équivalentes, même si elles restent fortement corrélées.

La comparaison des histogrammes après correction par la pente du modèle montre que les distributions des deux modalités de relève sont globalement proches. Les deux distributions présentent une majorité de faibles à moyennes abondances et quelques valeurs élevées, traduisant une dynamique de recrutement irrégulière. Cette correction permet donc de réduire le biais lié à l'espacement des relèves et de rendre les abondances obtenues après quatre jours plus comparables aux abondances cumulées issues des relèves quotidiennes. Néanmoins, la correction ne permet pas de restituer parfaitement toute la variabilité observée.

La validation par tirages aléatoires répétés confirme la robustesse générale du modèle. La pente moyenne obtenue sur les 200 répétitions est très stable ($0,89 \pm 0,01$; min = 0,85 ; max = 0,92), ce qui montre que la forme de la relation varie peu selon les jeux de données utilisés. En revanche, le R^2 calculé uniquement sur les données test est plus variable ($0,80 \pm 0,06$; min = 0,50 ; max = 0,92). Cela indique que, même si la relation globale est solide, la capacité du modèle à prédire précisément les captures peut varier selon les jeux de données considérés. Cette variabilité peut s'expliquer par le caractère ponctuel et irrégulier du recrutement des civelles, mais aussi par le fait que les individus capturés dans les flottangs ne restent probablement pas piégés pendant quatre jours. Des entrées et sorties du dispositif, ou des variations d'attractivité selon les conditions locales, peuvent ainsi contribuer à expliquer les écarts observés entre les deux modalités de relève.

Il est important de poursuivre l'expérimentation afin d'intégrer davantage de saisons, de niveaux de recrutement et de conditions hydro-climatiques, permettant ainsi d'évaluer la robustesse d'une fréquence de relève tous les quatre jours dans une plus large diversité de situations et de vérifier sa comparabilité avec une relève quotidienne.

4.2.2 Phénologie saisonnière du recrutement des civelles

Les captures de civelles ont été très élevées au cours de la saison 2025–2026, ce qui la place au premier rang des saisons en termes de recrutement. La principale période de recrutement a été identifiée entre novembre et février-mars, conformément aux saisons précédentes. Ce résultat corrobore les observations historiques réalisées sur ce site dans les années 1970–1980 (Finiger, 1976 ; Yahyaoui, 1983), ainsi que des observations plus récentes dans la rivière Ter en Espagne (Zamora & Costarrosa, 2019). Plus à l'est, des dynamiques différentes ont été décrites : au grau de la Fourcade reliant la lagune du Vaccarès à la mer (Crivelli et al., 2008), dans le Tibre en Italie (Ciccotti et al., 1995) et dans la rivière Pramaera en Sardaigne (Podda et al., 2020), la période principale de recrutement des civelles s'étend de décembre à avril, soit plus tardivement qu'en Méditerranée occidentale. Il est donc possible que les dynamiques de recrutement des civelles entre ces deux régions de la mer Méditerranée soient différentes.

A noter que les captures de civelles pendant le mois d'octobre sont quasiment nulles. Cette observation est confirmée par les résultats du modèle de Random Forest. Il apparaît

toutefois important de conserver un début précoce du suivi du recrutement, celui-ci pouvant être influencé par de nombreux facteurs environnementaux, dont ceux liés aux changements climatiques. Borges et al. (2019) suggèrent en effet que le réchauffement attendu des eaux côtières pourrait entraîner une colonisation plus précoce des eaux continentales par les civelles.

4.2.3 Variabilité temporelle des caractéristiques biologiques des civelles

Comme pour les précédentes saisons de suivis, les valeurs maximales de taille et de poids pour la saison 2025–2026 sont observées en octobre–décembre et diminuent ensuite jusqu'en mars. Toutes saisons confondues, les civelles faiblement pigmentées (stades VA, VB et VIA0) sont proportionnellement plus abondantes entre décembre et janvier, tandis que leur proportion est plus faible en octobre, février et mars. Une diminution des tailles, des poids et de la proportion des peu pigmentés pour des civelles capturées entre les mois de novembre–décembre et le mois de mai a été décrite précédemment sur la lagune de Bages-Sigean (Finiger, 1976) et en Camargue, dans le grau de la Fourcade (Lefebvre et al., 2003). Les résultats concordent également avec les observations réalisées dans la rivière Lis au Portugal, menées d'octobre à août, où les civelles présentaient des tailles et des poids plus élevés en octobre–décembre, qui diminuaient progressivement jusqu'à mars-avril (Stratoudakis et al., 2018). Ces variations pourraient être liées à des différences de courantologie marine qui entraîneraient des arrivées successives de plusieurs cohortes de civelles. Cependant, il est aussi probable que, selon le mois de recrutement, la vitesse de pigmentation des civelles à leur arrivée au niveau du plateau continental soit différente (Lecomte-Finiger, 1994). En effet, Briand et al. (2004) ont démontré que la pigmentation des civelles était plus rapide lorsque la température de l'eau augmente. Or, au cours de la période étudiée dans le grau de la lagune de Bages-Sigean, les températures de l'eau sont généralement les plus faibles en décembre-janvier, avant d'augmenter de nouveau à partir de février. Cette remontée des températures pourrait ainsi favoriser une accélération de la pigmentation au cours des mois suivants et contribuer à l'augmentation de la proportion de civelles présentant des stades de pigmentation plus avancés à partir de février. Toutefois, cette proportion reste plus élevée en octobre, lorsque les températures de l'eau sont les plus élevées au cours de la période de suivi. Ces variations pourraient donc en partie expliquer les différences saisonnières observées dans les stades de pigmentation des civelles. Les différences de taille et de poids observées pourraient quant à elles être expliquées par des variations de la disponibilité en nourriture pour les larves leptocéphales en fonction des mois (Desaunay & Guerault, 1997). De plus, une diminution du poids et de la taille est généralement observée entre les stades peu pigmentés et plus pigmentés (Bureau du Colombier et al., 2007 ; Lambert et al., 2003).

Ces différences de stade pigmentaire sont importantes à considérer car elles peuvent être associées à des comportements locomoteurs différents (Bureau du Colombier et al., 2007). Dans le cadre du stage réalisé par Gignon (2026), les civelles ont ainsi été séparées en deux groupes : les stades peu pigmentés, de VA à VIA0, considérés comme majoritairement passifs, et les stades plus pigmentés, de VIA1 à VII, considérés comme plus actifs. Cette approche a permis de montrer que les stades peu pigmentés répondent de manière plus nette à certains facteurs hydro-climatiques, comme la température de l'eau ou la turbidité. À l'inverse, les civelles plus pigmentées présentent des réponses moins marquées aux variables étudiées. Ce résultat pourrait traduire une plus grande variabilité des comportements individuels à ces stades de développement, rendant leur

relation avec les conditions hydro-climatiques moins nette. Ces interprétations restent toutefois à considérer avec prudence, car les modèles n'expliquent qu'une partie limitée de la variabilité du recrutement.

4.2.4 Effet des paramètres hydro-climatiques sur le recrutement des civelles

Les données obtenues lors de cette saison ont permis de confirmer que les abondances de civelles arrivant dans la lagune de Bages-Sigean sont plus élevées lorsque le débit de la Berre augmente, même très faiblement. Cette observation est cohérente avec une étude réalisée au niveau de l'étang du Vaccarès dans laquelle l'intensité du recrutement des civelles était corrélée au débit d'eau douce et à l'étendue de la plume d'eau douce en mer (Crivelli et al., 2008). Les civelles seraient attirées vers les eaux ayant une "odeur terrestre" (Tosi & Sola, 1993) et moins salées que la mer (Tosi et al., 1990). Des études précédentes menées au niveau du grau de la lagune de Bages-Sigean avaient établi une relation positive entre les conditions de forte tramontane et l'intensité du recrutement des civelles (Finiger, 1976 ; Lecomte-Finiger & Razouls, 1981). Cette corrélation n'a jamais été observée depuis le début du suivi en 2018, certainement dû au fait que lors des études précédentes la lagune était séparée du grau par des vannes. Ces vannes avaient pour but de limiter les apports en sédiments de la lagune vers le port et n'étaient généralement ouvertes que lors des conditions de forte tramontane. Cette gestion des vannes avait plusieurs conséquences : a) un courant dans le grau pouvant être ponctuellement beaucoup plus élevé que celui observé dans notre suivi, du fait de l'effet de « chasse » lors de l'ouverture des vannes et b) des échanges limités entre la lagune et la mer en dehors des périodes d'ouverture des vannes conduisant à des différences importantes de conditions hydro-climatiques entre la lagune et la mer. Ainsi lors de l'ouverture des vannes, les gradients de conditions hydro-climatiques dans le grau, certainement beaucoup plus marqués qu'à l'heure actuelle, devaient impacter plus fortement le recrutement des civelles.

Pour la première fois depuis le début du suivi, les analyses révèlent que la vitesse du courant entrant exerce un impact significatif sur les abondances de civelles qui arrivent dans la lagune de Bages-Sigean ([Annexe 6](#)). Cette observation pourrait s'expliquer par plusieurs hypothèses liées à l'écologie comportementale et aux capacités locomotrices de l'espèce. Cette observation est cohérente avec l'utilisation du transport sélectif par les courants de marée, largement documentée chez la civelle (Creutzberg, 1961 ; Gascuel, 1986). Selon cette hypothèse, les civelles resteraient enfouies dans le substrat lors de la marée descendante afin de ne pas être entraînées vers la mer ou l'océan (Harrison et al., 2014). A contrario, lors de la marée montante, elles quitteraient le substrat pour se positionner dans la colonne d'eau afin de profiter du courant pour coloniser les habitats en amont tout en minimisant les coûts énergétiques liés au déplacement (Forward & Tankersley, 2001). Les flottangs étant positionnés à la surface, l'efficacité de capture de ces dernier pour les civelles s'en trouverait accrue.

Les autres paramètres environnementaux analysés dans ce suivi et régulièrement associés au recrutement des civelles sur d'autres sites n'ont pas eu un effet significatif dans notre étude. Il s'agit en particulier de la température de l'eau, de la phase lunaire, de la turbidité et de la marée (Elie & Rochard, 1994 ; Harrison et al., 2014). Les températures de l'eau les plus favorables au recrutement des civelles sont en général comprises entre 5–6°C et 15–17°C (Podda et al., 2020). En dessous de ces températures, l'activité de migration et donc le recrutement des civelles est souvent réduit, probablement en lien

avec la baisse de leur activité métabolique (Harrison et al., 2014). Or, les températures de l'eau supérieures à 17°C sont plus régulièrement observées en octobre, c'est-à-dire en dehors de la période principale de recrutement des civelles dans la lagune (Arribas et al., 2012 ; Elie & Rochard, 1994). De plus des températures de l'eau inférieures à 5-6° sont très rares au niveau de la lagune de Bages-Sigean. L'effet de la phase lunaire et de la turbidité est souvent associé à une diminution de la luminosité qui correspond aux conditions les plus favorables à la migration des civelles (Bardonnnet et al., 2005 ; Podda et al., 2020). Il se pourrait que l'éclairage d'origine anthropique du grau (en marche toute la nuit) limite l'effet des variations de luminosité sur le comportement des civelles. Enfin, les coefficients de marée élevés peuvent être associés à un recrutement important des civelles (Podda et al. 2020) qui peuvent utiliser le courant comme vecteur de déplacement. Le grau de la lagune de Bages-Sigean a un fonctionnement d'estuaire micro-tidal dans lequel le courant est plus influencé par le vent et par les apports en eau douce (Fiandrino et al. 2012) que par la marée qui a de faibles amplitudes dans le golfe du Lion.

Les analyses réalisées dans le cadre du stage de Gignon (2026) montrent que le contexte hydro-climatique des saisons (sèche ou humide) influence la manière dont les paramètres environnementaux sont associés au recrutement des civelles. Les saisons humides (2018-2019, 2019-2020, 2021-2022 et 2025-2026) présentent une dynamique de recrutement plus clairement reliée aux variables mesurées que les saisons sèches (2020-2021, 2022-2023, 2023-2024 et 2024-2025). Cette différence suggère que, lors des saisons humides, les apports d'eau douce, notamment via le débit de la Berre, constituent un signal plus marqué pour l'entrée des civelles dans la lagune. À l'inverse, lors des saisons sèches, le recrutement apparaît plus difficile à relier aux variables étudiées, probablement parce qu'il dépend davantage de conditions ponctuelles favorables ou de facteurs non pris en compte dans les modèles.

Depuis le début du suivi en 2018 :

- La période principale de recrutement des civelles est entre mi-novembre et fin février
- Les civelles sont moins pigmentées en décembre-janvier et ont une taille et un poids plus élevés au début qu'à la fin de la période principale de recrutement
- Le recrutement des civelles est plus important lorsque le débit de l'affluent principal de la lagune (la Berre) est supérieur à sa valeur d'étiage
- L'effet significatif du courant entrant sur le recrutement des civelles (2018-2026) mis en évidence cette saison est probablement à mettre en lien avec les courants entrants particulièrement élevés observés cette saison
- La méthode de réduction de la fréquence de relève des flottangs s'est avérée prometteuse, permettant de restituer les mêmes tendances saisonnières du recrutement que celles observées avec le suivi quotidien

5 Conclusion

Concernant les anguilles argentées, la dynamique temporelle de l'échappement observée au cours de la saison 2025–2026, est demeurée globalement comparable à celle mise en évidence depuis 2018. L'intensité de l'échappement a toutefois été la plus faible des huit saisons avec 2 503 individus recensés (échappement calculé). Le sex-ratio est également resté comparable à celui observé au cours des saisons précédentes, avec une proportion de mâles supérieure à celle des femelles. L'intégration des données de 2025–2026 confirme par ailleurs l'influence du débit de la Berre et de la température de l'eau sur l'échappement. La turbidité, dont l'effet est apparu à partir de la saison 2024–2025, demeure également une variable significative. À l'inverse, le courant sortant, n'a plus d'influence significative depuis l'intégration des saisons 2024–2025 et 2025–2026.

Le recrutement des civelles s'est, à l'inverse, révélé exceptionnellement élevé au cours de la saison 2025–2026. Les captures par unité d'effort ont atteint 3 224 civelles par flottang, soit plus de cinq fois la valeur enregistrée en 2021–2022 (627 civelles par flottang), qui constituait jusqu'alors le maximum observé. La saison 2025–2026 se distingue ainsi très nettement de l'ensemble des saisons de suivi depuis 2018. Les caractéristiques biométriques des civelles (taille, poids et stade de pigmentation) ont globalement suivi les mêmes tendances saisonnières que celles décrites au cours des saisons précédentes. L'actualisation des analyses met en évidence un effet significatif du courant entrant pour la première fois depuis le début du suivi. En revanche, la température de l'eau, qui avait été identifiée comme une variable explicative dans les analyses portant sur la période 2018–2024, ne présente plus d'effet significatif depuis l'intégration des deux dernières saisons.

Dans l'ensemble, les résultats de la saison 2025–2026 confortent donc les principales tendances mises en évidence depuis le début du suivi, tout en soulignant une forte variabilité interannuelle des abondances et de l'influence relative des facteurs environnementaux. La poursuite des suivis permettra de mieux caractériser la variabilité des migrations et de distinguer les tendances durables des effets propres à certaines saisons.

Les tests réalisés afin d'évaluer la possibilité de réduire l'effort de terrain lié à la relève quotidienne des flottangs montrent des résultats encourageants. La saison 2025–2026, marquée par de forts épisodes de recrutement, a notamment permis de consolider le jeu de données et de renforcer l'analyse de la relation entre relèves quotidiennes et relèves espacées. Les résultats obtenus suggèrent qu'une relève tous les quatre jours pourrait permettre de restituer les grandes tendances du recrutement, en particulier après correction des abondances estimées.

6 Perspectives

Dans la continuité des travaux engagés les années précédentes sur la détection automatique des anguilles argentées en dévalaison par intelligence artificielle (Bairouk, 2020 ; Vandenberge, 2021 ; Evangelisti, 2024 ; Galzi, 2025), un stage sur cette thématique avait initialement été envisagé. Celui-ci n'a finalement pas pu être mis en place au cours de la saison 2025–2026 et les développements liés à l'interface de détection automatique

et aux modèles d'intelligence artificielle n'ont donc pas fait l'objet d'avancées complémentaires cette année.

En revanche, un stage de Master 2 portant sur le recrutement des civelles a été réalisé (Gignon, 2026). Ce travail a permis d'étudier si la réponse des civelles aux paramètres environnementaux variait selon le contexte hydro-climatique des saisons de recrutement (humides ou sèches) et selon leur stade pigmentaire (peu pigmenté ou pigmenté), ce dernier étant notamment associé à leur stade et à leur comportement de migration. Les résultats suggèrent que la prise en compte de ces deux facteurs permet d'affiner la compréhension de la dynamique de recrutement : les relations entre les paramètres environnementaux et l'entrée des civelles dans la lagune peuvent notamment différer selon le contexte hydro-climatique et le stade pigmentaire des civelles. Toutefois, les modèles n'expliquent toujours qu'une part limitée de la variabilité observée, indiquant que de nombreux facteurs influençant l'entrée des civelles dans la lagune restent encore à identifier ou à mieux caractériser.

Enfin, l'extension du port de Port-la-Nouvelle pourrait influencer le recrutement des civelles et l'échappement des anguilles argentées dans la lagune de Bages-Sigean, en raison de la localisation de cette extension, à l'entrée du seul chenal reliant la lagune à la mer. Une réunion a été organisée avec le Service Dragages, Ponts et Maintenance – Direction de la Mer de la Région, afin de faire le point sur les données disponibles concernant ces travaux. Toutefois, ces données nécessitent un important travail de tri et de restructuration avant de pouvoir être intégrées aux analyses. Dans un premier temps, il sera donc nécessaire d'effectuer ce travail préliminaire, éventuellement dans le cadre d'un stage, afin de déterminer si ces informations sont exploitables. L'objectif, à terme, est de pouvoir évaluer l'impact des travaux sur le recrutement des civelles et sur l'échappement des anguilles argentées.

Références citées :

Aarestrup, K., Thorstad, E.B., Koed, A., Jepsen, N., Svendsen, J.C., Pedersen, M.I., Skov, C., Økland, F., 2008. Survival and behaviour of European silver eel in late freshwater and early marine phase during spring migration. *Fish. Manag. Ecol.* 15, 435–440. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00639.x>

Aarestrup, K., Thorstad, E.B., Koed, A., Svendsen, J.C., Jepsen, N., Pedersen, M.I., Økland, F., 2010. Survival and progression rates of large European silver eel *Anguilla anguilla* in late freshwater and early marine phases. *Aquat. Biol.* 9, 263–270. <https://doi.org/10.3354/ab00260>

Acou, A., Lefebvre, F., Contournet, P., Poizat, G., Panfili, J., Crivelli, A.J., 2003. Silvering of female eels (*Anguilla anguilla*) in two sub-populations of the Rhône delta. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 368, 55–68. <https://doi.org/10.1051/kmae:2003036>

Acou, A., Laffaille, P., Legault, A., Feunteun, E., 2008. Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system. *Ecol. Freshw. Fish* 17, 432–442. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00295.x>

Amilhat, E., Fazio, G., Simon, G., Manetti, M., Paris, S., Delahaut, L., Farrugio, H., Lecomte-Finiger, R., Sasal, P., Faliex, E., 2014. Silver European eels health in Mediterranean habitats. *Ecol. Freshw. Fish* 23, 49–64. <https://doi.org/10.1111/eff.12077>

Amilhat, E., Aarestrup, K., Faliex, E., Simon, G., Westerberg, H., Righton, D., 2016. First evidence of European eels exiting the Mediterranean Sea during their spawning migration. *Sci. Rep.* 6, 21817. <https://doi.org/10.1038/srep21817>

Aranburu, A., Díaz, E., Briand, C., 2016. Glass eel recruitment and exploitation in a South European estuary (Oria, Bay of Biscay). *ICES J. Mar. Sci.* 73, 111–121. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv116>

Aranda, A., 1991. L'étang de Bages-Sigean - La pêche et les activités sur le plan d'eau (Rapport technique No. R.int.DEL/91.03/SETE). IFREMER, Sète.

Archer, E., 2016. rfPermute: Estimate permutation p-Values for random forest importance metrics. R package version 2.1.5.

Arevalo, E., Drouineau, H., Tétard, S., Durif, C. M. F., Diserud, O. H., Poole, W. R., & Maire, A., 2021. Joint temporal trends in river thermal and hydrological conditions can threaten the downstream migration of the critically endangered European eel. *Scientific reports*, 11(1), 16927. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96302-x>

Arribas, C., Fernández-Delgado, C., Oliva-Paterna, F.J., Drake, P., 2012. Oceanic and local environmental conditions as forcing mechanisms of the glass eel recruitment to the southernmost European estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 107, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.04.024>

Bairouk, A., 2020. Identification and enumeration of Eels from multi-beam sonar videos using Deep-Learning, Graduation project, École nationale supérieure d'informatique et d'analyse des systèmes. Encadrement : Laboratoire Informatique Robotique et Microélectronique de Montpellier et Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens.

Banerjee, S., Walder, F., Büchi, L., Meyer, M., Held, A.Y., Gatteringer, A., Keller, T., Charles, R., van der Heijden, M.G.A., 2019. Agricultural intensification reduces microbial network

complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *ISME J.* 13, 1722–1736. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2>

Bardonnet, A., Bolliet, V., Belon, V., 2005. Recruitment abundance estimation: Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 321, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.02.004>

Barry, J., Newton, M., Dodd, J.A., Lucas, M.C., Boylan, P., Adams, C.E., 2016. Freshwater and coastal migration patterns in the silver-stage eel *Anguilla anguilla*. *J. Fish Biol.* 88, 676–689. <https://doi.org/10.1111/jfb.12865>

Béguer-Pon, M., Castonguay, M., Shan, S., Benchetrit, J., Dodson, J.J., 2015. Direct observations of American eels migrating across the continental shelf to the Sargasso Sea. *Nat. Commun.* 6, 8705. <https://doi.org/10.1038/ncomms9705>

Bevacqua, D., Melià, P., Crivelli, A.J., Leo, G.A.D., Gatto, M., 2006. Timing and rate of sexual maturation of European eel in brackish and freshwater environments. *J. Fish Biol.* 69, 200–208. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01265.x>

Borges, F. O., Santos, C. P., Sampaio, E., Figueiredo, C., Paula, J. R., Antunes, C., Rosa, R., Grilo, T.F., 2019. Ocean warming and acidification may challenge the riverward migration of glass eels. *Biol. Lett.* 15: 20180627. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0627>

Bowman, A.W., Azzalini, A., 2014. R package “sm”: non parametric smothing method R package version 2.2-5.4.

Breiman, L., 2001. Random forests. *Mach. Learn.* 45, 5–32.

Briand, C., 2009. Dynamique de population et de migration des civelles en estuaire de Vilaine. Agrocampus Ouest, Rennes.

Briand, C., Fatin, D., Lambert, P., 2004. Effets de la température et de la salinité sur le développement de la pigmentation des civelles (*Anguilla anguilla*). *Cybiu* 28, 247–254.

Briand, C., Sauvaget, B., Eriau, G., 2014. Suivi de la dévalaison en 2012-2013 sur la Vilaine (Rapport technique). EPTB Vilaine, La Roche Bernard.

Briand, C., Sauvaget, B., Eriau, G., 2015. Suivi de la dévalaison en 2013-2014 sur la Vilaine à l'aide d'un DIDSON (Rapport technique). EPTB Vilaine, La Roche Bernard.

Briand, C., Sauvaget, B., Eriau, G., 2016. Suivi de la dévalaison d'anguilles argentées en 2014-2015 (troisième année) sur la Vilaine à l'aide d'un DIDSON (Rapport technique). EPTB Vilaine, La Roche Bernard.

Brujjs, M.C.M., Durif, C., 2009. Silver eel migration and behaviour, in: Spawning Migration of the European Eel. G. van den Thillart et al., p. 31.

Bultel, E., Lasne, E., Acou, A., Guillaudeau, J., Bertier, C., Feunteun, E., 2014. Migration behaviour of silver eels (*Anguilla anguilla*) in a large estuary of Western Europe inferred from acoustic telemetry. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 137, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.023>

Bureau du Colombier, S., Bolliet, V., Lambert, P., Bardonnet, A., 2007. Energy and migratory behavior in glass eels (*Anguilla anguilla*). *Physiol. Behav.* 92, 684–690. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.05.013>

Cairns, D.K., Secor, D.A., Morrison, W.E., Hallett, J.A., 2009. Salinity-linked growth in anguillid eels and the paradox of temperate-zone catadromy. *J. Fish Biol.* 74, 2094–2114. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02290.x>

Cataudella, S., Crosetti, D., Massa, F., 2015. Mediterranean coastal lagoons: sustainable management and interactions among aquaculture, capture fisheries and the environment. Studies and Reviews General Fisheries Commission for the Mediterranean. No 95. Rome, FAO. 2015. GFCM Studies and Reviews. 95.

Cesmat, L., Dusserre, K., Fiandrino, A., Benau, L., 2012. Etude hydrologique de l'étang de Bages-Sigean. Impact Différents Scénar. D'aménagement Gest. Sur Var. Salin. Agence L'eau Conserv. Espac. Nat. Languedoc-Roussillon Parc Nat. Régional Narbonnaise En Méditerranée Ifremer Fr. 84.

Ciccotti, E., Ricci, T., Scardi, M., Fresi, E., Cataudella, S., 1995. Intraseasonal characterization of glass eel migration in the River Tiber: space and time dynamics. *J. Fish Biol.* 47:248–255.

Ciccotti, E., Prisco, I., Leone, C., 2023. Analysis of European eel recruitment in the Mediterranean. In : Ciccotti, E. & Morello, E.B. (eds). European eel in the Mediterranean Sea – Outcomes of the GFCM Research programme. Studies and Reviews No. 103. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome, FAO. 181–194.

Creutzberg, F., 1961. On the orientation of migrating elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) in a tidal area. *Neth. J. Sea Res.* 1:257–338.

Crivelli, A.J., Auphan, N., Chauvelon, P., Sandoz, A., Menella, J.-Y., Poizat, G., 2008. Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap: factors explaining the catches. *Hydrobiologia* 602, 79–86.

Deines, K.L., 1999. Backscatter estimation using Broadband acoustic Doppler current profilers, in: Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement (Cat. No.99CH36331). Presented at the Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement (Cat. No.99CH36331), pp. 249–253. <https://doi.org/10.1109/CCM.1999.755249>

Desaunay, Y., Guerault, D., 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae: a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. *J. Fish Biol.* 51, 317–339. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb06106.x>

Durif, C.M.F., Elie, P., 2008. Predicting downstream migration of silver eels in a large river catchment based on commercial fishery data. *Fish. Manag. Ecol.* 15, 127–137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00593.x>

Durif, C.M.F., Travade, F., Rives, J., Elie, P., & Gosset, C., 2008. Relationship between locomotor activity, environmental factors, and timing of the spawning migration in the European eel, *Anguilla anguilla*. *Aquatic Living Resources*, 21(2), 163–170. <https://doi.org/10.1051/alr:2008031>

El Ganainy, A., Leone, C., Prisco, I. 2023. Seasonality of silver eel escapement in the Mediterranean. In : Ciccotti, E. & Morello, E.B. (eds). European eel in the Mediterranean Sea – Outcomes of the GFCM Research programme. Studies and Reviews No. 103. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome, FAO. 181–194.

Elie, P., Rochard, E., 1994. Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 335, 81–98. [10.1051/kmae:1994006](https://doi.org/10.1051/kmae:1994006).

European Council, 2007. Council Regulation (EC) No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel.

Evangelisti, M., 2024. Identification et dénombrement d'anguilles à partir de vidéos issues de sonar multifaisceaux par Deep-Learning, Rapport de stage, Institut polytechnique de Grenoble - École nationale supérieure d'informatique et de mathématiques appliquées. Encadrement : Laboratoire Informatique Robotique et Microélectronique de Montpellier et Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens.

Fiandrino, A., Lagarde, F., Le Gail, P., Messiaen, G., Chiantella, C., Roucher, B., Meyer, J., 2012. Développement d'une méthode d'estimation des débits dans les graus de lagunes (Rapport technique No. RST/LER/LR 12-02). IFREMER, Sète.

Finiger, R., 1976. Contribution à l'étude biologique et écologique des civelles (*Anguilla anguilla* Linné 1758) lors de leur pénétration dans un étang Méditerranéen. *Vie Milieu* XXVI, 123–144.

Forward, R., Tankersley, R., 2001. Selective tidal-stream transport of marine animals. *Oceanogr. Mar. Biol.* 39. 305-353.

Galzi, F., 2025. Identification et dénombrement d'anguilles à partir de vidéos issues de sonar multifaisceaux par Deep-Learning, Institut polytechnique de Grenoble - École nationale supérieure d'informatique et de mathématiques appliquées. Encadrement : Laboratoire Informatique Robotique et Microélectronique de Montpellier et Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens.

Gascuel, D., 1986. Flow-carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. *Helgol. Meeresunters.* 40, 321–326. <https://doi.org/10.1007/BF01983739>

Gignon, E., 2026. Influence of biotic and abiotic factors on glass eel (*Anguilla anguilla*) entrance in the Bages-Sigean lagoon. Mémoire de Master, Université de Perpignan Via Domitia, CEFREM.

Harrison, A.J., Walker, A.M., Pinder, A.C., Briand, C., Aprahamian, M.W., 2014. A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Rev. Fish Biol. Fish.* 24, 967–983. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9356-8>

ICES. 2025. Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL). ICES Scientific Reports. 7:99. 134 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.30488120>

INPN, SPN-MNHN, 2011. Conservatoire des espaces naturels du Languedoc-Roussillon, - 910030167, Etang de Bages-Sigean.

Jacoby, D., Gollock, M., 2014. *Anguilla anguilla* The IUCN Red List of Threatened Species.

Kjærås, H., Baktoft, H., Silva, A. T., Gjelland, K. Ø., Økland, F., Forseth, T., Szabó-Mészáros, M., & Calles, O. (2023). Three-dimensional migratory behaviour of European silver eels (*Anguilla anguilla*) approaching a hydropower plant. *Journal of Fish Biology*, 102(2), 465–478. <https://doi.org/10.1111/jfb.15278>

Laffleur T., Lagarde R., Maligne R., Simon G., Amilhat E., Bourrin F. & Faliex E. (2023). Rapport scientifique du projet FLUX3 : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport scientifique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Simon, G., Peyre, J., Prellwitz, F., Bourrin, F., Crec'Hirou, R., Menniti, C., Faliex, E., 2019a. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport technique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Simon, G., Peyre, J., Prellwitz, F., Bourrin, F., Crec'Hirou, R., Menniti, C., Faliex, E., 2019b. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport scientifique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Simon, G., Peyre, J., Prellwitz, F., Bourrin, F., Crec'Hirou, R., Menniti, C., Faliex, E., 2020a. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport technique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Simon, G., Peyre, J., Prellwitz, F., Bourrin, F., Crec'Hirou, R., Menniti, C., Faliex, E., 2020b. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport scientifique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Simon, G., Peyre, J., Prellwitz, F., Faliex, E., 2020c. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire. Période de suivi du recrutement des civelles dans la lagune de Bages-Sigean (Note technique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Simon, G., Peyre, J., Prellwitz, F., Faliex, E., 2020d. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire. Période de suivi de l'échappement des anguilles argentées de la lagune de Bages-Sigean (Note technique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Peyre, J., Amilhat, E., Mercader, M., Prellwitz, F., Simon, G., Faliex, E., 2020e. In situ evaluation of European eel counts and length estimates accuracy from an acoustic camera (ARIS). *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 44. <https://doi.org/10.1051/kmae/2020037>

Lagarde, R., Amilhat, E., Peyre, J., Prellwitz, F., Perrault, A., Bourrin, F., Crec'Hirou, R., Menniti, C., Faliex, E., 2021a. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport technique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Amilhat, E., Peyre, J., Prellwitz, F., Perrault, A., Simon, G., Bourrin, F., Crec'Hirou, R., Menniti, C., Faliex, E., 2021b. FLUX : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport scientifique). Université de Perpignan, Perpignan.

Lagarde, R., Peyre, J., Amilhat, E., Bourrin, F., Prellwitz, F., Simon, G., Faliex, E., 2021c. Movements of non-migrant European eels in an urbanised channel linking a Mediterranean lagoon to the sea. *Water* 13, 839. <https://doi.org/10.3390/w13060839>

Lagarde R., Amilhat E., Koffi-About S., Simon G., Bourrin F. & Faliex E., 2022. Rapport scientifique du projet FLUX2 : suivi 2021-2022 du recrutement des civelles et de l'échappement

des anguilles argentées dans la lagune de Bages-Sigean. Septembre 2021. CEFREM Université de Perpignan Via Domitia. 41 pp. + annexes

Lagarde, R., Peyre, J., Koffi-About, S., Amilhat, E., Bourrin, F., Simon, G., Faliex, E., 2023. Early or late? Just go with the flow: Silver eel escapement from a Mediterranean lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108379>

Lambert, P., Sbahi, M., Rochard, E., Marchelidon, J., Dufour, S., Elie, P., 2003. Variabilités morphologiques et du taux d'hormone de croissance des civelles d'anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de la Gironde au cours de la saison 1997-1998. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 368, 69–84.

Langlois, T.J., Fitzpatrick, B.R., Fairclough, D.V., Wakefield, C.B., Hesp, S.A., McLean, D.L., Harvey, E.S., Meeuwig, J.J., 2012. Similarities between line fishing and baited stereo-video estimations of length-frequency: novel application of kernel density estimates. *PLoS ONE* 7, e45973. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045973>

Lazaridis, E., 2014. lunar: Lunar phase & distance, seasons and other environmental factors. R Package Version 01-04.

Lecomte-Finiger, R., 1994. The early life of the European eel. *Nature* 370, 424. <https://doi.org/10.1038/370424a0>

Lecomte-Finiger, R., Razouls, C., 1981. Influence des facteurs hydrologiques et météorologiques sur la migration anadrome des civelles dans le Golfe du Lion. *Cah. Lab. Montereau* 12, 13–16.

Lefebvre, F., Sergent, E., Acou, A., Lecomte-Finiger, R., Crivelli, A.J., 2003. Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française : analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1974-75 et 2000-01. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 368, 85–96. <https://doi.org/10.1051/kmae:2003038>

Le Gallou I., Lagarde R., Joseph K., Simon G., Amilhat E., Bourrin F. & Faliex E., 2024. Rapport scientifique du projet FLUX4 : suivi de la dynamique du recrutement des civelles et de l'échappement des anguilles argentées en milieu lagunaire (Rapport scientifique). Université de Perpignan, Perpignan.

Le Gallou, I., Cambra, E., Amilhat, E., Faliex, E., Verdoit-Jarraya, M., Lagarde, R., 2025. Phenology of fish movements between a mediterranean lagoon and the sea: Insights from acoustic camera and fishers' local ecological knowledge. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 89, 104293. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104293>

Liaw, A., Wiener, M., 2002. Classification and regression by randomForest. *R News* 2, 18–22.

Lucas, M.C., Baras, E., 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science, Oxford.

Martignac, F., Boulenger, C., Marchand, F., 2018. Matériel d'hydroacoustique de nouvelle génération (Rapport technique). AFB-INRA, Rennes.

Martignac, F., Daroux, A., Bagliniere, J.-L., Ombredane, D., Guillard, J., 2015. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish Fish.* 16, 486–510. <https://doi.org/10.1111/faf.12071>

McDowall, R.M., 1988. Diadromy in fishes: migration between freshwater and marine environments, Croom Helm. ed. Springer, London.

Miller, M.J., Bonhommeau, S., Munk, P., Castonguay, M., Hanel, R., McCleave, J.D., 2014. A century of research on the larval distributions of the Atlantic eels: a re-examination of the data. *Biol. Rev.* 90, 1035–1064. <https://doi.org/10.1111/brv.12144>

Miller, M.J., Westerberg, H., Sparholt, H., Wysujack, K., Sørensen, S.R., Marohn Lasse, Jacobsen Magnus W., Freese Marko, Ayala Daniel J., Pohlmann Jan-Dag, Svendsen Jon C., Watanabe Shun, Andersen Line, Møller Peter R., Tsukamoto Katsumi, Munk Peter, Hanel Reinhold, 2019. Spawning by the European eel across 2000 km of the Sargasso Sea. *Biol. Lett.* 15, 20180835. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0835>

Monteiro, R.M., Domingos, I., Almeida, P.R., Costa, J.L., Alexandre, C.M., Quintella, B.R., 2020. Migration and escapement of silver eel males, *Anguilla anguilla*, from a southwestern European river. *Ecol. Freshw. Fish* 29, 679–692. <https://doi.org/10.1111/eff.12545>

Moore, S.A., Le Coz, J., Hurther, D., Paquier, A., 2012. On the application of horizontal ADCPs to suspended sediment transport surveys in rivers. *Cont. Shelf Res.* 46, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.10.013>

Myers, G.S., 1949. Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia* 1949, 89–97. <https://doi.org/10.2307/1438482>

Oswatte Liyanage, P., 2021. Suivi spatiotemporel des eaux de surface dans les lagunes côtières méditerranéennes (France). [Mémoire de Master 2, Université de Paris]. 73. http://85.31.222.100/alexandrie-7/seam/resource/directMedia/AvkNd_Wpxju1S4ExiiPPgrmG2RZhFKpy;jsessionid=5a5a2c7732575f5ea379032a0538?binaryFileId=2322&cid=25440

Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, Comité des pêches, 2014. Etang de BAGES-SIGEAN. Synthèse des résultats de la pêche lagunaire en 2011, 2012 et 2013. Restitution des données des déclarations de pêche (Synthèse). Comité Interdépartemental des Pêches Maritimes & des Elevages Marins des Pyrénées Orientales et de l'Aude.

Pérez-Ruzafa, Angel, Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I.M., Pérez-Marcos, M., 2011. Coastal lagoons: “transitional ecosystems” between transitional and coastal waters. *J. Coast. Conserv.* 15, 369–392. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0095-2>

Pérez-Ruzafa, A., Pérez-Ruzafa, I. M., Newton, A., Marcos, C., 2019. Coastal lagoons: environmental variability, ecosystem complexity, and goods and services uniformity. In *Coasts and estuaries*, 253–276. Elsevier.

Pike, C., Crook, V., Gollock, M., 2020. IUCN Red List of Threatened Species: *Anguilla anguilla*. IUCN Red List Threat. Species. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T60344A152845178.en>

Podda, C., Palmas, F., Frau, G., Chessa, G., Culurgioni, J., Diciotti, R., Fois, N., Sabatini, A., 2020. Environmental influences on the recruitment dynamics of juvenile European eels, *Anguilla anguilla*, in a small estuary of the Tyrrhenian Sea, Sardinia, Italy. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 30, 1638–1648. <https://doi.org/10.1002/aqc.3362>

Pôle relais lagunes Méditerranéennes, 2015. Etude pour l'amélioration du fonctionnement hydraulique de l'étang de Bages-Sigean (Rapport de gestion). Narbonne.

Poole, W.R., Reynolds, J.D., 1996. Growth rate and age at migration of *Anguilla anguilla*. *J. Fish Biol.* 48, 633–642. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01458.x>

R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Sandlund, O.T., Diserud, O.H., Poole, R., Bergesen, K., Dillane, M., Rogan, G., Durif, C., Thorstad, E.B., Vøllestad, L.A., 2017. Timing and pattern of annual silver eel migration in two European watersheds are determined by similar cues. *Ecol. Evol.* 7, 5956–5966. <https://doi.org/10.1002/ece3.3099>

Schmidt, Johs., 1923. The breeding places of the eel. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B.* 211, 179–208. <https://doi.org/10.1098/rstb.1923.0004>

Schoth, M., Tesch, F.-W., 1982. Spatial distribution of 0-group eel larvae (*Anguilla* sp.) in the Sargasso Sea. *Helgoländer Meeresunters.* 35, 309–320. <https://doi.org/10.1007/BF02006139>

Sheather, S.J., Jones, M.C., 1991. A reliable data-based bandwidth selection method for kernel density estimation. *J. R. Stat. Soc. Ser. B Methodol.* 53, 683–690.

Stratoudakis, Y., Oliveira, P.B., Teles-Machado, A., Oliveira, J.M., Correia, M.J., Antunes, C., 2018. Glass eel (*Anguilla anguilla*) recruitment to the river Lis: Ingress dynamics in relation to oceanographic processes in the western Iberian margin and shelf. *Fisheries Oceanography.* 27, 536–547. <https://doi.org/10.1111/fog.12274>

Teichert, N., Tétard, S., Trancart, T., de Oliveira, E., Acou, A., Carpentier, A., Bourillon, B., Feunteun, E., 2020a. Towards transferability in fish migration models: A generic operational tool for predicting silver eel migration in rivers. *Sci. Total Environ.* 739, 140069. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140069>

Teichert, N., Tétard, S., Trancart, T., Feunteun, E., Acou, A., de Oliveira, E., 2020b. Resolving the trade-off between silver eel escapement and hydropower generation with simple decision rules for turbine shutdown. *J. Environ. Manage.* 261, 110212. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110212>

Tosi, L., Spampanato, A., Sola, C., Tongiorgi, P., 1990. Relation of water odour, salinity and temperature to ascent of glass-eels, *Anguilla anguilla* (L.): a laboratory study. *J. Fish Biol.* 36, 327–340. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05613.x>

Tosi, L., Sola, C., 1993. Role of geosmin, a typical inland water odour, in guiding glass gel *Anguilla anguilla* (L.) migration. *Ethology* 95, 177–185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1993.tb00468.x>

Trancart, T., Feunteun, E., Danet, V., Carpentier, A., Mazel, V., Charrier, F., Druet, M., Acou, A., 2018. Migration behaviour and escapement of European silver eels from a large lake and wetland system subject to water level management (Grand-Lieu Lake, France): New insights from regulated acoustic telemetry data. *Ecol. Freshw. Fish* 27, 570–579. <https://doi.org/10.1111/eff.12371>

Vandenberghe, V., 2021. Eels' identification and counting from multibeam sonar video by Deep-Learning. Rapport de stage, École nationale supérieure d'informatique et d'analyse des systèmes. Encadrement : Laboratoire Informatique Robotique et Microélectronique de Montpellier et Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens.

Verhelst, P., Bruneel, S., Reubens, J., Coeck, J., Goethals, P., Oldoni, D., Moens, T., Mouton, A., 2018. Selective tidal stream transport in silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) –

Migration behaviour in a dynamic estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 213, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.025>

Vollestad, L.A., 1992. Geographic variation in age and length at metamorphosis of maturing European eel: environmental effects and phenotypic plasticity. *J. Anim. Ecol.* 61, 41–48.

Yahyaoui, A., 1983. Etude comparée (recrutement, croissance et polymorphisme enzymatique) des populations atlantiques et méditerranéennes (Maroc - France) de civelles d'*Anguilla anguilla* L. 1758. Université de Perpignan, Perpignan.

Wand, M., 2015. KernSmooth: functions for kernel smoothing supporting Wand & Jones (1995). R package version 2. 23-15.

Zamora, L., Costarrosa, A., 2019. SERVEI: Caracterització de la població d'anguila europea (*Anguilla anguilla*) i seguiment del seu reclutament al riu Ter (Girona) - Informe de tasques realitzades i resultats (Rapport scientifique) (p. 36). Universitat de Girona, Girona.

Annexes

Annexe 1 : Bilan des différents instruments utilisés et des périodes de mesure des paramètres hydro-climatiques pris en compte dans le présent rapport pour compléter les analyses depuis 2018.

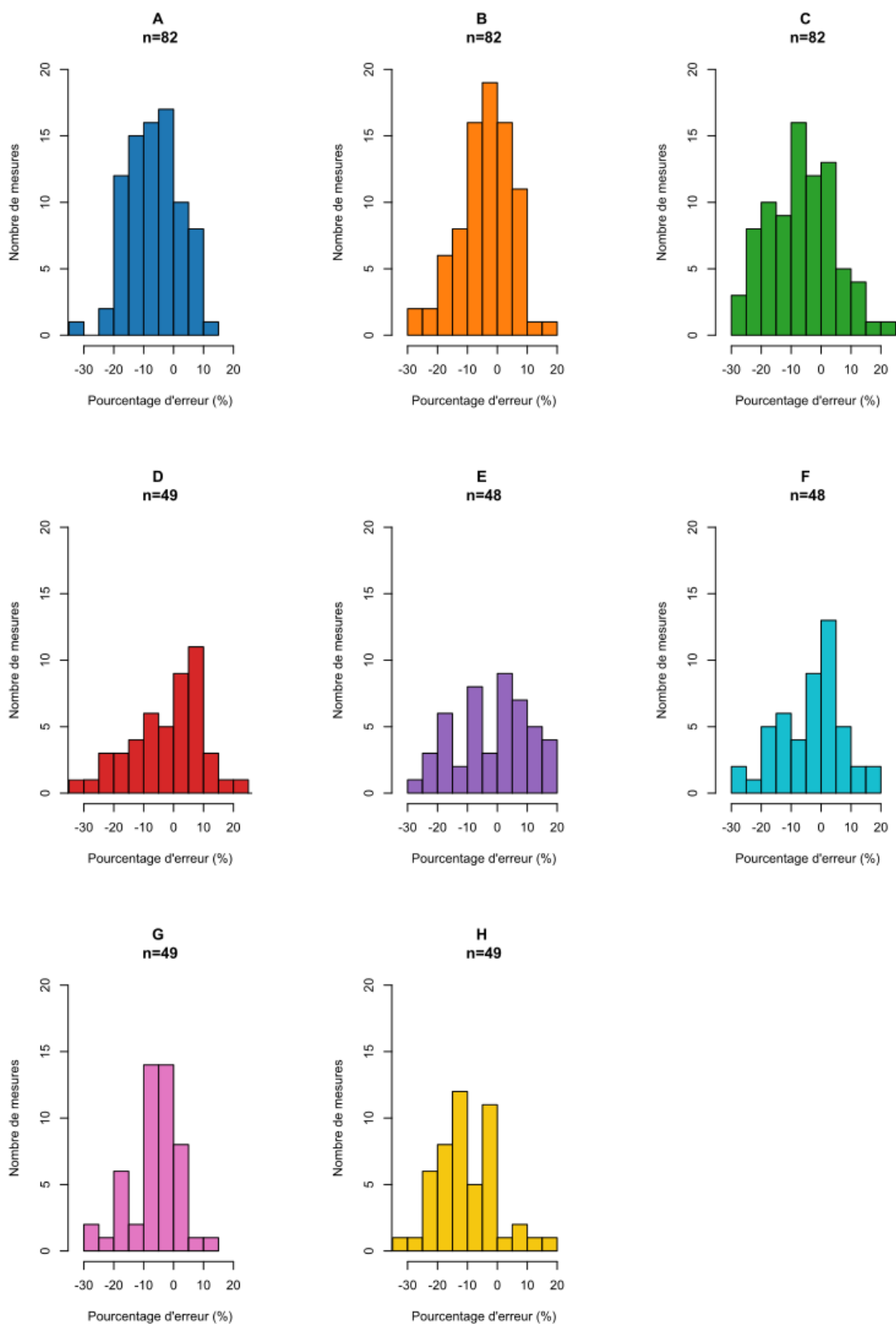
Paramètre hydro-climatique	Instrument de mesure	Pas de temps de mesures	Période(s) de fonctionnement	Fournisseur de donnée	Utilisation dans les analyses
Cumul des précipitations (mm)	Stations météorologiques : - Durban-Corbières - Leucate - Narbonne	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Oui (moyenne trois stations)
Température de l'air sous abri (°C)	Stations météorologiques : - Durban-Corbières - Leucate - Narbonne	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Oui (moyenne trois stations)
Pression atmosphérique au niveau de la mer (hPa)	Station météorologique : - Leucate	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Oui
Vitesse maximale du vent moyennée sur 10 min (m.s ⁻¹)	Stations météorologiques : - Durban-Corbières - Leucate - Narbonne	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Oui (moyenne trois stations)
Vitesse maximale du vent instantanée (m.s ⁻¹)	Stations météorologiques : - Durban-Corbières - Leucate - Narbonne	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Non, éliminé des analyses car fortement corrélé à la vitesse maximale du vent moyennée sur 10 min
Direction du vent (°)	Stations météorologiques : - Durban-Corbières - Leucate - Narbonne	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Oui (moyenne trois stations)
Nébulosité (octas)	Station météorologique : - Leucate	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Météo France	Oui
% de la pleine lune		Journalier	01/10/2025 – 30/04/2026	Package <i>lunar</i> de R	Oui
Débit la Berre (m ³ .s ⁻¹)	Station jaugeage Ripaud	Horaire	13/12/2025 – 30/04/2026	www.hydro.eaufrance.fr	Oui
Température de l'eau (°C)	Sonde CTD	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Projet FLUX4	Oui (utilisation de la température de la sonde CTD)
	Enregistreur#1	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Projet FLUX4	

Courant (m.s ⁻¹)	2 H-ADCP (fond et surface)	5 min	H-ADCP fond : 04/12/2025 – 30/04/2026 H-ADCP surface : 01/10/2025 – 20/10/2025 ; 22/10/2025 – 23/12/2025 ; 06/12/2025 – 13/01/2026 ; 16/01/2026 – 10/02/2026 ; 12/02/2026 – 31/03/2026 ; 02/04/2026 – 30/04/2026	Projet FLUX4	Oui (moyenne des deux H-ADCP quand les deux étaient disponibles, sinon utilisation des données d'un seul H-ADCP)
Salinité	Sonde CTD	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Projet FLUX4	Oui
	Mesure manuelle au réfractomètre	Journalière	01/10/2025 – 31/03/2026	Projet FLUX4	Oui (si problème sonde CTD)
Turbidité	Sonde CTD	Horaire	01/10/2025 – 30/04/2026	Projet FLUX4	Non
	2 H-ADCP (fond et surface)	5 min	H-ADCP fond : 04/12/2025 – 30/04/2026 H-ADCP surface : 01/10/2025 – 20/10/2025 ; 22/10/2025 – 23/12/2025 ; 06/12/2025 – 13/01/2026 ; 16/01/2026 – 10/02/2026 ; 12/02/2026 – 31/03/2026 ; 02/04/2026 – 30/04/2026	Projet FLUX4	Oui (moyenne des deux H-ADCP quand les deux étaient disponibles, sinon utilisation des données d'un seul H-ADCP)

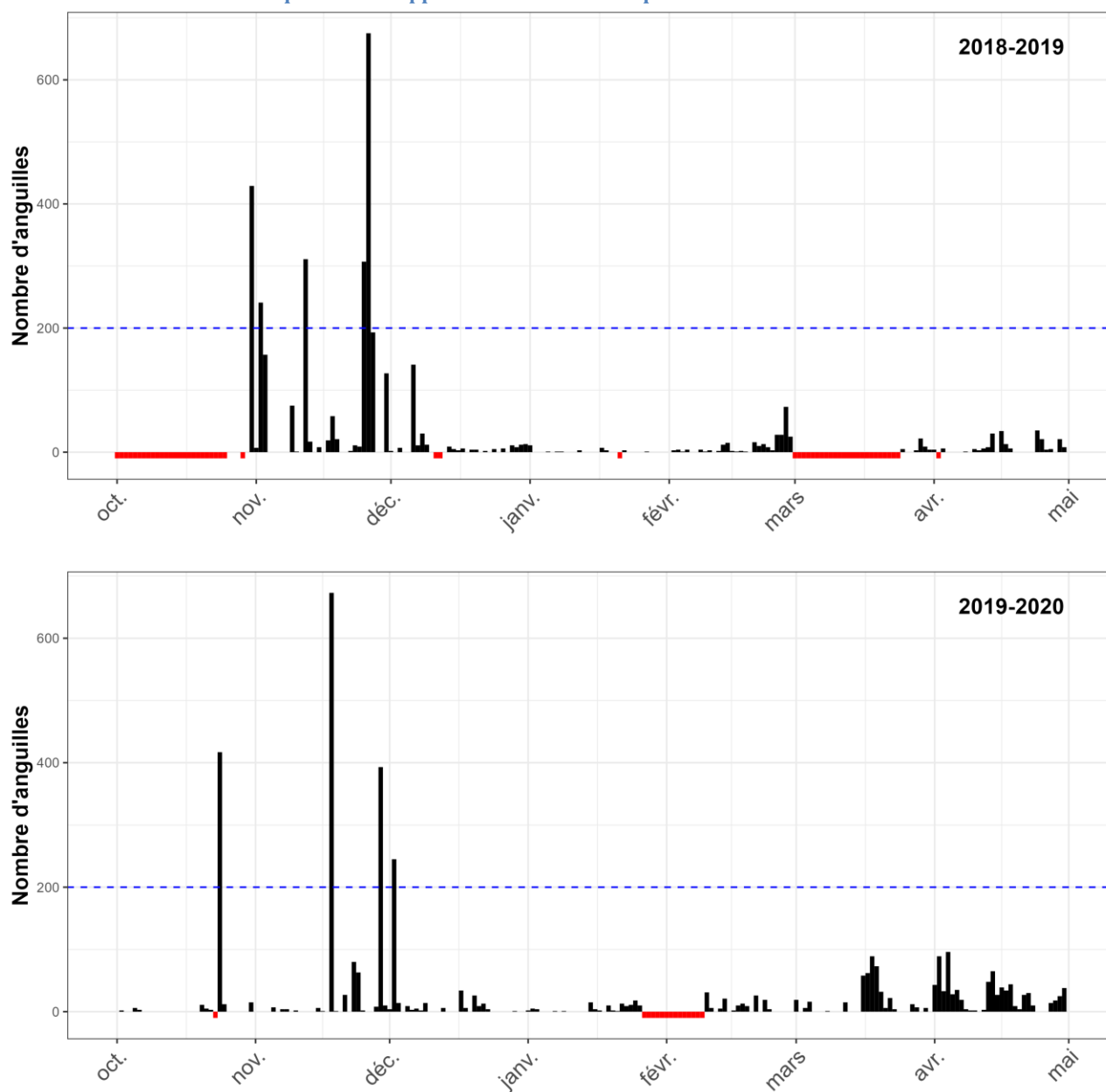
Annexe 2 : Matrice des coefficients de détermination (R^2) entre les estimations d'effectifs réalisées par les différents observateurs J. Peyre (JP), R. Lagarde (RL), S. Koffi-About (SKA), T. Laffleur (TL), R. Maligne (RM), K. Joseph (KJ), I. Le Gallou (ILG) et N. Péret (NP). Les valeurs proches de 1 indiquent une forte concordance entre les estimations.

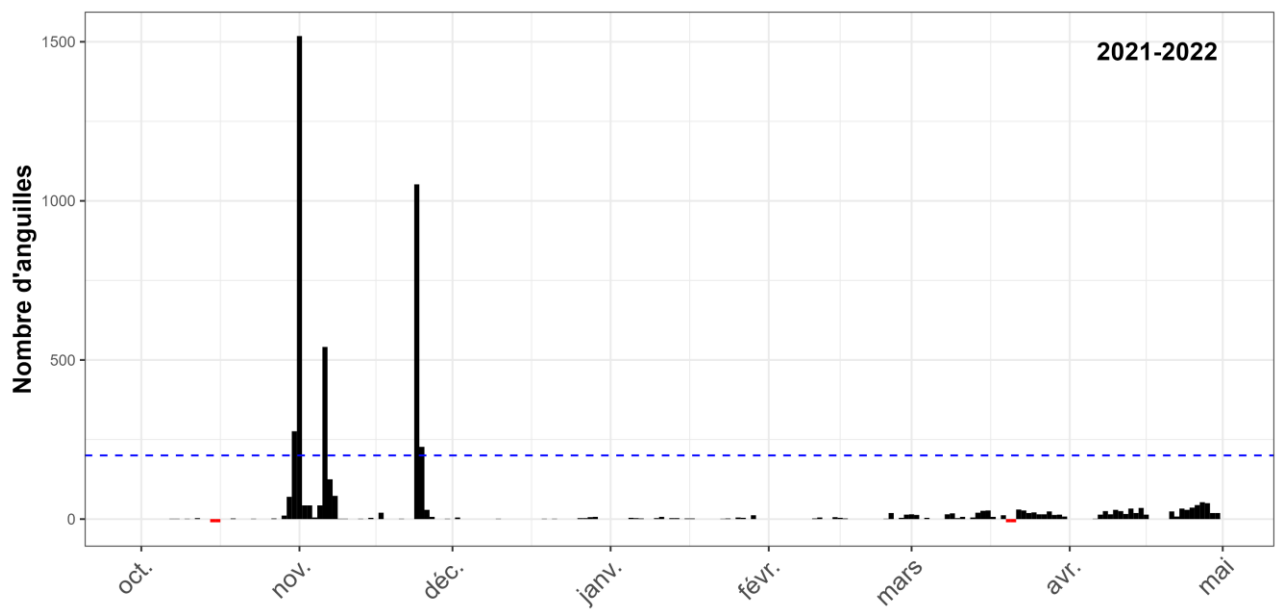
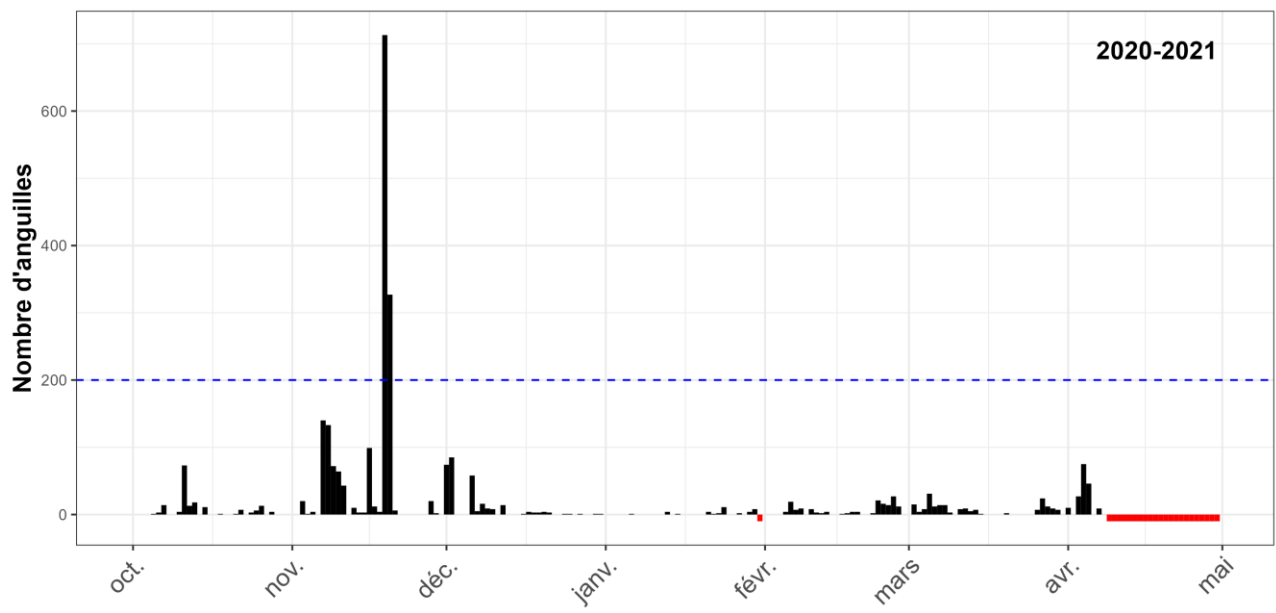
JP	0.97						
KJ	0.99	0.97					
NP	0.96	0.96	0.97				
RL	0.97	0.99	0.97	0.95			
RM	0.97	0.97	0.98	0.94	0.96		
SKA	0.98	0.97	0.99	0.96	0.97	0.98	
TL	0.97	0.96	0.96	0.96	0.93	0.92	0.95
	ILG	JP	KJ	NP	RL	RM	SKA

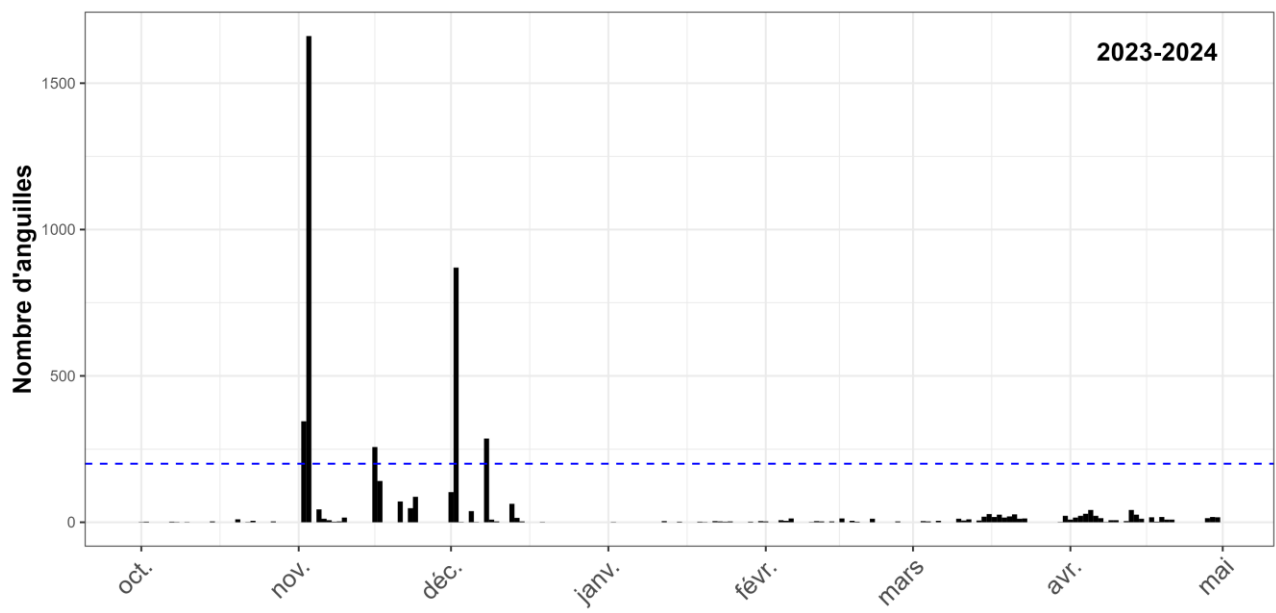
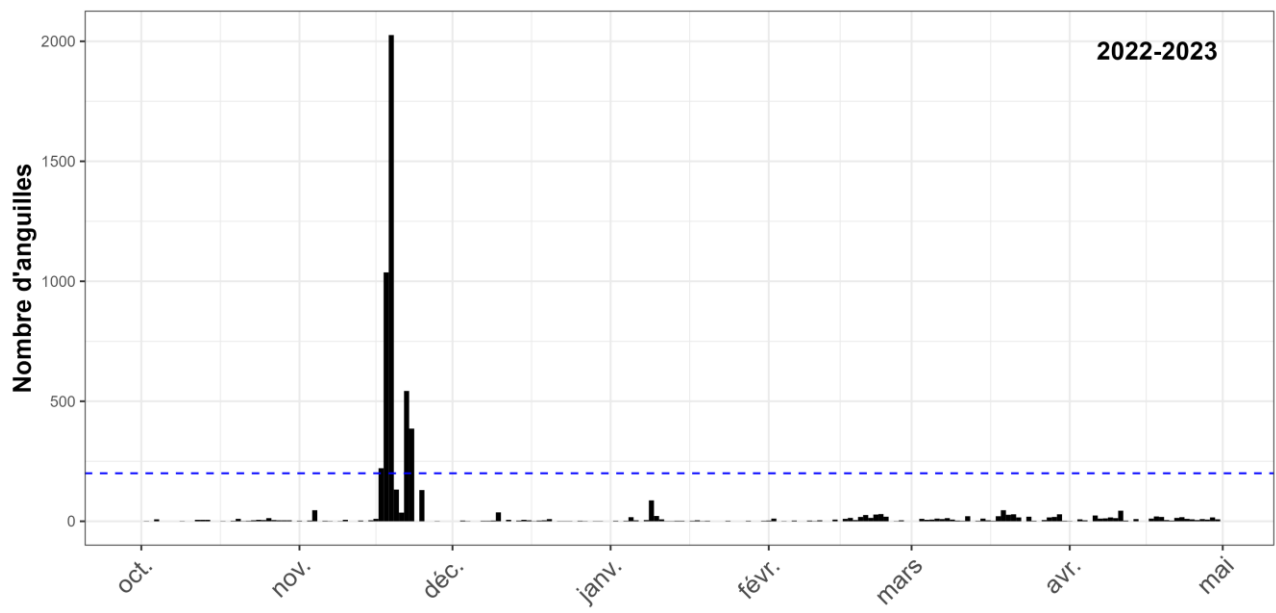
Annexe 3 : Distribution des pourcentages d'erreur sur les mesures de taille à partir des images de la caméra et du logiciel ARIS Fish réalisées par J. Peyre (A), par R. Lagarde (B), S. Koffi-About (C), T. Laffleur (D), R. Maligne (E), K. Joseph (F), I. Le Gallou (G) et N. Péret (H)

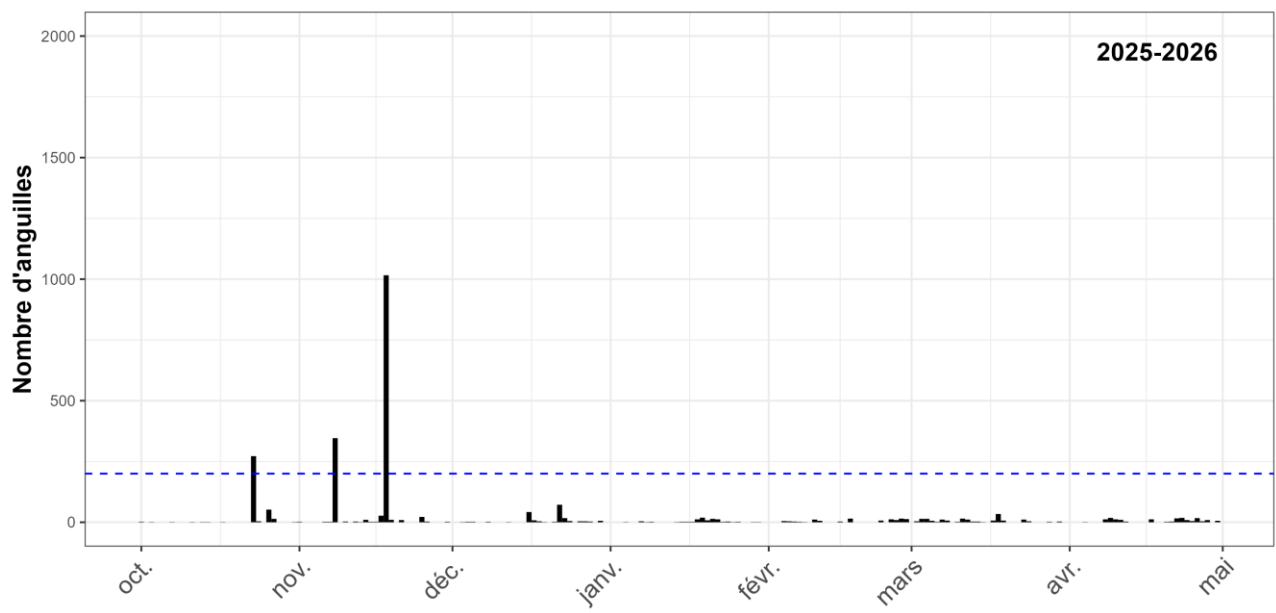
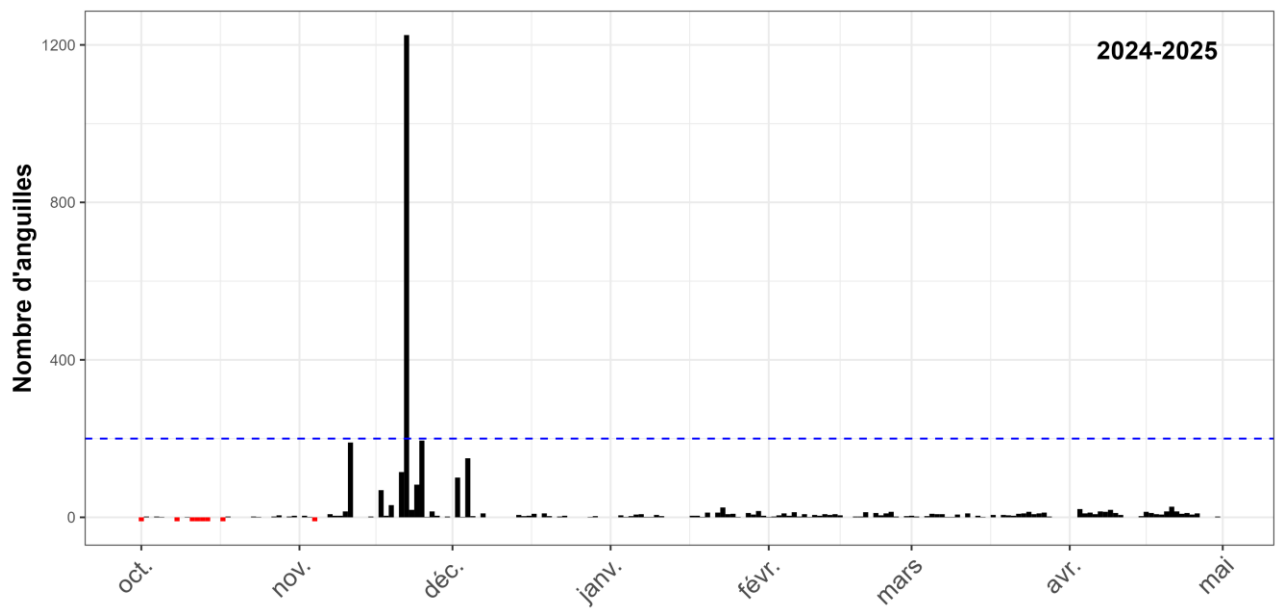


Annexe 4 : Echappement calculé entre 18h00 et minuit pour les huit saisons de suivi de l'échappement. Les traits rouges représentent les jours pour lesquels un problème technique est survenu empêchant l'enregistrement de tout ou d'une partie des vidéos entre 18h00 et minuit. Enfin, la ligne bleue pointillée délimite les journées pour lesquelles l'échappement calculé était supérieur à 200 individus.









Annexe 5 : Significativité des paramètres hydro-climatiques et de la date sur l'échappement des anguilles argentées en fonction des saisons. Chaque analyse saisonnière intègre les saisons précédentes. Date : date julienne centrée, Turb : turbidité dans le grau ($g \cdot L^{-1}$), T_eau : température de l'eau dans le grau ($^{\circ}C$), Q_Berre : débit au niveau de la station de jaugeage de Ripaud ($m^3 \cdot s^{-1}$), V_courant : vitesse du courant dans le grau ($m \cdot s^{-1}$), avec par convention les courants allant en direction de la mer prenant une valeur positive et ceux en direction de la lagune une valeur négative, V_vent : vitesse du vent ($m \cdot s^{-1}$), avec par convention les vents de direction 20 à 200° prenant une valeur négative et ceux de direction 200 à 20° une valeur positive, Visi_lune : pourcentage de pleine lune, Sal : salinité dans le grau, P_atm : pression atmosphérique (hPa), Neb : nébulosité (octas), H_pluie : hauteur journalière des précipitations (mm).

	Paramètres hydro-climatiques et date									
Cumul saisons	Date	Neb	P_atm	Q_Berre	Sal	T_eau	Turb	V_courant	V_vent	Visi_lune
2018-2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018-2020	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-
2018-2021	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
2018-2022	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
2018-2023	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-
2018-2024	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-
2018-2025	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-
2018-2026	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-

Annexe 6 : Significativité des paramètres hydro-climatiques et de la date sur le recrutement des civelles en fonction des saisons. Chaque analyse saisonnière intègre les saisons précédentes. Date : date julienne centrée, Turb : turbidité dans le grau ($g \cdot L^{-1}$), T_eau : température de l'eau dans le grau ($^{\circ}C$), Q_Berre : débit au niveau de la station de jaugeage de Ripaud ($m^3 \cdot s^{-1}$), V_courant : vitesse du courant dans le grau ($m \cdot s^{-1}$), avec par convention les courants allant en direction de la mer prenant une valeur positive et ceux en direction de la lagune une valeur négative, V_vent : vitesse du vent ($m \cdot s^{-1}$), avec par convention les vents de direction 20 à 200° prenant une valeur négative et ceux de direction 200 à 20° une valeur positive, Visi_lune : pourcentage de pleine lune, Sal : salinité dans le grau, P_atm : pression atmosphérique (hPa), Neb : nébulosité (octas), H_pluie : hauteur journalière des précipitations (mm).

	Paramètres hydro-climatiques et date									
Cumul saisons	Date	Neb	P_atm	Q_Berre	Sal	T_eau	Turb	V_courant	V_vent	Visi_lune
2018-2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018-2020	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
2018-2021	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018-2022	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
2018-2023	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
2018-2024	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
2018-2025	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
2018-2026	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-