



Développement et mise à jour du modèle de dynamique de population du saumon de l'Allier

Année 2016

Marion LEGRAND¹, Etienne PREVOST²

¹LOGRAMI, ²INRA –UMR 1224 ECOBIOP

AVRIL 2017



Cette opération est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage dans le bassin de la Loire avec le Fonds européen de développement régional.



Table des matières

1	Introduction	5
2	Mise à jour, corrections et améliorations du modèle	6
2.1	Corrections et mise à jour	6
2.2	Améliorations	7
2.2.1	Hypothèse d'une <i>fitness</i> similaire entre les tacons 0+ sauvages et les tacons 0+ issus du déversement d'alevin	7
2.2.2	Renforcement de la relation de calibration	8
2.2.3	Développement de nouvelles sorties graphiques : répartition des juvéniles en fonction des secteurs	8
3	Développement d'un nouveau scénario de gestion : l'aménagement des ouvrages hydroélectriques pour la dévalaison	10
4	Résultats	13
4.1	Modèle dynamique de population	13
4.1.1	Relation de calibration entre les densités de tacons 0+ et les indices d'abondance en 5 minutes	13
4.1.2	Répartition des adultes dans les différents secteurs	14
4.1.3	Relation entre nombre d'adultes potentiels et comptages frayères	14
4.1.4	Relations de recrutement densité-dépendant	14
4.1.5	Répartition des juvéniles dans les secteurs et relation entre la répartition des géniteurs et celle des juvéniles	14
4.1.6	Taux de retour du tacon 0+ et du smolt déversé à l'adulte	14
4.1.7	Nouvelles figures : répartition des juvéniles de l'année	14
4.2	Simulation sans repeuplement et projections à 20 ans	15
4.2.1	Retour vers le futur : Et si on n'avait jamais repeuplé?	15
4.2.2	Projection à 20 ans sans changement autre que l'arrêt des déversements	15
4.2.3	Projection à 20 ans avec une amélioration des conditions de montaison et de dévalaison à Poutès	15
4.2.4	Projection à 20 ans avec une amélioration progressive du taux de transition entre le tacon 0+ et l'adulte	15
4.2.5	Projection à 20 ans avec suppression des impacts à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques	15
5	Conclusion et perspectives du projet	17
5.1	Améliorations apportées au modèle	17
5.1.1	<i>fitness</i>	17
5.1.2	Relation de calibration entre les pêches en 5 minutes (IA) et les pêches complètes	17
5.2	Retour vers le futur : Et si on n'avait jamais repeuplé?	17
5.3	Viabilité de la population de saumon atlantique dans le bassin Allier et projection à 20 ans sous différents scénarii	17
5.4	Perspectives pour ce projet	18

A	Présentation de la fiche-projet du modèle de dynamique de population pour l'année 2015	19
B	Relevés de décisions des réunions du groupe de suivi du projet de modélisation	20
C	Récapitulation des modifications importantes apportées au modèle depuis 2014	21
D	Densités prédites pour un nombre de tacons 0+ capturé en 5 minutes	22
E	Présentation des paramètres estimés par le modèle	23
F	Code du modèle 2016.01.20	24

Table des figures

Liste des tableaux

1 Introduction

Entre 2010 et 2012, Guillaume Dauphin et Etienne Prévost (INRA-UMR ECOBIOP) ont développé un modèle de dynamique de population pour le saumon de l'Allier (? : [voir le rapport en ligne](#)). Le développement de cet outil avait été demandé de longue date par les acteurs de l'eau du bassin de la Loire et était inscrit dans le plan de gestion des poissons migrateurs (PLAGEPOMI) du bassin de la Loire, des côtiers vendéens et de la Sèvre niortaise 2009-2013 à la mesure 62, intitulée « Comprendre les modalités de renouvellement de la population : création d'un modèle de dynamique de populations ». En 2014, grâce à une action inscrite dans le cadre des travaux du pôle INRA-ONEMA, une opération de « transfert » du modèle vers un opérateur de la gestion a pu être mise en place de façon à ce que l'outil puisse continuer à servir pour la connaissance dans une optique d'aide à la gestion. Marion Legrand¹, animatrice du tableau de bord « Migrateurs » du bassin de la Loire (LOGRAMI) a donc poursuivi la mise à jour, l'amélioration et le développement de l'outil sous la supervision d'Etienne Prévost (INRA). Annuellement, un rapport est publié présentant les avancées et développements réalisés pendant l'année (? : [voir le rapport en ligne](#) ; ?<http://www.migrateurs-loire.fr/telechargement/documentation/rapports/Legrand-et-Prevost-2016.pdf>[voir le rapport en ligne](#)). Afin que les développements du modèle soient en adéquation avec les besoins en connaissance des acteurs de l'eau du bassin de la Loire concernés par la gestion du saumon de l'Allier, un groupe de travail a été créé autour de ce projet en 2014. Ce groupe² suit les avancées du projet et donne les orientations pour le travail à venir (choix des thématiques). En 2014 ce groupe a permis de valider l'intérêt des acteurs du bassin pour ce projet de modélisation et de valider la poursuite du travail. L'objet du présent rapport est de présenter les travaux menés en 2016 sur le modèle, qu'il s'agisse de la mise à jour, des corrections et améliorations apportées au modèle ou du développement de nouveaux scénarii de gestion.

1. pour toute question ou besoin d'éléments complémentaires n'hésitez pas à me contacter par mail tableau-salt-loire@logrami.fr

2. 29 personnes de 21 structures différentes sont systématiquement invitées à participer à ces réunions. Les structures invitées sont : l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, le Cnss, la DREAL bassin Loire-Bretagne, Edf, l'Eptb Loire, la FDAAPPMA 03, la FDAAPPMA 15, la FDAAPPMA 42, la FDAAPPMA 43, la FDAAPPMA 48, la FDAAPPMA 63, l'Inra, Logrami, l'Onema, la Région Centre Val-de-Loire, le Sage Alagnon, le Sage Allier aval, le Sage Dore, le Sage Haut-Allier, le Sage Sioule et le Sigal

2 Mise à jour, corrections et améliorations du modèle

2.1 Corrections et mise à jour

En 2014, un travail important avait conduit à l'ajout, pour les juvéniles, d'un paramètre de surmortalité lié à l'impact de l'ouvrage de Poutès (?). Cet ajout avait amené à revoir à la baisse les quantités de juvéniles à l'origine des retours d'adultes à Vichy et donc à une vision plus optimiste du taux de transition entre les juvéniles et les adultes. La poursuite du travail sur le modèle en 2015 a permis de mettre en évidence une erreur dans la prise en compte du homing lors du retour des adultes, suites aux modifications apportées en 2014. En effet, la répartition des adultes arrivant à Vichy est dépendante à la fois des surfaces de production disponibles et accessibles (habitat), et de la faculté des adultes à revenir à leur frayère (homing), auxquelles s'ajoute d'éventuels problèmes de franchissement à la montaison. Or les modifications apportées à la production de juvéniles en amont de Poutès (surmortalité à la dévalaison liée à la présence de l'ouvrage) n'ont pas été répercutées sur la composante « homing » de la répartition des adultes. Ainsi, dans le modèle publié en 2015 la part d'adultes accédant aux zones de production situées en amont de Poutès était écrite comme suit (equation 2.1) :

$$L_mu_p_poutes[t] <- L_ratio_juv_P[t] + adjust_p_P \quad (2.1)$$

Avec $L_mu_p_poutes$ =moyenne de la probabilité en échelle logit (mu_p_poutes) de passer en amont de Poutès, $L_ratio_juv_P$ =facteur de répartition des adultes à la fois en fonction des surfaces disponibles (répartition idéale libre) et en fonction de l'endroit où ils sont nés (homing) (cf. équation 2.2a), $adjust_p_P$ =variable d'ajustement pour prendre en compte les difficultés de migration à la montaison au niveau de l'ouvrage de Poutès, t =années.

$L_ratio_juv_P$ étant calculé de la manière suivante (equation 2.2a) :

$$L_ratio_juv_P[t] <- \rho \times \frac{S_juv_P[t]}{S_juv_L[t] + S_juv_P[t]} + (1-\rho) \times ratio_juv_prod_P[t] \quad (2.2a)$$

Avec

$$ratio_juv_prod_P[t] <- \frac{Juv_poutes[t]}{Juv_langeac[t] + Juv_poutes[t]} \quad (2.2b)$$

Avec ρ =un facteur pondérateur de la répartition des adultes entre la composante habitat et la composante homing, S_juv_P =les surfaces disponibles pour la croissance des juvéniles en amont de Poutès, S_juv_L =les surfaces disponibles pour la production des juvéniles entre Langeac et Poutès, $ratio_juv_prod_P$ =le ratio des juvéniles produits sur la zone en amont de Poutès (cf. equation 2.2b)

Ceci a été corrigé dans la nouvelle version du modèle en remplaçant l'équation (2.2b) par l'équation (2.3) :

$$ratio_juv_prod_P[t] <- \frac{Juv_poutes[t] \times \rho_poutes}{Juv_langeac[t] + Juv_poutes[t] \times \rho_poutes} \quad (2.3)$$

Avec ρ_{poutes} = ratio de survie des juvéniles présents en amont de Poutès, lié à la présence de l'ouvrage et aux mortalités induites lors de la dévalaison des smolts.

La même correction a été apportée au ratio de juvéniles produits entre Langeac et Poutès à partir de l'ouverture du barrage en 1986 (équation 2.4).

$$\text{ratio_juv_prod_L}[t] <- \frac{\text{Juv_langeac}[t] + \text{Juv_poutes}[t] \times \rho_{\text{poutes}}}{\text{Juv_vichy}[t] + \text{Juv_langeac}[t] + \text{Juv_poutes}[t] \times \rho_{\text{poutes}}} \quad (2.4)$$

L'année 2015 a également été l'occasion de mettre à jour le modèle avec les données de 2014. En effet, la mise à jour annuelle du modèle a été jugée pertinente par les membres du groupe de suivi du projet. Cela permet d'ajouter régulièrement de nouvelles données dans le modèle ce qui, en plus de contribuer à l'amélioration de la robustesse des estimations déduites du modèle, permet de pouvoir présenter des sorties graphiques régulièrement mises à jour (cf. section 4.1).

2.2 Améliorations

2.2.1 Hypothèse d'une *fitness* similaire entre les tacons 0+ sauvages et les tacons 0+ issus du déversement d'alevin

Dans le modèle mis au point en 2013 (?), l'hypothèse suivante avait été avancée. A partir du stade tacon 0+, il est considéré que le taux de transition est le même jusqu'au stade adulte de retour à Vichy, quelle que soit l'origine du poisson (sauvage ou élevage). Cette hypothèse avait été faite notamment compte-tenu du manque d'information pour proposer une hypothèse alternative. En 2014, lors de la réunion du groupe de travail sur le modèle dynamique de population (Annexe B), les participants ont émis le souhait de retravailler cette hypothèse afin de vérifier sa validité. En effet, ce point est important car s'il existe une bonne raison de penser que les poissons sauvages survivent différemment des poissons d'élevage entre le stade 0+ et l'adulte de retour, alors cela influence directement le taux de survie (qui est global pour les deux origines). Des répercussions, potentiellement importantes, pourraient alors exister sur les projections lorsque nous simulons l'arrêt des déversements sur 20 ans (puisque nous n'avons plus qu'une seule origine, c'est-à-dire des saumons sauvages).

Synthèse bibliographique

Test d'ajout d'une variable dans le modèle Parallèlement à la synthèse bibliographique et pour étudier la question sous un angle différent, nous avons procédé à un test d'ajout d'un facteur de survie spécifique aux juvéniles déversés dans le modèle. L'idée était de laisser la possibilité d'estimer ce paramètre supplémentaire grâce à l'ensemble des données utilisées. Jusqu'ici la densité totale moyenne de juvénile dans le système s'écrivait (equation 2.5) :

$$d_{\text{juv tot moy}} = d_{\text{sauvage moy}} + d_{\text{aleviné moy}} + d_{\text{oeufs moy}} \quad (2.5)$$

Avec $d_{\text{juv tot moy}}$ = la densité moyenne totale de juvéniles 0+ dans le système, $d_{\text{sauvage moy}}$ = la densité moyenne de juvéniles 0+ sauvage, $d_{\text{aleviné moy}}$ = la densité moyenne de juvéniles déversés au stade alevin et ayant survécu jusqu'au stade tacon 0+, $d_{\text{oeufs moy}}$ = la densité totale de juvéniles issus des déversements au stade oeufs en incubateurs et ayant survécu jusqu'au stade tacon 0+.

Le test que nous avons réalisé a consisté à modifier l'équation (2.5) de la façon suivante (equation 2.6) :

$$d_{\text{juv tot moy}} = d_{\text{sauvage moy}} + d_{\text{aleviné moy}} \times \text{surv} + d_{\text{oeufs moy}} \quad (2.6)$$

Avec surv = facteur de survie pour les juvéniles issus des alevinages.

En l'absence de connaissances précises nous avons mis un prior peu informatif sur le paramètre surv , à savoir une loi $\text{beta}(2,2)$ (figure ??). Ce prior initial indique ainsi que le paramètre de survie des juvéniles

issus des alevinages peut prendre l'ensemble des valeurs entre 0 et 1 (inclus) mais avec *a priori* une probabilité très faible que le paramètre soit égal à 0 (c'est-à-dire que les juvéniles déversés ne survivent pas du tout) ou 1 (c'est-à-dire que les juvéniles déversés survivent aussi bien que les natifs), la valeur centrale (0.5) étant la valeur la plus probable.

La distribution de probabilité du paramètre de survie *surv* n'est quasiment pas mise à jour (figure ??). Ceci confirme que nous ne disposons pas actuellement de données permettant de valider une hypothèse alternative à celle d'une survie similaire des juvéniles 0+ jusqu'aux adultes de retour.

Le groupe de travail qui suit et accompagne le travail sur ce projet est réuni le 6 juillet 2015 et décide d'arrêter là le travail sur cette thématique (cf. Annexe B).

2.2.2 Renforcement de la relation de calibration

La relation de calibration entre les densités de tacons 0+ et les nombres d'individus capturés en 5 minutes effectives de pêche (pêche indice d'abondance) est un élément important du modèle puisqu'il permet de convertir toutes les pêches réalisées depuis 1994 sur le protocole des indices d'abondance en 5 minutes, en densité. Jusque là cette relation de calibration était construite grâce à 9 points de pêche réalisés dans la rivière Allier, sur le double protocole pêche d'indice d'abondance en 5 minutes et pêche complète. Lors de la réunion du groupe de travail sur le modèle (le 19 novembre 2014 - cf. Annexe B), l'idée de renforcer cette relation via l'ajout de nouveaux points avait été mentionnée. Les 29 et 30 septembre 2015, grâce à la mobilisation de 25 personnes¹, 4 nouveaux points sont venus enrichir la relation de calibration du modèle. Ces points ont été choisis de façon à avoir au moins un site avec une faible abondance, un avec une abondance moyenne et un avec une abondance forte. D'autre part, un point a été réalisé sur la rivière Alagnon (secteur 1 du modèle avec l'axe Allier entre Vichy et Langeac et la Dore) de façon à vérifier la validité de l'utilisation de cette relation sur d'autres axes inclus dans le modèle. Par rapport aux abondances visées (un site faible, un site moyen et un site fort), nous pouvons observer que le site faible a bien pu être échantillonné (station d'orbeil avec 5 tacons 0+ en 5 minutes). En revanche, nous espérons un meilleur résultat en terme de nombre d'individus 0+ par 5 minutes pour le site de Pontgibert sur lequel nous avons observé en moyenne sur les trois dernières années de très bons résultats de pêche en 5 minutes (moyenne 2012-2014=179.3 ±67.6). Il serait très intéressant d'avoir un point avec une très forte abondance (>175 tacons 0+ par 5 minutes) et cela doit rester un objectif pour une prochaine campagne de pêche.

2.2.3 Développement de nouvelles sorties graphiques : répartition des juvéniles en fonction des secteurs

En plus de la mise à jour annuelle du modèle et des nombreuses figures déjà existantes (cf. section 4.1), nous avons mis à profit l'année 2015 pour développer de nouvelles sorties graphiques (cf. section 4.1.7 figures ?? et ??). Ces nouvelles figures permettent de visualiser la répartition des juvéniles dans les différents secteurs pris en compte dans le modèle, mais sous un angle différent de ce qui était fait précédemment. En effet, jusque là nous représentions la répartition des cohortes de juvéniles à l'origine des retours d'adultes d'une année n (cf. section 4.1 figure ??)². Il s'agit ici de représenter la répartition des juvéniles « produits » (dans le milieu naturel ou déversés) une année donnée. La figure est déclinée à la fois pour les juvéniles toutes origines confondues (sauvage et élevage) et pour les juvéniles sauvages seuls. Ces figures sont intéressantes pour détecter de potentiels changements dans la répartition des individus (juvéniles et géniteurs) dans les 3 secteurs du modèle. Compte-tenu du fait que la productivité de ces 3

1. nous tenons à cette occasion à remercier chaleureusement l'ensemble des agents ayant participé à cette opération. Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la participation de l'association MIGADO, MRM, la Fédération de pêche de l'Allier, la Fédération de pêche de l'Eure, la participation de la DREAL de bassin Loire-Bretagne et l'ensemble de l'équipe LOGRAMI

2. Par exemple, la cohorte de juvéniles à l'origine des retours d'adultes 2014 ($J_{2014,i}^{coh}$) correspond à $\frac{1}{3}$ des juvéniles produits en 2009, $\frac{1}{3}$ des juvéniles produits en 2010 et $\frac{1}{3}$ des juvéniles produits en 2011

secteurs n'est pas similaire (cf. section [4.1](#) figure ??), un changement dans la répartition des individus peut entraîner des modifications importantes sur la viabilité de la population.

3 Développement d'un nouveau scénario de gestion : l'aménagement des ouvrages hydroélectriques pour la dévalaison

Conformément à ce qui avait été décidé lors du groupe de travail du 19 novembre 2014 (cf. Annexe B), nous avons développé en 2015 une simulation visant à évaluer l'effet de la suppression de l'impact des ouvrages hydroélectriques lors de la dévalaison des smolts. Pour cela, nous avons réutilisé les résultats de l'étude DEVALPOMI (?) qui estime pour chaque ouvrage du bassin Loire-Bretagne une mortalité lors de la dévalaison des anguilles et des smolts¹. Cependant, l'impact de l'ouvrage de Poutès étant déjà estimé dans le cadre du modèle dynamique de population, nous n'utilisons pas l'estimation de la mortalité lors de la dévalaison issue de DEVALPOMI pour cet ouvrage. La figure ?? présente les 10 ouvrages hydroélectriques engendrant (en plus du barrage de Poutès) des mortalités dans le territoire pris en compte par le modèle². Le tableau ?? présente les mortalités engendrées pour les smolts au passage de chaque ouvrage hydroélectrique telles qu'estimées dans l'étude DEVALPOMI (l'estimation liée à l'ouvrage de Poutès est absente de ce tableau car non utilisée dans la suite. Pour information, la mortalité estimée pour cet ouvrage dans le projet DEVALPOMI est de 32.2%).

De façon à prendre en compte le plus justement possible l'impact des ouvrages sur les juvéniles, nous faisons l'hypothèse d'une répartition des juvéniles au *pro rata* des surfaces disponibles. Cela amène l'introduction dans le modèle de deux coefficients pondérateurs :

- Pour le secteur 1 (Vichy-Langeac + Alagnon + Dore), on applique un coefficient pour répartir les juvéniles au *pro rata* des surfaces disponibles dans ces 3 secteurs. Ce coefficient prend en compte l'ouverture en 2004 de l'ouvrage de Grand Pont sur l'Alagnon (et le gain important de surfaces que cela a engendré pour ce cours d'eau) (tableau ??).
- Chaque ouvrage n'impacte que les juvéniles produits à l'amont. Ainsi, Poutès qui se situe en limite aval de son secteur (secteur 3) va impacter 100% des juvéniles produits dans le secteur 3. En revanche, Chambon de Cerzat qui se situe près de la limite amont du secteur 1 (Vichy-Langeac) ne va impacter que la toute petite fraction de juvéniles produite entre la limite amont de ce secteur et l'ouvrage (figure ?? et tableau ??). Les impacts se cumulant, l'ouvrage de Chambon de Cerzat, par exemple, impactera (en plus de la fraction de juvénile située en amont de l'ouvrage dans le secteur 1) tous les juvéniles survivants issus des secteurs situés en amont (à savoir les juvéniles survivants produits dans les secteurs 2 et 3).

Ainsi, pour les juvéniles produits en amont de Poutès, nous avons :

$$\text{Juv_surv}_{\text{Poutès}}[t] <- \text{Juv}_{\text{poutès}}[t] \times r_{\text{intbar_P}}[t] \times \rho_{\text{poutès}} \times \text{surv}_L \times \text{surv}_{CC} \times \text{surv}_{VB} \quad (3.1)$$

1. les ouvrages faisant l'objet de grilles fines (<2,5 cm) ont été jugés non impactants. La mortalité liée à ces ouvrages est donc de 0

2. L'ouvrage de Chambezons (Alagnon) est absent de cette cartographie car dans le projet DEVALPOMI, cet ouvrage a été indiqué, de façon erronée, comme équipé de grilles fines. Dans une prochaine version de DEVALPOMI cette erreur sera corrigée, et il sera alors nécessaire de relancer la simulation pour prendre en compte les mortalités liées à cet ouvrage.

Pour les juvéniles produits entre Langeac et Poutès, nous avons :

$$\text{Juv_surv}_{\text{Langeac}}[t] <- \text{Juv}_{\text{langeac}}[t] \times r_{\text{intbar_L}}[t] \times \text{surv}_L \times \text{surv}_{CC} \times \text{surv}_{VB} \quad (3.2)$$

Pour les juvéniles produits sur l'Allier entre Vichy et Langeac, nous avons pour chaque tronçon interbar-rage :

$$\begin{aligned} \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{CC}[t] &<- \text{Juv}_{\text{vichy}}[t] \times r_{\text{riv_Allier}}[t] \times r_{\text{intbar_V}}^{CC}[t] \times \text{surv}_{CC} \times \text{surv}_{VB} \\ \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{VB}[t] &<- \text{Juv}_{\text{vichy}}[t] \times r_{\text{riv_Allier}}[t] \times r_{\text{intbar_V}}^{VB}[t] \times \text{surv}_{VB} \\ \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{non_impacté}}[t] &<- \text{Juv}_{\text{vichy}}[t] \times r_{\text{riv_Allier}}[t] \times (1 - (r_{\text{intbar_V}}^{CC}[t] + r_{\text{intbar_V}}^{VB}[t])) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Le nombre de juvéniles sortant du secteur Vichy-Langeac (Allier) étant alors :

$$\text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Allier}}[t] <- \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{CC}[t] + \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{VB}[t] + \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{non_impacté}}[t] \quad (3.4)$$

Avec $\text{Juv_surv}_{\text{Poutès}}$, $\text{Juv_surv}_{\text{Langeac}}$ et $\text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Allier}}$ = respectivement les juvéniles survivants des secteurs 3, 2 et 1, $\text{Juv}_{\text{poutès}}$, $\text{Juv}_{\text{langeac}}$ et $\text{Juv}_{\text{vichy}}$ = respectivement les juvéniles « produits » (dans le milieu naturel ou déversés) par les secteurs Amont de Poutès, Langeac-Poutès et Vichy-Langeac + Alagnon + Dore, $r_{\text{intbar_P}}$, $r_{\text{intbar_L}}$, $r_{\text{intbar_V}}$ = respectivement la fraction de juvéniles impactée par chaque ouvrage dans les secteurs 3, 2 et 1. Il est important de noter que les secteurs 2 et 3 ne sont impactés que par un ouvrage chacun (qui représente la limite aval de chacune de ces deux zones), et que donc $r_{\text{intbar_L}}[t]$ et $r_{\text{intbar_P}}[t]$ valent 1. En revanche, le secteur 1 est impacté sur l'Allier par 2 ouvrages ($r_{\text{intbar_V}}^{CC}$ pour la fraction de juvéniles produite sur le secteur 1 et impactée par l'ouvrage de Chambon de Cerzat et $r_{\text{intbar_V}}^{VB}$ pour la fraction de juvéniles produites comprises entre l'aval du barrage de Chambon de Cerzat et l'amont du barrage de Vieille-Brioude), $r_{\text{riv_Allier}}$ = le ratio de surfaces productives disponibles sur l'Allier entre Vichy et Langeac par rapport aux surfaces totales du secteur 1, $\rho_{\text{poutès}}$ = paramètre de survie lié aux conditions de dévalaison à l'ouvrage de Poutès, surv_L , surv_{CC} , surv_{VB} = le taux de survie à chacun des ouvrages hydroélectriques, respectivement Poutès, Langeac, Chambon de Cerzat et Vieille Brioude, $\text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{non_impacté}}$ = les juvéniles produits sur le secteur Vichy-Langeac sur la rivière Allier en aval de toutes centrales hydroélectriques.

Le même principe est appliqué à la Dore et à l'Alagnon, et les juvéniles survivants sortant du secteur 1 se calculent finalement de la façon suivante (équation 3.5) :

$$\text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}[t] <- \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Allier}}[t] + \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Alagnon}}[t] + \text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Dore}}[t] \quad (3.5)$$

Avec $\text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Alagnon}}$ et $\text{Juv_surv}_{\text{Vichy}}^{\text{Dore}}$ respectivement les juvéniles produits survivants de l'Alagnon et de la Dore.

La Dore est un cours d'eau qui, malgré les surfaces importantes de production de juvéniles présentes (environ 24% des surfaces d'équivalent radier-rapide dans l'ensemble du secteur pris en compte par le modèle (?)), est considérée comme peu productive. Afin de ne pas surestimer les juvéniles produits sur ce cours d'eau et donc de ne pas surestimer l'impact des 5 ouvrages hydroélectriques associés (figure ??), nous réalisons une deuxième modélisation prenant à la fois en compte les surfaces productives sur chacun des axes du secteur 1 mais également un facteur correctif prenant en compte la productivité de ces axes. Ce facteur reflète les résultats obtenus lors des pêches électriques d'indice d'abondance dans les différents tronçons du secteur 1 (Allier en aval de Langeac, Alagnon et Dore) et provient des analyses réalisées dans le cadre de DEVALPOMI (?)(tableau ??).

En plus de ces deux modélisations et sur avis du groupe de travail accompagnant le projet (réunion du 10 décembre 2015), nous réalisons également une modélisation avec l'hypothèse d'une production en juvéniles nulle sur la Dore. Cela permet de modéliser trois hypothèses, deux extrêmes une qui sur-évalue (prise en compte uniquement des surfaces de production de juvéniles) et l'autre qui sous-évalue (hypothèse d'une production nulle en juvéniles sur la Dore) l'impact des ouvrages de la Dore, et une

hypothèse intermédiaire utilisant les différentes données disponibles (prise en compte des surfaces de production des juvéniles pondérées par les résultats des pêches électriques), qui semble *a priori* plus raisonnable. Les résultats de l'ensemble de ces modélisations sont présentés à la section [4.2.5](#).

4 Résultats

Deux types de résultats sont présentés ici :

- les résultats du modèle de dynamique de population (section 4.1),
- les résultats des différentes simulations développées pour analyser la dynamique et la viabilité de la population à l'horizon de 20 ans sous différents scénarii (section 4.2).

Pour l'ensemble de ces projections nous avons fait l'hypothèse que la stochasticité des conditions environnementales reste la même que celle des années précédentes.

4.1 Modèle dynamique de population

La section 4.1 présente l'ensemble des figures mises à jour avec les données 2014 et les corrections apportées en 2015. Les nouvelles figures développées en 2015 concernant la répartition des juvéniles (cf. section 2.2.3) y sont également présentées.

4.1.1 Relation de calibration entre les densités de tacons 0+ et les indices d'abondance en 5 minutes

Le détail des résultats sur les 13 sites échantillonnés sur le double protocole pêche en 5 minutes et pêche par enlèvement successif est présenté dans le tableau 2.2.2, et la nouvelle relation de calibration à la figure ???. Le tableau de conversion des indices tacons 0+ en 5 minutes en densité est présenté à l'Annexe C. Parmi les 4 points échantillonnés en 2015, deux sites présentaient des abondances moyennes : l'un sur l'Allier (Vabres) et l'autre sur l'Alagnon (Pont de Brugeilles). La relation entre le nombre de 0+ pêchés et la densité de tacons présents pour ces deux sites a tendance à être supérieure aux autres sites, mais nous observons que le point réalisé dans l'Alagnon entre dans la gamme de la relation attendue (même si le point est situé dans la gamme supérieure de cette relation). Par rapport à la relation antérieure, ces 4 nouveaux points (et en particulier la station de Vabres) ont tendance à nous donner une vision un peu plus optimiste de la densité de tacons 0+ pour un indice d'abondance donné (figure ???). Il est à noter que suite à une panne de matériel intervenue quelques temps avant cette opération, les pêches en 5 minutes réalisées juste avant la pêche par enlèvement successif ont été réalisées en 2015 à l'aide d'un Volta®(imeo), alors qu'elles avaient été réalisées jusque là à l'aide d'un martin pêcheur®(Dream Electronique). Une autre campagne de pêche est d'ores et déjà prévue pour l'automne 2016 avec la réalisation de 4 nouvelles pêches sur le double protocole pêche IA - pêche complète. Ces nouveaux points viendront ainsi compléter les 13 points déjà réalisés afin de renforcer la robustesse de cette relation.

4.1.2 Répartition des adultes dans les différents secteurs

4.1.3 Relation entre nombre d'adultes potentiels et comptages frayères

4.1.4 Relations de recrutement densité-dépendant

4.1.5 Répartition des juvéniles dans les secteurs et relation entre la répartition des géniteurs et celle des juvéniles

La figure ?? met en avant une réelle rupture dans la répartition des cohortes de juvéniles à l'origine des retours d'adultes ($J_{t,i}^{coh}$)¹. Cette rupture correspond à l'instauration de la zone refuge en 2008². En effet, la création de cette zone refuge a conduit à un changement total de la stratégie de déversement, avec dès 2008 un déversement important (qui s'est accentué à partir de 2009) d'alevins sur le secteur 1 (Vichy-Langeac) (cf. figure ??). Ainsi, les retours d'adultes en 2011 sont issus à 1/3 d'alevins produits en 2008 selon cette nouvelle stratégie et de 2/3 d'alevins produits selon l'ancienne stratégie (2006 et 2007); en 2012 les retours sont issus à 2/3 des juvéniles produits sur la nouvelle stratégie (2008 et 2009) et à 1/3 sur l'ancienne. A partir des retours 2013 l'ensemble des juvéniles à l'origine des retours d'adultes sont issus de cette nouvelle stratégie. La figure ?? montre bien que depuis la mise en place de la zone refuge, une redistribution spatiale de la production de juvéniles a eu lieu au profit de la partie aval (secteur 1). Dans le même temps, la zone en amont de Poutès a vu sa contribution relative à la production de juvéniles diminuer de façon importante, tandis que le secteur intermédiaire (Langeac-Poutès) ne montre pas de changement très net. Si le homing est très strict et qu'il n'y a pas de problème à la montaison (c'est-à-dire que tous les juvéniles survivant d'un secteur donné reviennent comme adulte dans ce même secteur) on s'attend à ce que la différence entre le ratio de géniteurs potentiels et le ratio de juvéniles produits soit en moyenne proche de 0. Ce n'est pas ce que nous observons (figure ?? c, f et i). En effet, en moyenne le secteur Vichy-Langeac « reçoit »

4.1.6 Taux de retour du tacon 0+ et du smolt déversé à l'adulte

4.1.7 Nouvelles figures : répartition des juvéniles de l'année

La figure ?? permet de mettre en évidence une modification relativement récente dans la répartition des juvéniles dans les 3 secteurs. En effet, nous constatons que depuis 2008, le ratio des juvéniles présents dans le secteur en amont de Poutès a considérablement et très subitement chuté, tandis qu'il a augmenté sur le secteur aval (Vichy-Langeac). Le secteur intermédiaire (Langeac-Poutès) est, quant à lui, resté assez stable. Cette modification correspond au changement important intervenu dans la stratégie de repeuplement. En effet, depuis 2008, plus aucun alevin n'est déversé en amont de Langeac (depuis 2009 tout déversement, y compris au stade oeuf, a cessé dans cette zone), l'année 2007 ayant été une année de transition entre les 2 stratégies de déversement, l'une consistant (avant 2007) à déverser la majorité des poissons en amont de Langeac et l'autre (depuis 2008) consistant à déverser tous les alevins produits en aval de Langeac (figure ??). Cela montre également que la zone en amont de Poutès était très sensible à l'ajout de juvéniles (via les déversements) tandis que la zone Langeac-Poutès ne l'est quasiment pas (pas de modification depuis l'arrêt des déversements).

Le fait que nous observions une baisse importante de la production de l'amont de Poutès (par rapport à la production totale) alors que le ratio de géniteurs n'a pas changé pour ce secteur nous interpelle sur

1. $J_{t,i}^{coh}$ représente la somme de toutes les années pour lesquelles la production de juvéniles influence les retours d'adultes pour une année donnée.

$$J_{t,i}^{coh} = \frac{1}{3} \times J_{t-3,i} + \frac{1}{3} \times J_{t-4,i} + \frac{1}{3} \times J_{t-5,i} \quad (4.1)$$

2. Après une année de transition (2007) tout déversement au stade alevin a cessé en amont de Langeac en 2008. En 2009, la zone refuge est créée. Plus aucun déversement à quels que stades que ce soit n'a lieu dans cette zone (y compris au stade oeuf)

le recrutement dans cette zone depuis 2008. La figure ?? présente les résidus naturel du recrutement à Poutès (variable `res_wild_moy_P` dans le modèle). Nous observons sur cette figure des résidus atypiques depuis 2007, avec des résidus négatifs 5 années sur 8. La figure ?? qui présente la répartition des juvéniles issus de la reproduction naturelle met en évidence la même tendance à la baisse sur ce secteur. Nous ne sommes pas en mesure aujourd'hui d'expliquer ces résidus négatifs et cela constituera une des perspectives de travail (cf. section 5.4).

4.2 Simulation sans repeuplement et projections à 20 ans

Suite aux différentes corrections et améliorations apportées au modèle en 2015, les principaux scénarii développés par ? et ? ont été mis à jour et sont présentés dans cette section³. Il s'agit de :

- une analyse rétrospective dans un scénario où aucun repeuplement n'aurait eu lieu (section 4.2.1),
- un scénario d'arrêt des repeuplements dès l'année prochaine avec une projection des retours à Vichy à 20 ans (section 4.2.2),
- deux scénarii d'arrêt des repeuplements dès l'année prochaine et une amélioration au niveau du barrage de Poutès à la montaison comme à la dévalaison (section 4.2.3),
- deux scénarii d'arrêt des repeuplements dès l'année prochaine et une augmentation progressive (sur 10 ans) du taux de transition entre le tacon 0+ et l'adulte par rapport au niveau initial observé au milieu des années 1980 (section 4.2.4).

En plus de ces scénarii mis à jour, sont présentés les résultats du scénario développé en 2015 lié à la suppression des impacts lors de la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques (section 4.2.5 - voir section 3 pour les explications sur ce scénario).

4.2.1 Retour vers le futur : Et si on n'avait jamais repeuplé ?

L'analyse rétrospective dans le scénario où aucun repeuplement n'aurait eu lieu dans le bassin Loire, indique que le repeuplement joue un rôle important dans le retour des adultes à Vichy depuis ces 15 dernières années. La contribution des repeuplements dans les retours d'adultes tient compte ici :

4.2.2 Projection à 20 ans sans changement autre que l'arrêt des déversements

4.2.3 Projection à 20 ans avec une amélioration des conditions de montaison et de dévalaison à Poutès

4.2.3.1 Amélioration de la montaison et de la dévalaison à hauteur de 50%

4.2.3.2 Suppression du barrage de Poutès (ou amélioration à hauteur de 100%)

4.2.4 Projection à 20 ans avec une amélioration progressive du taux de transition entre le tacon 0+ et l'adulte

4.2.4.1 Amélioration jusqu'à atteindre 50% du niveau initial

4.2.4.2 Amélioration jusqu'à atteindre 100% du niveau initial

4.2.5 Projection à 20 ans avec suppression des impacts à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques

Cette section présente d'une part, les projections réalisées en répartissant les juvéniles du secteur 1 sur l'ensemble des axes de ce secteur (Allier en aval de Langeac, Agagnon et Dore) et d'autre part,

3. se référer aux rapports de ? et ? pour plus de détails sur les scénarii produits

les projections réalisées sous l'hypothèse d'une production nulle en juvénile sur la Dore (autrement dit, les juvéniles produits dans le secteur 1 sont répartis uniquement entre l'Allier en aval de Langeac et l'Alagnon)(cf. section 3). Dans chacune des sous-parties suivantes, les résultats sont présentés en fonction de l'hypothèse de répartition des juvéniles réalisée :

- au *prorata* des surfaces productives disponibles,
- au *prorata* des surfaces productives disponibles pondéré par la productivité de chacun des axes.

4.2.5.1 Modélisation sur l'ensemble des axes du secteur 1 (Allier en aval de Langeac, Alagnon et Dore)

Répartition des juvéniles au *prorata* des surfaces disponibles Dans l'hypothèse d'une répartition stricte des juvéniles au *prorata* des surfaces disponibles, nous obtenons les résultats suivants :

Répartition des juvéniles au *prorata* des surfaces disponibles, avec prise en compte de la productivité des rivières Dans l'hypothèse d'une répartition des juvéniles au *prorata* des surfaces productives disponibles pondérées par la productivité des rivières, nous obtenons les résultats suivants pour la projection à 20 ans avec arrêt des déversements et suppression des impacts à la dévalaison dans les 11 ouvrages hydroélectriques :

4.2.5.2 Modélisation sous l'hypothèse d'une production nulle en juvéniles de la Dore

Répartition des juvéniles au *prorata* des surfaces disponibles, avec prise en compte de la productivité des rivières

5 Conclusion et perspectives du projet

5.1 Améliorations apportées au modèle

5.1.1 *fitness*

Le travail mené en 2015 a permis de conforter l'hypothèse initiale introduite dans le modèle de survie similaire des juvéniles sauvages et d'élevage entre le stade tacon 0+ et l'adulte de retour à Vichy (section 2.2.1). Néanmoins, il semble probable que le succès reproducteur des poissons issus de déversement (y compris à des stades précoces - alevins) soit moindre que celui des poissons sauvages. Ainsi, dans les projections que nous réalisons sous l'hypothèse de l'arrêt des déversements, nous avons sans doute tendance à être un peu pessimiste sur la faculté de la population sauvage à se renouveler (puisque la différence potentielle de succès reproducteur entre les deux origines n'est pas prise en compte dans le modèle, faute de données nous permettant de la faire).

5.1.2 Relation de calibration entre les pêches en 5 minutes (IA) et les pêches complètes

En 2015, 4 points supplémentaires ont pu être réalisés sur le double protocole pêche indice d'abondance en 5 minutes (IA) et pêche complète, renforçant ainsi la relation de calibration existante. Malheureusement, nous n'avons pu réaliser un point à forte abondance ($> 175 \text{ 0+}/5\text{minutes}$). Un tel point serait néanmoins précieux pour améliorer le calage de la relation pour des indices d'abondance forts.

Une nouvelle campagne de pêche est prévue par LOGRAMI en 2016 (4 nouveaux points). La réalisation d'un point à très forte abondance reste un objectif pour cette future campagne. De même, comme en 2015, au moins un point de pêche sera réalisé sur un des affluents de l'Allier inclus dans le territoire du modèle (Dore ou Alagnon).

De façon générale, l'ajout de ces 4 nouveaux points dans la relation de calibration a eu pour conséquence la révision à la hausse des densités de $0+/m^2$ pour un même indice d'abondance.

5.2 Retour vers le futur : Et si on n'avait jamais repeuplé ?

5.3 Viabilité de la population de saumon atlantique dans le bassin Allier et projection à 20 ans sous différents scénarii

Les projections à 20 ans sans repeuplement ni amélioration indiquent une baisse au cours du temps du nombre d'adultes de retour à Vichy, témoignant ainsi d'un renouvellement insuffisant de la population. Néanmoins, les différentes simulations réalisées mettent en évidence une réponse positive de la population de saumons de l'Allier aux améliorations qui peuvent être apportées. Le tableau ?? synthétisent les résultats obtenus selon les différents scénarii.

5.4 Perspectives pour ce projet

Un certain nombre d'améliorations et de développement sont envisagées et pourraient être mis en œuvre dans les années futures. Il s'agirait notamment de :

- identifier explicitement l'Alagnon, c'est-à-dire sortir ce cours d'eau du secteur 1 pour en faire un secteur à part entière,
- analyser les causes des résidus atypiques du recrutement naturel en amont de Poutès observés sur les 8 dernières années,
- tester une hypothèse alternative à l'hypothèse de priorité aux juvéniles natifs,
- introduire une corrélation spatiale dans la stochasticité environnementale (c'est-à-dire considérer à l'échelle de nos secteurs que lorsque les conditions environnementales sont propices dans un secteur, elles le sont également dans les autres), en particulier en ce qui concerne le recrutement et la survie des poissons de repeuplement,
- développer des scénarii incluant des stratégies alternatives de repeuplement en terme de lieux et quantités de poissons déversés.

En 2016, le développement du modèle se poursuivra. Le groupe de travail de suivi du projet se réunira une à deux fois dans l'année pour que les choix de modélisation soient en adéquation avec la vision des acteurs du bassin de l'Allier et pour conforter l'appropriation du modèle par l'ensemble du groupe.

A Présentation de la fiche-projet du modèle de dynamique de population pour l'année 2015

B Relevés de décisions des réunions du groupe de suivi du projet de modélisation

C Récapitulation des modifications importantes apportées au modèle depuis 2014

Tableau C.1

annee		
2014		
2014	Conversion des surfaces productives selon la formule des ERR développée sur l'Allier (Mins)	
2014	Prise en compte plus fine des surfaces sous influence des déversements (jusqu'à l'année 2003)	
2014	Mise à jour des données 2012 et 2013	
2014	Développement des projections liées au réaménagement de Poutès (50% d'amélioration et s	
2015		
2015	Différence de fitness entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et les juvéniles déve	
2015	Mise à jour des données 2014	
2015	Développement d'un scénario de gestion (simulation à 20 ans) concernant la suppression de	
2016		
2016	Ajout d'une quatrième zone dans le modèle en extrayant l'Alagnon du secteur aval du mod	
2016	Mise à jour des données 2015	

**D Densités prédites pour un nombre de
tacons 0+ capturé en 5 minutes**

E Présentation des paramètres estimés par le modèle

F Code du modèle 2016.01.20
