

ACOR – Apport de Connaissances aux Opérations de Repeuplement en anguille

Expérimentation *in situ* et *ex situ*

Rapport final n°2018_037_03 (incluant 2018_037_02)

Nicolas DELAGE (INRA – U3E, pôle AFB-INRA Ges'aqua)
Didier AZAM (INRA – U3E, pôle AFB-INRA Ges'aqua)
Laurent BEAULATON (AFB, pôle AFB-INRA Ges'aqua)

Décembre 2018 – révision 1, Mai 2019

En partenariat avec :



- **AUTEURS**

Nicolas DELAGE, Ingénieur de recherche (INRA – U3E, pôle AFB-INRA Gest'aqua), nicolas.delage@inra.fr

Didier AZAM, Directeur d'unité (INRA – U3E, pôle AFB-INRA Gest'aqua), didier.azam@inra.fr

Laurent BEAULATON, chef du pôle R et D (AFB, pôle AFB-INRA Gest'aqua), laurent.beaulaton@afbiodiversite.fr

Droits d'usage : Libre

Niveau géographique : National

Couverture géographique : Europe

Niveau de lecture : Experts

- **ACOR - APPORT DE CONNAISSANCES AUX OPÉRATIONS DE REPEUPLEMENT EN ANGUILE, DELAGE N., AZAM D., BEAULATON L..**

- **RÉSUMÉ**

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est un poisson migrateur catadrome. Il colonise les rivières européennes au stade civelle avant sa métamorphose en anguille jaune. Depuis le début des années 1980, un déclin important de l'abondance de l'espèce a été observé dans l'ensemble de son aire de répartition, en particulier une chute du recrutement en civelle. Le repeuplement est envisagé comme solution dans un certain nombre de pays afin de pallier à cette disparition. Cette méthode implique que les civelles soient capturées par des pêcheurs professionnels, stockées chez des mareyeurs pour une durée variable, déplacées et subissent, dans certains cas, un marquage de masse (à l'alizarine en France). Chacune de ces étapes représentent un stress potentiel pour les civelles pouvant altérer leurs performances en termes de croissance et de survie.

Le programme ACOR (apport de connaissances aux opérations de repeuplement en anguille) a, entre autre, étudié l'impact du repeuplement sur la survie et la croissance des civelles jusqu'au stade anguillette, soit pendant environ trois mois, dans l'Oir, affluent de la Sélune. Pour ce faire des civelles naturelles, c'est-à-dire ayant subi le moins de manipulation possible, et des civelles repeuplées, ayant subi l'ensemble des étapes relative aux opérations de repeuplement, ont été suivies. En 2017 et 2018, un échantillon de 8 085 individus d'origine naturelle a été capturé au tamis sur la Sélune (méthode douce) et marqué au VIE (visible implant elastomer) ; à cela s'ajoute 320 civelles capturées en 2017 directement dans l'Oir lors des suivis. Un échantillon de 15 870 civelles a été acheté à un mareyeur et marqué à l'alizarine. Parmi ces dernières, 12 235 individus ont été marqués au VIE. Au total, 24 275 civelles ont été relâchées et suivies dans l'Oir, affluent de la Sélune. Trois mois après les lâchers, deux séries de pêches électriques ont été effectuées et ont permis de capturer 865 anguillettes, dont 192 marquées au VIE. Le suivi s'est également effectué à l'aide de dispositifs de captures passifs (les flottangs), disposés sur dix secteurs en amont et en aval de la zone de lâcher. Ceux-ci ont été relevés une à deux fois par semaine pendant six mois en 2017 et en 2018 afin d'observer la dispersion et la colonisation des civelles. Les flottangs ont permis de capturer au total 1 970 civelles et anguillettes, dont 283 marquées VIE. En parallèle, des expérimentations en milieu contrôlé ont été effectuées pendant 43 jours sur 240 civelles issues du repeuplement et 2 lots (58 et 160) de civelles pêchées dans la Sélune pour mesurer leur survie dans ces conditions

L'analyse des différentes expérimentations montre que, malgré la variabilité des lots, la survie des civelles de repeuplement est significativement réduite, d'environ 50 %, par rapport aux civelles directement issues du milieu naturel. Les civelles des différentes origines ne montrent en revanche aucune différence en terme de dispersion. Enfin la croissance a été trop faible pour mettre en évidence de quelconques différences.

Ce rapport donne également les résultats de la mise au point d'un marquage interne avec la calcéine sans choc osmotique. Une concentration de 5 000 mg/L pendant 3 heures permet d'avoir un bon marquage sans impacter la survie. Le coût plus élevé de ce marquage le limite néanmoins à des expérimentations particulières.

- **CIVELLE ; ANGUILE ; REPEUPLEMENT ; SURVIE ; CROISSANCE ; MARQUAGE ; EXPÉRIMENTATION IN SITU ; EXPÉRIMENTATION EX SITU**

SOMMAIRE

I. Introduction.....	6
II. Comparaison de la survie et de la croissance des civelles issues ou non du repeuplement (expérimentation <i>in situ</i>).....	8
II.1 Matériels et méthodes.....	8
II.1.1 Le site d'étude.....	8
II.1.2 Civelles naturelles issues de la Sélune (« Naturelles Sélune »).....	8
II.1.2.1 Première année d'expérimentation - 2017.....	9
II.1.2.2 Deuxième année d'expérimentation - 2018.....	10
II.1.3 Civelles naturelles issues directement de l'Oir (« Naturelles Oir »).....	11
II.1.4 Civelles de repeuplement (« Repeuplement »).....	12
II.1.4.1 Détermination de la quantité à déverser.....	12
II.1.4.2 Première année d'expérimentation - 2017.....	13
II.1.4.3 Deuxième année d'expérimentation - 2018.....	14
II.1.5 Recapture des anguillettes.....	14
II.1.5.1 Dispositifs passifs – flottang.....	15
II.1.5.2 Pêche active – pêche électrique.....	16
II.1.6 Biométrie.....	16
II.1.7 Traitements statistiques.....	16
II.1.7.1 Analyse des recaptures.....	16
II.1.7.2 Analyse de la biométrie.....	17
II.2 Résultats.....	17
II.2.1 Données brutes de recapture.....	17
II.2.1.1 Première année d'expérimentation – 2017.....	17
II.2.1.2 Deuxième année d'expérimentation – 2018.....	21
II.2.2 Biométrie.....	26
II.2.2.1 Taille.....	26
II.2.2.2 Indice de condition.....	27
II.2.2.3 Stades pigmentaires.....	29
II.2.3 Analyse des recaptures.....	31
II.2.3.1 Données brutes.....	31
II.2.3.2 Modèle de référence.....	32
II.2.3.3 Modèle sans les données 2018 pour la cohorte 2017.....	37
II.2.3.4 Modèle avec uniquement les données de pêche électrique.....	37
II.2.3.5 Modèle avec uniquement les données de flottang.....	38
II.2.3.6 Modèle pour la généralisation.....	38
II.2.4 Les marquées alizarine uniquement.....	40
II.2.5 Observations fortuites.....	41
III. Comparaison de la survie des civelles issues ou non du repeuplement (expérimentation <i>ex situ</i>).....	41
III.1 Matériels et méthodes.....	41
III.2 Résultats.....	42
IV. Test d'un nouveau marqueur interne : la calcéine.....	43
IV.1 Contexte.....	43
IV.2 Protocole de comparaison des marquages calcéine et alizarine.....	43
IV.3 Efficacité du marquage à la calcéine.....	44
V. Discussion.....	47
V.1 Le marquage.....	47
V.2 Les méthodes de recapture.....	47
V.3 Caractéristiques biométriques – performance de croissance.....	48
V.4 Survie.....	48
V.5 Dispersion / Déplacement.....	51

VI. Conclusions.....	52
VII. Remerciements.....	53
VIII. Bibliographie.....	53
IX. Table des illustrations.....	56
Annexe 1 : simulation pour déterminer la quantité de civelle à déverser.....	59
Annexe 2 : Nombre prédit d'individus par le GLM (modèle M0, en noir) et nombre d'individus effectivement capturés (en couleur) pour les civelles « naturelles Sélune 2017 » en fonction du temps.	61
Annexe 3 : Nombre prédit d'individus par le GLM (modèle M0, en noir) et nombre d'individus effectivement capturés (en couleur) pour les civelles « naturelles Sélune 2018 » en fonction du temps.	62
Annexe 4 : Nombre prédit d'individus par le GLM (modèle M0, en noir) et nombre d'individus effectivement capturés (en couleur) pour les civelles « repeuplement » et « naturelles Oir » en fonction du temps.....	63
Annexe 5 : livrable 2018_037_02.....	64

I. Introduction

L'anguille européenne est un poisson migrateur amphihalien. Son cycle de vie se partage entre une phase marine et une phase fluviale (Figure 1). La phase marine concerne la migration à but de reproduction, la reproduction, la ponte et la migration des jeunes stades vers les côtes européennes. La phase fluviale débute au stade civelle qui entre dans le cours d'eau (certaines civelles restent néanmoins en zone côtière ou estuarienne) et se métamorphose en anguille jaune. Les anguilles jaunes vont croître jusqu'à leur maturité sexuelle. Cette maturité est marquée par la transformation en anguille argentée déterminant le départ pour la migration de reproduction.



Figure 1 : Cycle de vie de l'anguille européenne © AFB 2018

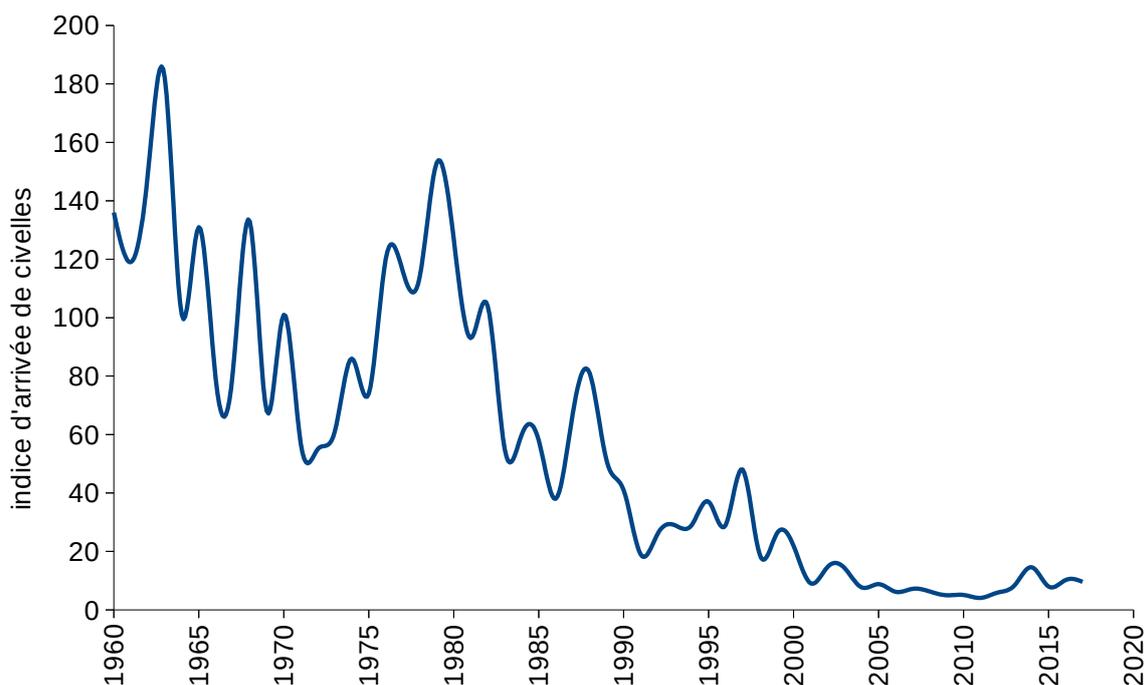


Figure 2 : Déclin des arrivées de civelles depuis 1960 (Anonyme, 2018b ; série Elsewhere ; base 100 = moyenne 1960-1979)

Depuis les années 1980, un fort déclin des populations d'anguilles européennes a été observé (Anonyme, 2018b). Ce déclin concerne non seulement le recrutement (civelles et anguilletes ; Figure 2), mais aussi les stades anguilles jaunes et argentées.

Le règlement UE 1100/2007 (Anonyme, 2007), dit "règlement anguille", oblige chaque État Membre à constituer un plan de gestion de l'anguille européenne en vue de la restauration des stocks de cette espèce. À ce titre, la France a proposé un plan de gestion qui a été approuvé par la Commission Européenne en février 2010.

Parmi les moyens d'action, la France a mis en place un programme de "repeuplement" de 5 à 10 % des captures de civelles. Le "repeuplement", ou transfert de civelles, reste défini de manière assez vague, cependant ce concept est aujourd'hui entendu comme le déplacement et le déversement de civelles issues de la pêche maritime ou fluviale vers des sites plus ou moins éloignés de leur zone de capture (Dekker et Beaulaton, 2016).

Chaque année, le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES), le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA) et l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) réalisent ainsi un appel à projets spécifique doté d'une enveloppe financière d'environ deux millions d'euros pour cette pratique. Entre 2010 et 2018, ce sont 21,8 tonnes de civelles (environ 77 millions d'individus) qui ont été déversées (Anonyme, 2018a).

Ce type d'action est également mené au niveau Européen. Par exemple, environ 40 millions de civelles et 2 millions d'anguilles prégressives ont été déversées en 2014 (Anonyme, 2014). Les anguilles prégressives sont des civelles stabulées pendant plusieurs semaines/mois en raison des besoins locaux, dans le but de les renforcer et de les rendre disponible pour une période de repeuplement adaptée. Malgré les masses financières en jeu, le fait que ce type de programme existe depuis plus de 150 ans (Dekker et Beaulaton, 2016) et que des analyses scientifiques ont été menées (Rigaud *et al.*, 2015), de nombreuses inconnues subsistent quant à l'efficacité du "repeuplement". Rigaud *et al.* (2015) résume ainsi le manque de connaissances :

- d'une part, l'identification des facteurs qui déterminent de façon significative le niveau de survie lors des premiers jours et mois après les lâchers et à plus long terme, conditionnent la quantité des argentées produites à partir des individus transférés sur un site donné ;
- d'autre part, l'établissement du bilan en termes de survie et de qualité des argentées produites par un bassin versant entre le scénario naturel sous contraintes environnementales et anthropiques et le scénario avec transfert. L'objectif est de mesurer le gain de l'opération de transfert en termes de nombre de géniteurs produits.

L'objectif de cette étude est de déterminer la capacité des civelles à survivre et à croître en fonction de leur origine. Comme nous l'avons dit plus haut, le repeuplement est un processus constitué de la capture et du déplacement des civelles vers une nouvelle zone de lâcher. Ainsi les civelles issues du repeuplement s'opposent aux civelles naturelles, c'est-à-dire colonisant un milieu sans avoir subi de manipulation humaine. Ce sont ces deux modalités (ou origine) qui sont comparées au cours de cette étude. Deux séries d'expérimentation ont été réalisées en 2017 et 2018 afin de s'affranchir de l'effet annuel. Ce sont les résultats de ces deux expérimentations qui sont présentés dans ce rapport.

Lors de chacune des années, deux expérimentations principales ont été réalisées permettant de répondre à différentes interrogations. Une première étude en mésocosme que nous appellerons expérimentation *ex situ*, et une seconde en milieu naturel que nous appellerons expérimentation *in situ*. Une troisième étude, menée en collaboration avec le bureau d'études Fish-Pass a été menée afin de déterminer la faisabilité d'un marquage interne à la calcéine sans choc osmotique.

II. Comparaison de la survie et de la croissance des civelles issues ou non du repeuplement (expérimentation *in situ*)

II.1 Matériels et méthodes

II.1.1 Le site d'étude

Le site choisi est l'Oir (département de la Manche, Figure 3), affluent de la Sélune qui se jette dans la baie du Mont-Saint-Michel. Ce site présente plusieurs avantages :

- le cours d'eau est d'une taille modeste (21 km). Les quantités de civelles à mettre en œuvre restent donc limitées et ainsi propices à des marquages externes.
- ce cours d'eau est l'un des 4 observatoires long terme du pôle. Le pôle y a donc du personnel technique à l'année et des suivis constants des migrateurs, dont l'anguille, en particulier : piège de montaison et de dévalaison à Cerisel, réseau de pêche électrique sur l'ensemble du bassin. Cela permettra de suivre les civelles déversées sur un périmètre plus important que cette étude et une durée plus longue que celle de la convention de financement de ce projet.

Dans la suite du document nous considérerons que la zone d'étude s'étend de la confluence de l'Oir avec la Sélune au moulin de Cerisel (Figure 8), soit 2 417 m.

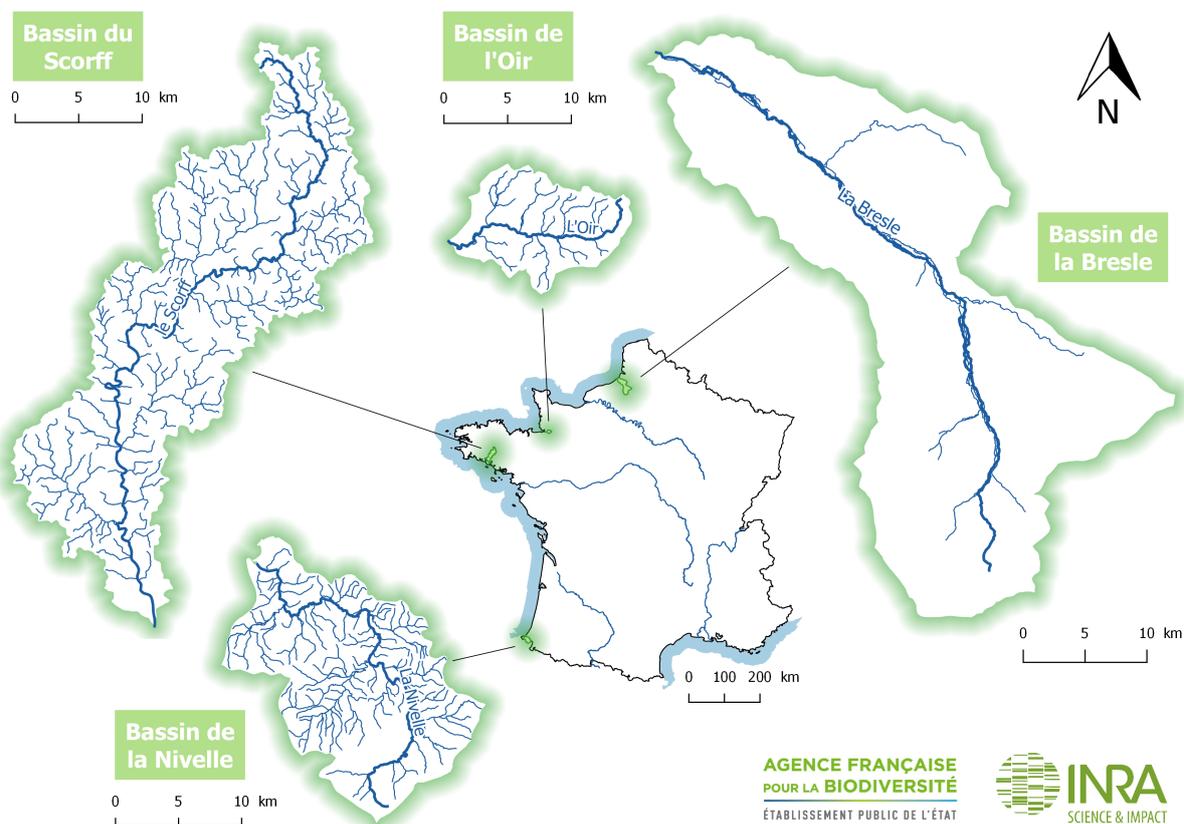


Figure 3 : les 4 observatoires long terme du pôle AFB-INRA Ges'Aqua.

II.1.2 Civelles naturelles issues de la Sélune (« Naturelles Sélune »)

Les animaux, formant le groupe des naturelles Sélune, ont subi le moins de manipulation possible. Afin d'effectuer leur migration de montaison, les civelles utilisent les courants de marée (Creutzberg, 1958). Ainsi les captures n'ont pu être effectuées que lors des marées de vives eaux dont le coefficient était suffisant pour provoquer une inversion de courant (courant vers l'amont). Du fait de leur comportement lucifuge, les civelles remontent dans les fleuves côtiers préférentiellement de nuit. Des tamis ont alors été posés dans l'eau et remontés après quelques minutes de manière à capturer les civelles qui s'y seraient prises. Chacune des marées pêchées a duré environ une heure et n'a cessé que lors de la

renverse de courant (courant de nouveau vers l'aval). Les civelles capturées ont été conservés dans des bassins adaptés et aérés jusqu'au lendemain pour être marqués au VIE (Visible Implant Elastomer, marquage externe sous la forme d'implant de couleur en sous cutané ; Imbert *et al.*, 2007) en suivant un code établi à l'avance (Tableau 1, Tableau 2 et Figure 5).

Dans le but que les civelles subissent des conditions les plus proches d'une montée naturelle en rivière, et compte tenu des conditions nécessaires à la capture, elles ont été capturées au plus proche de la zone de lâcher. Ainsi, trois zones de captures ont été utilisées sur la Sélune, à une distance maximale de 5 km de la zone de lâcher.

Les lâchers ont tous eu lieu dans l'Oir entre les stations de flottang 5 et 6 (Figure 8). Cette zone a été choisie pour sa facilité d'accès quel que soit le débit de la rivière (il s'agit d'un radier) et pour la présence de nombreux abris permettant aux civelles de se cacher dans les quelques secondes suivant leurs lâchers (pour ne pas être « lessivées » vers l'aval et pour pouvoir se protéger des prédateurs).

II.1.2.1 Première année d'expérimentation - 2017

Au total, 18 évènements de pêches sur 8 périodes de fortes marées ont permis de capturer 4 870 civelles entre décembre 2016 et mai 2017 (Tableau 1 et Figure 4).

Parmi celles-ci, 151 individus ont été prélevés pour la biométrie (II.1.6, mais 5 du 28/02 n'ont pu être mesurés) afin d'établir les conditions initiales (T0) de cette expérimentation pour les civelles « naturelles Sélune » et 202 individus ont été conservés pour les expérimentations *ex situ* (III.1).

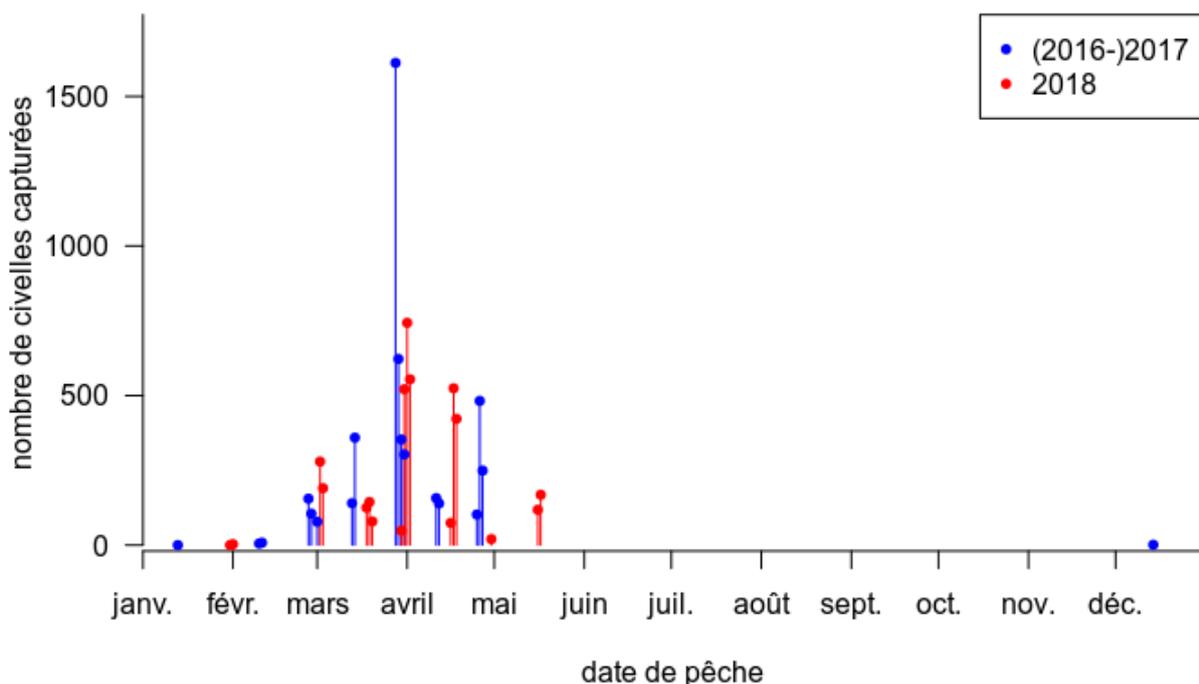


Figure 4 : Nombre de civelles capturées en 2017 (y compris décembre 2016) et 2018. Attention l'effort de pêche n'est pas constant.

Les 4 503 individus restants ont été marqués au VIE (Figure 5) suivant 5 codes couleurs correspondant aux 5 différentes périodes de captures (Tableau 1). Cette technique peu invasive permet l'identification rapide des individus avec peu de manipulations.

Après marquage au VIE, les civelles ont été conservées durant 24 à 48h afin de déterminer l'effet du marquage sur la mortalité avant d'être relâchées dans l'Oir (Figure 9, Figure 8 et Figure 11). Les bassins étaient en circuit fermés, aérés et remplis au moyen d'eau provenant de l'Oir permettant de prévenir un éventuel choc thermique ou osmotique

durant le lâcher. La température y était contrôlée et des changements d'eau réguliers étaient opérés.

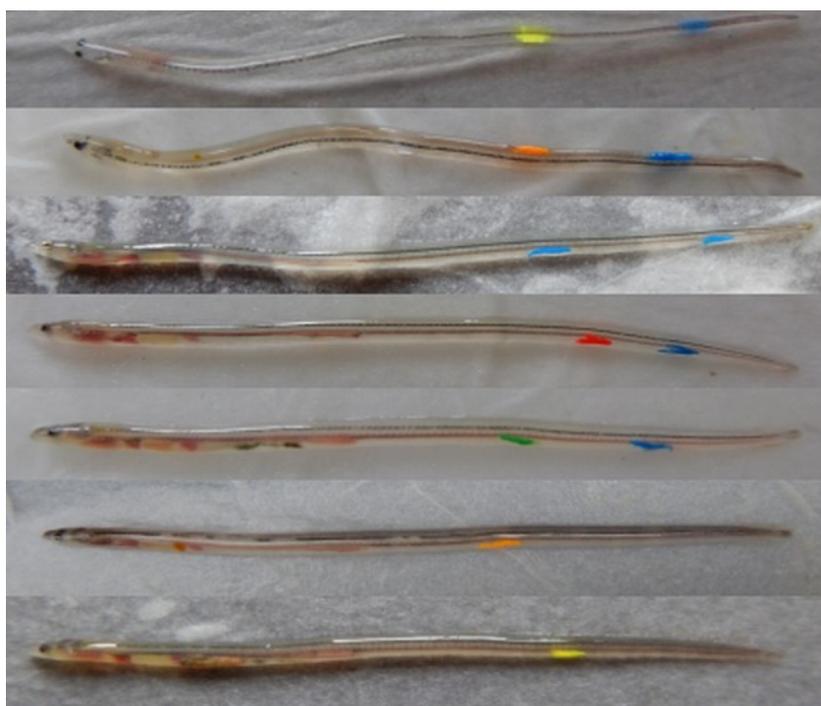


Figure 5 : Civelles marquées au VIE en 2017.

Tableau 1 : Civelles pêchées et relâchées et code couleur utilisé pour le marquage VIE des civelles naturelles Sélune en 2017. La date du lâcher est la moyenne pondérée des différentes dates de lâcher pour chaque période de pêche.

période de pêche	pêchés	biométrie	date lâcher	marqués & relâchés	marquage antérieur	marquage postérieur
le 14/12/16	1			0	non marqué	
le 13/01/17	0			0	non marqué	
du 10/02/17 au 11/02/17	13			0	non marqué	
du 27/02/17 au 01/03/17	338	31	01/03/17	307	jaune	bleu
du 13/03/17 au 14/03/17	499	32	16/03/17	467	orange	bleu
du 28/03/17 au 31/03/17	2890	50	30/03/17	2840	bleu	bleu
du 11/04/17 au 12/04/17	296	16	13/04/17	280	rouge	bleu
du 25/04/17 au 27/04/17	833	22	27/04/17	609	vert	bleu
Total	4870	151		4503		

II.1.2.2 Deuxième année d'expérimentation - 2018

Au total, 17 événements de pêches sur 7 périodes de fortes marées ont permis de capturer 4 012 civelles entre janvier et mai 2018 (Tableau 2 et Figure 4).

Parmi celles-ci, 155 individus ont été utilisés pour la biométrie (II.1.6, mais 1 du 02/04 n'a pu être mesuré) et 220 individus ont été conservés pour l'expérimentation *ex situ* (III.1). De manière à ce que les données soient comparables entre les deux années d'expérimentation, les mesures ont été faites de la même manière et la détermination du stade pigmentaire a été réalisée par le même expérimentateur. Les 3 614 individus restants ont été marqués au VIE suivant 5 codes couleurs correspondant aux 5 différentes sessions de captures (Tableau 2).

Une fois marquées, les civelles ont été conservées 24 à 48 h (Figure 9) afin de déterminer l'effet du marquage sur la mortalité avant d'être relâchées. La mortalité des individus suite au marquage VIE est de 32 individus (dont 8 à cause d'un problème de pompe), soit 0,9 %. Il y a donc 3 582 individus qui ont effectivement été relâchés.

Tableau 2 : Civelles pêchées et relâchées et code couleur utilisé pour le marquage VIE des civelles naturelles Sélune en 2018. La date du lâcher est la moyenne pondérée des différentes dates de lâcher pour chaque période de pêche.

période de pêche	pêchés	biométrie	date lâcher	marqués & relâchés	marquage antérieur	marquage postérieur
du 31/01/18 au 01/02/18	3			0		non marqué
du 02/03/18 au 03/03/18	469	45	14/03/18	423	jaune	jaune
du 18/03/18 au 20/03/18	348	50	20/03/18	230	orange	jaune
du 30/03/18 au 02/04/18	1866	40	04/04/18	1663	bleu	jaune
du 16/04/18 au 18/04/18	1020	0	19/04/18	1006	rouge	jaune
le 30/04/18	20			0		non marqué
du 16/05/18 au 17/05/18	286	20	22/05/18	260	vert	jaune
Total	4012	155		3582		

II.1.3 Civelles naturelles issues directement de l'Oir (« Naturelles Oir »)

Lors des pêches de recaptures au flottang (II.1.5.1), des civelles arrivées naturellement sur notre secteur sont capturées. En 2017, nous avons décidé de marquer ces civelles (320 individus) au fur et à mesure de leur capture, avec une marque VIE unique jaune en position antérieur. Comme les autres civelles, elles sont relâchées le jour même (sauf celle des 02/05 et 12/06 qui sont relâchées le lendemain) entre le secteur 5 et 6 (Figure 8 et Figure 11).

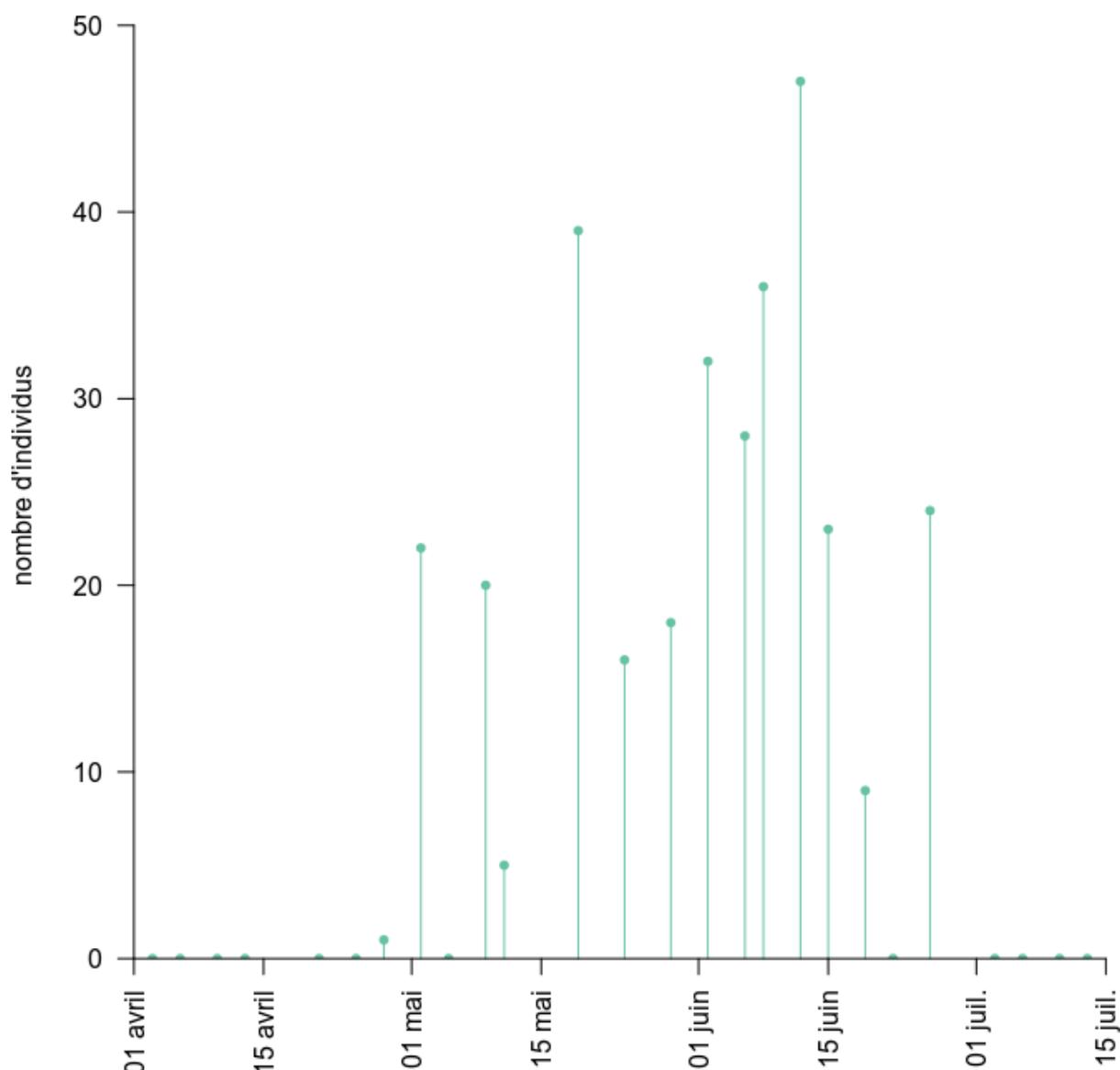


Figure 6 : Date de captures des civelles issues directement de l'Oir

Ces civelles ont essentiellement été capturées en mai et en juin (Figure 6) et à l'aval de notre secteur d'étude (63 % dans les secteurs 1 et 2 ; Figure 7).

Pour l'exploitation statistique des données de ces civelles, la date de déversement est fixée à la moyenne pondérée par le nombre de civelles capturées à chaque occasion.

Les civelles capturées le 12/06/2017 (47 individus) ont fait l'objet d'une biométrie allégée (faille et stade pigmentaire), suivant le protocole décrit en II.1.6, excepté qu'elles sont anesthésiées et non euthanasiées.

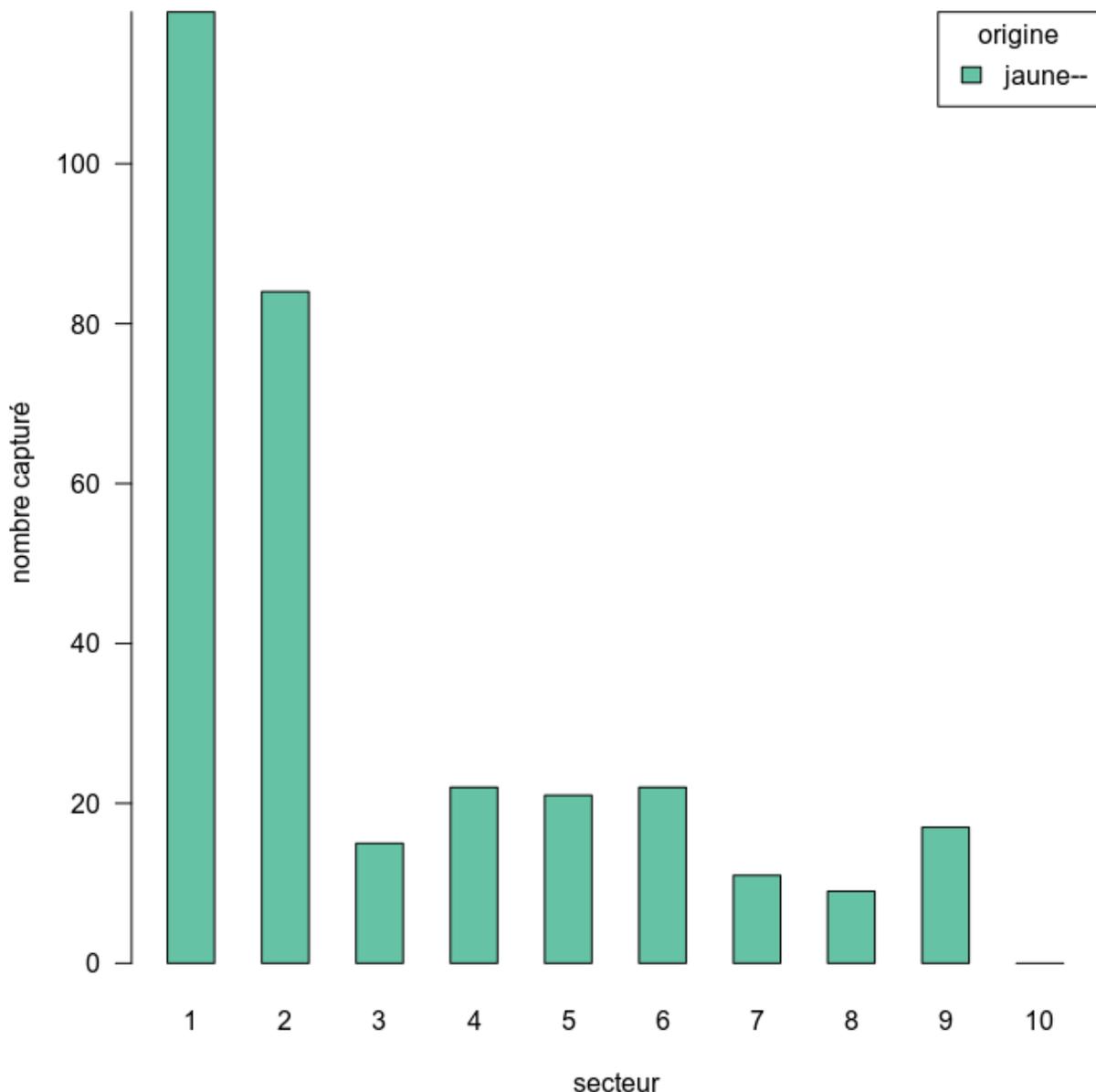


Figure 7 : Secteur de capture des civelles issues directement de l'Oir

II.1.4 Civelles de repeuplement (« Repeuplement »)

II.1.4.1 Détermination de la quantité à déverser

Le nombre de civelles à déverser est déterminé pour pouvoir détecter, s'il y en a, des écarts entre individus repeuplés et naturels.

Les hypothèses suivantes sont retenues : la survie des civelles à 3 mois est de 20 % (Briand *et al.*, 2008), nous effectuons 2 années d'expérimentation en ayant le même nombre de civelles marquées naturelles et de repeuplement et nous effectuons 2 pêches électriques (au cours desquels nous supposons que le nombre de civelles ayant survécu

est le même) échantillonnant 1 % de la population. Nous souhaitons détecter de manière fiable si la survie des repeuplées est de 10 % (contre 20 % pour les naturelles).

Une simulation (Annexe 1) a été réalisée afin de connaître le nombre de civelles à déverser chaque année pour chaque modalité. Avec 6 000 individus (soit 2 kg environ), une différence de survie au seuil de 95 % est détectée dans 86 % des cas (= puissance du test).

On notera qu'en supposant que les civelles se répartissent entre la confluence avec la Sélune et le moulin de Cerisel (2 417 m pour une largeur d'environ 5 m), la densité de déversement est de l'ordre de 1,7 kg/ha soit une densité proche de ce qui est couramment pratiqué dans le cadre de l'appel à projet national.

II.1.4.2 Première année d'expérimentation - 2017

Initialement, l'approvisionnement en civelles devait être réalisé lors du repeuplement par le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Élevages Marins (CRPMEM) de Seine-Normandie. Celui-ci n'ayant pas pu être réalisé, les conditions du repeuplement ont été simulées en se fournissant en civelles auprès d'un mareyeur (SAS FOUCHER MAURY, Paimboeuf, 44). Au total, 10 054 individus ont ainsi été achetés. En France, les civelles destinées au repeuplement subissent un marquage interne par baignade d'alizarine. Afin de simuler les conditions du repeuplement, l'ensemble des civelles formant le groupe dit « repeuplement » a subi ce marquage. Une partie des individus (N=50) a été choisie aléatoirement pour la biométrie (II.1.6) à T0. De plus, 200 individus ont servi aux expériences en mésocosme (III.1).

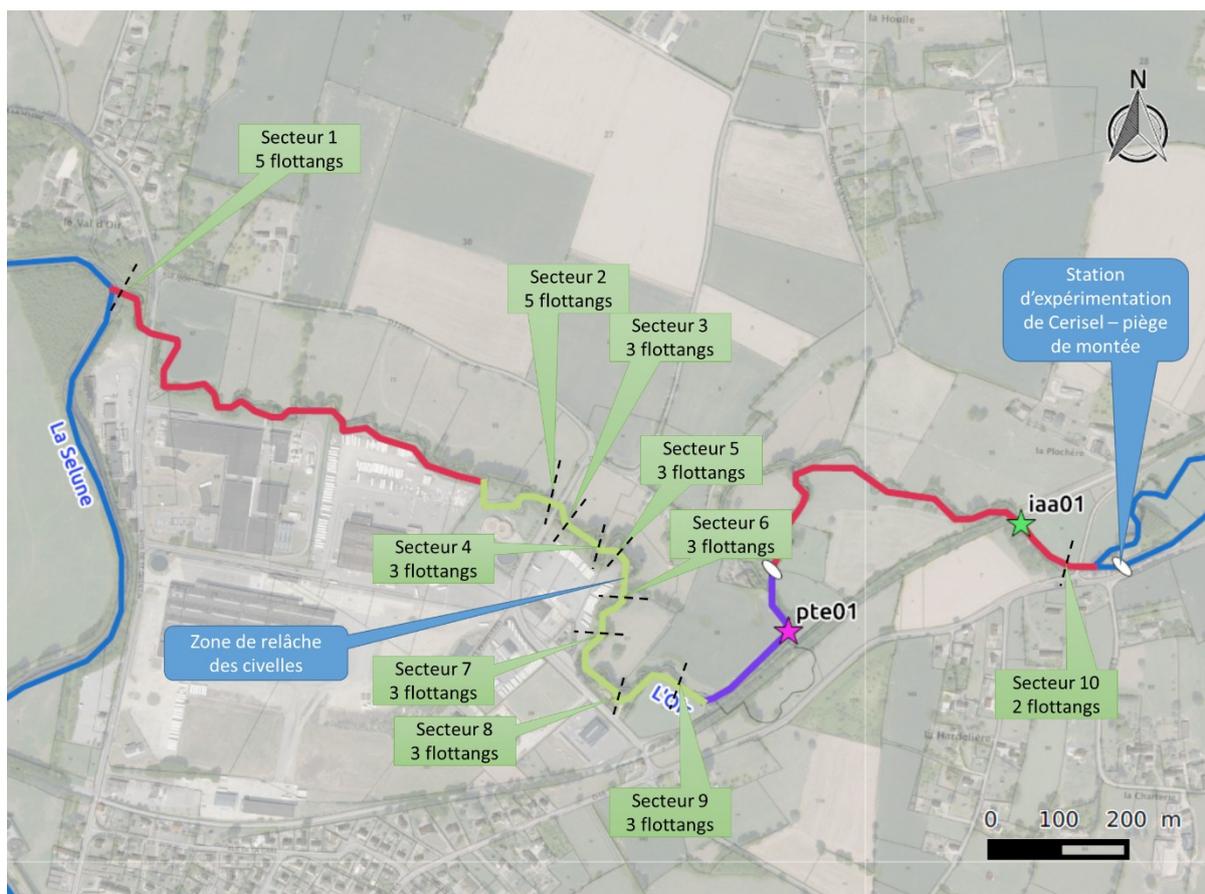


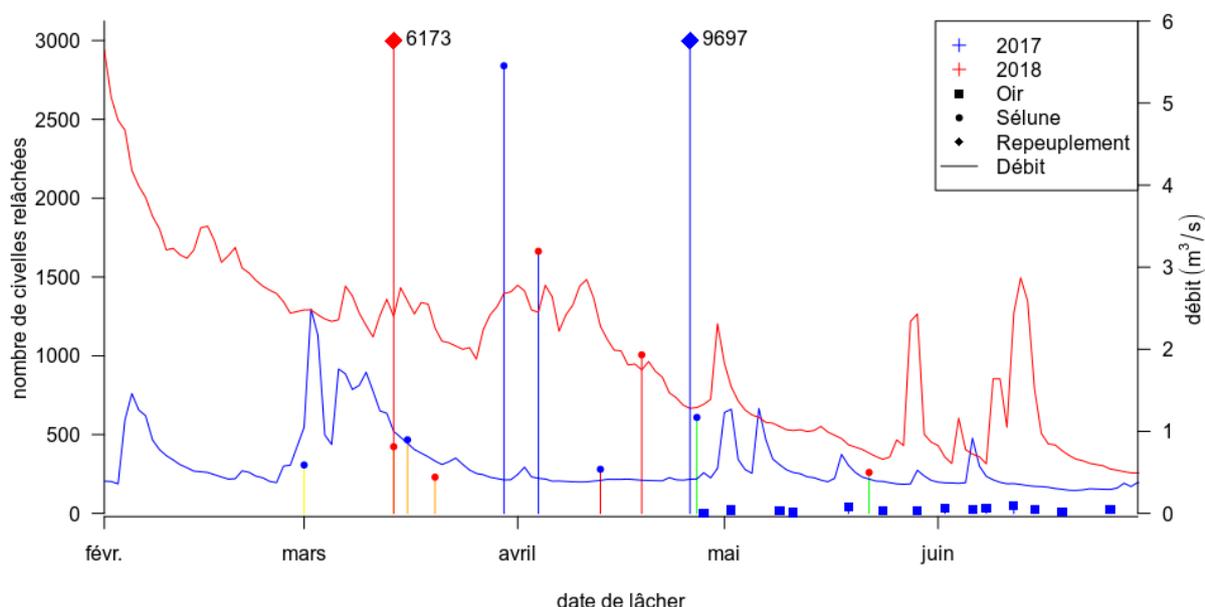
Figure 8 : Disposition des flottangs le long de l'Oir. La pointe de la flèche indique le début des secteurs et l'emplacement des flottangs. La couleur rouge correspond au faciès plat lent/profond, le vert correspond aux radiers et le violet symbolise les plats courants. Les ellipses blanches représentent les moulins (Geins et Cerisel) présent sur le secteur d'étude. Le nombre de flottang indiqué correspond au nombre maximum sur le secteur.

Pour faciliter la reconnaissance dans le milieu naturel, la majeure partie des civelles de « repeuplement » a subi un marquage VIE au moyen d'un unique point de couleur orange. Ainsi, 6 169 individus ont été marqués. Une fois les individus marqués au VIE, les civelles de « repeuplement » ont été maintenues en captivité pendant 24 à 48h avant d'être relâchées dans le milieu naturel (Figure 9). Lors de cette phase, 107 individus (1,7 %) marqués VIE sont morts. Les 9 697 individus de repeuplement restants (6 062 marquées VIE+alizarine et 3 635 alizarine uniquement) ont été relâchés sur deux jours, les 25 et 26 avril 2017, entre les secteurs 5 et 6 (Figure 8, Figure 9 et Figure 11).

II.1.4.3 Deuxième année d'expérimentation - 2018

Pour l'année 2018, l'approvisionnement en civelles ayant suivi les différentes étapes du repeuplement a été assuré par le CRPMEM de Seine-Normandie, porteur du projet de repeuplement 2018 en Seine-Normandie (sur l'Orne). Ces civelles proviennent de la pêche civellière professionnelle maritime réalisée sur les estuaires des fleuves côtiers de Seine-Normandie et d'Artois-Picardie. Les civelles ont été stockées en viviers au sein des locaux de la société Gurruchaga située à Charron (17). Le lot de civelles destiné au repeuplement (Orne + notre expérimentation) a été isolé dans des bassins afin de ne pas les mélanger avec d'autres civelles de provenances différentes. Ainsi environ 2 kg de civelles ont été achetées le 07 mars 2018, juste avant leur mise à l'eau sur les rives de l'Orne (61).

Parmi ces civelles, 51 individus ont été sacrifiés pour la biométrie (II.1.6) et 1536 individus ont servi à l'expérimentation *ex situ* (III.1 et IV.2). Les 6 185 civelles restantes ont été marquées à l'alizarine et d'un point rouge au VIE. La mortalité durant les 48h en vivier avant que les individus ne soient relâchés a été de 12 individus, soit 0,2 %. Ainsi 6 173 individus (tous marqués VIE et alizarine) ont été relâchés dans l'Oir le 14 mars 2018 entre le secteur 5 et 6 (Figure 8, Figure 9 et Figure 11).



de civelles « naturelles Sélune » et « repeuplement ». Ces opérations de recapture ont été menées de la même manière lors des deux années d'expérimentations.

II.1.5.1 Dispositifs passifs – flottang



Figure 10 : Flottang sur le secteur 9.

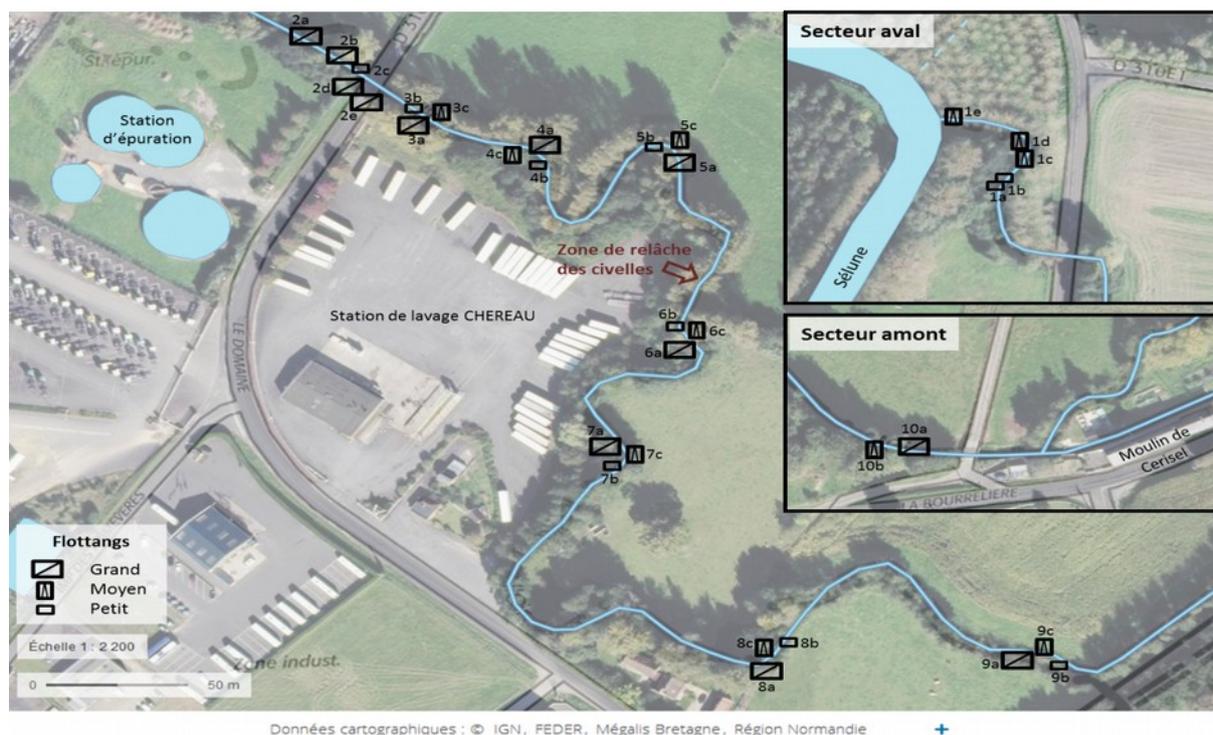


Figure 11 : Localisation précise des flottangs sur l'Oir.

Le dispositif passif est constitué d'un réseau de 33 flottangs répartis sur 10 stations (Figure 8 et 11). Un flottang est un dispositif carré de taille variable (50, 30 et 25 cm de côté) constitué de 10 feuilles de treillis, maintenu dans le courant par une corde et en surface par des flotteurs (Schaal, 2014 ; Figure 10). Chacun de ces dispositifs a été relevé de février 2017 à août 2017 entre une et deux fois par semaine (soit au total 49 relevés pour chaque flottang) et d'avril 2018 à septembre 2018 suivant la même fréquence (soit au total 24 relevés pour chaque flottang). Le nombre, la classe de taille estimée visuellement et la couleur du VIE de chaque anguille capturée ont été relevés. La capture d'espèces non ciblées a également été notée. Une très forte sélectivité des flottangs pour l'anguille

(Figure 13) et plus particulièrement par les faibles tailles de l'anguille (Figure 14) a été observée.

II.1.5.2 Pêche active – pêche électrique

Le temps nécessaire pour qu'une civelle se métamorphose en anguille jaune est d'environ trois mois (Élie *et al.*, 1982). Ainsi, trois mois après les relâchers importants de civelles, deux sessions de pêche électrique ont été réalisées chacune des deux années d'expérimentation. Lors de la pêche électrique, les flottangs sont relevés et les individus présents sont intégrés à la pêche électrique. Les secteurs 2 à 8 sont prospectés (sauf le 04/07/2018 où le secteur 8 n'a pas pu être prospecté).

Sauf lors de la première pêche électrique, le nombre de civelles de chaque origine est noté pour chacun des secteurs.

A l'issue des deux sessions de pêche à l'électricité, toutes les civelles marquées et 50 individus non marqués ont été conservés afin de réaliser une biométrie complète (II.1.6) noté Tf. On a constaté lors de la biométrie que 5 individus marqués n'avaient pas été initialement dénombrés sur le terrain. Ces individus sont réintégrés dans les résultats, sans que l'on puisse connaître le secteur de capture.

II.1.6 Biométrie

La biométrie des civelles est réalisée au laboratoire afin de déterminer la taille, le poids et le stade pigmentaire (stade de développement selon Élie *et al.*, 1982).

Avant manipulation, les civelles ont été sacrifiées par dose massive de benzocaïne, puis, les animaux ont été essuyés avant d'être pesés au moyen d'une balance de précision (0,1 mg) et mesurés grâce à un pied à coulisse (0,01 mm) et un réglet (0,1 mm). La détermination des stades a été effectuée sous loupe binoculaire (Vision Engineering) en suivant les stades de Élie *et al.* (1982). À l'issue de ces mesures, les animaux ont été conservés à -20°C afin d'être réutilisés pour d'autres expérimentations.

L'indice de condition utilisé dans ce rapport est le poids relatif tel que décrit par Blackwell *et al.* (2000). Cet outil statistique permet d'évaluer l'écart entre le poids réel et le poids prédit (par une régression quantile 75%). Ainsi, le rapport obtenu entre ces deux valeurs permet d'évaluer si un individu (ou un groupe) a un faible embonpoint (indice < 1) ou est, au contraire, bien portant (indice > 1).

II.1.7 Traitements statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé au moyen du logiciel R. S'il n'est pas mentionné, le seuil de significativité est fixé à 5 %.

II.1.7.1 Analyse des recaptures

Les performances en termes de survie des civelles des différentes origines peuvent être analysées grâce à des régressions logistiques. Les régressions logistiques analysent des probabilités (ici de recapture) en fonction de variables explicatives.

Dans notre cas, nous utiliseront des modèles linéaires généralisés (GLM, distribution binomiale, lien logit ; Mc Cullagh et Nelder, 1989). La variable à expliquer est le nombre de recapture comparé au nombre total de civelles marquées et relâchées. Cette variable peut être expliquée par (l'efficacité de) la méthode de recapture (flottang / pêche électrique), par l'origine (Naturelle Sélune, Naturelle Oir, Repeuplement) et par le nombre de jours depuis le déversement (appelé « durée » par la suite).

En particulier, on s'attend à ce que la recapture diminue en fonction de la durée sous l'effet conjoint de la mortalité et de l'émigration hors du secteur d'étude. Il est impossible de séparer statistiquement ces deux causes de disparition de civelles de la zone d'étude. Nous les regrouperons sous le terme de « mortalité apparente ». Un effet croisé entre

l'origine et la durée permet d'étudier des différences éventuelles de mortalité apparente en fonction de l'origine.

L'origine peut être exprimée de diverses manières, le plus simple étant une variable à 3 niveaux (Naturelle Sélune, Naturelle Oir, Repeuplement), le plus exhaustif étant une variable qui décrit l'ensemble de la diversité de chaque des déversements (les lots).

Nous pourrions également étudier l'apport du protocole expérimental en menant les mêmes analyses en dégradant le jeu de données (par exemple en ne considérant que les pêches électriques ou que les pêches flottang).

La significativité des effets est testée par un test du χ^2 (fonction Anova de la bibliothèque car). La valeur des effets est interprétée grâce à la fonction predict.glm (bibliothèque stats). Les tests post-hoc d'effet deux à deux sont effectués avec la fonction glht (bibliothèque multcomp).

II.1.7.2 Analyse de la biométrie

Pour les comparaisons des tailles et des indices de condition, des tests de comparaison sont faits ainsi que des test post-hoc de comparaisons deux à deux (précisés dans les résultats).

II.2 **Résultats**

II.2.1 Données brutes de recapture

II.2.1.1 Première année d'expérimentation – 2017

En 2017, 1 190 relevés de flottangs (Figure 12) ont été effectués au cours de 49 journées de captures. Une forte sélectivité spécifique des flottangs déployés a été observée : l'essentiel des captures (1 231 soit 87 %) étant des anguilles (Figure 13). De plus, au sein des anguilles capturées, 90 % sont soit des civelles, soit des anguillettes d'une longueur totale inférieure à 10 cm (Figure 14).

La capture par unité d'effort (CPUE) est de 1,03 anguilles / flottang relevé. Parmi ces captures, 162 anguilles étaient marquées au VIE.

Les deux pêches électriques réalisées les 29 juin (débit de 327 L/s) et 02 août (débit de 244 L/s) ont permis de capturer 547 anguillettes parmi lesquelles 165 portaient un marquage au VIE (Tableau 3).

Tableau 3 : Capture d'anguillettes par les méthodes passives et actives en 2017 et 2018. Les résultats sont exprimés en nombre d'individus capturés.

	année de déversement	nb déversées	année de recapture	flottang	pêche électrique
Naturelles Sélune	2017	4503	2017	101	109
Repeuplement (VIE)	2017	6062	2017	44	50
Naturelles Oir	2017	320	2017	17	6
Naturelles Sélune	2017	4503	2018	4	5
Repeuplement (VIE)	2017	6062	2018	6	2
Naturelles Oir	2017	320	2018	1	1
Naturelles Sélune	2018	3582	2018	82	9
Repeuplement (VIE)	2018	6173	2018	28	10

Les deux méthodes de recaptures ont montré des résultats très proches (Tableau 3). Ainsi on observe un taux de recapture de l'ordre de 2,33 % (2,24 % et 2,42 % respectivement pour les flottangs et la pêche électrique) pour les civelles « naturelles » de la Sélune et de 0,78 % (0,73 % et 0,82 % respectivement pour les flottangs et la pêche électrique) pour les civelles de repeuplement. Ceci laisse à penser que les civelles « naturelles Sélune » ont une

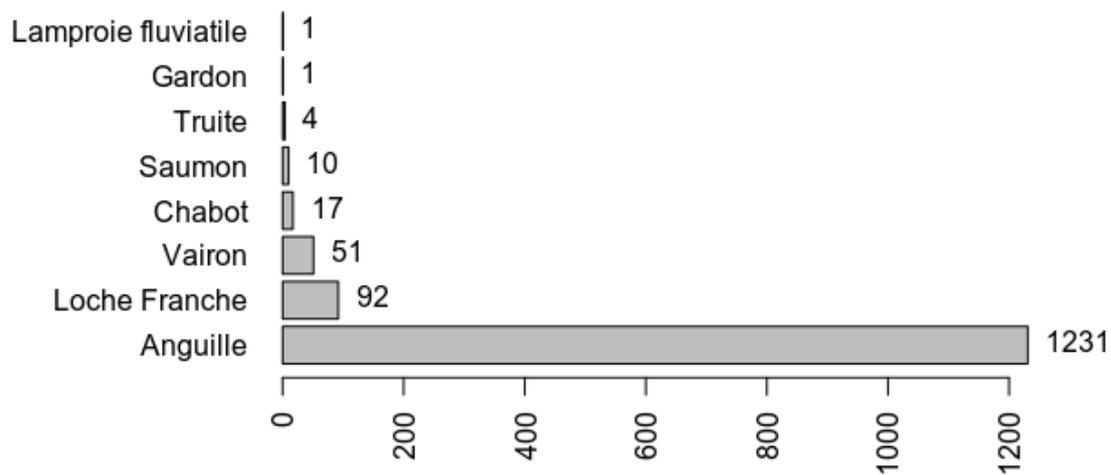


Figure 13 : Nombre d'individus capturés par espèce dans les flottangs en 2017.

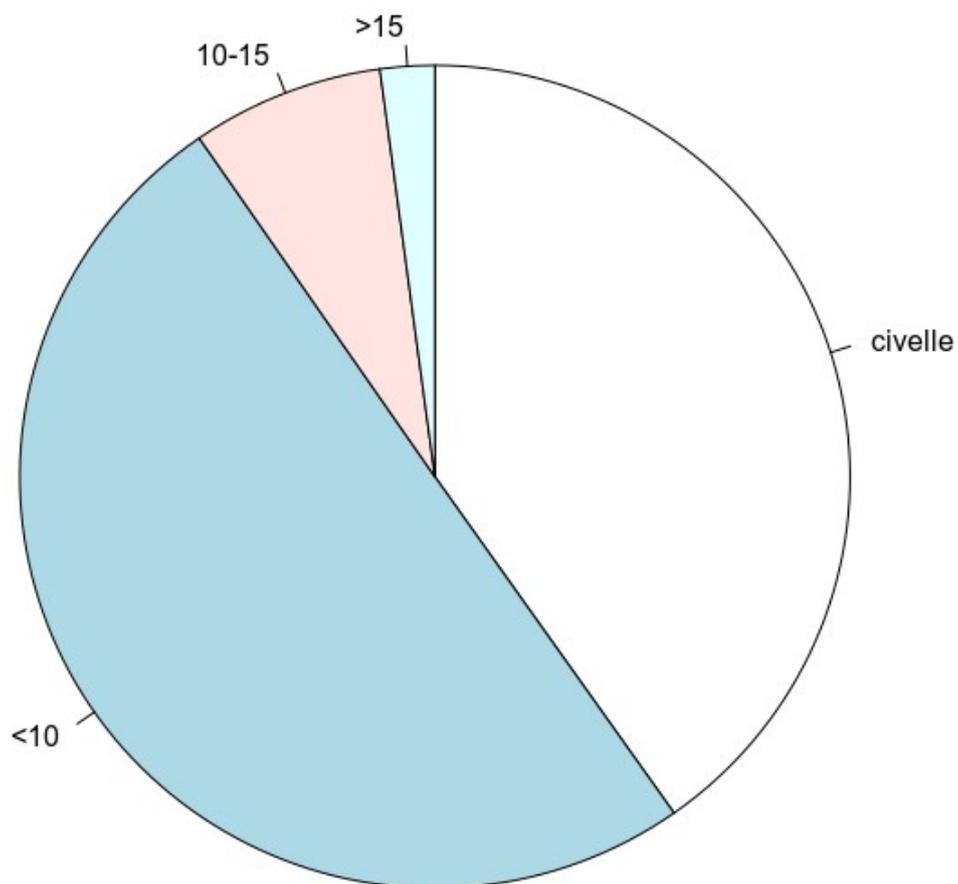


Figure 14 : Proportion (%) de chaque classe de taille (en cm) des anguilles européennes capturées dans les flottangs en 2017.

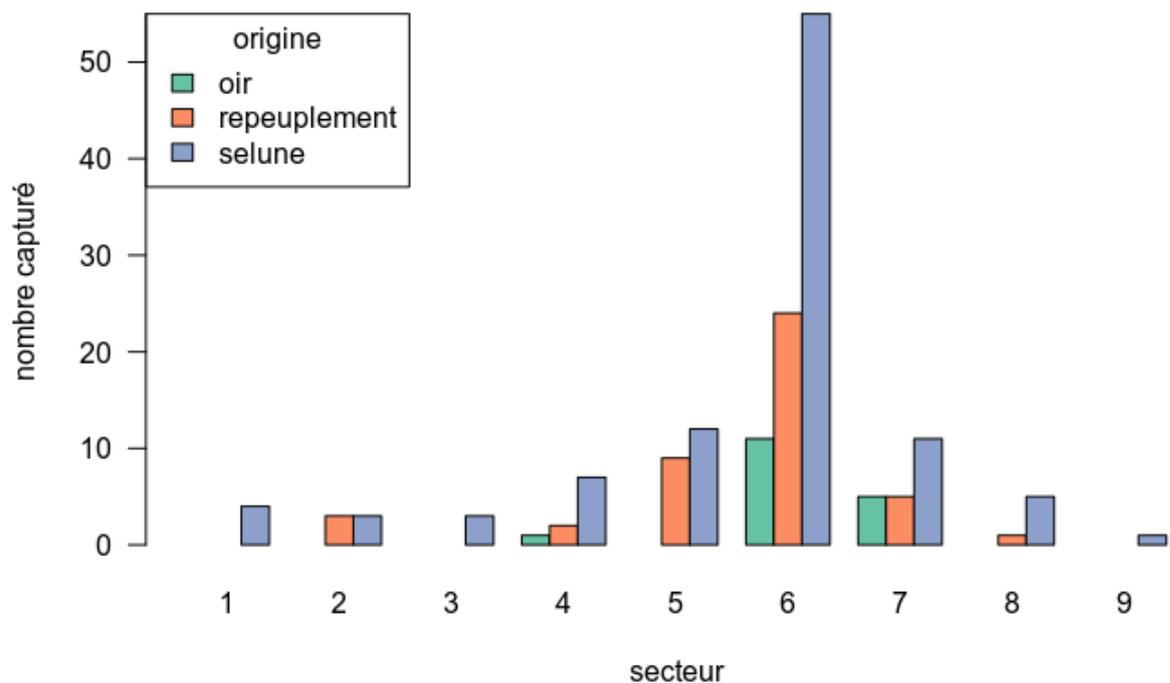


Figure 15 : Répartition des civelles/anguillettes marquées, recapturées dans les flottants en 2017. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6.

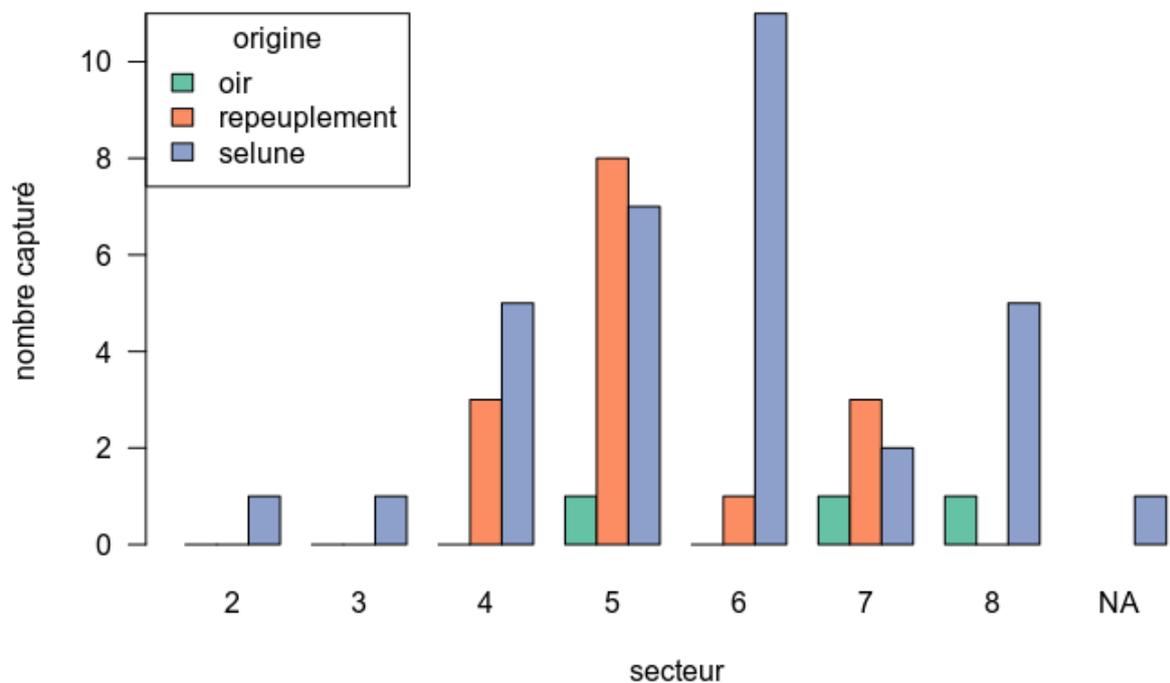


Figure 16 : Répartition des anguillettes marquées, recapturées par pêche électrique en 2017 (campagne du 02/08/2017 uniquement). Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6. NA représente l'anguille qui n'a été identifiée que lors de la biométrie.

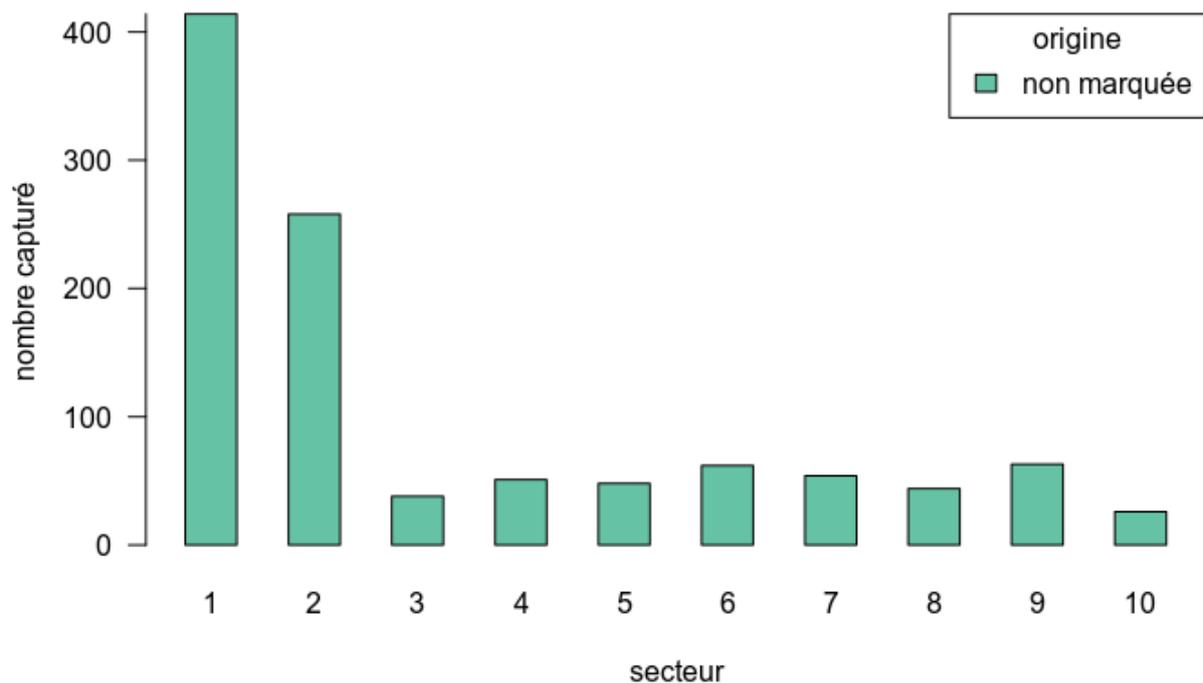


Figure 17 : Répartition des civelles/anguillettes non marquées, capturées dans les flottangs en 2017. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Cela comprend les 320 civelles qui ont été marquées d'un point de VIE jaune (Figure 7).

II.2.1.2 Deuxième année d'expérimentation – 2018

En raison des conditions hydrologiques, les flottangs n'ont pu être installés qu'en avril 2018 et le premier relevé n'a été effectué que le 23 avril 2018. Cette année-là, 674 relevés de flottangs (Figure 18) ont été effectués au cours de 24 journées de captures. Une forte sélectivité spécifique des flottangs déployés a été observée, l'essentiel des captures (739 soit 84 %) étant des anguilles (Figure 19). De plus, au sein des anguilles capturées, 91 % sont soit des civelles, soit des anguillettes d'une longueur totale inférieure à 10 cm (Figure 20). On notera un nombre moins important de civelles par rapport à 2017 (Figure 21).

La capture par unité d'effort (CPUE) est de 1,10 anguilles / flottang relevé, proche de la valeur 2017. Parmi ces captures, 121 anguilles étaient marquées au VIE.

Les deux pêches électriques réalisées les 04 juillet (débit de 519 L/s) et 01 août (débit de 327 L/s) ont permis de capturer 318 anguillettes parmi lesquelles 27 portaient un marquage au VIE (Tableau 3).

Les deux méthodes de recaptures ont montré des résultats très différents en nombre de captures et en pourcentage d'individus recapturés (Tableau 3). Ainsi on observe un taux de recapture de 2,29 % et de 0,25 % respectivement pour les flottangs et la pêche électrique pour les civelles « naturelles » de la Sélune déversées en 2018 et de 0,45 % et 0,16 % respectivement pour les flottangs et la pêche électrique pour les civelles de repeuplement déversées en 2018 (Tableau 3).

Le suivi par l'utilisation des flottangs montre que les civelles relâchées s'écartent un peu plus en 2018 de la zone sur laquelle elles ont été relâchées (Figure 22). En effet, un test de Fisher (fonction `fisher.test` de la bibliothèque `stats`) sur la distribution 2017 (vu par les flottangs) cumulée de l'ensemble des lots déversés en 2017 et sur la distribution 2018 (vu par les flottangs) cumulée de l'ensemble des lots déversés en 2018 montre une différence significative entre les distributions de ces deux années.

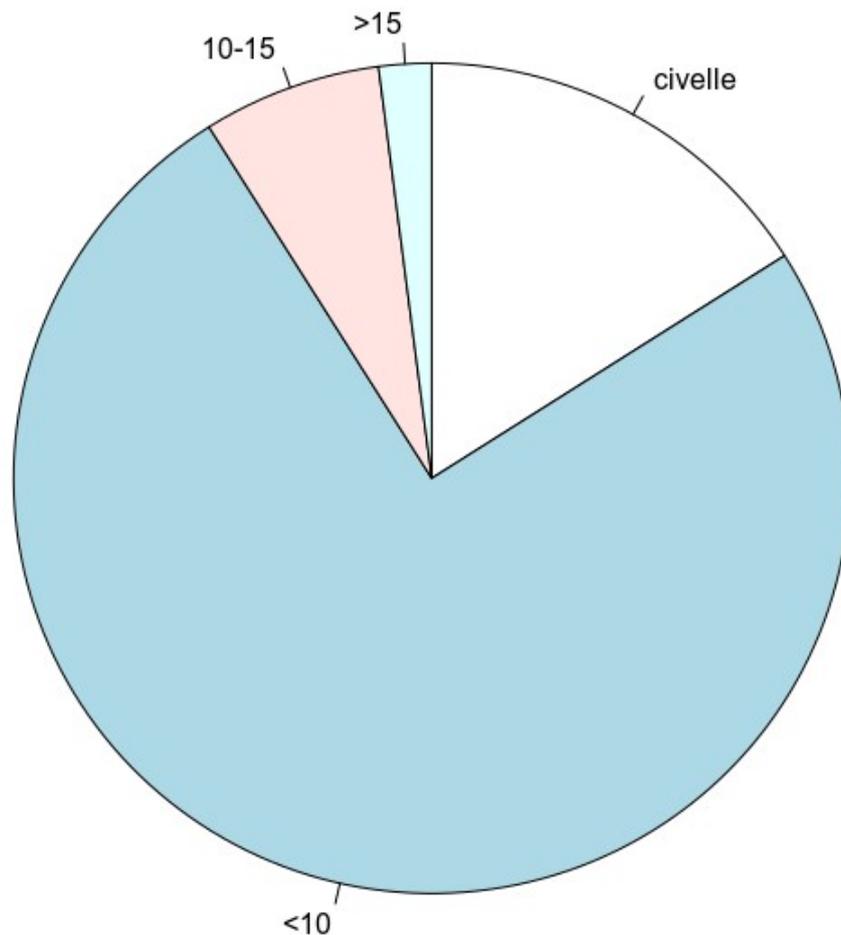


Figure 20 : Proportion (%) de chaque classe de taille (en cm) des anguilles européennes capturées dans les flottangs en 2018.

Un test exact de Fisher (fonction `fisher.test` de la bibliothèque `stats`) sur les résultats 2018 montre une différence significative entre les lots, néanmoins le post-hoc de Fisher deux à deux avec correction de Bonferroni (bibliothèque `rcompanion`, fonction `pairwiseNominalIndependence`) ne montre pas de différence deux à deux. Les différences les plus importantes semblent être entre les lots déversés en 2017 et ceux déversés en 2018. Un test de exact de Fisher (fonction `fisher.test` de la bibliothèque `stats`) sur seulement les lots 2018 est d'ailleurs non significatif.

Des résultats similaires sont obtenus pour les pêches électriques (Figure 23). De plus, la comparaison des lots 2018 recapturés avec les flottangs et la pêche électrique ne montre pas de différence de distribution (test de exact de Fisher, fonction `fisher.test` de la bibliothèque `stats`).

Les anguilles présentes semblent se déplacer d'une année sur l'autre. Les relevés de flottangs réalisés en 2018 montrent que les anguilles relâchées en 2017 sont toujours présentes dans le système mais se sont dispersées un peu plus. La distribution cumulée des lots 2017 recapturés en 2017 par flottang et en 2018 par flottang est en effet significativement différente (test de exact de Fisher, fonction `fisher.test` de la bibliothèque `stats`). Il en est de même avec les résultats de pêche électrique.

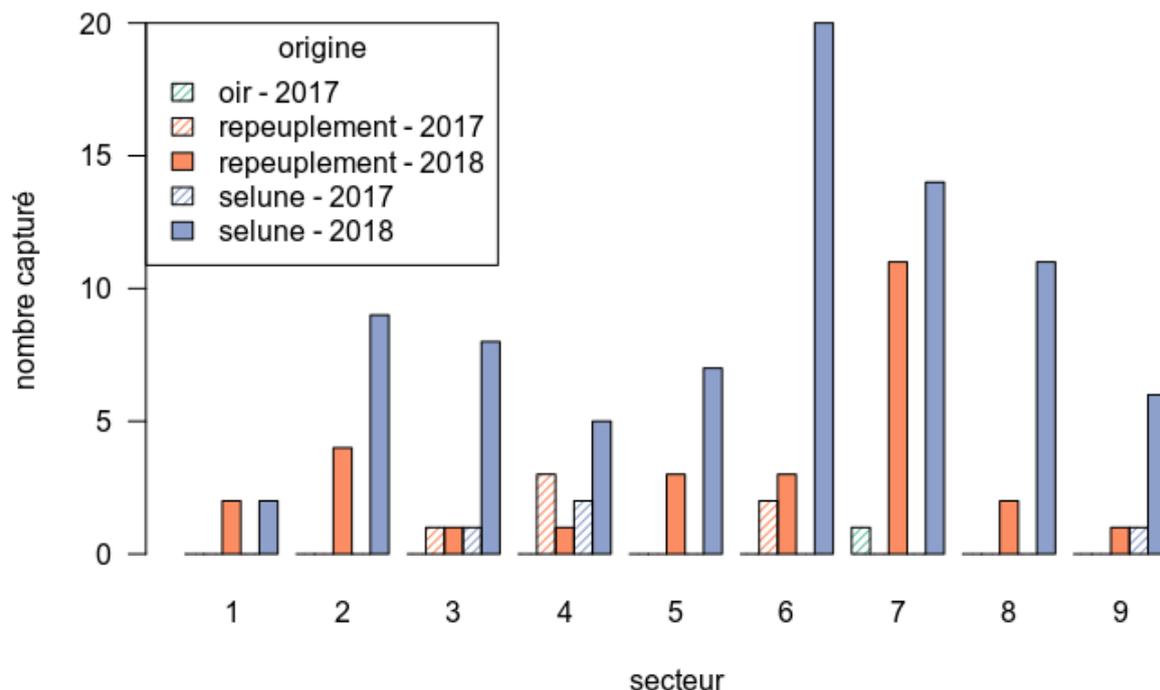


Figure 22 : Répartition des civelles/anguillettes marquées, recapturées dans les flotfangs en 2018. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6.

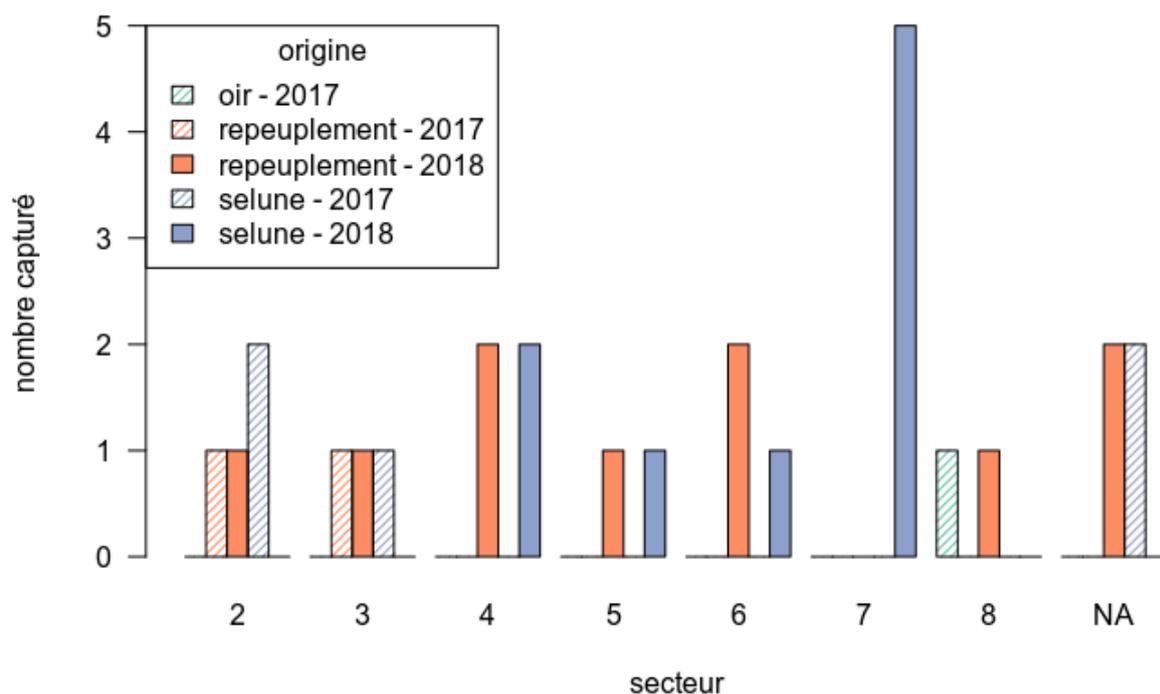


Figure 23 : Répartition des anguillettes marquées, recapturées par pêche électrique en 2018 (les deux campagnes confondues). Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6. NA représente les anguilles qui n'ont été identifiées que lors de la biométrie.

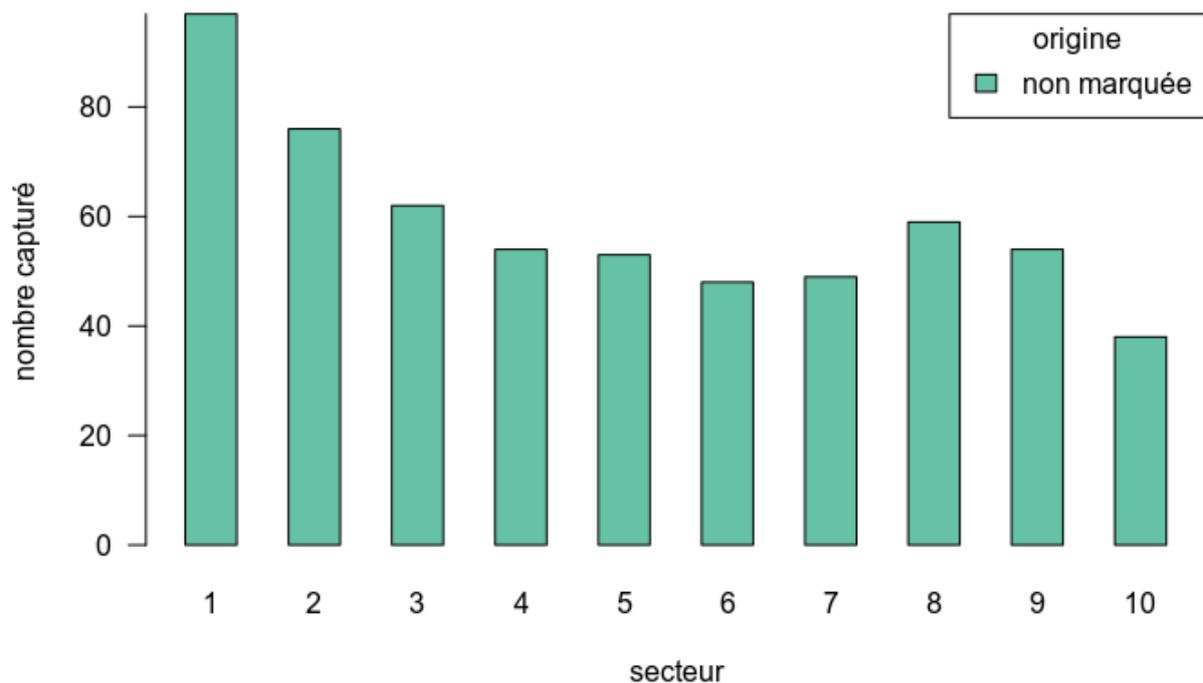


Figure 24 : Répartition des civelles/anguillettes non marquées capturées dans les flottangs en 2018. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10).

II.2.2 Biométrie

II.2.2.1 Taille

Les tailles initiales (T0) des lots sont statistiquement différentes ($p < 0,001$; test de rang de Kruskal-Wallis, fonction `kruskal.test` de la bibliothèque `stats`). Le test post-hoc de Tukey (fonction `TukeyHSD` de la bibliothèque `stats`) permet de tester les différences deux à deux (Figure 25). Globalement, la taille des civelles semblent diminuer au cours de la saison, et celles de 2018 semblent plus grandes que celles de 2017. Les civelles de repeuplement de 2017 sont les plus petites et statistiquement différentes de celles de la Sélune des 3 premières périodes. Les civelles de repeuplement de 2018 sont en revanche relativement grandes et sont identiques à celles du début de la saison de la Sélune.

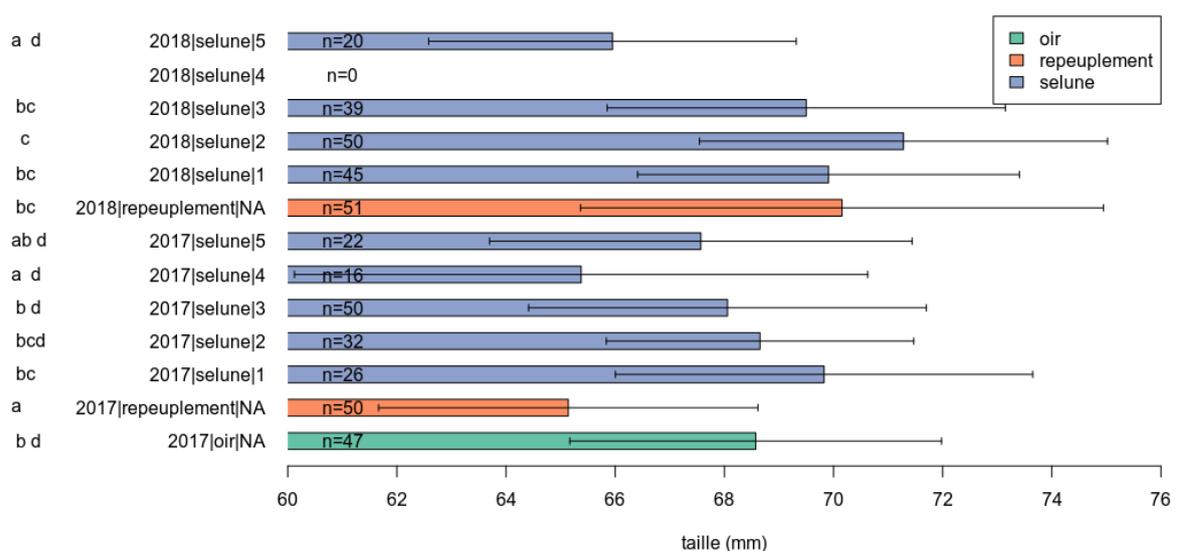


Figure 25 : Taille des civelles déversées (T0) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). Le nombre d'individus est également donné (sous la forme "n=").

Les tailles à la recapture (Tf) des lots sont statistiquement différentes ($p=0.003$; test de rang de Kruskal-Wallis, fonction `kruskal.test` de la bibliothèque `stats`). Le test post-hoc de Tukey (fonction `TukeyHSD` de la bibliothèque `stats`) permet de tester les différences deux à deux (Figure 26). Globalement, les tailles des anguilles ne semblent pas montrer de tendance particulière. Les anguilles de repeuplement de 2017 sont parmi les plus petites et celle de repeuplement de 2018 parmi les plus grandes. Le nombre de recaptures faible pour certains lots (Sélune 2018 période 4 par exemple) empêchent toutefois d'avoir un jugement tranché sur les différences entre lots.

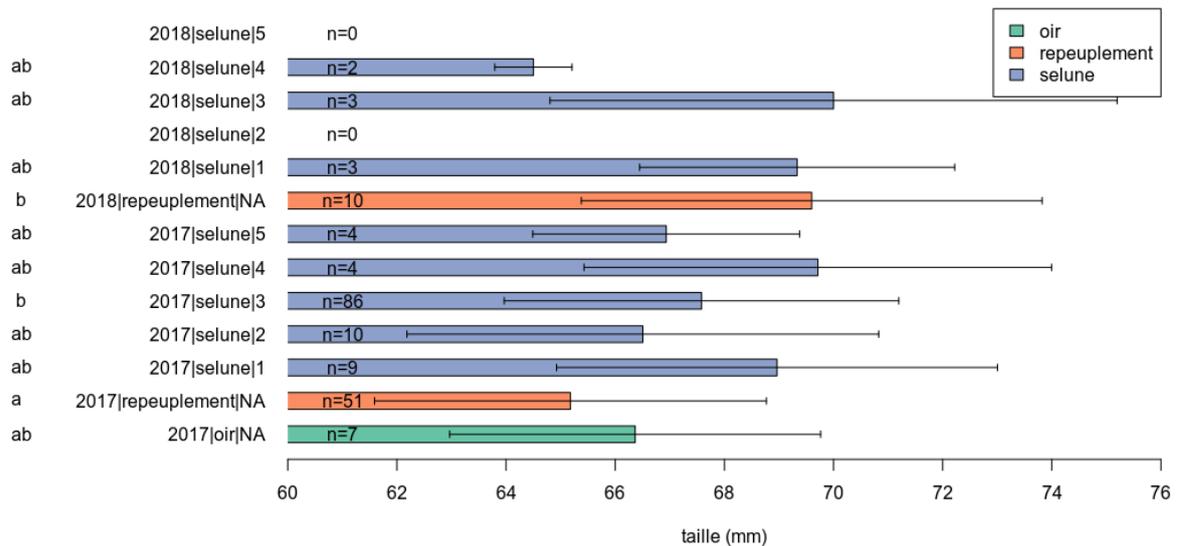


Figure 26 : Taille des anguilles recapturées (Tf) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). Le nombre d'individus est également donné (sous la forme "n=").

Les différences de taille entre T0 et Tf sont en général très faibles (voire les Tf sont inférieures aux T0) et aucune n'est statistiquement différentes (test de Student, fonction `t.test` de la bibliothèque `stats`).

II.2.2.2 Indice de condition

L'indice de condition permet de qualifier l'embonpoint relatif d'un individu par rapport à la population. Nous utilisons pour cela une régression quantile 75 % (Blackwell *et al.*, 2000, voir II.1.6) entre le logarithme népérien du poids et celui de la taille sur les civelles déversées (fonction `rq` de la bibliothèque `quantreg` : ordonnée à l'origine -15,04 ; coefficient 3,24). La figure 27 donne l'ensemble des données de biométrie au moment du déversement (T0, à l'exclusion des civelles pêchées sur l'Oir, voir II.1.3) et de la recapture (Tf).

Une ANOVA (fonction `aov` de la bibliothèque `stats`) montrent qu'il existe un effet significatif du lot, mais pas de la date (T0 ou Tf). La figure 28 donne l'indice de condition de chacun des individus dont nous possédons la biométrie. Les individus non marqués, vraisemblablement issu d'un recrutement naturel de l'Oir ont un indice de condition statistiquement supérieur (moyenne 1,06, écart-type 0,19) de la plupart des autres lots. *A contrario*, les individus issus du repeuplement de 2017 présentent un indice de condition inférieur statistiquement (moyenne 0,85, écart-type 0,15) à la plupart des lots.

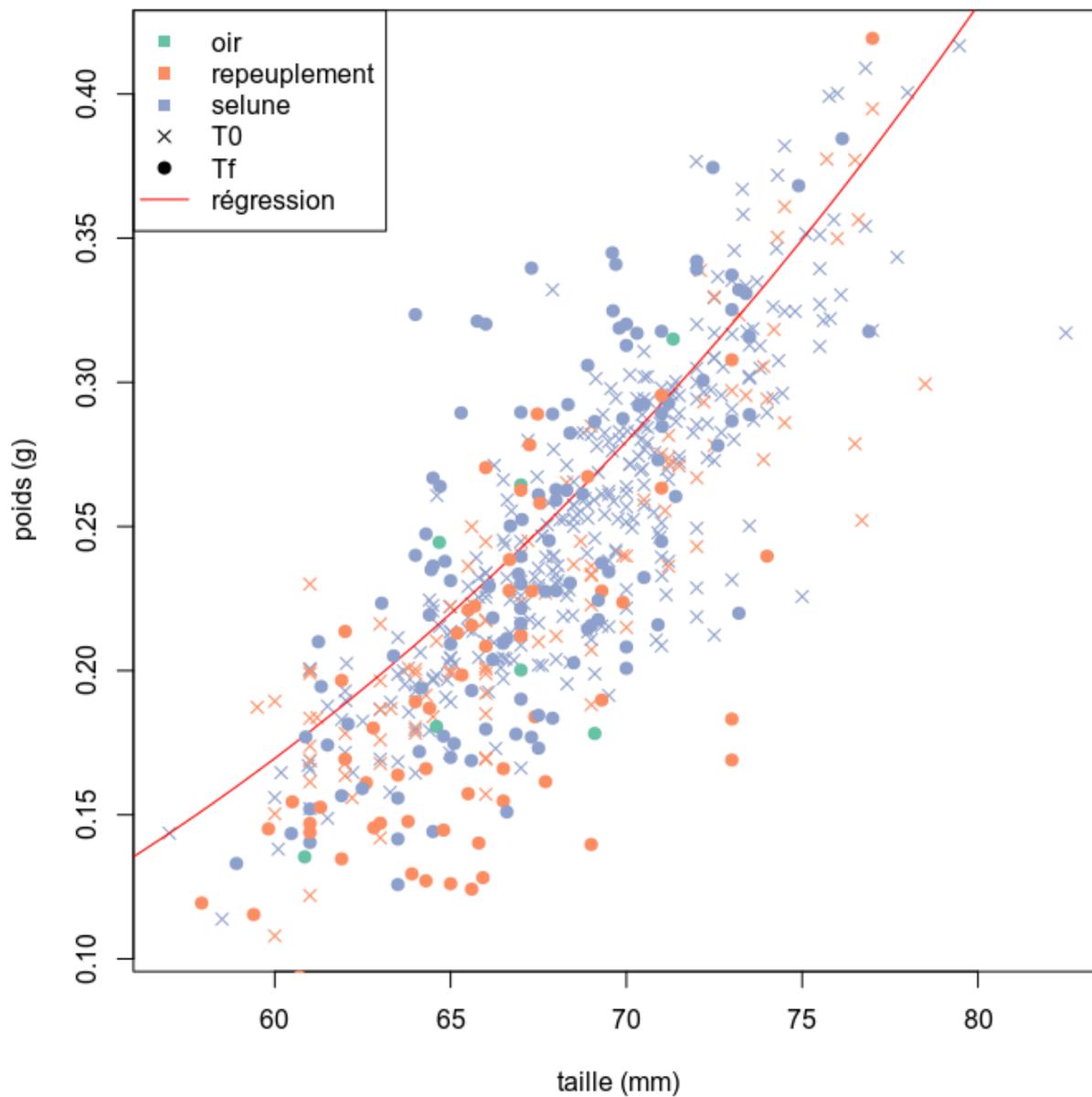


Figure 27 : Relation taille-poids des civelles déversées (T0) et des anguilles recapturées (Tf) en fonction de leur origine. La régression (ligne) est la régression quantile 75 % (voir texte).

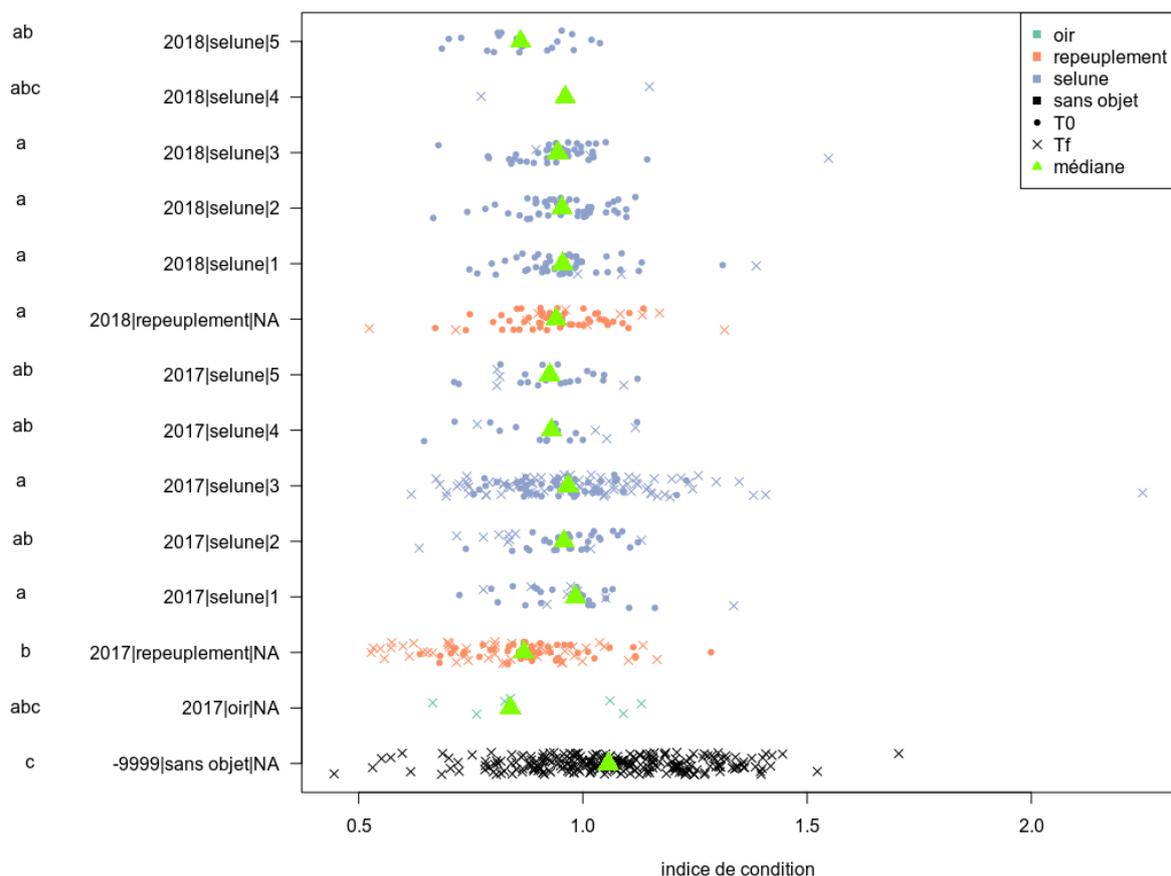


Figure 28 : Indice de condition des civelles déversées (T0) et recapturées (Tf) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). "sans objet" désigne les anguilles recapturées sans marquage externe. Les nombres d'individus sont données aux figures 25 et 26 ; pour les "sans objet" n = 251.

II.2.2.3 Stades pigmentaires

La figure 29 donne la répartition des stades pigmentaires pour chaque déversement (T0). Un test exact de Fisher (bibliothèque stats, fonction fisher.test) montre que la composition en stade est très significativement différente entre les déversements ($p < 0,001$).

Le résultat des tests post-hoc de Fisher deux à deux avec correction de Bonferroni (bibliothèque rcompanion, fonction pairwiseNominalIndependence) est donné sur la figure 29.

D'une manière générale, les civelles pêchées sur la Sélune ont une composition en stade de plus en plus âgés au fur à mesure que la saison avance. Le mode est cependant au maximum le stade VIA2 (période 5 en 2017 et 2018). Pour les deux premiers déversements de 2018, on ne retrouve pas de stade plus âgés que VIA2 (et le mode est le stade VB), alors qu'on retrouve du stade VII pour le cinquième échantillonnage de cette même année.

Les civelles issues de l'Oir et du repeuplement 2017 sont chacun significativement différents de tous les autres. Dans ces deux cas, il n'y a pas de stade VIA1 ou plus jeune et même pas de VIA2 dans le cas des civelles issues de l'Oir et le mode est le stade VIA4.

Les civelles issues du repeuplement 2018 montrent une composition proche des civelles pêchées en fin de saison sur la Sélune (période saison 3 à 5 en 2017 comme en 2018, soit au plus tôt les derniers jours de mars : Tableau 1, Tableau 2 et Figure 9).

Les stades pigmentaires pour les individus ayant suivi le circuit de repeuplement sont comparables à ceux obtenus dans les conditions réelles du repeuplement (Figure 30). En effet, des stades aussi tardifs que ceux que nous avons observés en 2017 sont proches des repeuplements effectués en 2012 et 2013.

Au bout de trois mois (Tf), aucun animal capturé n'était encore au stade civelle, comme attendu (Élie *et al.*, 1982).

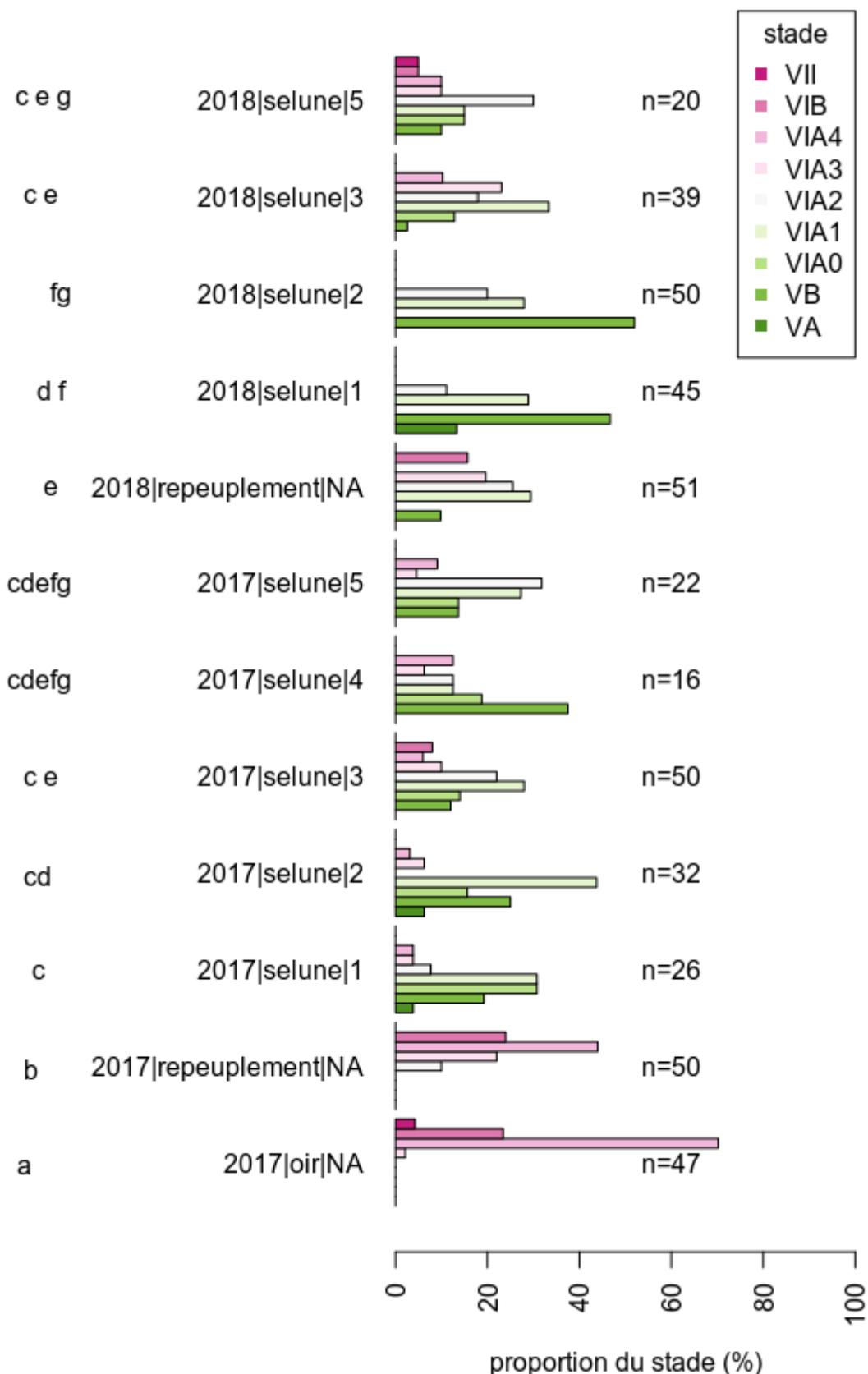


Figure 29 : Stade pigmentaire des civelles déversées (T0) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). Le nombre d'individus est également donné (sous la forme "n=").

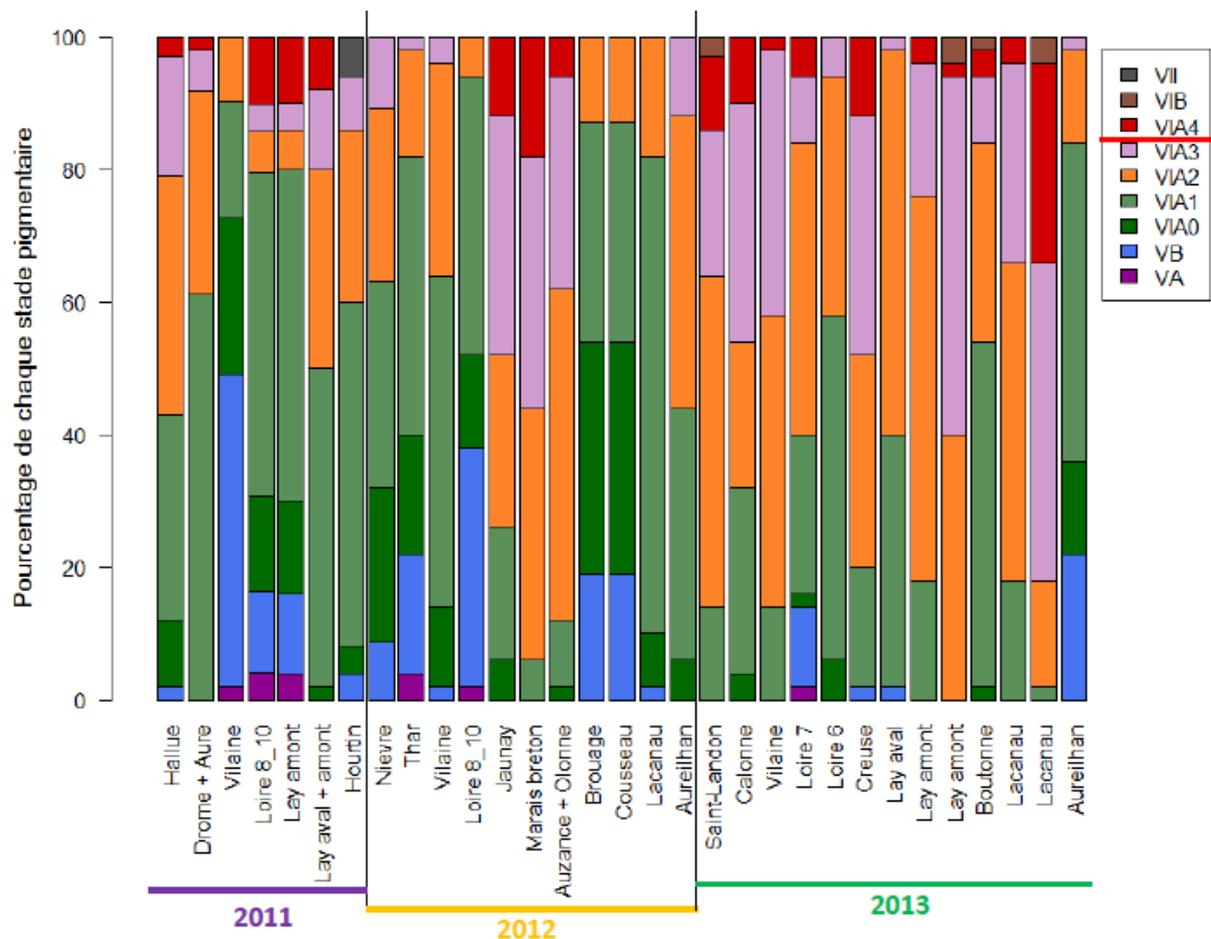


Figure 30 : Distribution des stades pigmentaires observés sur 50 civelles lors des déversements des projets du programme de repeuplement français de 2011 à 2013 (Rigaud et al. 2015).

II.2.3 Analyse des recaptures

II.2.3.1 Données brutes

La Figure 31 présente l'ensemble des données de recapture à analyser. Elle donne la recapture, exprimée comme le rapport entre le nombre recapturé et la quantité déversée, en fonction de la durée depuis le déversement. Chaque point est un lot lors d'une occasion de recapture. Les points au-delà de 300 jours correspondent aux lots déversés en 2017 lors des occasions de recapture 2018.

Il y a une forte proportion de capture nulle avec les flottang, mais aussi en pêche électrique pour certains lots. Globalement, le pourcentage de recapture est faible, de l'ordre de 0,5 % à 20 %. On note une tendance à la décroissance de ce pourcentage en fonction de la durée depuis le déversement. Lorsqu'il y a des recaptures, le pourcentage de recapture pour les Naturelles Oir est le plus fort, suivi des Naturelles Sélune puis des Repeuplement. La pêche électrique semble donner des recaptures plus fortes que les flottang. Ces premiers éléments sont à confirmer/infirmier avec les analyses qui suivent.

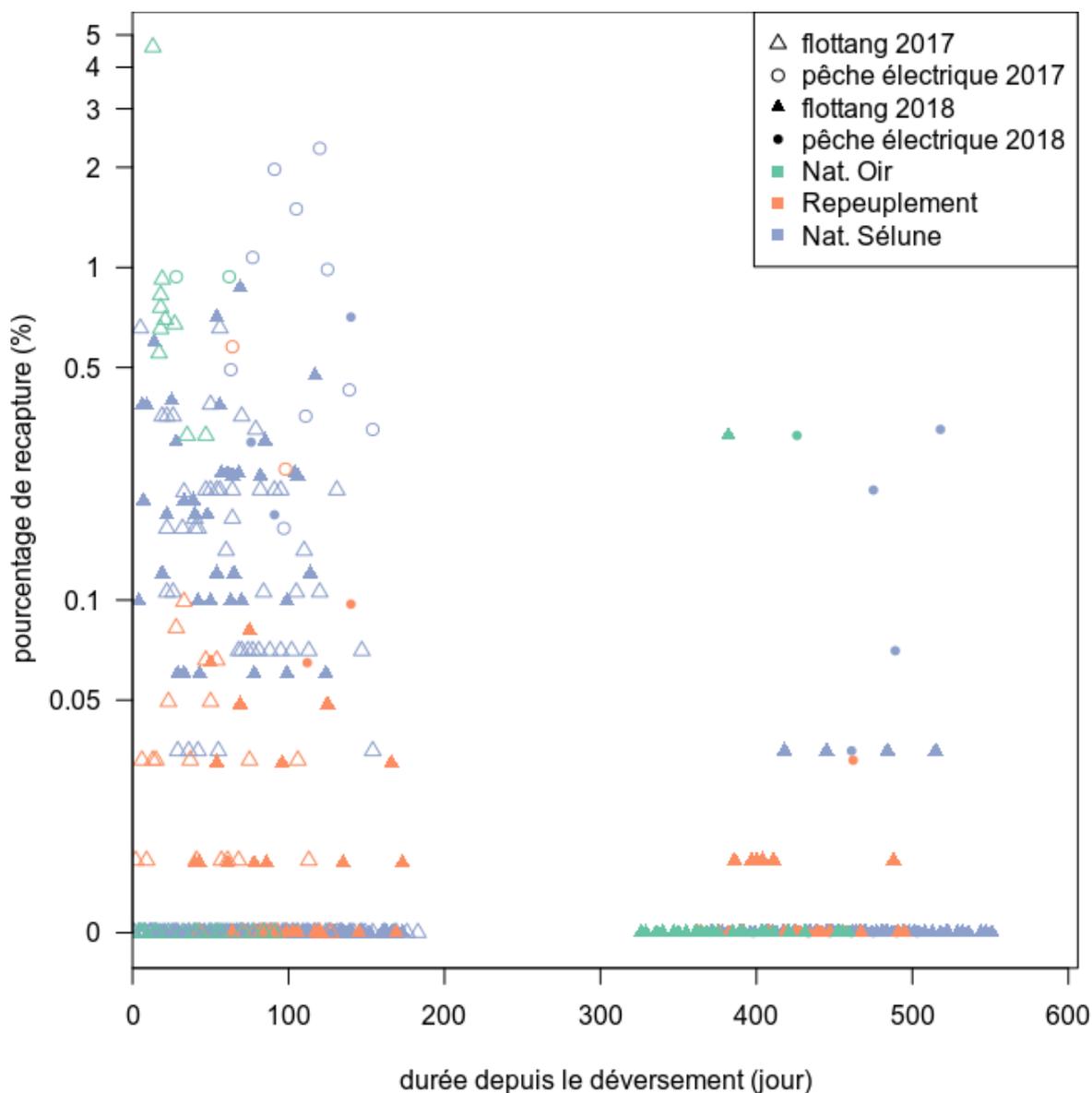


Figure 31 : Données brutes de recapture en fonction de la méthode, de l'année de capture, de l'origine et de la durée depuis le déversement. Attention à l'échelle logarithmique pour le pourcentage de recapture (nombre de capturées sur nombre de déversées). Les captures nulles ont été arbitrairement représentées à un pourcentage de recapture de 0.01.

II.2.3.2 Modèle de référence

Le modèle de référence est celui pour lequel l'origine est détaillé pour chaque déversement (lot). Le modèle (M0) s'écrit :

$$\text{recapturées} | \text{deversées} \sim \text{méthode} : \text{année} + \text{durée} : \text{lot} .$$

Ce modèle explique 62 % de la déviance et tous les effets sont significatifs ($p < 0,001$). Les coefficients sont données ci-dessous (Tableau 4, Figure 32 et Figure 33).

La durée entre la recapture et le déversement étant exprimée en jours, les coefficients en interaction avec la durée (« durée:lot » ici) doivent être interprétés comme un taux de disparition (apparent) par jour (en échelle logit). Pour faciliter la lecture, ces coefficients sont donnés sous la forme d'un taux de mortalité apparente en une journée (Tableau 4 et Figure 34) et de la survie apparente au bout de 90 jours (Tableau 4 et Figure 35). Ainsi, par exemple, les civelles de repeuplement marquées en orange ont un taux de mortalité à un jour de 1,41 %, ce qui en 3 mois (90 jours) ne laissent survivre que 28 % des individus.

Les lots de 2017 semblent avoir des mortalités apparentes plus faibles que ceux de 2018 et de même pour les lots de début de saison comparés à ceux de fin de saisons.

Le test de comparaison multiple permet de juger de la significativité des écarts entre les différents lots de civelles (Tableau 5). On notera que les lots Repeuplement ('orange--' et 'rouge--', qui sont aussi les plus nombreux) sont ceux qui expriment des différences significatives avec les autres lots (Sélune des trois premières périodes), toujours dans le sens d'une mortalité apparente plus forte. On remarquera enfin que bien que le lot 'jaune-vert' (Naturelles Sélune de 2018) a la mortalité apparente la plus forte de tous les lots, celle-ci n'est significativement différente d'aucun autre lot. Ceci peut être dû au faible nombre d'individus déversés pour ce lot (260 civelles déversées).

L'effet « méthode » permet de calculer la probabilité de capturer les individus présents par l'une ou l'autre des méthodes. Pour 1 000 individus présents dans le milieu, une journée de pêche électrique permet de capturer 17,9 individus en 2017 et 6,9 individus en 2018, alors qu'une journée d'échantillonnage au flottang capture 0,88 individus en 2017 et 1,85 individus en 2018. Le test de comparaison multiple montre que ces différences sont toutes significatives, sauf entre les deux années pour la pêche électrique (en limite de significativité : $p = 0,06$).

Les annexes 2 à 4 donnent les prédictions du modèle M0 et les valeurs observées.

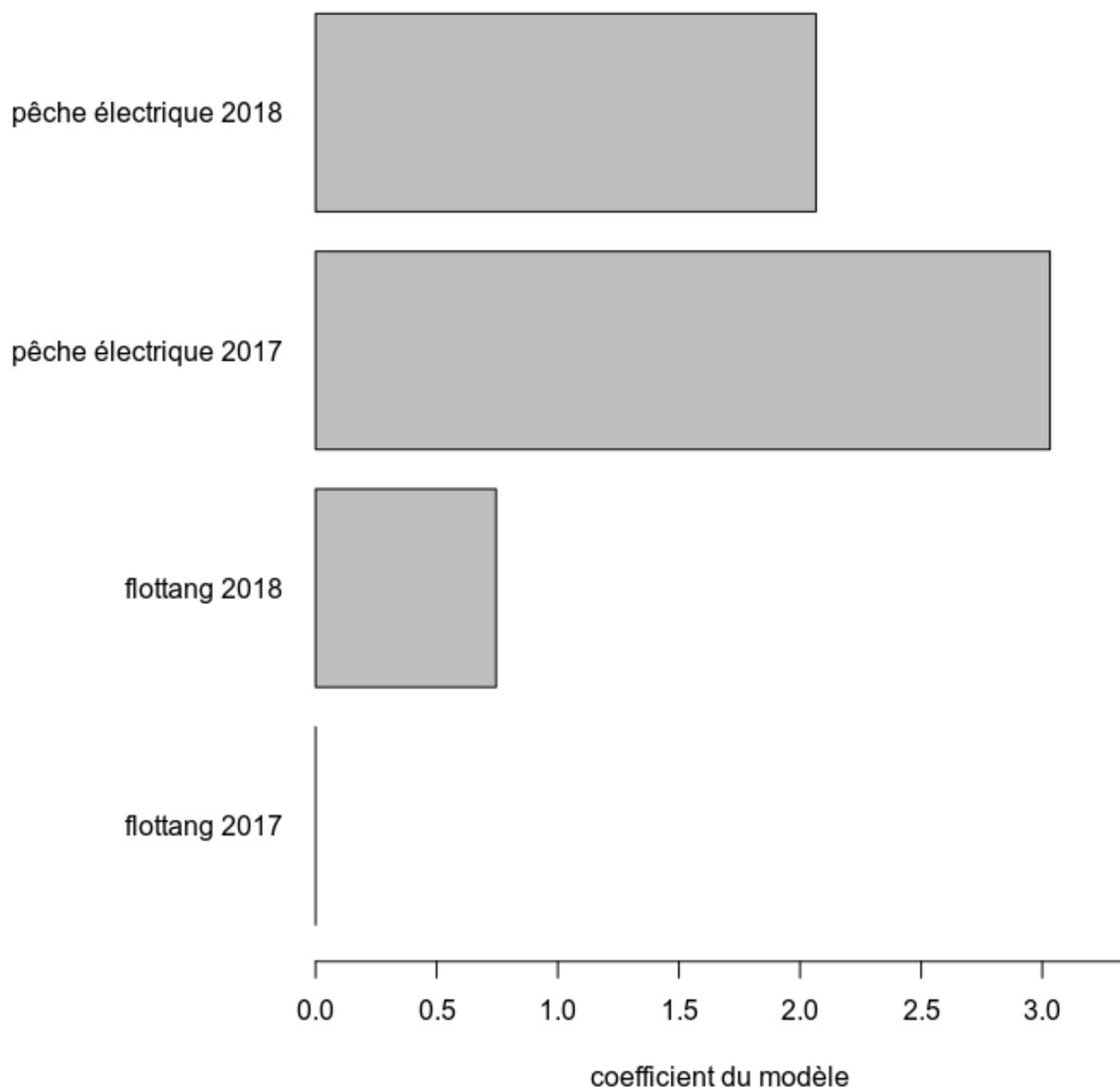


Figure 32 : Valeurs des coefficients liés à la méthode (en interaction avec l'année), modèle M0.

Tableau 4 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours. L'effet flottang 2017 n'apparaît pas puisqu'il sert de référence à l'effet méthode (et donc égal à 0).

	Estimation	Erreur standard	Mortalité 1j	Survie 90j
ordonnée à l'origine	-7,0354	0,0918		
flottang 2018	0,7452	0,2240		
pêche électrique 2017	3,0321	0,1133		
pêche électrique 2018	2,0659	0,3953		
duree:bleu-bleu	-0,0051	0,0006	0,51 %	63%
duree:bleu-jaune	-0,0061	0,0017	0,61 %	58%
duree:bleu-orange	-0,0065	0,0015	0,64 %	56%
duree:bleu-rouge	-0,0129	0,0046	1,28 %	31%
duree:bleu-vert	-0,0179	0,0046	1,77 %	20%
duree:jaune--	-0,0053	0,0017	0,53 %	62%
duree:jaune-bleu	-0,0103	0,0033	1,02 %	40%
duree:jaune-jaune	-0,0078	0,0037	0,78 %	49%
duree:jaune-orange	-0,0230	0,0096	2,27 %	13%
duree:jaune-rouge	-0,0178	0,0051	1,77 %	20%
duree:jaune-vert	-0,0404	0,0195	3,95 %	3%
duree:orange--	-0,0142	0,0015	1,41 %	28%
duree:rouge--	-0,0224	0,0030	2,21 %	13%

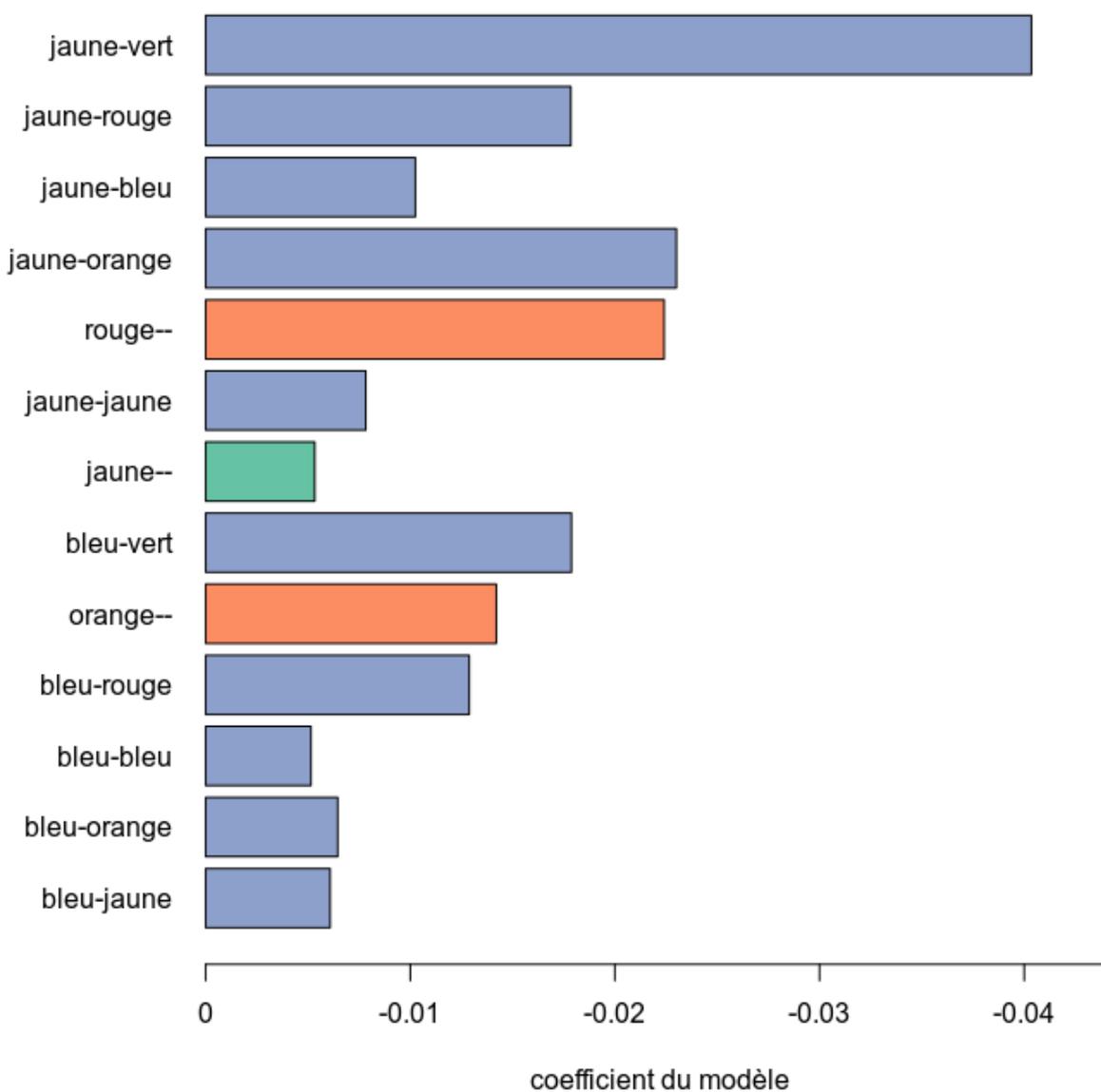


Figure 33 : Valeurs des coefficients liés au lot (en interaction avec la durée), modèle M0. Classement par ordre de date de déversement (la plus récente en haut).

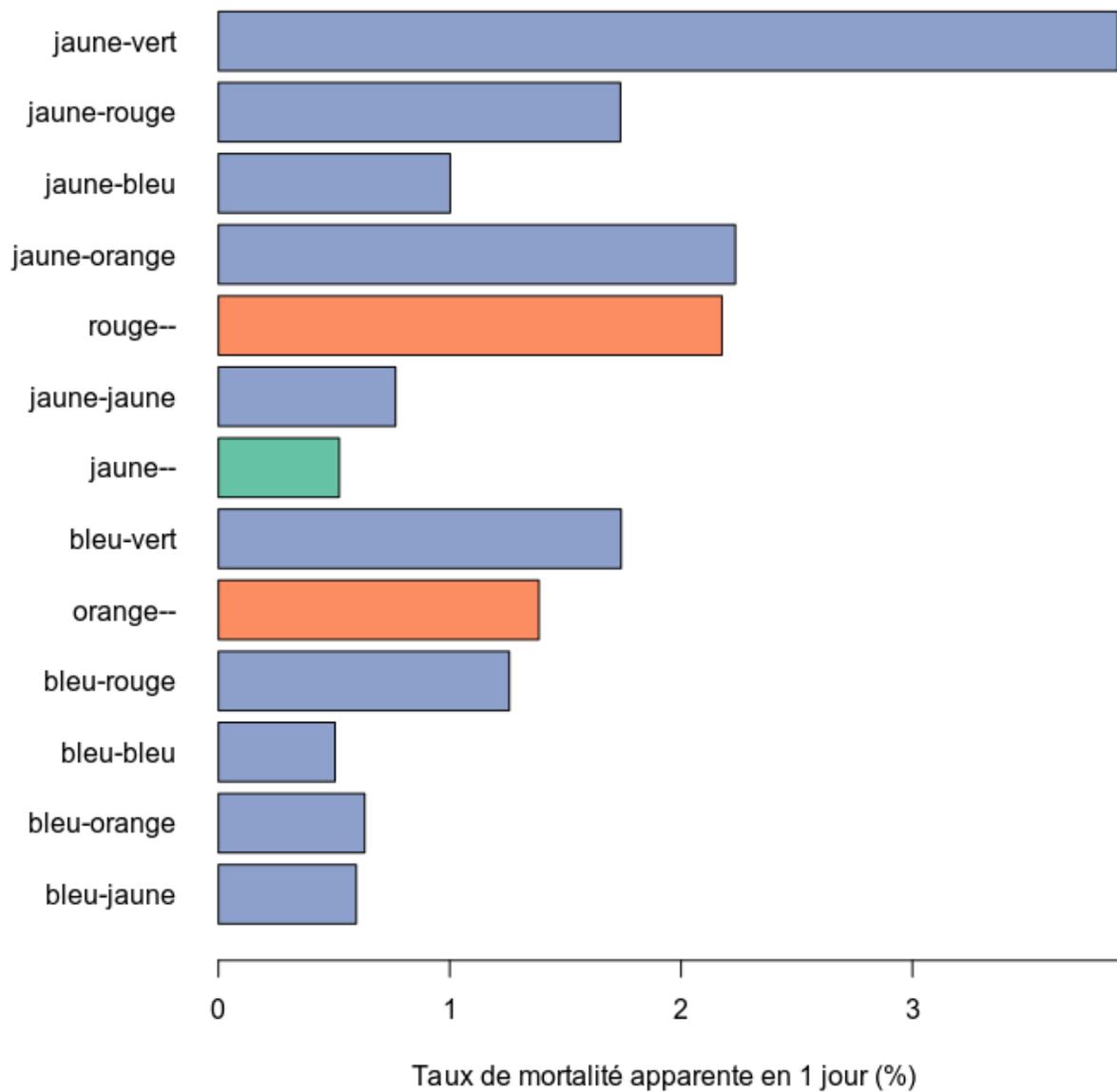


Figure 34 : Taux de mortalité apparente par lot en 1 jour (%) pour le modèle M0. Classement par ordre de date de déversement (la plus récente en haut).

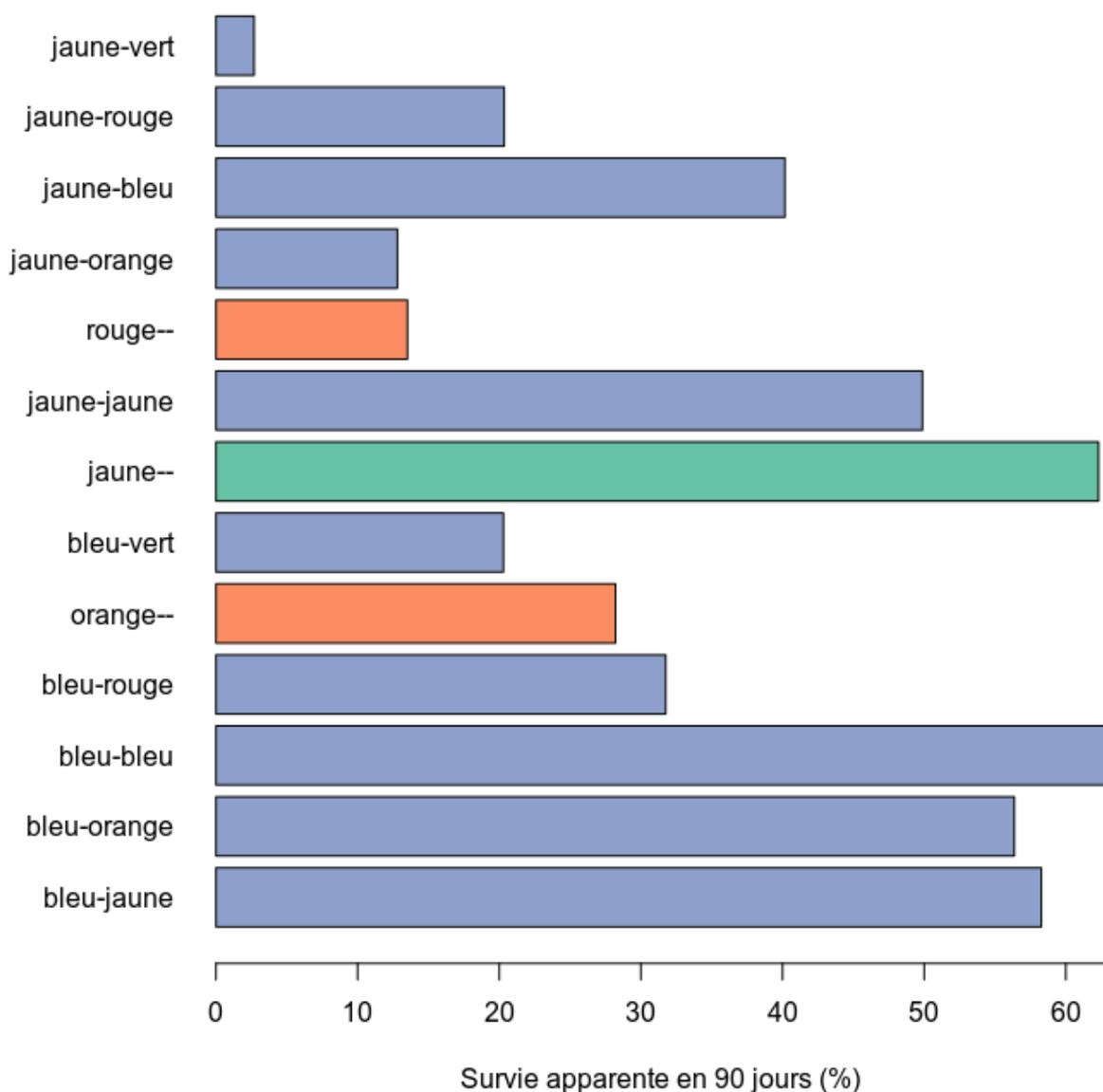


Figure 35 : Survie apparente par lot au bout de 90 jours (%) pour le modèle M0. Classement par ordre de date de déversement (la plus récente en haut).

Tableau 5 : test de comparaison multiple pour l'effet durée:lot pour le modèle M0. Les nombres sur la seconde ligne rappellent les quantités déversées ; 0 = différence non-significative ; 1 = différence significative, la modalité en ligne étant plus grande (ie plus proche de 0) ; -1 = différence significative, la modalité en colonne étant plus grande (ie plus proche de 0).

	bleu-bleu	bleu-jaune	bleu-orange	bleu-rouge	bleu-vert	jaune--	jaune-bleu	jaune-jaune	jaune-orange	jaune-rouge	jaune-vert	orange--	rouge--
	2840	307	467	280	609	320	1663	423	230	1006	260	6062	6173
bleu-bleu		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
bleu-jaune			0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
bleu-orange				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
bleu-rouge					0	0	0	0	0	0	0	0	0
bleu-vert						0	0	0	0	0	0	0	0
jaune--							0	0	0	0	0	1	1
jaune-bleu								0	0	0	0	0	1
jaune-jaune									0	0	0	0	1
jaune-orange										0	0	0	0
jaune-rouge											0	0	0
jaune-vert												0	0
orange--													0
rouge--													

II.2.3.3 Modèle sans les données 2018 pour la cohorte 2017

On peut faire le même modèle mais sans prendre en compte les données collectées en 2018 sur les lots marqués en 2017 qui sont hors du protocole initial (suivi jusqu'à 3 mois) pour tester l'influence de ces données.

Le modèle explique 61 % de la déviance et les effets sont tous significatifs ($p < 0,01$).

Les différences avec le modèle de référence sont en général faible (Tableau 6). Il n'y a aucune différence pour les lots 2018 (les données ne changeant pas pour ces lots). On notera une survie apparente des 'bleu-bleu' (Naturelles Sélune 2017) bien meilleure lorsque l'on ne considère pas les données 2018 et *a contrario* une survie apparente bien plus faible pour les 'orange--' (Repeuplement 2017) qui dans cette version se retrouve au niveau des 'rouge--' (Repeuplement 2018).

Tableau 6 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours., mais en ignorant les données 2018 pour la cohorte 2017. 'Δ survie 90j' est la différence entre le modèle de référence et celui-ci pour la survie à 90 jours.

	Estimation	Erreur standard	Mortalité 1j	Survie 90j	Δ survie 90j
ordonnée à l'origine	-6,9313	0,1253			
flottang 2018	0,6412	0,2396			
pêche électrique 2017	3,1672	0,1369			
pêche électrique 2018	1,9619	0,4044			
duree:bleu-bleu	-0,0040	0,0018	0,40 %	70%	7%
duree:bleu-jaune	-0,0082	0,0031	0,81 %	48%	-10%
duree:bleu-orange	-0,0075	0,0027	0,75 %	51%	-5%
duree:bleu-rouge	-0,0145	0,0053	1,44 %	27%	-4%
duree:bleu-vert	-0,0204	0,0051	2,01 %	16%	-4%
duree:jaune--	-0,0072	0,0066	0,72 %	52%	-10%
duree:jaune-bleu	-0,0103	0,0033	1,02 %	40%	0%
duree:jaune-jaune	-0,0078	0,0037	0,78 %	49%	0%
duree:jaune-orange	-0,0230	0,0096	2,27 %	13%	0%
duree:jaune-rouge	-0,0178	0,0051	1,77 %	20%	0%
duree:jaune-vert	-0,0404	0,0195	3,95 %	3%	0%
duree:orange--	-0,0229	0,0028	2,26 %	13%	-15%
duree:rouge--	-0,0224	0,0030	2,21 %	13%	0%

II.2.3.4 Modèle avec uniquement les données de pêche électrique

Tableau 7 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours., mais en ne considérant que les données de pêche électrique. 'Δ survie 90j' est la différence entre le modèle de référence et celui-ci pour la survie à 90 jours.

	Estimation	Erreur standard	Mortalité 1j	Survie 90j	Δ survie 90j
ordonnée à l'origine	-3,7113	0,1518			
duree:bleu-bleu	-0,0066	0,0010	0,64 %	56%	-7%
duree:bleu-jaune	-0,0053	0,0017	0,51 %	63%	5%
duree:bleu-orange	-0,0071	0,0020	0,69 %	53%	-3%
duree:bleu-rouge	-0,0142	0,0055	1,37 %	28%	-3%
duree:bleu-vert	-0,0265	0,0071	2,56 %	9%	-11%
duree:jaune--	-0,0080	0,0030	0,78 %	49%	-13%
duree:jaune-bleu	-0,0332	0,0062	3,19 %	5%	-35%
duree:jaune-jaune	-0,0144	0,0045	1,40 %	28%	-22%
duree:jaune-orange	-0,1746	25,0045	15,70 %	0%	-13%
duree:jaune-rouge	-0,0333	0,0074	3,20 %	5%	-15%
duree:jaune-vert	-0,4234	50,2756	33,98 %	0%	-3%
duree:orange--	-0,0201	0,0025	1,94 %	17%	-11%
duree:rouge--	-0,0271	0,0028	2,61 %	9%	-4%

De la même manière que le paragraphe précédent, on peut n'utiliser que les données provenant de la pêche électrique. L'effet année de la méthode n'est pas significatif ($p = 0,34$), on ne le considère donc pas dans ce modèle. Le modèle explique 84 % de la déviance et l'effet est significatif ($p < 0,01$). Des différences importantes peuvent être constatées avec le modèle de référence (Tableau 7). Quasiment toutes les survies (seule exception : les 'bleu-jaune') sont estimées comme étant plus faible avec ce modèle. Des survies nulles sont calculées pour les lots n'ayant pas été recapturés ('jaune-orange' et 'jaune-vert'). Néanmoins l'ordre est globalement conservé, à l'exception près du lot 'jaune-bleu', l'une des plus mauvaise survie pour ce modèle, alors que le modèle de référence donne une survie médiane.

II.2.3.5 Modèle avec uniquement les données de flottang

On peut également ne considérer que les données de flottang. Le modèle explique 35 % de la déviance et les effets sont significatifs ($p < 0,01$). Des différences importantes peuvent être constatées (Tableau 8). L'ordre est globalement conservé, à l'exception près du lot 'bleu-jaune', la plus mauvaise survie pour ce modèle, alors que le modèle de référence donne une survie médiane.

Tableau 8 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours., mais en ne considérant que les données de flottang. 'Δ survie 90j' est la différence entre le modèle de référence et celui-ci pour la survie à 90 jours.

	Estimation	Erreur standard	Mortalité 1j	Survie 90j	Δ survie 90j
ordonnée à l'origine	-7,0348	0,0920			
flottang 2018	0,7658	0,2009			
duree:bleu-bleu	-0,0062	0,0009	0,62 %	57%	-6%
duree:bleu-jaune	-0,0288	0,0145	2,83 %	8%	-50%
duree:bleu-orange	-0,0090	0,0029	0,89 %	45%	-11%
duree:bleu-rouge	-0,0169	0,0097	1,67 %	22%	-9%
duree:bleu-vert	-0,0132	0,0049	1,31 %	31%	11%
duree:jaune--	-0,0059	0,0022	0,59 %	59%	-3%
duree:jaune-bleu	-0,0079	0,0031	0,79 %	49%	9%
duree:jaune-jaune	-0,0101	0,0045	1,00 %	40%	-9%
duree:jaune-orange	-0,0208	0,0098	2,06 %	15%	3%
duree:jaune-rouge	-0,0177	0,0056	1,75 %	20%	0%
duree:jaune-vert	-0,0317	0,0192	3,12 %	6%	3%
duree:orange--	-0,0122	0,0015	1,21 %	34%	6%
duree:rouge--	-0,0255	0,0034	2,52 %	10%	-3%

II.2.3.6 Modèle pour la généralisation

Si le modèle M0 suit au plus près les 13 lots, ses conclusions sont en partie peu généralisable (dépendantes des lots justement). Nous allons donc remplacer les lots par des descripteurs qui pourront permettre de mieux généraliser les résultats, à savoir l'origine (Naturelles Sélune / Repeuplement / Naturelles Oir), l'année de déversement (en variable catégorielle) et le n° de la quinzaine (en variable catégorielle pour décrire le patron saisonnier). Le modèle M1 s'écrit :

recapturées|deversées ~ méthode : année + durée : origine + durée : année + durée : quinzaine .

L'ensemble des effets sont significatifs ($p < 0,01$). Le modèle M1 a un AIC (critère d'information d'Akaike, Akaike, 1973) de 1050, contre 1038 pour le modèle M0. Cela signifie qu'il a de moins bonnes performances que notre modèle M0 pour "coller" aux données. Il explique néanmoins 60 % de la déviance (62 % pour M0).

Les estimations des effets du modèle M1 sont données ci-dessous (Tableau 9). L'ordonnée à l'origine et l'effet des méthodes d'échantillonnage sont quasiment identique au modèle M0. Les 3 effets liés à la durée ne peuvent être interprété indépendamment les uns des autres. En effet, les Naturelles Oir ont par exemple uniquement été déversés en 2017, en

moyenne lors de la quinzaine 11. Pour pouvoir assurer les comparaisons des effets quinzaine, nous avons considéré qu'elles l'ont été à la quinzaine 10. Cela peut expliquer que la valeur de son coefficient est positive pour "compenser" la valeur négative de la quinzaine 10. On peut en revanche comparer à l'intérieur d'un effet les catégories entre elle. Ainsi les individus Repeuplement sont celles qui ont la moins bonne performance, l'année 2018 est plus mauvaise et l'on a un patron saisonnier qui semble se dessiner avec des performances qui se dégrade au fur et à mesure que l'on avance dans la saison. Cela est concordant avec les conclusions tirées à partir du modèle M0 (II.2.3.2).

Grâce à la fonction predict (bibliothèque stats), on peut calculer les performances moyennes de chaque origine en prenant pour les Naturelles Sélune et les Repeuplement une quinzaine médiane (6) et pour les Naturelles Oir la quinzaine 10. Cela permet de comparer les performances en fonction de l'origine en s'affranchissant de la quinzaine à laquelle les individus ont été déversés (sauf pour les Naturelles Oir). On constate (Figure 36) qu'en 2017 les civelles Naturelles Sélune ont une performance proche des Naturelles Oir (mortalité apparente journalière respectivement de 0,52 % et 0,53 %), alors que les civelles de Repeuplement ont une mortalité apparente quasiment deux fois plus élevée (1,06 %) (Tableau 10). L'année 2018 a été plus défavorable pour la mortalité apparente des civelles (Naturelles Sélune 1,18 %, Repeuplement 1,70 %). Le Tableau 10 donne également les résultats en termes de survie apparente à 90 jours.

Le test post-hoc montre que les civelles Repeuplement ont une mortalité apparente significativement supérieure aux Naturelles Sélune et aux Naturelles Oir. En revanche les lots Naturelles Sélune et Oir n'ont pas de différences significatives ($p = 0,997$). Pour la quinzaine, seules les quinzaines 6 et 8 montre des différences à la limite de la significativité ($p = 0,068$). L'effet année est quant à lui très hautement significatif ($< 0,001$). Le test post-hoc pour l'effet méthode montre que ces différences sont toutes significatives, sauf entre les deux années pour la pêche électrique (en limite de significativité : $p = 0,07$).

Tableau 9 : Valeurs des coefficients du modèle M1. Seul les civelles de l'Oir ont été déversées en moyenne lors de la quinzaine 11, mais pour pouvoir comparer les effets, nous avons considéré que cela a été la quinzaine 10.

	Estimation	Erreur standard
ordonnée à l'origine	-7,0321	0,0911
flottang 2018	0,7299	0,2221
pêche électrique 2017	3,0334	0,1129
pêche électrique 2018	2,0926	0,3951
duree:Naturelles Oir	0,0222	0,0190
duree:Repeuplement	-0,0119	0,0025
duree:Naturelles Sélune	-0,0061	0,0017
duree:Année 18	-0,0068	0,0032
duree:Quinzaine 5	-0,0013	0,0023
duree:Quinzaine 6	0,0009	0,0018
duree:Quinzaine 7	-0,0004	0,0024
duree:Quinzaine 8	-0,0036	0,0023
duree:Quinzaine 10	-0,0275	0,0190

Tableau 10 : Mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours pour le modèle M1.

	Mortalité 1j	Survie 90j
selune-17	0,52 %	63%
repeuplement-17	1,10 %	37%
oir-17	0,53 %	62%
selune-18	1,19 %	34%
repeuplement-18	1,76 %	20%

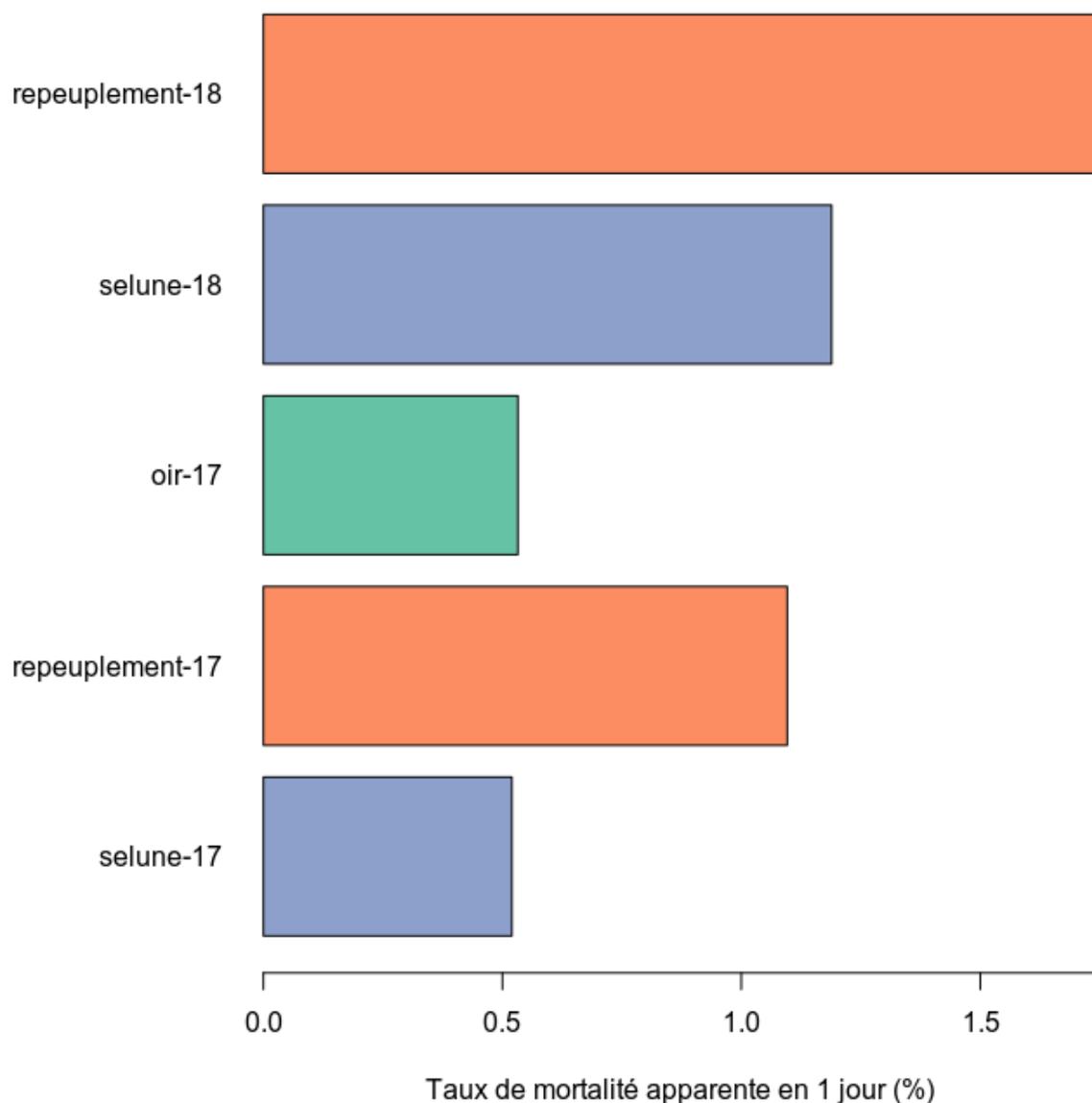


Figure 36 : Taux de mortalité apparente par lot en 1 jour (%) pour le modèle M1.

II.2.4 Les marquées alizarine uniquement

(en collaboration le MNHN : Laure-Sarah Virag, Anthony Acou)

La seule méthode pour vérifier que les individus marqués avec de l'alizarine seulement sont présent (ou non) dans nos échantillons est de sacrifier des individus et rechercher les marques sur les otolithes. Cette recherche a été faite par le MNHN Dinard.

Sur 51 individus analysés issus des pêches électrique de 2017, un seul a présenté une marque ARS. Un problème d'étiquetage empêche néanmoins de donner des informations plus précises.

On peut comparer ce résultat à celui obtenu sur les civelles de repeuplement marquées au VIE. Nous avons retrouvés lors des pêches électriques 50 civelles marquée orange sur les 547 anguilles capturées, soit environ 9 % de la population capturées. Les civelles de repeuplement non marquées VIE sont environ 40 % moins nombreuses que celles marquées au VIE (3635 contre 6062 au moment du déversement), on aurait donc dû trouver en moyenne 2,8 individus marqués à l'alizarine dans les 51 examinés. Il n'est donc pas illogique d'en avoir qu'une seule.

II.2.5 Observations fortuites

Une civelle marquée bleu-bleu (relâchée vers le 30/03/2017) a été recapturée lors des pêches civelles au Gué de l'épine le 12/04/2017 (soit 2 semaines plus tard).

L'Oir est un des observatoire long terme du pôle AFB-INRA Gest'Aqua (Figure 3). À ce titre, des suivis réguliers des migrateurs amphihalins sont effectués sur tout ce bassin. Ce sera l'occasion, après la fin de cette étude de pouvoir continuer à acquérir des données sur les anguilles qui ont pu être marquées avec des VIE.

Dès la première année, de telles recaptures ont été effectuées sur les zones amont du secteur d'étude (Tableau 11). On notera qu'en 2018, seules des anguilles des déversements de 2017 ont été capturées. Cela semble confirmer une bonne progression vers l'amont et une bonne survie de cette cohorte.

Tableau 11 : Observations fortuites d'anguilles marquées lors des opérations régulières de suivi des migrateurs sur l'Oir en 2017 et 2018. Pour la localisation des sites, voir Figure 8. PTE = pêche toutes espèces ; IAA = indice d'abondance anguille.

Date de recapture	Site	Méthode	Marque	Taille (mm)
21/09/2017	PTE01	PTE	orange--	71
21/09/2017	PTE01	PTE	bleu-bleu	68
28/09/2017	IAA1	IAA	bleu-bleu	78
30/09/2017	Cerisel	Piège anguilette	bleu-bleu	65
24/09/2018	PTE01	PTE	bleu-jaune	73
24/09/2018	PTE01	PTE	bleu-jaune	73
24/09/2018	PTE01	PTE	orange--	66
24/09/2018	PTE01	PTE	jaune--	82
24/09/2018	PTE01	PTE	jaune--	74

III. Comparaison de la survie des civelles issues ou non du repeuplement (expérimentation *ex situ*)

III.1 Matériels et méthodes

Dans cette étude, l'objectif était de connaître la survie des civelles naturelles et issues du repeuplement dans un environnement contrôlé.

Les individus utilisés pour cette expérimentation proviennent des lots précédemment établis. Les civelles de « repeuplement » ont été marquées à l'alizarine pour respecter le processus du repeuplement. En 2017, aucun marquage VIE n'a été utilisée pour cette expérimentation, les animaux ayant été maintenus dans des bacs séparés en fonction de leur origine.

Les résultats de cette expérimentation n'ont pas été concluants en 2017. En effet, lors des trois mois d'élevage, correspondant au passage des stades civelle à anguilette, la température de l'eau est fortement montée à la faveur d'une vague de chaleur et nous n'avons pas pu maintenir les lots dont la quasi-totalité des individus sont morts dans les heures ou les jours qui ont suivi la vague de chaleur. Aucune distinction n'a donc pu être faite entre les origines. De même, l'évaluation de la survie n'a pas pu être menée à bien. Ainsi, seuls les essais réalisés en 2018 ont permis de mener à bien cette partie de l'étude.

Trois conditions ont été établies en 2018. Un lot d'individus issus du repeuplement a été mis en acclimatation durant 43 jours dans 4 viviers de 300 L chacun. Chaque lot était initialement constitué de 60 individus. Deux autres lots sont issus de civelles capturées dans la Sélune à deux dates distinctes : le 18 mars 2018 (58 civelles, 60 - 2 mortes avant l'expérimentation) et le 01 avril (160 civelles). Pour ces dernières, 4 viviers de 300 L ont été mis en place pour répartir chaque lot. Les animaux morts étaient retirés quotidiennement

afin de ne pas risquer une contamination du milieu. L'ensemble de l'expérimentation a pris fin après 43 jours.

La température a été contrôlée afin d'être comprise entre 16 et 18°C.

III.2 Résultats

L'existence d'une différence de survie entre les différents groupes a été révélée par un test de Kruskal-Wallis ($p = 0,02$; fonction `kruskal.test` de la bibliothèque `stats`) (Figure 37).

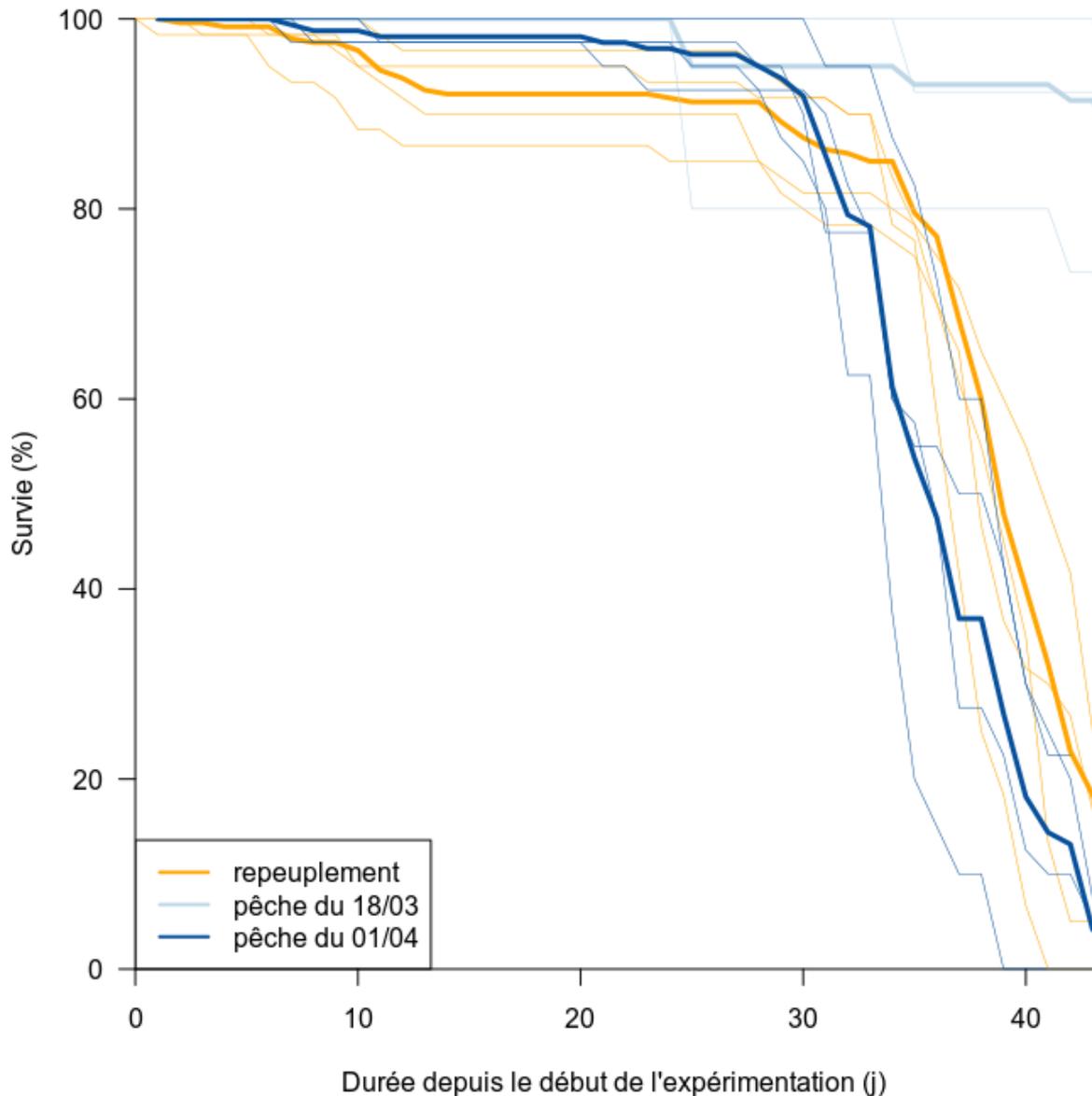


Figure 37 : Survie des civelles issues du repeuplement (orange) et des pêches sur la Sélune (bleu) après 43 jours en mésocosme en 2018. Trait fin = chacun des répliquats ; trait épais = moyenne des répliquats.

Le test de Dunn de comparaisons multiples (fonction `dunnTest` de la bibliothèque `FSA`) montre que les civelles de la pêche du 18/03 ont une survie statistiquement supérieure à celles de la pêche du 01/04 ($p = 0,036$) et à celles du repeuplement ($p = 0,054$), alors que celles de la pêche du 01/04 et celles du repeuplement ont une survie proche ($p = 0,77$).

Il semble donc que la survie des civelles dans ces conditions expérimentales ne soient pas liées qu'à leur origine mais aussi à d'autres facteurs liés au lots ou à l'environnement (ici les mésocosmes).

IV. Test d'un nouveau marqueur interne : la calcéine

(en collaboration avec Fish-Pass : Jean-Marie Caraguel, Virgile Mazel, Fabien Charrier)

IV.1 Contexte

En parallèle de ces expérimentations, un second type de marquage interne a été testé en utilisant non plus de l'alizarine mais de la calcéine. Ces deux molécules se fixent sur l'otolithe, qui est un petit os de l'oreille interne des téléostéens et dont la croissance est continue tout le long de la vie de l'animal. La fluorescence de ces deux molécules, une fois l'otolithe retiré est différente et permet de distinguer des lots. Cependant, la concentration nécessaire sans choc osmotique à l'imprégnation de la calcéine sur l'otolithe de l'anguille européenne reste encore inconnue, ainsi que la survie des civelles marquées à la calcéine. Ainsi, quatre bains de concentration croissante ont été testés afin de déterminer le dosage optimal pour l'utilisation de cette alternative à l'alizarine.

Cette série d'expérimentation a permis de déterminer la survie des individus en fonction du marquage et de la concentration en calcéine ; de même l'efficacité de ce marquage a pu être déterminée.

Le protocole de marquage interne pour les civelles de repeuplement en France est effectué au moyen d'une balnéation dans un milieu avec une concentration en Alizarine (ARS) de 150 mg/l. Sous microscope à fluorescence, les otolithes des individus marqués à l'ARS révèlent une marque rouge (Figure 38) concentrique autour du nucléus. La calcéine sous cette même méthode d'observation prend une coloration du jaune au vert (Figure 38).

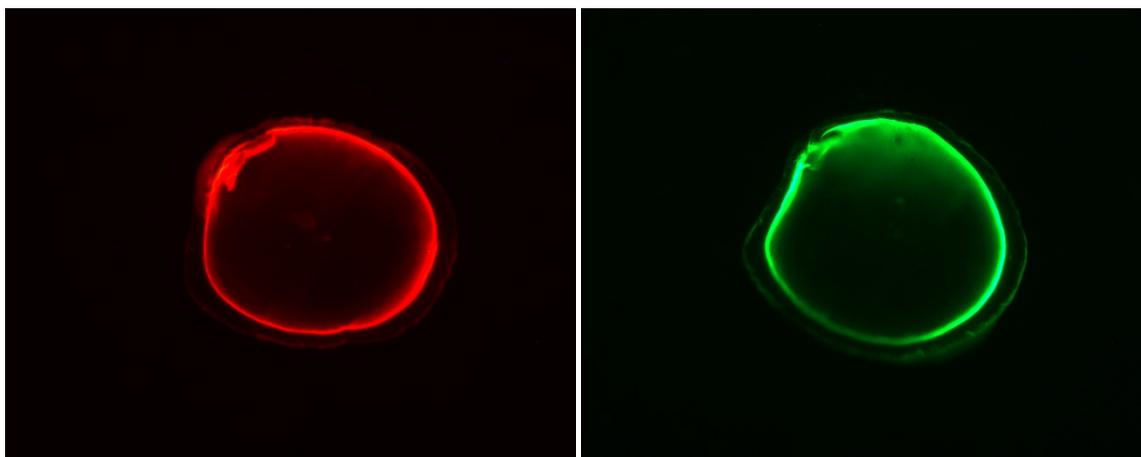


Figure 38 : Otolithe de civelle marqué à l'alizarine ([ARS] = 150 mg/l) à gauche et à la calcéine à droite.

IV.2 Protocole de comparaison des marquages calcéine et alizarine

Lors de cette expérimentation, menée à son terme uniquement en 2018, cinq conditions ont été établies. Un groupe ayant subi le marquage classique à l'ARS et quatre groupes ayant subi un marquage à la calcéine dans un bain de concentration croissante (noté CAL1, CAL2, CAL3 et CAL4) (Tableau 12).

Le matériel biologique utilisé était le même que celui des expérimentations précédemment citées. Ainsi, pour cette expérimentation, environ 1 100 civelles issues de la filière du repeuplement ont été utilisées. Celles-ci ont été achetées auprès du mareyeur Gurruchaga (Charron) et initialement pêchées dans l'UGA Seine-Normandie. La date de leur capture ne nous a pas été communiquée. Les individus utilisés avaient une taille moyenne (\pm écart type) en début d'expérimentation de $67,56 \pm 4,38$ mm et un poids moyen (\pm écart type) de $0,253 \pm 0,06$ g. Leur stade pigmentaire médian était de VIA2.

Tableau 12 : Protocole de marquage des civelles utilisées dans l'évaluation de l'impact de la Calcéine sur les jeunes stades d'anguille européenne.

Lots	ARS	CAL1	CAL2	CAL3	CAL4
Dose (mg/L)	150	3 000	5 000	7 500	10 000
Nb civelles	187	239	236	224	215
Nb lots	4	4	4	4	4

Quel que soit le type de marquage utilisé, le temps de balnéation a été de 3 heures durant lesquelles les conditions physico-chimiques ont été contrôlées (O₂, température, pH, conductivité).

Une fois marquées en interne, les différentes conditions ont été marquées au VIE afin d'être différenciables les unes des autres (Tableau 13).

Tableau 13 : Marquage externe des groupes utilisés dans les tests de marquage à la Calcéine. Lorsqu'un seul marquage VIE est exprimé, une seule tache de couleur a été apposée sur les individus entre la partie centrale et la partie arrière.

Condition	VIE milieu	VIE arrière
ARS	Rouge	Rouge
CAL1		Jaune
CAL2		Orange
CAL3		Bleu
CAL4		Rouge

Les individus utilisés dans les lots de marquage ont ensuite été regroupés puis répartis dans 4 bacs en circuit fermé dans un local et la température a été contrôlée afin d'être comprise entre 16 et 18°C.

La survie des individus a été évaluée quotidiennement pendant 43 jours et les morts retirés afin de prévenir toute contamination. Leur marquage VIE a été noté pour permettre l'identification de leur lot. A l'issue des 43 jours de stabulation, l'ensemble des individus a été sacrifié par surdose de benzocaïne après anesthésie par ce même produit. Les individus ont été conservés à -20°C pour préserver les otolithes. Ceux-ci ont été observés et photographiés sous microscopie à fluorescence (microscope OLYMPUS BX51¹) et lus par deux opérateurs afin de déterminer l'intensité de celle-ci selon cinq niveaux (absence de marque, marque d'intensité très faible, marque faible, marque d'intensité moyenne et marque d'intensité forte).

IV.3 Efficacité du marquage à la calcéine

A l'issue de 43 jours de captivité, la mortalité a été comparée (Figure 39).

La survie des civelles en fonction du marquage reçu montre des différences statistiques (test de Kruskal-Wallis : $p = 0,01$; fonction `kruskal.test` de la bibliothèque `stats`). Le test de Dunn pour les comparaisons multiples (fonction `dunnTest` de la bibliothèque `FSA`) montre que seul le marquage à la calcéine 4 montre une survie inférieure à l'alizarine.

¹ λ excitation = 510-550 nm pour l'ARS et 470-490 pour la CAL, λ émission = 590 nm pour l'ARS et 510-550 pour la CAL, temps d'exposition : 600 millisecondes

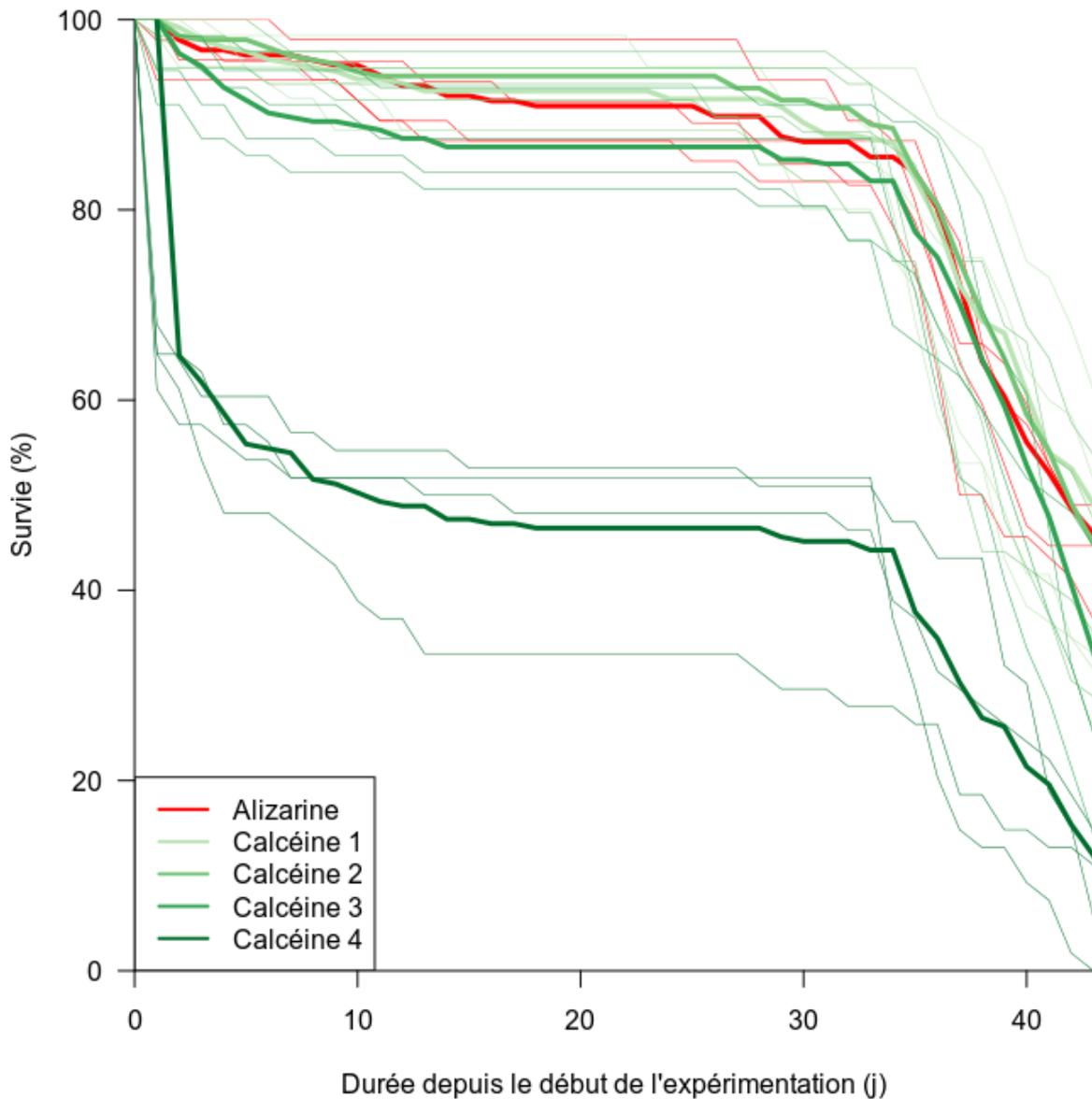


Figure 39 : Survie des civelles/anguillettes des tests de marquage interne. Trait fin = chacun des réplicats ; trait épais = moyenne des réplicats.

Le marquage de l'otolithe ne permet de distinguer les individus que si celui-ci se fixe suffisamment sur l'otolithe pour être distingué. Ainsi, nous avons cherché à évaluer l'efficacité du marquage selon une échelle d'appréciation subjective afin de déterminer la lisibilité de ces marques. Les otolithes ont été soumis à des longueurs d'onde différentes afin de distinguer les deux marqueurs.

L'essentiel des marques rouges sur les otolithes apparaissent pour la condition ARS (Alizarine). Cependant, pour les fortes concentrations en calcéine (CAL4), on peut également détecter une marque rouge (Figure 40). On notera que le marquage VIE choisi de l'ARS et de la CAL4 ne diffère que par le nombre (1 ou 2) de points VIE rouges. Nous avons retrouvé des VIE perdus, on ne peut donc exclure que quelques individus marqué à l'ARS, ayant perdu un des deux points VIE, aient été incorrectement identifiés comme des CAL4 pouvant expliquer une partie des marques rouges lues pour cette modalité.

Pour les marques vertes, la performance des différents marquages suit l'intensité des concentrations en calcéine appliquées lors du marquage (Figure 40).

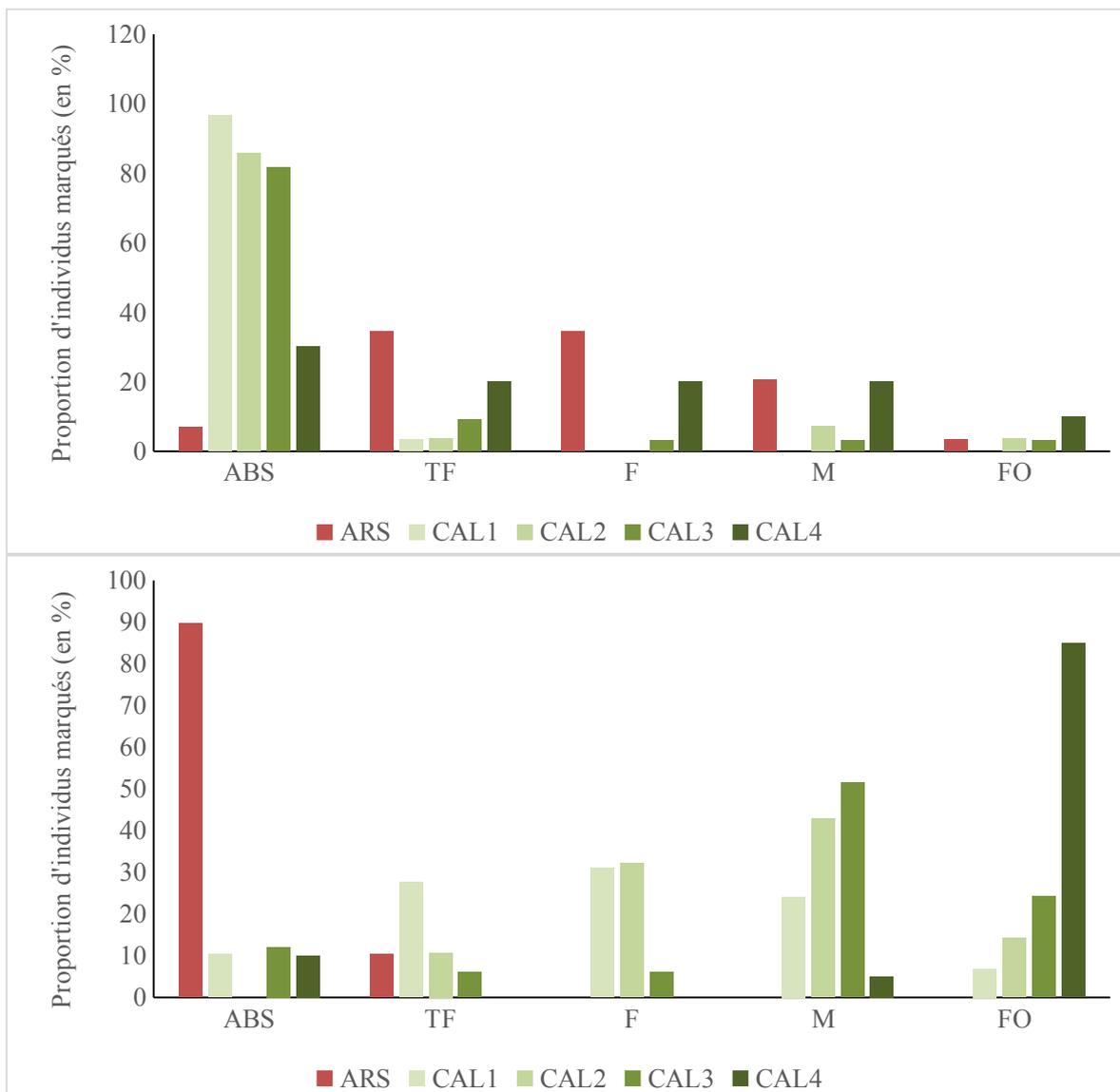


Figure 40 : Intensité du marquage des olivithes dans le rouge (en haut) et dans le vert (en bas) en fonction du conditions d'expérimentation. $N_{ARS} = 29$, $N_{CAL1} = 29$, $N_{CAL2} = 28$, $N_{CAL3} = 33$, $N_{CAL4} = 20$. ABS = absent, TF = très faible, F = faible, M = moyen, FO = fort.

V. Discussion

V.1 Le marquage

Le **marquage externe (VIE)** permet de limiter le recours au sacrifice. Nous avons montré ici qu'il reste praticable pour marquer jusqu'à 2 kg (~ 6 000 individus) de civelles pour une équipe de 5 à 6 personnes pendant 2 jours. Les mortalités à court terme constatées restent faibles. Cela rejoint les conclusions de Imbert *et al.* (2007). Les suivis fait *ex situ* montre une **bonne tenue de la marque** et une **bonne détectabilité** pendant plusieurs dizaines de jours et la littérature montre qu'elles sont excellentes à moyen terme chez l'anguille (Imbert *et al.*, 2007 ; Simon et Dörner, 2011) ou des espèces proches comme la lamproie (Silver *et al.*, 2009). De fait, nous avons capturé en 2018 des anguilles marquées plus d'un an auparavant. On notera néanmoins que la marque VIE de 5 individus capturés lors des pêches électriques n'a été détectée que lors de la biométrie.

À notre connaissance, cette expérimentation est celle qui a marqué le plus grand de jeunes anguilles au VIE et probablement **une des plus importantes toutes marques détectables de manière externe confondues**.

Le marquage externe reste néanmoins limité à de faibles quantités, incompatibles avec les quantités déversées lors du programme national de repeuplement (*a minima* plusieurs dizaines de kilogrammes, Rigaud *et al.*, 2015). Nous avons donc testé une alternative à l'alizarine (la **calcéine, sans choc osmotique**) pour le **marquage interne** afin d'ouvrir de nouvelles possibilités de suivis pour le programme national de repeuplement. L'intensité du marquage à la calcéine montre une relation dose-dépendante. Par ailleurs, la survie des individus marqués à la calcéine est plus faible en augmentant la concentration. Ainsi, il semble que la dose notée Cal2, correspondante à **5 000 mg.l⁻¹**, soit le meilleur compromis. À cette concentration, la survie ne semble pas impactée par le marquage et celui-ci est suffisamment distinct sur les otolithes pour ne pas être manqué. Ce marqueur nécessite néanmoins d'utiliser plus de 30 fois plus de produits qu'avec l'alizarine et ce produit est 25 fois plus cher. Son applicabilité risque donc d'être **limitée à des projets particuliers, compte tenu du coût** que cela représente.

V.2 Les méthodes de recapture

Dans cette étude, deux méthodes de recapture ont été utilisées. La pêche électrique est une méthode couramment utilisée dans le suivi poissons. Les **flottangs** sont des engins qui n'ont été que récemment développés (Schaal, 2014) et sur lesquels nous n'avons que peu de recul. Cependant leur principe est le même que celui de n'importe quel engin de capture passif. Ceux-ci sont **particulièrement sélectifs** à l'anguille et plus particulièrement à **l'anguille de petite taille**.

Une journée de recapture en pêche électrique est environ 9 fois plus efficace qu'une journée de recapture avec les flottangs. Elle mobilise néanmoins une équipe bien plus importante (6 à 8 personnes pour une journée pleine) alors qu'une pêche flottang mobilise seulement 2 agents pour 2-3 heures. Les flottangs permettent ainsi de produire un effort étalé dans le temps lorsque l'on a une équipe de technicien sur place (49 journées en 2017 et 24 journées en 2018) et donc de s'affranchir en partie des aléas environnementaux. Alors que les pêches électriques de 2018 ont été relativement perturbées par les débits plus élevés (efficacité moindre), l'efficacité des flottangs a été meilleure en 2018 qu'en 2017. Avec uniquement les pêches électrique en 2018, nous n'aurions capturé que 19 individus marqués déversés en 2018 rendant une année complète d'expérimentation quasiment inutilisable. Par ailleurs, **l'utilisation exclusive de la pêche électrique aurait conduit à une**

sous-estimation généralisée des survies apparentes mais n'aurait que peu changer les conclusions sur les performances respectives des lots.

V.3 Caractéristiques biométriques – performance de croissance

Les civelles utilisées pour simuler le repeuplement en 2018 ont suivi le circuit habituel du repeuplement, celui-ci a été simulé pour les civelles utilisées en 2017. Les stades pigmentaires des civelles repeuplement pour les deux années sont proches de ceux constatés lors de certains événements de repeuplement effectués par le passé (Rigaud *et al.*, 2015).

Les **stades pigmentaires des civelles repeuplement** sont néanmoins **plus tardifs** que ceux des civelles pêchées dans la Sélune, en particulier, celle du repeuplement 2017. Celles du repeuplement 2018 se rapprochent de celles de la Sélune pêchées en fin de saison. Enfin les civelles pêchées directement sur l'Oir présentent également des stades tardifs.

En ce qui concerne la taille, les **civelles de repeuplement 2017 sont particulièrement petites**, proches de civelles de fin de saison alors que celles de 2018 et celles capturées directement sur l'Oir sont grandes et proches de civelles de début de saison.

En ce qui concerne l'indice de condition, on notera simplement que **les civelles de repeuplement 2017 sont particulièrement en mauvaises conditions**.

La diminution des tailles observées au cours de la saison sur les civelles pêchées sur la Sélune est classiquement rencontrée (de Casamajor *et al.*, 2000 ; Dekker, 1998 ; Desaunay et Guérault, 1997). On observe par ailleurs une variabilité intersaisonnière (dans notre cas celles de 2017 sont plus petites que celles de 2018) également observée dans d'autres études et qui a été reliée aux conditions océaniques (Dekker, 1998 ; Desaunay et Guérault, 1997). On notera d'ailleurs que le recrutement 2018 a été légèrement supérieur à celui de 2017 (Anonyme, 2018b).

Au bout de 3 mois (au cours de l'été), toutes les civelles se sont métamorphosées en anguillettes comme attendu (Elie *et al.*, 1982). On n'observe en revanche **pas de modification (augmentation) des tailles ou des indices de condition**. Ceci est cohérent avec les conclusions de Rigaud *et al.* (2015) qui montre une **croissance très faible** (en général inférieure à 10 mm) au bout de 6 mois pour les rivières de Normandie.

V.4 Survie

Nous avons marqués au VIE et suivi au cours de ces deux années 10 lots de civelles naturelles issus de la Sélune et 2 lots de civelles de repeuplement, auquel s'ajoute en 2017 des civelles naturelles de l'Oir, soit en tout **plus de 20 000 civelles marquées et suivies**. Des anguilles de ces 13 lots ont pu être recapturées, y compris des moins nombreux (5 lots avaient moins de 350 individus : de 230 à 320). Au total, **475 anguilles marquées au VIE ont été recapturées** lors des pêches de cette expérimentation, soit **2,3 % des anguilles marquées**.

Alors que le nombre déversé de civelles de **repeuplement** est plus élevé (6062 en 2017 et 6173 en 2018, soit au total 12235) que les civelles naturelles de la Sélune (respectivement 4503 et 3582, soit au total 8085), nous les avons **recapturées en nombre moins important dans les 3 mois** qui ont suivi le déversement (132, soit 1,1 % contre 301, soit 3,7 %). On notera que les civelles naturelles de l'Oir ont un taux de recapture de 7,2 % (23 sur 320). Cet écart dans la recapture semble **perdurer dans le temps**, puisque pour les lots déversés en 2017 le taux de recapture en 2018 est respectivement de 0,13 %, 0,20 % et 0,63 % pour les repeuplements, les naturelles Sélune et Oir.

Les **taux de recapture** que nous observons sont **dans la moyenne de la littérature**. En effet, Ovidio *et al.* (2015) recapture 0,7 % des civelles repeuplées dans trois rivières belges par pêche électrique un an après le déversement. Simon et Dörner (2014) ont des taux de recapture variant de 1 à 15 % en effectuant 6 à 10 pêches électriques dans 5 lacs allemands différents. Andersson *et al.* (1991) ont recapturé 3,5 % des anguillettes repeuplées en échantillonnant pendant 7 ans en Suède. Wickström *et al.* (1996), dans 2 lacs suédois, ont recapturé au stade anguille jaune et anguilles argentées 1,7 % et 11 % des anguillettes déversées. Dahl (1967 *in* Anonyme, 2009) a recapturé 11,5 % des anguilles un an après le déversement des civelles grâce à la vidange d'un barrage en Suède.

Le dispositif expérimental, en particulier les recaptures au flottang, permet de voir une décroissance des individus présent sur le site d'étude. Cette décroissance permet de calculer un taux de disparition de la zone d'étude. Cette disparition est due soit à la mortalité des individus soit à une émigration hors de la zone d'étude. Bien qu'il ait des interprétations écologiques très différentes, ces deux phénomènes ne peuvent pas être séparés statistiquement. Si nous imputons cette disparition entièrement à la mortalité, nous la surestimerons (et sous-estimerons donc la survie). La distribution des recaptures au sein de la zone d'étude laisse penser que les anguilles suivies ont émigré peu. En effet, il n'y a aucune capture d'anguilles marquées sur les deux flottang du secteur 10 en amont et très peu sur le secteur 1 en aval. Néanmoins, nous avons 2 individus 'bleu-bleu' (relâchés le 30/03/2017, lot de naturelle Sélune le plus important) qui ont été recapturés de manière fortuite l'une à l'aval sur la Sélune (le 12/04/2017) et l'autre en amont sur le piège à anguilette à Cerisel (le 30/09/2017). On peut donc raisonnablement penser que **l'essentiel** de la disparition des anguilles de la zone d'étude **est de la mortalité**, même si une partie est à l'évidence de l'émigration. Le terme « **mortalité apparente** » (et « **survie apparente** ») reflète ce niveau de certitude.

Les résultats bruts de l'étude *in situ* (voir ci-dessus les différences dans les taux de recaptures), l'analyse des recaptures *in situ* et l'expérimentation *ex situ* montrent tous que la **survie** (apparente dans le cas de l'étude *in situ*) est **significativement moins importante (environ -50 %) pour les lots issus de la filière repeuplement** (de l'ordre de 20 % à 40 % en 3 mois) comparativement aux lots de civelles naturelles issues de la Sélune ou de l'Oir (de l'ordre de 35 % à 60 % en 3 mois). Ces résultats généraux ne doivent néanmoins pas masquer la **variabilité** que nous avons rencontrée. La survie apparente a ainsi été moins importante pour l'ensemble des lots en 2018 par rapport à 2017 ; on retrouve des écarts importants entre les lots de naturelles, en particulier pour les lots de fin de période qui peuvent avoir une survie apparente inférieure (mais de manière non significative) au lot de repeuplement de la même année. On notera néanmoins que ces lots sont ceux qui étaient les moins nombreux et que les estimations de mortalité présentent des écarts-types importants pour ces lots. L'expérimentation *ex situ* présente aussi cette variabilité entre les lots de civelles naturelles.

Les données sur la survie au stade civelles sont rares (Frotté *et al.*, 2012). Anonyme (2016) note d'ailleurs que **la présente étude est la seule** qui vise à évaluer la survie des premiers mois suivant le repeuplement de civelles et à la comparer aux civelles naturelles. Berg et Jørgensen (1994) estiment, sur 3 sites différents, des survies à 100 jours de civelles repeuplées dans des rivières danoises à 9,7 %, 21,6 % et 25,1 %. Rigaud *et al.* (2015) ont expertisé la survie à 6 mois (entre autres) des projets du programme national repeuplement (année 2011 à 2013). Ils estiment une survie apparente qui varie entre 0,4 % et 45 % (Figure 41). Les auteurs estiment qu'une survie supérieure à 15 % doit être considérée comme bonne. Simon et Dörner (2014) estiment que la survie au bout de 3 à 6 ans de civelles repeuplées dans 5 lacs allemands varie de 5 % à 45 %. Ces chiffres ne sont pas

directement comparable au nôtre, ils doivent être pris comme une sous-estimation de la survie à 3 mois. Bisgaard et Pedersen (1991) estiment la mortalité dans des rivières danoises d'anguilles repeuplées au stade anguillette à 2,4 (taux annuel) pour les moins de 15 cm, soit une survie à 3 mois de 55 % et pour les naturelles de la même classe de taille à 1,79, soit une survie de 64 %. Ces auteurs concluent à une différence significative de survie entre ces deux sources d'anguilles. Pedersen (2009) a évalué que la survie à 100 jours d'anguillettes (2-5 g) sur 11 sites de deux rivières danoises est comprise entre 0 % et 52 %. Pedersen *et al.* (2017) estime que la survie au bout de 5 mois d'anguilles naturelles (~ 15 cm) transplantées dans des étangs danois varie de 40 à 70 %. Anonyme (2009) a conclu que, sur la base de la littérature disponible, les anguilles issues du repeuplement ont une survie comprise entre 25 % et 100 % de celle des anguilles naturelles. Les niveaux de survie à 3 mois trouvés par notre étude et la significativité de la différence entre les civelles des deux origines sont donc compatibles avec la maigre littérature existante.

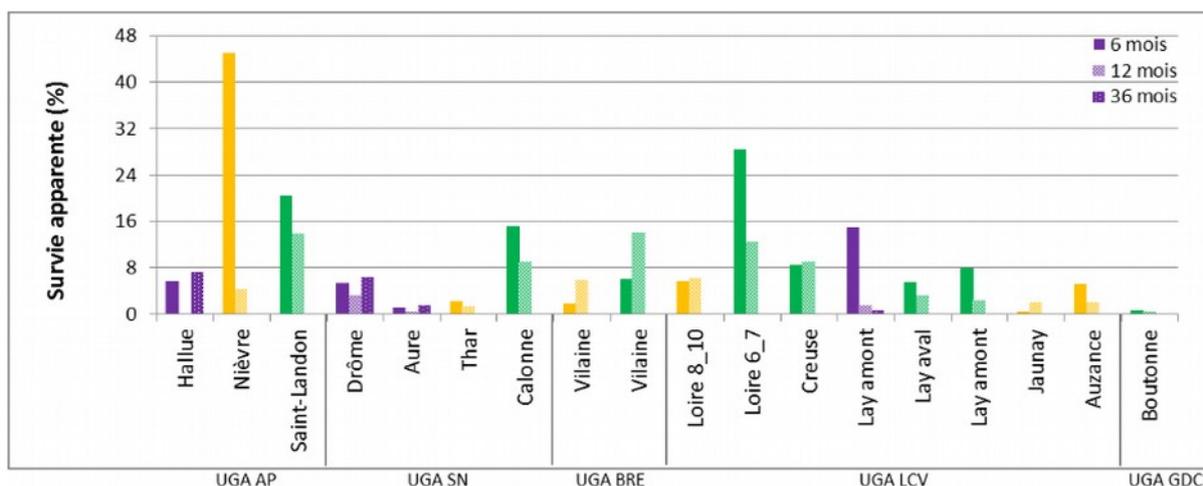


Figure 41 : Survie apparente évaluée par Rigaud *et al.* (2015) des projets du programme national de 2011 (violet), 2012 (orange) et 2013 (vert).

Pour avoir une vision complète de la survie des civelles des trois origines sur les premiers mois de vie continentale, il faudrait **ajouter les mortalités ayant eu lieu avant notre étude** (Figure 42). Les civelles naturelles de l'Oir ont subi la mortalité naturelle dans l'estuaire de la Sélune puis dans l'Oir jusqu'à leur capture dans les flottang. Les civelles naturelles de la Sélune ont subi une partie de la mortalité naturelle dans l'estuaire de la Sélune jusqu'à leur capture en aval de celui-ci. Elles ont ensuite pu subir des mortalités dans les quelques heures qui ont suivi, jusqu'à leur marquage au VIE. Nous n'avons pas enregistré les mortalités lors de cette phase, mais si elles ont existé, elles sont demeurées très faibles. Enfin les civelles de repeuplement ont été capturées dans un estuaire. Dans le cas de l'UGA Seine-Normandie et de l'UGA Artois-Picardie, les pêcheries sont très en aval des estuaires. Sur d'autres UGA, elles peuvent se situer jusqu'à la limite de marée dynamique. Des mortalités liées à la pêche peuvent avoir lieu dans les quelques heures à jours suivant leur capture. En fonction du type de pêcherie, elles peuvent varier de quasiment rien à 80 % (Anonyme, 2016). Des mortalités peuvent ensuite avoir lieu lors du stockage chez les mareyeurs. Lors de ce processus la mortalité peut aller de 3 % (Anonyme, 2016) à 40 % (Frotté *et al.*, 2012). Une mortalité peut également avoir lieu lors des différentes phases de transport (du lieu de pêche au lieu de stabulation, ce qui peut se dérouler en plusieurs étapes et du lieu de stabulation au cours d'eau). La mortalité lors de ces phases n'ont jamais été évaluées (Anonyme, 2016). Parmi ces trois trajectoires, c'est *a priori* les civelles de la Sélune qui ont dû subir le moins de mortalités avant notre étude. Il est ensuite difficile d'évaluer les mortalités supplémentaires réellement subies par les civelles de l'Oir ou celles de repeuplement. On notera de plus que ce que nous appelons naturelles Sélune sont des poissons qui, de fait, ont été transférés depuis l'aval de leur estuaire vers l'amont

de l'estuaire sur un affluent. Cela a nécessité de les capturer et de les transporter (en plus du marquage). Nous avons néanmoins pris toutes les précautions (méthode douce de capture, distance et temps de transport très réduit) afin de réduire au maximum l'impact de ce transfert. De fait, on ne note aucune différence en termes de survie (mais il y en a sur leurs caractéristiques biométriques) entre ces civelles et les naturelles Oir. Enfin les civelles naturelles Oir sont celles qui ont subi la traversée de l'estuaire et ont pénétré dans l'Oir (contrairement à la majorité de leurs congénères qui ont vraisemblablement poursuivi leur route sur la Sélune). Elles ont donc subi certaines pressions de sélection au cours de ce parcours qui a pu contribuer à sélectionner les individus les plus adaptés à la survie sur l'Oir. En effet, elles arrivent plus tard, avec des stades plus avancés. Elles ont également une survie parmi les plus élevées. Ce phénomène d'adaptation locale a en particulier été décrit chez l'anguille américaine (Côté *et al.*, 2015 ; Gagnaire *et al.*, 2012).

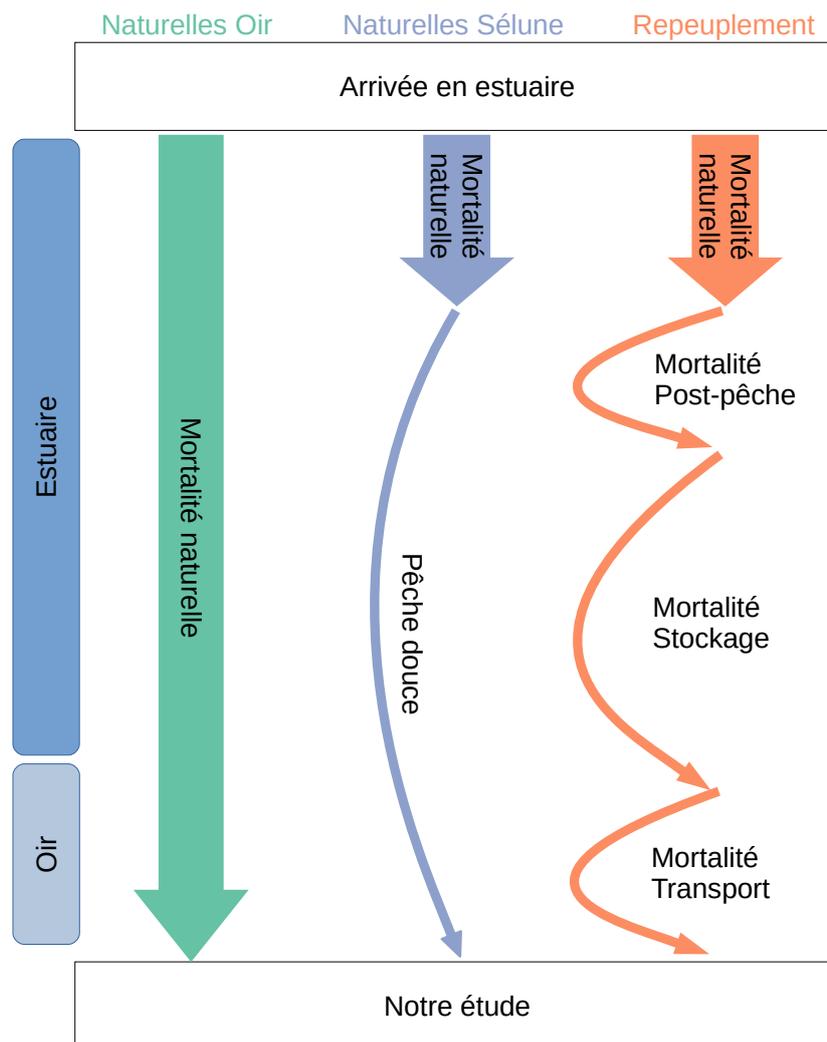


Figure 42 : Trajectoire des civelles des trois origines avant l'inclusion dans notre étude (adapté de Anonyme, 2016).

V.5 Dispersion / Déplacement

Notre dispositif de suivi couvre environ 1 km en aval et en amont de la zone de relâcher. L'habitat autour de la zone de relâcher est constitué d'une alternance de radiers et de plat, *a priori* propice aux jeunes anguilles (Laffaille *et al.*, 2004). L'aval de la zone d'étude est constitué par la confluence avec la Sélune. À l'amont de la zone, se situe la station de piégeage de l'Oir qui est notamment équipé d'une passe-piège à anguilllette. Ce piège est néanmoins très partiel.

À part pour les pêches électriques de 2018, la recapture **maximum** est faite sur le secteur 6, à savoir **juste en amont de la zone de relâcher**. Les pêches électriques de 2018 ne permettent toutefois de recapturer qu'un nombre très faible d'individus. Les résultats de l'année 2017, en particulier ceux des flottangs, montre une **dispersion autour de ce maximum relativement faible**. Il n'existe de plus pas de différences significatives entre les anguilles naturelles et repeuplement. Ceci est **cohérent avec la littérature**. En effet, Ovidio *et al.* (2015) montrent une dispersion limitée à une centaine de mètres autour du point de déversement des civelles. Perderson (2009) montre une dispersion des anguillettes de 3g et de 9g limitée à quelques centaines de mètres autour de la zone de lâcher, même si sur un site il retrouve des anguillettes jusqu'à 3,5 km en amont. Berg et Jørgensen (1994) font le même constat avec des distances maximum parcouru vers l'aval et vers l'amont du site de lâcher toujours inférieur à 1 km. Rigaud *et al.* (2015) constate que, sur les repeuplements réalisés en France et les suivis qui ont eu lieu jusqu'à 3 ans après les déversements, la distance colonisée est au maximum 3 km vers l'aval et 7 km vers l'amont. Verreault *et al.* (2009) montrent que, pour l'anguille américaine, la dispersion se limite aussi à 1 km autour des sites de relâcher.

VI. Conclusions

Notre étude est inédite puisqu'elle est la première à permettre une estimation *in situ* de la survie au cours des 3 premiers mois de civelles naturelles et de repeuplement. Elle met en évidence, malgré la variabilité naturelle, une différence significative de survie entre les civelles des deux origines, en défaveur des civelles issues de la filière repeuplement (réduite de moitié). Elle confirme ainsi la performance moindre des anguilles de repeuplement obtenus dans d'autres contextes et sur d'autres stades par différents auteurs. À cela s'ajoute les mortalités qui peuvent exister lors des phases précédentes (de la pêche au déversement) qui pourraient accentuer encore le différentiel.

Sur les autres critères de performance (dispersion et croissance), notre étude ne montre en revanche pas de différences significatives entre les anguilles issues du repeuplement et les anguilles naturelles. Néanmoins la durée du suivi et la faible croissance sur la rivière ne permet pas véritablement de conclure en ce qui concerne la croissance.

VII. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les financeurs de cette étude (DPMA / MAA et AFB). Cette étude a également bénéficié d'un support important de toute l'équipe technique de l'observatoire long terme de l'Oir et de la PEARL. Qu'ils soient tous remerciés de leur appui indispensable.

VIII. Bibliographie

- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In pp. 267–281. Ed. by B. N. Petrov and F. Csàki. Akademiai Kiado. reprinted in Kotz, S et Johnson, N.L.1992.
- Andersson, J., Sandström, O., and Hansen, H. j. m. 1991. Elver (*Anguilla anguilla* L.) stockings in a Swedish thermal effluent-recaptures, growth and body condition. *Journal of Applied Ichthyology*, 7: 78–89.
- Anonyme, 2007. Règlement (CE) N°1100/2007 du Conseil du 18 septembre 2007 instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Official journal of the European Union: L248/17-L248-23.
- Anonyme. 2009. Report of the 2009 session of the joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. No. EIFAC Occasional Paper. No. 45 ; ICES CM 2009/ACOM:15. EIFAC, ICES, Göteborg, Sweden.
- Anonyme. 2014. Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel. No. ICES CM 2014/ACOM:18. ICES CM 2014/ACOM:18. ICES, Copenhagen, Denmark.
- Anonyme. 2016. Report of the Workshop on Eel Stocking (WKSTOCKEEL). No. ICES CM 2016/SSGEPD:21. ICES CM 2016/SSGEPD:21. ICES, Copenhagen, Denmark.
- Anonyme, 2018a. Plan de gestion anguille de la France. Rapport de mise en œuvre - juin 2018. Article 9 du R (CE) n°1100/2007. République Française.
- Anonyme. 2018b. Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL). ICES CM 2018/ACOM:15. Gdańsk, Poland.
- Berg, S., and Jørgensen, J. 1994. Stocking experiments with 0+ eel (*Anguilla anguilla*) in Danish stream: post-stocking movements, densities and mortality. In *Rehabilitation of freshwater fisheries*, p. 314–325. Ed. by I. G. Cowx. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Bisgaard, J., and Pedersen, M. I. 1991. Mortality and growth of wild and introduced cultured eels (*Anguilla anguilla* (L.)) in a Danish stream, with special reference to a new tagging technique. *Dana*, 9: 57–69.
- Blackwell, B. G., Brown, M. L., and Willis, D. W. 2000. Relative weight W_r status and current use in fisheries assessment and management. *Reviews in Fisheries Science*, 8: 1–44.
- Briand, C., Bardonnet, A., and Rigaud, C. 2008. Connaissances et recommandations scientifiques du Groupe anguille du Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Poissons Amphihalins (GIS GRISAM) pour la mise en oeuvre française du règlement européen visant à restaurer le stock d'anguille. Convention avec le Ministère de l'Agriculture et des Pêches. Convention avec le Ministère de l'Agriculture et des Pêches. GRISAM.
- Côté, C. L., Pavey, S. A., Stacey, J. A., Pratt, T. C., Castonguay, M., Audet, C., and Bernatchez, L. 2015. Growth, Female Size, and Sex Ratio Variability in American Eel of Different Origins in Both Controlled Conditions and the Wild: Implications for Stocking Programs. *Transactions of the American Fisheries Society*, 144: 246–257.
- Creutzberg, F. 1958. Use of tidal streams by migrating elvers (*Anguilla vulgaris* Turf.). *Nature*, 181: 357–358.

- De Casamajor, M. N., Prouzet, P., and Lazure, P. 2000. Identification des flux de civelles (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydrodynamiques de l'estuaire de l'Adour. *Aquatic Living Resources*, 13: 411–420.
- Dekker, W. 1998. Long-term trends in the glass eels immigrating at Den Oever, the Netherlands. *Bulletin Français De La Pêche Et De La Pisciculture*, 349: 199–214.
- Dekker, W., and Beaulaton, L. 2016. Faire mieux que la nature? The History of Eel Restocking in Europe. *Environment and History*, 22: 255–300.
- Desaunay, T., and Guérault, D. 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae: a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. *Journal of Fish Biology*, 51 (Supplement A): 317–339.
- Élie, P., Lecomte-Finiger, R., Cantrelle, I., and Charlon, N. 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* (Poisson, Téléostéens, Anguilliforme). *Vie et Milieu*, 32: 149–157.
- Frotté, L., Feunteun, E., and Acou, A. 2012. État de l'art du repeuplement d'anguilles et de la mesure de son efficacité. Rapport Onema-MNN. MNHN, Dinard.
- Gagnaire, P.-A., Normandeau, E., Côté, C., Hansen, M. M., and Bernatchez, L. 2012. The Genetic Consequences of Spatially Varying Selection in the Panmictic American Eel (*Anguilla rostrata*). *Genetics*, 190: 725–736.
- Imbert, H., Beaulaton, L., Rigaud, C., and Élie, P. 2007. Evaluation of visible implant elastomer as a method for tagging small European eels. *Journal of Fish Biology*, 71: 1546–1554.
- Laffaille, P., Baisez, A., Rigaud, C., and Feunteun, E. 2004. Habitat preferences of different European eel size classes in a reclaimed marsh: a contribution to species and ecosystem conservation. *Wetlands Journal*, 24: 642–651.
- McCullagh, P., and Nelder, J. A. 1989. Generalized linear models. Chapman and Hall, London. 511 pp.
- Ovidio, M., Seredynski, A. L., Philippart, J.-C., and Matondo, B. N. (n.d.). A bit of quiet between the migrations: the resting life of the European eel during their freshwater growth phase in a small stream. *Aquatic Ecology*: 1–11.
- Pedersen, M. I. 2009. Does stocking of Danish lowland streams with elvers increase European eel populations. In *American Fisheries Society Symposium*, p. 149–156. American Fisheries Society.
- Pedersen, M. I., Jepsen, N., and Rasmussen, G. 2017. Survival and growth compared between wild and farmed eel stocked in freshwater ponds. *Fisheries Research*, 194: 112–116.
- Rigaud, C., Beaulaton, L., Briand, C., Charrier, F., Feunteun, E., Mazel, V., Pozet, F., et al. 2015. Le programme français de repeuplement en civelles. Bilan des trois premières années de transferts. Rapport d'expertise. GRISAM. <https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/205>
- Schaal, A. 2014. Colonisation de L'anguille : recherche et mise en place d'une méthode de suivi par piégeage sur le bassin charente. Université Joseph Fourier, Grenoble. 43 pp.
- Silver, G. S., Luzier, C. W., and Whitesel, T. A. 2009. Detection and Longevity of Uncured and Cured Visible Implant Elastomer Tags in Larval Pacific Lampreys. *North American Journal of Fisheries Management*, 29: 1496–1501.
- Simon, J., and Dörner, H. 2011. Growth, mortality and tag retention of small *Anguilla anguilla* marked with visible implant elastomer tags and coded wire tags under laboratory conditions. *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 94–99.
- Simon, J., and Dörner, H. 2014. Survival and growth of European eels stocked as glass- and farm-sourced eels in five lakes in the first years after stocking. *Ecology of Freshwater Fish*: 40–48.
- Verreault, G., Dargere, W., and Tardif, R. 2009. American eel (*Anguilla rostrata*) movements, growth and sex ratio following translocation. In *els at the Edge*:

Science, Status, and Conservation Concerns. Ed. by J. M. Casselman and D. K. Cairns. Bethesda, Maryland, USA.

Wickström, H., Westin, L., and Clevestam, P. 1996. The biological and economic yield from a long-term eel-stocking experiment. *Ecology of Freshwater Fish*, 5: 140–147.

IX. Table des illustrations

Index des figures

Figure 1 : Cycle de vie de l'anguille européenne © AFB 2018.....	6
Figure 2 : Déclin des arrivées de civelles depuis 1960 (Anonyme, 2018b ; série Elsewhere ; base 100 = moyenne 1960-1979).....	6
Figure 3 : les 4 observatoires long ferme du pôle AFB-INRA Gest'Aqua.....	8
Figure 4 : Nombre de civelles capturées en 2017 (y compris décembre 2016) et 2018. Attention l'effort de pêche n'est pas constant.....	9
Figure 5 : Civelles marquées au VIE en 2017.....	10
Figure 6 : Date de captures des civelles issues directement de l'Oir.....	11
Figure 7 : Secteur de capture des civelles issues directement de l'Oir.....	12
Figure 8 : Disposition des flottangs le long de l'Oir. La pointe de la flèche indique le début des secteurs et l'emplacement des flottangs. La couleur rouge correspond au faciès plat lent/profond, le vert correspond aux radiers et le violet symbolise les plats courants. Les ellipses blanches représentent les moulins (Geins et Cerisel) présent sur le secteur d'étude. Le nombre de flottang indiqué correspond au nombre maximum sur le secteur.....	13
Figure 9 : Débit moyen journalier de l'Oir mesuré à Cerisel (Ducey, source : banque hydro, station I9253010) et nombre de civelles relâchées dans le cours d'eau en fonction de leur origine et de l'année de relâcher.....	14
Figure 10 : Flottang sur le secteur 9.....	15
Figure 11 : Localisation précise des flottangs sur l'Oir.....	15
Figure 12 : Relève des flottangs en 2017 (nombre à l'eau = barre ; proportion relevée = diamant)....	18
Figure 13 : Nombre d'individus capturés par espèce dans les flottangs en 2017.....	19
Figure 14 : Proportion (%) de chaque classe de taille (en cm) des anguilles européennes capturées dans les flottangs en 2017.....	19
Figure 15 : Répartition des civelles/anguillettes marquées, recapturées dans les flottangs en 2017. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6.....	20
Figure 16 : Répartition des anguillettes marquées, recapturées par pêche électrique en 2017 (campagne du 02/08/2017 uniquement). Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6. NA représente l'anguille qui n'a été identifiée que lors de la biométrie.....	20
Figure 17 : Répartition des civelles/anguillettes non marquées, capturées dans les flottangs en 2017. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Cela comprend les 320 civelles qui ont été marquées d'un point de VIE jaune (Figure 7).	21
Figure 18 : Relève des flottangs en 2018 (nombre à l'eau = barre ; proportion relevée = diamant)...	22
Figure 19 : Nombre d'individus capturés par espèce dans les flottangs en 2018.....	22
Figure 20 : Proportion (%) de chaque classe de taille (en cm) des anguilles européennes capturées dans les flottangs en 2018.....	23
Figure 21 : Capture de civelles (marquées ou non) par les flottangs sur l'Oir en 2017 et 2018.....	24
Figure 22 : Répartition des civelles/anguillettes marquées, recapturées dans les flottangs en 2018. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6.....	25
Figure 23 : Répartition des anguillettes marquées, recapturées par pêche électrique en 2018 (les deux campagnes confondues). Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10). Les civelles ont toutes été relâchées entre les secteurs 5 et 6. NA représente les anguilles qui n'ont été identifiées que lors de la biométrie.....	25
Figure 24 : Répartition des civelles/anguillettes non marquées capturées dans les flottangs en 2018. Les numéros correspondent aux secteurs (Figure 8) et sont classés du plus aval (1) au plus amont (10).....	26
Figure 25 : Taille des civelles déversées (T0) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques détermi-	

nés par le test post-hoc (voir texte). Le nombre d'individus est également donné (sous la forme "n=").....	26
Figure 26 : Taille des anguilles recapturées (Tf) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). Le nombre d'individus est également donné (sous la forme "n=").....	27
Figure 27 : Relation taille-poids des civelles déversées (T0) et des anguilles recapturées (Tf) en fonction de leur origine. La régression (ligne) est la régression quantile 75 % (voir texte).....	28
Figure 28 : Indice de condition des civelles déversées (T0) et recapturées (Tf) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). "sans objet" désigne les anguilles recapturées sans marquage externe. Les nombres d'individus sont données aux figures 25 et 26 ; pour les "sans objet" n = 251.....	29
Figure 29 : Stade pigmentaire des civelles déversées (T0) en fonction de l'année, l'origine et la période (pour celles de la Sélune). Les lettres à gauche des catégories donnent les groupes statistiques déterminés par le test post-hoc (voir texte). Le nombre d'individus est également donné (sous la forme "n=").....	30
Figure 30 : Distribution des stades pigmentaires observés sur 50 civelles lors des déversements des projets du programme de repeuplement français de 2011 à 2013 (Rigaud et al. 2015).....	31
Figure 31 : Données brutes de recapture en fonction de la méthode, de l'année de capture, de l'origine et de la durée depuis le déversement. Attention à l'échelle logarithmique pour le pourcentage de recapture (nombre de capturées sur nombre de déversées). Les captures nulles ont été arbitrairement représentées à un pourcentage de recapture de 0,01.....	32
Figure 32 : Valeurs des coefficients liés à la méthode (en interaction avec l'année), modèle M0.....	33
Figure 33 : Valeurs des coefficients liés au lot (en interaction avec la durée), modèle M0. Classement par ordre de date de déversement (la plus récente en haut).....	34
Figure 34 : Taux de mortalité apparente par lot en 1 jour (%) pour le modèle M0. Classement par ordre de date de déversement (la plus récente en haut).....	35
Figure 35 : Survie apparente par lot au bout de 90 jours (%) pour le modèle M0. Classement par ordre de date de déversement (la plus récente en haut).....	36
Figure 36 : Taux de mortalité apparente par lot en 1 jour (%) pour le modèle M1.....	40
Figure 37 : Survie des civelles issues du repeuplement (orange) et des pêches sur la Sélune (bleu) après 43 jours en mésocosme en 2018. Trait fin = chacun des répliqués ; trait épais = moyenne des répliqués.....	42
Figure 38 : Otolithe de civelle marqué à l'alizarine ([ARS] = 150 mg/l) à gauche et à la calcéine à droite.....	43
Figure 39 : Survie des civelles/anguillettes des tests de marquage interne. Trait fin = chacun des répliqués ; trait épais = moyenne des répliqués.....	45
Figure 40 : Intensité du marquage des otolithes dans le rouge (en haut) et dans le vert (en bas) en fonction des conditions d'expérimentation. N _{ARS} = 29, N _{CAL1} = 29, N _{CAL2} = 28, N _{CAL3} = 33, N _{CAL4} = 20. ABS = absent, TF = très faible, F = faible, M = moyen, FO = fort.....	46
Figure 41 : Survie apparente évaluée par Rigaud <i>et al.</i> (2015) des projets du programme national de 2011 (violet), 2012 (orange) et 2013 (vert).....	50
Figure 42 : Trajectoire des civelles des trois origines avant l'inclusion dans notre étude (adapté de Anonyme, 2016).....	51

Index des tableaux

Tableau 1 : Civelles pêchées et relâchées et code couleur utilisé pour le marquage VIE des civelles naturelles Sélune en 2017. La date du lâcher est la moyenne pondérée des différentes dates de lâcher pour chaque période de pêche.....	10
Tableau 2 : Civelles pêchées et relâchées et code couleur utilisé pour le marquage VIE des civelles naturelles Sélune en 2018. La date du lâcher est la moyenne pondérée des différentes dates de lâcher pour chaque période de pêche.....	11
Tableau 3 : Capture d'anguillettes par les méthodes passives et actives en 2017 et 2018. Les résultats sont exprimés en nombre d'individus capturés. Les résultats sont exprimés en nombre d'individus capturés. Les civelles dites « arrivées naturellement » sont des animaux qui ne sont pas is-	

sus des relâchés réalisés au cours de cette étude et marquée d'un point de VIE jaune afin de les différencier.....	17
Tableau 4 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours. L'effet flottang 2017 n'apparaît pas puisqu'il sert de référence à l'effet méthode (et donc égal à 0).....	34
Tableau 5 : test de comparaison multiple pour l'effet durée:lot pour le modèle M0. Les nombres sur la seconde ligne rappellent les quantités déversées ; 0 = différence non-significative ; 1 = différence significative, la modalité en ligne étant plus grande (ie plus proche de 0) ; -1 = différence significative, la modalité en colonne étant plus grande (ie plus proche de 0).....	36
Tableau 6 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours., mais en ignorant les données 2018 pour la cohorte 2017. 'Δ survie 90j' est la différence entre le modèle de référence et celui-ci pour la survie à 90 jours.....	37
Tableau 7 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours., mais en ne considérant que les données de pêche électrique. 'Δ survie 90j' est la différence entre le modèle de référence et celui-ci pour la survie à 90 jours.....	37
Tableau 8 : Valeurs des coefficients du modèle M0, mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours., mais en ne considérant que les données de flottang. 'Δ survie 90j' est la différence entre le modèle de référence et celui-ci pour la survie à 90 jours.....	38
Tableau 9 : Valeurs des coefficients du modèle M1. Seul les civelles de l'Oir ont été déversées en moyenne lors de la quinzaine 11, mais pour pouvoir comparer les effets, nous avons considéré que cela a été la quinzaine 10.....	39
Tableau 10 : Mortalité apparente à 1 jour et survie apparente à 90 jours pour le modèle M1.....	39
Tableau 11 : Observations fortuites d'anguilles marquées lors des opérations régulières de suivi des migrateurs sur l'Oir en 2017 et 2018. Pour la localisation des sites, voir Figure 8. PTE = pêche toutes espèces ; IAA = indice d'abondance anguille.....	41
Tableau 12 : Protocole de marquage des civelles utilisées dans l'évaluation de l'impact de la Calcéine sur les jeunes stades d'anguille européenne.....	44
Tableau 13 : Marquage externe des groupes utilisés dans les tests de marquage à la Calcéine. Lorsqu'un seul marquage VIE est exprimé, une seule tache de couleur a été apposée sur les individus entre la partie centrale et la partie arrière.....	44

Annexe 1 : simulation pour déterminer la quantité de civelle à déverser

```
require(rjags)

modele = "model
{
  # Vraisemblance
  for(annee in 1:n_annee)
  {
    n_final_nat[annee] ~ dbin(p_naturelle, n_ini_naturelle[annee])
    n_final_rep[annee] ~ dbin(p_repeuplee, n_ini_repeuplee[annee])
    for(peche in 1:n_peche)
    {
      n_recapture_naturelle[annee, peche] ~ dbin(p_recap, n_final_nat[annee])
      n_recapture_repeuplee[annee, peche] ~ dbin(p_recap, n_final_rep[annee])
    }
  }

  delta_p <- p_naturelle - p_repeuplee # écart de survie entre les naturelles et les repeuplées

  #prior
  p_naturelle ~ dunif(0, 1)
  p_repeuplee ~ dunif(0, 1)
  p_recap ~ dunif(0, 1)
}
"

survie_naturelle = 20/100
survie_repeuplee = 10/100
p_capture = 1/100
n_annee = 2
n_peche = 2 #nb de pêche
N = n_annee * n_peche #nb d'échantillons

n_ini = 6000
n_ini_naturelle = rep(n_ini, n_annee)
n_ini_repeuplee = rep(n_ini, n_annee)

n_simul = 1000

resultat = matrix(NA, ncol = 7, nrow = n_simul)
colnames(resultat) = c(paste(c("0", "5", "10", "20", "25", "50"), "%", sep = " "), "nb_ok")

pb = tkProgressBar(title = "nb simulation", label = "", min = 0, max = n_simul)

for(i in 1:n_simul)
{
  setTkProgressBar(pb, value = i, label = paste(i, " / ", n_simul, sep = ""))

  n_final_naturelle = matrix(rep(rbinom(n_annee, n_ini, survie_naturelle), n_peche), nrow = n_annee, ncol = n_peche) #pour une année, on suppose que le n_final est identique pour chaque pêche
  n_final_repeuplee = matrix(rep(rbinom(n_annee, n_ini, survie_repeuplee), n_peche), nrow = n_annee, ncol = n_peche)
  n_recapture_naturelle = matrix(rbinom(N, n_final_naturelle, p_capture), nrow = n_annee, ncol = n_peche)
```

```

n_recapture_repeuplee = matrix(rbinom(N, n_final_repeuplee, p_capture), nrow = n_annee, ncol = n_peche)

modell = jags.model(textConnection(modele), data = .GlobalEnv, n.chain = 1, quiet = TRUE)
result1 = coda.samples(modell, c("p_repeuplee", "p_naturelle", "p_recap", "delta_p"), 10000, progress.bar = NULL, thin = 3)

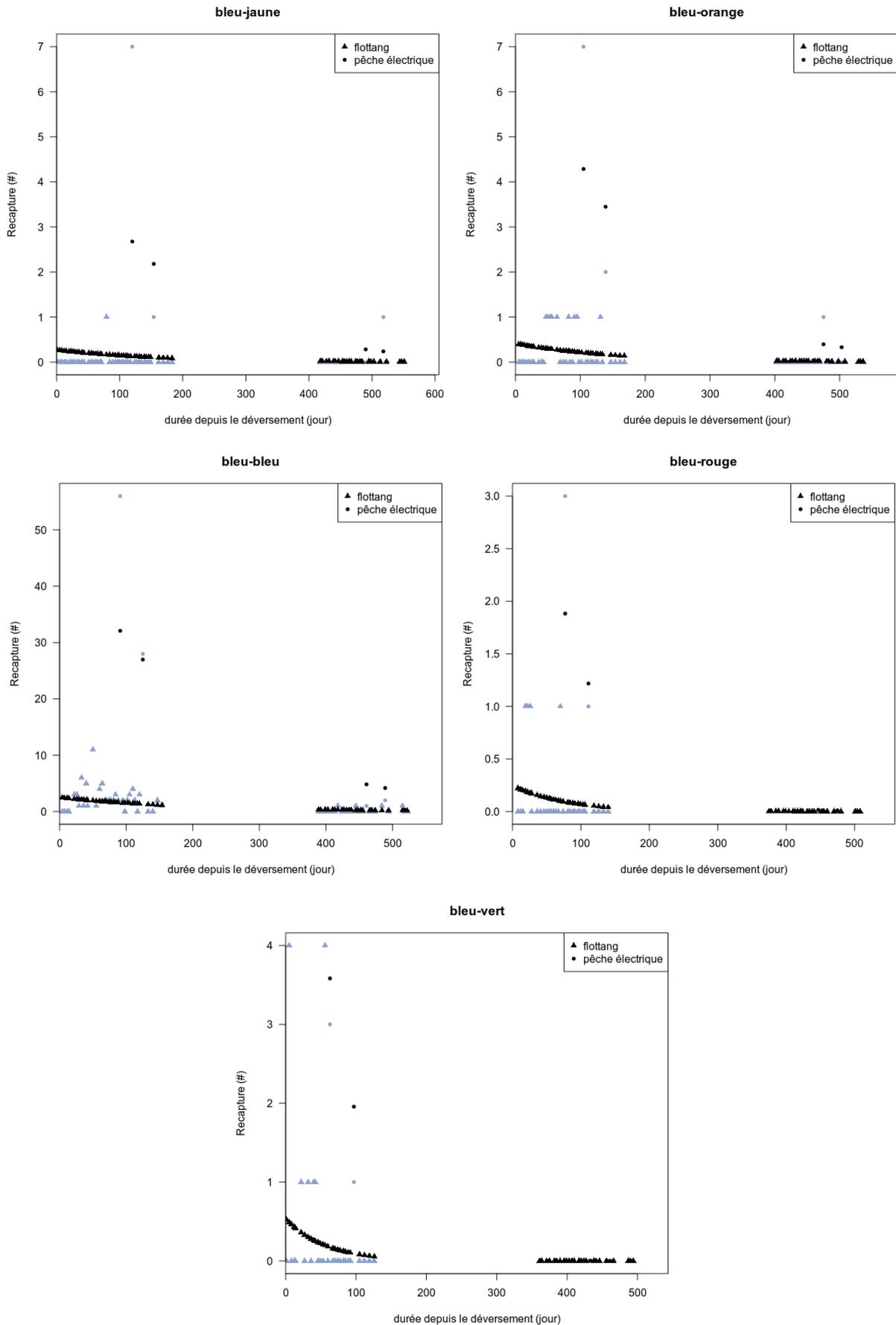
resultat[i,] = c(quantile(unlist(result1[, "delta_p"]), prob = c(0,5,10,20,25,50)/100), sum(unlist(result1[, "delta_p"])>0)/length(unlist(result1[, "delta_p"]))*100)
}

close(pb)

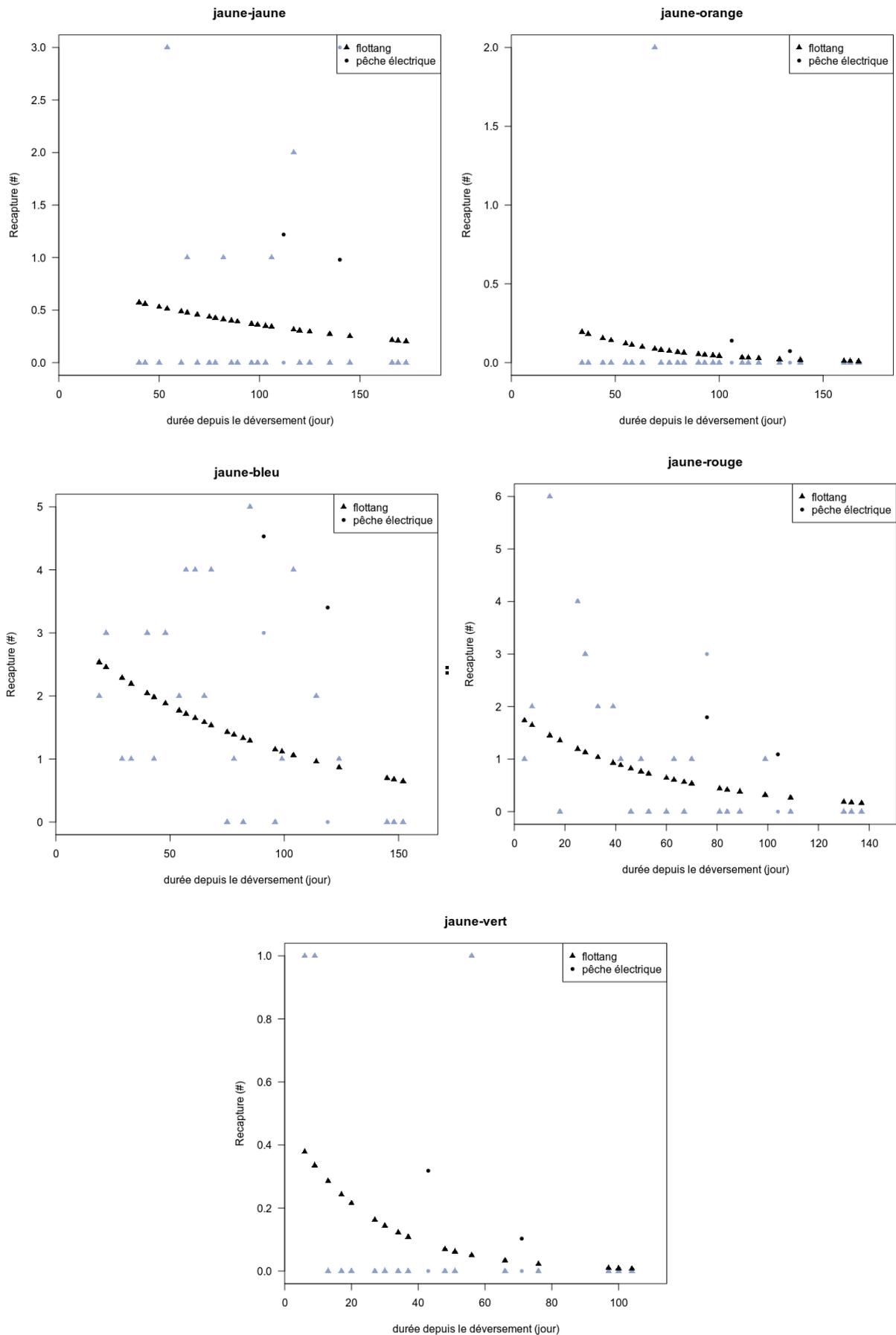
# test de puissance (% des cas où une différence de survie entre naturelles et repeuplées est détecté à 95%
sum(resultat[, "nb_ok"]>95) / n_simul * 100

```

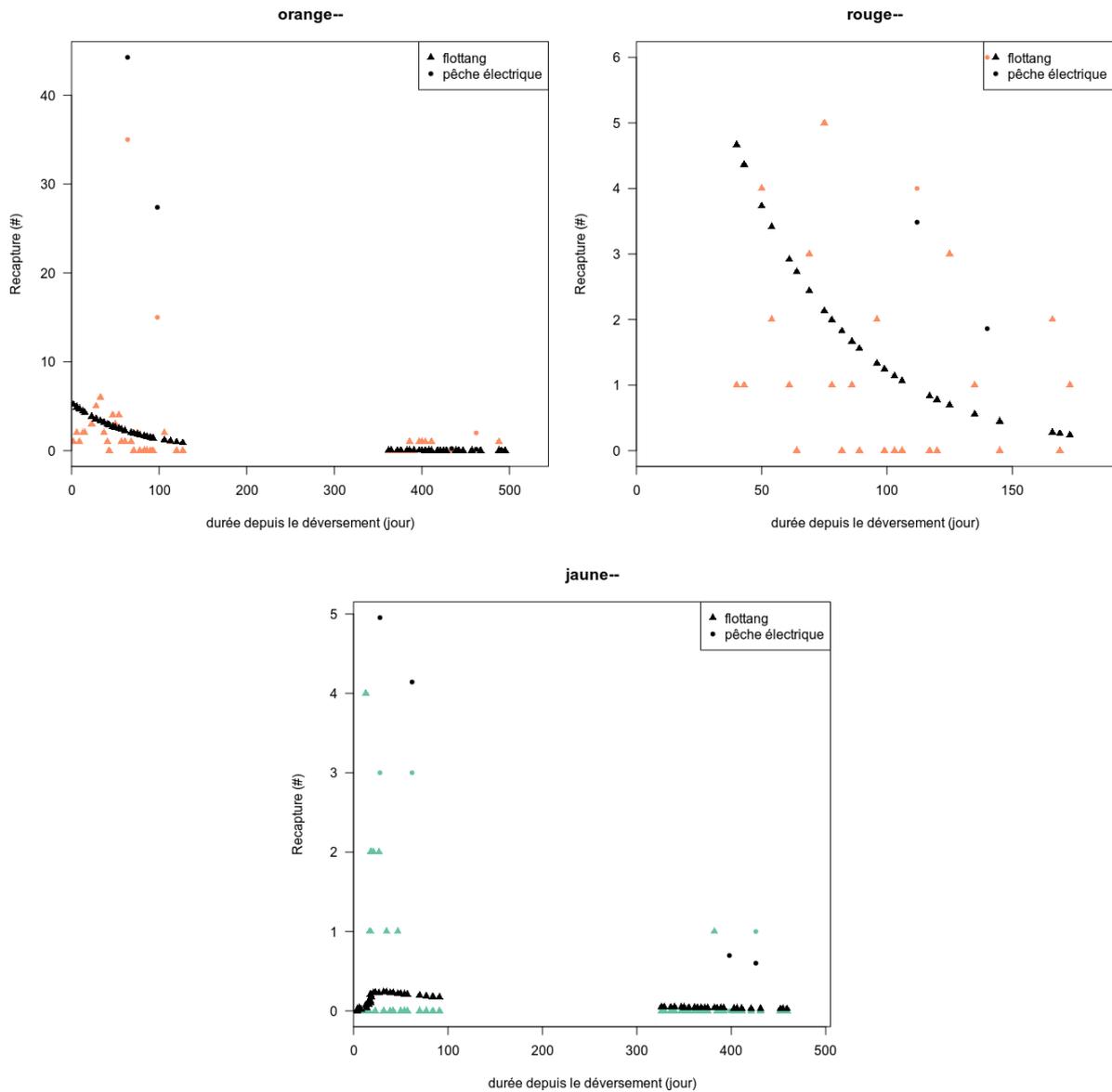
Annexe 2 : Nombre prédit d'individus par le GLM (modèle M0, en noir) et nombre d'individus effectivement capturés (en couleur) pour les civelles « naturelles Sélune 2017 » en fonction du temps.



Annexe 3 : Nombre prédit d'individus par le GLM (modèle M0, en noir) et nombre d'individus effectivement capturés (en couleur) pour les civelles « naturelles Sélune 2018 » en fonction du temps.



Annexe 4 : Nombre prédit d'individus par le GLM (modèle M0, en noir) et nombre d'individus effectivement capturés (en couleur) pour les civelles « repeuplement » et « naturelles Oir » en fonction du temps.



Pour les civelles de l'Oir, la prédiction augmente initialement à cause de l'augmentation progressive des individus déversés.

Annexe 5 : livrable 2018_037_02

Extrait de Anonyme (2018a)

4.1.3.3. Étude INRA 2016/2018 pour l'apport de connaissances sur les opérations de repeuplement (ACOR)

Au vu des nombreuses incertitudes qui subsistent quant à l'efficacité du repeuplement, le GRISAM énonçait dans son rapport en 2015 que deux types de connaissances nouvelles étaient à cibler :

- d'une part, l'identification des facteurs qui déterminent de façon significative le niveau de survie lors des premiers jours et mois après les lâchers et à plus long terme, conditionnent la quantité des argentées produites à partir des individus transférés sur un site donné ;
- d'autre part, l'établissement du bilan en termes de survie et de qualité des argentées produites par un bassin versant entre le scénario naturel sous contraintes environnementales et anthropiques et le scénario avec transfert.

C'est dans ce cadre qu'une étude nommée "apport de connaissances sur les opérations de repeuplement" est en cours de réalisation par l'Institut national de la Recherche Agronomique (INRA, UMR Écologie et santé des écosystèmes, Unité expérimentale d'écologie et d'écotoxicité aquatique), avec le soutien financier du MAA/DPMA et de l'AFB.

Cette étude, prévue sur trois ans (2016 à 2018) a deux volets :

- une synthèse bibliographique des expériences de repeuplement en civelles de différents pays européens. Elle devra permettre de comparer les quantités, la qualité (stade, provenance) des anguilles déversées ainsi que les protocoles utilisés. Cette synthèse est en cours de finalisation.
- une étude expérimentale d'analyse comparée de la survie lors des premiers mois des civelles "naturelles" et des civelles "repeuplées".

Ce second volet a notamment pour objectif de déterminer l'impact du processus de repeuplement sur la survie et la croissance des civelles jusqu'au stade anguillette, soit environ trois mois. Le repeuplement implique que les civelles soient capturées par des pêcheurs professionnels, stockées chez des mareyeurs pour une durée variable, subissent un marquage interne par balnéation à l'alizarine puis déversées dans un nouvel environnement. Chacune de ces étapes représentent un stress potentiel pour les civelles pouvant altérer leurs performances en termes de croissance et de survie.

Afin d'évaluer ces impacts, des expérimentations ont été menées *in situ* (l'Oir, Baie du Mont Saint Michel, UGA Seine) et en mésocosmes.

4.1.3.3.a. Expérimentation in situ

Lors de cette partie de l'étude, la méthode de capture-marquage-recapture a été utilisée. Deux groupes d'individus, soit 14 160 civelles au total, ont été suivis :

- 4363 civelles dites « naturelles », c'est-à-dire ayant subi le moins de manipulation possible : capture au tamis (méthode douce) sur le bassin versant d'expérimentation et marquage au VIE (Visible Implant Elastomer) avec un code couleur permettant l'identification de la session de capture (5 sessions). Par ailleurs, 366 individus supplémentaires ont été conservés pour des analyses biométriques afin de mesurer les caractéristiques des civelles « naturelles »,
- 9 697 civelles dites « repeuplées », ayant subi l'ensemble des étapes liées aux opérations de repeuplement : achat chez un mareyeur et marquage par balnéation à l'alizarine. Afin de faciliter la reconnaissance dans le milieu naturel, 6 062 individus ont été également été marqués au VIE ; et 50 individus conservés pour analyses biométriques.

Deux méthodes de recapture ont été employées : pêches électriques et dispositifs de capture passifs (habitats artificiels ciblant les jeunes anguilles, appelés « flottangs »).

Ces dispositifs de captures passifs ont été disposés en dix endroits en amont et en aval de la zone de lâché. Ceux-ci ont été relevés une à deux fois par semaine pendant six mois afin d'observer la dispersion et la colonisation des civelles. Ils ont permis de capturer 1 231 civelles et anguillettes de moins de 10 cm parmi lesquelles 173 individus étaient marqués au VIE (44 issues du lot « repeuplé » et 101 du lot « naturel »).

Trois mois après les lâchers, deux pêches électriques ont été effectuées. Elles ont permis de capturer 510 anguilles (47 issues du lot « repeuplé » et 115 du lot « naturel »).

Les deux méthodes de recaptures ont montré des résultats similaires : un taux de recapture presque 4 fois supérieur pour les civelles « naturelles » : environ 2,5 % pour les civelles « naturelles » (2,26 % et 2,58 % respectivement pour les flottangs et la pêche électrique) et 0,75% pour les civelles « repeuplées » (0,73 % et 0,78% respectivement pour les flottangs et la pêche électrique).

Par ailleurs, l'utilisation des flottangs a permis de montrer que la dispersion des civelles est assez restreinte autour du site de relâcher : les recaptures dans les flottangs ont eu lieu très majoritairement dans les 3 dispositifs les plus proches de la zone de relâcher.

L'analyse biométrique des civelles issues des deux lots a permis de montrer, à l'issue des trois mois d'expérimentation, que l'écart de taille se creuse en fonction des origines. Le poids des individus, déjà différent initialement, n'est pas compensé et se retrouve dans les individus à l'issue de l'expérimentation. En outre, le stade pigmentaire, témoin de l'état de transformation des civelles en anguillettes, est plus avancé chez les civelles issues du repeuplement (VIA4) que chez les civelles « naturelles » (VIA1).

De nouvelles sessions d'expérimentations, selon le même protocole, sont en cours en 2018 pour compléter ces données.

4.1.3.3.b. *Expérimentations en mésocosmes*

L'objectif est de comparer les taux de survie en milieu contrôlé, pour les civelles « naturelles » et les civelles « repeuplées ». Les individus sont prélevés et traités comme pour l'expérimentation *in situ*, seul le marquage au VIE n'est pas effectué (non nécessaire car les lots sont traités séparément). La survie des civelles est suivie et la croissance mesurée pendant 3 mois.

L'expérimentation menée en 2017 n'a pas pu aboutir en raison de conditions thermiques exceptionnellement fortes. Elle sera reproduite en 2018.

À la lumière de l'expérience accumulée, de l'expertise du GRISAM et des résultats de l'étude ACOR, des améliorations de l'appel à projets et plus particulièrement du protocole expérimental pourront être proposées en 2019.

Avec le soutien financier de

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

www.agence-francaise-biodiversite.fr



<http://agriculture.gouv.fr>



<http://www.inra.fr>