



HAL
open science

Le programme de repeuplement de l'anguille : bilan de trois années de suivi

Quentin Josset

► **To cite this version:**

Quentin Josset. Le programme de repeuplement de l'anguille : bilan de trois années de suivi. Sciences agricoles. 2014. dumas-01096400

HAL Id: dumas-01096400

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01096400>

Submitted on 17 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

CFR Rennes

65 rue de Saint-Brieuc

CS 84215

35042 Rennes cedex

**Muséum National
d'Histoire Naturelle**

**Station Marine de
Dinard**

38 rue du Port-Blanc

35800 Dinard

Mémoire de Fin d'Etudes

**Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques,
Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage**

Année universitaire : 2013 - 2014

Spécialité : **Halieutique**

Spécialisation ou option : **Ressources et Ecosystèmes Halieutiques**

Le programme de repeuplement de l'anguille : bilan de trois années de suivi.

Par : **Quentin JOSSET**



Volet à renseigner par l'enseignant responsable de l'option/spécialisation
ou son représentant

Bon pour dépôt (version définitive)

Date :/.../... Signature :

Autorisation de diffusion : Oui Non

Devant le jury :

Soutenu à Rennes le : 10 septembre 2014

Sous la présidence de : MC Elodie REVEILLAC

Maître de stage : Pr. Éric FEUNTEUN & Dr. Anthony ACOU, Muséum National d'Histoire Naturelle, Dinard

Enseignant référent : MC Elodie REVEILLAC, Agrocampus Ouest, Rennes

Autres membres du jury : DR Jean-Luc BAGLINIERE, INRA de Rennes & Pr. Dominique OMBREDANE,
Agrocampus Ouest, Rennes

*"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent
que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST".*

Fiche de diffusion du mémoire

A remplir par l'auteur⁽¹⁾ avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

Préciser les limites de la confidentialité⁽²⁾ :

➤ Confidentialité absolue : oui non

(ni consultation, ni prêt)

↳ Si oui 1 an 5 ans 10 ans

➤ A l'issue de la période de confidentialité **ou** si le mémoire n'est pas confidentiel, merci de renseigner les éléments suivants :

Référence bibliographique diffusable⁽³⁾ : oui non

Résumé diffusable : oui non

Mémoire consultable sur place : oui non

Reproduction autorisée du mémoire : oui non

Prêt autorisé du mémoire : oui non

.....
Diffusion de la version numérique : oui non

↳ Si oui, l'auteur⁽¹⁾ complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) Quentin JOSSET, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date : 15/09/2014

Signature :

Rennes, le 15/09/2014

Le maître de stage⁽⁴⁾,

L'enseignant référent,

L'auteur⁽¹⁾,

Muséum National d'Histoire Naturelle

Station Marine de Dinard

(1) auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(2) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(3) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé.

(4) Signature et cachet de l'organisme.

Remerciements

Je voudrais ici, remercier très chaleureusement le Pr. Éric Feunteun, pour m'avoir accordé sa confiance dans ce qui fut pour moi ma première véritable expérience dans le monde de la recherche. Il a su me faire partager sa passion pour ce poisson si particulier qu'est l'anguille. Son encadrement m'a poussé vers une meilleure autonomie dans mon travail et sa patience, sa gentillesse, ses conseils et ses encouragements ont su me redonner confiance dans les moments de doutes.

Je tiens également à accorder tous mes remerciements au Dr. Anthony Acou, qui s'est lui aussi avéré un guide remarquable tout au long du déroulement de ce stage. Il a su dérouler le fil directeur de cette étude avec beaucoup de pédagogie, afin que je puisse me l'approprier. La richesse de nos échanges, sa gentillesse et son enthousiasme ont été de vrais moteurs durant ces six mois de stage.

De son côté, le Dr. Thomas Trancart, m'a apporté tout son soutien et son expérience en matière de statistiques. Il a su rester patient et pédagogue lors de mes nombreuses (!) sollicitations et il mérite donc très largement mes remerciements pour cela. Je pense avoir beaucoup appris et gagné en confiance à son contact.

Je remercie également M. Virgile Mazel et M. Fabien Charrier du bureau d'étude Fish Pass, avec qui j'ai participé à une opération d'alevinage et à une pêche électrique de suivi. C'est avec une passion visible, qu'ils m'ont fait partager leur métier lors de nos différents échanges. Ils ont aussi su faire preuve de patience vis-à-vis des nombreuses questions que j'ai pu leur poser.

Mes remerciements au Dr. Laurent Beaulaton de l'ONEMA, pour ses conseils et son expertise en statistiques.

Tous mes remerciements à M. Pierre-Marie Chapon de l'ONEMA, pour les échanges très agréables que nous avons pu avoir et pour la grande qualité de sa base de données, qui a servi de support à l'ensemble de mes analyses.

Je remercie M. Jérémie Souben de l'Association pour le Repeuplement de l'Anguille en France, pour les échanges toujours agréables que nous avons eu, ainsi que pour la confiance qu'il m'a manifesté en m'invitant à présenter mes résultats lors du conseil d'administration de l'association.

Finalement, je souhaiterais exprimer tous mes remerciements aux membres du CRESCO, qu'ils soient IFREMER ou MNHN, permanents, thésards ou stagiaires. J'ai partagé avec eux de très bons moments et j'ai fini par me sentir chez moi, au sein de cette équipe si agréable. Je souhaiterais en particulier citer Flora, Ondine, Seb, Régis, Aurélie, Julien, Lise, Anne-Laure, Clarisse, Christophe, Bastien, Justine, Gwendoline...

Table des matières

1.1.	L'anguille européenne, une espèce au cycle de reproduction complexe	1
1.2.	Une diminution brutale des stocks à la fin du XXe siècle	1
1.3.	Mobilisation de l'Europe et mise en place du programme de repeuplement	3
1.4.	Le repeuplement en France : une mesure à enjeux !	3
1.5.	Comment évaluer l'efficacité du repeuplement ?	4
1.6.	Déroulement de l'étude	5
2.	Matériel et méthodes	6
2.1.	Présentation du protocole	6
2.1.1.	Individus et stades pigmentaires ciblés	6
2.1.2.	Mode de prélèvement	6
2.1.3.	Phase de stabulation	6
2.1.4.	Sélection des sites	6
2.1.5.	Suivi des cohortes par marquage	7
2.1.6.	Transport	7
2.1.7.	Alevinage	7
2.1.8.	Suivi à 15 jours	8
2.1.9.	Suivis <i>in situ</i> à 6, 12 et 36 mois	8
2.2.	Présentation du jeu de données	8
2.3.	Support de l'analyse	9
2.4.	Axe 1 : Suivi de la mortalité à 15 jours	9
2.4.1.	Construction des différentes variables	9
2.4.2.	Etude des corrélations	11
2.4.3.	Etude des interactions	11
2.4.4.	Construction du modèle de mortalité à court terme	12
2.4.5.	Procédure de cross-validation « leave-one-out »	12
2.5.	Axe 2 : Détection, recapture & croissances des civelles alevinées	12
2.5.1.	Détection des individus alevinés	12
2.5.2.	Analyse des taux de recapture	13
2.5.3.	Construction des variables du modèle de croissance	14
2.5.4.	Construction du modèle de croissance	14
2.5.5.	Puissance statistique des résultats obtenus	14
3.	Résultats	15
3.1.	Axe 1 : Suivi de la mortalité à 15 jours	15
3.1.1.	Modèle de mortalité à court terme	15
3.1.2.	Procédure de cross-validation « leave-one-out »	16
3.1.3.	Etude de l'effet « origine de pêche »	17

3.1.4.	Etude de l'effet « année »	17
3.1.5.	Etude de l'effet « marquage »	18
3.1.6.	Etude de l'effet « type de test »	19
3.1.7.	Etude de l'effet « période de pêche »	20
3.1.8.	Etude de l'effet « stade pigmentaire »	20
3.2.	Axe 2 : Détection, recapture & croissances des civelles alevinées.....	21
3.2.1.	Détection des individus alevinés	21
3.2.2.	Analyse des taux de recapture	22
3.2.3.	Modèle de croissance.....	23
3.2.4.	Analyse de l'effet du marquage sur la croissance	23
3.2.5.	Puissance statistique des résultats.....	25
4.	Discussion	26
4.1.	Axe 1 : Suivi de la mortalité à 15 jours.....	26
4.2.	Axe 2 : Détection, recapture & croissances des civelles alevinées.....	27
5.	Conclusion	30

Liste des abréviations

AIC : Critère d'Information d'Akaike (Akaike Information Criterion)

ANOVA : Analyse de la variance (ANalysis Of Variance)

ARS : Alizarine-Red-S

CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer

EPA : Echantillonnage Ponctuel d'Abondance

EVEX : Virus européen de l'anguille X (Eel-Virus-European-X)

GLM : Modèle linéaire généralisé (Global Linear Model)

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

UGA : Unité de Gestion de l'Anguille

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

WGEEL : Groupe de travail "anguille" (Working Group EEL)

Liste des illustrations

Figure 1: Cycle vital de l'anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>) (Ifremer, 2007; Schmidt, 1923; McCleave and Kleckner, 1985).....	1
Figure 2 : Estimations (GLM) des niveaux de recrutement moyen pour la civelle en Europe et Mer du Nord. Le GLM (recrutement ~ zone : année + site) est ajusté sur 34 séries comprenant soit uniquement des civelles ou bien un mélange civelles et anguilles jaunes, par rapport à la moyenne de 1960-1979. On notera l'échelle logarithmique sur l'axe y. (ICES WGEEL, 2013b) .	2
Figure 3: Quantités de civelles alevinées en France de 2011 à 2013	4
Figure 4 : Schéma conceptuel des différentes étapes pour évaluer l'intérêt de l'alevinage où MR = Mortalité due aux blessures par les engins de pêche + mortalité liée à la stabulation + Mortalité liée au marquage + Mortalité liée à l'opération d'alevinage, MN = Mortalité des anguilles « naturelles », où CR = Contribution des anguilles issues du Repeuplement et CN = Contribution des anguilles « Naturelles ». (Frotté <i>et al.</i> , 2012)	5
Figure 5: Résultats de la procédure de cross-validation. Droite noire : fonction identité ($f(x)=x$, adéquation parfaite des valeurs prédites et observées) ; droite rouge : ajustement linéaire du modèle.	16
Figure 6: Effet de la variable "origine de pêche" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne).....	17
Figure 7: Pourcentages de mortalité moyens à 15 jours, par sites et années.....	18
Figure 8: Effet de la variable "année" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)	18
Figure 9: Effet de la variable "marquage" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)	19
Figure 10: Effet de la variable "type de test" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)	19
Figure 11: Effet de la variable "période de pêche" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne ; précoces : capture avant le pic d'arrivées, normales : capture au moment du pic, tardives : capture après le pic)	20
Figure 12: Effet de la variable "stade pigmentaire" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. ...	20
Figure 13 : Otolithe d'anguille marqué à l'ARS, l'anneau brillant correspond à la zone marquée (Photo : Fish Pass).....	21
Figure 14 : Identification des individus alevinés par l'étude des classes de taille pour les individus de la Calonne (Mazel <i>et al.</i> , 2013)	21
Figure 15: Taux de recapture à 6 mois (étiquettes : nombre d'individus analysés par otolithométrie, sur chaque site)	22

Figure 16: Taux de recapture à 12 mois (étiquettes : nombre d'individus analysés par otolithométrie, sur chaque site).....	23
Figure 17: Effet du marquage sur la croissance. (les losanges indiquent la valeur moyenne)	24
Figure 18: Croissances à 6 mois, par sites.	24
Figure 19: Croissances à 12 mois, par sites.	25
Figure 20: Niveau de significativité en fonction du nombre d'individus marqués dans les recaptures.	26

Liste des tableaux

Tableau 1: Critères utilisés pour la sélection d'un site de repeuplement (Frotté <i>et al.</i> , 2011)	7
Tableau 2 : Notation du corps et de la queue par le test du Carmin Indigo (Briand <i>et al.</i> , 2012)	10
Tableau 3: Synthèse des résultats du modèle de mortalité	16
Tableau 4 : Valeurs repères sur les croissances des individus marqués et non-marqués.....	23

Liste des annexes

Annexe I: Schéma de synthèse des différentes étapes d'un repeuplement	1
Annexe II: Carte des Unités de Gestion de l'Anguille, avec localisation des opérations de repeuplement (2011-2013).....	2
Annexe III : Résultats du test de corrélation de Pearson	3
Annexe IV: Résumé des recaptures à 6 mois (2011, 2012 et 2013)	4
Annexe V : Résumé des recaptures à 12 mois (2011 et 2012)	5
Annexe VI : Stades pigmentaires de la civelle (<i>Anguilla anguilla</i>) (Grellier <i>et al.</i> , 1991).....	6

1. Introduction

1.1. L'anguille européenne, une espèce au cycle de reproduction complexe

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, Linnaeus 1758) est une espèce de poisson migrateur serpentiforme appartenant à la famille des *Anguillidae*. Son aire de répartition inclue une grande partie de l'Europe et notamment l'ensemble du territoire Français, qui est considéré comme privilégié au vu des quantités de jeunes recrues, appelées civelles, qui parviennent jusqu'à nos estuaires (Chancerel, 1994).

Elle se caractérise par un cycle vital très spécifique et encore mal connu (Figure 1). On ignore en particulier, où se trouvent précisément les sites de pontes, bien que l'on sache désormais que celle-ci a lieu en mer des Sargasses. Les conditions dans lesquelles la ponte se déroule sont également inconnues, puisqu'aucun accouplement n'a jamais pu être observé en milieu naturel et qu'aucun œuf n'a jamais été retrouvé. On suppose en revanche que les œufs puis les larves leptocéphales passent près d'un an dans l'océan Atlantique, portés par le Gulf Stream et les courants nord-Atlantique, jusqu'aux côtes de l'Europe et de l'Afrique du Nord, où ils arrivent au stade civelle (Tesch, 2003; Bonhommeau, 2008). Ces dernières vont alors entrer dans leur phase continentale, au cours de laquelle elles vont croître et devenir des anguilles jaunes, puis des anguilles argentées devenant matures au cours de leur migration vers les sites de ponte.

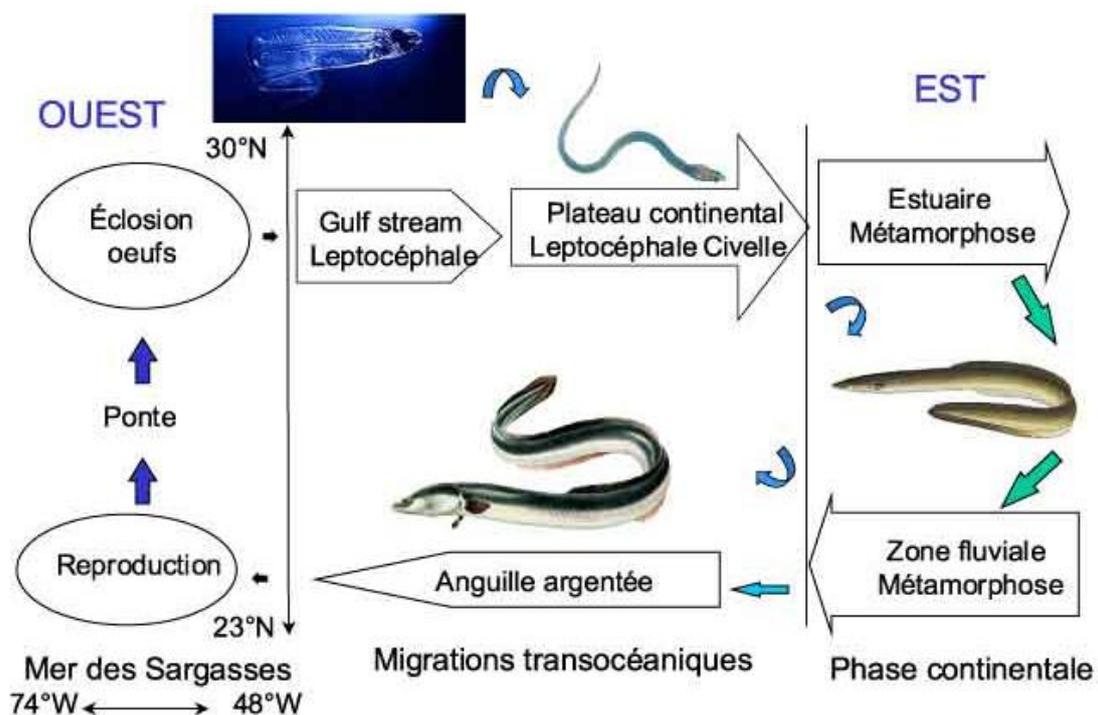


Figure 1: Cycle vital de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Ifremer, 2007; Schmidt, 1923; McCleave and Kleckner, 1985)

1.2. Une diminution brutale des stocks à la fin du XXe siècle

Très recherchée, car considérée comme un met fin et délicat, l'anguille est pêchée par l'Homme depuis l'antiquité (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement durable et de la Mer, 2010).

Longtemps considérée comme une manne inépuisable et surabondante, elle était classée nuisible jusqu'en 1984 en France, pour limiter sa prédation supposée sur les œufs ou juvéniles de salmonidés (Crivelli, 1998).

Depuis la fin des années 1980, la situation de l'anguille a bien changé. Elle est aujourd'hui menacée par de nombreuses pressions, tant au niveau océanique qu'au niveau continental.

La rupture de la continuité écologique par les nombreux ouvrages présents sur le réseau hydrologique français, a réduit de manière considérable l'habitat disponible pour l'espèce. Quant à l'habitat aujourd'hui disponible, sa qualité est sévèrement diminuée sous l'effet des pollutions d'origine humaine. On citera également, l'introduction en France, du parasite *Anguillicoloides crassus*, qui est soupçonnée de réduire de manière importante les capacités migratoires des reproducteurs (Lefebvre *et al.*, 2003). Enfin, l'anguille européenne a fait également l'objet d'une pêche longtemps irraisonnée, à tous les stades de son cycle de vie continental : civelle, anguille jaune et anguille argentée. L'action conjuguée de ces effets a conduit l'espèce à une situation de déclin généralisé et brutal, constaté depuis les années 1980, notamment au niveau des arrivées estuariennes de civelles (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement durable et de la Mer, 2010).

Dans le cas de la civelle (Figure 2), l'analyse des séries d'indices de recrutement montre une certaine convergence, avec une relative stabilité entre les années 1960 à 1980, puis une décroissance importante et continue jusqu'à ces dernières années. Ainsi, en 2013, on estimait que le niveau moyen de recrutement ne correspondait plus qu'à 10 % des niveaux de référence de la période 1960-1979 (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement durable et de la Mer, 2010; ICES WGEEL, 2013a).

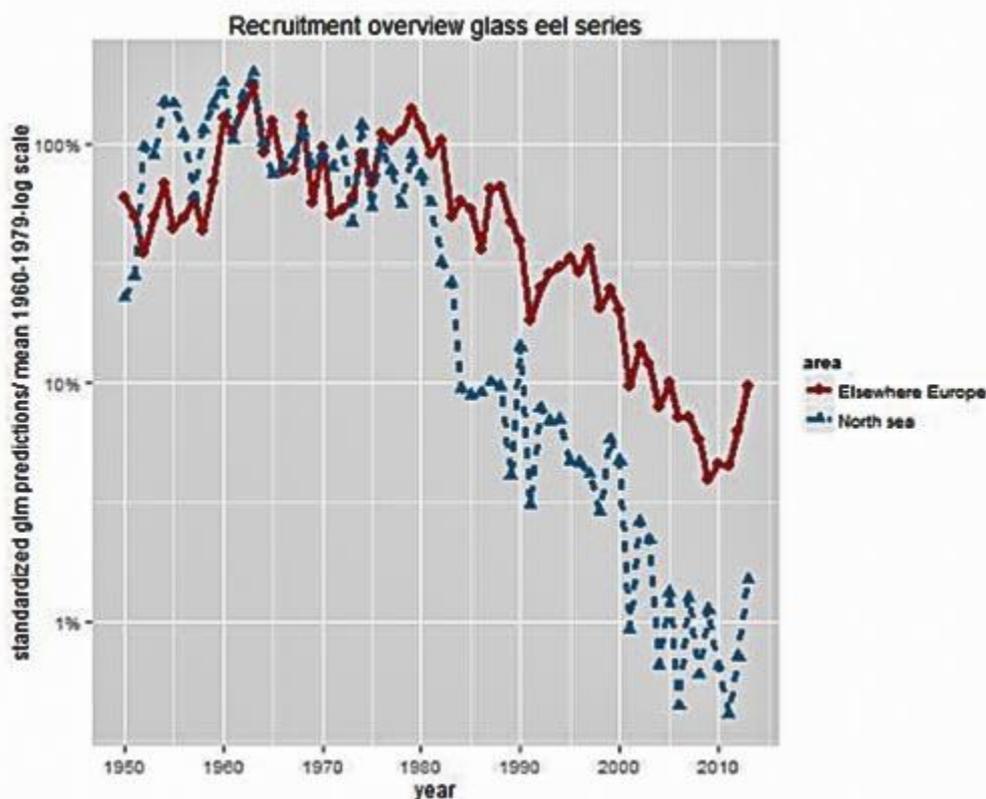


Figure 2 : Estimations (GLM) des niveaux de recrutement moyen pour la civelle en Europe et Mer du Nord. Le GLM (recrutement ~ zone : année + site) est ajusté sur 34 séries comprenant soit uniquement des civelles ou bien un mélange civelles et anguilles jaunes, par rapport à la moyenne de 1960-1979. On notera l'échelle logarithmique sur l'axe y. (ICES WGEEL, 2013b)

Pour l'anguille jaune, l'étude de l'évolution des densités sur les stations suivies en France par l'ONEMA montre une diminution de près de 56% sur la période 1983-2007.

Concernant le stade argenté, les tendances sont difficiles à évaluer faute de suivis à long-terme. Les quelques suivis qui existent tendent cependant à montrer une certaine décroissance des captures, bien qu'une grande variabilité soit observée (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement durable et de la Mer, 2010).

L'anguille européenne est donc aujourd'hui en dehors de ses limites biologiques de sécurité et est considérée comme « en danger critique d'extinction » par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) (Jacoby and Gollock, 2014).

1.3. Mobilisation de l'Europe et mise en place du programme de repeuplement

La tendance au déclin est généralisée à l'échelle de l'aire de distribution de l'espèce. Dans ce contexte, des plans de gestion ont été rendus obligatoires pour les pays dont le territoire est un habitat naturel de l'anguille. Ainsi, selon le règlement n°1100/2007 du Conseil de l'Union Européenne : « L'objectif de chaque plan de gestion est de réduire la mortalité anthropique afin d'assurer avec une grande probabilité un taux d'échappement d'au moins 40% de la biomasse d'anguilles argentées correspondant à la meilleure estimation possible du taux d'échappement qui aurait été observé si le stock n'avait subi aucune influence anthropique ». Parmi les mesures proposées dans ce règlement européen pour augmenter la probabilité d'échappement, on retrouve, de manière non-exhaustive : la réduction de l'activité de pêche commerciale, la limitation de la pêche récréative, l'emploi de mesures de repeuplement, l'amélioration de la continuité écologique et de la qualité des habitats de l'anguille, l'arrêt temporaire des turbines des centrales hydroélectriques *etc.* (Conseil de l'Union Européenne, 2007).

C'est donc dans ce cadre, que la France, qui bénéficie sur l'ensemble de sa façade maritime d'apports en civelles très favorables, a choisie de mettre en place un ambitieux plan de sauvegarde de l'anguille, qui inclut de nombreuses mesures citées dans le règlement CE n°1100/2007 et parmi lesquelles un programme de repeuplement (Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement durable et de la Mer, 2010). L'objectif de ce dernier est de soutenir les populations préexistantes d'anguilles et d'augmenter « artificiellement » le nombre d'anguilles argentées à la dévalaison, en transférant des civelles capturées dans les estuaires, vers des sites jugés favorables pour leur croissance. Pour cela, un dispositif de réservation a été mis en place, avec obligation pour les mareyeurs de commercialiser en priorité 60% des civelles capturées en France, pour des opérations de repeuplement en France et en Europe. Le programme de repeuplement français, concerne lui 5 à 10% des civelles capturées en France. Ces opérations sont subventionnées par l'Etat Français à hauteur de 98%, le reste étant assumé par les porteurs de projet (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie, 2014).

1.4. Le repeuplement en France : une mesure à enjeux !

Les premiers déversements du programme de repeuplement Français ont commencé en 2011, avec cette année-là, 6 sites alevinés pour un total de 703 kg de civelles déversées. En 2012, ce sont 3097 kg de civelles qui ont été alevinées sur 11 sites différents et 2925 kg en 2013, là-aussi sur 11 sites (Figure 3).

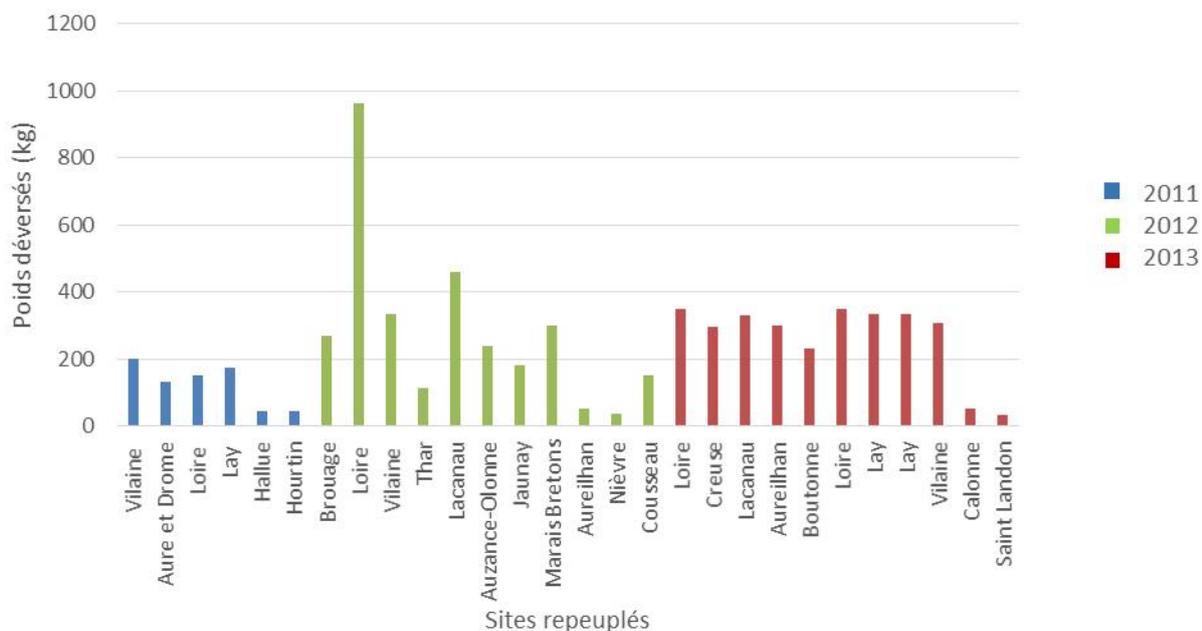


Figure 3: Quantités de civelles alevinées en France de 2011 à 2013

Ce sont donc près de 6,7 tonnes de civelles qui ont été déversées sur la période 2011-2013, ce qui permet d’espérer la production 70 000 à 950 000 anguilles argentées sur les 10 prochaines années, en supposant une survie de 30 % la première année (Feunteun, 2002; Lambert, 2008), puis une mortalité annuelle comprise entre 20 et 40 % les années suivantes.

Au vu des sommes engagées dans ce programme et des nouvelles contraintes imposées ces dernières années aux professionnels de la pêche, la question est désormais de savoir si le programme de repeuplement mis en place en France est efficace ou non ? Ne vaut-il pas mieux laisser les civelles coloniser les bassins versants auxquelles elles accèdent naturellement ? Bien que très dépendant des prix du marché, le repeuplement tend, ces dernières années, à devenir un débouché stable pour la filière civelière et s’avère de plus en plus intéressant sur le plan financier. Il devient donc nécessaire d’évaluer les apports de ce programme à la question de la préservation de l’anguille, tant pour des raisons de conservation, que pour des raisons socio-économiques.

1.5. Comment évaluer l’efficacité du repeuplement ?

Ainsi, pour répondre à la question de l’efficacité du repeuplement en France, il faudrait en théorie, statuer sur la question du nombre et de la qualité des anguilles argentées produites par le repeuplement. On cherche en effet, à travers ce programme, à atteindre une qualité et un nombre d’anguilles argentées au moins aussi important, sinon supérieur, à ce qui aurait été attendu si ces civelles avaient poursuivies leur migration sans intervention humaine. Autrement dit, on cherche à faire en sorte que la somme des mortalités que subissent les civelles alevinées, soit inférieure à la somme des mortalités que subissent les civelles sauvages. C’est une réflexion qui avait déjà été engagée dans les travaux de Frotté et al. (2012), dont est extraite la figure 4.

Malheureusement, il est aujourd’hui impossible de traiter ce questionnement devant le manque important de connaissances sur le sujet, notamment en termes de dynamique des populations (Gascuel and Fontenelle, 1994). Il faudrait notamment être en mesure de suivre et quantifier les différentes sources de mortalités pour chaque cohorte, ce qui est particulièrement complexe.

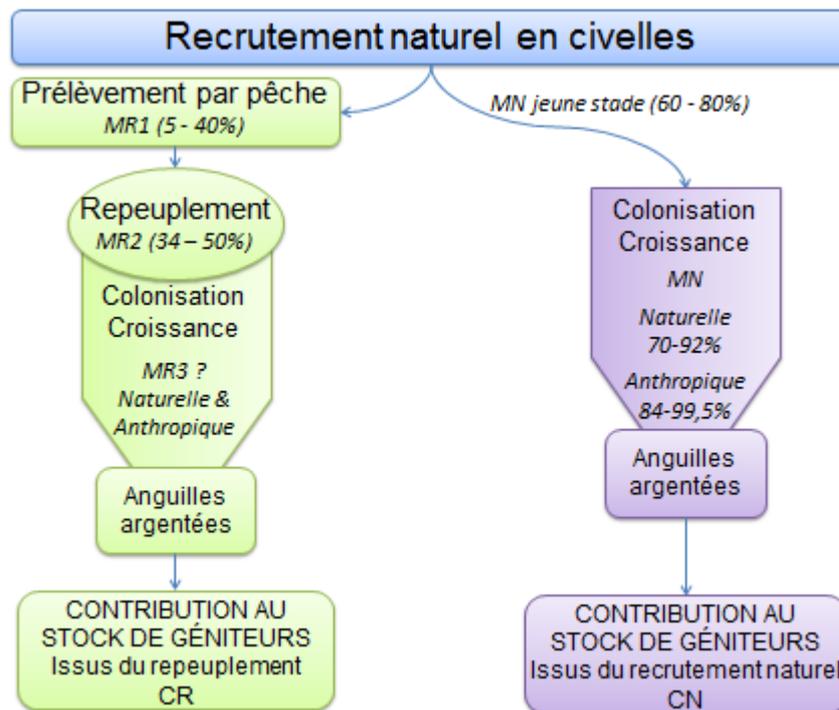


Figure 4 : Schéma conceptuel des différentes étapes pour évaluer l'intérêt de l'alevinage où MR = Mortalité due aux blessures par les engins de pêche + mortalité liée à la stabulation + Mortalité liée au marquage + Mortalité liée à l'opération d'alevinage, MN = Mortalité des anguilles « naturelles », où CR = Contribution des anguilles issues du Repeuplement et CN = Contribution des anguilles « Naturelles ». (Frotté et al., 2012)

De plus, dans la mesure où 4 à 17 ans sont nécessaires sous nos latitudes pour l'atteinte du stade « argenté » (Eliad, données non-publiées), il apparaît nécessaire de trouver d'autres approches que celle évoquée pour statuer sur la question de l'efficacité du repeuplement à court terme, comme c'est le cas ici (6 mois à 3 ans).

Parmi ces approches alternatives, on peut citer les questions de la détection dans le milieu, des recaptures et de la croissance. On cherchera en particulier à savoir si l'on retrouve les individus alevinés dans le milieu naturel, si les niveaux de recaptures correspondent à ce qui a été déversé et si leur croissance est comparable à celle des individus sauvages. On cherchera également à évaluer l'impact, en termes de mortalités, des opérations de repeuplement (capture, transport, stabulation, alevinage *etc.*) et en particulier celui du marquage utilisé pour le suivi des individus alevinés.

1.6. Déroulement de l'étude

Ainsi, pour répondre à la question de l'efficacité du repeuplement en France, la présente étude sera structurée en deux axes.

Dans un premier temps, on s'intéressera à l'analyse des mortalités à court terme des individus alevinés, sur une période de quinze jours suivant l'alevinage.

Dans un second temps, on s'intéressera à la détection des individus alevinés sur le plus long terme (6, 12 et 36 mois), aux niveaux de recaptures lors des différents suivis post-déversement, ainsi qu'aux profils de croissances observés.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du protocole

Les bases du protocole de repeuplement pour la civelle ont été mises en place en 2010 à l'issue de la saisie de 270 kg de civelles vivantes à destination de la Chine, à l'aéroport de Roissy-Charles De Gaulle (Charrier *et al.*, 2010). Ce protocole a ensuite été modifié et formalisé dans les travaux de Lou Frotté (Frotté *et al.*, 2011) (Annexe I).

2.1.1. Individus et stades pigmentaires ciblés

L'objectif premier de ce programme de repeuplement étant de contribuer à la préservation d'une espèce en danger, le protocole est donc conçu pour limiter au maximum tout effet négatif sur les stocks d'anguilles. Par conséquent, une attention particulière est portée à la question du parasitisme par *A. crassus*, avec notamment comme préconisation, le fait de prélever les civelles préférentiellement dans les parties aval des estuaires et à un stade pigmentaire inférieur au VIA2 (Annexe VI). Les civelles sont en effet considérées comme indemnes de parasitisme à leur arrivée dans les estuaires, où elles n'ont généralement pas encore commencée à s'alimenter (Frotté *et al.*, 2011).

2.1.2. Mode de prélèvement

Le mode de prélèvement doit également minimiser au maximum les traumatismes et pour cela, les pêcheurs doivent adapter leur engins de pêche (tamis à civelles), leur vitesse, la durée du trait de pêche, mais aussi les conditions de stockage et de transport. Ceci afin de disposer de civelles indemnes de toutes blessures et ainsi maximiser leur potentiel de survie et de colonisation du milieu après déversement (Conapped *et al.*, 2011; Briand *et al.*, 2012).

2.1.3. Phase de stabulation

Une phase de stabulation chez le mareyeur est souvent nécessaire pour plusieurs raisons. Tout d'abord pour atteindre le nombre requis de civelles destinées au repeuplement, il en effet rare d'obtenir en une seule nuit de pêche le quota requis. Ensuite, c'est une phase importante pour réaliser un tri entre les civelles malades ou blessées et les individus sains, mais aussi pour réaliser l'ensemble des tests sanitaires et de qualité, nécessaires avant tout déversement.

Parmi ces tests on trouve, la détermination du poids individuel moyen, l'évaluation du niveau de blessures (Briand *et al.*, 2012), la mesure d'un ensemble de données biométriques sur un échantillon de 50 individus (taille, poids, stade pigmentaire) et la recherche des parasites *Anguillicoloides crassus*, *Pseudodactylorgyrus sp.*, *Ichthyophthirius multifiliis*, ainsi que du virus EVEEX (Frotté *et al.*, 2011).

Cette phase de stabulation doit durer au minimum 6 jours pour permettre le tri des individus, mais ne doit pas excéder 2 mois, afin d'éviter toute détermination sexuelle précoce sous l'effet de la densité et réduire au maximum les risques de contaminations.

2.1.4. Sélection des sites

La sélection des sites à repeupler se fait sur la base d'un ensemble de critères (Tableau 1) liés notamment au type de milieu, aux densités d'anguilles préexistantes, aux niveaux de pollutions du milieu, à la présence potentielle d'obstacles à la dévalaison, ainsi qu'à l'existence d'une pêcherie ciblant l'espèce.

La capacité trophique du milieu doit également être prise en compte pour adapter les quantités déversées et ainsi ne pas risquer de surcharger le milieu, des mortalités pouvant survenir pour des hauts niveaux de densité (Acou *et al.*, 2011).

A noter également que les transferts de civelles d'une Unité de Gestion de l'Anguille à l'autre sont interdits, ceci, là-encore, pour limiter les risques de propagation des pathogènes, mais aussi pour faciliter l'orientation des adultes migrateurs lors de la dévalaison (Annexe II).

Tableau 1: Critères utilisés pour la sélection d'un site de repeuplement. A chaque critère correspond une note, la somme de ces notes donne celle du site. (Frotté *et al.*, 2011)

Critères de croissance		Critères de densité (kg/ha)				Facteurs de mortalité					
						Pollution (PCB, pesticides, métaux lourds...)		Obstacles à la dévalaison		Pêche	
Estuaire	3	130 < 75 < 35 < 0									
Eau douce - Aval - Plan d'eau	2	100 < 50 < 25 < 0				Population indemne	3	Absence	3	Absence	3
Eau acide - Tourbière - Amont des cours d'eau (ordre 1 et 2)	1	50 < 25 < 10 < 0				Contaminations détectées mais commercialisation autorisée	2	Présence	2	Présence	2
		0	1	2	3	Commercialisation non autorisée	1	Obstacle absolu	1	Pas d'échappement	1

2.1.5. Suivi des cohortes par marquage

Le marquage d'une fraction du lot de civelles est facultatif. Il peut notamment être évité si la cohorte repeuplée peut être suivie dans le temps et l'espace, notamment quand les abondances d'anguilles « sauvages » sont faibles voire négligeables et/ou principalement dominées par des vieilles classes d'âges (pas de recouvrement entre les groupes repeuplés et les « sauvages »). Si nécessaire, le marquage se fait au moyen d'un colorant vital, généralement l'alizarine-red-S (ARS), par baignade dans une solution à 150 mg/L pendant 3h, avec un taux d'oxygène compris entre 150 et 200% (Frotté *et al.*, 2011; Caraguel *et al.*, 2014). En 2011, le taux de marquage était généralement proche de 10%, valeur qui est passée à 30% depuis 2012, afin d'augmenter la probabilité de recapture.

2.1.6. Transport

Le transport du lieu de pêche au lieu de stabulation, ou bien du lieu de stabulation au site de déversement doit être réduit au minimum (48h maximum).

Les civelles sont conditionnées en caisses de polystyrène, en atmosphère humide, saturées en oxygène et transportées à basse température (2 à 3°C) en camion frigorifique.

2.1.7. Alevinage

Le déversement doit inclure une phase d'acclimatation, notamment pour éviter tout risque de choc thermique. Il peut avoir lieu depuis la berge ou un bateau, sur des zones favorables en termes d'habitat et de ressource trophique.

Par la suite, quatre suivis doivent permettre d'évaluer l'efficacité du repeuplement. Le premier se déroulant sur les 15 premiers jours qui suivent l'opération d'alevinage, puis les trois autres se succédant à 6, 12 et 36 mois (Frotté *et al.*, 2011).

2.1.8. Suivi à 15 jours

Ce premier suivi à quinze jours, consiste en un suivi de la mortalité sur le site de déversement et en laboratoire, avec également la prise en compte du marquage ou non des civelles lorsqu'il y a lieu. Ainsi, des lots de 50 civelles sont constitués à raison de trois répliqués par modalité. Les lots constitués pour les suivis *in situ* sont disposés dans des nasses immergées sur le lieu de l'alevinage et les lots des suivis en laboratoire sont introduits dans des aquariums où les paramètres physico-chimiques sont contrôlés. Les individus ne sont pas nourris pendant ce suivi, mais il est couramment observé une reprise de l'alimentation pour les individus des lots *in situ*, qui ont potentiellement accès à de petits organismes présents dans le milieu, ou encore aux cadavres des individus morts, cadavres qui sont retirés en milieu contrôlé afin de limiter la pollution de l'eau. A l'issue de ces quinze jours de suivi, le nombre d'individus vivants et morts dans chaque nasse ou aquarium est relevé, et un taux de mortalité à 15 jours peut être estimé pour chaque répliquat (Fish Pass, communication personnelle, 2014).

2.1.9. Suivis *in situ* à 6, 12 et 36 mois

Les trois autres suivis ont lieu 6, 12 et 36 mois après le déversement, sur 25 stations, à raison de 20 Echantillonnages Ponctuels d'Abondance (EPA) par station. Un EPA consistant en 30 secondes de pêche à une anode à poste fixe. Dans les milieux profonds, ou bien lorsque la salinité ne le permet pas, la pêche au moyen de verveux à mailles fines (4mm) peut s'y substituer. On procède alors sur 5 stations, où les engins sont immergés 2 jours, avec cependant une relève journalière.

Lors de chacun de ces suivis, l'ensemble des anguilles recapturées sont mesurées et pesées et un échantillon de 50 individus parmi les civelles susceptibles d'être issus du repeuplement (≤ 110 mm à 6 mois, compris entre 110 et 150 mm à 12 mois et compris entre 190 et 240 mm à 36 mois) est prélevé. Ces 50 individus feront l'objet, en laboratoire, d'une recherche de marquage par lecture des otolithes sous microscope à épifluorescence (Frotté *et al.*, 2011).

2.2. Présentation du jeu de données

En février 2014, date du début de ce stage, les données de repeuplement et de suivi étaient donc disponibles sur 29 sites, ce qui inclue les années 2011, 2012 et 2013, ainsi que le repeuplement de 2010 issu de la saisie à Roissy.

Les données du suivi de la mortalité à 15 jours étaient donc disponibles pour ces 29 sites, tout comme celles de l'échantillonnage à 6 mois. En revanche, l'échantillonnage à 12 mois n'était disponible que pour les années 2011 et 2012, quant à l'échantillonnage à 36 mois, celui-ci n'était disponible que pour le déversement de « Roissy », ceux de 2011, ne devant être réalisés que courant 2014. Or, le déversement de « Roissy » a très vite été écarté, car présentant trop de particularités pour être comparé aux autres projets (origine des civelles, conditions de pêche, de stabulation et de transport inconnues *etc.*). Le présent rapport ne couvre donc qu'une partie du protocole tel qu'il a été conçu et n'explore pas le devenir des civelles repeuplées au-delà de 12 mois.

Les données issues de ces 28 opérations de repeuplement ont donc été compilées au sein d'une base de données, qui a servi de support pour l'ensemble des analyses présentées ici. Cette base a été originellement conçue par M. Pierre-Marie Chapon de l'ONEMA, dans le cadre de mes travaux j'y apporté de nombreuses modifications et corrections.

Elle intègre les données de biométrie de près de 1800 civelles avant déversement, les résultats de près de 300 suivis de la mortalité à court terme, la biométrie de près de 11000 anguilles recapturées lors des échantillonnages à 6 et 12 mois et les résultats d'otolithométrie d'un peu moins de 1300 individus.

2.3. Support de l'analyse

L'ensemble des analyses présentées dans cette étude ont été réalisées sur le logiciel R dans sa version 3.0.3 (R Core Team, 2014).

2.4. Axe 1 : Suivi de la mortalité à 15 jours

L'analyse des données tirées de ce suivi, disponibles sur l'ensemble des sites ayant fait l'objet d'un alevinage, cherche à répondre à plusieurs questionnements. En premier lieu, l'objectif est d'identifier, quantifier et hiérarchiser les facteurs qui influencent la mortalité des civelles sur le court terme. Les civelles qui sont utilisées pour le repeuplement sont en effet soumises à différents effets susceptibles d'engendrer des mortalités supplémentaires. Ces effets peuvent être soit d'ordre technique et liés notamment aux conditions de pêche et de manipulation, soit d'ordre biologique et provenir de différents facteurs directement liés aux civelles, à leur qualité, stade pigmentaire *etc.*

En fonction des résultats obtenus, l'objectif est alors de pouvoir éventuellement proposer des préconisations concrètes afin d'améliorer le protocole de déversement.

2.4.1. Construction des différentes variables

La variable dépendante à expliquer est le taux de mortalité (en %) observé au bout de 15 jours pour chaque test (marqué, non marqué, in situ et labo).

Les facteurs d'ordre « technique » sont liés à l'ensemble des processus intervenant dans le protocole de repeuplement:

- L'effet « site » : sur lesquels les alevinages ont été réalisés
- L'effet « année » : trois années de données étaient disponibles
- L'effet « origine » : correspondant au lieu de pêche des civelles et ainsi, plus généralement à l'UGA de capture, puisque les civelles sont toujours alevinées au sein de l'UGA où elles ont été capturées
- L'effet « mareyeur » : qui renseigne l'entreprise de mareyage qui a centralisé, stabulé et transporté les civelles utilisées pour l'alevinage
- Les jours de début et de fin de pêche du lot de civelle, ainsi que la durée totale de pêche
- La semaine de pêche, calculée comme la moyenne des numéros des semaines sur lesquelles s'est déroulée la pêche
- Les durées de stabulation minimales et maximales
- L'effet « type de test » : *in situ* et laboratoire
- L'effet « marquage »

Les facteurs d'ordre biologique sont liés aux civelles et à leurs propriétés intrinsèques :

- Le taux de blessure relevé chez les civelles : consécutif à la capture et à la phase de stabulation, il est évalué selon la méthode de Briand et al. (2012) qui consiste à révéler par coloration (Carmin indigo) les blessures des individus sur le corps et la queue. Trois classes de blessures sont considérées (Tableau 2).

Tableau 2 : Notation du corps et de la queue par le test du Carmin Indigo (Briand *et al.*, 2012)

Importance des blessures	Note
Absence	0
Modérée	1
Importante	2

2 notes sont donc disponibles, une pour le corps, une pour la queue et ce, pour chaque individu.

Le facteur « taux de blessures » est construit en trois versions différentes, avec des degrés de sensibilité variables. Chacune de ces trois versions sera testée dans le modèle et éventuellement retenue par la procédure de sélection.

La première version, la plus sensible, est construite sur le modèle du « tout ou rien ». Si l'individu présente au moins une blessure, ce dernier est considéré comme blessé. On calcule ensuite le pourcentage d'individus blessés dans chaque lot de civelles. On tend cependant à sous-estimer les blessures les plus importantes.

Une deuxième version est construite sur le même modèle, mais avec comme objectif de faire ressortir les individus fortement blessés. Ainsi, un individu est considéré comme blessé s'il présente au moins une « forte blessure » (note= 2), sinon il est considéré comme indemne (note= 0 ou 1). De la même manière on calcule ensuite le pourcentage d'individus blessés dans le lot. On sous-estime cette fois les blessures faibles à modérées.

Le dernier indicateur vise plutôt à donner une note de blessure moyenne par lot. Pour cela, on somme pour chaque civelle, la note du corps et de la queue, on réalise ensuite la moyenne de ces scores individuels à l'échelle de chaque lot.

- Le coefficient de condition : calculé ici sur la base des poids prédits, issus de l'équation de la régression linéaire de la courbe taille-poids. On le calcul de la manière suivante (Gérard *et al.*, 2013) :
$$K_n = 100 * \frac{\log(M_{\text{observé}})}{M_{\text{prédit}}}$$

Avec :

$M_{\text{observé}}$: masse (en grammes) mesurée d'un individu (50 individus sont pesés et mesurés avant déversement pour chaque lot)

$M_{\text{prédit}}$: masse prédite d'après l'équation de la régression linéaire de la courbe taille-poids : $\log(\text{poids}) \sim \log(\text{taille})$ obtenue pour les 50 individus

Les K_n sont ensuite découpés en trois classes équilibrées, par la méthode des quantiles :

Classe 1 : faible condition [0.83 ;0.93] = 1

Classe 2 : condition moyenne [0.93 ;0.97] = 2

Classe 3 : bonne condition [0.97 ;1,13] = 3

Puis l'on considère cette variable comme numérique et l'on réalise la moyenne des classes de K , pour obtenir une « note » de condition des civelles par lot de déversement.

- Le stade pigmentaire : pour obtenir des stades de pigmentations équilibrés, on a ici regroupé les différents stades pigmentaires (Elie *et al.*, 1982) en 4 pools.

5A, 5B, 6A0=1
6A1=2
6A2=3
6A3, 6A4, 6B, 7=4

Chaque individu est alors classé dans un de ces pools, on réalise ensuite la moyenne de ces pools pour chaque lot, là encore en considérant cette variable comme « numérique ».

2.4.2. Etude des corrélations

Au préalable, les niveaux de corrélations entre les différentes variables quantitatives sont analysés pour éviter, de prendre en compte plusieurs fois les mêmes effets. Pour cela, le test de corrélation de Pearson est utilisé et les résultats sont présentés en Annexe III.

Concernant les variables d'ordre technique, les durées de stabulation minimales et maximales sont corrélées négativement avec les dates de pêche. Ainsi, les durées de stabulation ne sont pas considérées dans l'analyse.

Parmi les dates de pêche, on choisit de retirer les variables « jours de début » et « de fin » de pêche, pour ne garder que la variable « semaine de pêche », qui apporte une information plus générale et à un pas de temps plus approprié, sur la date de capture.

Dans les variables évaluant le niveau de blessure des civelles, on choisit de ne conserver que la variable basée sur le score de blessure, c'est-à-dire, la troisième version du facteur « taux de blessure ». C'est en effet, celle qui ressortait le mieux dans les premières itérations du modèle et elle présente l'avantage de ne pas sous-estimer certains niveaux de blessures

Au final, l'étude de la mortalité à 15 jours sera analysée en fonction des variables suivantes : durée de pêche, semaine de pêche, score de blessure, qualité et stade pigmentaire.

Les niveaux de corrélation entre ces variables n'étant que peu ou pas significatifs.

Dans le cas des variables qualitatives, on souhaite conserver l'ensemble des variables construites, car celles-ci représentent des effets supposés que l'on considère importants dans le cadre de cette analyse. Ainsi, l'on conserve donc l'effet « marquage », l'effet « type de test », l'effet « année », l'effet « origine » et l'effet « mareyeur ».

2.4.3. Etude des interactions

On s'intéresse alors aux possibles interactions entre les différentes variables, en prenant en compte particulièrement les interactions qui revêtent un sens en termes d'écologie ou bien de biologie. Ainsi, on testera parmi d'autres, l'interaction « année : origine », qui sous-tend de manière assez intuitive, de possibles variations de la mortalité sous l'effet d'une influence combinée de l'année et de l'origine.

On évalue alors la nécessité de conserver certaines de ces interactions pour intégration dans le modèle par la réalisation d'un interaction-plot, qui permet de visualiser l'existence ou non d'interactions entre deux variables. Les résultats obtenus nous incitent à prendre en compte les interactions « année : origine » et « année : mareyeur » dans le futur modèle.

2.4.4. Construction du modèle de mortalité à court terme

Le modèle construit est de type GLM binomial, car on évalue la probabilité pour chaque civelle de prendre les modalités « vivante » ou « morte ». Il est pondéré par le nombre initial de civelles présentes dans chaque test, soit en principe 50 individus.

La construction du modèle de mortalité sera basée sur le critère d'Akaike (AIC, Akaike, 1974), qui permet de sélectionner les variables sur la base du meilleur compromis entre déviance expliquée et degrés de liberté du modèle. On utilise ainsi la procédure dite « step-AIC forward », qui consiste, à partir d'un modèle nul, à tester une à une chacune des variables en les ajoutant au modèle nul et à ne retenir que celle qui contribue le plus à diminuer l'AIC. La procédure est ainsi répétée jusqu'à ce qu'aucune des variables restantes ne permette une amélioration significative du critère AIC ou bien jusqu'à épuisement des variables.

Une fois le modèle obtenu, on teste la significativité de chaque facteur au moyen d'une ANOVA, afin de vérifier la pertinence des facteurs sélectionnés par la procédure step-AIC.

2.4.5. Procédure de cross-validation « leave-one-out »

On teste ensuite la qualité prédictive du modèle par une procédure dite de « cross-validation » sur le modèle du « leave-one-out », qui consiste, dans une boucle, à retirer une valeur du jeu de données, puis, à partir du modèle obtenu à chercher à prédire cette valeur. On réalise ceci pour chaque valeur du jeu de donnée et on compare ensuite la relation entre les valeurs observées et prédites. Ainsi, avec un modèle parfait, qui prédit systématiquement la bonne valeur à partir des données observées, on devrait obtenir une droite dont l'ordonnée à l'origine serait 0 et le coefficient directeur serait 1.

2.5. Axe 2 : Détection, recapture & croissances des civelles alevinées

Etant dans l'impossibilité de déterminer quelle sera la production d'anguilles argentées issue de l'alevinage, l'efficacité du repeuplement est évaluée ici en tentant de répondre à trois questions :

- Les civelles alevinées sont-elles détectables sur la période de l'étude (6 à 12 mois) ?
- Les niveaux de recaptures sont-ils cohérents par rapport à ce qui est attendu ?
- Les civelles alevinées grandissent-t-elles et le marquage a-t-il une influence sur la croissance ?

Pour cela, on se basera principalement sur les données de capture/recapture disponibles dans la base de données et l'on procèdera à la construction d'un modèle visant à étudier la croissance.

2.5.1. Détection des individus alevinés

La détection des civelles alevinées à l'issue de la période d'étude se fait selon deux méthodes, en fonction de l'utilisation ou non d'un marquage des civelles.

Dans le cas de sites où un marquage a été mis en œuvre, c'est-à-dire de sites sur lesquels le recrutement naturel n'est pas considéré comme nul ou négligeable, on évalue alors la survie des civelles alevinées par la recapture ou non, d'individus présentant un marquage de l'otolithe. Tout individu non-marqué est alors de statut « indéterminé », car l'on ne dispose pas de moyen d'évaluer si celui-ci est d'origine « sauvage », ou bien s'il est issu du repeuplement mais n'a pas été marqué.

Dans le cas des sites sans marquage, dans lesquels le recrutement est considéré comme très faible, voire nul, on détecte alors les individus issus de l'alevinage par l'analyse des classes de tailles et notamment l'observation d'un pic pour la classe d'âge ciblée (≤ 110 mm à 6 mois, compris entre 110 et 150 mm à 12 mois et compris entre 190 et 240 mm à 36 mois).

On considère alors que l'ensemble des individus dans la classe d'âge 0/1+ sont issus du repeuplement.

2.5.2. Analyse des taux de recapture

Lors du déversement une certaine proportion des civelles alevinées a été marquée, le suivi de ce taux de marquage au sein de la population présente sur le site, apporte une information importante quant à la persistance des individus marqués dans le milieu, mais aussi sur la population présente localement.

Le taux de recapture est calculé de la manière suivante :

$$\tau = \frac{M_{\text{observé}}}{M_{\text{attendu}}} = \frac{\frac{C_{\text{marquées}}}{C_{\text{total}}}}{\frac{D_{\text{marquées}} * Z_{\text{marquées}}}{(D_{\text{marquées}} * Z_{\text{marquées}}) + (D_{\text{non-marquées}} * Z_{\text{non-marquées}})}}$$

Avec :

- τ : taux de recapture à 6 ou 12 mois
- $M_{\text{observé}}$: proportion de marquage observée parmi les individus capturés
- M_{attendu} : proportion de marquage au déversement corrigée par les mortalités différentielles
- $C_{\text{marquées}}$: nombre d'individus marqués parmi ceux conservés pour otolithométrie
- C_{total} : nombre d'individus conservés pour otolithométrie
- $D_{\text{marquées}}$: proportion de civelles marquées au moment du déversement
- $D_{\text{non-marquées}}$: proportion de civelles non-marquées au moment du déversement
- $Z_{\text{marquées}}$: mortalité constatée lors du suivi à 15 jours pour les individus marqués
- $Z_{\text{non-marquées}}$: mortalité constatée lors du suivi à 15 jours pour les individus non-marqués

Le niveau du taux de recapture peut alors être comparé à la valeur repère de 1, qui supposerait donc un taux de marquage observé, strictement identique au taux de marquage attendu. Cela impliquerait donc que la population observée lors du suivi n'aurait que peu, voire pas évolué et permet donc de supposer un certain isolement de cette population vis-à-vis d'un éventuel recrutement naturel.

Dans le cas d'un taux de recapture inférieur à 1, cela signifie donc que le taux de marquage observé est inférieur à ce qui était attendu.

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées : il peut s'agir d'une mortalité ou d'une dispersion préférentielle des individus marqués par rapport aux non-marqués, ou bien d'une dilution des individus alevinés au sein d'individus sauvages, entraînant ainsi une chute de la probabilité de recapture.

L'hypothèse moins probable d'un niveau de recapture supérieur à 1, signifierait au contraire une meilleure survie des individus marqués, ou bien une émigration préférentielle des individus non-marqués. Il peut aussi s'agir d'un aléa statistique lié au tirage aléatoire au sein d'un très petit échantillon d'individus recapturés.

2.5.3. Construction des variables du modèle de croissance

On construit donc un ensemble de variables nécessaires à l'étude de la croissance :

- La croissance elle-même, est calculée d'après les données de taille de la cinquantaine d'individus conservés pour l'analyse otolithométrique dans le cas de sites avec marquage et d'après les données de taille de l'ensemble des individus capturés dans la classe d'âge attendue pour les sites sans marquage. Chaque taille individuelle est alors diminuée de la taille moyenne calculée au moment du déversement. Cet écart de taille est ensuite ramené à la durée écoulée, en semaines, entre le déversement et le suivi, le taux de croissance est donc exprimé en mm.semaine^{-1} .

On notera que bien qu'il puisse paraître hasardeux de calculer une croissance individuelle en se basant sur une taille moyenne au déversement, cela est rendu nécessaire par le fait que la présente étude ne réalise pas un suivi individuel de chaque civelle. Il aurait pu paraître souhaitable de calculer une croissance moyenne par site, mais cela aurait entraîné une perte importante de variabilité. Les deux méthodes étant en réalité assez proches mathématiquement, on choisira donc plutôt de conserver la variabilité des données.

- Le nom du site ayant fait l'objet d'un repeuplement : on note en effet une certaine diversité d'habitats aux productivités différentes parmi les sites de la période 2011-2013
- L'année de réalisation du déversement : 2011, 2012 ou 2013 ; les conditions climatiques, la température en particulier, pouvant influencer grandement la croissance des jeunes anguilles
- Le type de campagne : pêche de suivi à 6 mois ou 12 mois ; le taux de croissance étant variable en fonction de l'âge de l'individu
- La latitude du site repeuplé : du fait de l'existence d'un gradient de température et de photopériode en fonction de la latitude
- Le marquage ou non, d'une partie des civelles repeuplées : puisque l'on cherche à explorer les effets potentiels de ce facteur
- La taille moyenne au moment du déversement : là encore, pour des raisons de variabilité de la croissance en fonction de l'âge ou du stade de développement (Tesch, 2003)

2.5.4. Construction du modèle de croissance

Le modèle construit pour étudier la croissance est de type GLM Gaussien, car l'on dispose ici d'un nombre suffisant de données de croissance (en principe, 50 par sites) pour considérer ce paramètre comme normalement distribué.

On se base une fois encore sur le critère d'Akaike pour la sélection des variables du modèle, puis sur l'ANOVA pour valider celles qui ont été sélectionnées.

2.5.5. Puissance statistique des résultats obtenus

On réalise ensuite une étude de la puissance statistique des résultats obtenus sur l'effet du marquage sur la croissance, afin de déterminer si le nombre d'individus disponibles pour chaque site est suffisant pour supporter les résultats du modèle et de l'ANOVA. Cette analyse est réalisée au moyen d'un test « maison » et non grâce au package R « pwr », dont les résultats semblaient inadaptés.

Le principe de ce test est de comparer deux distributions normales, au moyen du test de Welch, c'est-à-dire, sans faire d'hypothèses sur les variances.

On compare alors les deux distributions correspondant d'une part à la population marquée et d'autre part à celle non-marquée, en prenant en compte la différence de croissance constatée sur le critère « marquage ». On teste alors la différence entre ces deux populations en faisant varier d'une part la taille de l'échantillon et d'autre part, le nombre d'individus marqués au sein de cet échantillon. Chaque itération est réalisée 1000 fois et l'on fait ensuite la moyenne du niveau de significativité obtenu.

3. Résultats

3.1. Axe 1 : Suivi de la mortalité à 15 jours

3.1.1. Modèle de mortalité à court terme

Le modèle de mortalité obtenu par le biais de la procédure step-AIC est le suivant, son AIC est de 2557 :

Pourcentage de mortalité ~ origine + année + score de blessure + marquage + type de test + semaine de pêche + stade de pigmentation + origine : année

Cependant, l'ANOVA révèle que la variable « score de blessure » n'est pas significative au seuil de 5% (p-value = 0.2197), ce qui nous pousse donc à retirer cette variable du modèle.

On retrouve donc le modèle suivant, sur lequel, cette fois-ci, toutes les variables sont significatives au seuil de 5% et dont l'AIC vaut 2735.8:

Pourcentage de mortalité ~ origine + année + marquage + type de test + semaine de pêche + stade de pigmentation + origine : année

A l'issue de discussions autour de ce modèle, il a été décidé de mieux prendre en compte le décalage de phénologie que l'on observe dans les arrivées de civelles au niveau des différents estuaires.

Pour ce faire, on propose de tester une nouvelle variable qualitative, qui compare en trois modalités (précoces, normales et tardives) la période à laquelle a eu lieu la pêche en fonction du pic d'arrivées généralement observé sur chaque bassin. La procédure step-AIC montre alors que cette nouvelle variable « période de pêche » se substitue bien à la variable « semaine de pêche », car elle occupe la même place dans le modèle et contribue à expliquer une part comparable de la variance (1.7% contre 2.4%).

Ainsi, dans la mesure où cette nouvelle variable se substitue bien à la première et qu'elle s'avère plus rigoureuse, on choisit de la conserver plutôt que la variable « semaine de pêche ».

De la même manière, l'ANOVA nous incite à retirer la variable « score de blessure » (p-value = 0.2197), ce qui aboutit au modèle final suivant, dont l'AIC est de 2744.4 :

Pourcentage de mortalité ~ origine + année + marquage + type de test + période de pêche + stade de pigmentation + origine : année

Le modèle ci-dessus explique 52% de la déviance, bien qu'il s'agisse d'un bon résultat pour un modèle de ce type, il subsiste malgré tout, une part importante d'incertitude autour de la mortalité. Cette dernière est ainsi expliquée par un faisceau de variables et/ou interactions qui n'ont manifestement pas toutes été renseignées.

La part respective des facteurs dans la déviance totale expliquée est présentée dans le tableau 3 ci-dessous. Le facteur qui contribue à expliquer le plus le taux de mortalité observé est l'origine des civelles avec près de 25,3% de la déviance expliquée. L'effet du marquage est significatif mais faible avec 0,8%.

Tableau 3: Synthèse des résultats du modèle de mortalité

	Degrés de liberté	Déviance expliquée	% de la déviance totale expliquée	Déviance résiduelle
Modèle nul	300			3788,3
Origine	13	956,4	25,3	2831,9
Année	2	252,3	6,7	2579,6
Marquage	1	29,9	0,8	2549,7
Type de test	1	40,1	1,1	2509,6
Période de pêche	2	65,6	1,7	24439
Stade pigmentaire	1	64,6	1,7	2379,4
Origine : Année	6	561	14,8	1818,4
Déviance totale expliquée par le modèle			52	

3.1.2. Procédure de cross-validation « leave-one-out »

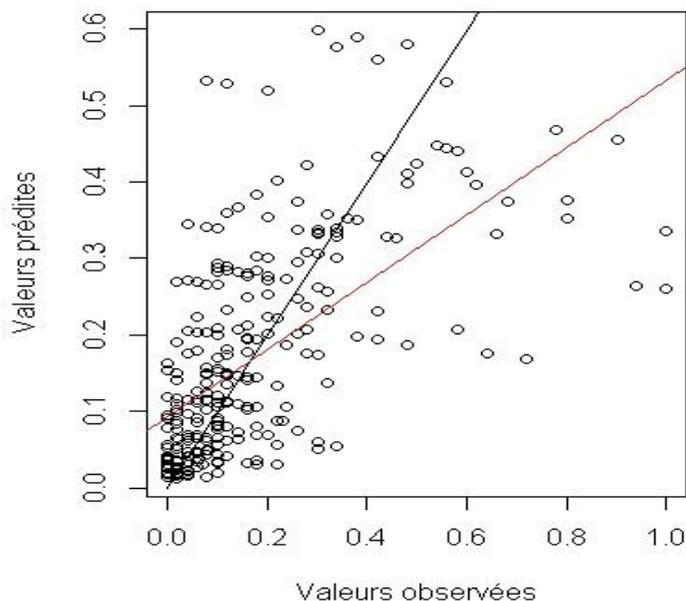


Figure 5: Résultats de la procédure de cross-validation. Droite noire : fonction identité ($f(x)=x$, adéquation parfaite des valeurs prédites et observées) ; droite rouge : ajustement linéaire du modèle.

En ce qui concerne la procédure de cross-validation (Figure 5), on obtient pour la relation entre valeurs observées et prédites, une droite dont l'équation est la suivante : $y=0.44x+0.1$ ($R^2=0.39$); ainsi, le modèle obtenu a donc plutôt tendance à sous-estimer les fortes valeurs et à surestimer les faibles valeurs. L'ajustement est globalement satisfaisant pour des valeurs de mortalité inférieures 50%, ce qui représente environ 93 % de l'échantillon.

La qualité prédictive du modèle est donc basse, mais l'on rappellera que l'objectif ici était surtout d'identifier et hiérarchiser les variables responsables de la mortalité à court terme.

3.1.3. Etude de l'effet « origine de pêche »

On cherche désormais à décrire l'effet de chaque variable sur le pourcentage de mortalité à court terme.

On commence ici par la variable « origine » (Figure 6), responsable de près de 25,3% de la déviance. Une grande variabilité des taux de mortalités est observée en fonction des sites avec notamment, des valeurs élevées (> 0,25%) sur la Garonne et le Lay, correspondant respectivement aux déversements de Hourtin (2011) et du Lay (2011). Au contraire, on aura tendance à observer des mortalités assez faibles sur la Charente et la Seudre (Marais de Brouage, 2012 et Etang de Cousseau, 2012), la Gironde (Lacanau 2012 et 2013), le Lay-Bourgneuf-Loire (Lay aval 2013), ainsi que sur le St Valery-Somme-Le Crotoy (St Landon 2013).

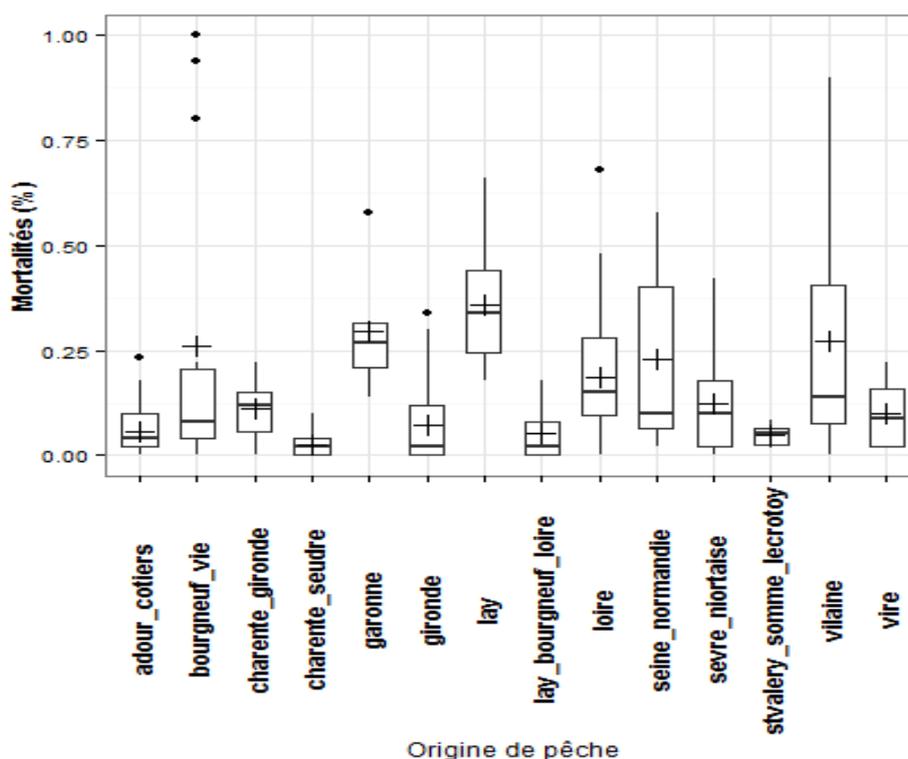


Figure 6: Effet de la variable "origine de pêche" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)

3.1.4. Etude de l'effet « année »

La variable « année » (Figure 7), qui explique près de 6.7% de la déviance, présente un profil particulier, avec des pourcentages de mortalité en moyenne 2.6 fois supérieures en 2011 (33 %), première année du repeuplement, qu'en 2012 (13 %) et 2013 (12 %) (Figure 8).

Ce résultat est confirmé au moyen d'un test de Tukey, selon lequel l'année 2011 est significativement différente de 2012 (p -value < 0.05) et 2013 (p -value < 0.05= 0), alors qu'au contraire, ces dernières ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre (p -value = 0.87).

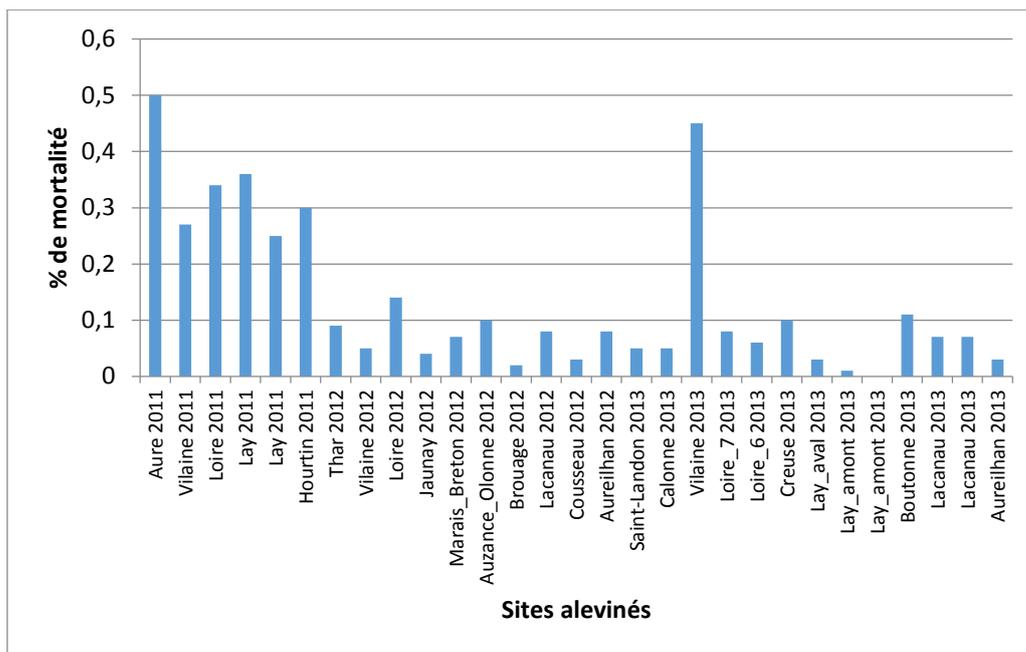


Figure 7: Pourcentages de mortalité moyens à 15 jours, par sites et années

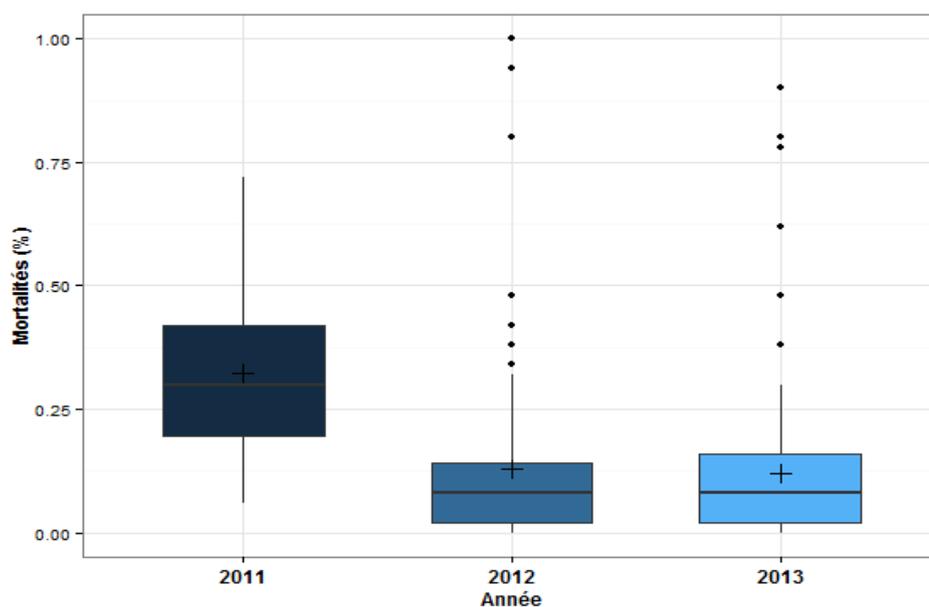


Figure 8: Effet de la variable "année" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)

3.1.5. Etude de l'effet « marquage »

L'un des résultats important attendu de ce travail, concerne l'évaluation de l'effet « marquage » (Figure 9), qui est responsable de seulement 0.8% de la déviance expliquée et qui a lieu, on le rappelle, sur une proportion variable des civelles déversées et doit permettre d'évaluer, lors des campagnes de recapture, la persistance des civelles alevinées dans le milieu.

La proportion marquée doit permettre une probabilité de recapture suffisante et engendrer le minimum d'effets négatifs.

Dans le cas de la mortalité moyenne à court terme, qui s'avère assez faible dans l'ensemble, le marquage engendre malgré tout une surmortalité de l'ordre de 29%, avec des mortalités moyennes chez les civelles marquées de près de 18,8%, contre 14,6% pour les individus non-marqués.

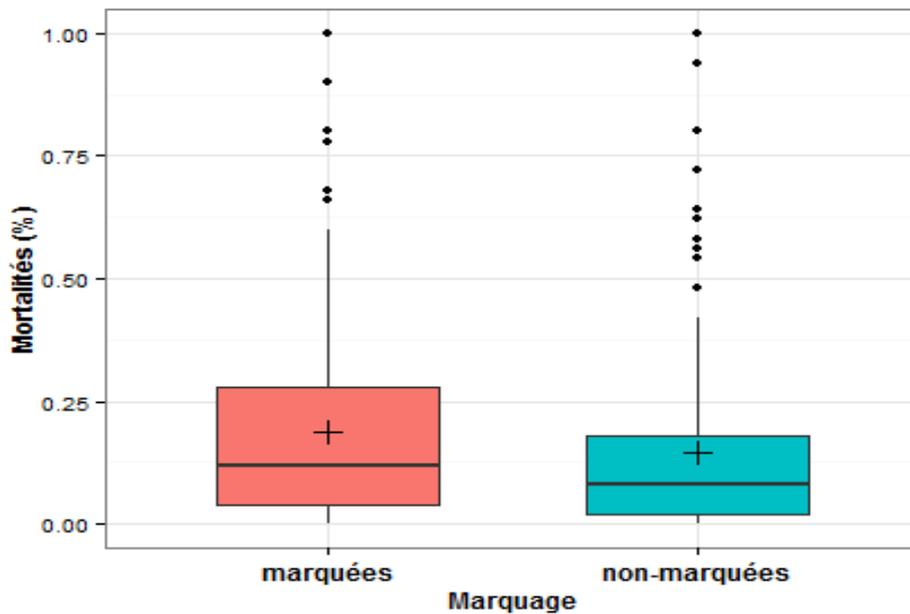


Figure 9: Effet de la variable "marquage" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)

3.1.6. Etude de l'effet « type de test »

Le type de test de mortalité (1,1% de la déviance) présente lui aussi des différences en termes de pourcentage de mortalité, puisque l'on observe une surmortalité dans les tests *in situ*, avec des mortalités 27.9% supérieures (18.4%) par rapport aux individus maintenus en milieu contrôlé (14.4%) (Figure 10).

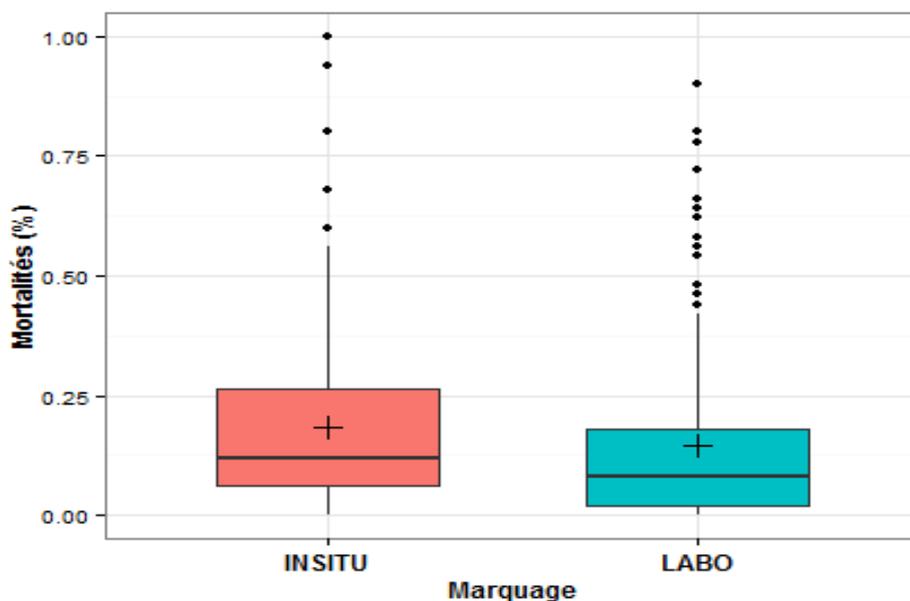


Figure 10: Effet de la variable "type de test" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne)

3.1.7. Etude de l'effet « période de pêche »

La variable « période de pêche » (1.7 % de la déviance) apporte une information intéressante en termes de gestion, car l'on constate que la mortalité est relativement faible pour les individus les plus précoces (9.4% en moyenne) et augmente pour les individus capturés lors du pic et après (resp. 12.6% et 18.2%) (Figure 11).

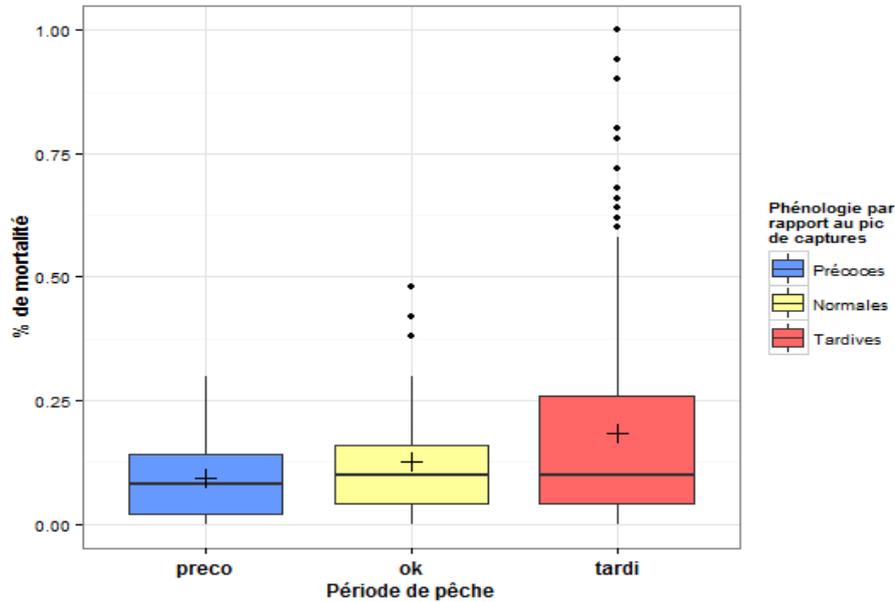


Figure 11: Effet de la variable "période de pêche" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours. (les croix indiquent la valeur moyenne ; précoces : capture avant le pic d'arrivées, normales : capture au moment du pic, tardives : capture après le pic)

3.1.8. Etude de l'effet « stade pigmentaire »

L'effet de la variable « stade pigmentaire » (1.7% de la déviance) est peu évident à évaluer, car la variabilité est très importante et l'ajustement particulièrement mauvais. Il semblerait cependant que les mortalités soient plus faibles pour les stades pigmentaires les plus avancés (Figure 12).

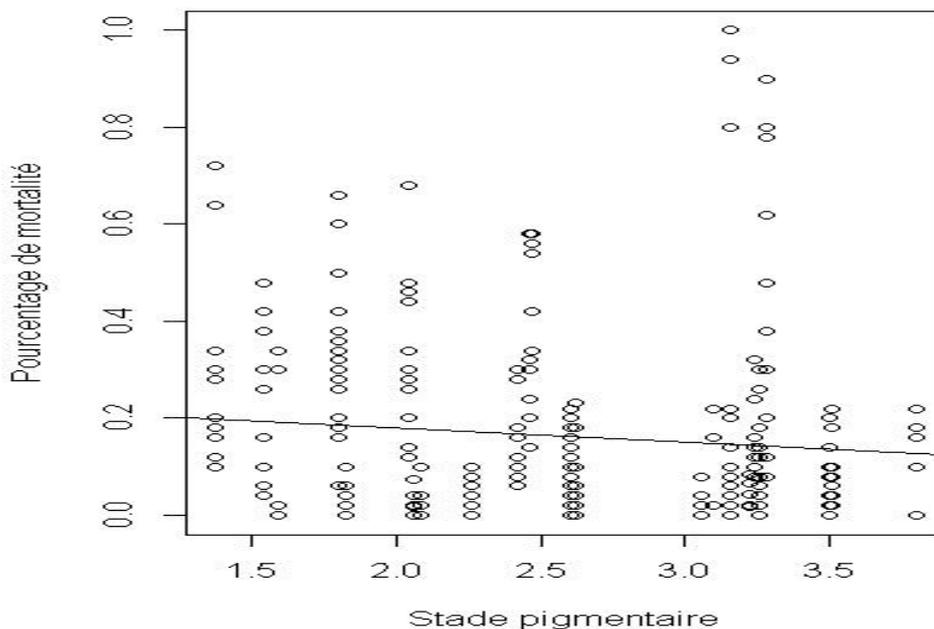


Figure 12: Effet de la variable "stade pigmentaire" sur le pourcentage de mortalité à 15 jours.

3.2. Axe 2 : Détection, recapture & croissances des civelles alevinées

3.2.1. Détection des individus alevinés

L'analyse des données issues des campagnes de pêche à 6 et 12 mois montre que l'on retrouve bien des individus issus de l'alevinage sur la plupart des sites repeuplés et ce, quel que soit la campagne de pêche (Annexe IV et V).

Pour les sites sur lesquels un marquage (Figure 13) a été utilisé, seul la Loire (2011, 6 et 12 mois) et la Vilaine (2012, 12 mois) ne présentent aucune recapture d'individus marqués. Dans de tels cas, il convient alors de s'interroger sur la signification de cette absence de recaptures. Cela signifie-t-il que les civelles ne sont plus présentes dans le milieu (mortalité, dispersion ?), ou bien cela peut-il s'expliquer par de faibles probabilités de recaptures ?

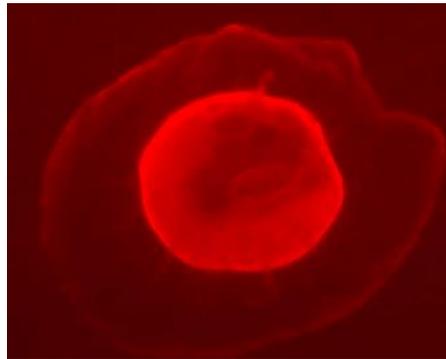


Figure 13 : Otolithe d'anguille marqué à l'ARS, l'anneau brillant correspond à la zone marquée (Photo : Fish Pass).

Lorsqu'aucun marquage n'a été utilisé (Figure 14), on observe là encore dans la quasi-totalité des sites, des recaptures d'individus dont la taille les désigne comme issus du repeuplement. Seul deux sites ne présentent pas de recaptures, celui d'Hourtin en 2011, qui ne montre aucune recaptures à 6 mois et une seule à 12 mois, ainsi que celui de Cousseau en 2012, sur lequel aucunes recaptures n'ont été observées à 6 mois et seulement 3 à 12 mois.

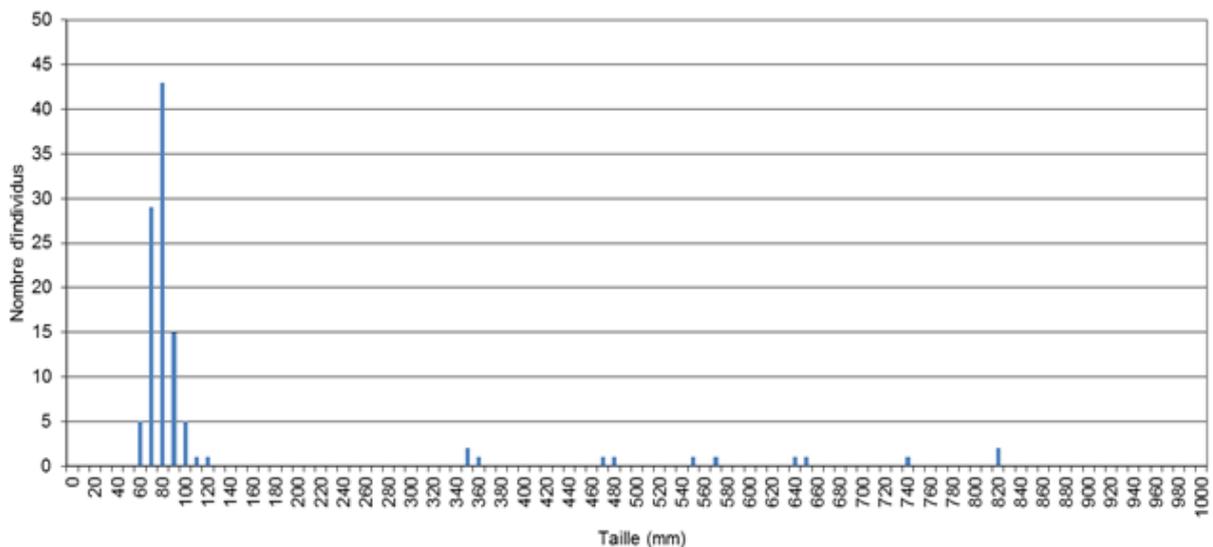


Figure 14 : Identification des individus alevinés par l'étude des classes de taille pour les individus de la Calonne (Mazel *et al.*, 2013)

3.2.2. Analyse des taux de recapture

On observe une grande variabilité inter-sites des taux de recapture à 6 et 12 mois. La valeur de 1 (droite rouge) est présentée comme seuil de référence et correspondrait donc à une proportion de marquage strictement identique entre les individus recapturés et les civelles déversées (Figures 15 & 16). Le taux moyen observé est de 0.61 à 6 mois et de 0.46 à 12 mois.

Les taux de recapture doivent cependant être pris avec précaution compte-tenu du faible nombre d'individus marqués, qui sont compris entre 0 et 17 suivant les sites, pour une moyenne de 6 individus.

L'évolution de ces taux de recapture de 6 à 12 mois, disponible sur 11 sites, montre là encore, une grande variabilité. 7 de ces 11 sites n'évoluent que très peu ou restent stables, en particulier le Thar, la Vilaine, l'Auzance-Olonne et le marais de Brouage en 2012, les 4 autres en revanche, montrent une diminution beaucoup plus marquée (Vilaine & Lay 2011, Jaunay et Aureilhan 2012) ; en moyenne, cette diminution est de 23%. La majorité de ces sites (2/11) est supposée avoir un recrutement naturel non-négligeable, ce qui peut donc expliquer cette baisse du taux de recapture, du fait d'une dilution des individus alevinés au sein de ces recrues naturelles.

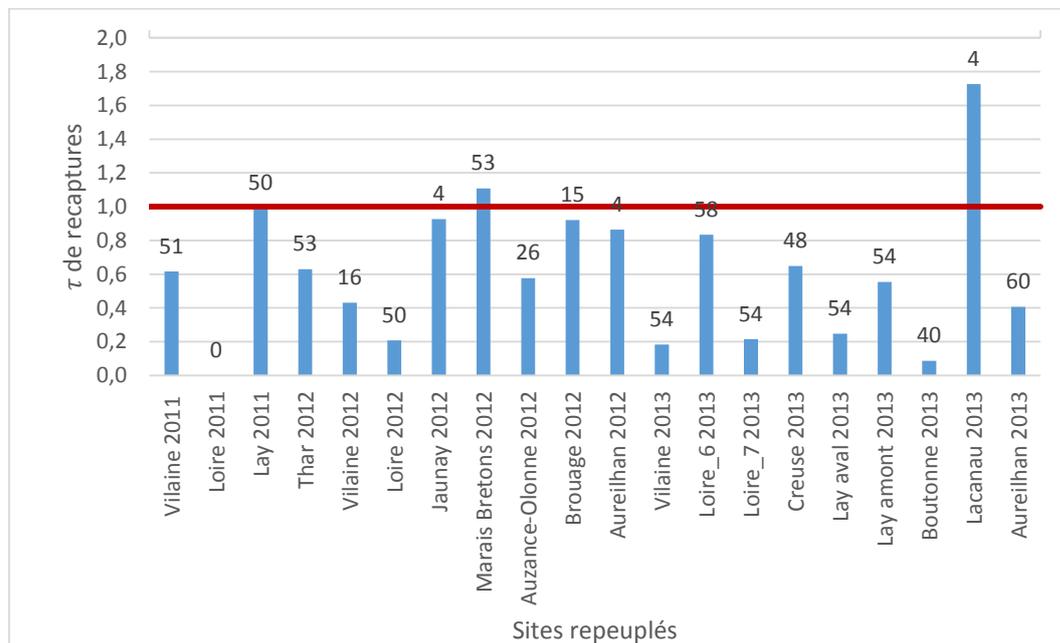


Figure 15: Taux de recapture à 6 mois (étiquettes : nombre d'individus analysés par otolithométrie, sur chaque site)

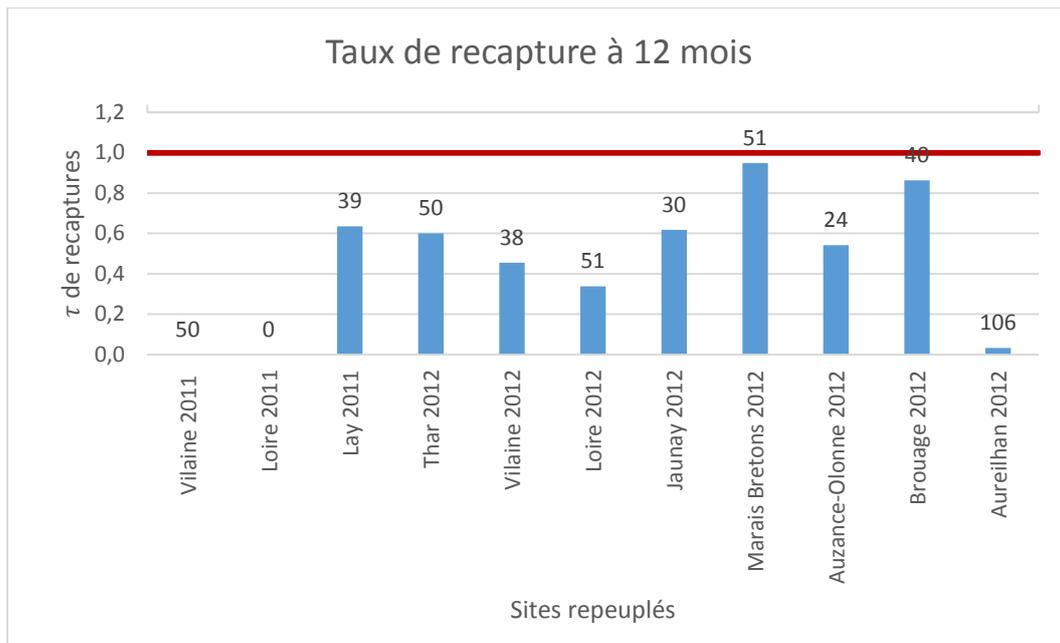


Figure 16: Taux de recapture à 12 mois (étiquettes : nombre d'individus analysés par otolithométrie, sur chaque site)

3.2.3. Modèle de croissance

Devant les captures parfois très faibles obtenues sur certaines campagnes de suivis, on cherche désormais à déterminer s'il serait possible de pooler les individus en fonction de certaines variables, ceci afin d'améliorer la puissance statistique des résultats. L'objectif de ce modèle est donc de déterminer quelles variables influencent significativement la croissance.

Le modèle obtenu par le biais de la procédure step-AIC est le suivant, son AIC est de 1605 :

$$\text{Croissance} \sim \text{Site} + \text{année} + \text{type de campagne} + \text{marquage}$$

D'après l'ANOVA, tous les paramètres sélectionnés s'avèrent significatifs et le modèle n'explique finalement qu'un total de 35% de la déviance.

Les différents effets qui ressortent de ce modèle nous interdisent donc de pooler les données comme on cherchait à le faire.

3.2.4. Analyse de l'effet du marquage sur la croissance

Dans la mesure où l'effet « marquage » apparaît dans le modèle et s'avère significatif, on cherche désormais à quantifier son impact sur la croissance.

On peut citer les valeurs repères suivantes (Tableau 4) :

Tableau 4 : Valeurs repères sur les croissances des individus marqués et non-marqués

Croissance en mm/semaine	Individus marqués	Individus non-marqués
Quantile 1	0.24	0.34
Moyenne	0.63	0.7
Quantile 3	0.91	1.02
Ecart-type	0.46	0.48

On en déduit donc une différence de croissance de l'ordre 9.9% entre les individus marqués et non-marqués (Figure 17).

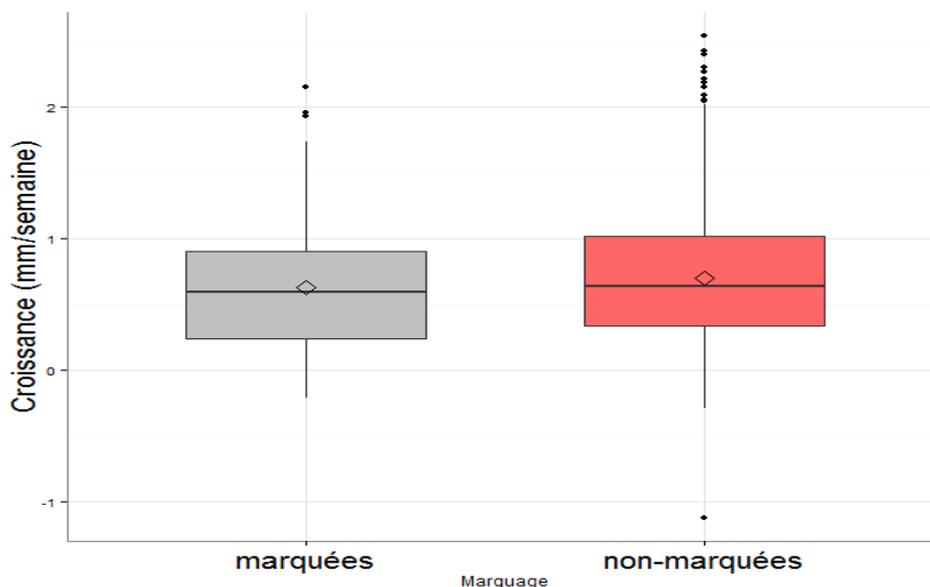


Figure 17: Effet du marquage sur la croissance. (les losanges indiquent la valeur moyenne)

Les figures 18 et 19 présentent les croissances comparées des individus marqués et non-marqués pour chaque site, à 6 et 12 mois. On constate une grande variabilité de croissance d'un site à l'autre, avec des croissances fortes pour les sites du marais de Brouage (2012) ou de la Loire lot 6 (2013), qui se situent au-delà de $1 \text{ mm.semaine}^{-1}$ et des croissances très faibles pour certains sites du Nord de la France par exemple, autour de $0.2 \text{ mm.semaine}^{-1}$.

Il est cependant nécessaire de prendre ces résultats avec prudence, du fait du nombre parfois faible de recaptures sur certains sites.

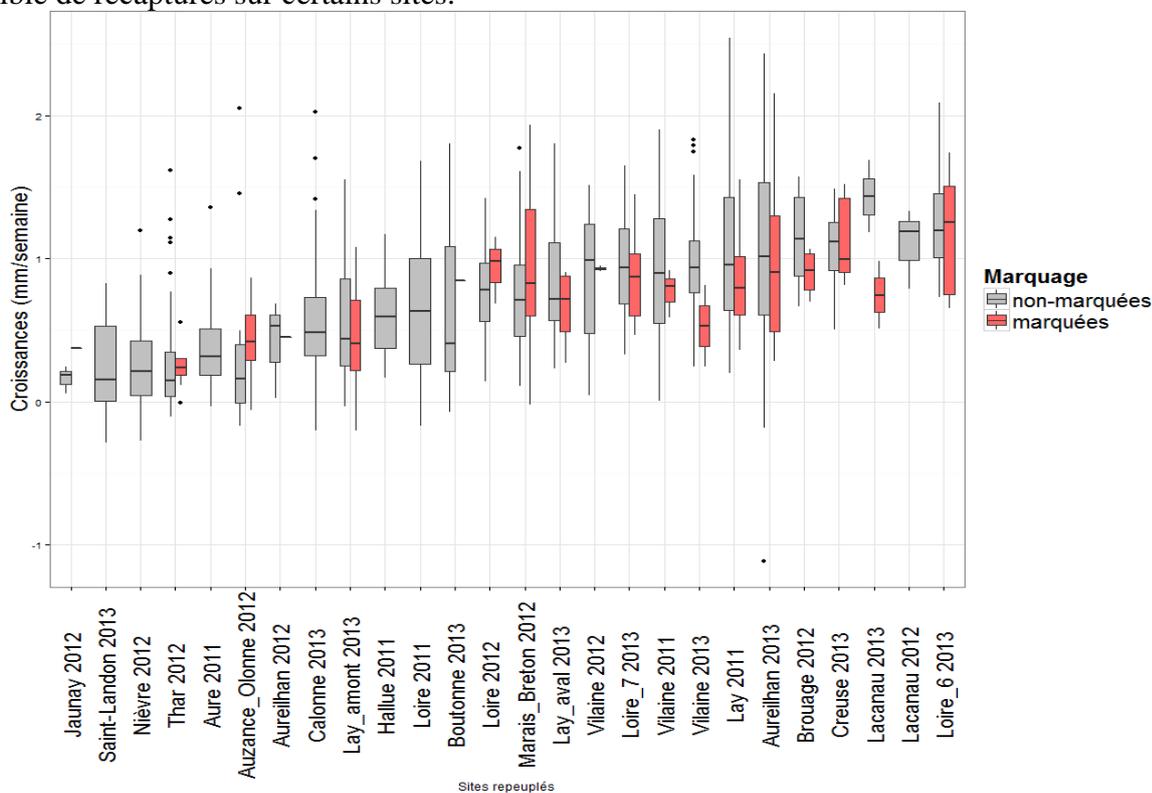


Figure 18: Croissances à 6 mois, par sites.

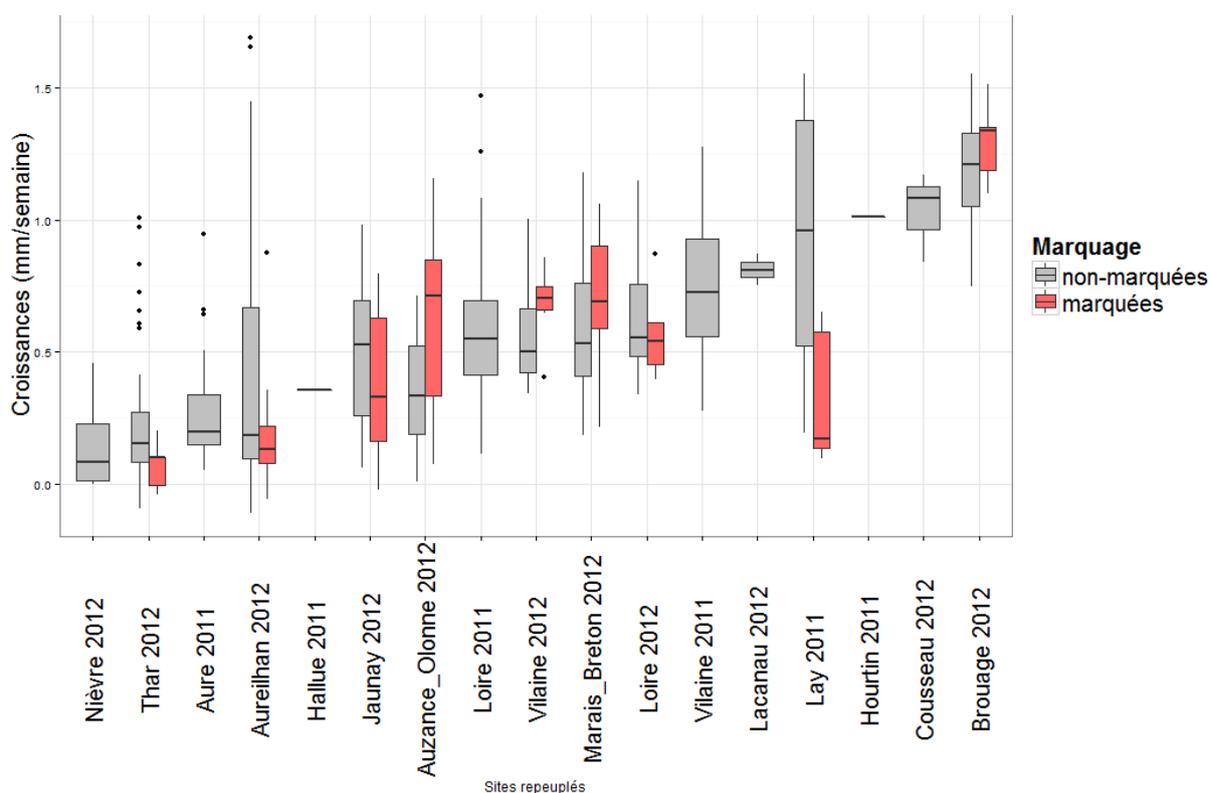


Figure 19: Croissances à 12 mois, par sites.

3.2.5. Puissance statistique des résultats

Le nombre de recaptures étant parfois très faible et n'ayant pu pooler certains résultats ensemble, on s'interroge désormais sur la puissance statistique des résultats obtenus plus haut. Le nombre d'individus marqués parmi ceux recapturés sur chaque site est-il suffisant pour observer une différence significative de croissance?

Le test de puissance utilisé compare donc deux distributions normales, sur la base du test de Welch. La première distribution correspond aux individus « marqués » (moyenne = 0.63 mm/semaine ; écart-type = 0.46 mm/semaine) et la seconde population aux individus « non-marqués » est basée sur la première, mais présente une augmentation de l'ordre de 9.9 %, comme constaté en 3.2.4. La significativité de la différence entre ces deux populations est ensuite testée, avec d'une part une variation de la taille de l'échantillon, puis d'autre part, une variation du nombre d'individus marqués au sein de cet échantillon. Chaque itération est répétée 1000 fois, on réalise alors la moyenne des niveaux de significativité obtenus.

Pour un échantillon de 50 individus, comme le protocole de repeuplement le préconise, le meilleur niveau de significativité obtenu avec ces paramètres est d'environ 0.40 et il suppose que la moitié des recaptures soient marquées.

C'est seulement à partir d'un échantillon de 600 individus, avec près de la moitié des recaptures marquées, que le niveau de significativité atteint le seuil de 5 %. Si l'on choisit le seuil de 10%, il est en revanche atteint dès les 145 individus marqués sur 600, ce qui est donc plus satisfaisant (Figure 20).

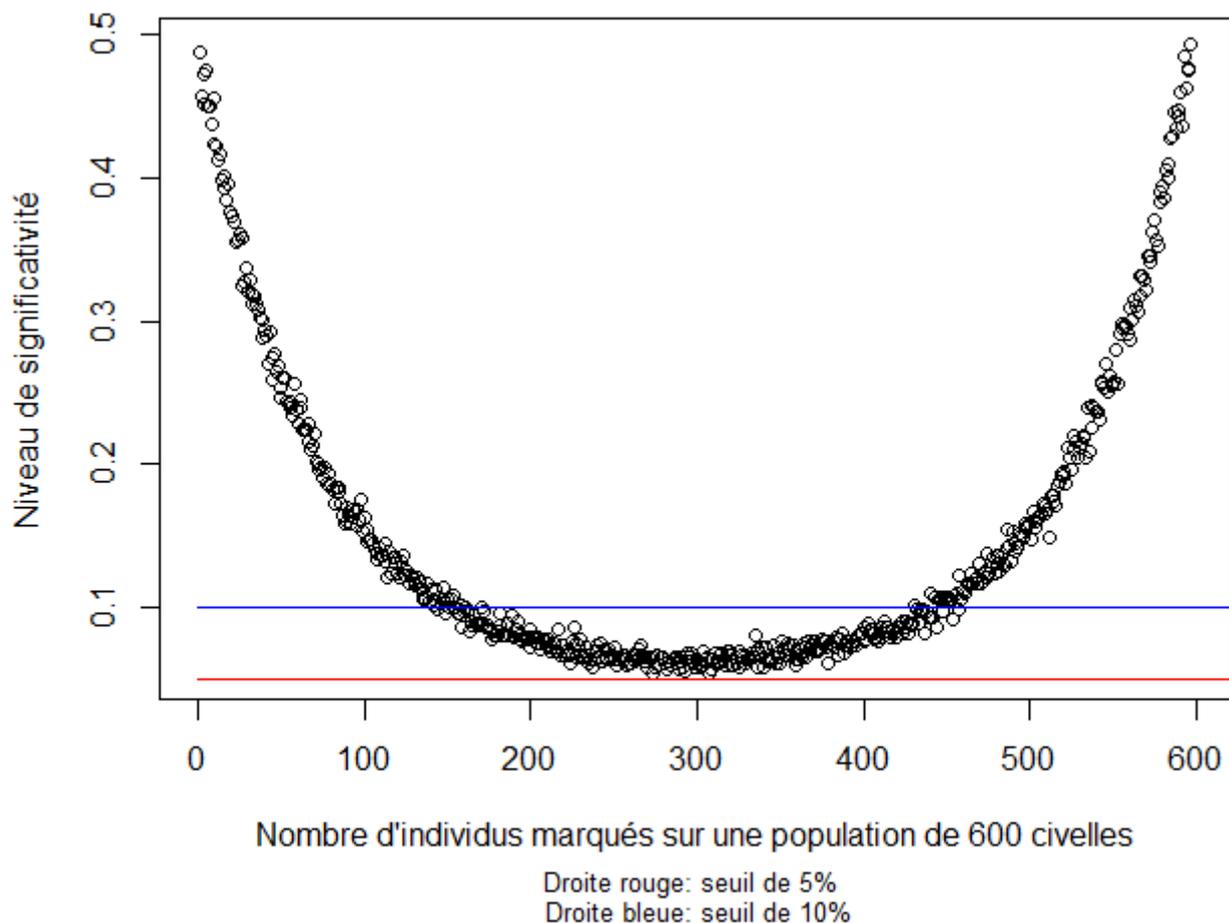


Figure 20: Niveau de significativité en fonction du nombre d'individus marqués dans les recaptures.

4. Discussion

4.1. Axe 1 : Suivi de la mortalité à 15 jours

Le modèle de mortalité à court terme est donc encore perfectible, puisqu'il n'explique que 52% de la déviance. Bien qu'il s'agisse d'un score satisfaisant pour ce type de modèle, une part encore importante de la déviance reste à expliquer. Pour améliorer sa robustesse, il faudrait donc intégrer de nouvelles variables. On peut citer notamment comme pistes d'amélioration l'ajout de différents paramètres physico-chimiques, comme par exemple la saturation en oxygène du milieu de déversement ou encore l'écart de température entre les caisses de stockage et la température de l'eau au moment de l'alevinage. Ces données ne sont malheureusement que très partiellement disponibles, ce qui explique qu'elles n'ont pas été utilisées dans cette étude.

Une des attentes vis-à-vis des résultats du modèle sur la mortalité à court terme était de pouvoir donner des préconisations en vue d'améliorer le protocole de déversement et ainsi d'optimiser la survie des civelles alevinées. Malheureusement, si l'on excepte les précisions obtenues sur l'impact du marquage, les résultats n'ouvrent pas de perspectives majeures d'amélioration.

L'origine de pêche et l'année de l'alevinage sont en effet responsables de la plus grande part de la déviance expliquée par le modèle et il s'agit de deux variables sur lesquelles nous n'avons aucune prise.

On rappellera en effet l'interdiction de transferts inter-UGA, d'où l'impossibilité de repeupler les cours d'eau français avec les civelles d'un même site. De plus, derrière cet effet « origine de pêche », il peut y avoir simplement un effet « UGA ». Autrement dit, il ne s'agit pas forcément de civelles de meilleures qualités suivant les UGA, mais peut-être plutôt d'UGA de meilleures qualités, c'est-à-dire disposant de plus d'habitats ou d'eaux moins polluées par exemple.

Les différences de mortalité importantes constatées d'une année à l'autre s'expliquent probablement par un effet de « rodage ». Il a en effet été rapporté par les représentants des professionnels (pêcheurs et mareyeurs) qu'une adaptation, parfois difficile, a été nécessaire en 2011. Il paraît en effet, assez intuitif, que l'on ne pêche, ni ne stabule, de la même manière des civelles destinées à la consommation et des civelles devant être utilisées pour le repeuplement. C'est alors toute la chaîne de production qui doit être revue en profondeur, les engins de pêche, la durée des traits, les moyens et conditions de stockage à bord, comme à terre, doivent faire l'objet d'une adaptation afin de fournir le maximum de civelles les plus indemnes possibles. Avec l'adaptation des professionnels à ces nouveaux objectifs de production, il est probable que sur le moyen/long terme l'importance de l'effet « année » tende à diminuer, avec des mortalités plus faibles et régulières, similaires à ce que l'on observe en 2012 et 2013.

Le résultat issu de l'analyse des stades pigmentaires, bien que peu clair, semble indiquer de plus faibles mortalités pour les stades pigmentaires les plus avancés. Cependant, cela entre en contradiction avec les préconisations faites dans le protocole de repeuplement, visant notamment à prévenir la propagation de pathogènes. Les stades pigmentaires les plus avancés étant plus susceptibles d'être contaminés.

En ce qui concerne la période de pêche, il semble que les civelles les plus précoces survivent mieux après déversement. Ceci révèle une certaine contradiction avec les pratiques des professionnels, il y a quelques années. En effet, au début de la mise en place du programme de repeuplement français, les premières prises de civelles étaient préférentiellement vendues pour la consommation. Les lots de repeuplement étant alors constitués à partir des individus les plus tardifs. De nos jours, les pratiques ont évolué, car la chute des prix de la civelle a rendu le repeuplement bien plus intéressant sur le plan financier. On constate aujourd'hui une prévalence des individus précoces dans les repeuplements récents, ce qui semble donc très positif.

Enfin, la surmortalité constatée chez les civelles marquées (+29 %) doit inciter à rechercher le meilleur équilibre entre optimisation de la probabilité de recapture afin de garantir l'efficacité du suivi et limitation de la mortalité liée au déversement chez une espèce, qui, on le rappelle, est aujourd'hui menacée d'extinction.

4.2.Axe 2 : Détection, recapture & croissances des civelles alevinées

Il a donc été montré dans cette étude que les individus alevinés sont détectés à 6 et 12 mois après le repeuplement, ce qui signifie qu'au moins quelques individus survivent et restent sur place pendant la période de suivi.

Les taux de recapture observés sont dans l'ensemble stables, voire légèrement plus faibles qu'attendu, ce qui peut s'expliquer notamment par une dilution au sein des recrues naturelles et alevinées.

Les croissances sont certes, plus faible qu'attendu au regard des données disponibles dans la littérature, pour des anguilles européennes dans leur 12 premiers mois continentaux. Mais elles restent cependant dans la gamme des croissances connues pour les anguilles jaunes, soit 1 à 6 cm par an (Gordo and Jorge, 1991). On note également une très grande variabilité de croissances d'un site à l'autre, ce qui s'explique notamment par la diversité de milieux et de conditions de croissance offertes parmi les 28 sites repeuplés.

La survie et la croissance des civelles alevinées sont en effet, conditionnées par de nombreux paramètres écologiques, parmi lesquels la disponibilité en habitat, en ressource trophique *etc.* Ceci rend la sélection des sites candidats au déversement particulièrement cruciale. On peut ici citer en exemple le cas de la Vilaine en 2011, où le site choisi présente un important déficit d'habitats, avec des berges de terre nue, peu de végétaux aquatiques et presque aucuns enrochements. De plus, il a été constaté de fréquentes périodes d'assecs, ce qui laisse à penser que les civelles sur ce site ont probablement émigré ou bien sont mortes par manque d'eau (Mazel et al., 2012, Observations personnelles, 2014). Il serait donc souhaitable qu'une réflexion soit engagée en vue d'intégrer d'autres critères de sélection. On recommandera particulièrement de s'intéresser à la présence d'habitats convenant aux différents stades de l'anguille : enrochements, présence d'hélophytes *etc.*, tant ce critère était flagrant lors de la pêche de suivi à laquelle j'ai pu assister. Les civelles et anguillettes étaient en effet concentrées sur les rares zones d'enrochements et presque absentes sur l'essentiel du linéaire constitué de berges nues.

On peut aussi s'interroger sur la pertinence de l'utilisation de la pêche au verveux en lieu et place de la pêche électrique. Il s'agit en effet, de deux techniques de capture très différentes, la première étant une technique passive, qui capture des individus mobiles, probablement à des stades de taille et de développement spécifiques ; la seconde est une technique active, qui capture tous types d'individus mobiles ou immobiles, quel que soit leur stade de vie. L'emploi de la pêche électrique, qui est certes plus onéreuse, est compliquée par les profondeurs et la végétation importante susceptible d'être rencontrés dans les lacs médocains, sites sur lesquels la pêche aux verveux a principalement été utilisé. Cependant, au vu des captures réalisées notamment à Lacanau (2012 et 2013) et Cousseau (2012), on est en droit de s'interroger sur son efficacité et sur la pertinence qu'il y a à comparer ces données avec celles obtenues par pêche électrique.

La tendance à la diminution observée sur les taux de recapture pourrait s'expliquer simplement par la surmortalité observée chez les civelles marquées ; cependant ce facteur est d'ores et déjà pris en compte puisqu'il a servi à corriger la proportion de civelles marquées, attendues lors de la recapture.

. Une autre explication ferait référence à une dilution des individus alevinés, ce qui engendrerait une baisse de la probabilité de recapture. Or, si ces sites ont fait l'objet d'un marquage, c'est justement parce que le recrutement naturel et les populations préexistantes sont considérées comme non-négligeables.

Ainsi, dans le cas de la Loire en 2011, sur lequel aucune recapture n'a jamais été observée on notera que le taux de marquage n'était que de 11%. Or, on sait que le recrutement naturel est très important sur ce fleuve (Feunteun, communication personnelle, 2014). Dans les trois autres déversements ayant eu lieu sur ce même cours d'eau et sur lesquels des recaptures ont été observées, le taux de marquage étaient de 42, 70 et 30%, soit au minimum près de trois fois supérieurs à la proportion de marquage de 2011. Ces résultats évoquent typiquement un problème de faible probabilité de recaptures liée à un taux de marquage insuffisant.

Une troisième hypothèse liée aux phénomènes de dispersion et colonisation pourrait être avancée. En effet, malgré le fait que la densité en anguilles sauvages soit prise en compte pour adapter les quantités déversées lors des repeuplements, il est possible que les individus alevinés aient rencontré une certaine compétition pour la ressource trophique ou bien l'habitat. Ceci a donc pu engendrer des migrations en dehors de la zone de déversement.

Ainsi, si les individus marqués ont migrés hors de la zone de déversement, on devrait observer une baisse de la proportion de marquage dans la population présente sur le site.

Cela supposerait par contre, que les individus marqués auraient un comportement différent des non-marqués. Or, rien ne nous permet de penser que le marquage engendrerait un biais de comportement.

De manière générale, on dispose de très peu d'informations sur la migration et la colonisation de l'anguille au stade civelle. De plus, on ne dispose d'aucunes données pour étayer cette hypothèse. On considèrera donc que la dispersion n'entre pas en jeu dans l'évolution de la proportion de marquage à la recapture.

L'évolution de ce taux de recapture possède donc le potentiel pour caractériser le recrutement naturel sur chaque site aleviné avec marquage. Si l'on fait l'hypothèse que la dispersion n'entre pas en jeu, en quantifiant les mortalités que sont susceptibles de subir les civelles alevinées, on dispose alors de l'information nécessaire pour évaluer l'intensité du recrutement naturel. En effet, après prise en compte de la mortalité, la diminution du taux de recapture est alors directement imputable à une dilution des individus alevinés au sein des individus « sauvages ».

On a précisé dans l'axe 1 l'existence d'une différence à court terme de la mortalité du fait du facteur marquage, sans doute liée au stress supplémentaire engendré par les manipulations nécessaires au marquage. Il semble raisonnable de penser que ces différences de mortalité tendent à s'équilibrer avec le temps et que les profils de mortalité des individus alevinés dans leur ensemble se rapprochent de ceux estimés chez les individus sauvages. Lambert (2008) fait ainsi état d'un taux de survie de 30 % la première année chez les civelles, puis Dekker (2000) évoque 13% de mortalité par an chez l'anguille jaune. Disposant de ces éléments on est alors en mesure de considérer l'existence d'un potentiel effet de dilution et ainsi d'estimer grossièrement l'ampleur des arrivées sur site de civelles « sauvages ». On notera que suivant l'éloignement à la mer du site repeuplé, le temps de trajet des civelles est potentiellement de plusieurs années.

Le fait que le marquage ait manifestement un effet négatif sur la croissance (-9.9 %) vient s'ajouter à l'argumentaire plaçant pour une réduction au minimum du taux de marquage. L'ensemble des croissances observées dans cette étude sont toutefois nettement inférieures à ce qui est indiqué dans la littérature. On citera notamment l'étude de Panfili et Ximenes (1994) qui réalise une synthèse des croissances observées sur 29 sites européens et qui indique un taux de croissance moyen de $1.8 \text{ mm.semaine}^{-1}$ ($\pm 0.85 \text{ mm.semaine}^{-1}$). Ils distinguent cependant les sites « salés » des sites d'eaux douces, entre lesquels une nette différence est constatée avec $2.10 \text{ mm.semaine}^{-1}$ ($\pm 0.92 \text{ mm.semaine}^{-1}$) pour les premiers, contre $1.31 \text{ mm.semaine}^{-1}$ ($\pm 0.31 \text{ mm.semaine}^{-1}$) pour les seconds. Ces résultats sont à comparer aux $0.63 \text{ mm.semaine}^{-1}$ ($\pm 0.46 \text{ mm.semaine}^{-1}$) pour les individus marqués et aux $0.7 \text{ mm.semaine}^{-1}$ ($\pm 0.48 \text{ mm.semaine}^{-1}$) pour les non-marqués trouvés dans cette étude. Ces différences sont sans doute imputables au stress provoqué par l'ensemble des opérations de repeuplement : pêche, transport, stabulation, déversement *etc.*

On notera également qu'aucune distinction de sexe n'ayant été faite lors de l'échantillonnage, on se trouve donc dans l'impossibilité de comparer les performances de croissances des deux sexes. On rappellera notamment que les femelles de cette espèce grandissent plus vite que les mâles et atteignent des tailles bien supérieures (Tesch, 2003).

Sur la question de la puissance statistique des résultats, on a vu que le nombre d'individus conservés pour analyse otolithométrique était bien inférieur au nombre d'individus nécessaires pour pouvoir observer une différence de l'ordre de grandeur de celle qui a été constatée entre individus marqués et non-marqués (9.9 %). Dès lors, pour améliorer la puissance statistique des résultats, il est nécessaire de disposer de plus d'individus marqués dans les données de suivi.

Ceci, afin de diminuer l'écart-type et ainsi pouvoir mettre plus facilement en évidence la différence observée, qui reste relativement faible. Pour cela, deux options s'offrent ici : soit l'on choisit d'augmenter le taux de marquage afin d'augmenter la probabilité de recapture, soit l'on choisit de conserver plus de civelles pour l'analyse otolithométrique.

Comme on l'a vu plus haut, l'augmentation du taux de marquage est à déconseiller au vu de l'impact négatif que le marquage engendre sur la mortalité et la croissance des individus marqués. Pour autant, le prélèvement d'un plus grand nombre de civelles pour analyse n'est pas non plus recommandable, car on le rappelle, le prélèvement des otolithes est une méthode invasive, qui implique la mort de l'animal. Ainsi, au vu des objectifs initiaux du Plan de Gestion de l'Anguille, les deux approches que l'on vient de présenter pour améliorer la robustesse des résultats de cette étude présentent des problèmes d'éthique.

Il est donc nécessaire de s'interroger sur les objectifs que l'on cherche à atteindre : s'agit-il d'une étude scientifique, auquel cas le marquage des civelles en est indissociable ; ou bien cherche-t-on à restaurer les stocks d'une espèce en danger, auquel cas, le marquage doit manifestement être limité, voir proscrit ?

5. Conclusion

Initié en 2011, le programme français de repeuplement de l'anguille n'avait jusqu'à présent pas fait l'objet d'une évaluation de son efficacité et de sa capacité à constituer une mesure de restauration efficace des stocks.

C'était donc là l'objectif premier de ce stage, qui devait poser les bases de cette analyse et présenter une première série de résultats devant alimenter le rapportage sur le plan de gestion de la France, ainsi que la rédaction annuelle du rapport du groupe « anguille » du CIEM.

Devant les contraintes biologiques et écologiques inhérente à cette espèce nous ne pouvions conclure sur la capacité des opérations de repeuplement à augmenter le nombre d'anguilles argentées lors de la dévalaison, ni même sur les performances reproductives de ces individus issus de l'alevinage. Pour cela, il sera nécessaire de réaliser d'autres études sur le plus long terme : 8 à 15 ans après le repeuplement, par exemple.

Il s'est donc avéré nécessaire sur l'échelle de temps relativement courte sur laquelle s'est déroulée cette étude, d'adopter d'autres approches de validation.

Dans un premier temps nous avons montré que la survie des civelles est majoritairement dépendante de deux facteurs sur lesquels nous n'avons pas de prise, l'origine de pêche ou plus généralement le site sur lequel a lieu l'alevinage, ainsi que l'année. On rappelle que le facteur « année » est sans doute amené à perdre progressivement de l'importance. Il serait donc intéressant de réitérer cette étude dans quelques années (3-5 ans), afin de regarder si le modèle évolue.

Dans un second temps, il a été montré la capacité des individus alevinés à perdurer dans le milieu et ce, sur l'ensemble de la période d'étude, soit un maximum de 12 mois, ainsi que sur la majorité des sites ayant fait l'objet d'un repeuplement.

Les taux de recaptures observés à 6 et 12 mois sont cohérents avec ce qui était attendu : on observe une diminution de la proportion de marquage dans les recaptures (- 23 %), ce qui s'explique par l'action conjuguée de phénomènes de mortalité et de dilution au sein de la population sauvage.

Quant aux croissances, les individus alevinés grandissent dans des gammes de tailles plus basses que celles disponibles dans la littérature, ce qui est probablement imputable au stress lié aux opérations de repeuplement et sera possiblement compensé dans les années à venir, du fait de la grande plasticité phénotypique de l'anguille.

Il a finalement été observé que le marquage, qui est utilisé pour le suivi des civelles engendre une réduction de la survie des individus marqués (- 29 %), ainsi que de la croissance (- 9.9 %). Ceci pose donc un problème d'éthique et il est nécessaire d'engager une réflexion afin de déterminer si l'on souhaite plutôt augmenter l'efficacité du suivi scientifique ou bien permettre la restauration d'une espèce menacée ? Si l'on choisit de conserver le marquage, il sera cependant impératif de rechercher l'équilibre entre probabilité de recapture suffisante et limitation des effets négatifs sur la croissance et la mortalité.

Ces résultats nous incitent donc à penser que le repeuplement des cours d'eaux français au moyen d'alevinages de civelles permet effectivement une augmentation locale de la biomasse d'anguille. L'emploi de civelles sauvages, sans transferts inter-UGA permet de limiter les risques de contamination par les pathogènes, tout en optimisant leur capacités migratoires. Ainsi, les individus alevinés vont très certainement permettre la production d'anguilles argentées, mais l'on ignore encore si cela permettra l'augmentation de la biomasse de reproducteurs. Il faudra pour cela poursuivre l'acquisition de connaissances sur l'anguille européenne et notamment sur la dynamique des populations, ainsi que sur les processus de maturation, migration et reproduction.

Bibliographie

Acou, A., Rivot, E., Van Gils, J. A., Legault, A., Ysnel, F. and Feunteun, E. (2011). Habitat carrying capacity is reached for the European eel in a small coastal catchment: evidence and implications for managing eel stocks. *Freshwater Biology*, 56 (5), p.952–968.

Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6), p.716–723. [Online]. Available at: doi:10.1109/TAC.1974.1100705, MR 0423716.

Bonhommeau, S. (2008). *Effets environnementaux sur la survie larvaire de l'Anguille (Anguilla anguilla) et conséquences sur le recrutement*. p.305.

Briand, C., Sauvaget, B., Beaulaton, L., Girard, P., Véron, V. and Fatin, D. (2012). Push net fisheries are responsible for injuries and post fishing mortalities in glass eel (*Anguilla anguilla*). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 404 (02), p.1–17.

Caraguel, J.-M., Charrier, F., Mazel, V. and Feunteun, E. (2014). Mass marking of stocked European glass eels (*Anguilla anguilla*) with alizarin red S. *Ecology of Freshwater Fishf*. [Online]. Available at: doi:10.1111/eff.12158.

Chancerel, F. (1994). La répartition de l'anguille en France. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335, p.289–294.

Charrier, F., Feunteun, E., Caraguel, J.-M., Mazel, V. and Legault, A. (2010). *Suivi de l'opération d'alevinage réalisée sur la Loire suite à la saisie d'un lot de civelles à Roissy Charles de Gaulle, Rapport Final pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement*. p.72.

Conapped, WWF, CNPMM and ARA France. (2011). *Guide de bonnes pratiques pour la filière pêche civelière et la mise en oeuvre d'un programme de repeuplement à l'échelle communautaire*. p.28.

Conseil de l'Union Européenne. (2007). Règlement (CE) n° 1100/2007 du conseil du 18 septembre 2007 instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. *Journal Officiel de l'Union Européenne*, (L 248), p.17–23.

Crivelli, A. J. (1998). *L'anguille dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse: une synthèse bibliographique*. p.87.

Dekker, W. (2000). A Procrustean assessment of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science*, 57 (4), p.938–947. [Online]. Available at: doi:10.1006/jmsc.2000.0581 [Accessed: 29 July 2014].

Elie, P., Lecomte-Finiger R, Cantrell, I. and Charlon, N. (1982). Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civile d'Anguilla anguilla (L.). *Vie et Milieu*, 32 (3), p.149–157.

Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering* 2, 18 (5), p.575–591.

Frotté, L., Feunteun, E. and Acou, A. (2011). *Protocole du repeuplement d'anguilles en France*. p.14.

Frotté, L., Feunteun, E. and Acou, A. (2012). *État de l'art du repeuplement d'anguilles et de la mesure de son efficacité*. p.60.

Gascuel, D. and Fontenelle, G. (1994). Approche conceptuelle de la modélisation de la dynamique du stock d'anguilles dans un bassin versant: intérêt et adaptation du modèle de rendement par recrue. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 332, p.43–56.

Gérard, C., Trancart, T., Amilhat, E., Faliex, E., Virag, L., Feunteun, E. and Acou, A. (2013). Influence of introduced vs. native parasites on the body condition of migrant silver eels. *Parasite*, 20, p.38. [Online]. Available at: doi:10.1051/parasite/2013040 [Accessed: 18 April 2014].

Gordo, L. S. and Jorge, I. M. (1991). Age and growth of the european eel, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) in the Aveiro Lagoon, Portugal. *Scientia Marina*, 55 (2), p.389–395.

Grellier, P., Huet, J. and Desaunay, Y. (1991). *Stades pigmentaires de la civelle Anguilla anguilla (L.) dans les estuaires de la Loire et de la Vilaine*. p.19.

ICES WGEEL. (2013a). *Advice for 2014 - Widely distributed and migratory stocks - European eel*. (November 2013).

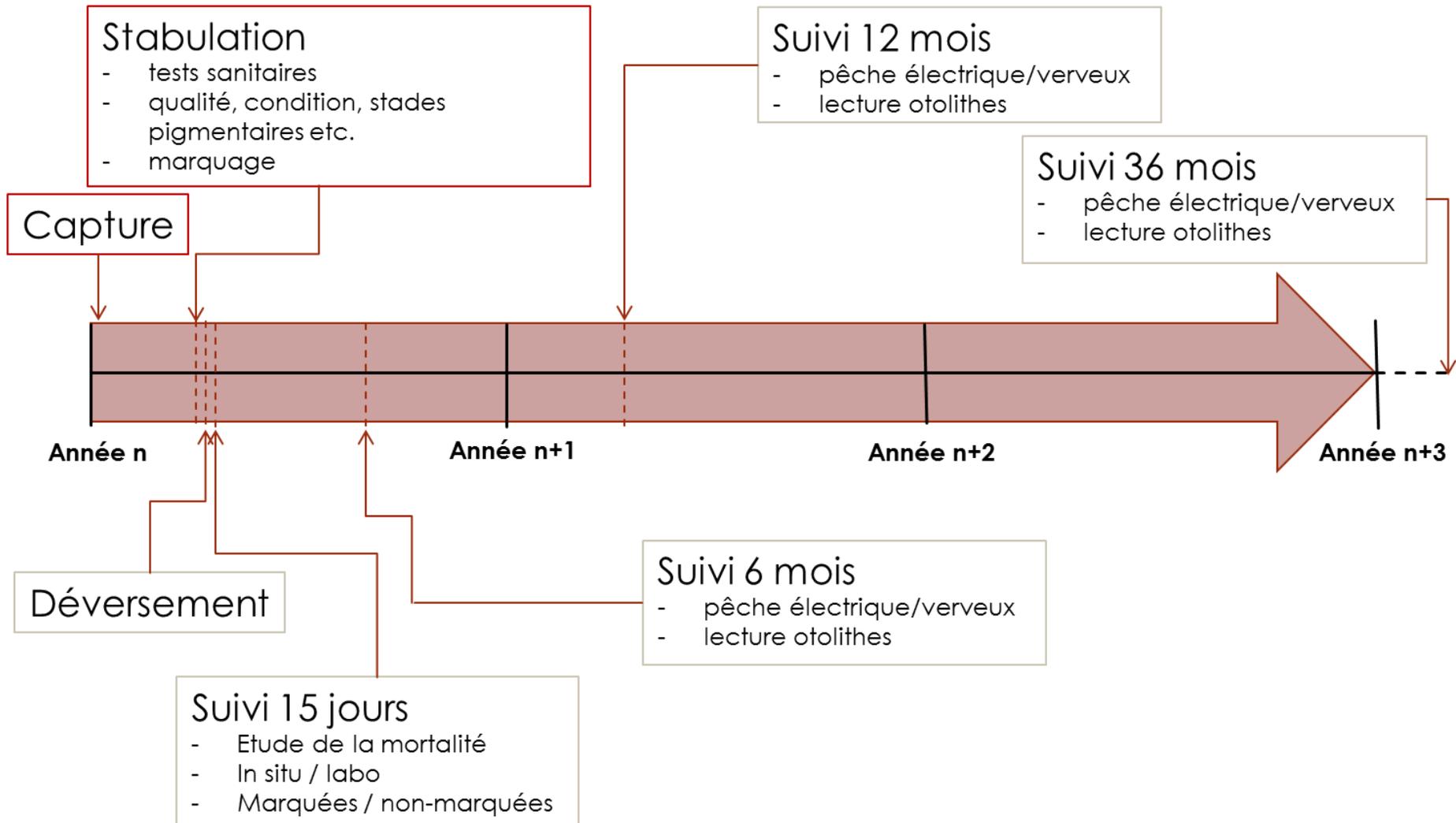
ICES WGEEL. (2013b). *Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL)*. (March).

Ifremer. (2007). *INDICANG : Un projet pour synthétiser nos connaissances sur l'anguille et sur la qualité de ses habitats par la mise en réseau d'opérations de suivis régionaux à une échelle de dimension européenne*. [Online]. Available at: <http://www.ifremer.fr/indicang/objectifs/> [Accessed: 21 August 2014].

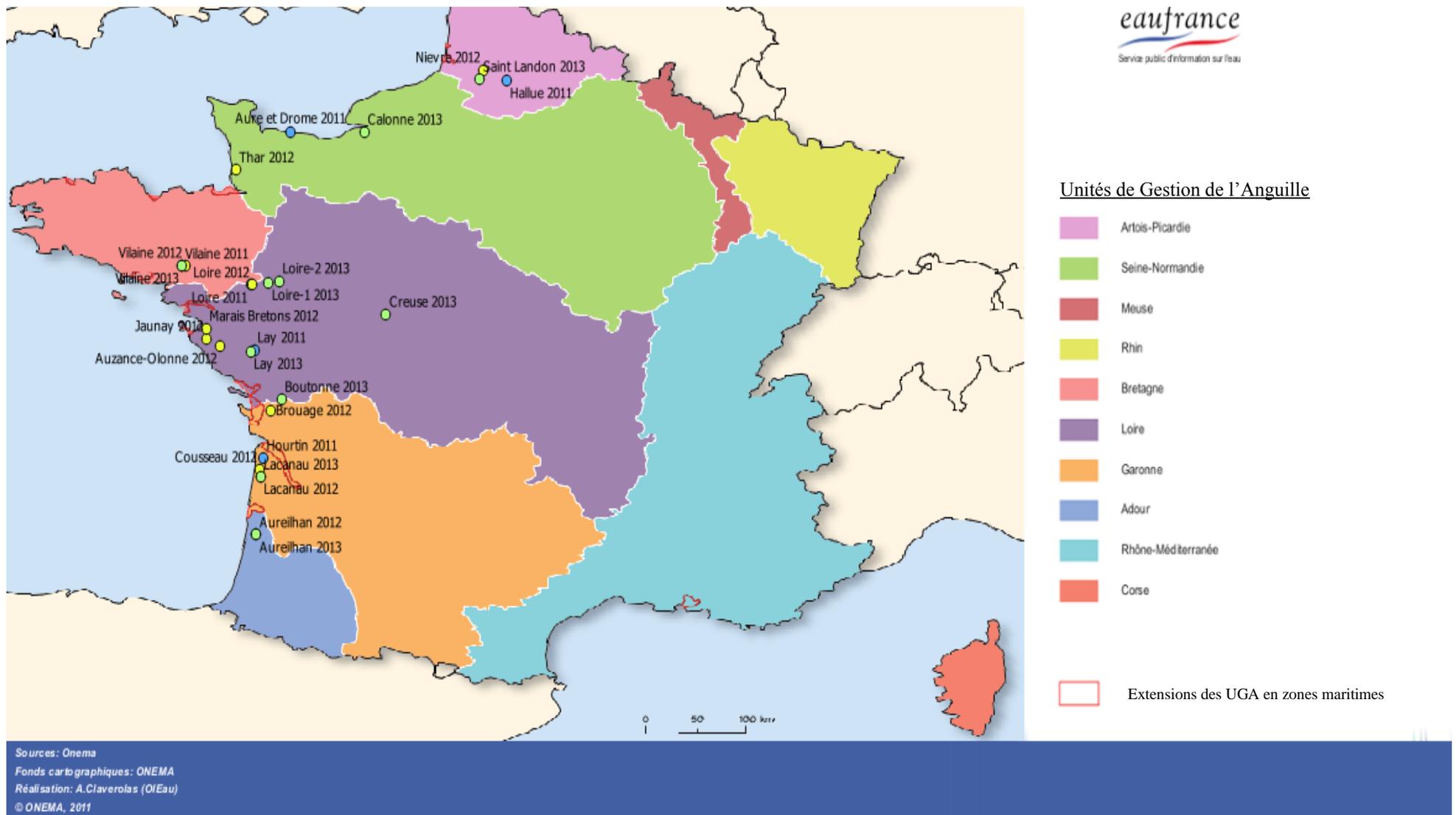
- Jacoby, D. and Gollock, M. (2014). *Anguilla anguilla*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2014.2. [Online]. Available at: <http://www.iucnredlist.org/details/60344/0> [Accessed: 6 August 2014].
- Lambert, P. (2008). *Evaluation des effets possibles de différents niveaux de réduction des impacts anthropiques sur le temps de restauration du stock d'anguille européenne*. p.26.
- Lefebvre, F., Acou, A., Poizat, G., Crivelli, A. J. and Contournet, P. (2003). Anguillicolosis Among Silver Eels: a 2-Year Survey in 4 Habitats From Camargue (Rhône Delta, South of France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 368, p.97–108. [Online]. Available at: doi:10.1051/kmae:2003039.
- Mazel, V., Charrier, F., Moyon, F., Caraguel, J.-M., Troger, F. and Legault, A. (2013). *Opération d'alevinage d'un lot de civelles sur la Calonne. Rapport etape 2-2 (Déversement et suivi à 6 mois)*. 2 (33), p.79.
- Mazel, V., Charrier, F., Troger, F., Knaebel, B., Caraguel, J.-M. and Legault, A. (2012). *Opération d'alevinage d'un lot de civelles sur les marais de Vilaine (Déversement Mars 2011) - Rapport Etape 2 (Suivi 12 mois)*. 2 (33), p.110p.
- McCleave, J. D. and Kleckner, R. C. (1985). Oceanic migrations of Atlantic eels (*Anguilla* spp.): Adults and their offspring. *Contributions in Marine Science*.
- Ministère de l'Ecologie de l'Energie du Développement durable et de la Mer. (2010). *Plan de Gestion Anguille de la France. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007*. p.120.
- Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie. (2014). *Appel à projets complémentaire pour la mise en oeuvre "du programme de repeuplement de l'anguille en France"*. p.21.
- Panfili, J. and Ximenes, M. C. (1994). Evaluation de l'âge et croissance de l'anguille européenne (*A. anguilla*) en milieu continental. Méthodologie, validation, application en Méditerranée, comparaison en Europe. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 1, (335), p.43–66.
- R Core Team. (2014). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienne, Autriche: R Foundation for Statistical Computing. [Online]. Available at: <http://www.r-project.org/>.
- Schmidt, J. (1923). The Breeding Places of the Eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences*, 211, p.179–208. [Online]. Available at: doi:10.1098/rstb.1923.0004 [Accessed: 21 August 2014].
- Tesch, F. W. (2003). *The Eel*. third. Blackwell Science Ltd, p.418.

Annexes

Annexe I: Schéma de synthèse des différentes étapes d'un repeuplement

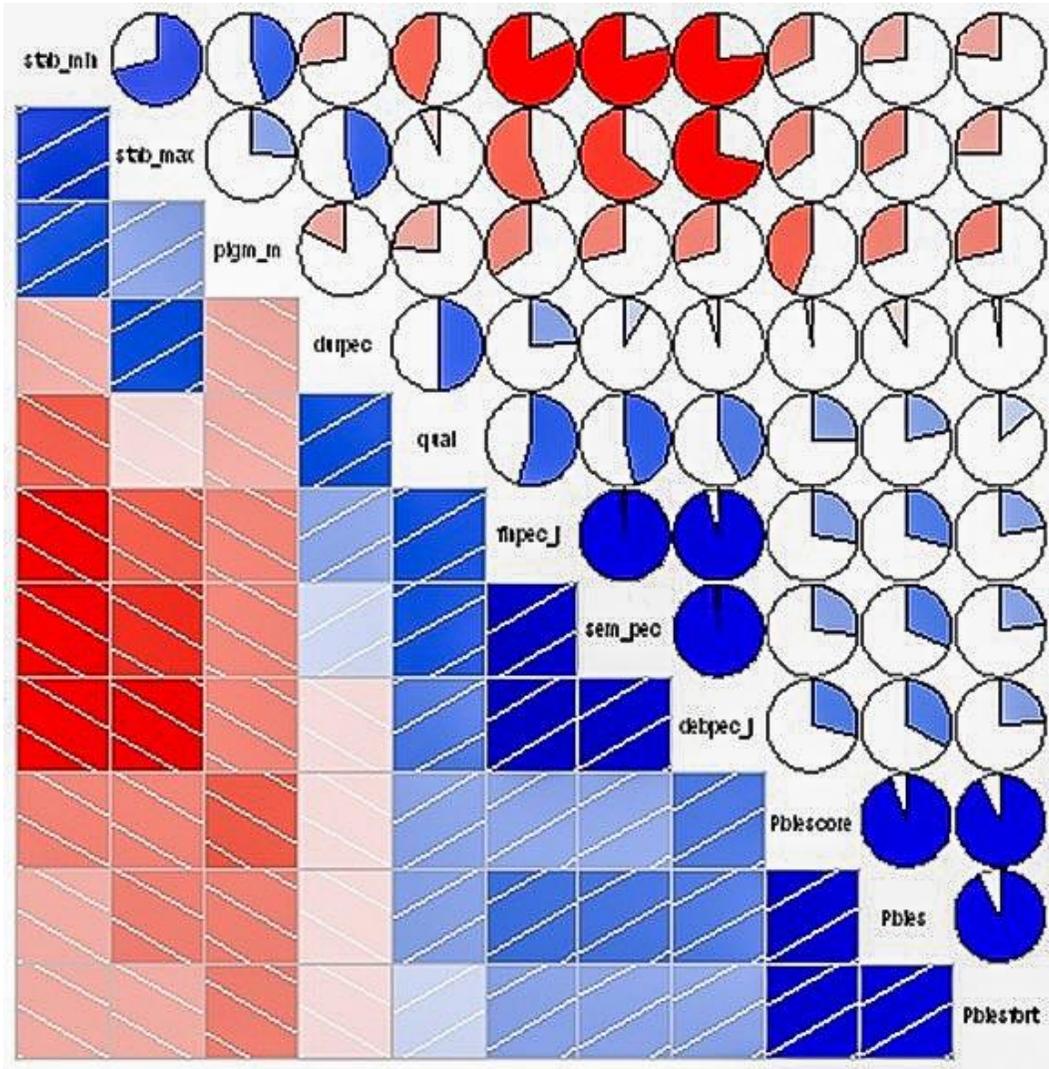


Annexe II: Carte des Unités de Gestion de l'Anguille, avec localisation des opérations de repeuplement (2011-2013)



Annexe III : Résultats du test de corrélation de Pearson

Les moitiés inférieures et supérieures présentent le même résultat ; en rouge, les corrélations négatives, en bleu, les positives, plus la couleur est intense (ou plus le diagramme est « plein »), plus la corrélation est forte.



Stab_min : durée de stabulation minimale

Stab_max : durée de stabulation maximale

Pigm_m : stade pigmentaire

Durpec : Durée de pêche

Qual : coefficient de condition

Finpec_j : date de fin de pêche en jours

Sem_pec : numéro de la semaine de pêche

Debpec_j : date de début de pêche en jours

Pblescore : score de blessure moyen

Pbles : niveau de blessure (faible)

Pblesfort : niveau de blessure (fort)

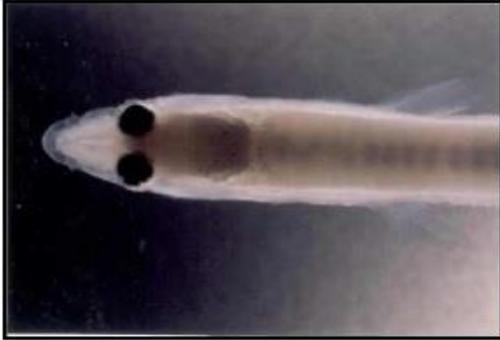
Annexe IV: Résumé des recaptures à 6 mois (2011, 2012 et 2013)

N°	Cours d'eau	Année	UGA	Quantités déversées (kg)	% marquage	Type de pêche	Nombre de captures	Nombre de captures 0/1+	Nombre d'individus conservés	Nombre de marquées
1	Hallue	2011	Artois-Picardie	45	0	Pêche électrique	21	20	0	/
2	Aure	2011	Seine Normandie	134	0	Pêche électrique	230	44	0	/
3	Vilaine	2011	Bretagne	200	10	Pêche électrique	108	70	51	3
4	Loire	2011	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	150	11,1	Pêche électrique	424	98	51	0
5	Lay	2011	Loire, Cotiers vendéen et Sèvre Niortaise	173,5	20,8	Pêche électrique	563	188	50	10
6	Hourtin	2011	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	44	0	Verveux	0	0	0	/
7	Nièvre	2012	Artois-Picardie	37	0	Pêche électrique	42	42	0	/
8	Thar	2012	Seine Normandie	113	30,9	Pêche électrique	273	89	53	10
9	Vilaine	2012	Bretagne	333	30	Pêche électrique	124	16	16	2
10	Loire	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	962	30,1	Pêche électrique	570	159	50	3
11	Jaunay	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	181	27,6	Pêche électrique	19	4	4	1
12	Marais Bretons	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	300	30	Pêche électrique	146	113	53	18
13	Auzance-Olonne	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	241	20,7	Pêche électrique	61	53	26	15
14	Brouage	2012	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	270	30	Pêche électrique	26	14	14	4
15	Lacanau	2012	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	459	0	Verveux	6	3	0	/
16	Cousseau	2012	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	150	0	Verveux	0	0	0	/
17	Aureilhan	2012	Adour-Cours d'eau côtiers	51	30	Verveux	7	4	4	1
18	Saint Landon	2013	Artois-Picardie	34	0	Pêche électrique	21	16	0	/
19	Calonne	2013	Seine Normandie	52,6	0	Pêche électrique	111	99	0	/
20	Vilaine	2013	Bretagne	306	21,2	Pêche électrique	288	106	54	2
21	Loire_6	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	350	30	Pêche électrique	848	143	54	8
22	Loire_7	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	350	70	Pêche électrique	992	193	58	14
23	Creuse	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	298	30,2	Pêche électrique	151	64	48	9
24	Lay aval	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	335	31,4	Pêche électrique	233	195	54	4
25	Lay amont	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	334	37,6	Pêche électrique	392	284	54	11
26	Boutonne	2013	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	232	30,2	Pêche électrique	241	53	40	1
27	Lacanau	2013	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	330,7	30	Verveux	5	4	4	2
28	Aureilhan	2013	Adour-Cours d'eau côtiers	302	33,8	Verveux	127	89	60	8

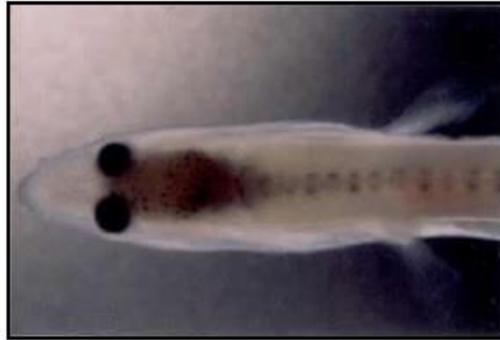
Annexe V : Résumé des recaptures à 12 mois (2011 et 2012)

N°	Cours d'eau	Année	UGA	Quantités déversées (kg)	% marquage	Type de pêche	Nombre de captures	Nombre de captures 0/1+	Nombre d'individus conservés	Nombre de marquées
1	Hallue	2011	Artois-Picardie	45	0	Pêche électrique	1	1	0	/
2	Aure	2011	Seine Normandie	134	0	Pêche électrique	119	32	0	/
3	Vilaine	2011	Bretagne	200	10	Pêche électrique	194	99	50	0
4	Loire	2011	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	150	11,1	Pêche électrique	2804	2506	51	0
5	Lay	2011	Loire, Côtiers vendéen et Sèvre Niortaise	173,5	20,8	Pêche électrique	244	42	39	5
6	Hourtin	2011	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	44	0	Verveux	5	1	0	/
7	Nièvre	2012	Artois-Picardie	37	0	Pêche électrique	4	4	0	/
8	Thar	2012	Seine Normandie	113	30,9	Pêche électrique	328	60	50	9
9	Vilaine	2012	Bretagne	333	30	Pêche électrique	259	38	38	5
10	Loire	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	962	30,1	Pêche électrique	330	229	51	5
11	Jaunay	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	181	27,6	Pêche électrique	85	35	30	5
12	Marais Bretons	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	300	30	Pêche électrique	186	137	51	14
13	Auzance-Olonne	2012	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	241	20,7	Pêche électrique	40	32	24	13
14	Brouage	2012	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	270	30	Pêche électrique	156	40	40	10
15	Lacanau	2012	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	459	0	Verveux	10	2	0	/
16	Cousseau	2012	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	150	0	Verveux	35	3	0	/
17	Aureilhan	2012	Adour-Cours d'eau côtiers	51	30	Verveux	135	116	106	1
18	Saint Landon	2013	Artois-Picardie	34	0	Pêche électrique	/	/	/	/
19	Calonne	2013	Seine Normandie	52,6	0	Pêche électrique	/	/	/	/
20	Vilaine	2013	Bretagne	306	21,2	Pêche électrique	/	/	/	/
21	Loire_6	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	350	30	Pêche électrique	/	/	/	/
22	Loire_7	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	350	70	Pêche électrique	/	/	/	/
23	Creuse	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	298	30,2	Pêche électrique	/	/	/	/
24	Lay aval	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	335	31,4	Pêche électrique	/	/	/	/
25	Lay amont	2013	Loire, côtiers vendéens et Sèvre Niortaise	334	37,6	Pêche électrique	/	/	/	/
26	Boutonne	2013	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	232	30,2	Pêche électrique	/	/	/	/
27	Lacanau	2013	Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre	330,7	30	Verveux	/	/	/	/
28	Aureilhan	2013	Adour-Cours d'eau côtiers	302	33,8	Verveux	/	/	/	/

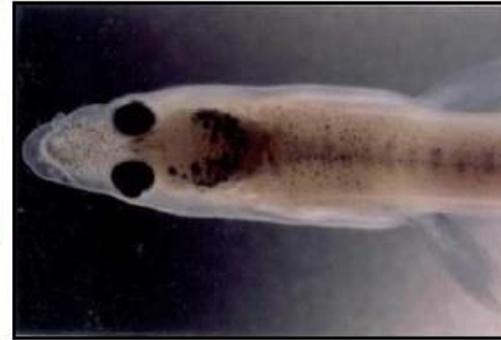
Annexe VII : Stades pigmentaires de la civelle (*Anguilla anguilla*) (Grellier *et al.*, 1991)



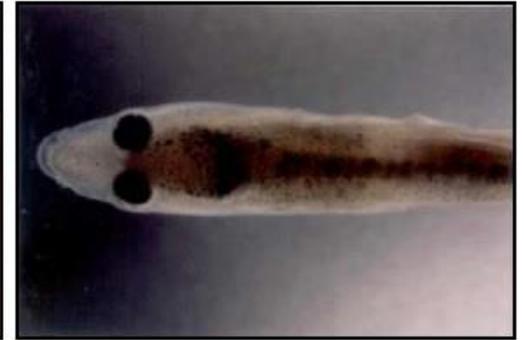
STADE VB



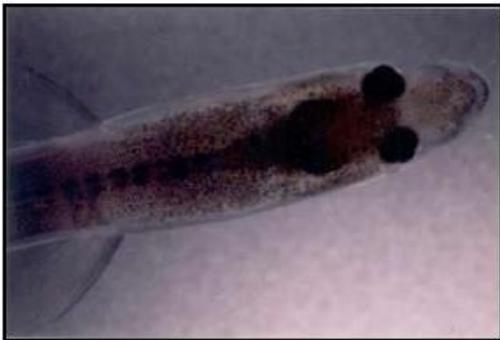
STADE VI A0



STADE VI A1



STADE VI A2



STADE VI A3



STADE VI A4



STADE VI B



Diplôme : Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage
Spécialité : Halieutique
Spécialisation / option : Ressources et Ecosystèmes Aquatiques
Enseignant référent : Pr. Elodie REVEILLAC

Auteur(s) : Quentin JOSSET

Date de naissance : 06 mars 1990

Nb pages : 33 pp

Annexe(s) : 5 pp

Année de soutenance : 2014

Organisme d'accueil : Muséum National d'Histoire Naturelle – Station Marine de Dinard

Adresse : CRESCO, 38 rue du Port Blanc, 35800 DINARD

Maîtres de stage : Pr. Eric FEUNTEUN & Dr. Anthony ACOU

Titre français : Le programme de repeuplement de l'anguille : bilan de trois années de suivi.

Titre anglais : The eel restocking program : three years of monitoring.

Résumé :

L'anguille européenne est une espèce aujourd'hui considérée comme en danger critique d'extinction.

Elle fait l'objet depuis 2007 d'un plan européen de restauration, alors qu'elle a longtemps été considérée en France comme une espèce nuisible. Ce plan de restauration inclus un programme de repeuplement, débuté en 2011 en France, dont la présente étude réalise pour la première fois le bilan. Ce programme consiste en la capture de civelles au niveau estuarien, puis à leur réintroduction sur des sites jugés favorables. L'objectif étant d'augmenter la population de reproducteurs lors de la migration vers les sites de pontes.

Sur la période 2011-2013 ont ainsi été déversées près de 6,7 tonnes de civelles, soit près de 20 millions d'individus sur 28 sites du Nord et de l'Ouest de la France.

Cette étude intervenant de 6 mois à 3 ans après les alevinages, il est encore impossible de conclure sur la production finale d'anguilles argentées. D'autres approches ont donc été choisies pour apporter de premiers éléments de réponses quant au succès de ce programme.

Dans un premier temps, les facteurs influençant la mortalité à court terme ont été identifiés et leurs effets quantifiés, dans un modèle GLM binomial expliquant près de 52% de la déviance. Puis, il a été montré que les individus alevinés sont bien présents dans le milieu, au moins sur la période de l'étude. Ces individus présentent des taux de recaptures conformes à ce qui était attendu et grandissent, bien que sur des échelles moindres que ce qui est indiqué dans la littérature. Un des résultats importants de cette étude est relatif au marquage employé pour le suivi scientifique. Ce dernier engendre une mortalité supplémentaire (+29 %), ainsi qu'une moindre croissance (-9,9 %) et doit donc être limité autant que possible.

Abstract :

The European eel is a species now considered as critically endangered.

It is the subject of a European restoration plan since 2007, whereas it has long been considered in France as a pest. The restoration plan includes a restocking program, which started in 2011 in France and is monitored for the first time in this study. This program consists in catching glass eels in estuarine waters, to reintroduce them on sites considered as favorable. The aim is to increase the breeding population migrating to the spawning sites.

Over the period 2011-2013 have been released nearly 6.7 tonnes of glass eels, which represent nearly 20 million individuals on 28 release sites in North and Western France.

Considering that this study occurs 6 months to 3 years after the stocking, it is not possible yet to conclude on the final silver eel production. Thus, other approaches have been chosen to bring the first clues necessary to answer to the question of the efficiency of this program.

First, the factors influencing the short-term mortality were identified and their effects quantified in a GLM binomial model explaining almost 52% of the deviance. Then, it was shown that stocked individuals are still present in the environment, at least over the period of the study. These individuals show recapture rates consistent with what was expected and grows, although a bit lower than what is reported in the literature. One of the major findings of this study tackles the subject of the marking used for the scientific monitoring. The latter generates an additional mortality (29%) and a lower growth (-9.9%) and should be limited as much as possible.

Mots-clés : anguille, civelle, repeuplement, alizarine

Key Words: eel, glass eel, restocking, alizarin