



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

Année 2016

Marion LEGRAND<sup>1</sup>, Etienne PREVOST<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LOGRAMI, <sup>2</sup>INRA –UMR 1224 ECOBIOP

DECEMBRE 2017



Direction Régionale de l'Environnement  
Bassin Loire-Bretagne

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

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Hypothèses de travail, améliorations et mise à jour du modèle</b>	<b>9</b>
2.1	Données et hypothèses de travail . . . . .	9
2.1.1	Données et mise à jour . . . . .	9
2.1.2	Rappel sur les hypothèses de travail présentes dans le modèle . . . . .	10
2.2	Améliorations . . . . .	13
2.2.1	Ajout d'une quatrième zone : l'Alagnon . . . . .	13
2.2.2	Renforcement de la relation entre les indices d'abondance et les densités de tacons 0+ . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Résultats</b>	<b>17</b>
3.1	Modèle dynamique de population . . . . .	17
3.1.1	Relation entre les densités de tacons 0+ et les indices d'abondance en 5 minutes	17
3.1.2	Répartition des adultes dans les différents secteurs . . . . .	20
3.1.3	Relation entre nombre d'adultes potentiels et comptages frayères . . . . .	22
3.1.4	Relations de recrutement densité-dépendant . . . . .	22
3.1.5	Répartition des juvéniles dans les secteurs et relation entre la répartition des géniteurs et celle des juvéniles . . . . .	23
3.1.6	Répartition des juvéniles de l'année . . . . .	25
3.1.7	Taux de retour du tacon 0+ et du smolt déversé à l'adulte . . . . .	30
3.2	Simulation sans repeuplement et projections à 20 ans . . . . .	31
3.2.1	Retour vers le futur : et si on n'avait jamais repeuplé? . . . . .	31
3.2.2	Projection à 20 ans sans changement autre que l'arrêt des déversements . . . . .	33
3.2.3	Projection à 20 ans avec une amélioration des conditions de montaison et de dévalaison à Poutès . . . . .	36
3.2.4	Projection à 20 ans avec suppression des impacts à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques . . . . .	42
3.2.5	Projection à 20 ans avec une amélioration progressive du taux de transition entre le tacon 0+ et l'adulte . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Conclusion et perspectives du projet</b>	<b>51</b>
4.1	Améliorations apportées au modèle . . . . .	51
4.1.1	Création d'une quatrième zone . . . . .	51
4.1.2	Relation entre les indices d'abondance et les densités . . . . .	51
4.2	Retour vers le futur : et si on n'avait jamais repeuplé? . . . . .	51
4.3	Viabilité de la population de saumon atlantique dans le bassin Allier et projection à 20 ans sous différents scénarii . . . . .	52
4.4	Perspectives pour ce projet . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Présentation de la fiche-projet du modèle de dynamique de population pour l'année 2016</b>	<b>55</b>

6	Relevés de décisions des réunions du groupe de suivi du projet de modélisation	56
7	Récapitulation des modifications importantes apportées au modèle depuis 2014	72
8	Densités prédites pour un nombre de tacons 0+ capturés en 5 minutes	74
9	Présentation des paramètres estimés par le modèle	77
10	Code du modèle 2016.12.19	105

# Table des figures

1.1	Localisation des différents secteurs du modèle . . . . .	8
2.1	Localisation des nouveaux secteurs du modèle . . . . .	14
2.2	Relation de densité dépendance moyenne du modèle à 3 zones . . . . .	14
2.3	Relation entre nombre de géniteurs potentiels et comptages frayères du modèle à 3 zones	15
3.1	Relation entre le nombre d'individus capturés en 5 min (IA) et la densité de tacons 0+	18
3.2	Relation entre le nombre d'individus capturés en 5 min (IA) et la densité de tacons 0+. Comparaison entre la version à 13 et 17 points . . . . .	19
3.3	Répartition des adultes dans les différents secteurs . . . . .	21
3.4	Relation entre nombre de géniteurs potentiels et comptages frayères . . . . .	22
3.5	Relation stock/recrutement . . . . .	23
3.6	Production relative de juvéniles 0+ pour une année donnée ( $J_{t,i}^{coh}$ ) . . . . .	25
3.7	Répartition des juvéniles (sauvages et élevages) estimés par le modèle dans les différents secteurs . . . . .	27
3.8	Répartition des juvéniles sauvages estimés par le modèle dans les différents secteurs .	28
3.9	Résidus du recrutement en amont de Poutès . . . . .	29
3.10	Taux de retour du 0+ et du smolt à l'adulte . . . . .	30
3.11	Retour vers le futur : et si on n'avait jamais repeuplé? . . . . .	32
3.12	Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et projection à 20 ans . . . .	34
3.13	Probabilité d'atteindre certains seuils de nombre d'adultes à Vichy . . . . .	35
3.14	Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration des conditions à Poutès de 50% . . . . .	37
3.15	Probabilité d'atteindre certains seuils de nombre d'adultes à Vichy avec 50% d'amélioration à Poutès . . . . .	38
3.16	Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration des conditions à Poutès de 100% . . . . .	40
3.17	Probabilité d'atteindre certains seuils de nombre d'adultes à Vichy avec 100% d'amélioration à Poutès . . . . .	41
3.18	Retours d'adultes à Vichy avec suppression des impacts à la dévalaison dans 11 ouvrages hydroélectriques (hypothèse de répartition des juvéniles au <i>pro rata</i> des surfaces disponibles et avec prise en compte de la productivité des cours d'eau et conservation de rho_poutes) . . . . .	43
3.19	Probabilité d'atteindre certains seuils de nombre d'adultes à Vichy avec la suppression des impacts à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques (hypothèse de répartition des juvéniles au <i>pro rata</i> des surfaces disponibles et avec prise en compte de la productivité des cours d'eau et conservation de rho_poutes) . . . . .	44
3.20	Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration de la survie jusqu'à 50% du niveau initial . . . . .	46
3.21	Probabilité d'atteindre certains seuils de nombre d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration de la survie jusqu'à 50% du niveau initial . . . . .	47
3.22	Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration de la survie jusqu'à 100% du niveau initial . . . . .	49

3.23	Probabilité d'atteindre certains seuils de nombre d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration de la survie jusqu'à 100% du niveau initial . . . . .	50
------	--	----

# Liste des tableaux

2.1	Données utilisées dans le modèle et période des séries de données . . . . .	9
2.2	Hypothèses sur les processus et les données réalisées dans le cadre du modèle dynamique de population du saumon de l'Allier et évolution au court du temps de ces hypothèses. . . . .	11
3.1	Détail des 17 points de pêche réalisés sur le double protocole des pêches indice d'abondance et des pêches complètes . . . . .	20
3.2	Taux de mortalité (en pourcentage) induit par chaque ouvrage hydroélectrique . . . . .	42
4.1	Résultats des projections à 20 ans sous l'hypothèse de l'arrêt des déversements et dans différents scénarii d'amélioration . . . . .	52

---

# 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 (Dauphin and Prévost (2013) : 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 ».

L'objectif de ce projet de modélisation est :

- améliorer la compréhension et quantifier les mécanismes de renouvellement de la population de saumon de l'Allier ;
- fournir une analyse rétrospective de la dynamique de population du saumon de l'allier des années 70 à nos jours ;
- évaluer la capacité de la population de l'Allier à se maintenir de façon autonome (sans repeuplement) ;
- identifier les conditions requises (d'ordre naturel ou anthropique) pour assurer la viabilité de la population « sauvage » de saumon atlantique dans le bassin de l'Allier.

La zone d'étude est située sur l'Allier, des sources à la station de Vichy (figure 1.1). Ce secteur est lui-même divisé en 3 zones. Seuls les affluents principaux (Dore et Alagnon) sont pris en compte car nous ne disposons pas de données suffisantes sur les cours d'eau de moindre importance.

En 2014, grâce à une action inscrite dans le cadre des travaux du pôle de transfert INRA-ONEMA Gest'Aqua, 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 Legrand<sup>1</sup>, 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 (Legrand and Prévost (2015) : voir le rapport en ligne ; Legrand and Prévost (2016) : 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 groupe<sup>2</sup> suit les avancés du projet et donne les orientations pour le travail à venir (choix des thématiques). En 2014 ce groupe a permis de confirmer 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 concernant le modèle, qu'il s'agisse de la mise à jour ou des améliorations apportées au modèle.

---

1. pour toute question ou besoin d'éléments complémentaires n'hésitez pas à me contacter par mail [tableau-salt-loire@logrami.fr](mailto: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 de 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 Region Centre Val-de-Loire, le Sage Alagnon, le Sage Allier aval, le Sage Dore, le Sage Haut-Allier, le Sage Sioule et le Sigal

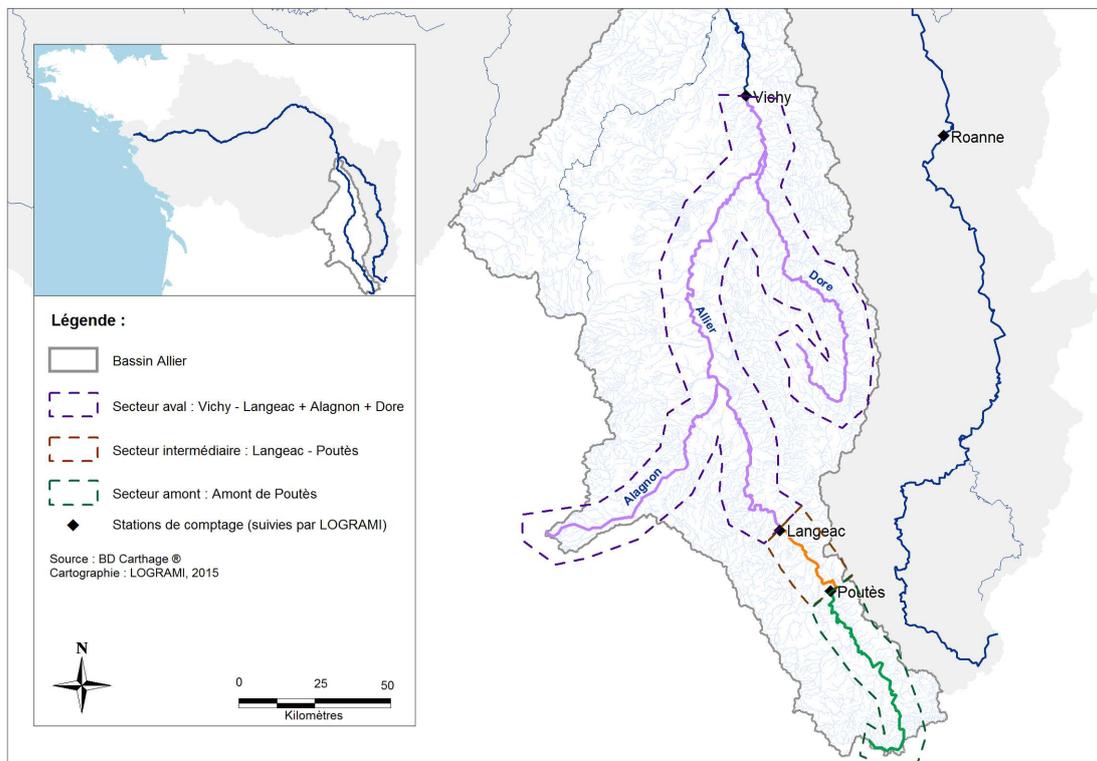


FIGURE 1.1 – Localisation des différents secteurs du modèle

---

## 2 Hypothèses de travail, améliorations et mise à jour du modèle

---

### 2.1 Données et hypothèses de travail

#### 2.1.1 Données et mise à jour

Le tableau 2.1 récapitule les données utilisées dans le modèle dynamique de population du saumon de l'Allier ainsi que les périodes de temps disponibles pour ces données.

*Tableau 2.1 – Données utilisées dans le modèle et période des séries de données*

	Données	Périodes
<b>Stations de comptage</b>		
	Vichy	1997 - 2015
	Langeac	2003 - 2008
	Poutès	1986 - 2015
<b>Comptage frayère</b>		
	Dénombrement des nids	1977 - 2015
	Surfaces prospectées	1977 - 2015
<b>Repeuplement</b>		
	Déversement d'oeufs, d'alevins et de smolts	1977 - 2015
	Nombre d'adultes prélevés à Vichy pour le repeuplement	1975 - 2015
<b>Pêche électrique</b>		
	Pêche par enlèvements successifs	1975 - 1990
	Pêche Indice d'abondance en 5 minutes	1994 - 2015
<b>Capture</b>		
	Données de capture à la ligne et professionnelle	1977 - 1993
<b>Marquage/recapture</b>		
	Dénombrement des saumons adultes sans nageoire adipeuse à Vichy	2003 - 2015

Comme chaque année, le modèle a fait l'objet en 2016 d'une mise à jour de l'ensemble de ses données, afin que les informations recueillies en 2015 soit utilisées dans ce projet de modélisation. 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, permet de pouvoir présenter des sorties graphiques régulièrement mises à jour (cf. section 3.1).

## 2.1.2 Rappel sur les hypothèses de travail présentes dans le modèle

Le tableau 2.2 synthétise les hypothèses réalisées pour les trois grandes parties qui constituent le modèle : 2 modèles d'observation (un sur le compartiment juvénile et l'autre sur le compartiment géniteur) et un modèle dynamique permettant de modéliser les transitions entre les différents stades. La version 2012 du projet est celle qui a vu le jour grâce au travail de Guillaume Dauphin et Etienne Prévost (version initiale du modèle : [Dauphin and Prévost \(2013\)](#)). La version 2014 est celle qui a vu le jour grâce à l'opération de transfert du modèle (poursuite du développement et de la mise à jour du modèle par LOGRAMI sous la supervision scientifique de l'INRA : [Legrand and Prévost \(2015\)](#)). La version 2015, correspond au modèle stabilisé à la fin de l'année 2015 ([Legrand and Prévost, 2016](#)). Aucune hypothèse n'a été modifiée en 2016, néanmoins une modification majeure de la structure même du modèle a été opérée puisqu'une quatrième zone a été ajoutée.

Tableau 2.2 – Hypothèses sur les processus et les données réalisées dans le cadre du modèle dynamique de population du saumon de l’Allier et évolution au court du temps de ces hypothèses.

	2012	2014	2015
<b>modèle frayère</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Le ratio nids :généiteurs est potentiellement différent selon les secteurs.</li> <li>●La répartition des généiteurs combine 2 mécanismes : elle reflète la distribution de l’habitat disponible et prend en compte le phénomène de <i>homing</i>. Afin de rendre compte des difficultés de migration (ou des mortalités qui peuvent intervenir), un paramètre supplémentaire a été ajouté pour les secteurs de Langeac-Poutès et amont de Poutès<sup>4</sup>.</li> <li>●Il y a un effet méthode dans le comptage des nids entre la période historique où ils étaient comptés à pied et la période actuelle où ils sont comptés par survol en hélicoptère.</li> <li>●Au niveau des stations de comptage, Vichy et Poutès sont considérées comme exhaustives (sauf en 2004 pour Vichy), tandis que les données à Langeac sont vues comme un nombre minimum de saumons.</li> <li>●Les données des surfaces productives utilisées ne sont pas en <i>équivalent radier-rapide</i>, l’ensemble des faciès productifs ont été considérés comme contribuant de la même façon<sup>6</sup>.</li> <li>●Le linéaire prospecté pour le comptage des nids d’une année est rapporté au linéaire maximum prospecté sur l’ensemble de la série chronologique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Les données de surfaces productives sont converties en <i>équivalent radier-rapide</i><sup>3</sup>.</li> <li>●Le linéaire prospecté d’une année est rapporté au linéaire total accessible<sup>5</sup>.</li> </ul>	
<b>modèle juvénile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●La productivité en juvéniles des habitats n’est pas la même en fonction des secteurs (effet spatial).</li> <li>●Il existe une relation de densité-dépendance entre la densité de généiteurs et de juvéniles sauvages.</li> <li>●Il existe une relation de densité-dépendance entre la densité d’alevins déversés (pisciculture) et de juvéniles sauvages.</li> <li>●Les juvéniles déversés prennent la place restante laissée disponible par la reproduction naturelle<sup>8</sup>.</li> <li>●Un seul site de déversement suffit pour considérer tout le secteur comme étant sous influence des déversements.</li> <li>●Le linéaire d’influence d’un incubateur de terrain (oeufs) est de 1600m (Beall et al., 1994).</li> <li>●Les pêches électriques sont représentatives de chacun des secteurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Les points de pêche et les points de déversement ont été croisés afin de déterminer plus finement les secteurs sous influence des déversements et ceux qui ne l’étaient pas. Ce croisement n’a pu être fait qu’à partir de l’année 2005. Les années antérieures sont traitées selon la méthode mise en place en 2012<sup>7</sup>.</li> </ul>	

3.  $\frac{1}{5} * \text{PLA} + \text{RAB} + \text{RAD} + \text{RAP} + \text{CLO}$ , avec PLA= plat courant, RAB= radier à bloc, RAD= radier, RAP= rapide et CLO= chenaux lotiques

4. Ce paramètre permet de mieux ajuster les paramètres aux données lorsqu’il y a moins d’adultes dans une zone que ce qu’on pourrait y attendre en ne prenant en compte que la disponibilité des habitats et le phénomène de *homing*

5. Les limites amont de l’ensemble des cours d’eau intégrés dans le modèle ont été définies afin de quantifier ce linéaire total accessible

6. Les surfaces productives sont ainsi calculées de la façon suivante :  $\text{PLA} + \text{RAB} + \text{RAD} + \text{RAP}$  avec PLA= plat courant, RAB= radier à bloc, RAD= radier et RAP= rapide

7. 1 point de déversement dans un secteur suffit pour que l’ensemble du secteur soit considéré comme étant sous influence des déversements

8. La densité de juvéniles 0+ sauvages a un effet sur la survie des poissons de repeuplement mais pas l’inverse

Tableau 2.2 – (continued)

	2012	2014	2015
<b>modèle dynamique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Les retours d'adultes à Vichy sont conditionnés par 3 années de production de juvéniles (t-3, t-4 et t-5) et par les smolts de pisciculture déversés 2 à 3 ans plus tôt ; la contribution de chacune de ces cohortes au retour d'adultes est considérée comme étant équivalente.</li> <li>● Le taux de transition entre le 0+ et l'adulte est global, en intégrant sur les 3 zones de production de juvéniles.</li> <li>● Il n'y a pas d'hypothèse de différentiel de <i>fitness</i> des poissons issus du repeuplement.</li> <li>● Il y a un décrochage dans la série temporelle de la survie du 0+ à l'adulte (modification de la survie en mer).</li> <li>● Le taux de survie des smolts déversés jusqu'à l'adulte est celui qui est observé à Vichy.</li> <li>● Le taux de survie des oeufs en incubateur est identique pour tous les sites et pour toutes les années.</li> <li>● Avant la mise en place de la station de Vichy, le nombre de saumon à Vichy est estimé à partir des données de capture et des prélèvements de géniteurs réalisés pour alimenter la pisciculture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ajout d'un nouveau paramètre permettant d'estimer un différentiel de survie entre l'amont et l'aval de Poutès entre le 0+ et l'adulte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Essai infructueux de l'ajout d'un différentiel de <i>fitness</i> entre les tacons 0+ sauvages et les tacons 0+ issus de déversement au stade alevin<sup>9</sup>.</li> </ul>

9. Nous n'avons pas assez de données pour le faire mais il est probable que la *fitness* diffère, notamment en ce qui concerne le succès reproducteur. Il est ainsi possible que dans les projections sans repeuplement nous offrons une vision assez pessimiste de la faculté de la population sauvage à se renouveler.

## 2.2 Améliorations

### 2.2.1 Ajout d'une quatrième zone : l'Alagnon

Jusqu'à présent, la zone d'étude du modèle était séparée en trois zones (figure 1.1) :

- le secteur le plus aval était composé du tronçon Vichy-Langeac sur l'Allier, de la Dore et de l'Alagnon,
- le secteur intermédiaire était composé du tronçon Langeac-Poutès sur l'Allier,
- le secteur le plus amont était constitué de l'amont de Poutès (Allier).

Le découpage selon ces trois secteurs a été déterminé d'une part par les données : le découpage suit le positionnement des trois stations de comptage sur l'Allier qui donne une information primordiale sur le nombre d'adultes présents dans chacune des zones, et d'autre part sur les connaissances du fonctionnement de ces trois zones (une zone amont productive mais fortement impactée par l'ouvrage de Poutès, une zone intermédiaire productive et enfin une zone aval de moindre qualité). Néanmoins, le secteur le plus aval est très étendu et rassemble tout ou partie de trois cours d'eau aux contextes et fonctionnement potentiellement bien différents.

Nous avons travaillé en 2016 sur la façon d'affiner ce secteur aval. La contrainte principale était bien entendu les données. Il n'était ainsi pas possible de découper le secteur aval en trois parties (une partie par cours d'eau) comme on aurait pu le souhaiter. La rivière Dore n'a pas fait l'objet de suffisamment de suivis pour rendre possible la création d'un secteur indépendant (très faible nombre de points de pêche sur les juvéniles de saumon et principalement réalisés sur des sites où des alevins étaient déversés, quelques années de comptage de nids seulement, pas d'information sur le nombre d'adultes migrants dans la Dore). Les réflexions se sont alors portées sur la possibilité de créer un secteur indépendant pour l'Alagnon (figure 2.1). Malgré l'absence de station de comptage, c'est un cours d'eau qui a fait l'objet d'un nombre important de suivis :

- points de pêche sur les juvéniles de saumon depuis 1999 (même si le suivi n'a vraiment démarré qu'à partir de l'arasement de Grand Pont en 2004),
- comptage frayère depuis 2001,
- données sur le déversement de juvéniles depuis 1975,
- cartographie des surfaces de croissance pour les juvéniles réalisée en 1999 (Minster and Bomassi, 1999).

Afin de pouvoir créer ce quatrième secteur, il a été nécessaire de faire certaines hypothèses. Ainsi, nous avons considéré que sur ce secteur, le mécanisme de répartition des adultes est le même que sur l'Allier, c'est-à-dire que les adultes se répartissent à la fois au *pro rata* des surfaces productives disponibles et du *homing* (les adultes ont tendance à retourner dans le secteur où ils sont nés). Après avoir fait tourner une première version de modèle, il est apparu que cette seule hypothèse de répartition des adultes n'était pas en adéquation avec les données. Il a été alors nécessaire d'ajouter un paramètre de blocage de migration et/ou de mortalité dans le mécanisme de répartition des adultes, comme pour les secteurs de Langeac-Poutès et amont de Poutès (tableau 2.2).

Dans la version initiale du modèle avait été posée l'hypothèse que la productivité en juvéniles des habitats n'était pas la même en fonction des secteurs (tableau 2.2). Plus précisément, l'ajustement du modèle sur les données disponibles permet de définir deux groupes (figure 2.2) : le secteur aval (Vichy-Langeac + Dore + Alagnon) et le secteur intermédiaire et amont (Allier en amont de Langeac). Dans le travail de construction d'un secteur indépendant pour l'Alagnon, il est donc nécessaire de faire un choix (placer l'Alagnon dans le groupe aval ou dans le groupe amont). Après discussion avec le groupe qui suit le modèle, nous avons fait le choix de placer l'Alagnon dans le groupe amont, considérant que la fonctionnalité des habitats était plus proche de celle du secteur Langeac-Poutès que du secteur Vichy-Langeac.

Dans la version initiale du modèle, l'hypothèse d'un ratio nids :générateurs différent selon les secteurs avait également été posée (tableau 2.2). Les données alimentant le modèle permettant de définir deux groupes (figure 2.3) : l'aval et l'amont de Poutès. Nous avons fait le choix de positionner l'Alagnon dans

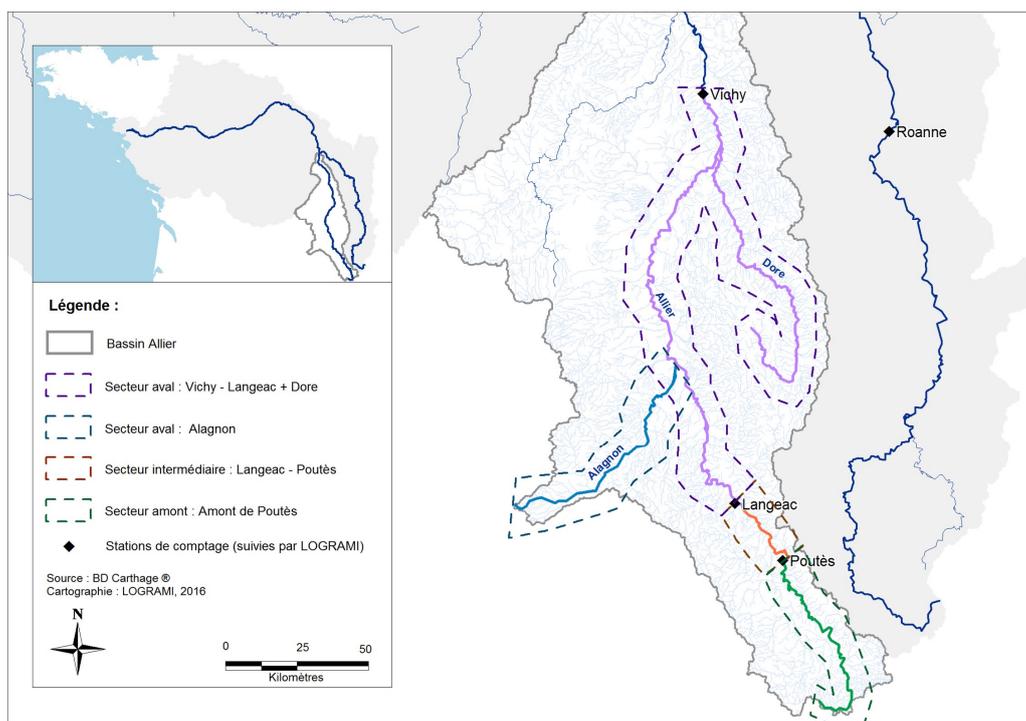


FIGURE 2.1 – Localisation des nouveaux secteurs du modèle

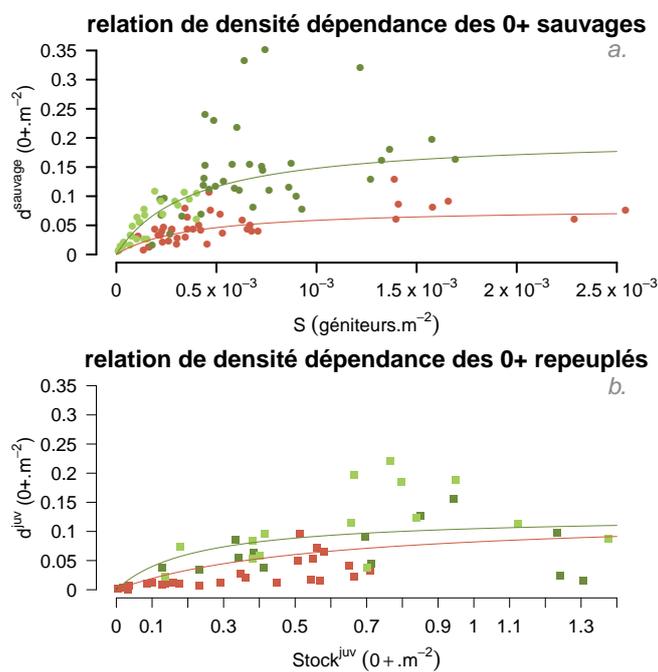


FIGURE 2.2 – Relation de densité dépendance moyenne du modèle à 3 zones entre a) les géniteurs potentiels d’une année donnée  $t$  et la densité de juvéniles 0+ sauvages de l’année suivante ( $t+1$ ) et entre b) le nombre de juvéniles 0+ déversés au printemps et la densité de juvéniles issus du repeuplement à l’automne. Les différences spatiales à l’aval et à l’amont de Langeac sont représentées par deux courbes de couleurs différentes (rouge pour l’aval et vert pour l’amont). Les cercles et les carrés colorés représentent les « données » pour chaque zones du bassin de l’Allier : rouge pour la zone Vichy-Langeac, vert foncé pour la zone Langeac-Poutès et vert clair pour l’amont de Poutès

le groupe aval Poutès, considérant que le ratio nid :géniteur en amont de Poutès était spécifique de cette zone.

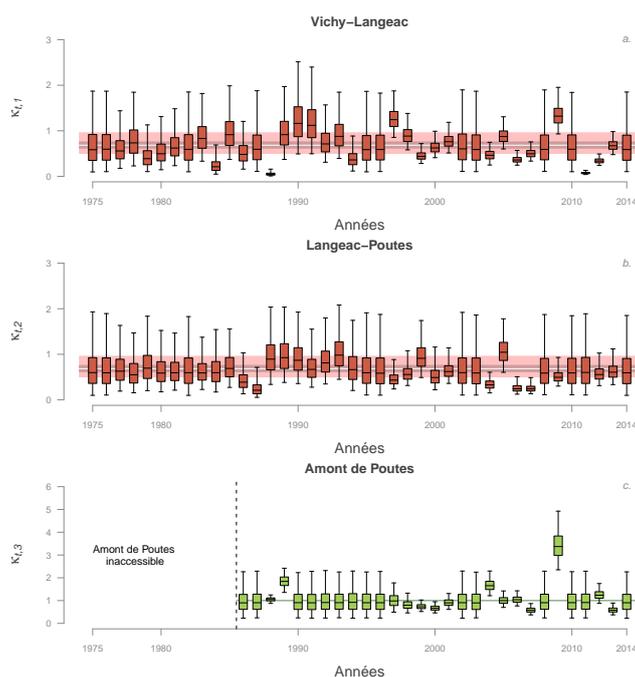


FIGURE 2.3 – Relation entre nombre de géniteurs potentiels et comptages frayères du modèle à 3 zones. Distribution a posteriori du ratio « géniteurs potentiels :frayères » pour chaque zone du bassin de l’Allier : a) Vichy- Langeac, b) Langeac-Poutès, c) Amont de Poutès. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les bandes colorées en arrière-plan représentent la médiane (trait blanc) et les quantiles à 2.5, 25, 75 et 97.5 pour l’hyper-paramètre  $\mu^{k_{down}}$  (moyenne de l’effet zone en aval de Poutès). L’hyper-paramètre  $\mu^{k_{up}}$  (moyenne de l’effet zone en amont de Poutès) est quant à lui fixé à 1.

Les choix de modélisation sont réalisées *a priori* mais sont ensuite vérifiés *a posteriori* via l’ajustement des différentes grandeurs estimées (Annexe 9 ; section 3.1).

## 2.2.2 Renforcement de la relation entre les indices d’abondance et les densités de tacons 0+

La relation entre les densités de tacons 0+ et les nombres d’individus capturés en 5 minutes effectives de pêche (indices d’abondance) est un élément important du modèle. Elle permet de convertir toutes les pêches réalisées depuis 1994 sur le protocole des indices d’abondance en 5 minutes, en densité. Dans la version initiale du modèle (Dauphin and Prévost, 2013) cette relation 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 par enlèvements successifs. Lors de la deuxième réunion du groupe de travail sur le modèle (fin 2014), l’idée de renforcer cette relation via l’ajout de nouveaux points avait été mentionnée. En 2015, grâce à la mobilisation de 25 personnes<sup>10</sup>, 4 points sont venus enrichir la relation. Le travail s’est poursuivi

10. 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

en 2016. Grâce à la mobilisation de 29 personnes<sup>11</sup>, 4 nouveaux points ont été une fois de plus ajoutés. Ces 8 nouveaux points ont été choisis de façon à avoir un maximum de contraste en terme de densité (site de faible à forte abondance de juvénile 0+) et à combler les « trous » dans la gamme d'indice d'abondance observée précédemment. L'Alagnon étant considéré dans le modèle (d'autant plus avec l'établissement d'une zone à part entière pour ce cours d'eau), il a semblé pertinent de réaliser 3 points (parmi les 8) sur ce cours d'eau. Compte tenu de la très faible reproduction observée sur la Dore, il n'a pas semblé pertinent de réaliser des pêches par enlèvements successifs sur ce cours d'eau.

Les pêches Indice d'abondance tacons en 5 minutes des quatre stations 2016 ont été réalisées avec un Martin Pêcheur® (Dream Electronique). Les pêches par enlèvements successifs l'ont été avec deux groupes stationnaires EL 64 II ® (Hansgrassl) permettant de pêcher avec deux fois deux anodes.

---

11. 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 Normandie Grands Migrateurs, Saumon Rhin, Migado, la Fédération de pêche de l'Allier, la Fédération de pêche du Cantal, la Fédération de pêche de Haute-Loire, la Fédération de pêche de la Nièvre, la participation de la DREAL de bassin Loire-Bretagne, l'Etablissement Public Territorial du Bassin de la Vilaine, le Syndicat Interdépartemental de Gestion de l'Alagnon, l'Onema, l'ENSAT et l'ensemble de l'équipe LOGRAMI

---

## 3 Résultats

---

Deux types de résultats sont présentés ici :

- les résultats du modèle de dynamique de population (section 3.1),
- les résultats des différentes simulations développées pour analyser les tendances d'évolution et la viabilité de la population à l'horizon de 20 ans sous différents scénarii (section 3.2). Pour l'ensemble de ces projections nous faisons l'hypothèse que la stochasticité des conditions environnementales reste la même que celle des années précédentes.

### 3.1 Modèle dynamique de population

La section 3.1 présente l'ensemble des figures mises à jour avec les données 2015 et les améliorations apportées en 2016 (notamment ajout d'une quatrième zone).

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

Le détail des résultats sur les 17 sites échantillonnés sur le double protocole pêche en 5 minutes et pêche par enlèvements successifs est présenté dans le tableau 3.1, et la nouvelle relation à la figure 3.1. Le tableau de conversion des indices tacons 0+ en 5 minutes en densité est présenté à l'Annexe 8. Parmi les 4 points échantillonnés en 2016, deux sites présentaient des abondances faibles : l'un sur l'Allier (Truchon) et l'autre sur l'Alagnon (amont pont de Brugeilles). Un site présentait une abondance forte à plus de 150 tacons 0+ par 5 minutes de pêche (camping de Monistrol sur l'Allier). Enfin, un site présentait une gamme moyenne : Gymnase de Massiac (Alagnon). Par rapport à la relation antérieure, ces 4 nouveaux points ne modifient quasiment pas la vision précédente de cette relation (figure 3.2).

Une dernière campagne de pêche est d'ores et déjà prévue pour l'automne 2017 avec la réalisation de 4 nouvelles pêches sur le double protocole pêche IA - pêche par enlèvements successifs. Ces nouveaux points viendront ainsi compléter les 17 points déjà réalisés afin de renforcer la robustesse de cette relation.

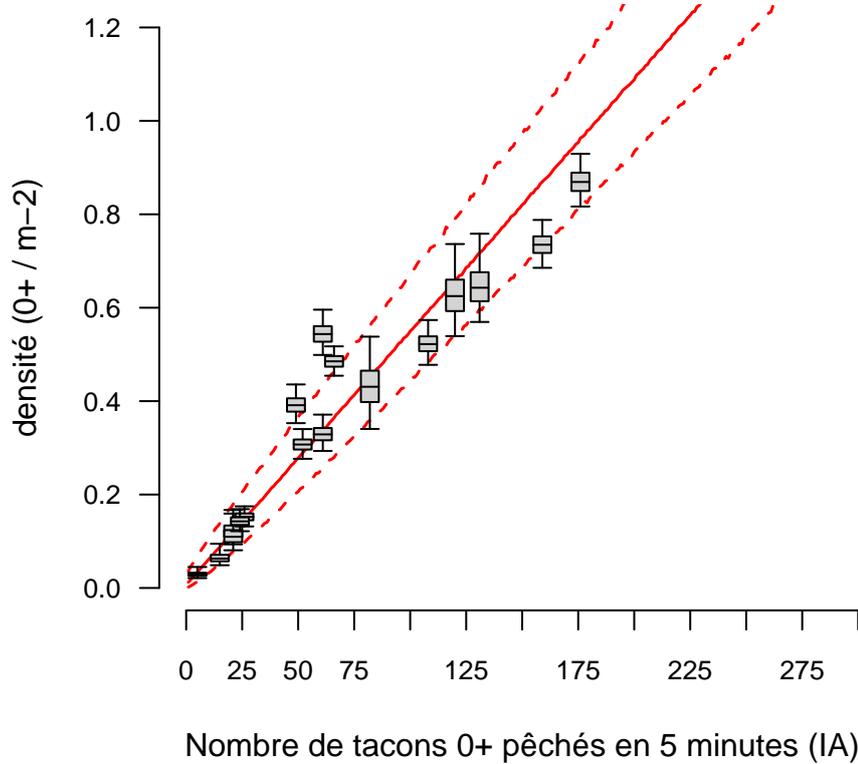


FIGURE 3.1 – Relation entre le nombre d'individus capturés en 5 min (IA) et la densité de tacons 0+. Les boxplots indiquent les quantiles à 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5 pour les 17 points. Les traits pleins et pointillés rouges représentent respectivement la médiane et les quantiles 2.5 et 97.5 des densités prédites pour les indices d'abondance en 5 minutes.

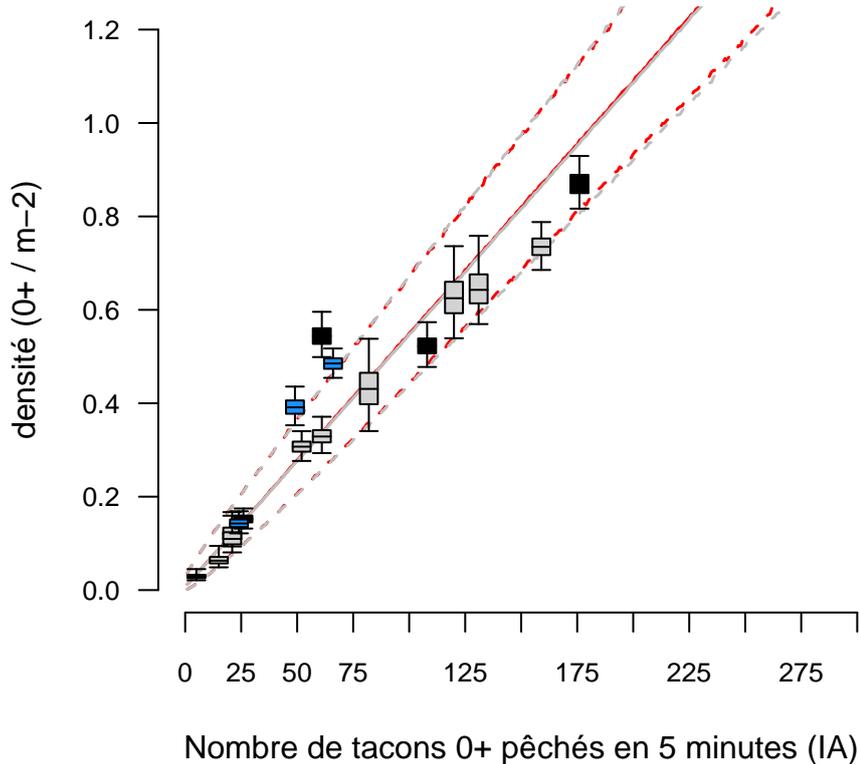


FIGURE 3.2 – Relation entre le nombre d'individus capturés en 5 min (IA) et la densité de tacons 0+. Comparaison entre la version à 13 et 17 points. Les boxplots indiquent les quantiles à 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5 : en gris les 13 points historiques (rivière Allier), en noir les points réalisés dans la rivière Allier par LOGRAMI et en bleu les points réalisés dans la rivière Allagnon par LOGRAMI. Les traits pleins et pointillés représentent respectivement la médiane et les quantiles 2.5 et 97.5 des densités prédites pour les indices d'abondance en 5 minutes : en rouge pour la relation prenant en compte les anciens points plus les 8 nouveaux (soit 17 points) et en gris la relation établie en 2015 avec les 13 points.

Tableau 3.1 – Détail des 17 points de pêche réalisés sur le double protocole des pêches indice d’abondance et des pêches complètes. Les résultats des pêches en 5min sont présentés dans la colonne 0+ IA, les résultats des pêches complètes au premier passage dans la colonne 0+ p1, et ceux du deuxième passage dans la colonne 0+ p2. Surf. pêchée étant la surface pêchée en m<sup>2</sup> et organisme le nom de la structure en charge de l’opération

	Cours d’eau	Station	Année	Surf. pêchée	0+ IA	0+ p1	0+ p2	organisme
1	Allier	Vabres	1997	1210	52	222	68	afb
2	Allier	Pontgibert-radier	2000	464	131	83	34	afb
3	Allier	St Julien des Chazes-Chapelle	2000	1134	120	221	132	afb
4	Allier	St Arcons-aval pont	2000	751	159	296	60	afb
5	Allier	Truchon	2000	1854	15	50	21	afb
6	Allier	La Vialette-camping	2000	828	61	140	45	afb
7	Allier	Monistrol-camping	2001	2880	82	136	121	afb
8	Allier	Lavoûte Chillac-camping	2001	1192	21	46	31	afb
9	Allier	Chambon de Blassac-RD	2001	752	21	21	14	afb
10	Allier	Vabres	2015	1400	61	408	197	logrami
11	Allier	Pontgibert-radier	2015	890	108	239	71	logrami
12	Allier	Orbeil	2015	3000	5	40	19	logrami
13	Alagnon	Pont de Brugeilles	2015	1239	49	267	117	logrami
14	Allier	Monistrol camping	2016	1946	176	874	357	logrami
15	Allier	Truchon	2016	1193	26	115	29	logrami
16	Alagnon	Gymnase Massiac	2016	2047	66	662	202	logrami
17	Alagnon	Amont pont de Brugeilles	2016	743	24	65	13	logrami

### 3.1.2 Répartition des adultes dans les différents secteurs

La répartition des géniteurs suit sur l’Allier un gradient aval/amont (figure 3.3) avec une majorité de géniteurs dans le secteur Vichy-Langeac qui accueille, en moyenne depuis 1986, 56.1% des géniteurs. Le secteur Langeac-Poutes reçoit quant à lui en moyenne (depuis 1986) 28.9% des géniteurs et le secteur le plus amont, 10.4% de géniteurs en moyenne. Rapporté à la disponibilité des habitats pour la production de juvéniles, on constate que le secteur amont de Poutès est quasiment systématiquement déficitaire en nombre de géniteurs, que le secteur Langeac-Poutès est quasiment chaque année excédentaire et que les géniteurs dans le secteur Vichy-Langeac suivent relativement bien la disponibilité des habitats, avec une petite tendance excédentaire en particulier sur les 4 dernières années.

Concernant l’Alagnon, on note que ce secteur ne reçoit que peu de géniteurs (4.7% de la totalité des géniteurs remontant en amont de Vichy). Tout comme l’amont de Poutès c’est un secteur où le nombre de géniteurs est assez fortement déficitaire par rapport à la quantité d’habitat disponibles.

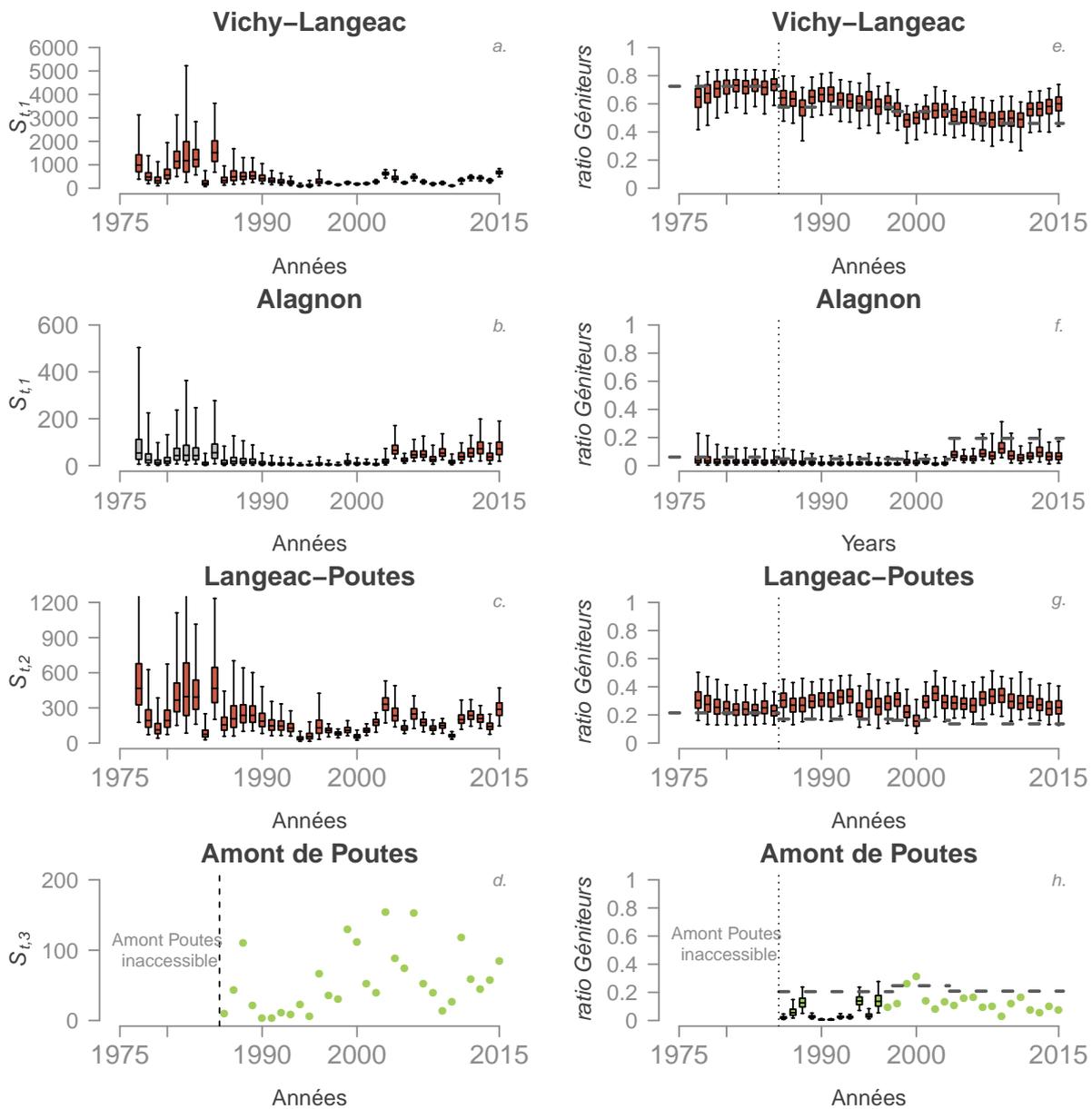


FIGURE 3.3 – Répartition des adultes dans les différents secteurs. Distribution a posteriori des abondances annuelles absolues et relatives des géniteurs potentiels dans chaque zones du bassin de l’Allier : Vichy-Langeac + Dore (a et e), Alagnon (b et f), Langeac-Poutès (c et g) et Amont de Poutès (d et h). Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les lignes pointillées horizontales pour d, e, f et g indiquent la disponibilité relative de l’habitat potentiel pour les juvéniles. On notera que pour l’amont de Poutès, il n’y a pas d’estimation des abondances absolues car le nombre exact est toujours connu (d) et l’abondance relative est connue lorsque les comptages à Vichy sont disponibles (h).

### 3.1.3 Relation entre nombre d'adultes potentiels et comptages frayères

Le ratio moyen « géniteur : frayère » est différent entre l'amont et l'aval de Poutès (figure 3.4). En effet, quand nous observons en moyenne une frayère par géniteur potentiel sur le secteur Amont de Poutès, nous n'observons en moyenne que 0.69 frayère pour un géniteur potentiel en aval de Poutès. Les données de l'Alagnon se répartissent bien autour de cette moyenne du secteur aval Poutès ce qui laisse à penser que le choix de modélisation consistant à intégrer l'Alagnon dans le secteur aval était judicieux.

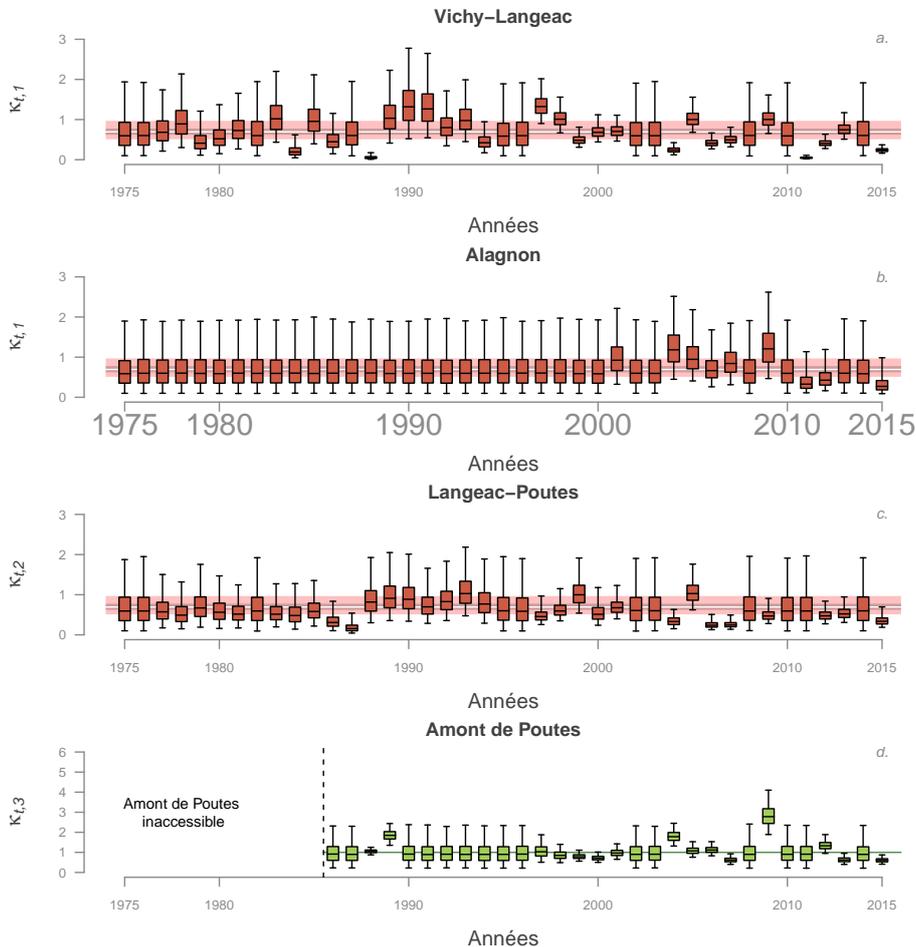


FIGURE 3.4 – Relation entre nombre de géniteurs potentiels et comptages frayères. Distribution a posteriori du ratio « géniteurs potentiels :frayères » pour chaque zone du bassin de l’Allier : a) Vichy-Langeac + Dore, b) Alagnon, c) Langeac-Poutès, d) Amont de Poutès. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les bandes colorées en arrière-plan représentent la médiane (trait blanc) et les quantiles à 2.5, 25, 75 et 97.5 pour l’hyper-paramètre  $\mu^{down}$  (moyenne de l’effet zone en aval de Poutès). L’hyper-paramètre  $\mu^{up}$  (moyenne de l’effet zone en amont de Poutès) est quant à lui fixé à 1.

### 3.1.4 Relations de recrutement densité-dépendant

Les relations Beverton & Holt de stock-recrutement ont également été mises à jour suites aux différentes modifications et améliorations apportées au modèle en 2016. Néanmoins, les conclusions restent les mêmes avec un secteur Alagnon - amont de Langeac bien plus productif que le secteur aval Vichy-Langeac (figure 3.5).

Concernant l’Alagnon, le choix de modélisation consistant à placer ce secteur dans le groupe amont Langeac était pertinent. La figure 3.5 montre clairement que les « données » de l’Alagnon s’accordent bien avec celles de l’amont de Langeac.

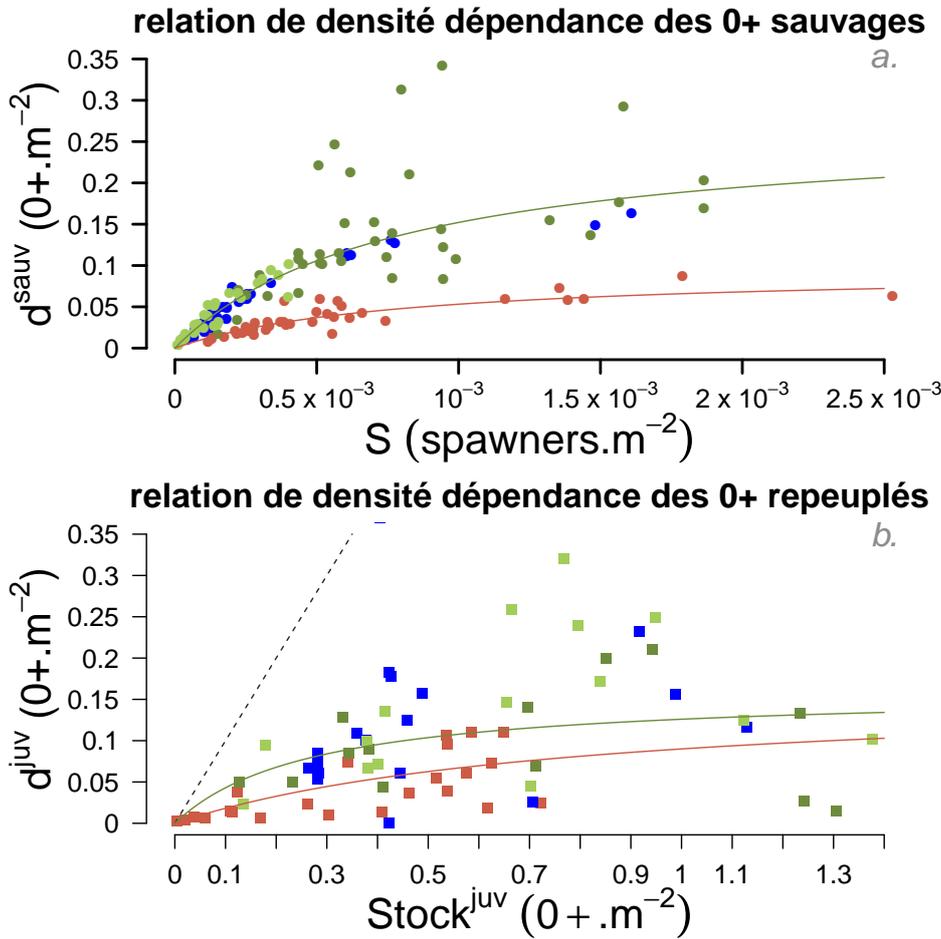


FIGURE 3.5 – Relation de densité dépendance moyenne entre a) les géniteurs potentiels d'une année donnée  $t$  et la densité de juvéniles 0+ sauvages de l'année suivante ( $t+1$ ) et entre b) le nombre de juvéniles 0+ déversés au printemps et la densité de juvéniles issus du repeuplement à l'automne. Les différences spatiales à l'aval et à l'amont de Langeac sont représentées par deux courbes de couleurs différentes (rouge pour l'aval et vert pour l'amont). Les cercles et les carrés colorés représentent les « données » pour chaque zones du bassin de l'Allier : rouge pour la zone Vichy-Langeac, bleu pour l'Alagnon, vert foncé pour la zone Langeac-Poutès et vert clair pour l'amont de Poutès.

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

La figure 3.6 (vignettes a,d,g,et j) met en avant une réelle rupture dans la répartition des cohortes de juvéniles à l'origine des retours d'adultes ( $J_{t,i}^{coh}$ )<sup>12</sup>. Cette rupture correspond à l'instauration de la zone refuge en 2008<sup>13</sup>. La création de cette zone refuge a conduit à un changement 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). 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

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

$$J_{t,i}^{coh} = \frac{1}{3} \times J_{t-3,i} + \frac{1}{3} \times J_{t-4,i} + \frac{1}{3} \times J_{t-5,i} \quad (3.1)$$

13. 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)

issus de cette nouvelle stratégie. La figure 3.6 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 Vichy-Langeac). 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 était très strict et qu'il y avait une « transparence migratoire » parfaite (c'est-à-dire que tous les juvéniles survivant d'un secteur donné reviennent comme adulte dans ce même secteur), on s'attendrait 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 3.6 c, f et i). En effet, en moyenne le secteur Vichy-Langeac « reçoit » 25.2% de géniteurs potentiels de plus par rapport à ce qu'il produit, le secteur Alagnon « reçoit » en moyenne 8.1% de géniteurs potentiels de moins en comparaison de ce qu'il produit, le secteur Langeac-Poutès 4% de géniteurs potentiels de moins en comparaison de ce qu'il produit et pour l'amont de Poutès, nous observons en moyenne 14.99% de géniteurs potentiels de moins que ce que ce secteur produit. Néanmoins, les 4 dernières années se différencient nettement pour les secteurs Vichy-Langeac et Amont de Poutès avec une différence entre le ratio géniteurs et le ratio juvéniles qui se rapproche un peu plus de 0 (on est quasiment à l'équilibre sur le secteur amont de Poutès). On note en revanche pour le secteur Alagnon un décrochage important à partir des années 2010, avec un ratio géniteurs nettement déficitaire par rapport aux juvéniles produits. Cela peut provenir d'une intensification des déversements d'alevins dans ce secteur (moyenne des alevins déversés sur le secteur entre 2000 et 2009 (104715 contre 154488 sur la période 2010 - 2015) qui n'a pas produit en retour une redistribution des adultes vers cet affluent. On notera que à la fois dans le cas de la zone amont de Poutès et de l'Alagnon, les périodes où les repeuplements ont été particulièrement intenses ne conduisent pas à une modification de la distribution spatiale des retours d'adulte qui reflète celle de la production de juvéniles. Cela peut être dû au fait que les géniteurs produits par ces repeuplements se sont redistribués sur d'autres zones de l'Allier, cette possibilité étant explicitement ouverte dans le modèle, la distribution des géniteurs résultant d'un processus à la fois de homing et de répartition des géniteurs en fonction des habitats disponibles. Cela peut aussi révéler que quand on intensifie les repeuplements sur certaines zones, le nombre d'adultes produits en retour n'augmente pas en proportion de l'augmentation de la production de juvéniles.

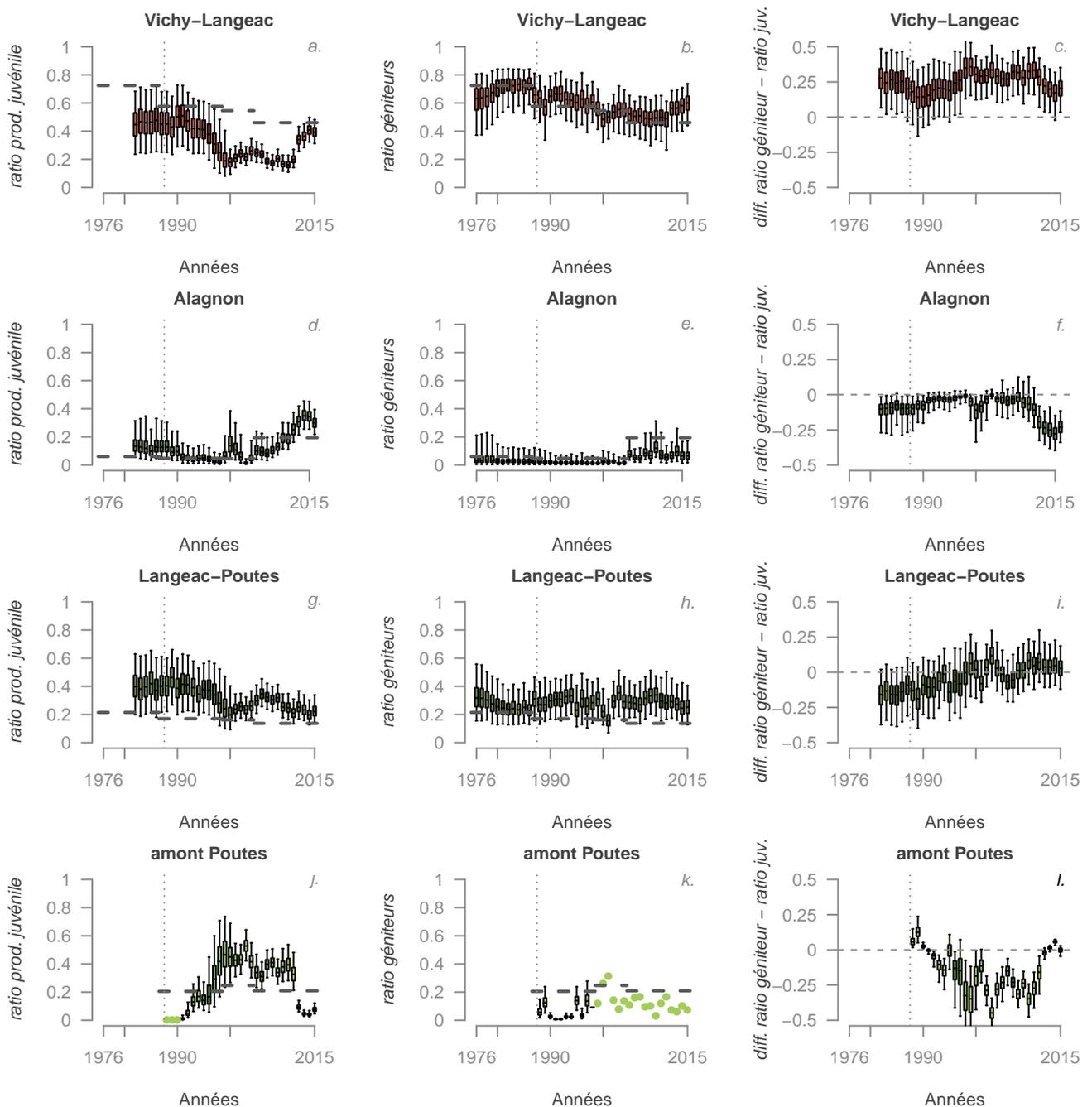


FIGURE 3.6 – Production relative de juvéniles 0+ pour une année donnée ( $J_{t,i}^{coh}$ ) pour chaque zone du bassin de l’Allier (vignettes a, d, g et j), distribution a posteriori des abondances relatives de géniteurs potentiels (vignettes b, e, h et k) et distribution a posteriori de la différence entre les abondances relatives de géniteurs potentiels et de production de juvéniles 0+ (vignettes c, f, i et l). Les lignes pointillées horizontales indiquent la disponibilité relative de l’habitat potentiel pour les juvéniles. Les boxplots indiquent les quantiles à 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5.

### 3.1.6 Répartition des juvéniles de l’année

La figure 3.7 permet de mettre en évidence une modification relativement récente dans la répartition des juvéniles dans les 4 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) et sur l’Alagnon. Le secteur intermédiaire (Langeac-Poutès) est, quant à lui, resté assez stable. Cette modification correspond au changement important intervenu dans la stratégie de repeuplement. Cela montre 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).

Les déversements ayant été rerépartis, mais les quantités étant restées globalement les mêmes (nombre d'alevins moyens déversés sur la période 2000 - 2007 : 629456 contre 606670.625 sur la période 2008 - 2015), le nombre total de juvéniles n'a pas été modifié (figure 3.7 vignette a).

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 (figure 3.8) nous interpelle sur le recrutement dans cette zone depuis 2008. La figure 3.9 présente les résidus du recrutement sur la zone amont de Poutès (i.e. écart à la production moyenne attendue compte tenu du nombre de géniteurs présents; variable `res_wild_moy_P` dans le modèle). Nous observons sur cette figure des résidus plutôt négatifs depuis 2007 (6 années sur 9).

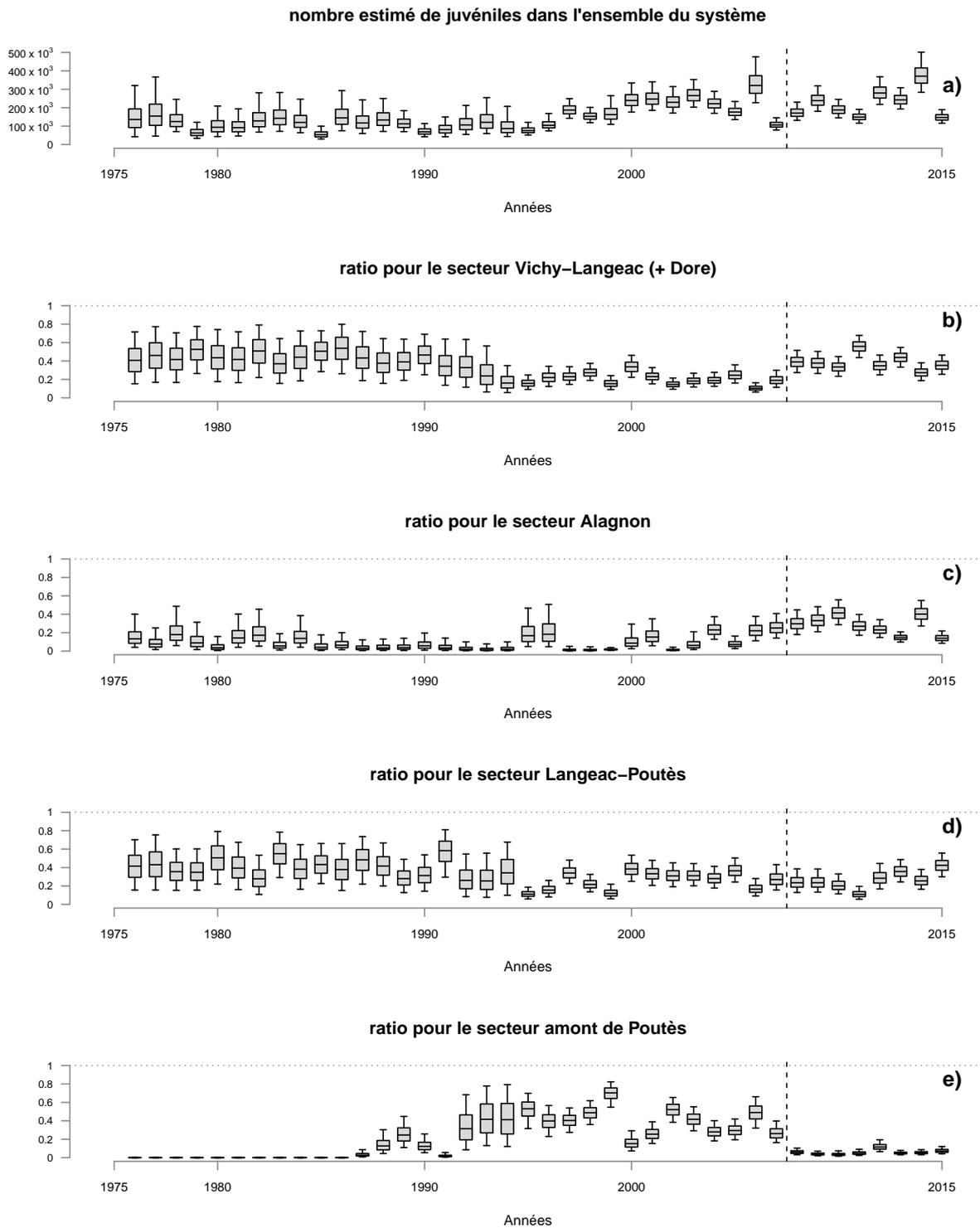


FIGURE 3.7 – Répartition des juvéniles (sauvages et élevages) estimés par le modèle a) estimation du nombre de juvéniles (sauvages et élevage) dans l'ensemble du système pris en compte dans le modèle, b) ratio des juvéniles présents dans le secteur Vichy-Langeac (+ Dore) par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système, c) ratio des juvéniles présents dans le secteur Alagnon par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système, d) ratio des juvéniles présents dans le secteur Langeac-Poutès par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système, e) ratio des juvéniles présents dans le secteur amont de Poutès par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système. Les traits verticaux pointillés indiquent la date de mise en place de la zone refuge.

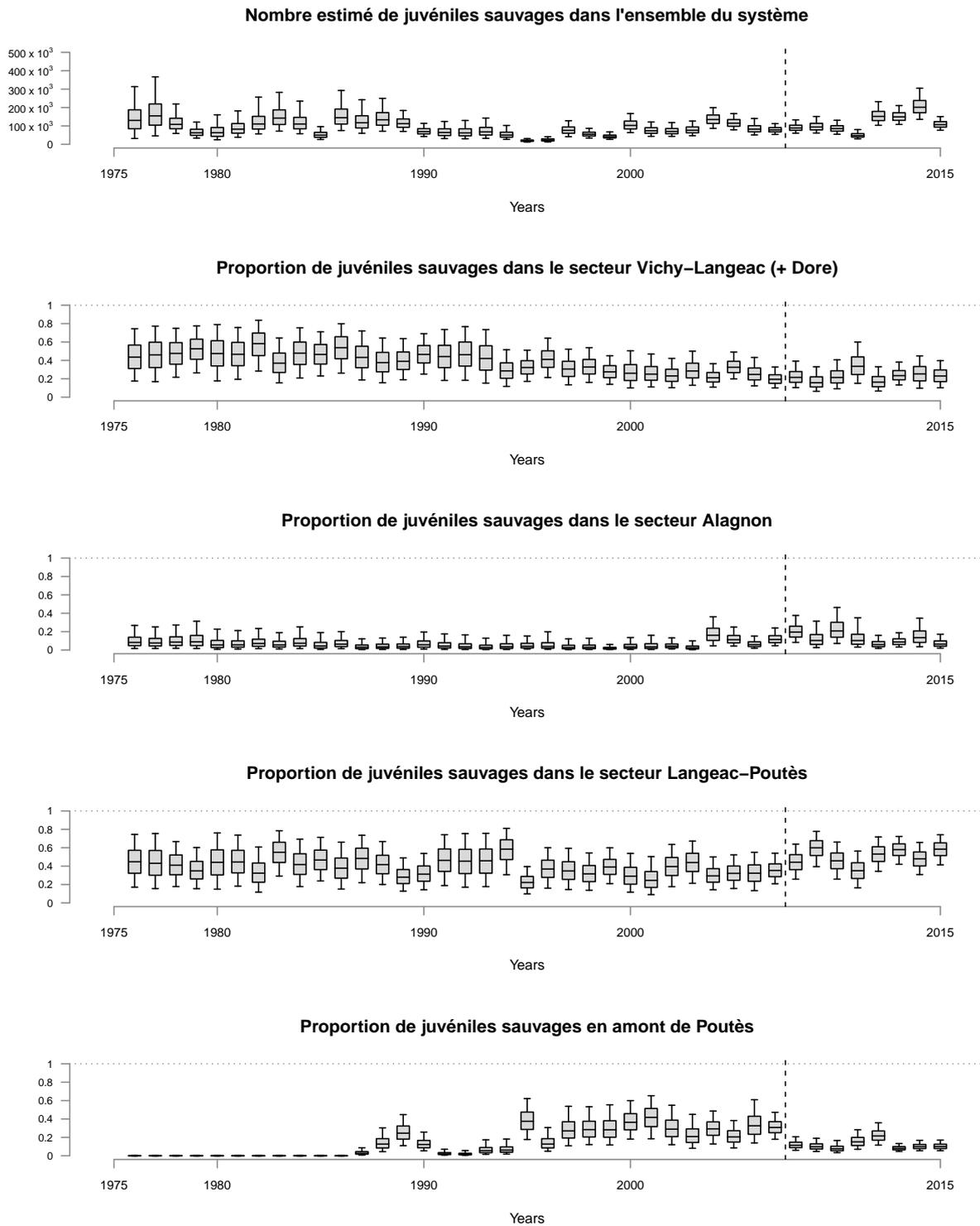


FIGURE 3.8 – Répartition des juvéniles sauvages estimés par le modèle a) estimation du nombre de juvéniles sauvages dans l'ensemble du système pris en compte dans le modèle, b) ratio des juvéniles présents dans le secteur Vichy-Langeac (+ Dore) par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système, c) ratio des juvéniles présents dans le secteur Alagnon par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système, d) ratio des juvéniles présents dans le secteur Langeac-Poutès par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système, e) ratio des juvéniles présents dans le secteur amont de Poutès par rapport au nombre de juvéniles présents dans l'ensemble du système. Les traits verticaux pointillés indiquent la date de mise en place de la zone refuge.

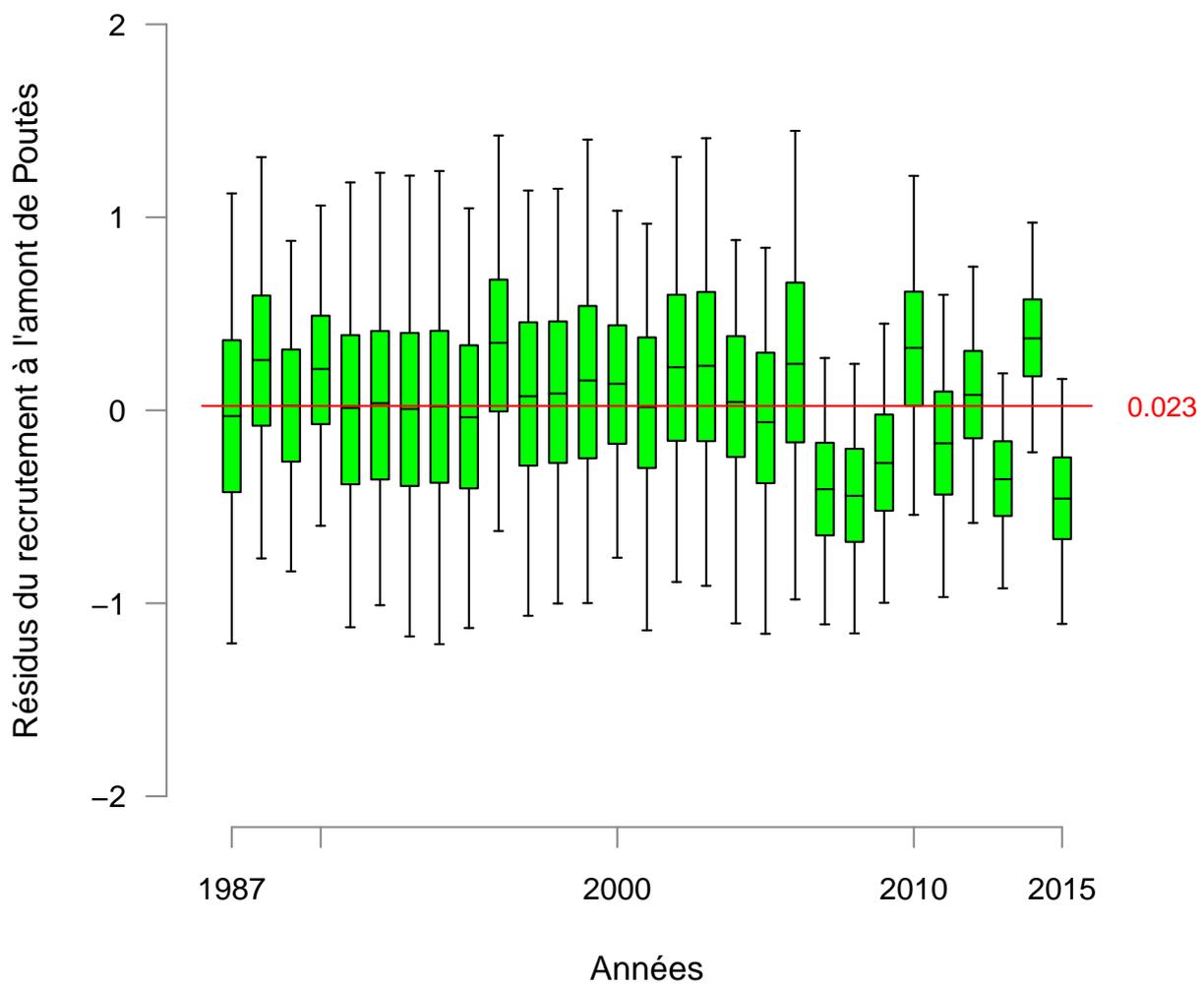


FIGURE 3.9 – Résidus du recrutement en amont de Poutès. Les boxplot indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5.

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

Le taux de survie du 0+ à l'adulte est revu à la baisse par rapport à la dernière version (Legrand and Prévost, 2016) (figure 3.10). Le taux de transition médian estimé en début de période est de 1.57% contre 1.51% dans la version précédente<sup>14</sup>. De même le taux de transition actuellement observé a diminué, avec une estimation à 0.39% contre 0.44% précédemment.

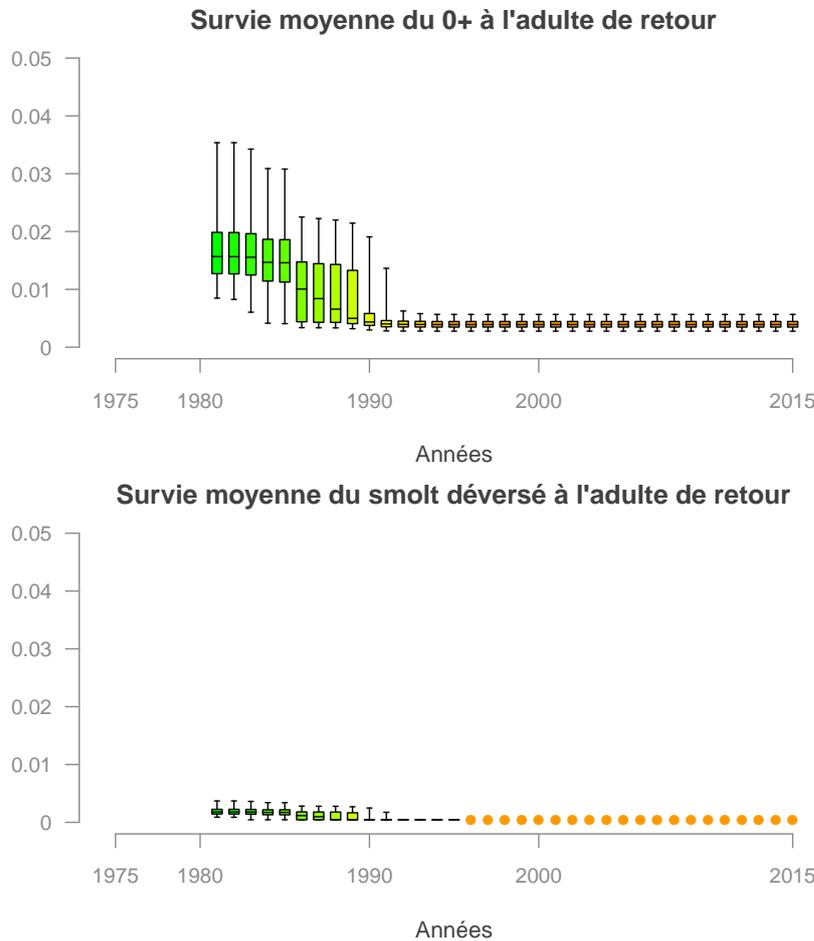


FIGURE 3.10 – Evolution a) du taux de retour du juvénile 0+ à l'adulte et b) du taux de retour du smolt déversé à l'adulte. Les points indiquent la survie moyenne du smolt issu du repeuplement à l'adulte fixée à partir des données de marquage ( $\mu^{s-sm} = 4.42 * 10^{-4}$ ).

14. Pour rappel, les corrections apportées en 2014 (en particulier l'ajout du paramètre de surmortalité lié à la présence de l'ouvrage de Poutès) avait conduit à revoir à la hausse le taux de survie estimé par Dauphin and Prévost (2013) et qui était de 0.65% en début de période (milieu des années 80)

## 3.2 Simulation sans repeuplement et projections à 20 ans

Suite aux différentes mises à jour et améliorations apportées au modèle en 2016, les principaux scénarii développés par Dauphin and Prévost (2013), Legrand and Prévost (2015) et Legrand and Prévost (2016) ont été mis à jour et sont présentés dans cette section<sup>15</sup>. Il s'agit de :

- une analyse rétrospective dans un scénario où aucun repeuplement n'aurait eu lieu (section 3.2.1),
- un scénario d'arrêt des repeuplements dès l'année prochaine avec une projection des retours à Vichy à 20 ans (section 3.2.2),
- 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 3.2.3),
- un scénario d'arrêt des repeuplements dès l'année prochaine et la suppression de l'impact des ouvrages hydroélectriques à la dévalaison des smolts (section 3.2.4),
- 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 3.2.5).

Concernant les simulations à 20 ans, nous présenterons systématiquement dans les résultats la probabilité d'observer moins de 500 individus à Vichy en fonction des différents scénarii de gestion. Le seuil de 500 individus à Vichy a été choisi car il correspond à peu près à la médiane des retours depuis la mise en place de la station de vidéo-comptage de Vichy sur l'allier (médiane 1997-2015 = 541 saumons à Vichy). Ce seuil sera utilisé dans tous les scénarii présentés.

### 3.2.1 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 (figure 3.11) 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 :

- des adultes de retour qui sont nés en pisciculture avant d'être introduits dans l'Allier (effet direct du repeuplement),
- du cumul au cours des générations de la descendance « naturelle » de géniteurs issus de repeuplement (c'est-à-dire les descendants issus de la reproduction dans le milieu naturel de poissons élevés en pisciculture et déversés).

En moyenne, cette contribution est de 84.6% pour les 15 dernières années. La nouvelle version/mise à jour du modèle a substantiellement modifié cette estimation puisqu'elle était précédemment d'environ 70% (Legrand and Prévost, 2016).

---

15. se référer aux rapports de Dauphin and Prévost (2013), Legrand and Prévost (2015) et Legrand and Prévost (2016) pour plus de détails sur les scénarii produits

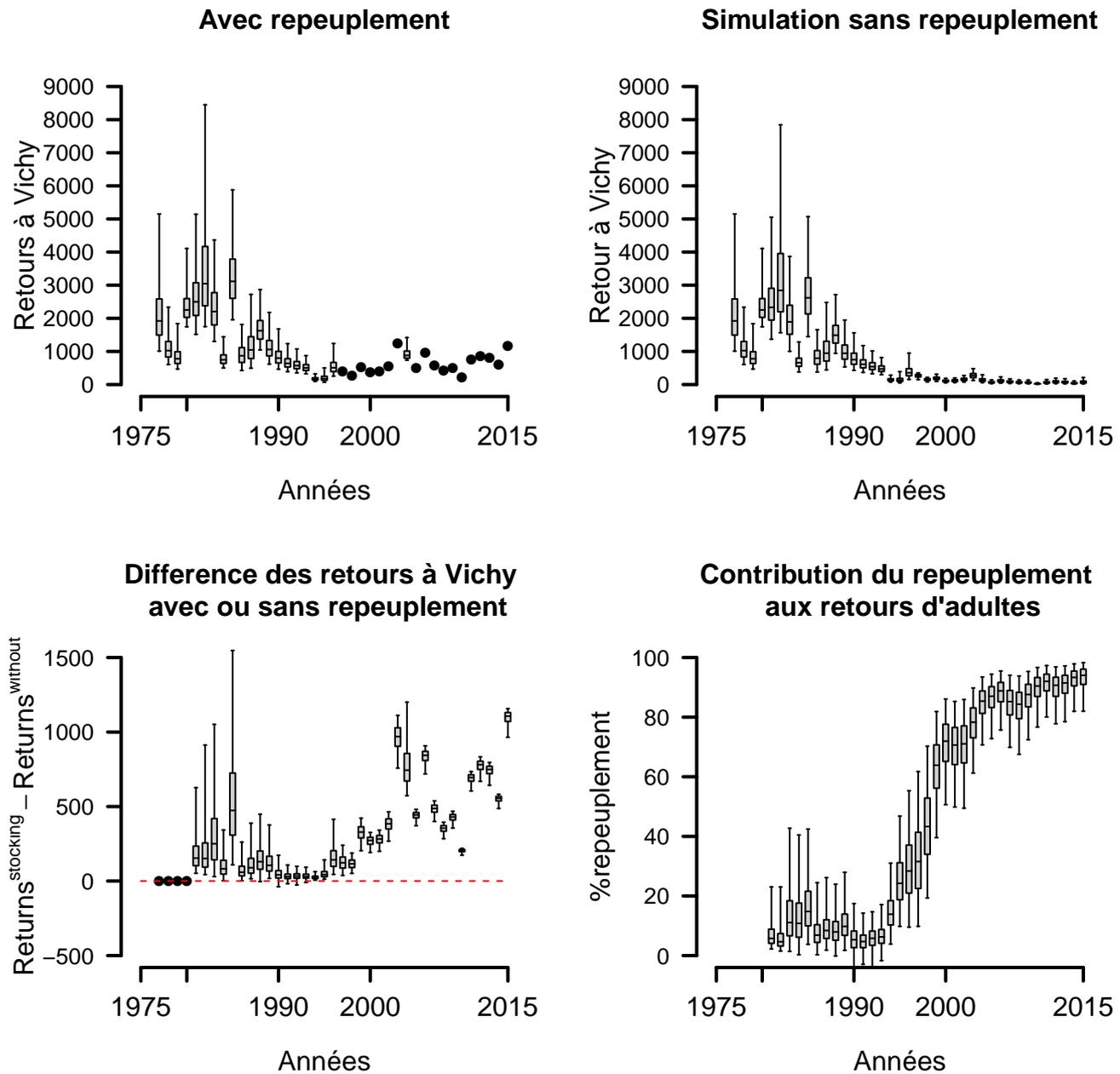


FIGURE 3.11 – Retour vers le futur : et si on n'avait jamais repeuplé ? a) Distribution a posteriori des retours d'adultes à Vichy, b) Distribution a posteriori des retours d'adultes à Vichy simulés si il n'y avait jamais eu de repeuplement, c) Différences annuelles entre les retours d'adultes avec et sans repeuplement, d) Contribution cumulée au cours du temps du repeuplement aux retours d'adultes à Vichy. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5.

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

Le scénario vise à évaluer la viabilité de la population de saumon de l'Allier par le seul biais des mécanismes de renouvellement naturel. Les projections indiquent que le nombre d'adultes à Vichy diminuent au cours du temps, témoignant ainsi d'une population qui ne se renouvelle pas suffisamment naturellement pour maintenir ses effectifs autour d'une moyenne stable au cours du temps (figure 3.12). Dans ce scénario, la probabilité d'observer moins de 500 individus à Vichy est, en moyenne sur les 5 dernières années de la période de projection, de 51.7% et celle d'observer moins de 100 individus est inférieure à 10% (9.6%) (figure 3.13). Par rapport à la dernière version/mise à jour du modèle, l'évaluation de la viabilité de la population est modifiée, avec une vision plus pessimiste sur la capacité de la population à se renouveler. Cela est dû au moins en partie à l'abaissement du taux de survie du 0+ à l'adulte (cf. section 3.1.7). Rappelons néanmoins que ces simulations pourraient présenter une vision pessimiste étant donné que, faute de données suffisantes, aucun différentiel de *fitness* entre les poissons d'origine sauvage et d'élevage n'a pu être introduit dans le modèle, alors que la bibliographie tend à montrer que les saumons issus d'élevage ont un succès reproducteur moindre (Legrand and Prévost, 2016).

### Projection à 20 ans sans repeuplement

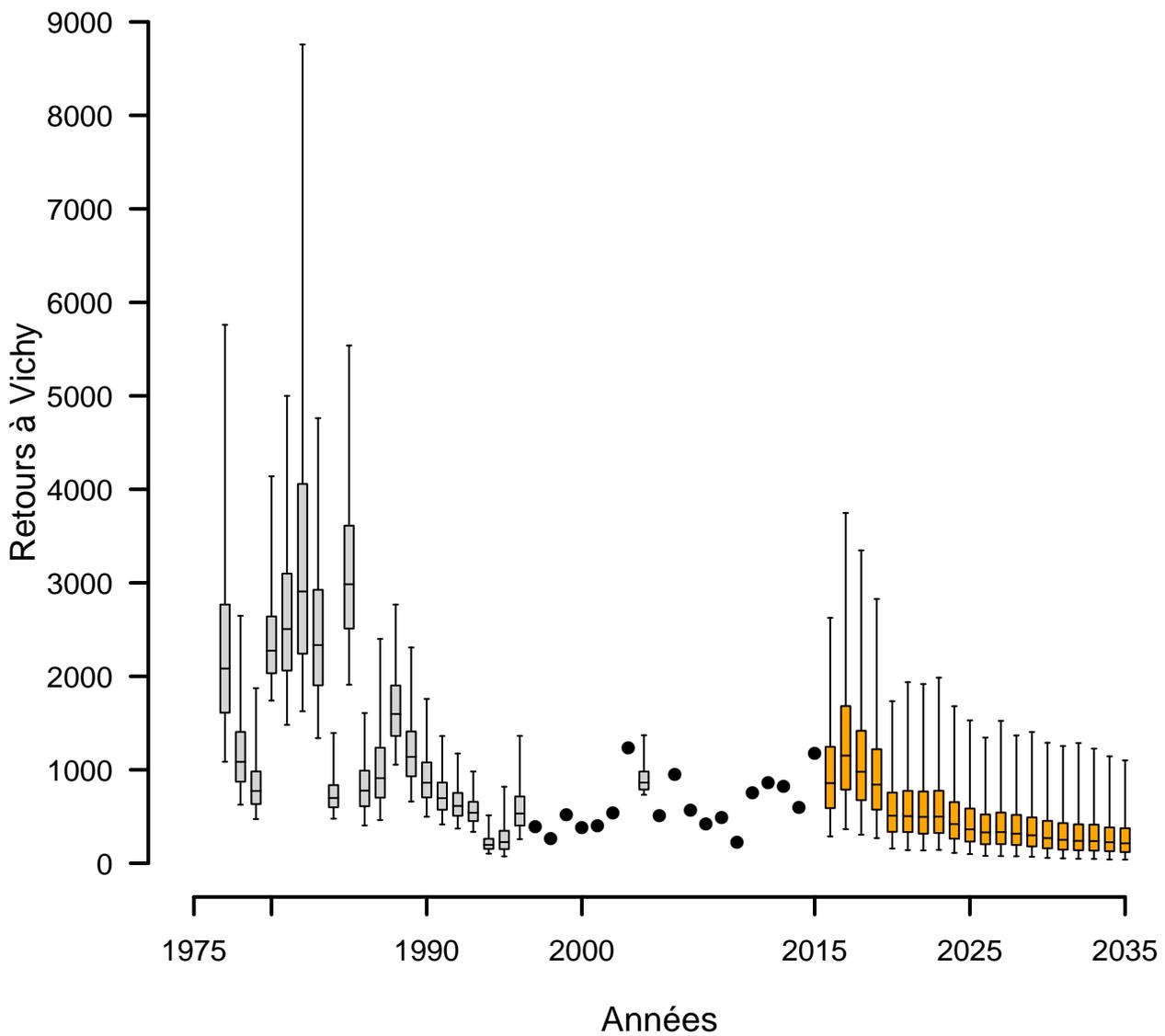


FIGURE 3.12 – Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et projection à 20 ans. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les cercles pleins indiquent les années pour lesquelles la station de comptage de Vichy est opérationnelle et fournit le nombre de retours d'adultes. Les boxplots orange correspondent aux estimations des retours d'adultes à Vichy pour les 20 prochaines années.

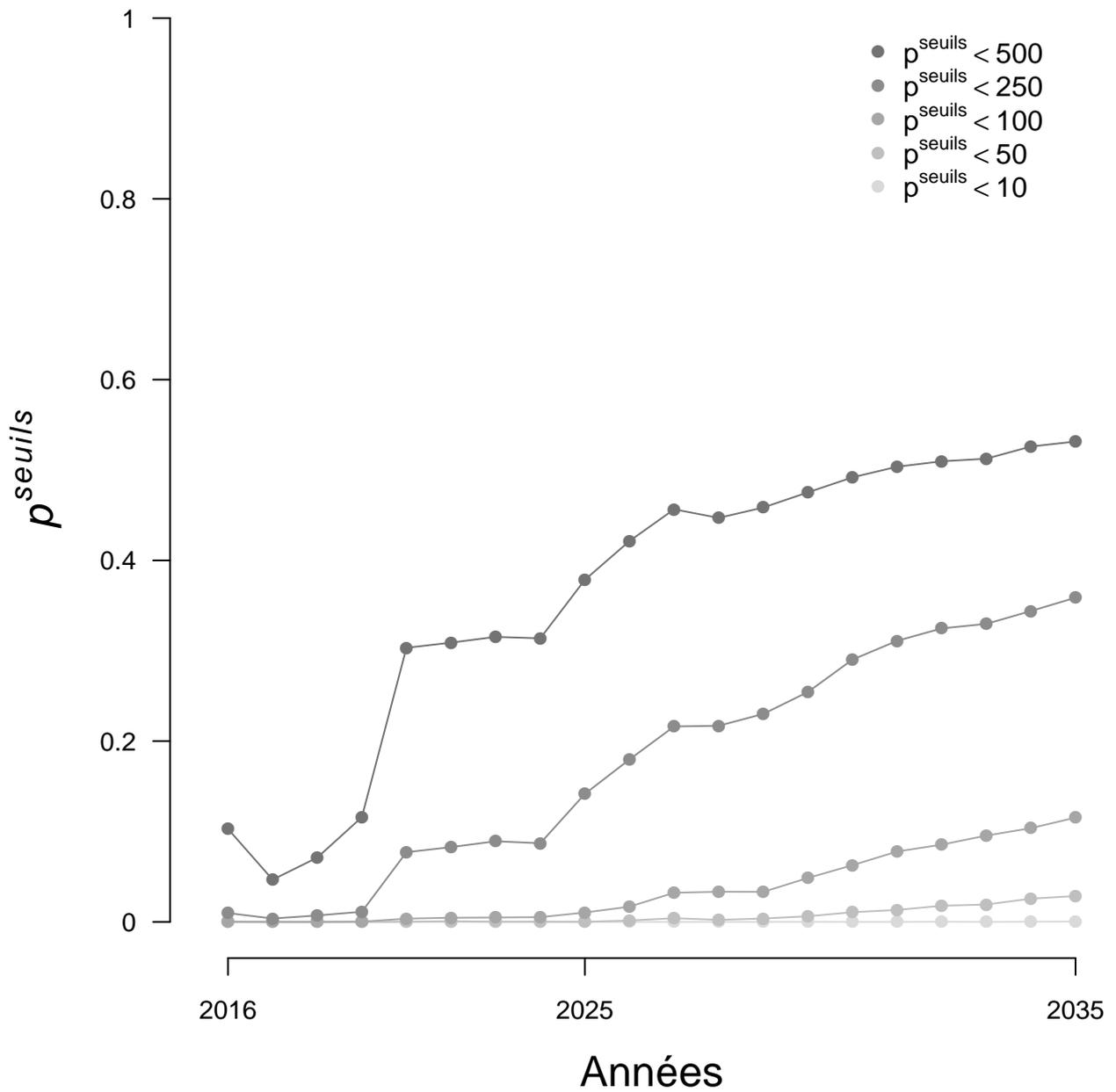


FIGURE 3.13 – Evolution de la probabilité  $p^{seuils}$  d'atteindre certains seuils arbitraires de nombre d'adultes de retours à Vichy sur la période 2016–2035, dans le scénario d'arrêt des repeuplements.

### **3.2.3 Projection à 20 ans avec une amélioration des conditions de montaison et de dévalaison à Poutès**

#### **3.2.3.1 Amélioration de la montaison et de la dévalaison à hauteur de 50%**

Dans ce scénario, les repeuplements sont arrêtés et la migration de montaison et de dévalaison est améliorée à hauteur de 50% à l'ouvrage de Poutès. Les retours d'adultes diminuent au cours du temps (figure 3.14) mais les effectifs attendus sont plus importants que ceux du scénario d'arrêt des repeuplements seul (figure 3.12). La diminution des effectifs à Vichy est plus lente que dans le scénario précédent et la probabilité d'observer moins de 500 individus à Vichy est de 48.5% en moyenne sur les 5 dernières années de la période de projection (figure 3.15). À l'horizon de 20 ans on ne constate toujours pas de stabilisation des effectifs à Vichy, ce qui suggère que cette mesure n'est pas suffisante pour assurer à elle seule la viabilité de la population.

### Projection à 20 ans sans repeuplement – Amélioration à la montaison et à la dévalaison à Poutès à hauteur de 50%

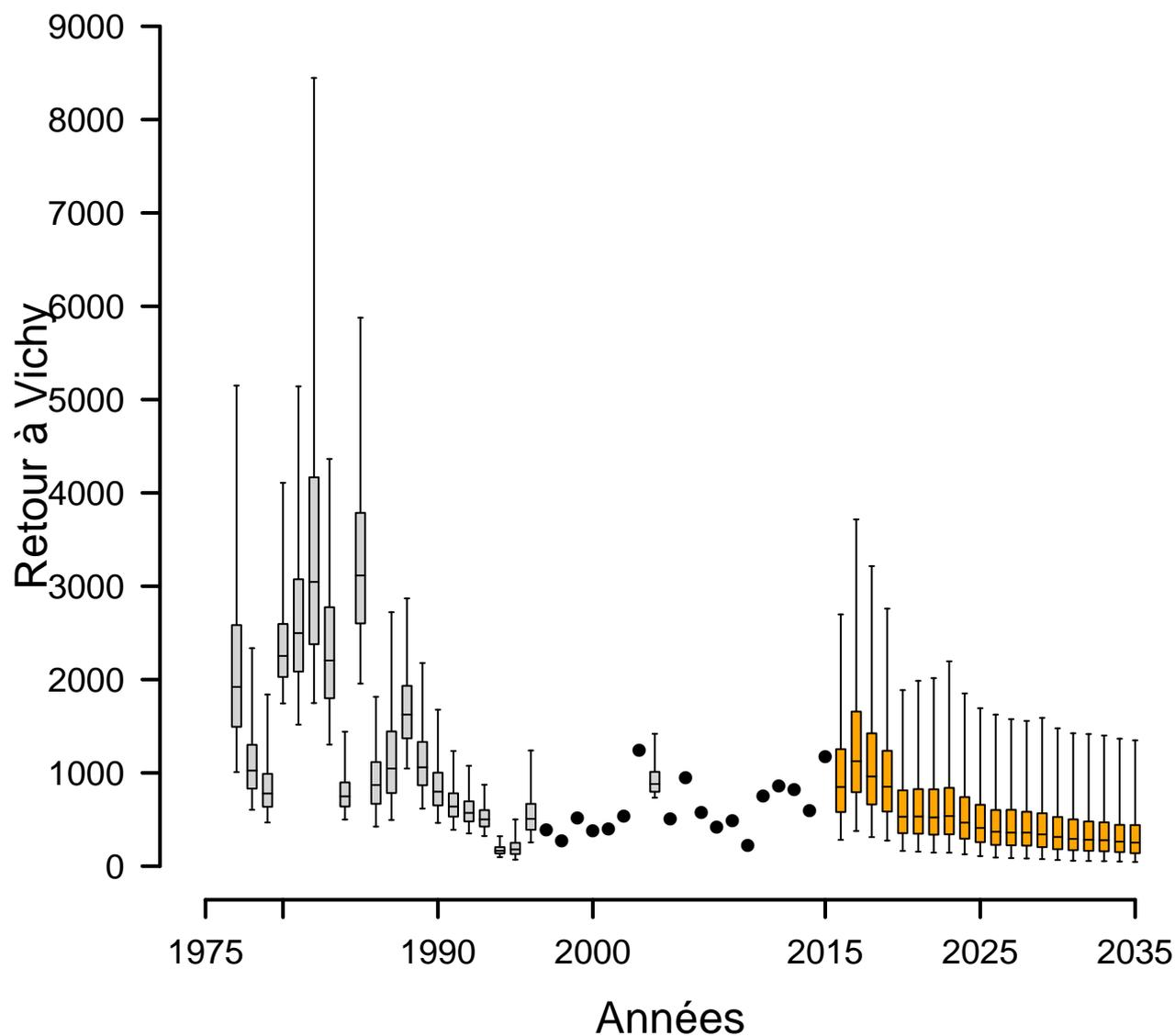


FIGURE 3.14 – Retours d’adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration des conditions de migration à la montaison et dévalaison à Poutès à hauteur de 50%. Une projection des retours d’adultes à 20 ans est réalisée. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les cercles pleins indiquent les années pour lesquelles la station de comptage de Vichy est opérationnelle et fournit le nombre de retours d’adultes. Les boxplots orange correspondent aux estimations des retours d’adultes à Vichy pour les 20 prochaines années.

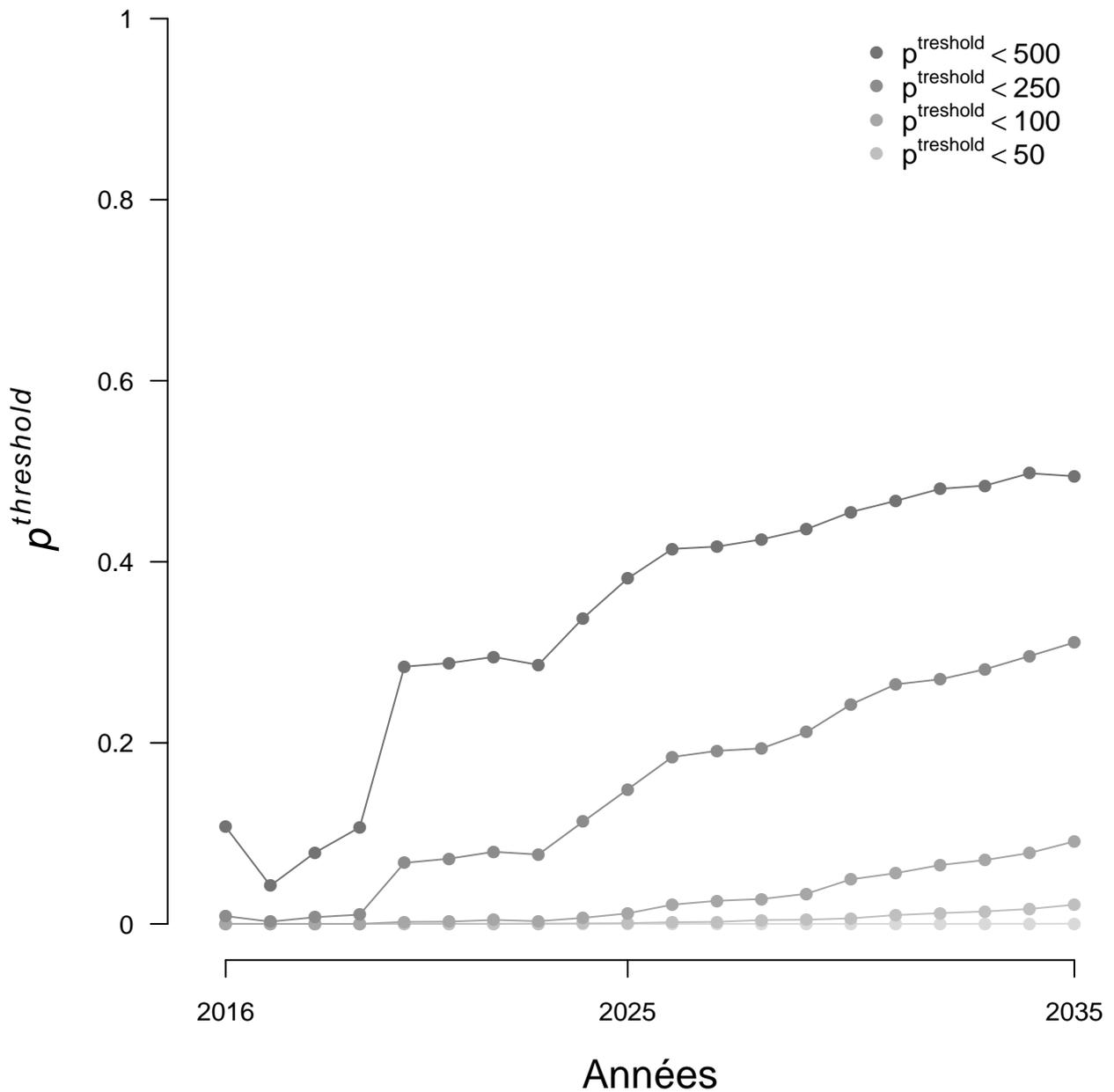


FIGURE 3.15 – Evolution de la probabilité  $p^{\text{seuils}}$  d'atteindre certains seuils arbitraires de nombre d'adultes de retours à Vichy sur la période 2016–2035, dans le scénario d'arrêt des repeuplements et d'amélioration des conditions de migration à la montaison et à la dévalaison à Poutès à hauteur de 50%.

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

Dans ce scénario, les repeuplements sont arrêtés et la migration de montaison et de dévalaison est améliorée à hauteur de 100% à l'ouvrage de Poutès. Les retours d'adultes restent faibles même si ce scénario est plus favorable que les deux précédents en terme de réponse de la population de saumons (nombre médian à Vichy sur les 5 dernières années 327) (figure 3.16). La probabilité d'observer moins de 500 individus à Vichy reste toujours importante (43.6% en moyenne sur les 5 dernières années de la période de projection) et continue à augmenter (figure 3.17). Dans la nouvelle configuration à 4 zones, la seule suppression de l'ouvrage de Poutès ne serait pas suffisante pour retrouver une population qui se renouvelle naturellement.

### Projection à 20 ans sans repeuplement – Amélioration à la montaison et à la dévalaison à Poutès à hauteur de 100%

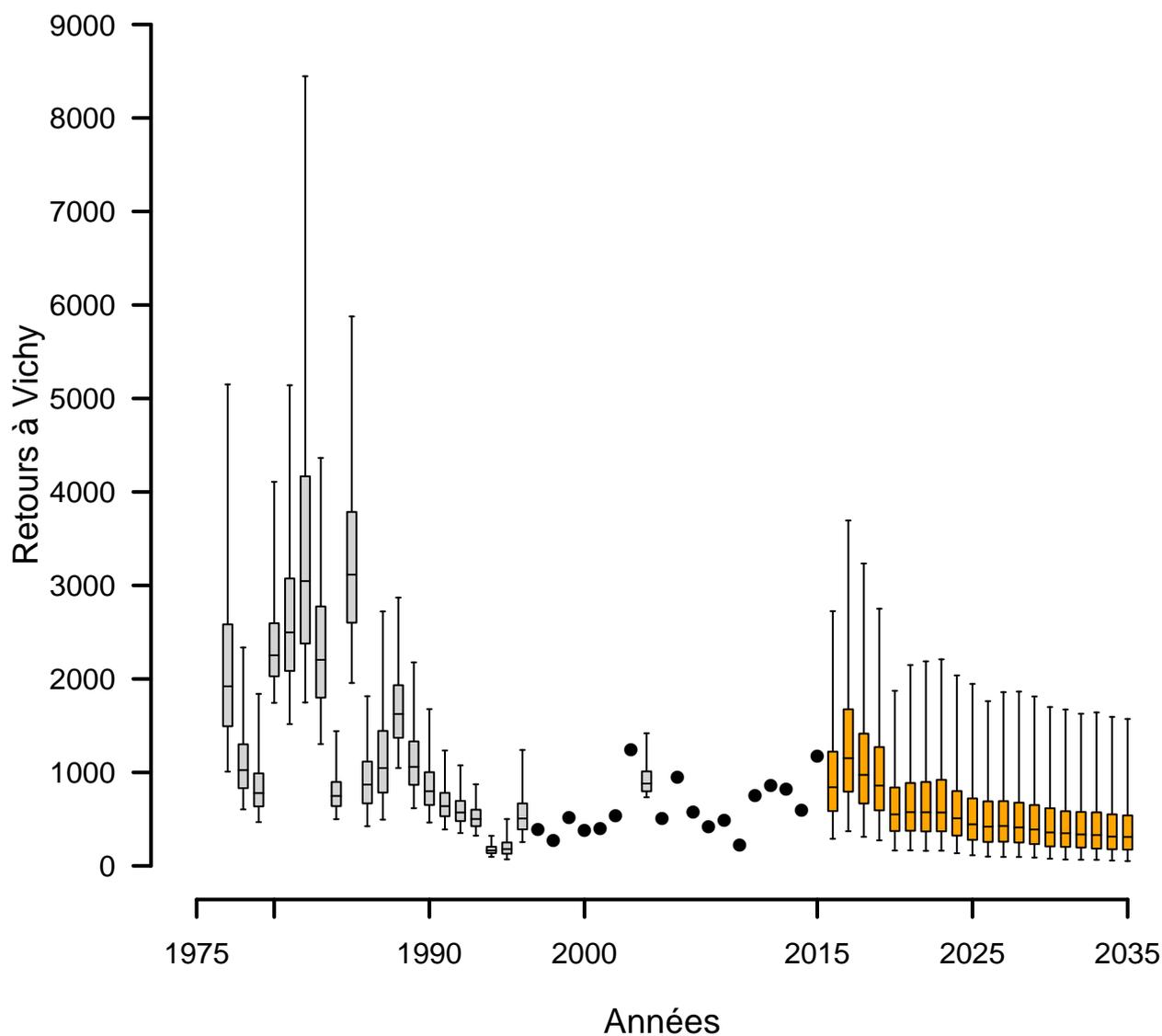


FIGURE 3.16 – Retours d’adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration des conditions de migration à la montaison et dévalaison à Poutès à hauteur de 100%. Une projection des retours d’adultes à 20 ans est réalisée. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les cercles pleins indiquent les années pour lesquelles la station de comptage de Vichy est opérationnelle et fournit le nombre de retours d’adultes. Les boxplots orange correspondent aux estimations des retours d’adultes à Vichy pour les 20 prochaines années.

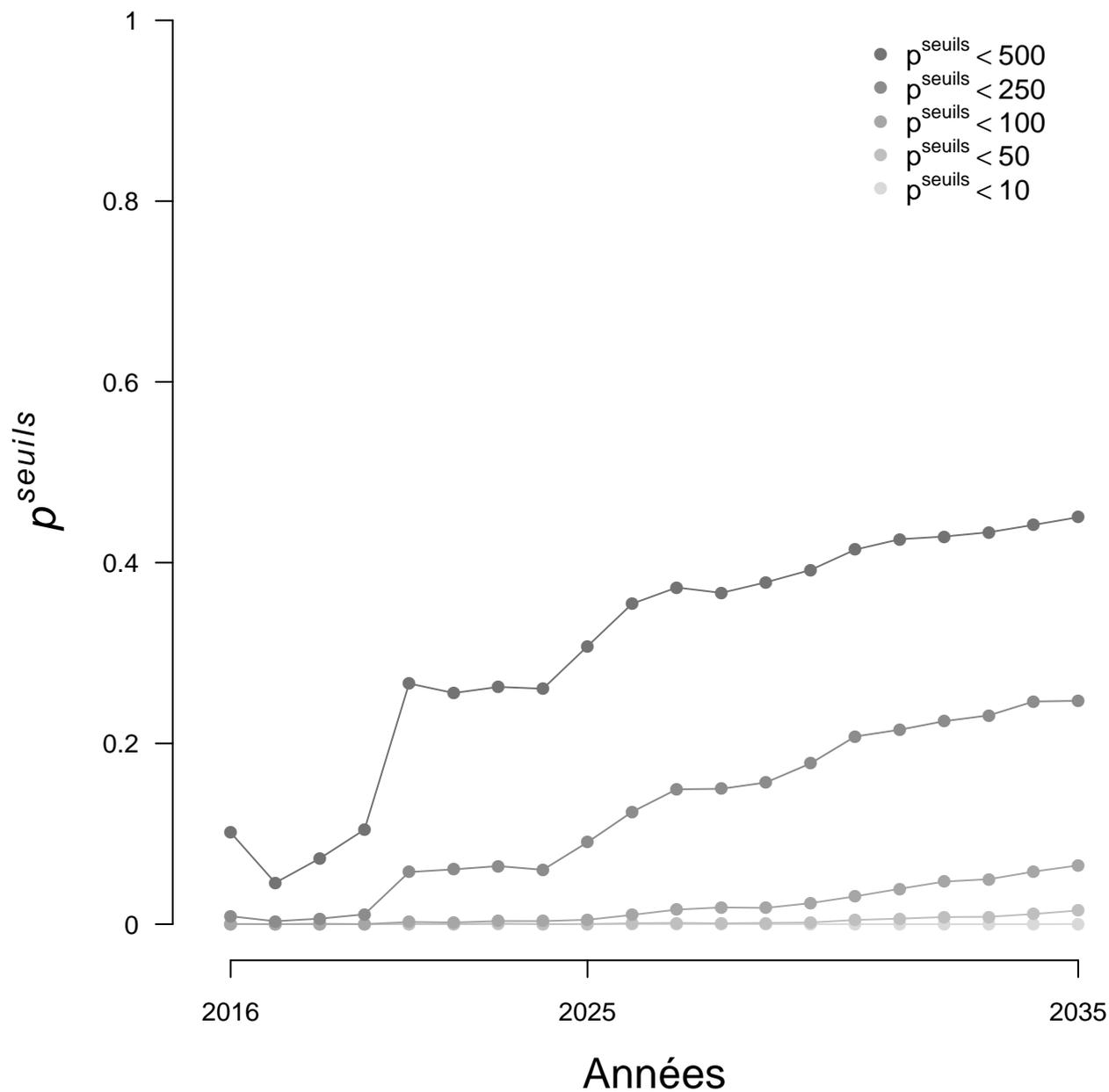


FIGURE 3.17 – Evolution de la probabilité  $p^{\text{seuils}}$  d'atteindre certains seuils arbitraires de nombre d'adultes de retours à Vichy sur la période 2016–2035, dans le scénario d'arrêt des repeuplements et d'amélioration des conditions de migration à la montaison et à la dévalaison à Poutès à hauteur de 100%.

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

Dans ce scénario, les repeuplements sont arrêtés et l'ensemble des mortalités lors de la dévalaison des smolts dans les turbines des ouvrages hydroélectriques sont supprimées. Pour modéliser cette suppression d'impact à la dévalaison, nous avons utilisé les résultats de l'étude DEVALPOMI de Briand et al. (2015), qui estime une mortalité pour chaque ouvrage hydroélectrique du bassin Loire-Bretagne. 11 ouvrages sont présents sur le territoire de l'étude (tableau 3.2) dont celui de Poutès qui est le plus impactant à l'échelle du territoire Loire-Bretagne pour les smolts (Briand et al., 2015). Néanmoins, un paramètre ayant été ajouté pour modéliser l'impact à la dévalaison de Poutès (Legrand and Prévost, 2015), l'estimation de Briand et al. (2015) pour cet ouvrage n'est pas utilisée, ce qui permet de faire des comparaisons entre scénarios avec la même structure du modèle. Les retours d'adultes continuent à diminuer au cours du temps même si ce scénario montre une meilleure réponse de la population que dans les scénarii précédents (figure 3.18). Dans ce scénario, le nombre moyen d'adultes à Vichy sur les 5 dernières années de la période de simulation serait de 433 et la probabilité d'observer moins de 500 individus à Vichy est de 35.8% en moyenne sur cette période (figure 3.19).

Tableau 3.2 – Taux de mortalité (en pourcentage) induit par chaque ouvrage hydroélectrique du secteur d'étude (hors Poutès). Pour chaque cours d'eau, les ouvrages sont ordonnés de l'amont vers l'aval

	Cours d'eau	Ouvrage	Mortalité (%)
1	Allier	Langeac	7.4
2	Allier	Chambon de Cerzat	8.4
3	Allier	Vieille-Brioude	9.8
4	Alagnon	Aurouze	15.3
5	Alagnon	Babory	11.4
6	Dore	Chalard	16.2
7	Dore	Chantelieuze-Olliergues	8.5
8	Dore	Decours	9.3
9	Dore	St Gervais sous Meymont	10
10	Dore	Prades-Sauviat	14.7

### Projection à 20 ans sans repeuplement – Suppression des mortalités à la dévalaison dans les 11 ouvrages hydroélectriques

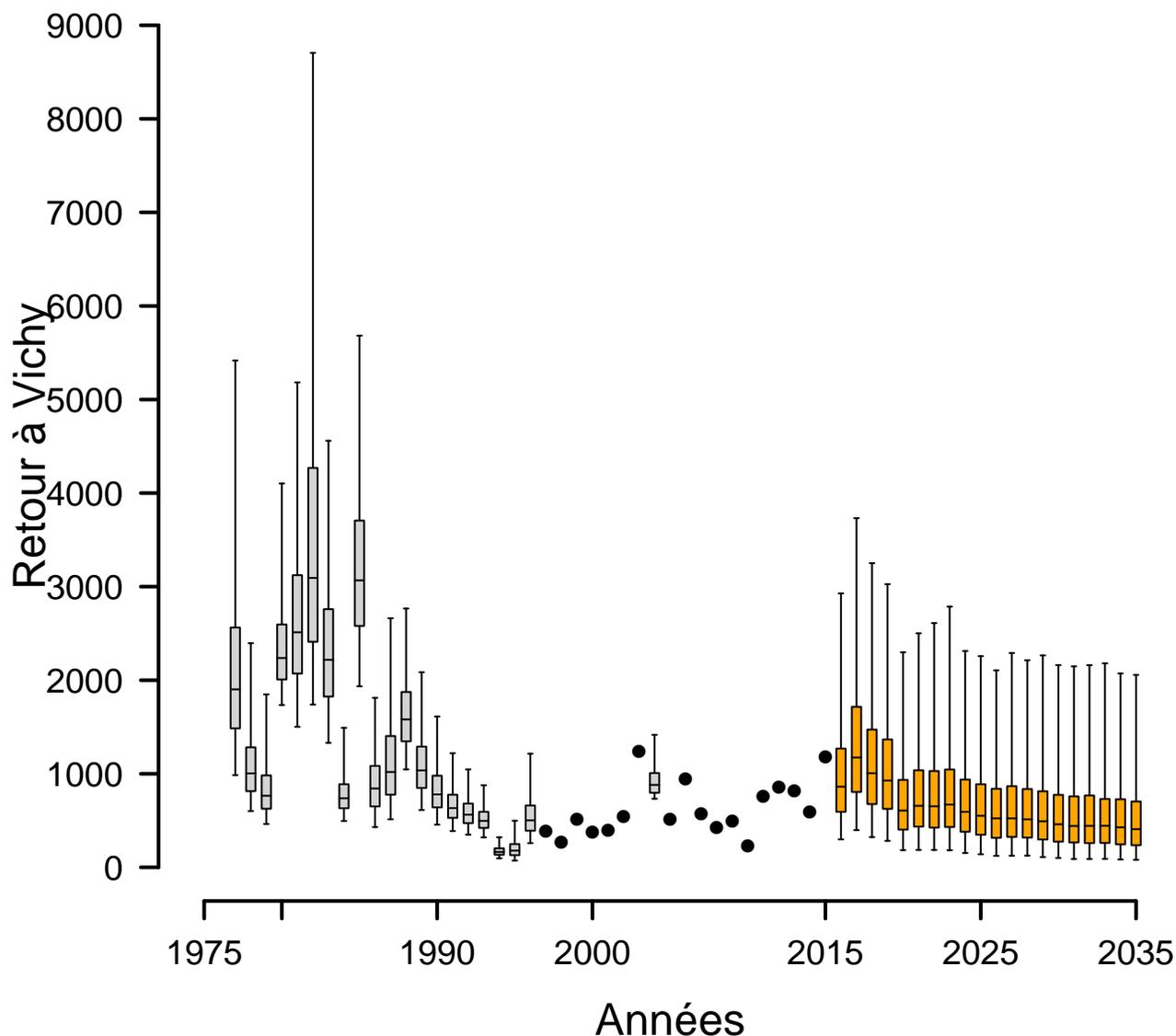


FIGURE 3.18 – Retours d'adultes à Vichy avec suppression des impacts à la dévalaison dans 11 ouvrages hydroélectriques (sous l'hypothèse de répartition des juvéniles au prorata des surfaces disponibles et avec prise en compte de la productivité des cours d'eau). Une projection des retours d'adultes à 20 ans est réalisée. Les boîtes indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les cercles pleins indiquent les années pour lesquelles la station de comptage de Vichy est opérationnelle et fournit le nombre de retours d'adultes. Les boîtes orange correspondent aux estimations des retours d'adultes à Vichy pour les 20 prochaines années.

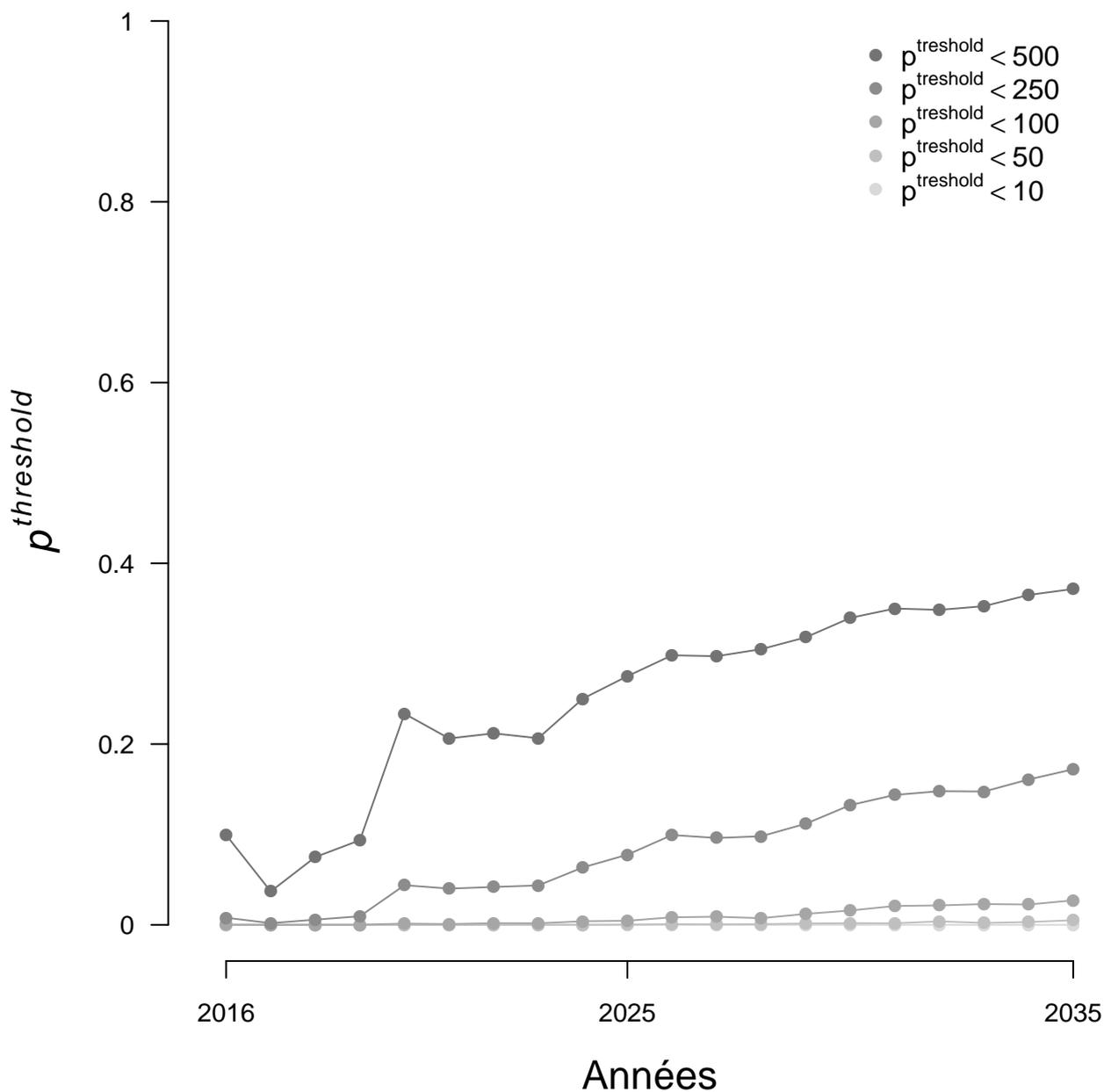


FIGURE 3.19 – Evolution de la probabilité  $p^{\text{seuils}}$  d'atteindre certains seuils arbitraires de nombre d'adultes de retours à Vichy sur la période 2016–2035, dans le scénario de suppression des impacts à la dévalaison dans 11 ouvrages hydroélectriques (sous l'hypothèse de répartition des juvéniles au prorata des surfaces disponibles et avec prise en compte de la productivité des cours d'eau et conservation de rho\_poutes).

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

#### 3.2.5.1 Amélioration jusqu'à atteindre 50% du niveau initial

Dans ce scénario les déversements sont arrêtés et on fait l'hypothèse que le taux de transition entre le juvénile 0+ et l'adulte s'améliore progressivement sur les 10 premières années des projections puis se stabilise pour les dix années suivantes à la moitié du taux observé dans les années 80. Une stabilité des retours à Vichy pour les 20 prochaines années et alors obtenue, avec un nombre moyen sur les 5 dernières années de la période de projection de 1288 individus à Vichy (figure 3.20). La probabilité d'observer moins de 500 adultes à Vichy est faible à la fin de cette période de projection (moyenne sur les 5 dernières années = 10.9%) (figure 3.21). Le retour à la moitié du taux de survie entre le 0+ et l'adulte du début de la période étudiée serait suffisant pour obtenir une population qui se renouvelle naturellement.

### Projection à 20 ans sans repeuplement – Amélioration de la survie jusqu'à 50% du taux de survie initial

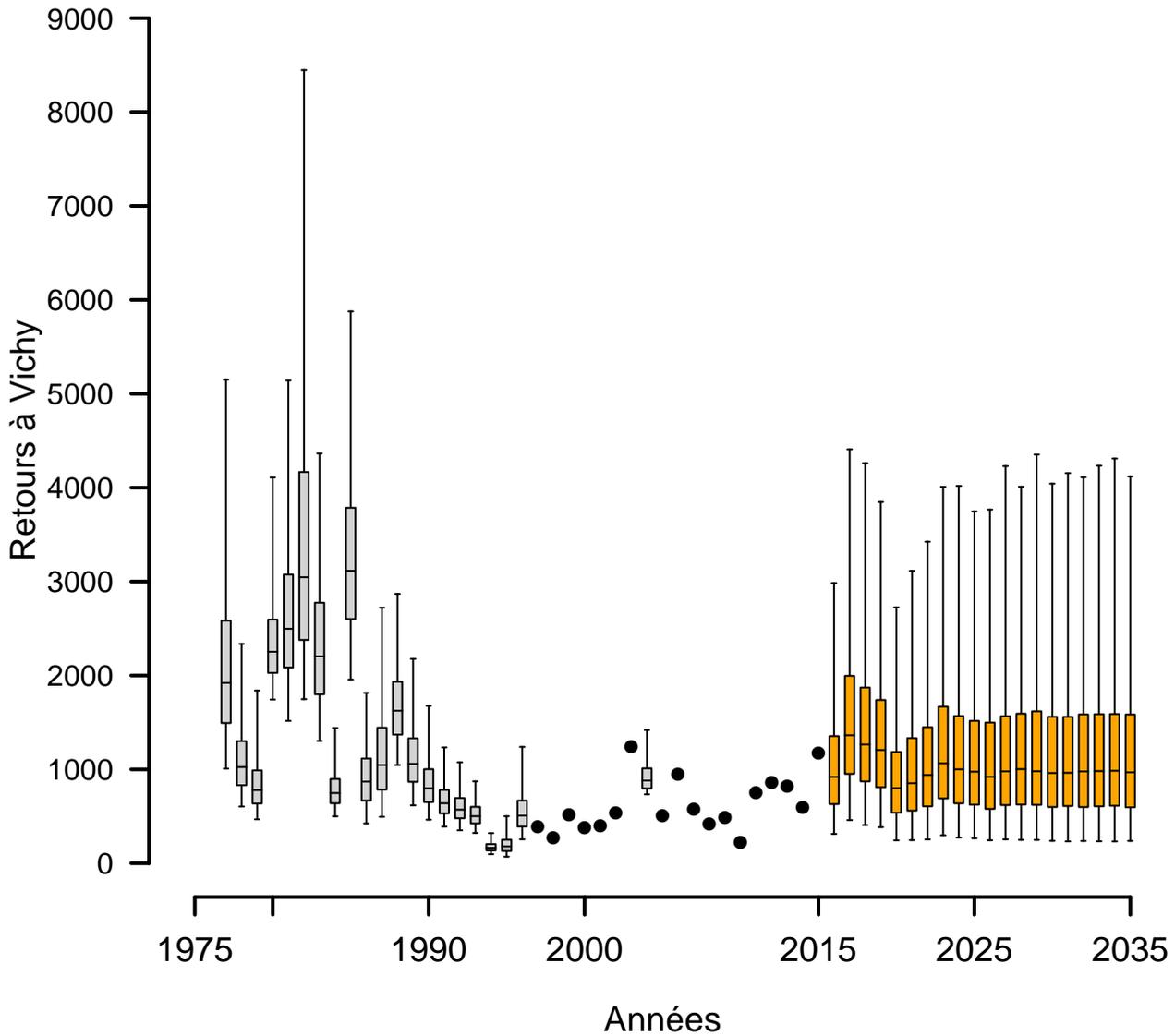


FIGURE 3.20 – Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration de la survie jusqu'à 50% du niveau initial. Une projection des retours d'adultes à 20 ans est réalisée. Les boxplots indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les cercles pleins indiquent les années pour lesquelles la station de comptage de Vichy est opérationnelle et fournit le nombre de retours d'adultes. Les boxplots orange correspondent aux estimations des retours d'adultes à Vichy pour les 20 prochaines années.

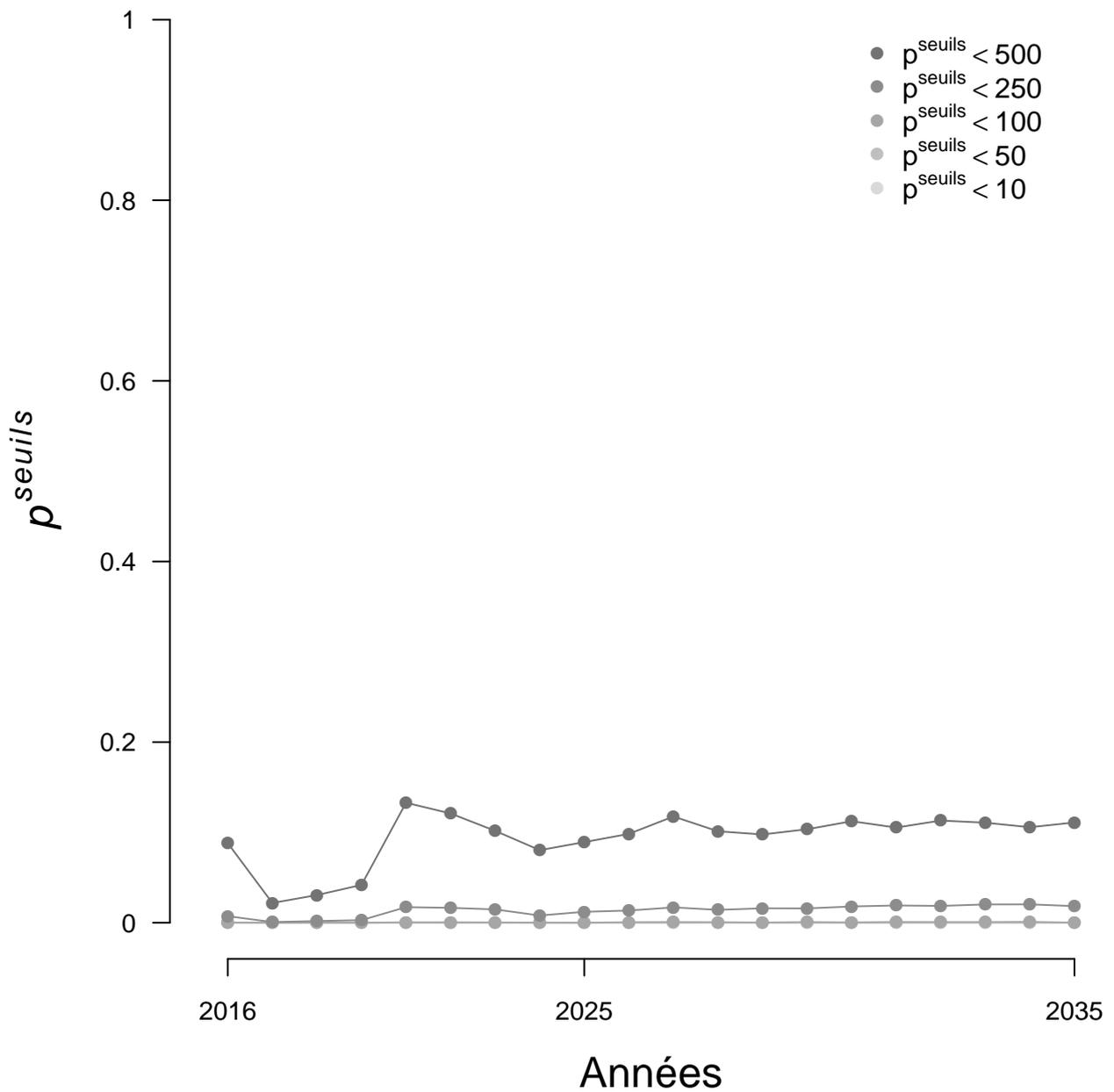


FIGURE 3.21 – Evolution de la probabilité  $p^{\text{seuils}}$  d'atteindre certains seuils arbitraires de nombre d'adultes de retours à Vichy sur la période 2016–2035, dans le scénario d'arrêt des repeuplements et d'amélioration du taux de survie du juvénile 0+ à l'adulte jusqu'à 50% de son niveau initial.

### 3.2.5.2 Amélioration jusqu'à atteindre 100% du niveau initial

Dans ce scénario, les déversements sont arrêtés et le taux de transition du 0+ à l'adulte s'améliore progressivement sur les 10 premières années puis se stabilise au niveau de celui des années 80. Dans ces conditions, nous observons une augmentation des retours d'adultes à Vichy, avec sur les 5 dernières années de la période de projection, un nombre moyen de 4193 individus (figure 3.22). La probabilité d'observer moins de 500 adultes à Vichy est quasi nulle (moyenne sur les 5 dernières années = 0.2%) (figure 3.23).

### Projection à 20 ans sans repeuplement – Amélioration de la survie jusqu'à l'atteinte de son niveau initial

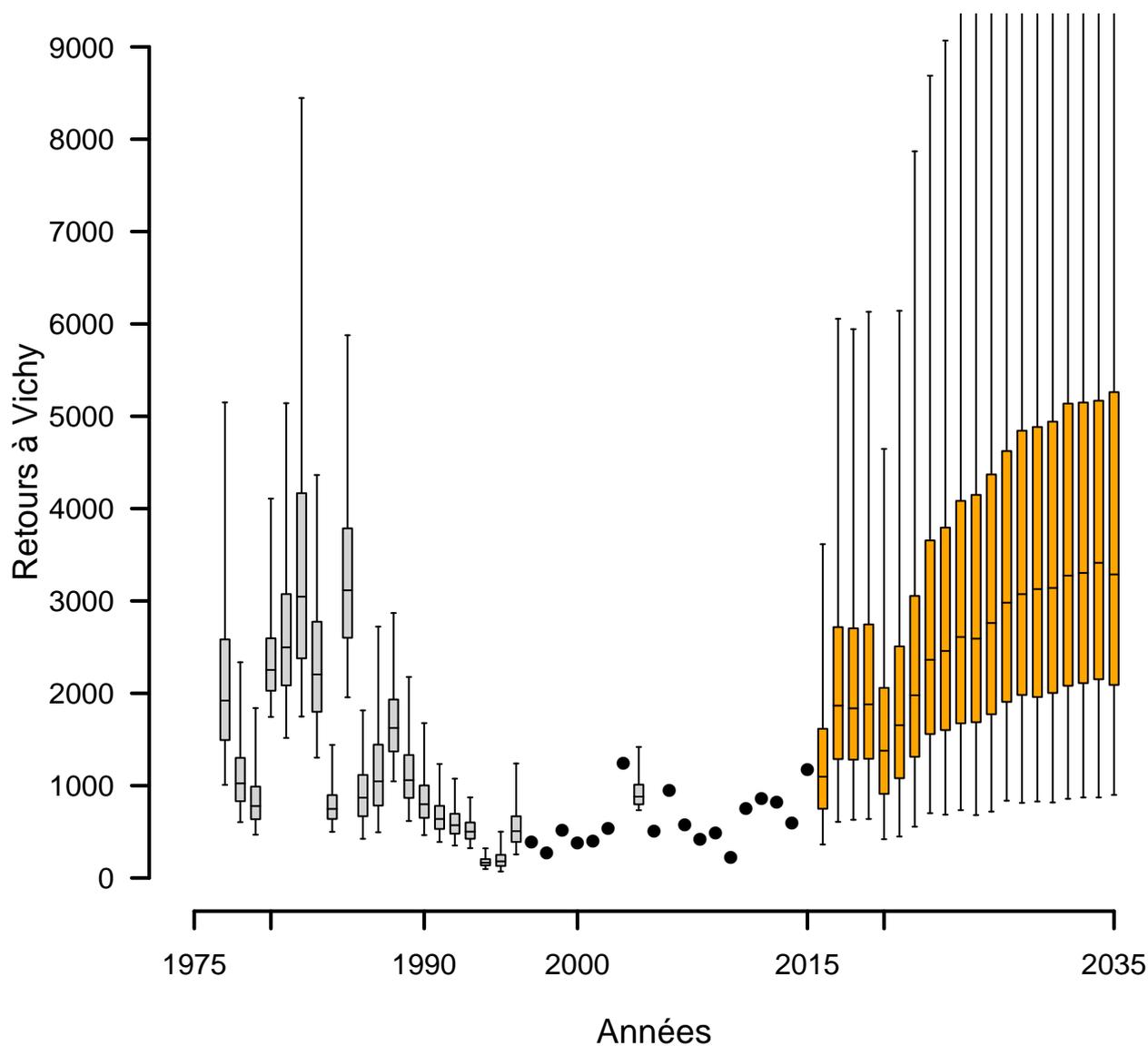


FIGURE 3.22 – Retours d'adultes à Vichy avec arrêt des repeuplements et amélioration de la survie jusqu'à l'atteinte de son niveau initial. Une projection des retours d'adultes à 20 ans est réalisée. Les boîtes indiquent les quantiles 2.5, 25, médiane, 75 et 97.5. Les cercles pleins indiquent les années pour lesquelles la station de comptage de Vichy est opérationnelle et fournit le nombre de retours d'adultes. Les boîtes orange correspondent aux estimations des retours d'adultes à Vichy pour les 20 prochaines années.

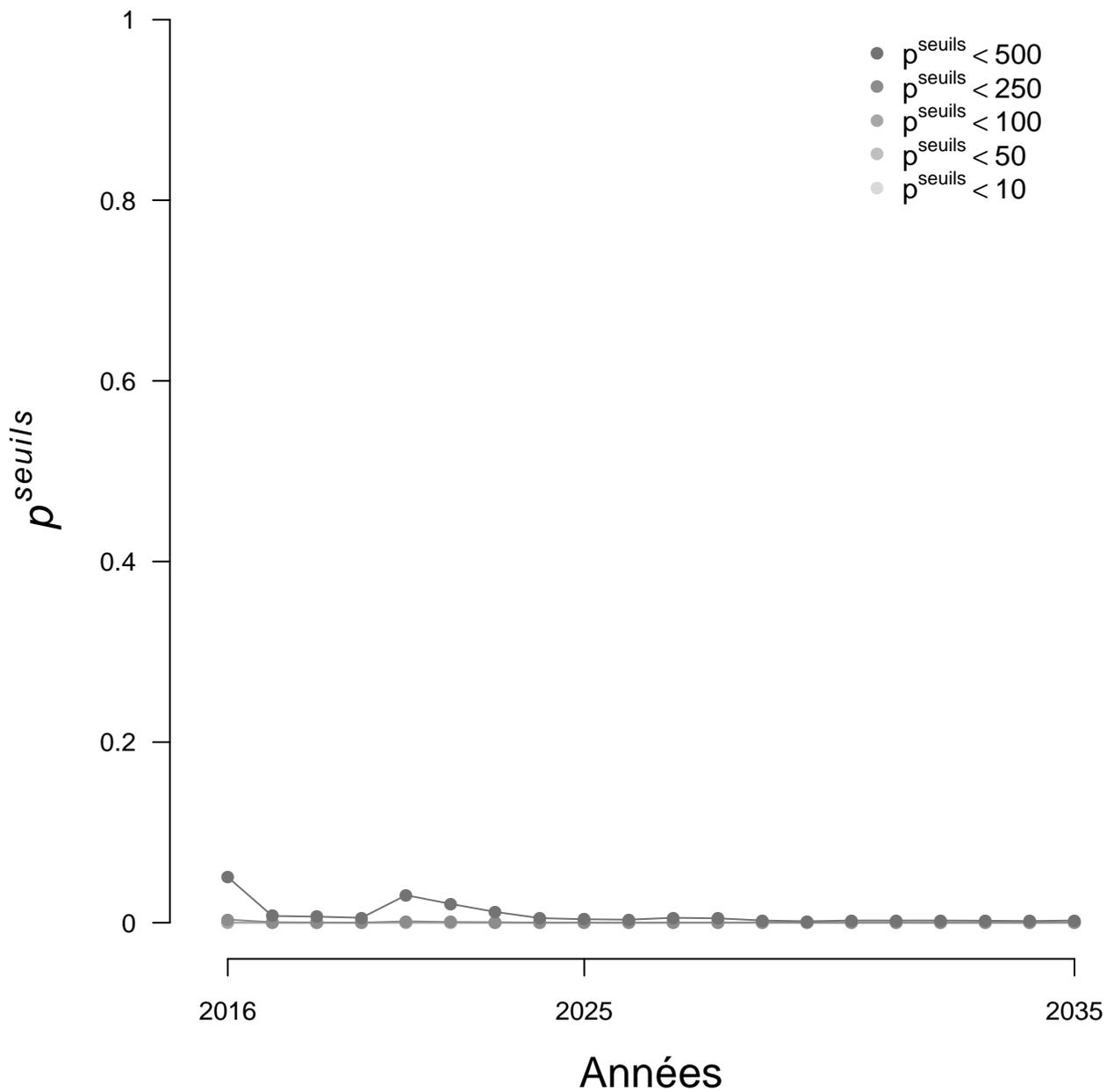


FIGURE 3.23 – Evolution de la probabilité  $p^{\text{seuils}}$  d'atteindre certains seuils arbitraires de nombre d'adultes de retours à Vichy sur la période 2016–2035, dans le scénario d'arrêt des repeuplements et d'amélioration du taux de survie du juvénile 0+ à l'adulte jusqu'à l'atteinte de son niveau initial.

---

## 4 Conclusion et perspectives du projet

---

### 4.1 Améliorations apportées au modèle

#### 4.1.1 Création d'une quatrième zone

La création d'une quatrième zone (Alagnon) représentait un challenge : les données disponibles seraient-elles suffisantes pour nous permettre d'estimer toutes les nouvelles grandeurs introduites dans le modèle et qui lui sont associées ? Malgré l'absence d'une station de comptage des adultes et grâce aux séries chronologiques disponibles (dénombrement de frayères et abondance des juvéniles), ce travail a pu être mené à bien. Les estimations des nouvelles grandeurs déduites des données sont globalement satisfaisantes (Annexe 9 ; section 3.1). Néanmoins, pour obtenir une adéquation acceptable entre le modèle et les données, il a été nécessaire de revoir notre hypothèse de répartition des adultes en ajoutant un paramètre de blocage et ou mortalité, réduisant la proportion d'adultes remontant dans l'Alagnon. Ce paramètre permet de rendre compte en particulier des problèmes de blocage engendré par l'ouvrage de Chambezon (situé sur l'Alagnon à environ 10 kilomètres en amont de la confluence Allier-Alagnon), mais également des blocages et mortalités qui surviennent en aval de la confluence Allier-Alagnon dans le secteur Vichy-Langeac, en particulier pendant l'arrêt de migration estival (Baisez et al., 2011).

#### 4.1.2 Relation entre les indices d'abondance et les densités

En 2016, 4 points supplémentaires ont pu être réalisés sur le double protocole pêche indice d'abondance en 5 minutes (IA) et pêche par enlèvements successifs, renforçant ainsi la relation existante. Contrairement à 2015, nous avons eu la chance en 2016 d'avoir un point à très forte abondance (176 0+ en 5 minutes), le plus haut de notre relation de calibration. L'ajout de ces 4 nouveaux points dans la relation ne l'a quasiment pas modifiée. Une dernière campagne de pêche est prévue par LOGRAMI en 2017 (4 nouveaux points). La réalisation d'un point à très forte abondance reste un objectif pour cette future campagne. De même, comme en 2016, au moins un point de pêche sera réalisé sur l'Alagnon.

### 4.2 Retour vers le futur : et si on n'avait jamais repeuplé ?

Bien que le modèle ait connu des améliorations, des corrections et des développements, les conclusions émises par Dauphin and Prévost (2013) restent valables, à savoir :

- la contribution des repeuplements aux retours d'adultes à Vichy est très importante (85% en moyenne dans cette version du modèle),
- la population ne se serait pas éteinte si on n'avait jamais repeuplé mais les effectifs se seraient maintenus à un niveau faible (93 individus en moyenne sur les 15 dernières années contre 681 en moyenne observés réellement à Vichy sur cette période).

### 4.3 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 si rien ne change. Néanmoins, les différents scénarii testés mettent en évidence une réponse positive de la population de saumon de l'Allier aux améliorations qui peuvent être apportées (tableau 4.1).

*Tableau 4.1 – Résultats des projections à 20 ans sous l'hypothèse de l'arrêt des déversements et dans différents scénarii d'amélioration. medV=Nombre d'individus médian à Vichy sur les 5 dernières années de la période de projection, probaV=Probabilité d'observer moins de 500 individus à Vichy sur les 5 dernières années de la période de projection (en %).*

scenario	medV	probaV
Pas d'amélioration	233	51.7
Amélioration à Poutès à hauteur de 50%	274	48.5
Amélioration à Poutès à hauteur de 100%	327	43.6
Suppression des mortalités à la dévalaison	433	35.8
Amélioration de la survie à hauteur de 50%	975	10.9
Amélioration de la survie à hauteur de 100%	3288	0.2

Ces résultats confirment les recommandations de Dauphin and Prévost (2013) sur l'amélioration du taux de survie entre le juvénile 0+ et l'adulte de retour à Vichy. Il est mis en évidence une diminution importante de ce taux au milieu des années 1980. Si l'on revient à un taux de survie équivalent à ce qu'il était en début de période, la population de l'Allier est viable sans déversement et augmente au cours du temps (tableau 4.1 et section 3.2.5.2). Le retour à un taux de survie à la moitié de ce qu'il était avant son effondrement permet déjà d'obtenir une population viable naturellement avec une probabilité faible (11%) d'observer moins de 500 individus à Vichy. Dans cet esprit, nous avons cherché à quantifier le gain pour la population de la suppression des mortalités à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques. Ce scénario est le 3<sup>ème</sup> meilleur, parmi ceux testés, en terme de réponse de la population. La suppression totale de l'ouvrage de Poutès (suppression des impacts à la montaison et à la dévalaison à hauteur de 100%), permet d'obtenir une réponse de la population un peu moins marquée que celle de la suppression des impacts à la dévalaison pour les 11 ouvrages hydroélectriques impactants. On note, pour finir que l'amélioration partielle de la montaison et de la dévalaison à Poutès (50% d'amélioration), permet déjà d'observer une réponse positive de la population même si cela ne serait pas suffisant pour assurer son renouvellement naturel.

### 4.4 Perspectives pour ce projet

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

- tester une hypothèse alternative à l'hypothèse de priorité aux juvéniles natifs : ajout d'un mécanisme d'interaction réciproque entre les juvéniles sauvages et d'élevage ;
- 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 ou défavorables dans un secteur, elles le sont également dans les autres), en particulier en ce qui concerne le recrutement et la survie estivale des poissons de repeuplement ;

- analyser les causes des résidus atypiques du recrutement naturel en amont de Poutès observés sur les 9 dernières années ;
- utiliser le modèle pour déterminer une limite de conservation pour le saumon du bassin de l'Allier ;
- développer un scénario pour simuler à 20 ans l'amélioration totale de la continuité écologique à la montaison et la suppression des mortalités à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques ;
- développer des scénarii incluant des stratégies alternatives de repeuplement en terme de lieux et quantités de poissons déversés.

En 2017, 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.

# Références bibliographiques

- Baisez, A., Bach, J., Leon, C., Parouty, T., Terrade, R., Hoffmann, M. and Laffaille, P. 2011. Migration delays and mortality of adult Atlantic salmon *Salmo salar* en route to spawning grounds on the River Allier, France. *Endangered Species Research* **15**(3) : 265–270
- Briand, C., Legrand, M., Chapon, P., Beaulaton, L., Germis, G., Arago, M., Besse, T., De Canet, L. and Steinbach, P. 2015. Mortalité cumulée des saumons et des anguilles dans les turbines du bassin Loire-Bretagne. Tech. rep., EPTB-Vilaine, LOGRAMI, ONEMA, BGM, INRA
- Dauphin, G. and Prévost, E. 2013. Viability analysis of the natural population of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the Allier catchment. Tech. rep., INRA
- Legrand, M. and Prévost, E. 2015. De la recherche à la gestion : transfert d'un modèle de dynamique de population vers un opérateur de la gestion. Cas du saumon de l'Allier. Tech. rep., LOGRAMI, INRA-UMR 1224 ECOBIOP
- Legrand, M. and Prévost, E. 2016. Développement et mise à jour du modèle de dynamique de population du saumon de l'Allier . Année 2015. Tech. rep., LOGRAMI, INRA-UMR 1224 ECOBIOP
- Minster, A. M. and Bomassi, P. 1999. Repérage et évaluation des surfaces potentielles de développement de juvéniles de saumons atlantiques : Proposition d'un modèle de gestion des stocks sur les bassins de l'Allier et de l'Arroux. Tech. rep., LOGRAMI, CSP-DR6

---

## 5 Présentation de la fiche-projet du modèle de dynamique de population pour l'année 2016

---

## Annexe n°1

### Annexe scientifique et technique

Dans le cadre du volet R&D du Plan Loire Grandeur Nature, un modèle démographique a été élaboré par l'INRA (UMR Ecobiop) avec la coopération de tous les acteurs locaux de la gestion et du suivi du saumon de l'axe Loire-Allier (<http://www.plan-loire.fr/index.php?id=1646&row=33&type=112>). Ce modèle permet de faire la synthèse d'un vaste ensemble de données et d'informations collecté depuis plus de 30 ans et d'évaluer la viabilité de la population de saumon de l'Allier sous différentes hypothèses de gestion combinant repeuplement, restauration de la continuité écologique, changement de qualité de l'habitat.

Le modèle de dynamique de population développé est un modèle statistique qui permet tout à la fois de faire de l'inférence (i.e. estimation) par assimilation de sources d'information multiples dans un cadre Bayésien, mais également des prévisions à moyen terme conditionnées par les informations disponibles et préalablement assimilées.

Du fait de sa complexité, la mise à jour (en fonction des nouvelles données et information disponibles) et l'utilisation de ce modèle requiert un niveau d'expertise assez avancé en modélisation et un apprentissage pour sa prise en main. L'action proposée vise, à offrir une supervision scientifique au principal opérateur assurant le suivi et l'évaluation du statut du saumon de l'Allier (association LOGRAMI) dans la mise à jour et l'utilisation du modèle à des fins de tests d'options alternatives de gestion et d'évolution de l'environnement.

On vise ainsi à renforcer la synergie de l'INRA et LOGRAMI vis-à-vis de l'accompagnement de la démarche de gestion et de restauration du saumon sur le bassin Loire-Allier coordonnées par la DREAL. Ce point prend un relief particulier dans le contexte actuel de fragilité de la population de saumon de l'Allier et du réaménagement prochain du complexe hydroélectrique de Poutes-monistrol.

Au titre de l'année 2016, les travaux porteront sur :

- (i) une mise à jour du modèle avec les données les plus récentes nouvellement disponibles ;
- (ii) une réflexion sur l'adéquation du modèle aux données, en particulier vis à vis des résidus (écart entre attendu du modèle et observation) régulièrement négatifs depuis plusieurs années concernant la production de juvéniles en amont de Poutès;
- (iii) la possibilité d'ajouter une quatrième zone dans le modèle. Il s'agirait en effet de dissocier l'Alagnon du secteur 1 comprenant actuellement l'Allier en aval de Langeac, l'Alagnon et la Dore.

Le programme de travail et les résultats seront présentés et discutés avec les acteurs de la gestion du saumon de l'Allier et donneront lieu à la rédaction d'un rapport final annuel produit par LOGRAMI en collaboration avec l'INRA.

La contribution de l'INRA se fera à concurrence de 8.5 journées de supervision scientifique par un chercheur senior (DR2).

---

## 6 Relevés de décisions des réunions du groupe de suivi du projet de modélisation

---

# Réunion sur l'opération de transfert du modèle dynamique de population - Relevé de décisions

Clermont-Ferrand  
22 juillet 2014

## Objet de la réunion :

Présentation de l'opération de transfert (financée via l'accord-cadre INRA ONEMA) du modèle "dynamique de population saumon" mis en place dans le bassin de l'Allier par l'INRA (dans le cadre du plan Loire grandeur nature) vers le tableau de bord SALT (LOGRAMI). Premiers résultats et organisation avec les acteurs du bassin pour la poursuite du projet.

## Présents :

Bach Jean-Michel (LOGRAMI)  
Baisez Aurore (LOGRAMI)  
Brugel Catherine (ONEMA -Dir6)  
Lagaly Aude (SAGE Haut-Allier)  
Larvido Alix (DREAL Centre)  
Legrand Marion (LOGRAMI)  
Lemaire Agathe (EP Loire)  
Malbrunot Mylène (ONEMA -Dir6)  
Mazeau Lucile (SAGE Allier aval)  
Ponsonnaille Guillaume (SIGAL)  
Prévost Etienne (INRA, UMR Ecobiop, St-Pée)  
Rouzeyre Cloé (SAGE Alagnon)  
Steinbach Pierre (ONEMA -Dir4)  
Tetard Stéphane (EDF -R&D)  
Vauclin Vincent (ONEMA -Dir4)

## Invités et excusés :

Beaulaton Laurent (ONEMA -DG)  
FDAAPPMA 42  
Harger Sébastien (Région Centre)  
Lelievre Mickaël (FDAAPPMA 03)  
Vienne Laurent (AELB)

## Invité et ne souhaitant pas participer à la réunion :

Martin Patrick (CNSS)

## Documents joints :

- Présentation d'introduction d'Etienne Prévost (INRA)
- Présentation du modèle et des résultats de Marion Legrand (Logrami)

La réunion a été organisée en 3 temps forts :

1. **Rappel sur l'origine du projet de modélisation de la dynamique de population du saumon de l'Allier et du choix du partenaire pour le transfert du modèle** (par Etienne Prévost - cf. fichier pdf joint)

Suite à la présentation, questionnement sur le rôle d'accompagnement de l'INRA pour la poursuite du projet. L'INRA conserve la supervision du projet, les rapports éventuels qui sortiront seront co-signés Logrami-Inra (plus les partenaires ayant contribué à la réflexion ou ayant fourni des données).

Il est souligné que le choix du tableau de bord pour la poursuite du projet est judicieux car il centralise déjà les données nécessaires à faire tourner le modèle et n'est pas partie prenante.

## **2. Présentation du modèle et des résultats** (par Marion Legrand - cf. fichier PPT joint)

Diverses discussions sur les données alimentant le modèle :

- la façon de prendre en compte les surfaces productives : consensus du groupe pour adopter la formule<sup>1</sup> d'équivalent radier rapide telles que décrite dans Bomassi et Minster (1999).
- la relation de calibration pour les pêches IA 5 min et De Lury (passage d'un nombre de poissons capturés en densité) : il est rappelé que cette relation de calibration ne tient que sur 9 stations toutes réalisées dans l'Allier. Si un effet rivière existe, il est assez déroutant d'utiliser cette relation de calibration sur la Dore et l'Alagnon. Le groupe s'accorde pour dire qu'il serait important d'envisager un complément de points à la fois sur l'Allier lui-même et sur les affluents considérés dans le modèle. La question de l'influence des débits lors des pêches de calibration a également été posée. Des modèles développés par ailleurs par l'INRA sont déjà disponibles pour intégrer ce facteur débit.
- les données de pêche IA 5 min alimentant le modèle de production de juvéniles : le groupe s'accorde sur la nécessité de ré-examiner les stations de pêche prises en compte dans le modèle (notamment en terme de représentativité de ces stations). La question des changements de faciès au cours du temps (notamment après les grosses crues type 2003, 2008) est également posée. Sur cette question, le groupe est partagé : certains pensent qu'il vaut mieux enlever ces surfaces des surfaces productives (radiers décrits par Malavoi et ayant subi des modifications suite à des crues), d'autres pensent qu'il vaut mieux s'assurer que ces faciès ne sont plus productifs avant de les retirer des surfaces productives. Dans le deuxième cas, la question de l'accessibilité de ces sites a été soulevée.
- la distinction des juvéniles issus de reproduction et des juvéniles issus de déversements : la question de la mobilisation des données du programme génétique pour le modèle est posée. Les données disponibles pourront être intégrées mais il ne s'agira très probablement que de données sur une seule cohorte (retour 2012 à 2014 pour la reproduction 2008).

Discussion sur les processus :

- l'effet zone présent dans le modèle frayère : des données supplémentaires existent qui ne sont pas à ce jour incluses dans le modèle (dates d'arrivée des poissons aux stations de comptage, etc.). Il serait envisageable d'intégrer ces données pour voir si elles permettent d'affiner l'effet zone.
- l'effet méthode (comptage hélico/à pied) du modèle frayère : en 2013 un double comptage (à pied et en hélico) a été réalisé sur une partie de la zone d'étude

<sup>1</sup>

SERR=1/5\*PLA+RAD+RAB+RAP+CLO

(amont/aval Poutès), il pourrait être intéressant de rentrer ce double comptage pour mieux cerner cet effet méthode.

- la distribution spatiale des géniteurs dans les différents secteurs : elle dépend aussi des débits et de la température (en plus des processus déjà décrits par le modèle). Pour l'instant aucune covariable environnementale n'est incluse dans le modèle. Ces données étant disponibles (surtout pour les débits via la banque hydro), une réflexion pourrait être menée pour s'accorder sur la façon de rentrer ces données dans le modèle
- la survie des juvéniles : il serait intéressant de tester comment l'hypothèse de priorité de résidence des sauvages sur les poissons déversés agit sur le modèle. Pour cela, un test avec l'hypothèse inverse (priorité aux juvéniles déversés) pourrait être envisagé.
- l'hypothèse de fitness équivalente entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et ceux issus de pisciculture : il est rappelé qu'il n'existe pas de données dans le bassin Loire pour mesurer les écarts de fitness éventuels entre sauvages/élevages. Néanmoins, la possibilité de recourir à la littérature scientifique est évoquée. Il serait alors nécessaire de réaliser plusieurs scénarii. L'utilisation des équivalents saumoneaux sauvages dévalants (ESSD) est également envisagée.

### 3. Eléments d'organisation pour la poursuite du projet (par Marion Legrand - cf. PTT)

L'organisation telle que proposée pour la poursuite du projet est approuvée par le groupe.

De façon à organiser au mieux le travail, il est décidé de dresser la liste (i) des améliorations à prévoir pour le modèle, (ii) des développements nouveaux qui permettraient de répondre à des questions de gestion et enfin (iii) des données à collecter pour consolider voire permettre les évolutions du modèle. Lors de la réunion des items ont déjà été proposés (Tableau 1). La liste sera à compléter pour la prochaine réunion (courant novembre 2014) de façon à prioriser les travaux à mener pour la suite.

**Tableau 1 : Améliorations, collectes d'informations et développements souhaités pour le modèle dynamique de pop saumon de l'allier**

Amélioration du modèle dans sa version actuelle	Collectes de données	Développements
Prise en compte de l'ouverture des cours d'eau lors d'arasement ou d'équipement d'ouvrage infranchissable	Pêches de calibration	Mieux quantifier les impacts à la dévalaison (notamment mortalité) et estimer le gain attendu si aménagement à la dévalaison
Utilisation du double comptage frayère 2013 pour essayer de mieux cerner l'effet méthode	Données pouvant discriminer l'origine des juvéniles (programme génétique, marquage de lot, etc.)	Extension géographique du modèle à la Sioule
	Données environnementales (débit, température)	Ajout de covariables environnementales dans le modèle

		Différence de fitness entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et les juvéniles déversés
		Survie des juvéniles : test d'une hypothèse de priorité aux juvéniles déversés
		Prise en compte des dates d'arrivée aux stations dans la modélisation du processus de distribution des adultes dans les différents secteurs

# Réunion sur l'opération de transfert du modèle dynamique de population - Relevé de décisions n°2

Clermont-Ferrand  
19 novembre 2014

## Objet de la réunion :

Point sur l'avancement du projet depuis le mois de juillet et priorisation des actions à mener en 2015.

## Présents :

Bach Jean-Michel (LOGRAMI)  
Baisez Aurore (LOGRAMI)  
Brugel Catherine (ONEMA -Dir6)  
Ditch Jean-Maxence (ONEMA-Dir6)  
Legrand Marion (LOGRAMI)  
Nicolas Stéphane (FDAAPPMA 43)  
Prévost Etienne (INRA, UMR Ecobiop, St-Pée)  
Rouzeyre Cloé (SAGE Alagnon)  
Steinbach Pierre (ONEMA -Dir4)

## Invités et excusés :

*DREAL - Auvergne*  
*FDAAPPMA 48*  
*FDAAPPMA 63*  
*Harger Sébastien (Région Centre)*  
*Joly Véronique (DREAL de Bassin Loire-Bretagne)*  
*Lagaly Aude (Sage Haut-Allier)*  
*Lelievre Mickaël (FDAAPPMA 03)*  
*Lemaire Agathe (EP Loire)*  
*Ponsonaille Guillaume (SIGAL)*  
*Tétard Stéphane (EDF)*  
*Vienne Laurent (AELB)*

## Invité n'ayant pas répondu à l'invitation :

*Martin Patrick (CNSS)*

La réunion a été organisée en 3 temps :

### **1. Présentation des avancées du projet** (par Marion Legrand)

De nombreuses discussions ont porté sur les surfaces d'habitats prises en compte dans le modèle. Quels cours d'eau faut-il prendre en compte dans le modèle ? Et jusqu'à quelle limite ? La question du Chapeauroux est longuement discutée. Aujourd'hui cet affluent de taille importante n'est pas pris en compte dans le modèle. Il est décidé de tester l'ajout du Chapeauroux dans le modèle jusqu'à la limite du barrage d'Auroux.

La méthode proposée pour distinguer les sites de pêches électriques sous influence des déversements est retenue. Il faut chercher des données complémentaires pour étendre la démarche à l'historique de la série de données (avant 2005). Lucien Jonard à l'ONEMA Dir6 pourrait être un bon contact pour aider à retrouver la localisation précise des points de

déversement réalisés historiquement à minima sur les cours d'eau Dore, Chapeauroux et Allier en amont de Langeac.

Suite à la présentation du principe de modélisation des scénarios liés au réaménagement de Poutès des discussions ont lieu, notamment concernant le paramètre caractérisant la variabilité de franchissement de l'ouvrage. Il est décidé de ne pas faire intervenir ce paramètre dans les modélisations liées à Poutès car un doute est émis sur une quelconque modification de ce paramètre suite au réaménagement. En effet, l'hypothèse d'une modification de la variabilité de franchissement en fonction de la gestion des débits réservés à Poutès au fil des ans est avancée. Or le projet de réaménagement prévoit des débits réservés similaires à ceux observés actuellement. Il est ainsi décidé de ne conserver dans les simulations liées à Poutès que

- le paramètre de différentiel de survie caractérisant les problèmes de dévalaison à Poutès
- la probabilité de franchir l'ouvrage caractérisant les problèmes liés à la montaison.

Concernant les scénarios Poutès il est décidé de tester l'arasement total de l'ouvrage (100% d'amélioration) de façon à mesurer le gain maximum pouvant être atteint sur cet ouvrage. Pour le deuxième scénario, de nombreux échanges ont lieu. En l'absence d'objectifs clairement exposés sur ce qu'on est en droit d'attendre du réaménagement de Poutès en termes d'amélioration à la montaison et à la dévalaison, nous décidons de conserver la proposition d'une amélioration de 50% par rapport à l'existant.

Une mise en garde est donnée sur le fait que sans covariable débit permettant de caractériser l'année hydrologique dans laquelle on se trouve, on risque d'avoir du mal à modéliser réellement l'amélioration attendue du barrage de Poutès. Cependant, l'ajout d'une covariable débit nécessite un travail de développement très important du modèle incompatible avec les délais de réalisation du scénario en 2014. D'autre part, le débit est déjà introduit dans le modèle via le paramètre de variabilité de la probabilité de franchir l'ouvrage de Poutès. Enfin, l'ajout de ce type de variable dans le modèle pose problème lorsque l'on réalise des projections (comme c'est le cas avec les scénarios Poutès), car il faut être alors capable de projeter également les débits. Or il est très difficile de savoir comment ces derniers vont être modifiés dans les 20 prochaines années.

## **2. Programme de travail 2015 et priorisation des actions (par Marion Legrand)**

Les propositions faites lors de la dernière réunion (+ ajouts de quelques items) sont repris (voir tableau) de façon à rediscuter chaque point et à dégager 2 priorités pour 2015. Au sujet de la présentation du tableau, les rubriques sont jugées peu explicites, la répartition dans chacune d'entre elle n'étant pas toujours facile à comprendre. Ce tableau sera revu et des termes plus explicites devront être proposés.

Concernant les items proposés il est rappelé que bien que les nouveaux développements et la réponse à des nouvelles questions est toujours plus attractives, il est très important de renforcer la robustesse du modèle (consolidation de l'existant), ainsi il est souligné que le travail sur l'auto-corrélation spatiale est important car cela permettrait sans doute de réduire les incertitudes du modèle.

Après discussion, il est décidé que le travail proposé sur les méthodologies de comptages des frayères n'est plus pertinent (notamment au regard des résultats du modèle – paramètre de méthodologie de comptage n'est plus significatif suite aux

changements/corrections réalisés en 2014 -, mais aussi suite à la comparaison en 2013 des deux méthodes de comptage sur le terrain –pas de différence à l'échelle macroscopique).

Pour 2015, il est finalement décidé de conserver les deux items suivants :

- **Différence de fitness entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et les juvéniles déversés**
- **Mieux quantifier les impacts à la dévalaison (notamment mortalité) et estimer le gain attendu si aménagement à la dévalaison**

Pour l'aspect quantification des impacts à la dévalaison, le lien avec le modèle DEVALPOMI (modèle de mortalité des smolts dans les turbines lors de la dévalaison) est évoqué.

Enfin, la mise en place de pêches de calibration dans le but de renforcer la robustesse de la relation indice d'abondance en 5 minutes / densité est abordée. Il serait intéressant dans ce cadre de planifier 3 ou 4 points annuels sur 3 ans avec chaque année, un bon site, un moyen et un mauvais (en terme de nombre de 0+ capturés en 5 minutes).

Amélioration du modèle dans sa version actuelle	Collectes de données	Développements
Prise en compte de l'ouverture des cours d'eau dans les surfaces productives	Pêches de calibration	Mieux quantifier les impacts à la dévalaison (notamment mortalité) et estimer le gain attendu si aménagement à la dévalaison
Utilisation du double comptage frayère 2013 pour essayer de mieux cerner l'effet méthode	Données pouvant discriminer l'origine des juvéniles (programme génétique, marquage de lot, etc.)	Extension géographique du modèle à la Sioule
	Données environnementales (débit, température)	Ajout de covariables environnementales dans le modèle
		Différence de fitness entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et les juvéniles déversés
		Survie des juvéniles : test d'une hypothèse de priorité aux juvéniles déversés

		Prise en compte des dates d'arrivée aux stations dans la modélisation du processus de distribution des adultes dans les différents secteurs
		Autocorrélation spatiale des résidus (si on a une bonne année sur une zone, les autres zones devraient le prendre en compte → non indépendant)

### 3. Eléments d'organisation pour la poursuite du projet en 2015 (par Marion Legrand)

Il est décidé de réunir le groupe élargit (le même que celui réunit pour cette réunion) fin 2015 pour présenter les résultats des travaux qui seront menés l'an prochain.

Parallèlement, avec les gens du groupe élargit qui le souhaitent, un groupe de travail sur le modèle sera constitué et réunit à la fin du premier trimestre 2015. Ce groupe permettra de discuter et valider la façon de procéder pour traiter les 2 sujets 2015 choisis.

# Réunion du groupe de suivi du modèle dynamique de population - Relevé de décisions n°1

Clermont-Ferrand  
06 juillet 2015

## Objet de la réunion :

Discussions et réflexions sur l'avancement des 2 sujets à traiter en 2015 (i) Différence de *fitness* entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et les juvéniles déversés, (ii) Mieux quantifier les impacts à la dévalaison (notamment mortalité) et estimer le gain attendu si aménagement à la dévalaison).

## Présents :

Bach Jean-Michel (LOGRAMI)  
Bomassi Pascal (ONEMA –Dir6)  
Joly Véronique (DREAL Bassin)  
Legrand Marion (LOGRAMI)  
Prévost Etienne (INRA, UMR Ecobiop, St-Pée)  
Vauclin Vincent (ONEMA –Dir4)

## Excusés :

Brugel Catherine (ONEMA –Dir6)  
Lelievre Mickaël (FDAAPPMA 03)  
Steinbach Pierre (ONEMA –Dir4)

La réunion a été structurée autour du diaporama présentant l'avancement des réflexions sur les deux sujets à traiter en 2015 (présentation par Marion Legrand)

### **1. Différentiel de *fitness***

Présentation de la bibliographie réalisée (8 papiers dont plusieurs proposant une synthèse de publications) sur le sujet et des grandes lignes qui ressortent (cf. diaporama). La grande majorité des auteurs lus s'accordent sur une baisse de *fitness* des individus issus de pisciculture (poissons inadaptés au milieu naturel, trait d'histoire de vie différent, adaptation génétique à la captivité, etc.). Plus le temps passé en pisciculture est important plus le différentiel de *fitness* sauvage/élevage est grand. Néanmoins, il est indiqué (Jokikokko et al., 2006) que les poissons déversés expérimentent une mortalité importante immédiatement après leur déversement (mauvais comportement face aux prédateurs, poissons inadaptés au milieu, etc.), mais qu'après quelque temps passé dans la rivière, ils survivent aussi bien que les sauvages.

A cette occasion il a été précisé que dans le modèle la période allant du moment du déversement jusqu'aux pêches à l'automne (tacon 0+) était prise en compte à travers la relation de densité-dépendance pour les juvéniles de pisciculture.

Pour avancer sur cette thématique des essais ont été réalisés. Ainsi, l'ajout dans le modèle d'un paramètre de survie des juvéniles déversés a été testé. Le modèle n'a pas été en mesure de mettre à jour ce paramètre, indiquant que les données en présence ne suffisent

pas pour mettre en évidence une survie différente des poissons d'élevage par rapport aux sauvages.

En dernier lieu, nous avons testé l'existence d'une corrélation entre les résidus de la survie 0+ → adulte et la part des juvéniles déversés dans les juvéniles totaux. Cette analyse n'a pas permis de mettre en évidence de lien entre ces deux variables.

Des discussions ont eu lieu concernant différents points :

- **Retour sur l'origine de cette hypothèse de survie identique à partir du stade tacon 0+ entre sauvage et alevins ou œufs déversés** : si l'hypothèse inverse avait été choisie, il aurait fallu s'accorder sur une valeur de différentiel de survie, or pas évident d'en choisir une ; nous n'avons pas vraiment de données pour le faire.
- **Le concept de fitness et la façon de la mesurer (notamment sur combien de générations)** : concept darwinien. Gène adapté qui doivent être transmis de génération en génération. On devrait mesurer la *fitness* d'une génération à l'autre. Discussion sur le succès reproducteur qui est une composante importante de la *fitness* et qui prend en compte plusieurs choses comme la survie, la capacité à s'apparier, à se reproduire et à ce que les juvéniles issus de cette reproduction soient en mesure de se reproduire également.
- **L'intérêt, au vue des éléments présentés, de poursuivre cette thématique** : suite aux discussions, il n'apparaît pas pertinent de poursuivre plus avant sur la survie différentielle. La possibilité de rechercher des informations sur la survie différentielle sur les rivières ateliers est tout de même mentionnée (notamment sur le Couesnon). Est évoquée la possibilité de travailler sur le lien entre la composition du flux entrant à Vichy et le succès reproducteur.

## 2. Intégration des mortalités à la dévalaison

L'idée pour traiter cette thématique serait d'utiliser les résultats issus de DEVALPOMI (mortalités cumulées des saumons et des anguilles dans les turbines du bassin Loire-Bretagne) et de les ré-injecter, en les globalisant par secteur du modèle. Il s'agirait d'ajouter un paramètre de survie sur les juvéniles « produits » (comme on avait fait dans le scénario Poutès) dans chacun des secteurs du modèle. On pourrait ensuite faire varier ce paramètre avec différentes hypothèses d'aménagement.

Les discussions ont principalement porté sur l'évolution, sur la période prise en compte dans le modèle, des impacts à la dévalaison des ouvrages présents dans la zone d'étude. En effet, DEVALPOMI estime une mortalité pour les 5 dernières années, il est donc important de s'assurer que la situation « actuelle » est représentative de l'ensemble de la période sur laquelle le modèle est construit. Il semblerait qu'il y ait eu assez peu de changements, excepté peut-être pour Langeac où l'usine n'aurait pas turbiné durant toute la période (début du turbinage au début des années 90 ?). Il serait intéressant de vérifier ces informations auprès de Catherine Brugel, Pascal Bomassi ou Pierre Steinbach.

# Réunion du groupe de travail du modèle dynamique de population

Clermont-Ferrand  
15 décembre 2016

## Objet de la réunion :

Présentation et discussions sur les résultats issus du travail mené en 2016 concernant (i) l'ajout d'une quatrième zone dans le modèle : l'Alagnon, (ii) la réflexion sur l'adéquation du modèle aux données, en particulier vis à vis des résidus régulièrement négatifs depuis plusieurs années concernant la production naturelle de juvéniles en amont de Poutès.

## Présents :

Bach Jean-Michel (LOGRAMI)  
Brugel Catherine (ONEMA –Dir6)  
Girault Delphine (Parc naturel régional Livradois-Forez – SAGE Dore)  
Basile (stagiaire Parc naturel régional Livradois-Forez – SAGE Dore)  
Joly Véronique (DREAL Bassin Loire-Bretagne)  
Legrand Marion (LOGRAMI)  
Lelièvre Mickaël (FD03)  
Meyer Nicolas (DREAL Bassin Loire-Bretagne)  
Prévost Etienne (INRA, UMR Ecobiop, St-Pée)  
Steinbach Pierre (ONEMA –Dir4)  
Vauclin Vincent (ONEMA -Dir4)

## Excusés :

Clain Margaux (Etablissement Public Loire – SAGE Allier aval))  
Lagaly Aude (Etablissement Public Loire – SAGE Haut-Allier)

La réunion a été organisée en 2 temps :

### **1. Présentation des avancées du projet**

Avant de démarrer la présentation des résultats de l'année, des discussions ont eu lieu sur le suivi du modèle. Le conseil scientifique du PLAGEPOMI réuni à Orléans les 9 et 10 novembre 2016 a insisté sur le fait que le modèle dynamique de population du saumon de l'Allier est un outil adapté pour la gestion car en mesure de fournir une aide à la décision, via les scénarii de gestion qui sont développés. Cela a amené des réflexions au sein du groupe sur les acteurs « légitimes » pour le choix des priorités de travail assignées au tableau de bord pour le développement de ce projet. Plusieurs pistes de réflexions sont apparues. Le projet étant mené au sein du tableau de bord, le comité de pilotage du tableau de bord pourrait être légitime dans le choix des sujets à traiter pour l'année suivante. Le tableau de bord étant un outil au service des gestionnaires et plus largement du COGEPOMI cette instance pourrait également être légitime dans la définition de ces priorités.

L'intérêt du groupe de travail constitué en 2014 (et réunit ce jour) est néanmoins rappelé. En effet, l'ensemble des membres du comité de pilotage du tableau de bord sont invités au sein de ce groupe et il rassemble à la fois les producteurs des données utilisées dans le modèle et

plus largement les acteurs représentant assez largement le territoire concerné par le modèle. Ces membres n'étant pas forcément membres du COGEPOMI ou même du groupe de travail et/ou n'ayant pas forcément un pouvoir décisionnel dans ces instances.

Les membres conviés à ce GT Modèle Dynamique de Population sont rappelés :

- Jean-Michel Bach – Logrami,
- Aurore Baisez – Logrami,
- Céline Boisson – Eptb Loire, Sage Sioule,
- Catherine Brugel - Onema,
- Henri Carmié - Onema,
- Margaux Clain – Eptb Loire, Sage Allier aval,
- Jean-Maxence Ditché - Onema,
- FDAAPPMA 15,
- FDAAPPMA 42,
- FDAAPPMA 43,
- FDAAPPMA 63,
- FDAAPPMA 48,
- Delphine Girault – Parc Livradois-forez, Sage Dore,
- Sébastien Harger – Region Centre Val-de-Loire,
- Véronique Joly – DREAL bassin Loire-Bretagne
- Aude Lagaly - Eptb Loire, Sage Haut-Allier,
- Sylvain Lecuna - Edf,
- Mickaël Lelièvre – FDAAPPMA 03,
- Agathe Lemaire – Eptb Loire,
- Lucien Maman – Agence de l'eau Loire-Bretagne,
- Patrick Martin - Cnss,
- Guillaume Ponsonnaille - Sigal,
- Etienne Prévost – Inra St-Pée-sur-Nivelle –UMR Ecobiop
- Cloé Rouzeyre – Sigal, sage Alagnon,
- Angéline Sénécal - Logrami,
- Pierre Steinbach - Onema,
- Stéphane Tétard - Edf,
- Vincent Vauclin – Onema.

La DREAL indique qu'elle souhaite inviter des membres émanant du groupe de travail PLAGEPOMI à réfléchir sur des scénarii concernant les quantités et lieux de déversement. Une réflexion sera à mener sur la façon de faire « cohabiter » ces 2 groupes : l'un sous pilotage DREAL et l'autre sous pilotage tableau de bord.

Les travaux menés depuis 2014 sont rappelés. A cette occasion la poursuite du travail de localisation des sites de déversement avant 2005 est rappelée. En effet, à défaut de pouvoir localiser les sites ou à minima les grandes zones de déversement année après année, si un point est déversé dans un secteur, alors tout le secteur est considéré comme étant sous influence des déversements. Cela est assez grossier et nous perdons de l'information précieuse sur la distinction juvéniles sauvages/juvéniles d'élevage.

Concernant le travail réalisé en 2015 sur la *fitness*, le groupe demande à avoir pour information la synthèse bibliographique ainsi que les références utilisées.

Une discussion est amorcée concernant la Dore. Le Sage indique manquer de données concrètes sur le saumon dans ce cours d'eau et indique être demandeur de toute information utile. La question de la non prise en compte dans le modèle de l'attractivité des confluences est posée. En effet, au regard des autres confluent, la confluence de la Dore semble très peu attractive (sans doute en lien avec la présence du barrage de Sauviat) ce qui expliquerait les faibles effectifs de saumons adultes migrants sur ce cours d'eau. En l'état, le modèle dynamique de population ne fournit que peu d'éléments utilisables par les acteurs de la Dore puisqu'il est regroupé dans le secteur aval avec l'Allier en aval de Langeac. La possibilité de faire de la Dore un secteur à part entière est évoquée mais écartée en raison de l'absence d'une chronique suffisamment longue (au moins 10 ans) de comptage des nids sur cet axe.

A l'évocation des scénarii de gestion déjà développés, d'autres idées émergent :

- Jusqu'où faut-il aller dans les programmes de restauration de la continuité écologique pour que la population sauvage se renouvelle (en l'absence de déversement) ? Cette question est tout à fait modélisable dans le cadre du modèle car nous disposons de paramètres reflétant les problèmes de migration (blocage/mortalité).
- Concernant l'ouvrage de Vichy, un équipement en turbine est prévu. La question de la modélisation de ce que pourrait provoquer cet équipement sur la population du saumon est posée. Cette question est modélisable si on dispose de données sur l'impact attendu de cet équipement. Il est rappelé que cette question peut être traitée dans le cadre du projet DEVALPOMI (évaluation des mortalités lors de la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques du bassin Loire-Bretagne). En fonction de la caractéristique des turbines DEVALPOMI pourra fournir un pourcentage de mortalité attendu. Néanmoins, le projet visant à priori un équipement à l'aide de turbines ichtyocompatibles, la question est posée de la pertinence d'étudier ce sujet. En cas de turbines ichtyocompatibles, DEVALPOMI estimera une mortalité nulle.

Ces sujets seront rajoutés à la liste des sujets à traités lors de la discussion sur les priorités 2017.

Au fil des échanges, l'intérêt d'intégrer à terme les résultats de l'étude génétique menée par Guillaume Evanno (INRA – Rennes) est rappelée. Pour le moment cela semble difficile car la proportion de poissons issus de Chanteuges dans les retours à Vichy n'a été évaluée que sur une cohorte de reproduction.

## **2. Programme de travail 2017 et priorisation des actions**

Les propositions faites lors des dernières réunions sont reprises de façon à rediscuter chaque point et à dégager 2 priorités pour 2017. Les sujets proposés pendant la première partie de la réunion sont également ajoutés pour discussion, ainsi que deux sujets recommandés par le conseil scientifique, à savoir : un travail sur les quantités et lieux de déversement en lien avec la zone refuge, et un travail sur la détermination de la limite de conservation.

Le principe de choisir un sujet visant l'amélioration du modèle et un sujet visant le développement d'un nouveau scénario de gestion, est rappelé. Le Tableau 1 récapitule l'ensemble des sujets *in fine* proposés en fonction des deux rubriques (amélioration ou développement).

Concernant le sujet sur les stratégies de déversement, il est rappelé que le modèle est un modèle démographique qui ne prend pas en compte les aspects de domestication ou de perte d'adaptation. Ainsi, des aspects négatifs potentiellement liés aux déversements ne pourront pas être pris en compte dans la modélisation. Les résultats risquent ainsi de fournir une image potentiellement incomplète du sujet. La DREAL indique l'urgence à travailler sur ce sujet compte tenu des attentes fortes de certains acteurs du bassin. D'autres participants regrettent que les priorités soient focalisées sur le sujet des déversements au détriment d'autres sujets intéressants qui concerneraient plus directement l'évaluation des conditions permettant d'assurer la viabilité de la population sauvage (objectif de gestion ultime).

En ce sens, le sujet sur la définition de la limite de conservation semble un sujet intéressant à traiter. Néanmoins, il nécessite que les gestionnaires se mettent en amont d'accord sur la définition et sur les seuils et risques acceptables. En effet, ce sujet nécessite de définir en préambule ce qu'on choisit comme définition pour la limite de conservation. Il semble peu pertinent pour le bassin de l'Allier de repartir de la définition de l'OCSAN. La définition telle qu'adoptée récemment au Canada semble au contraire une bonne piste de réflexion. Il s'agit ainsi de définir une quantité de juvéniles suffisamment élevée. Pour cela, il est nécessaire de choisir une cible (par exemple 50% de la capacité d'accueil des milieux) et le risque de non atteinte de cet objectif qu'on est prêt à prendre (par exemple probabilité de 25% de non atteinte de l'objectif). Le sujet est intéressant, mais potentiellement assez lourd à mettre en place et un travail de communication et de pédagogie serait à prévoir de façon à ce que les résultats soient bien compris et non déformés ensuite.

**Tableau 1 : Propositions de sujets pour le programme 2017**

<b>Amélioration modèle / mise en qualité des données</b>	<b>Développement de scénarii / développement du modèle</b>
Autocorrélation spatiale : ce qui se passe à l'échelle d'un secteur n'est pas indépendant de ce qui se passe dans les autres secteurs	Scénarii autour de diverses stratégies de déversement (test sur les quantités, les lieux, etc.), en lien avec la zone refuge
Ajout d'un mécanisme d'interaction entre sauvage et élevage : pour le moment, les poissons d'élevages « comblent » les habitats laissés disponibles par les sauvages. Lors de la publication du modèle « juvénile » (Dauphin et al., 2016) cette vision a été retravaillée avec l'idée que les poissons déversés pouvaient peser sur la population sauvage et réciproquement → conséquence sur les projections et diagnostique de viabilité.	Détermination d'une limite de conservation pour le saumon du bassin de l'Allier

Ajout des données du programme génétique conduit par Guillaume Evanno (INRA) dans le modèle	Amélioration de la continuité écologique totale à la montaison et partielle à la dévalaison (suppression des mortalités à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques)
Localisation précise des sites de déversements pour les années antérieures à 2005 ou à minima identification des grands secteurs de déversements pour chaque année	Modélisation de l'impact potentiel de l'équipement en turbines à Vichy

**Pour 2017 il est finalement décidé de conserver les items suivants :**

- **Sujet visant l'amélioration du modèle :**
  - **L'ajout du mécanisme d'interaction entre les juvéniles déversés et les juvéniles sauvages**
  - **Localisation précise des sites de déversements antérieurs à 2005 (ce sujet est ajouté en toute fin de réunion considérant que les acteurs en charge de ces déversements à l'époque sont tous susceptibles de partir assez prochainement à la retraite)**
- **Sujet visant le développement de nouveaux scénarii de gestion :**
  - **Scénarii autour des différentes stratégies de déversement et en lien avec la zone refuge.**

Il est à noter que le sujet relatif aux déversements est inscrit au programme de travail pour 2017 sous la condition que le groupe que la DREAL réunira en janvier arrive à se mettre d'accord sur quelques scénarii à tester. En l'absence de consensus sur un nombre réduit de scénarii, le sujet qui sera traité en 2017 sera celui relatif à l'amélioration complète de la continuité écologique à la montaison et à la suppression des impacts à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques.

---

## 7 Récapitulation des modifications importantes apportées au modèle depuis 2014

---

Tableau 7.1

<b>2014</b>	Conversion des surfaces productives selon la formule des ERR développée sur l'Allier (Minster&Bomassi, 1999) Prise en compte plus fine des surfaces sous influence des déversements (jusqu'à l'année 2005) Mise à jour des données 2012 et 2013 Développement des projections liées au réaménagement de Poutès (50% d'amélioration et suppression de l'ouvrage)
<b>2015</b>	Différence de fitness entre les juvéniles issus de reproduction naturelle et les juvéniles déversés (bibliographie). Le travail n'a pas conclu sur l'utilité de modifier les hypothèses antérieures du modèle Mise à jour des données 2014 Développement d'un scénario de gestion (simulation à 20 ans) concernant la suppression des impacts à la dévalaison dans les ouvrages hydroélectriques situés dans le secteur du modèle dynamique de population
<b>2016</b>	Ajout d'une quatrième zone dans le modèle en extrayant l'Alagnon du secteur aval du modèle qui comprenait jusque là l'Allier en aval de Langeac + la Dore + l'Alagnon Mise à jour des données 2015

---

## 8 Densités prédites pour un nombre de tacons 0+ capturés en 5 minutes

---

1	A	B	C	D	E	F
2	IA 5 min	Densité pédite 0+/m2 (quantiles)				
3		5%	25%	50%	75%	95%
4	1	0,002	0,007	0,012	0,019	0,036
5	2	0,004	0,012	0,018	0,026	0,046
6	3	0,007	0,016	0,023	0,031	0,053
7	4	0,010	0,021	0,029	0,038	0,060
8	5	0,014	0,026	0,034	0,044	0,069
9	6	0,017	0,030	0,039	0,050	0,076
10	7	0,021	0,035	0,045	0,057	0,083
11	8	0,024	0,040	0,050	0,062	0,090
12	9	0,028	0,044	0,056	0,069	0,097
13	10	0,032	0,049	0,061	0,074	0,103
14	11	0,035	0,054	0,066	0,080	0,111
15	12	0,039	0,059	0,072	0,087	0,118
16	13	0,044	0,064	0,077	0,091	0,127
17	14	0,049	0,069	0,082	0,098	0,132
18	15	0,052	0,074	0,087	0,103	0,138
19	16	0,055	0,078	0,093	0,109	0,146
20	17	0,059	0,084	0,099	0,116	0,153
21	18	0,063	0,089	0,105	0,121	0,159
22	19	0,068	0,094	0,110	0,128	0,167
23	20	0,074	0,099	0,115	0,133	0,172
24	21	0,078	0,104	0,121	0,140	0,180
25	22	0,082	0,109	0,125	0,145	0,186
26	23	0,087	0,115	0,132	0,151	0,192
27	24	0,091	0,120	0,137	0,157	0,199
28	25	0,095	0,124	0,142	0,162	0,206
29	26	0,097	0,129	0,147	0,168	0,212
30	27	0,103	0,135	0,154	0,174	0,220
31	28	0,107	0,139	0,158	0,180	0,227
32	29	0,111	0,145	0,165	0,187	0,232
33	30	0,117	0,150	0,170	0,192	0,240
34	31	0,121	0,154	0,175	0,197	0,244
35	32	0,124	0,159	0,180	0,203	0,251
36	33	0,129	0,165	0,186	0,209	0,258
37	34	0,133	0,169	0,190	0,213	0,261
38	35	0,138	0,174	0,196	0,218	0,266
39	36	0,140	0,180	0,202	0,226	0,278
40	37	0,147	0,185	0,207	0,231	0,281
41	38	0,152	0,192	0,214	0,237	0,288
42	39	0,155	0,195	0,218	0,243	0,294
43	40	0,161	0,200	0,223	0,248	0,302
44	41	0,166	0,206	0,228	0,253	0,309
45	42	0,169	0,209	0,233	0,259	0,313
46	43	0,174	0,215	0,240	0,266	0,323
47	44	0,181	0,221	0,245	0,270	0,326
48	45	0,186	0,227	0,250	0,276	0,332
49	46	0,188	0,231	0,257	0,284	0,343
50	47	0,194	0,238	0,263	0,290	0,345

1	A	B	C	D	E	F
2	IA 5 min	Densité pédite 0+/m2 (quantiles)				
3		5%	25%	50%	75%	95%
40	48	0,198	0,241	0,267	0,294	0,350
41	49	0,203	0,247	0,274	0,301	0,359
42	50	0,206	0,251	0,278	0,305	0,365
43	51	0,213	0,257	0,284	0,312	0,374
44	52	0,215	0,262	0,289	0,319	0,375
45	53	0,223	0,268	0,295	0,323	0,384
46	54	0,227	0,273	0,300	0,329	0,390
47	55	0,230	0,277	0,306	0,334	0,396
48	56	0,235	0,282	0,309	0,339	0,401
49	57	0,238	0,287	0,316	0,346	0,409
50	58	0,246	0,294	0,322	0,352	0,412
51	59	0,246	0,297	0,327	0,357	0,421
52	60	0,251	0,304	0,332	0,363	0,427
53	61	0,260	0,310	0,338	0,369	0,431
54	62	0,264	0,315	0,343	0,373	0,439
55	63	0,269	0,318	0,347	0,378	0,444
56	64	0,274	0,325	0,354	0,386	0,453
57	65	0,276	0,329	0,359	0,391	0,458
58	66	0,279	0,334	0,364	0,395	0,461
59	67	0,287	0,340	0,371	0,403	0,467
60	68	0,292	0,344	0,376	0,409	0,476
61	69	0,294	0,350	0,382	0,415	0,484
62	70	0,300	0,356	0,387	0,419	0,489
63	71	0,305	0,360	0,391	0,425	0,491
64	72	0,311	0,364	0,396	0,430	0,499
65	73	0,315	0,372	0,403	0,438	0,508
66	74	0,320	0,375	0,408	0,442	0,512
67	75	0,326	0,381	0,413	0,447	0,521
68	76	0,330	0,387	0,419	0,453	0,528
69	77	0,334	0,391	0,424	0,458	0,528
70	78	0,338	0,397	0,430	0,465	0,535
71	79	0,343	0,401	0,434	0,471	0,544
72	80	0,348	0,407	0,441	0,476	0,554
73	81	0,355	0,411	0,445	0,482	0,556
74	82	0,358	0,419	0,451	0,487	0,560
75	83	0,361	0,422	0,457	0,494	0,569
76	84	0,362	0,427	0,461	0,498	0,574
77	85	0,372	0,434	0,469	0,505	0,581
78	86	0,377	0,438	0,472	0,508	0,584
79	87	0,380	0,443	0,477	0,515	0,591
80	88	0,385	0,448	0,482	0,520	0,598
81	89	0,391	0,453	0,489	0,527	0,603
82	90	0,397	0,460	0,496	0,533	0,612
83	91	0,400	0,464	0,500	0,537	0,616
84	92	0,406	0,470	0,506	0,545	0,623
85	93	0,408	0,474	0,510	0,550	0,626
86	94	0,415	0,480	0,518	0,557	0,633

1	A	B	C	D	E	F
2	IA 5 min	Densité pédite 0+/m2 (quantiles)				
3		5%	25%	50%	75%	95%
97	95	0,420	0,486	0,524	0,562	0,643
98	96	0,426	0,490	0,526	0,566	0,643
99	97	0,428	0,496	0,534	0,574	0,650
100	98	0,432	0,499	0,538	0,577	0,658
101	99	0,439	0,505	0,542	0,583	0,661
102	100	0,445	0,512	0,550	0,589	0,671
103	101	0,451	0,515	0,554	0,596	0,680
104	102	0,451	0,521	0,560	0,600	0,684
105	103	0,457	0,526	0,565	0,607	0,693
106	104	0,465	0,532	0,570	0,612	0,700
107	105	0,468	0,536	0,575	0,614	0,701
108	106	0,473	0,542	0,582	0,622	0,707
109	107	0,476	0,547	0,588	0,629	0,718
110	108	0,480	0,552	0,592	0,634	0,718
111	109	0,488	0,559	0,599	0,641	0,728
112	110	0,495	0,563	0,602	0,645	0,730
113	111	0,500	0,566	0,608	0,650	0,734
114	112	0,501	0,573	0,614	0,656	0,744
115	113	0,506	0,578	0,620	0,662	0,749
116	114	0,511	0,584	0,624	0,667	0,755
117	115	0,514	0,589	0,630	0,672	0,757
118	116	0,518	0,594	0,635	0,680	0,773
119	117	0,526	0,599	0,638	0,681	0,770
120	118	0,532	0,604	0,647	0,692	0,782
121	119	0,537	0,611	0,651	0,696	0,781
122	120	0,539	0,614	0,657	0,701	0,791
123	121	0,547	0,619	0,663	0,708	0,796
124	122	0,553	0,626	0,669	0,714	0,802
125	123	0,551	0,628	0,670	0,716	0,808
126	124	0,560	0,636	0,678	0,724	0,819
127	125	0,562	0,643	0,686	0,732	0,822
128	126	0,570	0,646	0,689	0,734	0,825
129	127	0,577	0,652	0,697	0,743	0,838
130	128	0,577	0,655	0,699	0,744	0,839
131	129	0,584	0,662	0,706	0,753	0,849
132	130	0,589	0,667	0,713	0,757	0,848
133	131	0,597	0,673	0,718	0,764	0,854
134	132	0,596	0,677	0,721	0,770	0,864
135	133	0,605	0,682	0,726	0,774	0,868
136	134	0,609	0,688	0,734	0,780	0,883
137	135	0,613	0,693	0,737	0,783	0,878
138	136	0,622	0,697	0,743	0,791	0,890
139	137	0,624	0,701	0,747	0,793	0,895
140	138	0,630	0,710	0,755	0,802	0,905
141	139	0,636	0,713	0,759	0,810	0,911
142	140	0,640	0,720	0,765	0,812	0,911
143	141	0,646	0,725	0,772	0,819	0,916

1	A	B	C	D	E	F
2	IA 5 min	Densité pédite 0+/m2 (quantiles)				
3		5%	25%	50%	75%	95%
144	142	0,645	0,730	0,775	0,823	0,924
145	143	0,654	0,736	0,782	0,831	0,931
146	144	0,657	0,742	0,787	0,837	0,935
147	145	0,663	0,747	0,795	0,842	0,942
148	146	0,664	0,750	0,798	0,848	0,946
149	147	0,673	0,755	0,802	0,853	0,956
150	148	0,681	0,762	0,810	0,859	0,963
151	149	0,682	0,768	0,814	0,862	0,966
152	150	0,684	0,770	0,820	0,870	0,969
153	151	0,690	0,777	0,824	0,872	0,982
154	152	0,696	0,783	0,831	0,883	0,981
155	153	0,704	0,788	0,838	0,887	0,986
156	154	0,706	0,796	0,844	0,893	0,998
157	155	0,712	0,799	0,846	0,898	1,002
158	156	0,722	0,805	0,854	0,906	1,012
159	157	0,718	0,809	0,857	0,908	1,017
160	158	0,724	0,814	0,865	0,917	1,023
161	159	0,730	0,820	0,870	0,921	1,031
162	160	0,736	0,824	0,874	0,927	1,035
163	161	0,743	0,829	0,878	0,932	1,041
164	162	0,747	0,833	0,883	0,937	1,047
165	163	0,752	0,840	0,889	0,942	1,052
166	164	0,757	0,846	0,896	0,949	1,056
167	165	0,760	0,850	0,901	0,953	1,060
168	166	0,763	0,856	0,906	0,	

	A	B	C	D	E	F
1	IA 5 min	Densité pèdite 0+/m2 (quantiles)				
2		5%	25%	50%	75%	95%
191	189	0,877	0,976	1,030	1,088	1,199
192	190	0,884	0,982	1,038	1,094	1,211
193	191	0,892	0,987	1,042	1,099	1,219
194	192	0,895	0,990	1,046	1,104	1,225
195	193	0,897	0,999	1,053	1,111	1,232
196	194	0,906	1,005	1,059	1,115	1,237
197	195	0,902	1,007	1,066	1,123	1,248
198	196	0,911	1,013	1,070	1,128	1,254
199	197	0,919	1,019	1,074	1,134	1,254
200	198	0,923	1,020	1,078	1,138	1,261
201	199	0,925	1,028	1,083	1,142	1,267
202	200	0,934	1,032	1,088	1,148	1,275
203	201	0,940	1,041	1,098	1,158	1,285
204	202	0,942	1,041	1,102	1,162	1,280
205	203	0,952	1,049	1,107	1,170	1,291
206	204	0,953	1,055	1,111	1,172	1,294
207	205	0,953	1,060	1,118	1,178	1,299
208	206	0,965	1,064	1,121	1,184	1,300
209	207	0,967	1,070	1,130	1,191	1,308
210	208	0,974	1,077	1,135	1,195	1,319
211	209	0,975	1,081	1,138	1,201	1,324
212	210	0,980	1,087	1,146	1,206	1,338
213	211	0,987	1,091	1,151	1,212	1,333
214	212	0,988	1,096	1,154	1,215	1,338
215	213	0,999	1,103	1,161	1,224	1,348
216	214	0,999	1,107	1,167	1,229	1,353
217	215	1,006	1,114	1,172	1,232	1,359
218	216	1,009	1,116	1,176	1,241	1,364
219	217	1,018	1,124	1,185	1,247	1,374
220	218	1,018	1,130	1,188	1,248	1,375
221	219	1,025	1,134	1,195	1,258	1,384
222	220	1,032	1,138	1,202	1,261	1,391
223	221	1,035	1,142	1,205	1,267	1,398
224	222	1,037	1,147	1,209	1,274	1,398
225	223	1,049	1,155	1,215	1,280	1,411
226	224	1,050	1,160	1,221	1,283	1,409
227	225	1,054	1,166	1,226	1,291	1,421
228	226	1,058	1,170	1,233	1,294	1,419
229	227	1,067	1,174	1,234	1,297	1,436
230	228	1,070	1,182	1,244	1,309	1,438
231	229	1,073	1,185	1,247	1,312	1,448
232	230	1,082	1,192	1,254	1,320	1,446
233	231	1,090	1,195	1,260	1,323	1,455
234	232	1,092	1,204	1,265	1,330	1,456
235	233	1,096	1,207	1,269	1,335	1,467
236	234	1,100	1,213	1,274	1,339	1,472
237	235	1,110	1,217	1,282	1,348	1,477

	A	B	C	D	E	F
1	IA 5 min	Densité pèdite 0+/m2 (quantiles)				
2		5%	25%	50%	75%	95%
238	236	1,113	1,221	1,286	1,351	1,477
239	237	1,112	1,228	1,292	1,355	1,496
240	238	1,124	1,234	1,298	1,363	1,498
241	239	1,124	1,240	1,302	1,368	1,504
242	240	1,129	1,244	1,308	1,374	1,502
243	241	1,138	1,249	1,313	1,379	1,511
244	242	1,134	1,253	1,318	1,385	1,523
245	243	1,144	1,262	1,326	1,391	1,527
246	244	1,146	1,263	1,327	1,396	1,532
247	245	1,154	1,274	1,339	1,404	1,541
248	246	1,154	1,276	1,341	1,408	1,545
249	247	1,166	1,279	1,343	1,415	1,553
250	248	1,165	1,285	1,351	1,417	1,552
251	249	1,180	1,293	1,359	1,424	1,565
252	250	1,177	1,299	1,362	1,428	1,555
253	251	1,184	1,302	1,365	1,431	1,568
254	252	1,189	1,308	1,373	1,441	1,587
255	253	1,196	1,314	1,378	1,447	1,587
256	254	1,200	1,319	1,384	1,452	1,592
257	255	1,206	1,321	1,389	1,458	1,599
258	256	1,209	1,331	1,396	1,462	1,607
259	257	1,213	1,330	1,396	1,468	1,611
260	258	1,222	1,340	1,405	1,473	1,614
261	259	1,223	1,342	1,410	1,478	1,619
262	260	1,231	1,347	1,413	1,481	1,627
263	261	1,233	1,354	1,421	1,490	1,634
264	262	1,247	1,360	1,427	1,496	1,643
265	263	1,244	1,367	1,433	1,503	1,648
266	264	1,247	1,368	1,436	1,506	1,648
267	265	1,249	1,372	1,439	1,512	1,658
268	266	1,257	1,384	1,450	1,518	1,664
269	267	1,260	1,385	1,454	1,525	1,663
270	268	1,263	1,392	1,463	1,531	1,675
271	269	1,271	1,399	1,465	1,537	1,688
272	270	1,275	1,402	1,470	1,543	1,692
273	271	1,287	1,408	1,473	1,547	1,694
274	272	1,286	1,410	1,480	1,551	1,694
275	273	1,294	1,415	1,486	1,558	1,707
276	274	1,298	1,423	1,494	1,567	1,711
277	275	1,305	1,425	1,498	1,571	1,722
278	276	1,307	1,433	1,503	1,574	1,719
279	277	1,317	1,443	1,510	1,583	1,734
280	278	1,321	1,444	1,514	1,584	1,727
281	279	1,323	1,448	1,517	1,592	1,740
282	280	1,325	1,454	1,524	1,596	1,743
283	281	1,343	1,459	1,526	1,600	1,750
284	282	1,343	1,465	1,535	1,607	1,759

	A	B	C	D	E	F
1	IA 5 min	Densité pèdite 0+/m2 (quantiles)				
2		5%	25%	50%	75%	95%
285	283	1,338	1,470	1,538	1,615	1,764
286	284	1,348	1,476	1,546	1,619	1,767
287	285	1,350	1,478	1,552	1,626	1,780
288	286	1,364	1,486	1,558	1,630	1,780
289	287	1,365	1,494	1,565	1,636	1,792
290	288	1,369	1,493	1,566	1,639	1,787
291	289	1,374	1,501	1,570	1,643	1,802
292	290	1,379	1,506	1,581	1,656	1,805
293	291	1,386	1,515	1,585	1,663	1,818
294	292	1,389	1,518	1,591	1,666	1,809
295	293	1,395	1,523	1,597	1,672	1,822
296	294	1,396	1,525	1,597	1,677	1,832
297	295	1,402	1,536	1,607	1,685	1,829
298	296	1,409	1,540	1,615	1,687	1,840
299	297	1,412	1,544	1,616	1,691	1,845
300	298	1,419	1,547	1,621	1,698	1,844
301	299	1,424	1,556	1,626	1,702	1,861
302	300	1,427	1,563	1,636	1,708	1,865

---

## 9 Présentation des paramètres estimés par le modèle

---

# Sortie des paramètres Openbugs - Modèle 2016\_12\_19\_4zones

marion.legrand  
13 septembre 2017

## 1 sigma\_juv\_moy

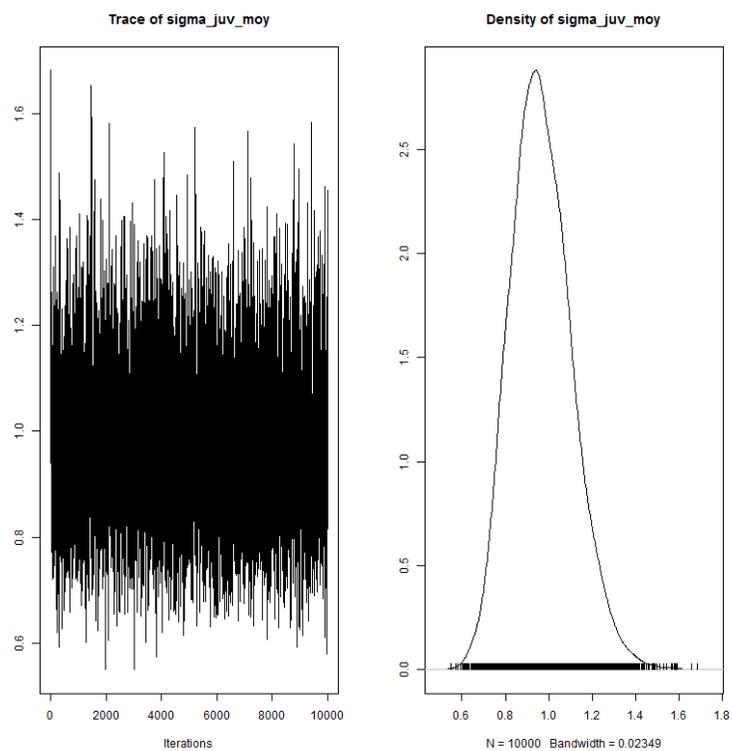


FIGURE 1 – sigma\_juv\_moy

TABLE 1 – Statistiques de sigma\_juv

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.72	0.87	0.96	1.06	1.27	0.97	0.14

## 2 sigma\_wild\_moy

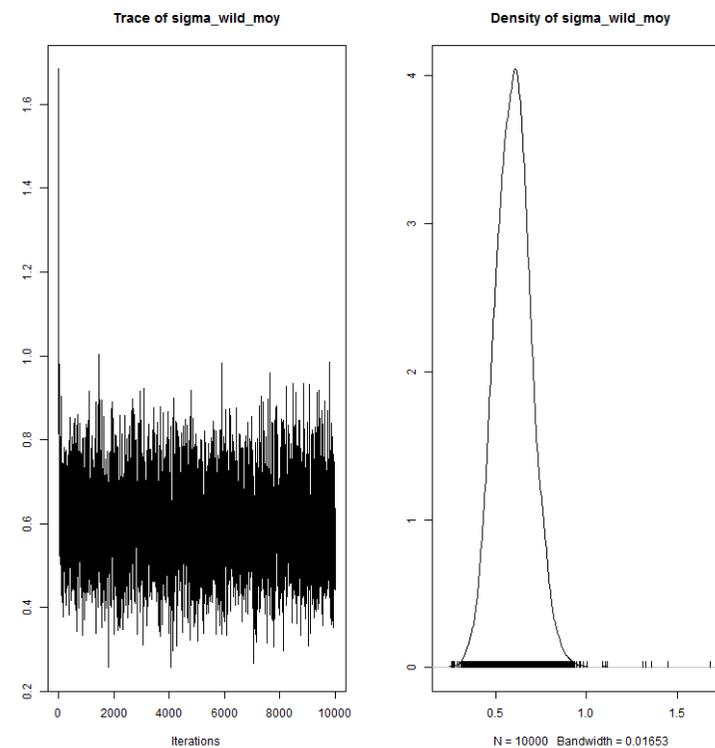


FIGURE 2 – sigma\_wild\_moy

TABLE 2 – Statistiques de sigma\_wild

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.41	0.53	0.60	0.66	0.80	0.60	0.10

### 3 sigma\_egg\_moy

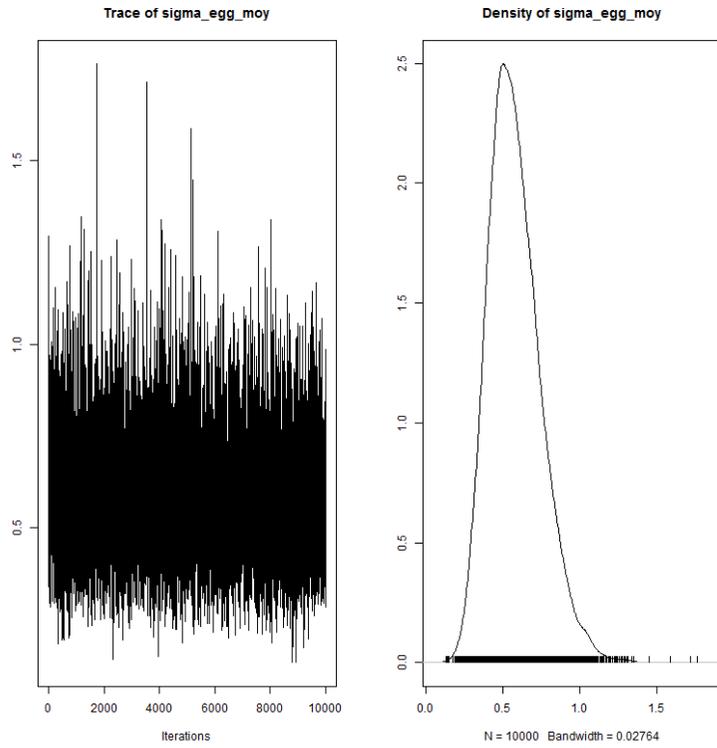


FIGURE 3 – sigma\_egg\_moy

TABLE 3 – Statistiques de sigma\_egg

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.30	0.46	0.56	0.68	0.95	0.58	0.17

### 4 nu\_wild

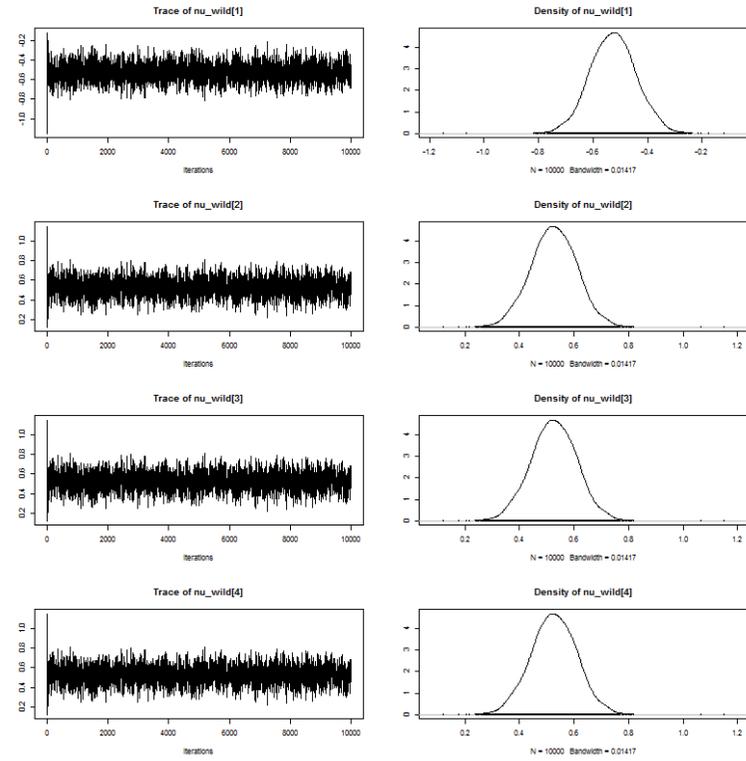


FIGURE 4 – nu\_wild

TABLE 4 – Statistiques de nu\_d

	2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
nu_wild_V	-0.69	-0.58	-0.53	-0.47	-0.36	-0.53	0.08
nu_wild_A	0.36	0.47	0.53	0.58	0.69	0.53	0.08
nu_wild_L	0.36	0.47	0.53	0.58	0.69	0.53	0.08
nu_wild_P	0.36	0.47	0.53	0.58	0.69	0.53	0.08

5 a

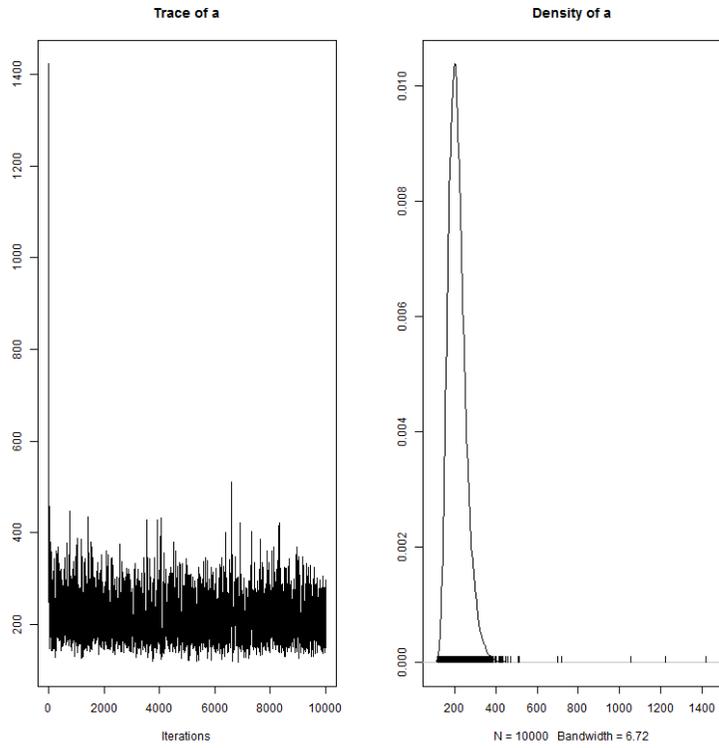


FIGURE 5 – a

TABLE 5 – Statistiques de a

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
146.80	181.60	205.80	235.20	312.10	212.37	46.96

6 a\_juv

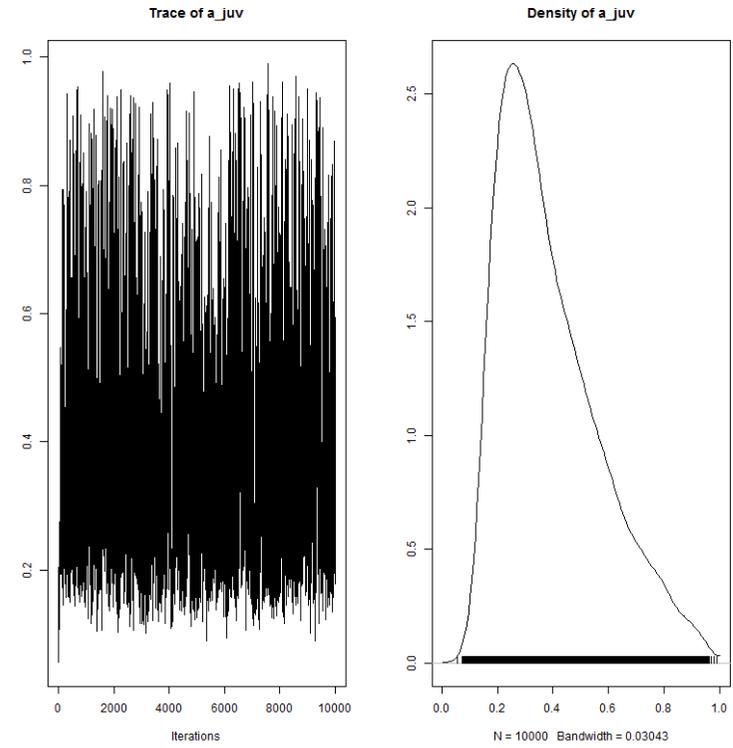


FIGURE 6 – a\_juv

TABLE 6 – Statistiques de a\_juv

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.15	0.25	0.35	0.50	0.82	0.39	0.18

## 7 Rmax

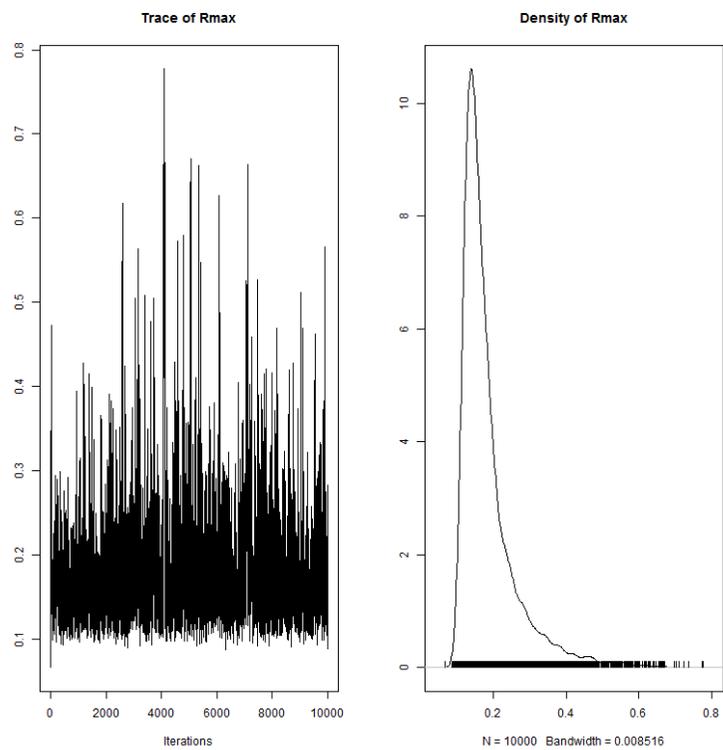


FIGURE 7 – Rmax

TABLE 7 – Statistiques de Rmax

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.11	0.13	0.16	0.20	0.42	0.18	0.08

## 8 sigma\_juv\_site

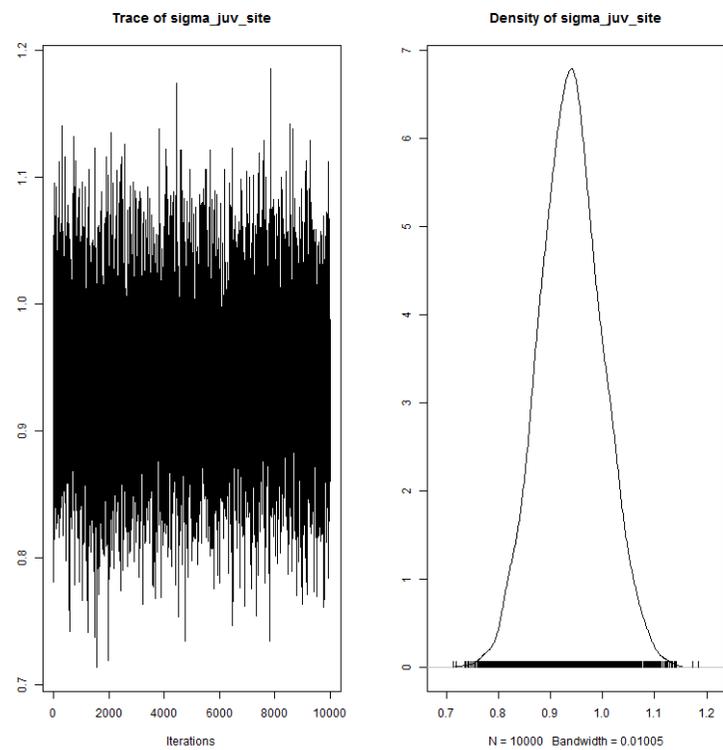


FIGURE 8 – sigma\_juv\_site

TABLE 8 – Statistiques de sigma\_juv\_site

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.82	0.90	0.94	0.98	1.06	0.94	0.06

## 9 sigma\_wild\_site

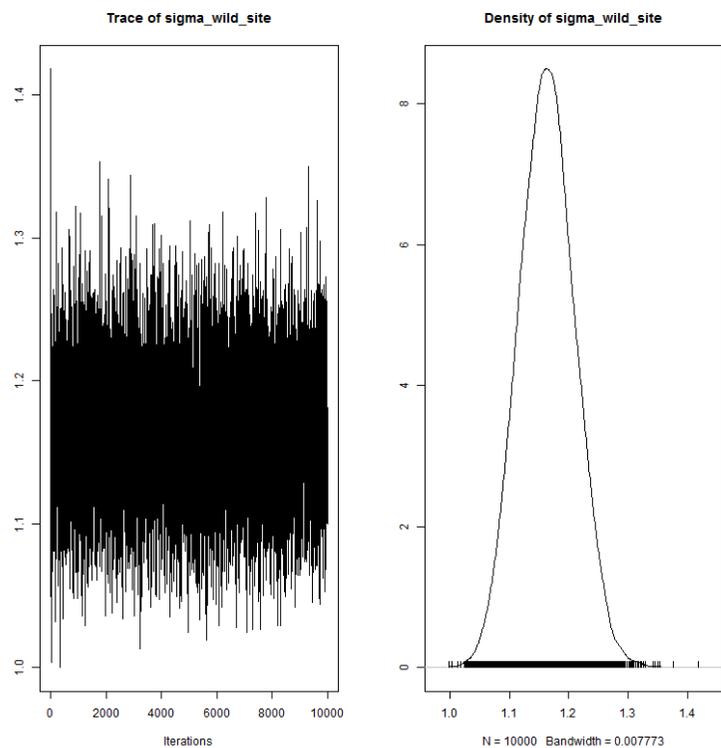


FIGURE 9 – sigma\_wild\_site

TABLE 9 – Statistiques de sigma\_wild\_site

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
1.07	1.13	1.16	1.19	1.26	1.16	0.05

## 10 sigma\_egg\_site

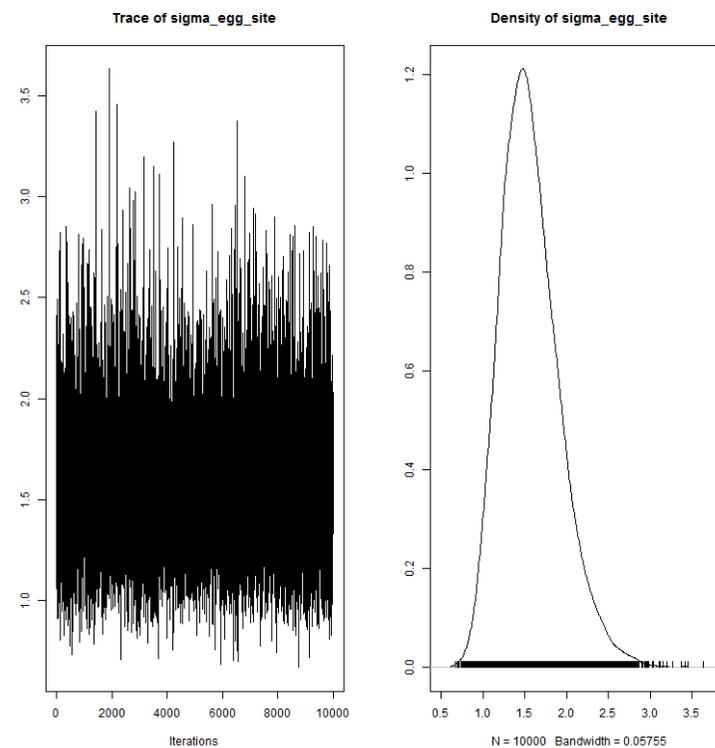


FIGURE 10 – sigma\_egg\_site

TABLE 10 – Statistiques de sigma\_egg\_site

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.99	1.31	1.53	1.77	2.38	1.57	0.35

## 11 adjust\_p\_A

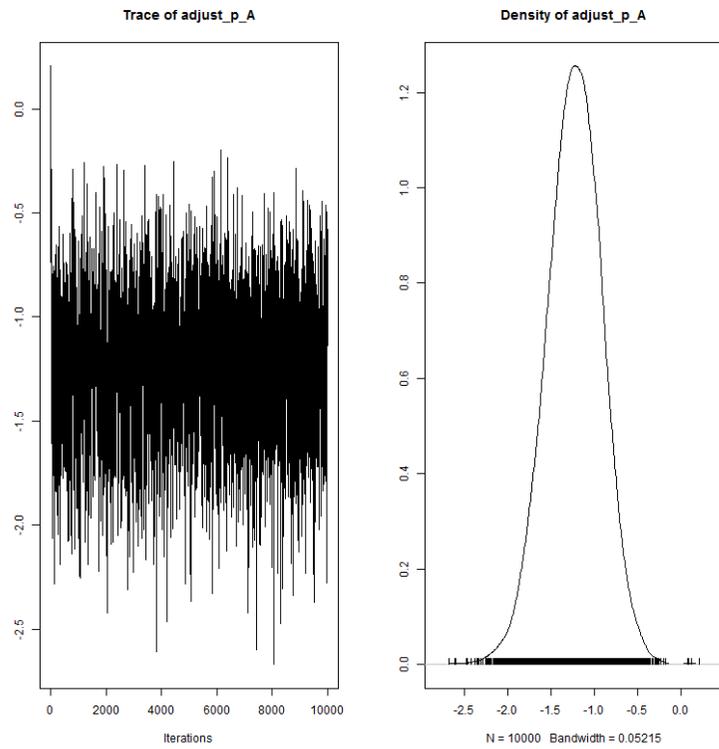


FIGURE 11 – adjust\_p\_A

TABLE 11 – Statistiques de adjust\_p\_A

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
-1.86	-1.43	-1.22	-1.02	-0.63	-1.23	0.32

## 12 adjust\_p\_L

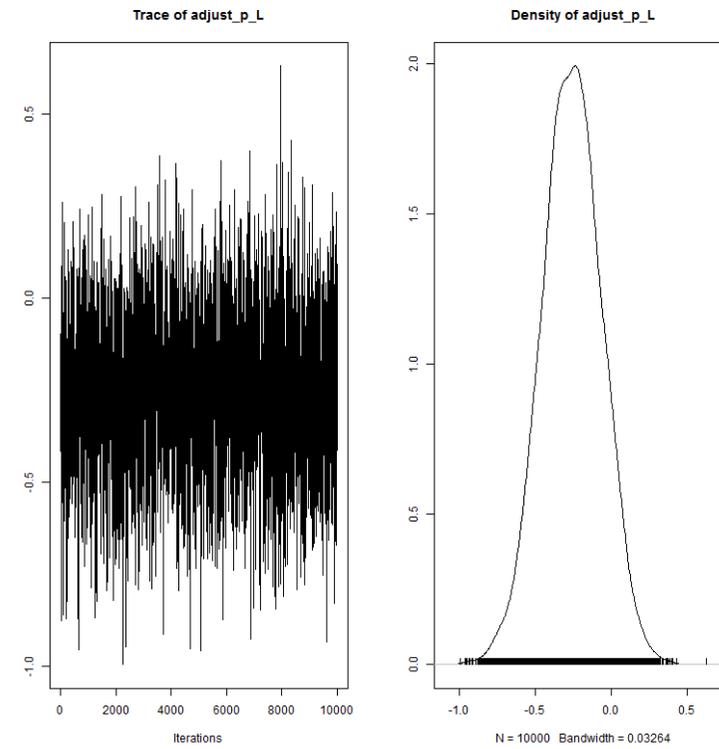


FIGURE 12 – adjust\_p\_L

TABLE 12 – Statistiques de adjust\_p\_L

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
-0.65	-0.39	-0.26	-0.13	0.12	-0.26	0.20

### 13 adjust\_p\_P

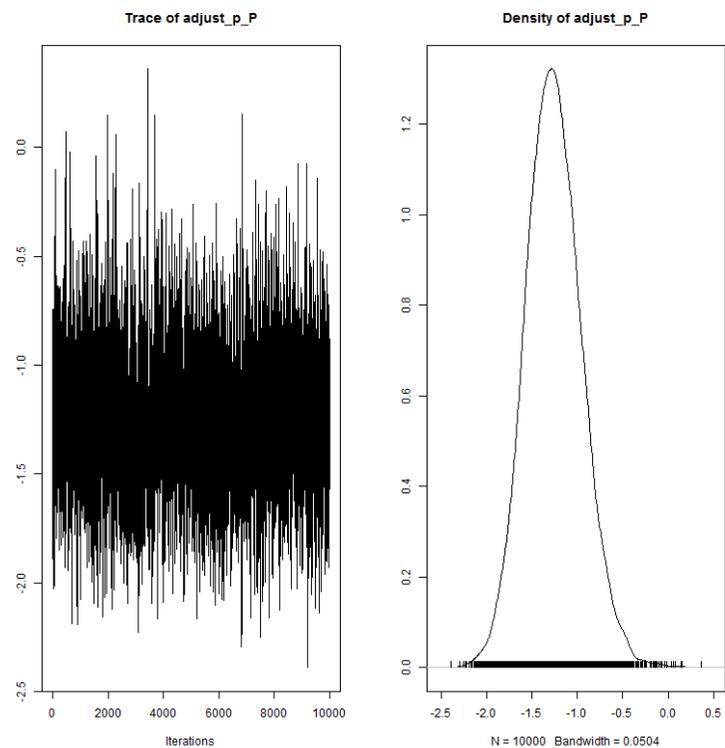


FIGURE 13 – adjust\_p\_P

TABLE 13 – Statistiques de adjust\_p\_P

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
-1.83	-1.46	-1.27	-1.06	-0.63	-1.26	0.31

### 14 sigma\_p\_alagnon

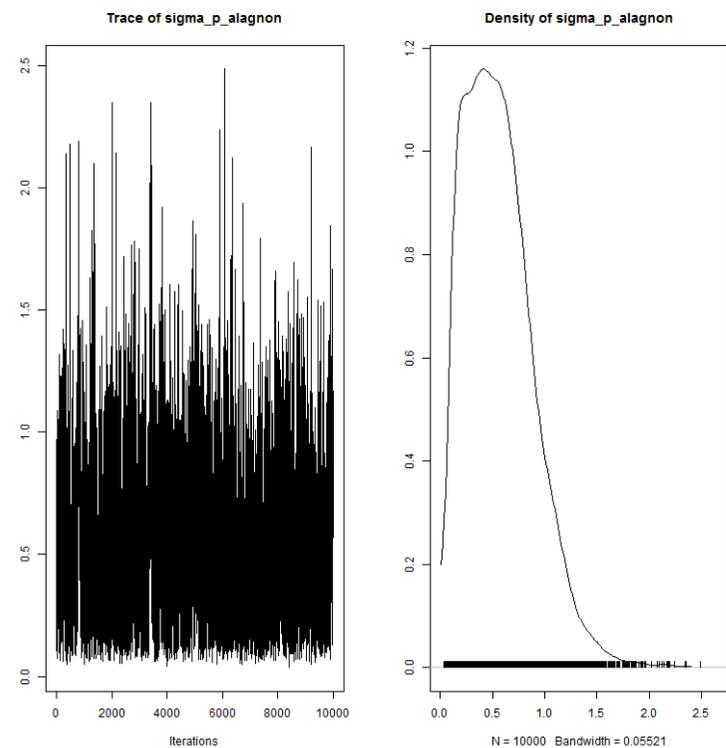


FIGURE 14 – sigma\_p\_alagnon

TABLE 14 – Statistiques de sigma\_p\_alagnon

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.10	0.31	0.52	0.76	1.30	0.56	0.33

15 sigma\_p\_langeac

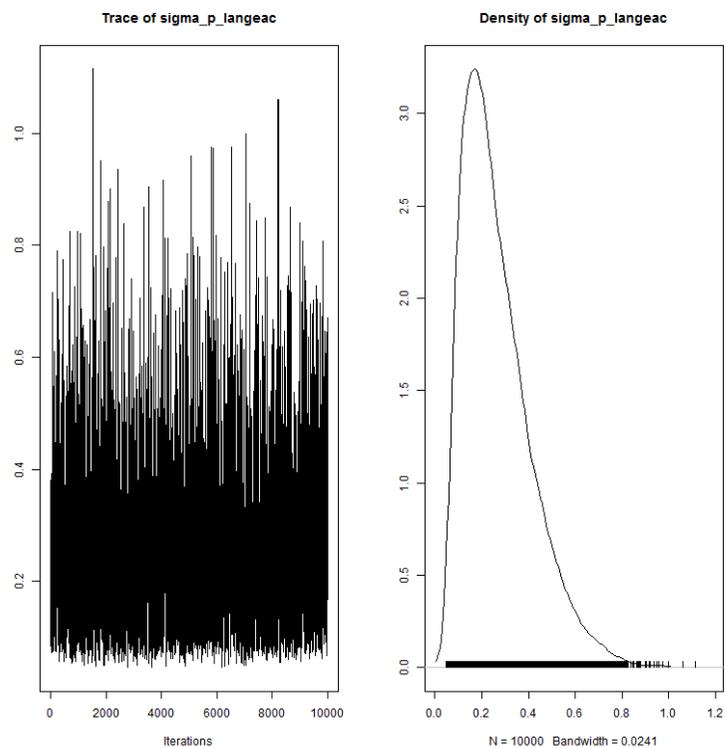


FIGURE 15 – sigma\_p\_langeac

TABLE 15 – Statistiques de sigma\_p\_langeac

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.08	0.15	0.23	0.35	0.63	0.27	0.15

16 sigma\_p\_poutes

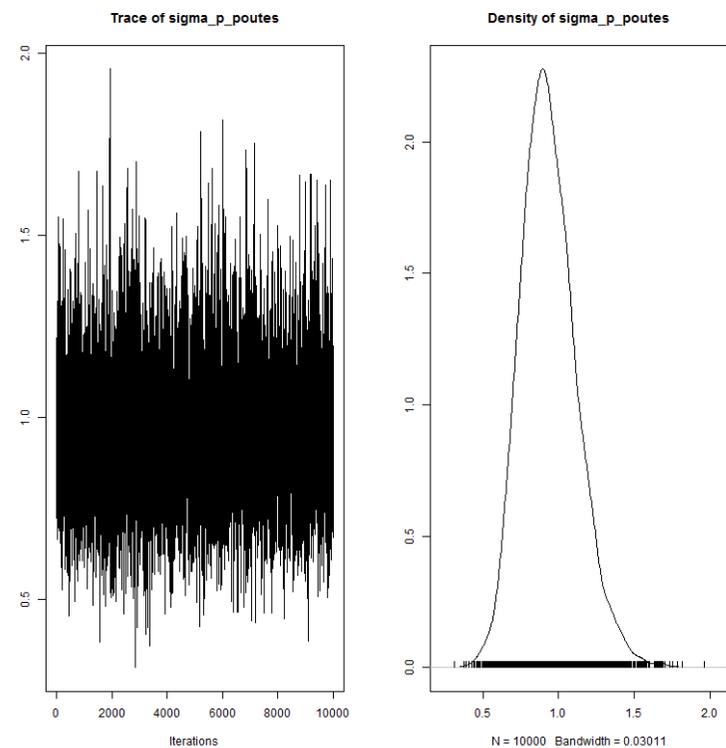


FIGURE 16 – sigma\_p\_poutes

TABLE 16 – Statistiques de sigma\_p\_poutes

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.62	0.81	0.92	1.05	1.34	0.94	0.18

## 17 rho\_station

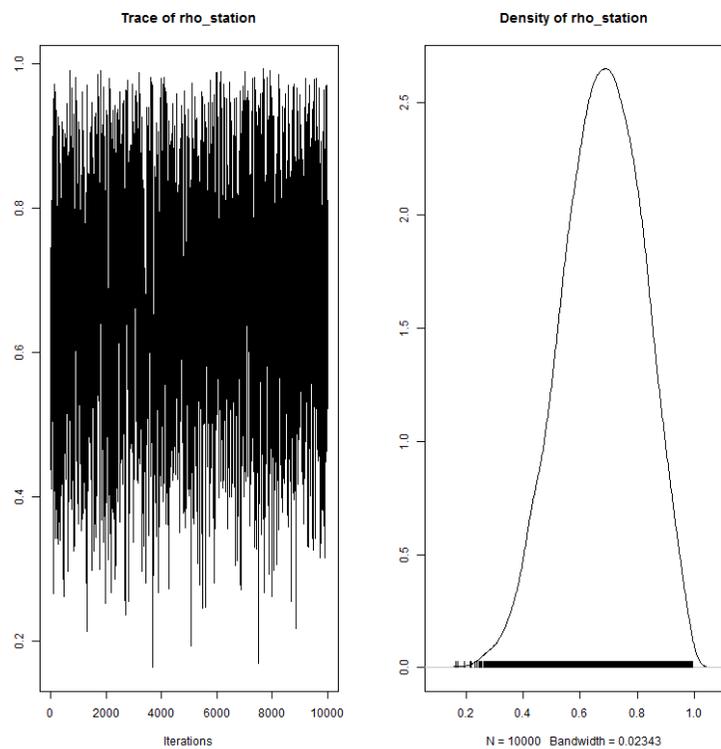


FIGURE 17 – rho\_station

TABLE 17 – Statistiques de rho\_station

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.40	0.58	0.68	0.78	0.93	0.68	0.14

## 18 heLeffect

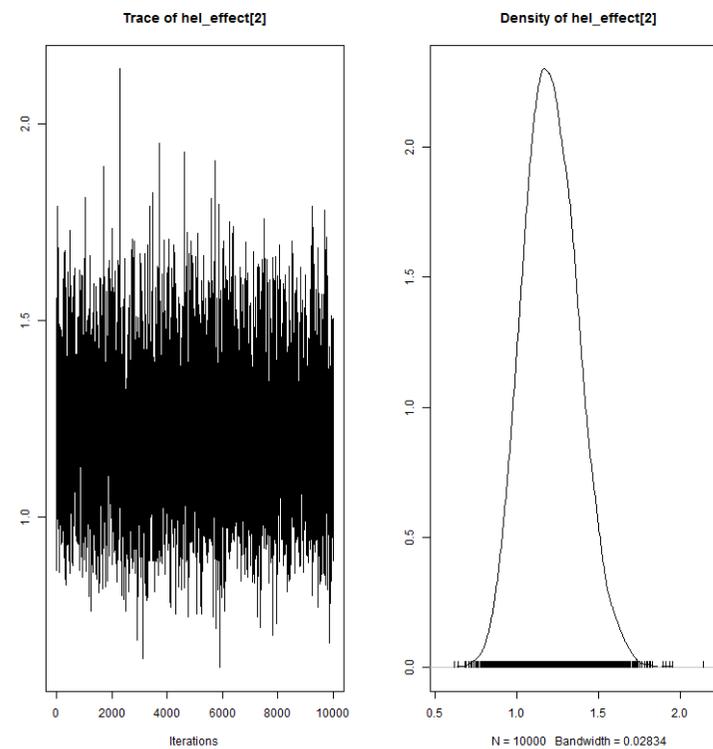


FIGURE 18 – heLeffect

TABLE 18 – Statistiques de heLeffect

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.90	1.09	1.20	1.32	1.56	1.21	0.17

## 19 mu\_tau

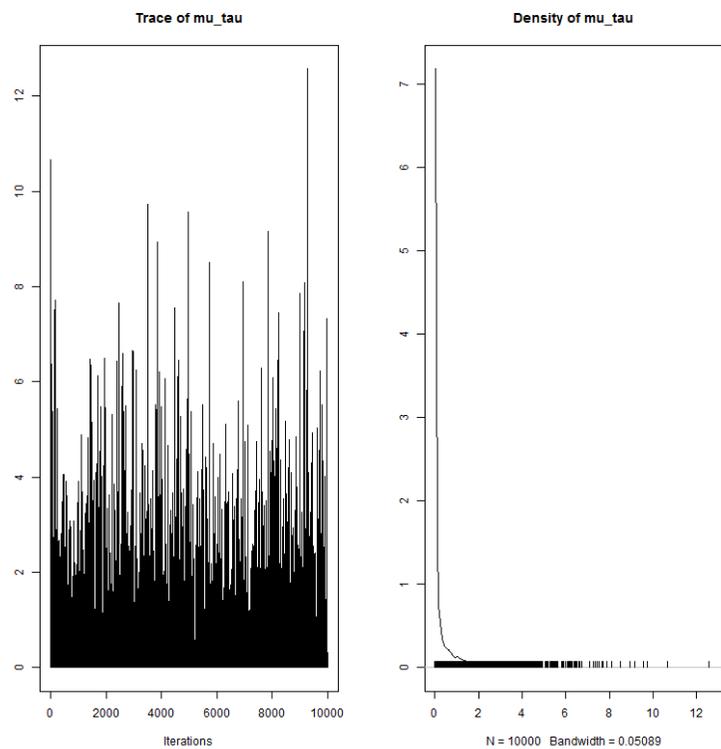


FIGURE 19 – mu\_tau

TABLE 19 – Statistiques de mu\_tau

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.000002	0.000654	0.032860	0.406600	3.223200	0.431616	0.925831

## 20 beta\_tau

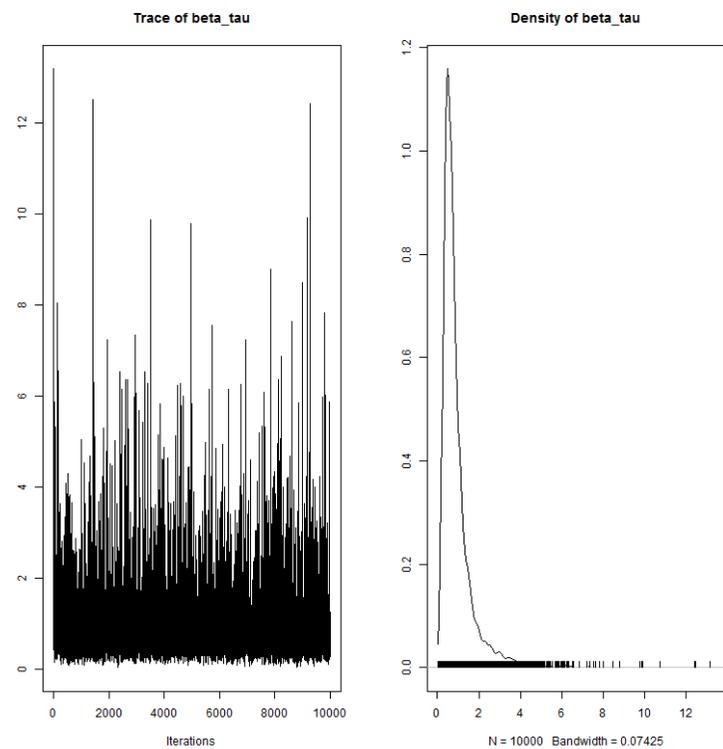


FIGURE 20 – beta\_tau

TABLE 20 – Statistiques de beta\_tau

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.21	0.46	0.68	1.05	3.24	0.92	0.84

21 s\_juv2ad

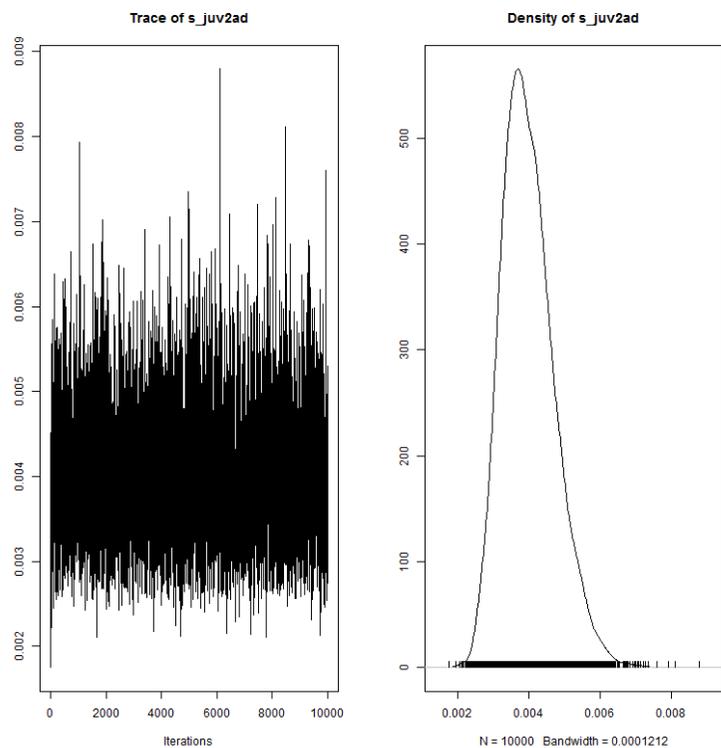


FIGURE 21 – s\_juv2ad

TABLE 21 – Statistiques de s\_juv2ad

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.0028	0.0035	0.0039	0.0044	0.0056	0.0040	0.0007

22 level\_s

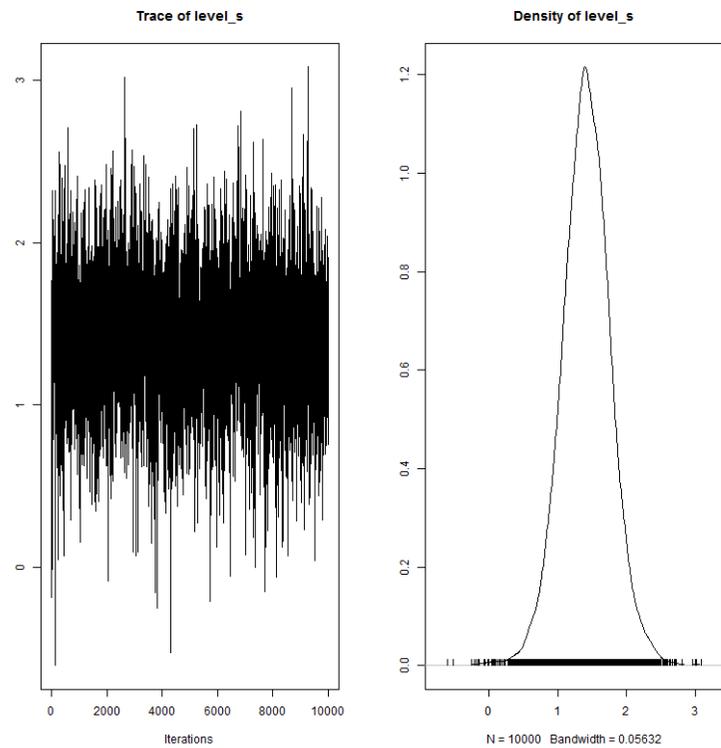


FIGURE 22 – level\_s

TABLE 22 – Statistiques de level\_s

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.70	1.19	1.41	1.64	2.13	1.41	0.36

23 rho\_poutes

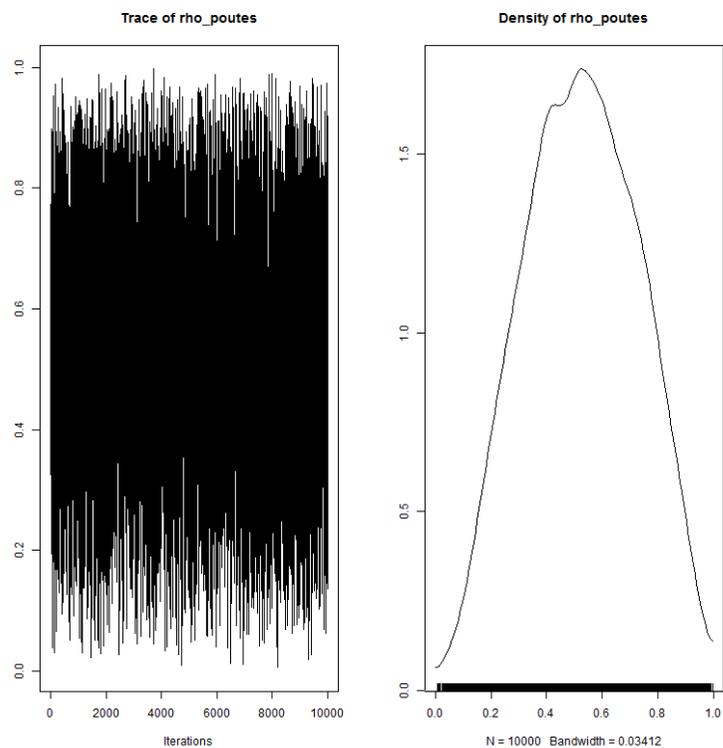


FIGURE 23 – rho\_poutes

TABLE 23 – Statistiques de rho\_poutes

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.14	0.37	0.52	0.68	0.90	0.52	0.20

24 sigma\_vichy

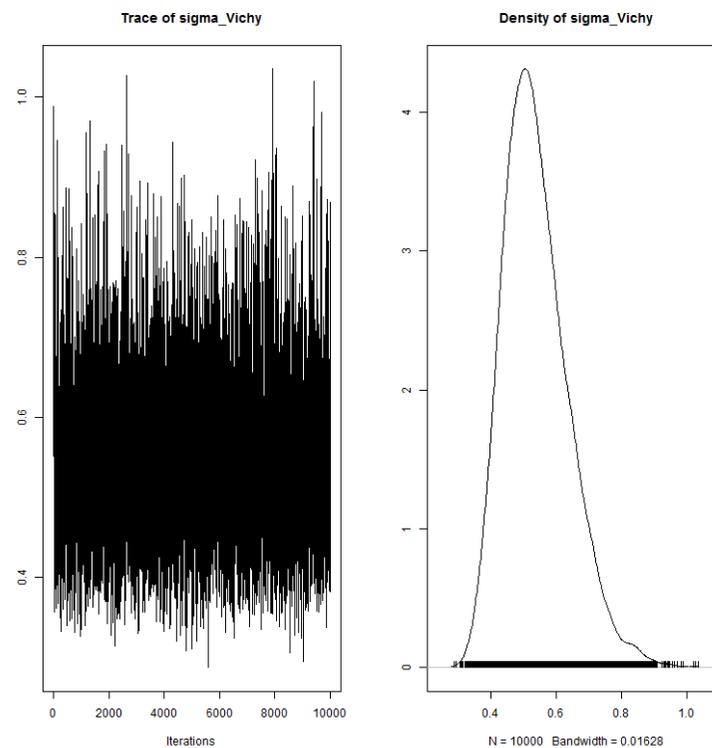


FIGURE 24 – sigma\_vichy

TABLE 24 – Statistiques de sigma\_vichy

2.5%	25%	50%	75%	97.5%	Mean	SD
0.38	0.47	0.53	0.60	0.76	0.54	0.10

25 res\_p\_alagnon

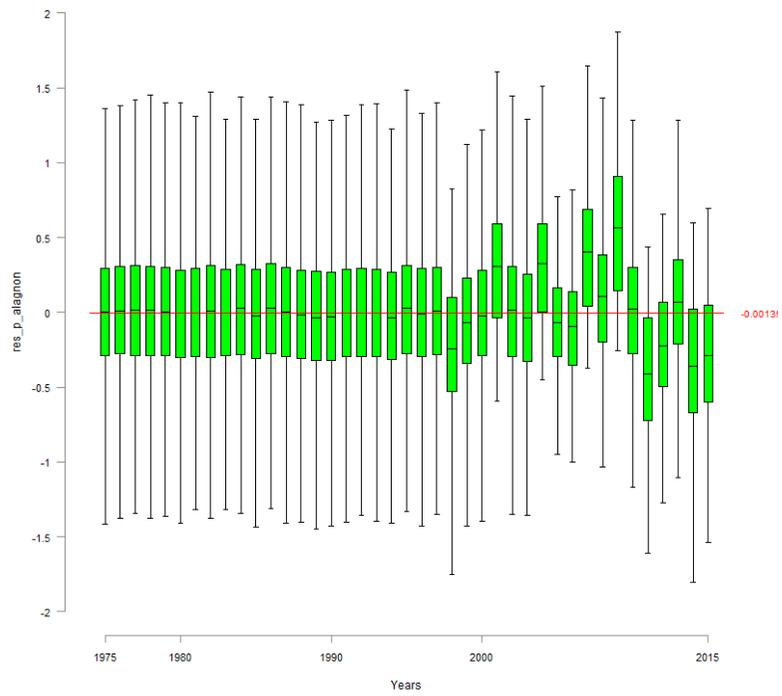


FIGURE 25 – res\_p\_alagnon

26 res\_p\_langeac

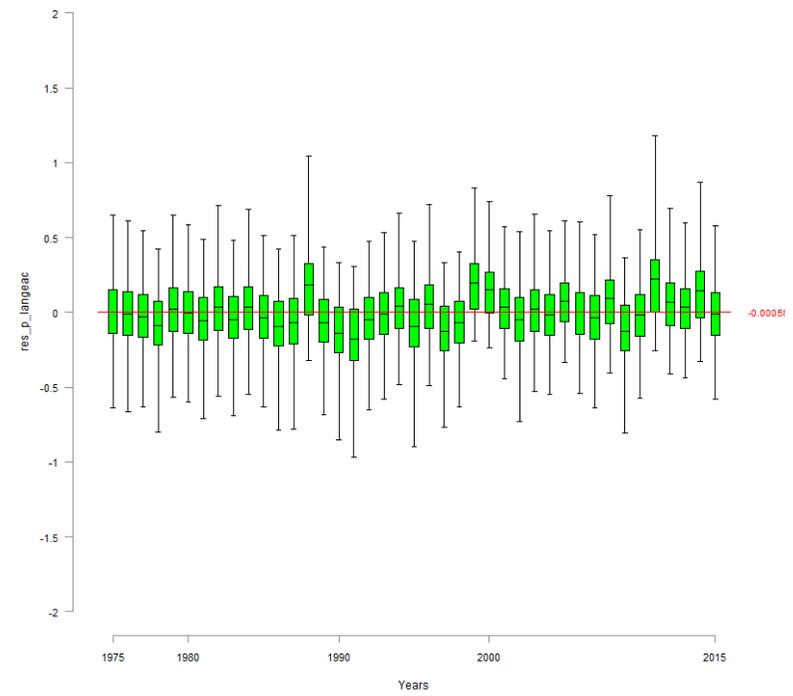


FIGURE 26 – res\_p\_langeac

27 res\_p\_poutes

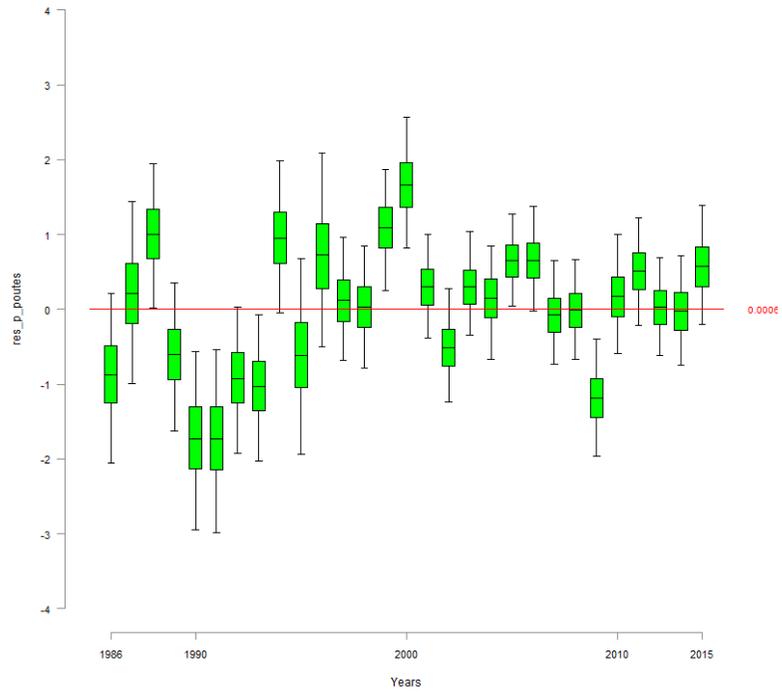


FIGURE 27 – res.p.poutes

28 res\_vichy

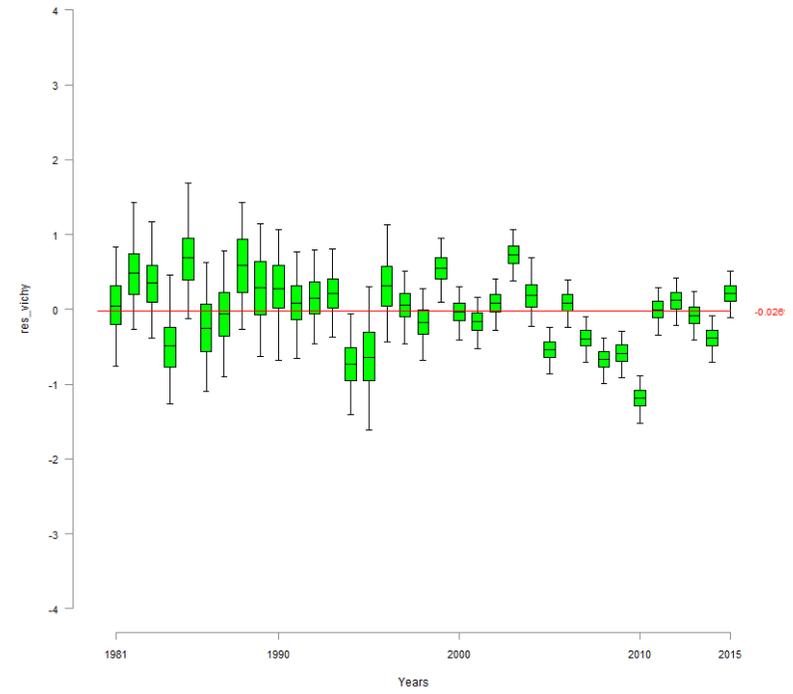


FIGURE 28 – res.vichy

## 29 zone\_effect

### 29.1 zone\_effect\_Vichy

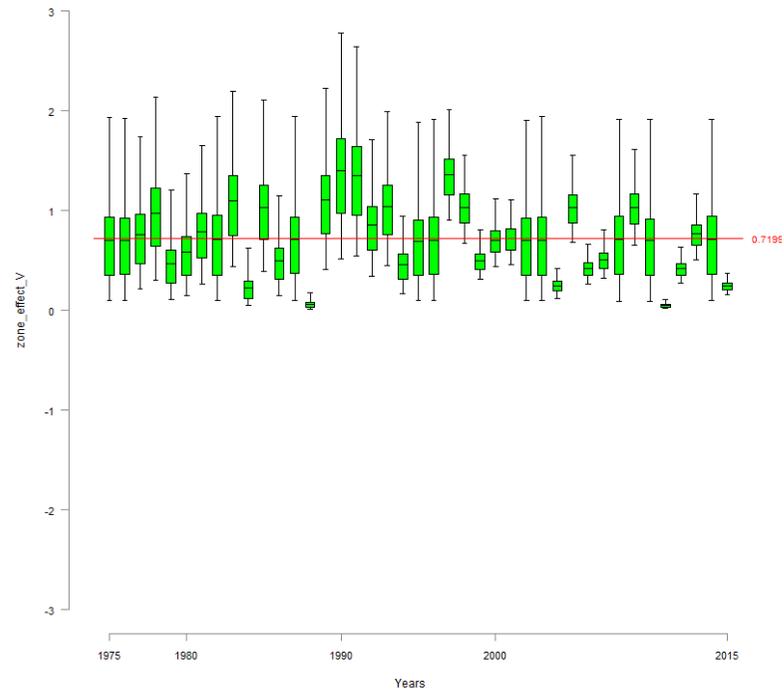


FIGURE 29 – zone\_effect\_V

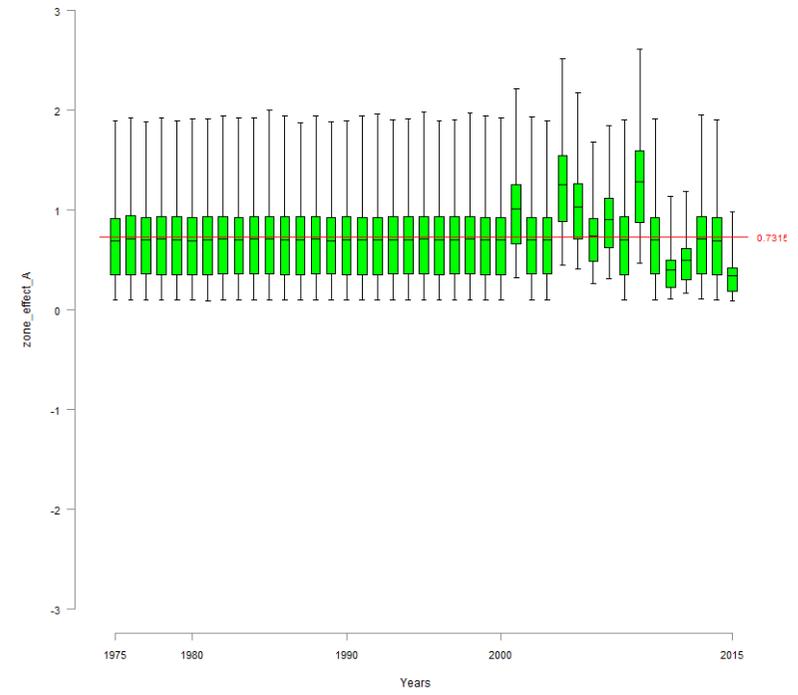


FIGURE 30 – zone\_effect\_A

## 29.2 zone\_effect\_Langeac

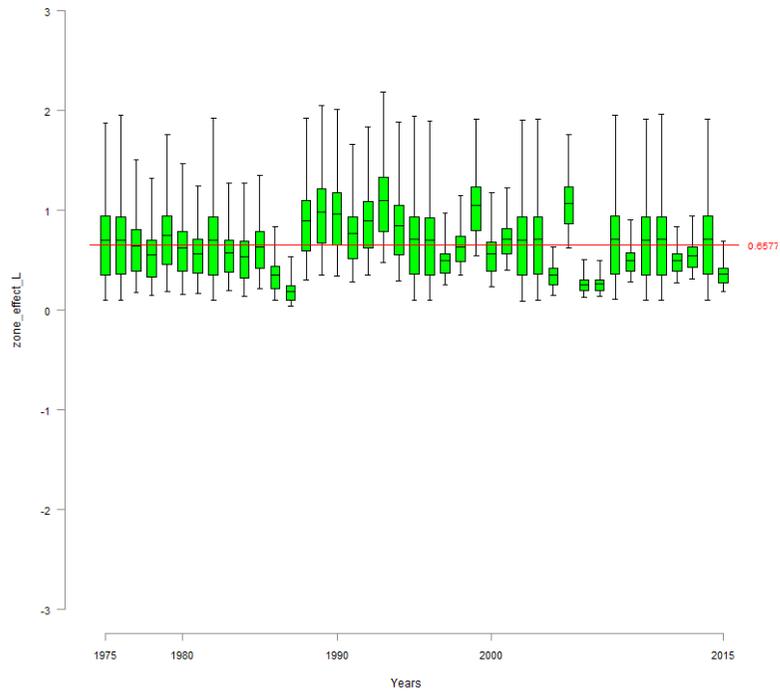


FIGURE 31 – zone\_effect\_L

## 29.3 zone\_effect\_Poutes

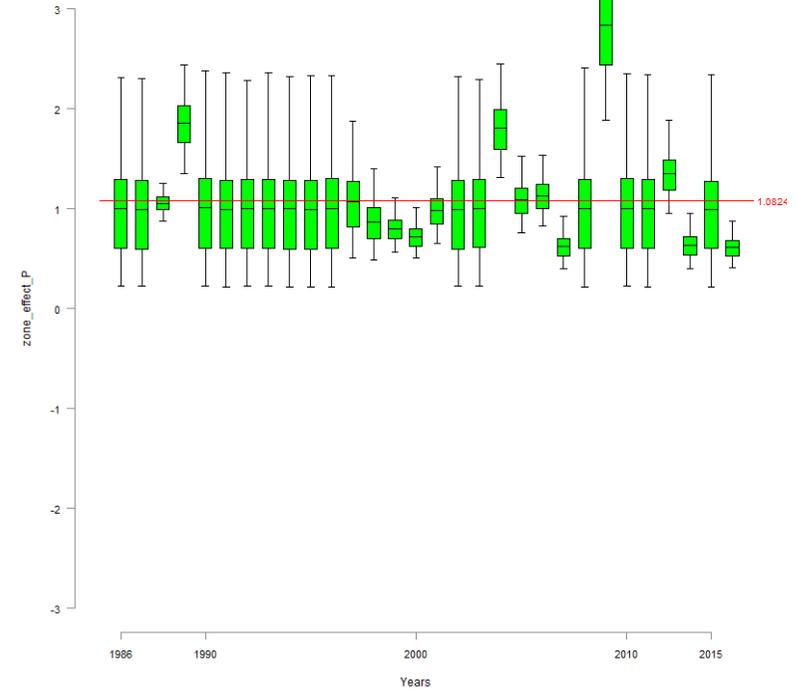


FIGURE 32 – zone\_effect\_P

### 30 N\_Vichy

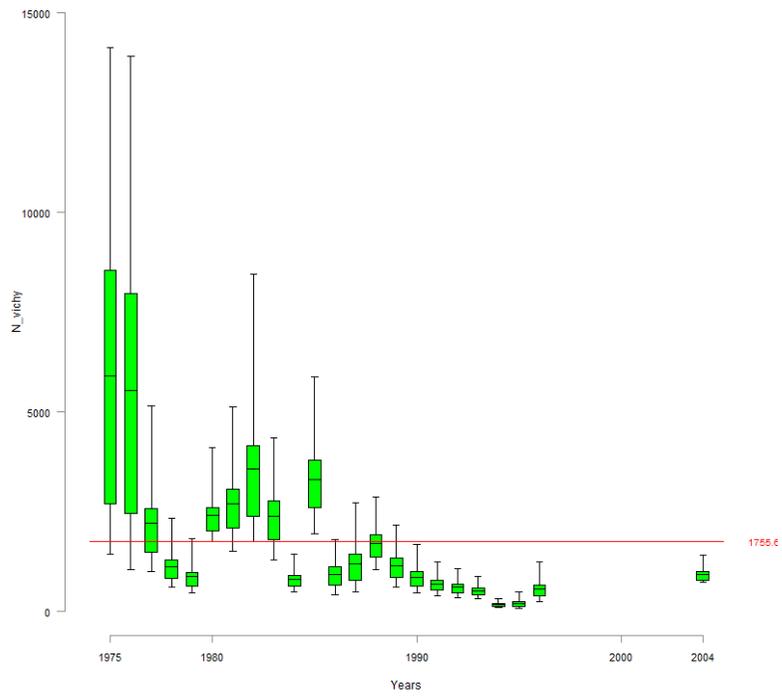


FIGURE 33 – N\_vichy

### 31 N\_Alagnon

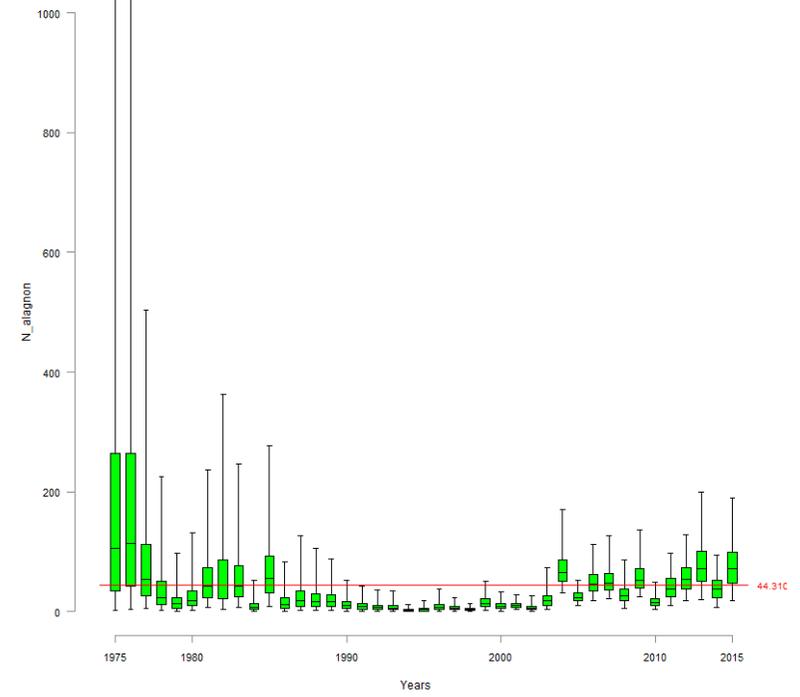


FIGURE 34 – N\_alagnon

### 32 N\_Langeac

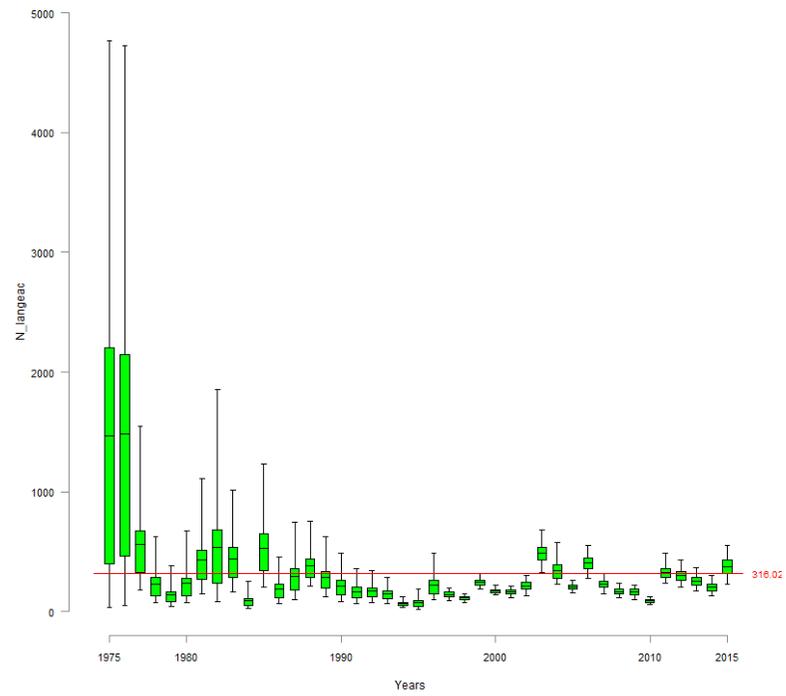


FIGURE 35 – N\_Langeac

### 33 d\_wild\_moy

#### 33.1 d\_wild\_moy\_Vichy

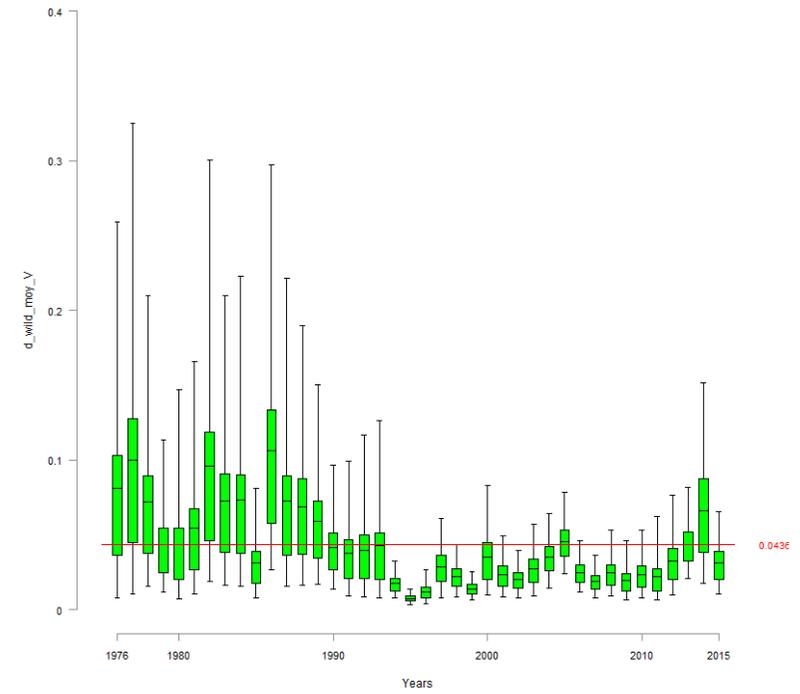


FIGURE 36 – d\_wild\_moy\_V

### 33.2 d\_wild\_moy\_Alagnon

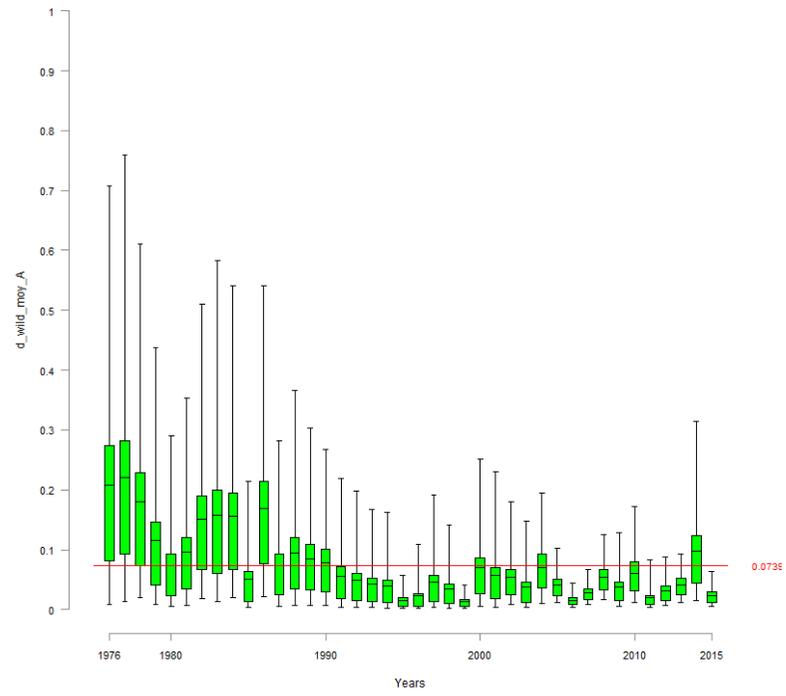


FIGURE 37 – d\_wild\_moy\_A

### 33.3 d\_wild\_moy\_Langeac

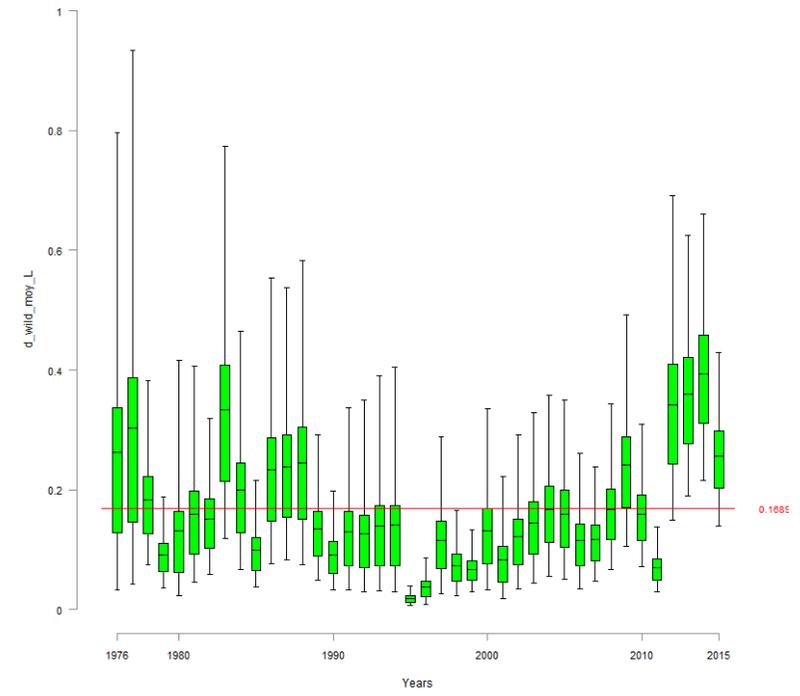


FIGURE 38 – d\_wild\_moy\_L

### 33.4 d\_wild\_moy\_Poutes

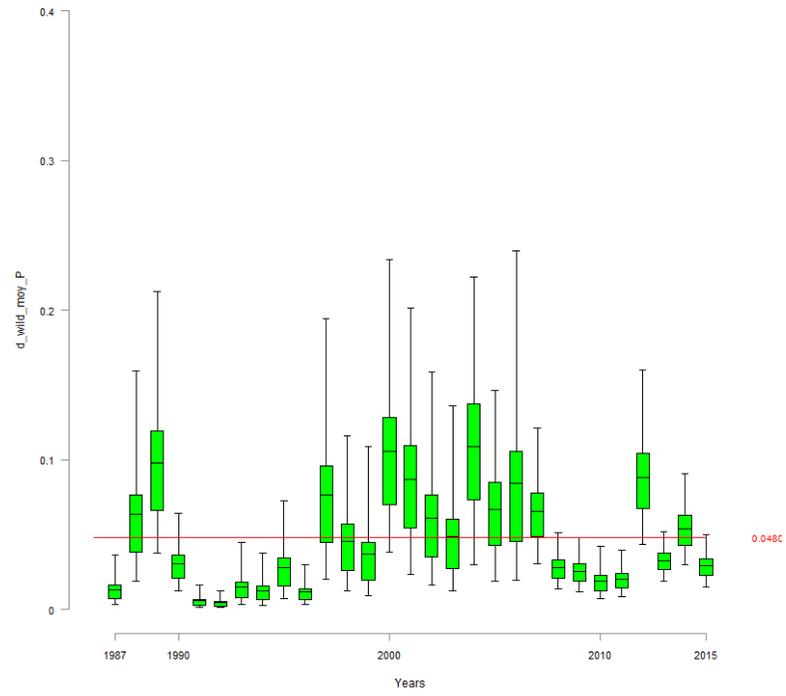


FIGURE 39 –  $d\_wild\_moy\_P$

### 34 d\_juv\_moy

#### 34.1 d\_juv\_moy\_Vichy

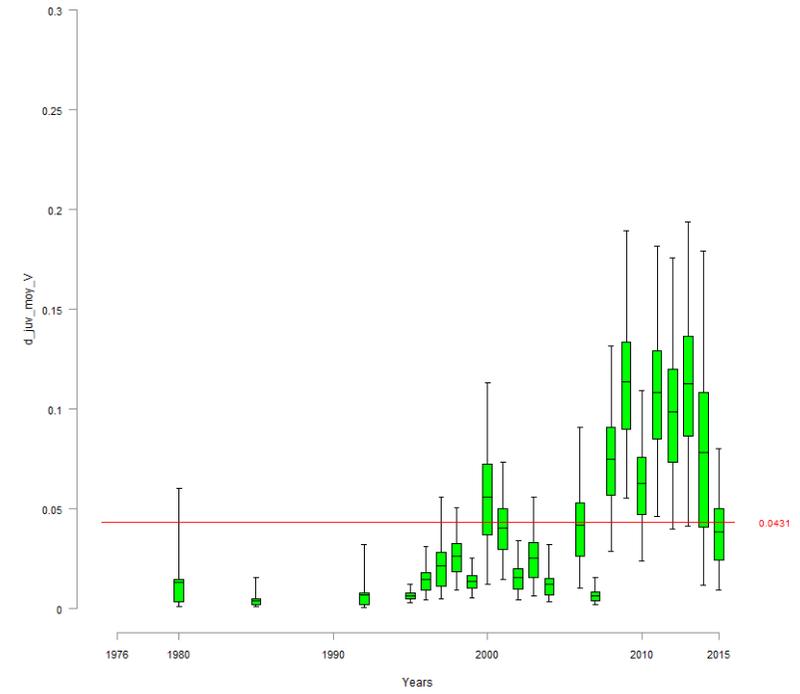


FIGURE 40 –  $d\_juv\_moy\_V$

### 34.2 d\_juv\_moy\_Alagnon

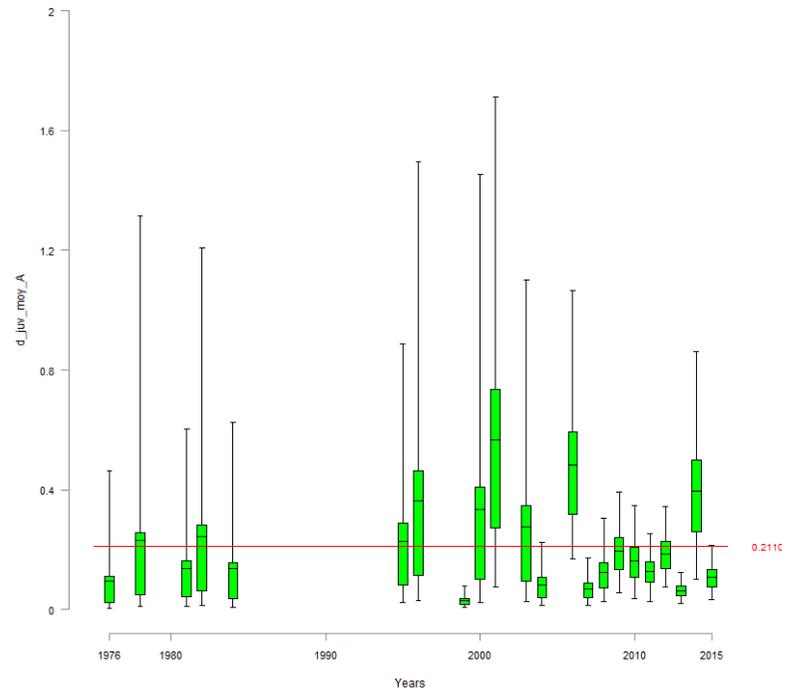


FIGURE 41 –  $d_{juv\_moy\_A}$

### 34.3 d\_juv\_moy\_Langeac

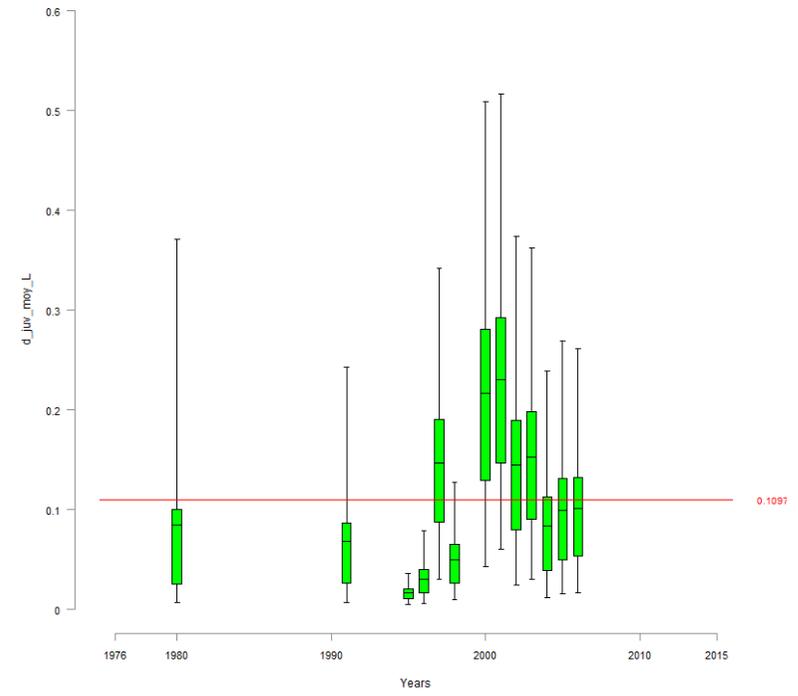


FIGURE 42 –  $d_{juv\_moy\_L}$

### 34.4 d\_juv\_moy\_Poutes

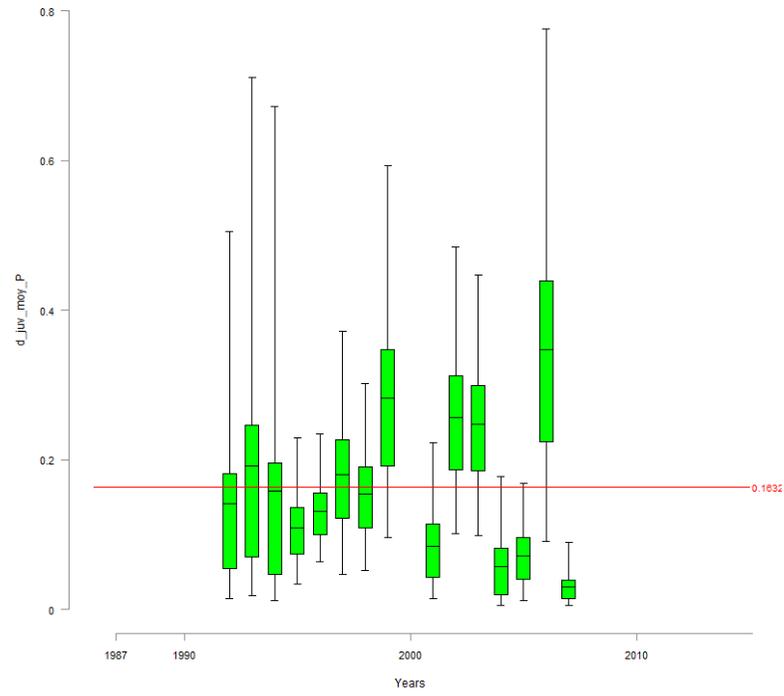


FIGURE 43 –  $d_{juv\_moy\_P}$

### 35 d\_egg\_moy

#### 35.1 d\_egg\_moy\_Vichy

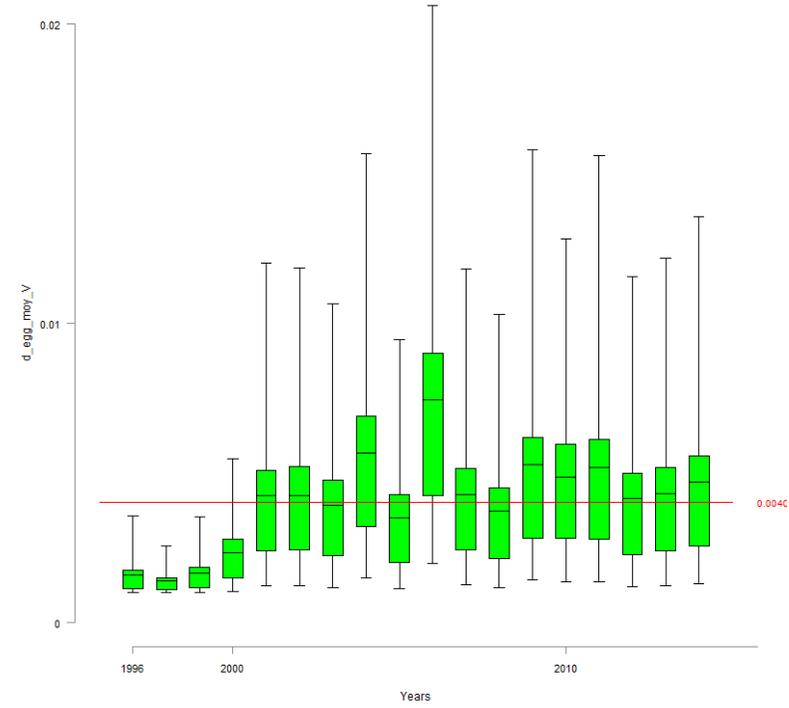


FIGURE 44 –  $d_{egg\_moy\_V}$

35.2 d\_egg\_moy\_Langeac

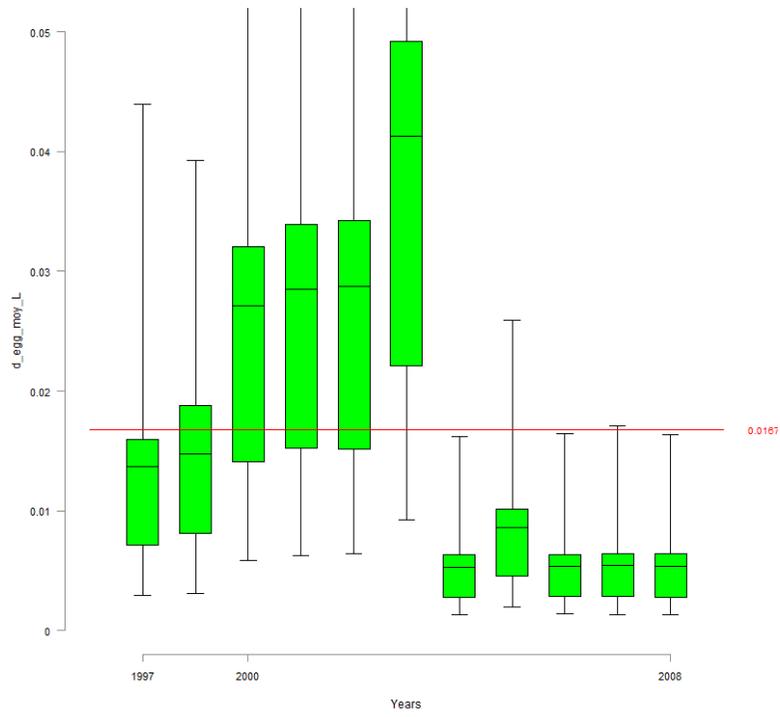


FIGURE 45 - d\_egg\_moy\_L

36 res\_wild\_moy

36.1 res\_wild\_moy\_Vichy

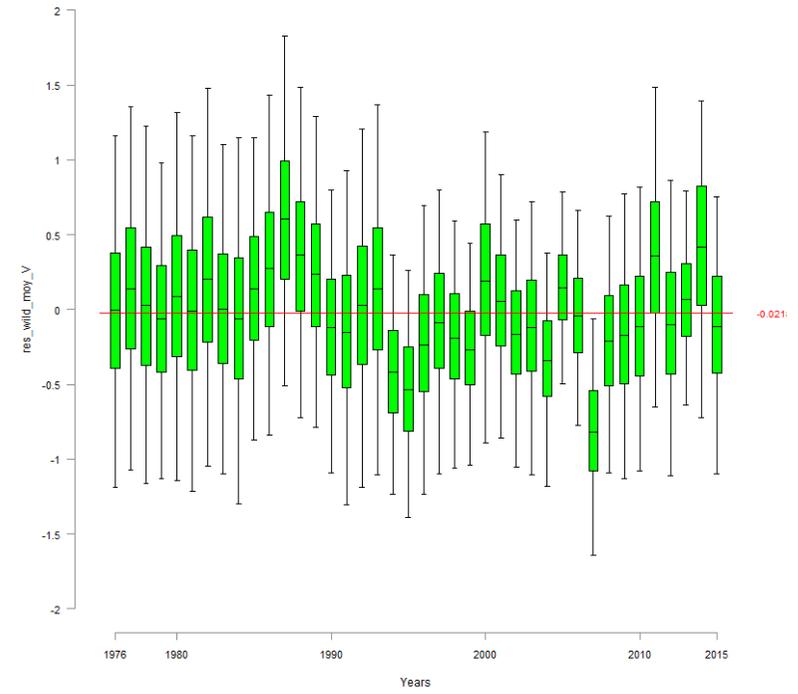


FIGURE 46 - res\_wild\_moy\_V

36.2 res\_wild\_moy\_Alagnon

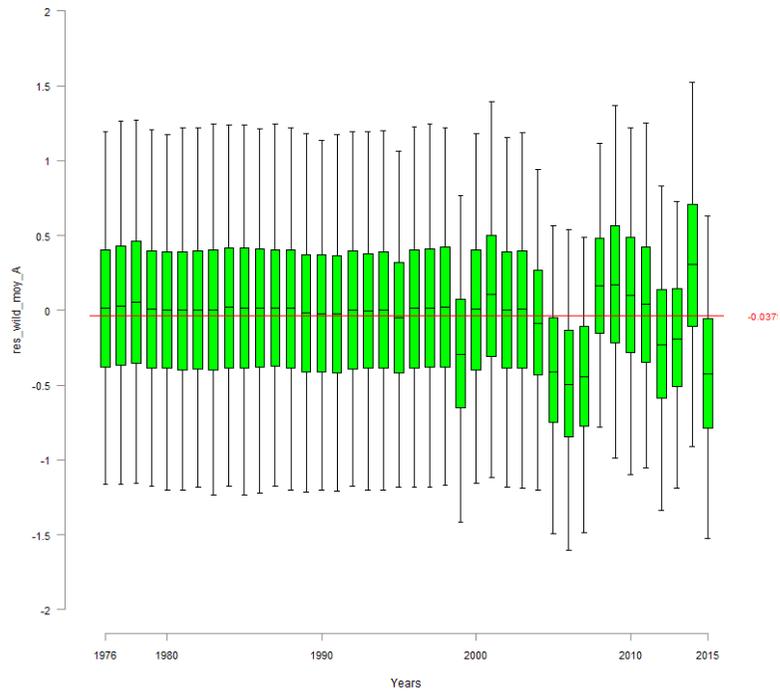


FIGURE 47 – res\_wild\_moy\_A

36.3 res\_wild\_moy\_Langeac

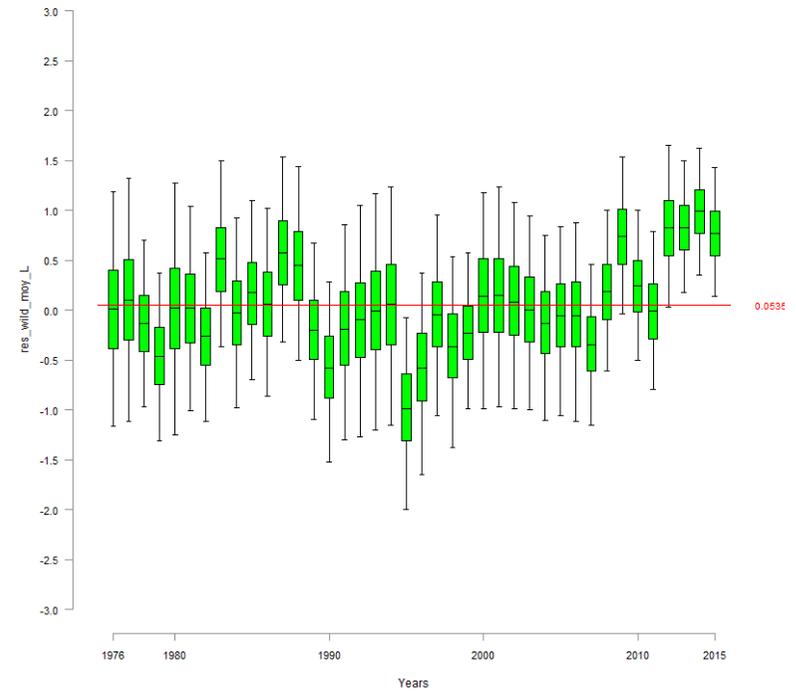


FIGURE 48 – res\_wild\_moy\_L

### 36.4 res\_wild\_moy\_Poutes

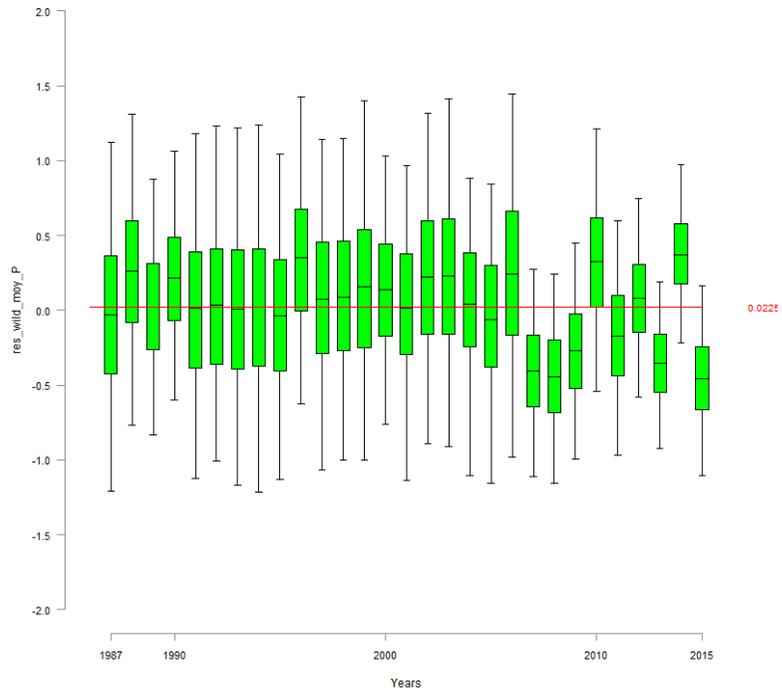


FIGURE 49 – res\_wild\_moy\_P

### 37 res\_juv\_moy

#### 37.1 res\_juv\_moy\_Vichy

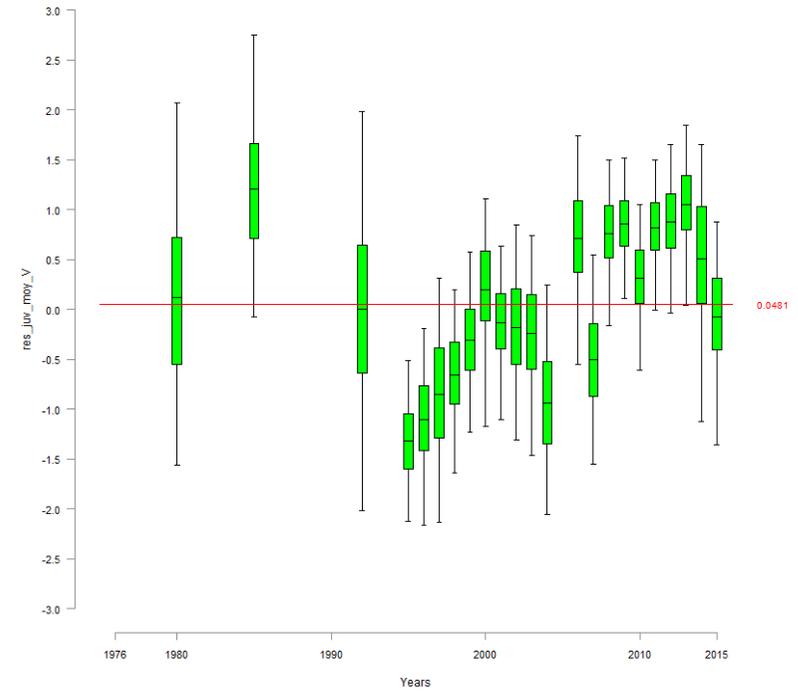


FIGURE 50 – res\_juv\_moy\_V

37.2 res\_juv\_moy\_Alagnon

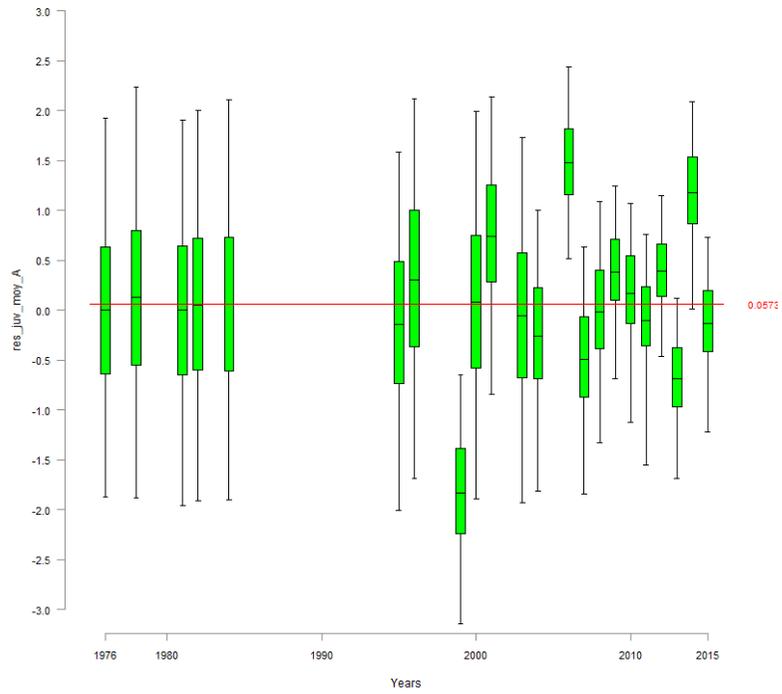


FIGURE 51 – res\_juv\_moy\_A

37.3 res\_juv\_moy\_Langeac

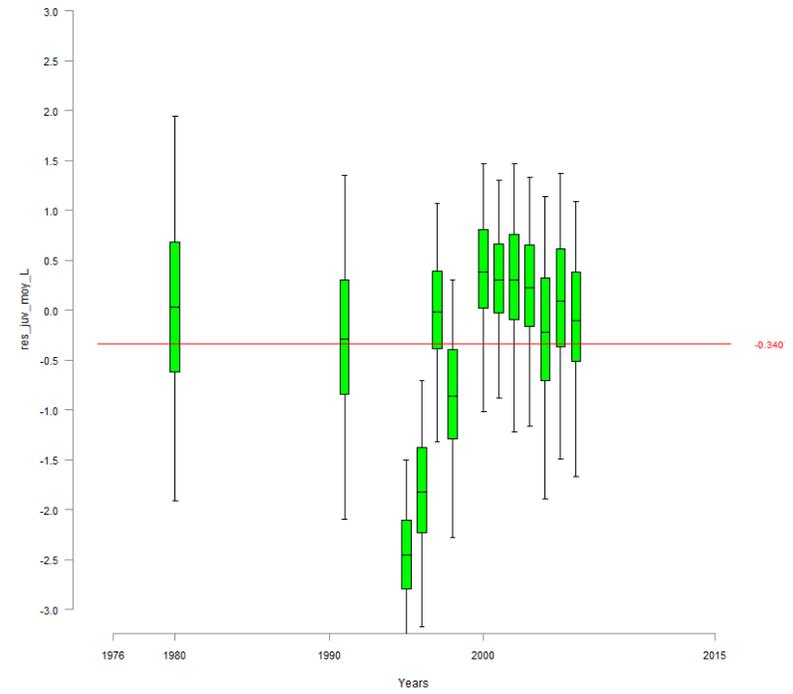


FIGURE 52 – res\_juv\_moy\_L

37.4 res\_juv\_moy\_Poutes

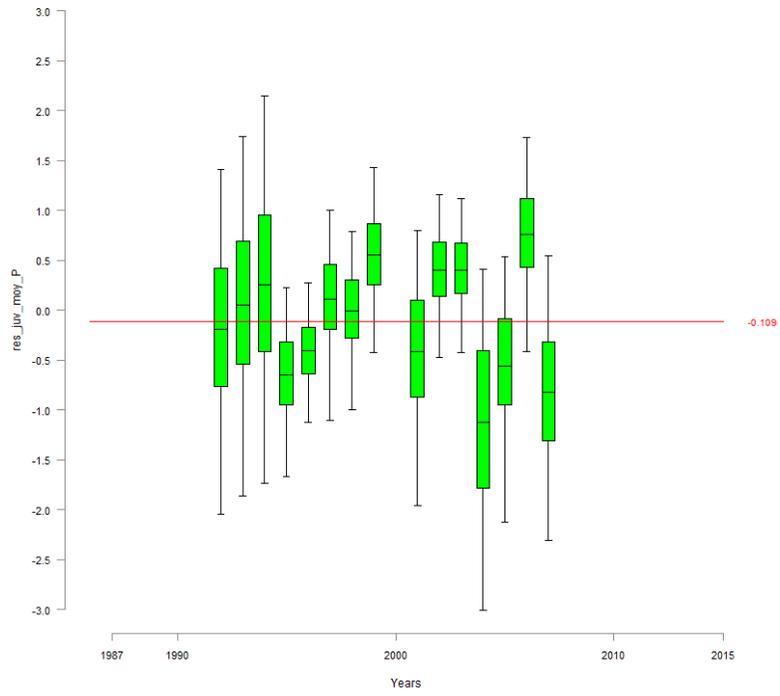


FIGURE 53 – res\_juv\_moy\_P

---

## 10 Code du modèle 2016.12.19

---

```

Model{
#####
# FIRST PART #
#####

#####
# 1.CALIBRATION #
#####

d_moy~dgamma(1,0.001)
beta_d~dgamma(0.001,0.001)

inv_kappa ~ dgamma(0.001,0.001)
kappa <-1/ inv_kappa

#eta ~ dgamma(0.001,0.001)

L_sigma_p~dunif(0.0001,10)
L_tau_p<-pow(L_sigma_p,-2)
L_var_p<-1/L_tau_p

L_mu_p ~dnorm(0,0.001)
logit(mu_p)<-L_mu_p

alpha_d<-d_moy * beta_d

for (g in 1:calib){

#####
# 1.1 Density part
#####
d[g]~dgamma(alpha_d,beta_d)
lambda_IA[g]<-kappa*d[g] #kappa*pow(d[g],eta)
EF_IA[g]~dpois(lambda_IA[g])
lambda_N[g]<-(d[g]*S[g])-EF_IA[g]

#Abundance follows a Poisson distribution
N_tot[g]~dpois(lambda_N[g])|(,2000)

L_p[g]~dnorm(L_mu_p,L_tau_p)
logit(p[g]) <- L_p[g]

# depletion pass part
C_1[g]~dbin(p[g],N_tot[g])
N_1[g]<-N_tot[g]-C_1[g]
C_2[g]~dbin(p[g],N_1[g])

#####
# 1.2 Posterior check
#####
rep_lambda_IA[g]<-kappa*d[g] #kappa*pow(d[g],eta)
rep_EF_IA[g]~dpois(rep_lambda_IA[g])
res_IA_EF[g]<-EF_IA[g] - rep_EF_IA[g]

# calculation of the residuals for the predicted C1,C2,C3 conditionally to densities

rep_C_1[g] ~ dbin(p[g],N_tot[g])
rep_C_2[g] ~ dbin(p[g],N_1[g])

res_C_1[g] <- C_1[g]-rep_C_1[g]
res_C_2[g] <- C_2[g]-rep_C_2[g]
res_C1_N_tot[g] <- (C_1[g]-rep_C_1[g])/N_tot[g]
res_C_2_N_1[g] <- (C_2[g]-rep_C_2[g])/N_1[g]

}

#####
# 1.3 cut of all the parameters of the calibration
#####
L_mu_p_cut<-cut(L_mu_p)
L_tau_p_cut<-cut(L_tau_p)
kappa_cut<-cut(kappa)
#eta_cut<-cut(eta)
# on suppose que le parametre d'echelle est le meme au fil des années
beta_d_cut<-cut(beta_d)

#####
# 2. REDD/SPAWNERS #
#####
#####
# 2.1 Parameters of the Redd/spawner relationship model
#####
mu_zone[1]~dgamma(1,0.001)
mu_zone[2]<-1 #~dgamma(1,0.001)

beta_zone~dgamma(0.01,0.01)

alpha_zone[1]<- mu_zone[1]*beta_zone

alpha_zone[2]<- mu_zone[2]*beta_zone

#####
# 2.2 Methodology and spatial effect
#####
#-----
# 2.2.1 Methodology effect
#-----
hel_effect[1]<-1
hel_effect[2]~dgamma(1,1)
#-----
# 2.2.2 Spatial effect
#-----
for (t in 1:T){
zone_effect[t,1]~dgamma(alpha_zone[1],beta_zone)|(0.001,)
zone_effect[t,2]~dgamma(alpha_zone[1],beta_zone)|(0.001,)
zone_effect[t,3]~dgamma(alpha_zone[1],beta_zone)|(0.001,)
}
for (t in 12:T){
zone_effect[t,4]~dgamma(alpha_zone[2],beta_zone)|(0.001,)
}
}

```

```

#-----
# 2.2.3 Verification of both effects
#-----
diff_hel_effect<-1-hel_effect[2]
P_diff_hel<-step(diff_hel_effect)

diff_zone1_2<-mu_zone[1]-mu_zone[2]
p_diff_zone1_2<-step(diff_zone1_2)

#=====
# 2.3 Area prospected
#=====
#loops for proportion of area prospected
for (t in 1:T){
  for (k in 1:3){
    logit(p_area[t,k])<- L_p_area[t,k]
  }
}

for (t in 12:T){
  logit(p_area[t,4])<- L_p_area[t,4]
}

#=====
# 2.4 Hyperparameters
#=====
sigma_Vichy <- sqrt( 1 / tau_vichy)  #~dunif(0.001,5)
tau_vichy~dgamma(0.001,0.001)  #<-pow(sigma_Vichy,-2)
L_mu_vichy~dnorm(0,0.01)

sigma_p_alagnon<-sqrt(1/tau_p_alagnon)
tau_p_alagnon~dgamma(0.01,0.01)

sigma_p_langeac<-sqrt(1/tau_p_langeac)
tau_p_langeac~dgamma(0.01,0.01)

sigma_p_poutes<-sqrt(1/tau_p_poutes)
tau_p_poutes~dgamma(0.01,0.01)

L_surv[7] <- 1
L_surv_prim[7] <- 1

level_s~dnorm(0,1)

for (t in 8:T){
  L_surv_prim[t] ~ dbern(0.5)
  L_surv[t] <- L_surv[t-1] * L_surv_prim[t]
}

for (t in 7:11){
  min_N_1[t]<-tot_C[t] + S_stocking[t]+2
  pool_juv[t]<-s_juv2ad* Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 * smolts_tot[t] )
  L_mu_Vichy_nm[t]<-log( s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 *
smolts_tot[t] )) + level_s * L_surv[t]
  mean_y_surv[t] <- s_juv2ad * exp(level_s * L_surv[t])
}

```

```

N[t,1]~dlnorm(L_mu_Vichy_nm[t],tau_vichy)|(min_N_1[t],15000)
res_Vichy[t] <- log(N[t,1]) - L_mu_Vichy_nm[t]
}

```

```

#####
# 3. JUVENILE PRODUCTION #
#####
#=====
# 3.1 Beverthon & Holt parameters
#=====
# BH slope parameter
#not sure about the beta parameters ...
zt~dbeta(1,9)#(1,2)
a<-zt *8000 #!~dunif(1,8000)  #~dgamma(0.01,0.01)|(,8000)#(0.1,)  #~dlnorm(0,0.01)  #
alpha_dd<- 1/a

a_juv ~dbeta(2,2)
alpha_dd_juv<- 1/a_juv

Rmax~dunif(0,2)
beta_dd<- 1 / Rmax

s_egg~dbeta(2,2)
s_juv2ad~dbeta(2,2)

#=====
# 3.2 Hyperparameters
#=====
alpha_tau <- mu_tau +1
mu_tau ~ dgamma(0.1,0.1)|(0.000001,)
beta_tau ~ dgamma(0.1,0.1)|(0.001,)

tau_wild_moy~dgamma(alpha_tau,beta_tau)
tau_wild_site~dgamma(alpha_tau,beta_tau)

tau_juv_moy[1]~dgamma(0.01,0.01)
tau_juv_site[1]~dgamma(0.01,0.01)
tau_juv_moy[2]~dgamma(alpha_tau,beta_tau)
tau_juv_site[2]~dgamma(alpha_tau,beta_tau)

tau_egg_moy[1]~dgamma(0.01,0.01)|(0.01,)
tau_egg_site[1]~dgamma(0.01,0.01)|(0.01,)
tau_egg_moy[2]~dgamma(alpha_tau,beta_tau)#(,50)
tau_egg_site[2]~dgamma(alpha_tau,beta_tau)

sigma_wild_moy <- sqrt( 1 / tau_wild_moy)
sigma_wild_site <- sqrt( 1 / tau_wild_site)
sigma_juv_moy <- sqrt( 1 / tau_juv_moy[2])
sigma_juv_site <- sqrt( 1 / tau_juv_site[2])
sigma_egg_moy <- sqrt( 1 / tau_egg_moy[2])
sigma_egg_site <- sqrt( 1 / tau_egg_site[2])

nu_wild_avg~dnorm(0,0.01)
nu_wild[1] <- -nu_wild_avg
nu_wild[2] <- nu_wild_avg

```

```

nu_wild[3] <- nu_wild_avg
nu_wild[4] <- nu_wild_avg

rho_poutes~dbeta(2,2)
#=====
# 3.3 Number of juveniles 0+ returning in the Allier river for a given year
#=====
# 0+ Juvenile returning in the Allier for a given year
# and originating from the 3 areas of interest
for (t in 7:T){
  Juv_tot[t,1] <- (1/3) * Juv[t-3,1] + (1/3) * Juv[t-4,1] + (1/3) * Juv[t-5,1]
  Juv_tot[t,2] <- (1/3) * Juv[t-3,2] + (1/3) * Juv[t-4,2] + (1/3) * Juv[t-5,2]
  Juv_tot[t,3] <- (1/3) * Juv[t-3,3] + (1/3) * Juv[t-4,3] + (1/3) * Juv[t-5,3]
}
  for (t in 1:15){
    Juv_tot[t,4]<-0
  }
for (t in 16:16){
  Juv_tot[t,4] <- (1/3) * Juv[t-3,4]
}
for (t in 17:17){
  Juv_tot[t,4] <- (1/3) * Juv[t-3,4] + (1/3) * Juv[t-4,4]
}
for (t in 18:T){
  Juv_tot[t,4] <- (1/3) * Juv[t-3,4] + (1/3) * Juv[t-4,4] + (1/3) * Juv[t-5,4]
}
#   for (t in 30:30){
#     Juv_tot[t,2]<-1/3*Juv[t-3,2]
#   }
#   for (t in 31:31){
#     Juv_tot[t,2]<-1/3*Juv[t-3,2] + 1/3*Juv[t-4,2]
#   }
#   for (t in 32:T){
#     Juv_tot[t,2]<-1/3*Juv[t-3,2] + 1/3*Juv[t-4,2] + 1/3*Juv[t-5,2]
#   }
for (t in 7:15){
  Juv_tot_system[t] <- Juv_tot[t,1]+ Juv_tot[t,2]+Juv_tot[t,3]
}
for (t in 16:T){
  Juv_tot_system[t] <- Juv_tot[t,1]+Juv_tot[t,2] +Juv_tot[t,3] +rho_poutes*Juv_tot[t,4]
}
# for (t in 30:T){
#   Juv_tot_system[t] <- Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,2] +Juv_tot[t,3] + rho_poutes*Juv_tot[t,4]
# }

#=====
# 3.4 Probability of passing at Vichy, Alagnon, Langeac and Poutes
#=====
# incorporating the effect that probability of passing at Langeac and Poutes is conditioned by the
amount of juvenile produced

#Probability to reach Vichy if not catch downstream
p_reach_V~dbeta(2,1)
for (t in 1:T){
  C_dwn_reach[t] <- p_reach_V * C_dwn[t]

```

```

tot_C[t] <-round( C_dwn_reach[t] + C_up[t]
)
for (t in 1:6){
  min_N_1[t]<- tot_C[t] + S_stocking[t]+2
  N[t,1]~dlnorm(6.9,0.0453)/(min_N_1[t],15000)
}

# For Alagnon, Langeac et Poutes : filter:
# if negative : fish returning in smaller proportion than what was expected regarding juvenile
production
# if positive : fish returning in higher proportion than what was expected regarding juvenile production
adjust_p_L ~ dnorm(0,0.01)
adjust_p_P ~ dnorm(0,0.01)
adjust_p_A ~ dnorm(0,0.01)
rho_station~dbeta(2,2)

for (t in 1:4){

  ratio_juv_prod_A[t]~dbeta(1,3)
  ratio_juv_A[t]<-rho_station * (S_juv_JP[t,2]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,2]+S_juv_JP[t,3])) + (1-
rho_station) * ratio_juv_prod_A[t]
  L_mu_p_alagnon[t]~logit(ratio_juv_A[t]) + adjust_p_A
  L_p_alagnon[t]~dnorm(L_mu_p_alagnon[t],tau_p_alagnon)
  res_p_alagnon[t]<-L_p_alagnon[t]-L_mu_p_alagnon[t]

  ratio_juv_prod_L[t]~dbeta(3,1)
  ratio_juv_L[t]<- rho_station *(S_juv_JP[t,3]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,3])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_L[t]
  L_ratio_juv_L[t] <- logit(ratio_juv_L[t])
  L_mu_p_langeac[t]<-L_ratio_juv_L[t] + adjust_p_L
  L_p_langeac[t]~dnorm(L_mu_p_langeac[t],tau_p_langeac)
  res_p_langeac[t] <- L_p_langeac[t] - L_mu_p_langeac[t]
}
for (t in 5:5){

  ratio_juv_prod_A[t] <- Juv[t-3,2] / ( Juv[t-3,1] + Juv[t-3,2]+ Juv[t-3,3])
  ratio_juv_A[t] <-rho_station * (S_juv_JP[t,2]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,2]+S_juv_JP[t,3])) + (1-
rho_station) * ratio_juv_prod_A[t]
  L_mu_p_alagnon[t]~logit(ratio_juv_A[t]) + adjust_p_A
  L_p_alagnon[t]~dnorm(L_mu_p_alagnon[t],tau_p_alagnon)
  res_p_alagnon[t]~L_p_alagnon[t]-L_mu_p_alagnon[t]

  ratio_juv_prod_L[t] <- Juv[t-3,3] / ( Juv[t-3,1] + Juv[t-3,3] )
  ratio_juv_L[t] <- rho_station * (S_juv_JP[t,3]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,3])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_L[t]
  L_ratio_juv_L[t] <- logit(ratio_juv_L[t])
  L_mu_p_langeac[t] <-L_ratio_juv_L[t]+ adjust_p_L
  L_p_langeac[t]~dnorm(L_mu_p_langeac[t],tau_p_langeac)
  res_p_langeac[t] <- L_p_langeac[t] - L_mu_p_langeac[t]
}
for (t in 6:6){

  ratio_juv_prod_A[t] <- (Juv[t-3,2]+Juv[t-4,2]) / ( Juv[t-3,1] +Juv[t-4,1]+ Juv[t-3,2] +Juv[t-4,2]+ Juv[t-
3,3]+Juv[t-4,3])

```

```

ratio_juv_A[t]<-rho_station * (S_juv_JP[t,2]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,2]+S_juv_JP[t,3])) + (1-
rho_station) * ratio_juv_prod_A[t]
L_mu_p_alagnon[t]<-logit(ratio_juv_A[t]) + adjust_p_A
L_p_alagnon[t]-dnorm(L_mu_p_alagnon[t],tau_p_alagnon)
res_p_alagnon[t]<-L_p_alagnon[t]-L_mu_p_alagnon[t]

ratio_juv_prod_L[t] <- (Juv[t-3,3] + Juv[t-4,3] ) / ( Juv[t-3,1] + Juv[t-4,1] + Juv[t-3,3]+Juv[t-4,3] )
ratio_juv_L[t]<- rho_station * (S_juv_JP[t,3]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,3])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_L[t]
L_ratio_juv_L[t] <- logit(ratio_juv_L[t])
L_mu_p_langeac[t]<-L_ratio_juv_L[t]+ adjust_p_L
L_p_langeac[t]-dnorm(L_mu_p_langeac[t],tau_p_langeac)
res_p_langeac[t] <- L_p_langeac[t] - L_mu_p_langeac[t]
}
for (t in 7:11){

ratio_juv_prod_A[t]<- Juv_tot[t,2] / ( Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,2]+ Juv_tot[t,3] )
ratio_juv_A[t]<-rho_station * (S_juv_JP[t,2]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,2]+S_juv_JP[t,3] ))+ (1-
rho_station) * ratio_juv_prod_A[t]
L_mu_p_alagnon[t]<-logit(ratio_juv_A[t]) + adjust_p_A
L_p_alagnon[t]-dnorm(L_mu_p_alagnon[t],tau_p_alagnon)
res_p_alagnon[t]<-L_p_alagnon[t]-L_mu_p_alagnon[t]

ratio_juv_prod_L[t] <- Juv_tot[t,3] / ( Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,3] )
ratio_juv_L[t]<- rho_station * (S_juv_JP[t,3]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,3])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_L[t]
L_ratio_juv_L[t] <- logit(ratio_juv_L[t])
L_mu_p_langeac[t]<-L_ratio_juv_L[t]+ adjust_p_L
L_p_langeac[t]-dnorm(L_mu_p_langeac[t],tau_p_langeac)
res_p_langeac[t] <- L_p_langeac[t] - L_mu_p_langeac[t]
}
for (t in 12:15){

ratio_juv_prod_A[t]<- Juv_tot[t,2] / ( Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,2]+ Juv_tot[t,3]+ Juv_tot[t,4]
*rho_poutes)
ratio_juv_A[t]<-rho_station * (S_juv_JP[t,2]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,2]+S_juv_JP[t,3]+
S_juv_JP[t,4])) + (1-rho_station) * ratio_juv_prod_A[t]
L_mu_p_alagnon[t]<-logit(ratio_juv_A[t]) + adjust_p_A
L_p_alagnon[t]-dnorm(L_mu_p_alagnon[t],tau_p_alagnon)
res_p_alagnon[t]<-L_p_alagnon[t]-L_mu_p_alagnon[t]

ratio_juv_prod_L[t] <- Juv_tot[t,3] / ( Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,3]+ Juv_tot[t,4] *rho_poutes )
ratio_juv_L[t]<- rho_station *
((S_juv_JP[t,3]+S_juv_JP[t,4])/ (S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,3]+S_juv_JP[t,4])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_L[t]
L_ratio_juv_L[t] <- logit(ratio_juv_L[t])
L_mu_p_langeac[t]<-L_ratio_juv_L[t]+ adjust_p_L
L_p_langeac[t]-dnorm(L_mu_p_langeac[t],tau_p_langeac)
res_p_langeac[t] <- L_p_langeac[t] - L_mu_p_langeac[t]

ratio_juv_prod_P[t] <- 0
ratio_juv_P[t]<- rho_station * (S_juv_JP[t,4] / (S_juv_JP[t,3] + S_juv_JP[t,4])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_P[t]
L_ratio_juv_P[t] <- logit(ratio_juv_P[t])
L_mu_p_poutes[t]<-L_ratio_juv_P[t] + adjust_p_P
L_p_poutes[t]-dnorm(L_mu_p_poutes[t],tau_p_poutes)
}

```

```

res_p_poutes[t] <- L_p_poutes[t] - L_mu_p_poutes[t]
}
for (t in 16:T){

ratio_juv_prod_A[t]<- Juv_tot[t,2] / ( Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,2]+ Juv_tot[t,3]+ Juv_tot[t,4]
*rho_poutes)
ratio_juv_A[t]<-rho_station * (S_juv_JP[t,2]/(S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,2]+S_juv_JP[t,3]+
S_juv_JP[t,4])) + (1-rho_station) * ratio_juv_prod_A[t]
L_mu_p_alagnon[t]<-logit(ratio_juv_A[t]) + adjust_p_A
L_p_alagnon[t]-dnorm(L_mu_p_alagnon[t],tau_p_alagnon)
res_p_alagnon[t]<-L_p_alagnon[t]-L_mu_p_alagnon[t]

ratio_juv_prod_L[t] <- (Juv_tot[t,3] + Juv_tot[t,4]*rho_poutes) / ( Juv_tot[t,1] + Juv_tot[t,3] +
Juv_tot[t,4]*rho_poutes )
ratio_juv_L[t]<-
rho_station*((S_juv_JP[t,3]+S_juv_JP[t,4])/ (S_juv_JP[t,1]+S_juv_JP[t,3]+S_juv_JP[t,4])) + (1 -
rho_station) * ratio_juv_prod_L[t]
L_ratio_juv_L[t] <- logit(ratio_juv_L[t])
L_mu_p_langeac[t]<-L_ratio_juv_L[t]+ adjust_p_L
L_p_langeac[t]-dnorm(L_mu_p_langeac[t],tau_p_langeac)
res_p_langeac[t] <- L_p_langeac[t] - L_mu_p_langeac[t]

ratio_juv_prod_P[t] <- Juv_tot[t,4] *rho_poutes/ ( Juv_tot[t,3] + Juv_tot[t,4] *rho_poutes)
ratio_juv_P[t]<- rho_station * (S_juv_JP[t,4] / (S_juv_JP[t,3] + S_juv_JP[t,4])) + (1 - rho_station) *
ratio_juv_prod_P[t]
L_ratio_juv_P[t] <- logit(ratio_juv_P[t])
L_mu_p_poutes[t]<-L_ratio_juv_P[t]+ adjust_p_P
L_p_poutes[t]-dnorm(L_mu_p_poutes[t],tau_p_poutes)
res_p_poutes[t] <- L_p_poutes[t] - L_mu_p_poutes[t]
}

```

```

#####
# SECONDE PART #
#####

```

```

#####
# 1. LOOP FOR YEARS (only downstream Poutès) #
#####
for (t in 1:11){
#=====
# 1.1 Redd/Spawners part
#=====
logit(p_alagnon[t])<-L_p_alagnon[t]
logit(p_langeac[t])<- L_p_langeac[t]
max_N_langeac[t]<- N_corr[t] - 1

#without fish caught for breeding or rod catches
N_corrected[t] <- N[t,1] - tot_C[t] - S_stocking[t]
N_corr[t]<-N_corrected[t]-N[t,2]
N[t,2]-dbin(p_alagnon[t],N_corrected[t])
N[t,3]-dbin(p_langeac[t],N_corr[t])
#-----
#1.1.1 Number of potential spawners
#-----
S_ts[t,1]<- max( N[t,1] - N[t,2] - N[t,3] - tot_C[t] - S_stocking[t],1)
}

```

```

S_ts[t,2]<- max(N[t,2],1)
S_ts[t,3]<-max(N[t,3],1)

#ratio_S[t,1] <- S_ts[t,1] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3])
#ratio_S[t,2] <- S_ts[t,2] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3])
#ratio_S[t,3] <- S_ts[t,3] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3])

#=====
# 1.2 Loop for zones (1= Vichy-Langeac, 2= Alagnon, 3= Langeac-Poutès, 4= upstream Poutès)
#=====
for (i in 1:3){
#-----
# 1.2.1 Redd/Spawners part
#-----
#.....
# 1.2.1.1 estimation of the spawners
#-----
R[t,i] ~dpois(lambda[t,i])
lambda[t,i] <- S_ts[t,i] *zone_effect[t,i] * hel_effect[1] *p_area[t,i]

#residus calculés pour êtres centrés sur 0 avec varaince homogene
res_R[t,i]<-(R[t,i]-lambda[t,i])/sqrt(lambda[t,i])
#-----
# 1.2.1.2 Cut of all parameters
#-----
lambda_cut[t,i]<-cut(lambda[t,i])
R_rep[t,i]~dpois(lambda_cut[t,i])
#-----
# 1.2.2 Juvenile production
#-----
# l_juv_moy = indicator for stocking of 0+ or not
# l_egg_moy = indicator for stocking of eggs or not
#d_tot_moy without taking into account area for the stocked juveniles (data only from year 31)
d_tot_moy[t+1,i] <- d_wild_moy[t+1,i] + l_juv_moy[t+1,i] * d_juv_moy[t+1,i]
Juv[t+1,i] <- d_tot_moy[t+1,i]*S_juv_JP[t+1,i]
#-----
# 1.2.2.1 Wild component
#-----
log(d_wild_moy[t+1,i]) <- L_d_wild_moy[t+1,i]
L_d_wild_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_wild[t+1,i],tau_wild_moy)(-6.91,1.09)
L_mu_d_wild[t+1,i] <- log((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd * (S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) +
nu_wild[i]
res_wild_moy[t+1,i] <- L_d_wild_moy[t+1,i] - L_mu_d_wild[t+1,i]
#-----
# 1.2.2.2 stocked juvenile component
#-----
log(d_juv_moy[t+1,i]) <- L_d_juv_moy[t+1,i]
L_d_juv_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_juv[t+1,i],tau_juv_moy[ l_juv_moy[t+1,i]+1])(-6.91,1.09)
#<- L_mu_d_juv[t+1,i] #
Rmax_juv_temp[t+1,i] <- ( Rmax - ((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd *
(S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) ) * exp(nu_wild[i])
Rmax_juv[t+1,i] <- max(Rmax_juv_temp[t+1,i],0.000001)
beta_dd_juv[t+1,i] <- 1 / Rmax_juv[t+1,i]

```

```

L_mu_d_juv[t+1,i] <- l_juv_moy[t+1,i] * log( (stock_juv[t+1,i]/S_juv_JP[t+1,i]) /
(alpha_dd_juv/exp(nu_wild[i]) + beta_dd_juv[t+1,i] * (stock_juv[t+1,i]/S_juv_JP[t+1,i])))
res_juv_moy[t+1,i] <- L_d_juv_moy[t+1,i] - L_mu_d_juv[t+1,i]
# getting out of the zone loop, one loop for each zones and the local densitie
# to avoid using 3 dimensions matrix
}
#-----
# 1.2.3 Successive removal fisheries
#-----
# l_site_juv_V/L/P = indicator for presence/absence of stocking on the site
# loop for sites with successive removal EF (DE LURY)
# Pas de pêche Delury pour l'Alagnon
#-----
# 1.2.3.1 zone 1 : Vichy Langeac
#-----
for (k in 1:J[t+1,1]){
d_V[t+1,k]<- d_wild_V[t+1,k] + l_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k]
log(d_wild_V[t+1,k])<-L_d_wild_V[t+1,k]
L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)
log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1] , tau_juv_site[ l_site_juv_V[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

lambda_N_V[t+1,k]<-d_V[t+1,k]*S_depl_V[t+1,k]
#Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_V[t+1,k]~dpois(lambda_N_V[t+1,k])

L_p_V[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
logit(p_V[t+1,k]) <-L_p_V[t+1,k]

C_1_V[t+1,k]~dbin(p_V[t+1,k],N_tot_V[t+1,k])
N_1_V[t+1,k]<-N_tot_V[t+1,k]-C_1_V[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_V[t+1,k]){
C_2_V[t+1,k]~dbin(p_V[t+1,k],N_1_V[t+1,k])
N_2_V[t+1,k]<-N_1_V[t+1,k]-C_2_V[t+1,k]
}
}
#-----
# 1.2.3.3 zone 3 : Langeac Poutes
#-----
for (k in 1:J[t+1,3]){
d_L[t+1,k]<- d_wild_L[t+1,k] + l_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k]
log(d_wild_L[t+1,k])<-L_d_wild_L[t+1,k]
L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,3] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)
log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,3] , tau_juv_site[ l_site_juv_L[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

lambda_N_L[t+1,k]<-d_L[t+1,k]*S_depl_L[t+1,k]
#Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_L[t+1,k]~dpois(lambda_N_L[t+1,k])

L_p_L[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
logit(p_L[t+1,k]) <-L_p_L[t+1,k]

```

```

C_1_L[t+1,k]-dbin(p_L[t+1,k],N_tot_L[t+1,k])
N_1_L[t+1,k]<-N_tot_L[t+1,k]-C_1_L[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_L[t+1,k]){
  C_2_L[t+1,k]-dbin(p_L[t+1,k],N_1_L[t+1,k])
  N_2_L[t+1,k]<-N_1_L[t+1,k]-C_2_L[t+1,k]
  #not all sites have 3 pass, this vector show which sites does
  for (m in 1:pass_3_L[t+1,k]){
    C_3_L[t+1,k]-dbin(p_L[t+1,k],N_2_L[t+1,k])
  }
}
}
}

#####
####
# 2. LOOP FOR YEARS (all zones mais pas encore de juvéniles à Poutès - seulement en année T=16)
#
#####
####
for (t in 12:22){
#=====
# 2.1 Redd/Spawners part
#=====
logit(p_alagnon[t])<-L_p_alagnon[t]
logit(p_langeac[t])<-L_p_langeac[t]
logit(p_poutes[t])<-L_p_poutes[t]
pool_juv[t]<-s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 * smolts_tot[t])
L_mu_Vichy_nm[t]<-log(s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 *
smolts_tot[t])) + level_s * L_surv[t]
mean_y_surv[t] <- s_juv2ad * exp(level_s * L_surv[t])

min_N_1[t]<-max(N[t,4]+2,tot_C[t] +2)+S_stocking[t]
N[t,1]-dlnorm(L_mu_Vichy_nm[t],tau_vichy)/(min_N_1[t],15000)
#without fish caught for breeding or rod catches
N_corrected[t] <- N[t,1] - tot_C[t] - S_stocking[t]
N_corr[t]<-N_corrected[t] - N[t,2]
res_Vichy[t] <- log(N[t,1]) - L_mu_Vichy_nm[t]

max_N_langeac[t]<- N_corr[t] - 1
min_L_P[t]<-max(min_L[t], N[t,4]+1)
N[t,2]-dbin(p_alagnon[t],N_corrected[t]) #Pas de l car on pourrait avoir 0 sur alagnon et tout sur
allier une année donnée
N[t,3]-dbin(p_langeac[t],N_corr[t])/(min_L_P[t],)

max_N_poutes[t]<-N[t,3]-1
N[t,4]-dbin(p_poutes[t],N[t,3])
#-----
# 2.1.1 Number of potential spawners
#-----
#mu_S_ts[t,1]<- N[t,1] - N[t,2] - N[t,3] - S_stocking[t]
#mu_S_ts[t,2]<- N[t,2]
#mu_S_ts[t,3]<- N[t,3]-N[t,4]

```

```

#test[t]<-mu_S_ts[t,1]-S_ts[t,1]

S_ts[t,1]<- max(N[t,1] - N[t,2] - N[t,3] - S_stocking[t] - tot_C[t] , 1)
S_ts[t,2]<- max( N[t,2],1)
S_ts[t,3]<- max( N[t,3]-N[t,4],1)
S_ts[t,4]<-max( N[t,4],1)
#ratio_S[t,1] <- S_ts[t,1] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,2] <- S_ts[t,2] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,3] <- S_ts[t,3] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,4] <- S_ts[t,4] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])

#=====
# 2.2 Loop for zones (1= Vichy-Langeac, 2= Alagnon, 3= Langeac-Poutès, 4= upstream Poutès)
#=====
for (i in 1:4){
#-----
# 2.2.1 Redd/Spawners part
#-----
#-----
# 2.2.1.1 estimation of the spawners
#-----
R[t,i]-dpois(lambda[t,i])
lambda[t,i] <- S_ts[t,i] * zone_effect[t,i] * hel_effect[1] * p_area[t,i]
res_R[t,i]<-(R[t,i]-lambda[t,i])/sqrt(lambda[t,i])
#-----
# 2.2.1.2 Cut of all parameters
#-----
lambda_cut[t,i]<-cut(lambda[t,i])
R_rep[t,i]-dpois(lambda_cut[t,i])

#-----
# 2.2.2 Juvenile production
#-----
# l_juv_moy = indicator for stocking of 0+ or not
# l_egg_moy = indicator for stocking of eggs or not
#d_tot_moy without taking into account area for the stocked juveniles (data only from year 31)
d_tot_moy[t+1,i] <- d_wild_moy[t+1,i] + l_juv_moy[t+1,i] * d_juv_moy[t+1,i] + l_egg_moy[t+1,i] *
d_egg_moy_surf[t+1,i]
Juv[t+1,i] <- d_tot_moy[t+1,i]*S_juv_JP[t+1,i]
d_egg_moy_surf[t+1,i] <- d_egg_moy[t+1,i]
#-----
# 2.2.2.1 Wild component
#-----
log(d_wild_moy[t+1,i]) <- L_d_wild_moy[t+1,i]
L_d_wild_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_wild[t+1,i],tau_wild_moy)/(-6.91,1.09) #<-
L_mu_d_wild[t+1,i] #
L_mu_d_wild[t+1,i] <- log((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd * (S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) +
nu_wild[i]
res_wild_moy[t+1,i] <- L_d_wild_moy[t+1,i] - L_mu_d_wild[t+1,i]
#-----
# 2.2.2.2 stocked juvenile component
#-----
log(d_juv_moy[t+1,i]) <- L_d_juv_moy[t+1,i]
L_d_juv_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_juv[t+1,i],tau_juv_moy[ l_juv_moy[t+1,i]+1])/(-1,1.09)

```

```

# We recalculate the Rmax "available" to stocked 0+ by subtracting wild 0+ density and stocked
eggs density
# to the total Rmax of the density dependence relationship
Rmax_juv_temp[t+1,i] <- ( Rmax - ((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd *
(S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) ) * exp(nu_wild[i])
Rmax_juv[t+1,i] <- max( Rmax_juv_temp[t+1,i] , 0.000001)
beta_dd_juv[t+1,i] <- 1 / Rmax_juv[t+1,i]
L_mu_d_juv[t+1,i] <- L_juv_moy[t+1,i] * log( (stock_juv[t+1,i]/S_juv_JP[t+1,i]) /
(alpha_dd_juv/exp(nu_wild[i]) + beta_dd_juv[t+1,i]*(stock_juv[t+1,i]/S_juv_JP[t+1,i])))
res_juv_moy[t+1,i] <- L_d_juv_moy[t+1,i] - L_mu_d_juv[t+1,i]
#.....
# 2.2.2.3 stocked egg component
#.....
log(d_egg_moy[t+1,i]) <- L_d_egg_moy[t+1,i]
L_d_egg_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_egg[t+1,i], tau_egg_moy[ L_egg_moy[t+1,i] + 1]) (-6.91, 1.09) #
res_egg_moy[t+1,i] <- L_d_egg_moy[t+1,i] - L_mu_d_egg[t+1,i]

# l_egg_unit = indicator of presence of incubators or not: only zone 1 and 3 concerned
# l_egg_VL = indicator for incubators in zone 1
# l_egg_LP = indicator for incubators in zone 2
# l_list_inc = indicator for each incubators loaded or not
L_mu_d_egg[t+1,i] <- equals(i,1) *
  log(
    (1 - l_egg_moy[t+1,1]) +
    (s_egg * ((stock_egg[t+1,1] + stock_egg[t+1,2] + stock_egg[t+1,3] + stock_egg[t+1,4]) /
S_juv_JP[t+1,1] )
  )
  +
  equals(i,3) *
  log(
    (1 - l_egg_moy[t+1,3]) +
    (s_egg * ((stock_egg[t+1,5] + stock_egg[t+1,6]) / S_juv_JP[t+1,3] )
  )
)

# getting out of the zone loop, one loop for each zones and the local densitie
# to avoid using 3 dimensions matrix
}
#-----
# 2.2.3 Successive removal fisheries
#-----
# l_site_juv_V/L/P = indicator for presence/absence of stocking on the site
# loop for sites with successive removal EF

#.....
# 2.2.3.1 zone 1 : Vichy Langeac
#.....
for (k in 1:J[t+1,1]){
  d_V[t+1,k] <- d_wild_V[t+1,k] + l_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k]
  log(d_wild_V[t+1,k]) <- L_d_wild_V[t+1,k]
  L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1] , tau_wild_site) (-6.91, 1.09)

  log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
  L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1] , tau_juv_site[ l_site_juv_V[t+1,k] + 1]) (-6.91, 1.09)

  lambda_N_V[t+1,k] <- d_V[t+1,k] * S_depl_V[t+1,k]

```

```

# Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_V[t+1,k] ~ dpois(lambda_N_V[t+1,k])

L_p_V[t+1,k] ~ dnorm(L_mu_p_cut, L_tau_p_cut)
logit(p_V[t+1,k]) <- L_p_V[t+1,k]

C_1_V[t+1,k] ~ dbin(p_V[t+1,k], N_tot_V[t+1,k])
N_1_V[t+1,k] <- N_tot_V[t+1,k] - C_1_V[t+1,k]
# not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_V[t+1,k]){
  C_2_V[t+1,k] ~ dbin(p_V[t+1,k], N_1_V[t+1,k])
  N_2_V[t+1,k] <- N_1_V[t+1,k] - C_2_V[t+1,k]
}
}

#.....
# 2.2.3.3 zone 3 : Langeac Poutes
#.....
for (k in 1:J[t+1,3]){
  d_L[t+1,k] <- d_wild_L[t+1,k] + l_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k]
  log(d_wild_L[t+1,k]) <- L_d_wild_L[t+1,k]
  L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,3] , tau_wild_site) (-6.91, 3)

  log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
  L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,3] , tau_juv_site[ l_site_juv_L[t+1,k] + 1]) (-6.91, 1.09)

  lambda_N_L[t+1,k] <- d_L[t+1,k] * S_depl_L[t+1,k]
  # Abundance follows a Poisson distribution
  N_tot_L[t+1,k] ~ dpois(lambda_N_L[t+1,k])

  L_p_L[t+1,k] ~ dnorm(L_mu_p_cut, L_tau_p_cut)
  logit(p_L[t+1,k]) <- L_p_L[t+1,k]

  C_1_L[t+1,k] ~ dbin(p_L[t+1,k], N_tot_L[t+1,k])
  N_1_L[t+1,k] <- N_tot_L[t+1,k] - C_1_L[t+1,k]
  # not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
  for (h in 1:pass_2_L[t+1,k]){
    C_2_L[t+1,k] ~ dbin(p_L[t+1,k], N_1_L[t+1,k])
    N_2_L[t+1,k] <- N_1_L[t+1,k] - C_2_L[t+1,k]
    # not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
    for (m in 1:pass_3_L[t+1,k]){
      C_3_L[t+1,k] ~ dbin(p_L[t+1,k], N_2_L[t+1,k])
    }
  }
}

#.....
# 2.2.3.4 zone 4 : upstream Poutes
#.....
for (k in 1:J[t+1,4]){
  d_P[t+1,k] <- d_wild_P[t+1,k] + l_site_juv_P[t+1,k] * d_juv_P[t+1,k]
  log(d_wild_P[t+1,k]) <- L_d_wild_P[t+1,k]
  L_d_wild_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,4] , tau_wild_site) (-6.91, 1.09)

  log(d_juv_P[t+1,k]) <- L_d_juv_P[t+1,k]
  L_d_juv_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,4] , tau_juv_site[ l_site_juv_P[t+1,k] + 1]) (-6.91, 1.09)

```

```

lambda_N_P[t+1,k]<-d_P[t+1,k]*S_depl_P[t+1,k]
#Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_P[t+1,k]~dpois(lambda_N_P[t+1,k])

L_p_P[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
logit(p_P[t+1,k]) <-L_p_P[t+1,k]

C_1_P[t+1,k]~dbin(p_P[t+1,k],N_tot_P[t+1,k])
N_1_P[t+1,k]<-N_tot_P[t+1,k]-C_1_P[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_P[t+1,k]){
  C_2_P[t+1,k]~dbin(p_P[t+1,k],N_1_P[t+1,k])
  N_2_P[t+1,k]<-N_1_P[t+1,k]-C_2_P[t+1,k]
}
}
#-----
# 2.2.4 5 min IA fisheries
#-----
#.....
# 2.2.4.1 zone 1 : Vichy Langeac
#.....
for (k in 1:K[t+1,1]){
  d_V[t+1,k]<- d_wild_V[t+1,k] + l_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k] + l_site_egg_V[t+1,k] *
d_egg_V[t+1,k]
log(d_wild_V[t+1,k])<-L_d_wild_V[t+1,k]
L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1] , tau_wild_site)(-6.91,3)

log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1] , tau_juv_site[ l_site_juv_V[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

log(d_egg_V[t+1,k]) <- L_d_egg_V[t+1,k]
L_d_egg_moy_V_inc[t+1,k]<- l_site_egg_V[t+1,k] * ( L_d_egg_moy[t+1,1] + log( S_juv_JP[t+1,1] ) -
log(S_inc_JP[t+1,1] ) )
L_d_egg_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_egg_moy_V_inc[t+1,k] , tau_egg_site[l_site_egg_V[t+1,k] + 1])(-
6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_V[t+1,k]<-kappa_cut*d_V[t+1,k]
EF_IA_V[t+1,k]~dpois(lambda_IA_V[t+1,k])
}

#.....
# 2.2.4.2 zone 2 : Alagnon
#.....
for (k in 1:K[t+1,2]){
  d_A[t+1,k]<- d_wild_A[t+1,k] + l_site_juv_A[t+1,k] * d_juv_A[t+1,k]
log(d_wild_A[t+1,k])<-L_d_wild_A[t+1,k]
L_d_wild_A[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,2] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)

log(d_juv_A[t+1,k]) <- L_d_juv_A[t+1,k]
L_d_juv_A[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,2] , tau_juv_site[ l_site_juv_A[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_A[t+1,k]<-kappa_cut*d_A[t+1,k]
EF_IA_A[t+1,k]~dpois(lambda_IA_A[t+1,k])
}

```

```

#.....
# 2.2.4.3 zone 3 : Langeac Poutes
#.....
for (k in 1:K[t+1,3]){
  d_L[t+1,k]<- d_wild_L[t+1,k] + l_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k] + l_site_egg_L[t+1,k] *
d_egg_L[t+1,k]
log(d_wild_L[t+1,k])<-L_d_wild_L[t+1,k]
L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,3] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)

log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,3] , tau_juv_site[ l_site_juv_L[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

log(d_egg_L[t+1,k]) <- L_d_egg_L[t+1,k]
L_d_egg_moy_L_inc[t+1,k]<- l_site_egg_L[t+1,k] * ( L_d_egg_moy[t+1,3] + log( S_juv_JP[t+1,3] ) -
log(S_inc_JP[t+1,3] ) )
L_d_egg_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_egg_moy_L_inc[t+1,k] , tau_egg_site[l_site_egg_L[t+1,k] + 1])(-
6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_L[t+1,k]<-kappa_cut*d_L[t+1,k]
EF_IA_L[t+1,k]~dpois(lambda_IA_L[t+1,k])
}
#.....
# 2.2.4.3 zone 4 : upstream Poutes
#.....
for (k in 1:K[t+1,4]){
  d_P[t+1,k]<- d_wild_P[t+1,k] + l_site_juv_P[t+1,k] * d_juv_P[t+1,k]
log(d_wild_P[t+1,k])<-L_d_wild_P[t+1,k]
L_d_wild_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,4] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)

log(d_juv_P[t+1,k]) <- L_d_juv_P[t+1,k]
L_d_juv_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,4] , tau_juv_site[ l_site_juv_P[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_P[t+1,k]<-kappa_cut*d_P[t+1,k]
EF_IA_P[t+1,k]~dpois(lambda_IA_P[t+1,k])
}
}

#####
# 3. Change in redd count methodology #
#####
for (t in 23:30){
  #####
  # 3.1 Redd/Spawners part
  #####
  logit(p_alagnon[t])<-L_p_alagnon[t]
  logit(p_langeac[t])<- L_p_langeac[t]
  logit(p_poutes[t])<- L_p_poutes[t]
  pool_juv[t]<-s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 * smolts_tot[t] )
  L_mu_Vichy_nm[t]<-log(s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 *
smolts_tot[t] ) ) + level_s * l_surv[t]
  mean_y_surv[t] <- s_juv2ad * exp(level_s * l_surv[t])
}

```

```

# max is only added for the year we only have a minimum figure at vichy
temp[t]<-max(tot_C[t] + S_stocking[t]+2,min_N_V[t])

min_N_1[t]<-max(N[t,4]+2,temp[t] +2)+S_stocking[t]
N[t,1]~dlnorm(L_mu_Vichy_nm[t],tau_vichy)/(min_N_1[t],15000)
#without fish caught for breeding or rod catches
N_corrected[t] <- N[t,1] - tot_C[t] - S_stocking[t]
N_corr[t]<-N_corrected[t] - N[t,2]
res_Vichy[t] <- log(N[t,1]) - L_mu_Vichy_nm[t]

max_N_langeac[t]<- N_corr[t] - 1
min_L_P[t]<-max(min_L[t], N[t,4]+1)
N[t,2]~dbin(p_alagnon[t],N_corrected[t]) #Pas de l car on pourrait avoir 0 sur alagnon et tout sur allier
une année donnée
N[t,3]~dbin(p_langeac[t],N_corr[t])l(min_L_P[t,])

max_N_poutes[t]<-N[t,3]-1
N[t,4]~dbin(p_poutes[t],N[t,3])
#-----
# 3.1.1 Number of potential spawners
#-----
#mu_S_ts[t,1]<- N[t,1] - N[t,2] - S_stocking[t]
#mu_S_ts[t,2]<- N[t,2]-N[t,3]
#test[t]<-mu_S_ts[t,1]-S_ts[t,1]

S_ts[t,1]<- max(N[t,1] - N[t,2] - N[t,3] - S_stocking[t] - tot_C[t] , 1)
S_ts[t,2]<- max( N[t,2],1)
S_ts[t,3]<- max( N[t,3]-N[t,4],1)
S_ts[t,4]<-max( N[t,4],1)

#ratio_S[t,1] <- S_ts[t,1] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,2] <- S_ts[t,2] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,3] <- S_ts[t,3] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,4] <- S_ts[t,4] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])

#=====
# 3.2 Loop for zones (1= Vichy-Langeac, 2= Alagnon, 3= Langeac-Poutès, 4= upstream Poutès)
#=====
for (i in 1:4){
#-----
# 3.2.1 Redd/Spawners part
#-----
#-----
# 3.2.1.1 Estimation of the spawners
#-----
R[t,i]~dpois(lambda[t,i])
lambda[t,i] <- S_ts[t,i] *zone_effect[t,i]* hel_effect[2] *p_area[t,i]
res_R[t,i]<-(R[t,i]-lambda[t,i])/sqrt(lambda[t,i])
#-----
# 3.2.1.2 Cut of all parameters
#-----
lambda_cut[t,i]<-cut(lambda[t,i])
R_rep[t,i]~dpois(lambda_cut[t,i])

#S_counter[t,i]<-R[t,i] / (zone_effect[t,i] *p_area[t,i])

```

```

#chisq_disc_R[t,i]<- (R[t,i]-lambda[t,i]) * (R[t,i]-lambda[t,i]) / (lambda[t,i])
#chisq_disc_R_rep[t,i]<- (R_rep[t,i]-lambda[t,i]) * (R_rep[t,i]-lambda[t,i]) / (lambda[t,i])
#-----
# 3.2.2 Juvenile production
#-----
# l_juv_moy = indicator for stocking of 0+ or not
# l_egg_moy = indicator for stocking of eggs or not
#d_tot_moy without taking into account area for the stocked juveniles (data only from year 31)
d_tot_moy[t+1,i] <- d_wild_moy[t+1,i] + l_juv_moy[t+1,i] * d_juv_moy[t+1,i] + l_egg_moy[t+1,i] *
d_egg_moy_surf[t+1,i]
Juv[t+1,i] <- d_tot_moy[t+1,i]*S_juv_JP[t+1,i]
d_egg_moy_surf[t+1,i] <- d_egg_moy[t+1,i]
#-----
# 3.2.2.1 Wild component
#-----
log(d_wild_moy[t+1,i]) <- L_d_wild_moy[t+1,i]
L_d_wild_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_wild[t+1,i],tau_wild_moy)(-6.91,1.09) #<-
L_mu_d_wild[t+1,i] #
L_mu_d_wild[t+1,i] <- log((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd * (S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) +
nu_wild[i]
res_wild_moy[t+1,i] <- L_d_wild_moy[t+1,i] - L_mu_d_wild[t+1,i]
#-----
# 3.2.2.2 Stocked juvenile component
#-----
log(d_juv_moy[t+1,i]) <- L_d_juv_moy[t+1,i]
L_d_juv_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_juv[t+1,i],tau_juv_moy( l_juv_moy[t+1,i]+1))(,1.09)

# We recalculate the Rmax "available" to stocked 0+ by subtracting wild 0+ density and stocked
eggs density
# to the total Rmax of the density dependence relationship
Rmax_juv_temp[t+1,i] <- ( Rmax - ((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd *
(S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) ) * exp(nu_wild[i])
Rmax_juv[t+1,i] <- max(Rmax_juv_temp[t+1,i] ,0.000001)
beta_dd_juv[t+1,i] <- 1 / Rmax_juv[t+1,i]
L_mu_d_juv[t+1,i] <- l_juv_moy[t+1,i] * log( (stock_juv[t+1,i]/S_juv_JP[t+1,i]) /
(alpha_dd_juv/exp(nu_wild[i]) + beta_dd_juv[t+1,i] * (stock_juv[t+1,i]/S_juv_JP[t+1,i])))
res_juv_moy[t+1,i] <- L_d_juv_moy[t+1,i] - L_mu_d_juv[t+1,i]
#-----
# 3.2.2.3 Stocked egg component
#-----
log(d_egg_moy[t+1,i]) <- L_d_egg_moy[t+1,i]
L_d_egg_moy[t+1,i]~ dnorm(L_mu_d_egg[t+1,i],tau_egg_moy( l_egg_moy[t+1,i] +1))(-6.91,1.09) #
res_egg_moy[t+1,i] <- L_d_egg_moy[t+1,i] - L_mu_d_egg[t+1,i]

# l_egg_unit = indicator of presence of incubators or not: only zone 1 and 2 concerned
# l_egg_VL = indicator for incubators in zone 1
# l_egg_LP = indicator for incubators in zone 2
# l_list_inc = indicator for each incubators loaded or not
L_mu_d_egg[t+1,i] <- equals(i,1) *
log(
(1- l_egg_moy[t+1,1]) +
(s_egg * ((stock_egg[t+1,1] + stock_egg[t+1,2] + stock_egg[t+1,3] + stock_egg[t+1,4]) /
S_juv_JP[t+1,1]))
)
+

```

```

    equals(i,3) *
    log(
    (1- L_egg_moy[t+1,3]) +
    (s_egg * ((stock_egg[t+1,5] +stock_egg[t+1,6]) / S_juv_JP[t+1,2] ))
    )
# getting out of the zone loop, one loop for each zones and the local densitie
# to avoid using 3 dimensions matrix
}
#-----
# 3.2.3 Successive removal fisheries
#-----
# I_site_juv_V/L/P = indicator for presence/absence of stocking on the site
# loop for sites with successive removal EF

#-----
# 3.2.3.1 zone 1 : Vichy Langeac
#-----
for (k in 1:J[t+1,1]){
  d_V[t+1,k]<- d_wild_V[t+1,k] + I_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k]
  log(d_wild_V[t+1,k])<-L_d_wild_V[t+1,k]
  L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)

  log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
  L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1] , tau_juv_site[ I_site_juv_V[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

  lambda_N_V[t+1,k]<-d_V[t+1,k]*S_depl_V[t+1,k]
  #Abundance follows a Poisson distribution
  N_tot_V[t+1,k]~dpois(lambda_N_V[t+1,k])

  L_p_V[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
  logit(p_V[t+1,k]) <-L_p_V[t+1,k]

  C_1_V[t+1,k]~dbin(p_V[t+1,k],N_tot_V[t+1,k])
  N_1_V[t+1,k]<-N_tot_V[t+1,k]-C_1_V[t+1,k]
  #not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
  for (h in 1:pass_2_V[t+1,k]){
    C_2_V[t+1,k]~dbin(p_V[t+1,k],N_1_V[t+1,k])
    N_2_V[t+1,k]<-N_1_V[t+1,k]-C_2_V[t+1,k]
  }
}

#-----
# 3.2.3.3 zone 3 : Langeac Poutes
#-----
for (k in 1:J[t+1,3]){
  d_L[t+1,k]<- d_wild_L[t+1,k] + I_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k]
  log(d_wild_L[t+1,k])<-L_d_wild_L[t+1,k]
  L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,3] , tau_wild_site)(-6.91,3)

  log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
  L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,3] , tau_juv_site[ I_site_juv_L[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

  lambda_N_L[t+1,k]<-d_L[t+1,k]*S_depl_L[t+1,k]
  #Abundance follows a Poisson distribution
  N_tot_L[t+1,k]~dpois(lambda_N_L[t+1,k])

```

```

L_p_L[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
logit(p_L[t+1,k]) <-L_p_L[t+1,k]

C_1_L[t+1,k]~dbin(p_L[t+1,k],N_tot_L[t+1,k])
N_1_L[t+1,k]<-N_tot_L[t+1,k]-C_1_L[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_L[t+1,k]){
  C_2_L[t+1,k]~dbin(p_L[t+1,k],N_1_L[t+1,k])
  N_2_L[t+1,k]<-N_1_L[t+1,k]-C_2_L[t+1,k]
  #not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
  for (m in 1:pass_3_L[t+1,k]){
    C_3_L[t+1,k]~dbin(p_L[t+1,k],N_2_L[t+1,k])
  }
}

#-----
# 3.2.3.4 zone 4 : upstream Poutes
#-----
for (k in 1:J[t+1,4]){
  d_P[t+1,k]<- d_wild_P[t+1,k] + I_site_juv_P[t+1,k] * d_juv_P[t+1,k]
  log(d_wild_P[t+1,k])<-L_d_wild_P[t+1,k]
  L_d_wild_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,4] , tau_wild_site)(-6.91,1.09)

  log(d_juv_P[t+1,k]) <- L_d_juv_P[t+1,k]
  L_d_juv_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,4] , tau_juv_site[ I_site_juv_P[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

  lambda_N_P[t+1,k]<-d_P[t+1,k]*S_depl_P[t+1,k]
  #Abundance follows a Poisson distribution
  N_tot_P[t+1,k]~dpois(lambda_N_P[t+1,k])

  L_p_P[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
  logit(p_P[t+1,k]) <-L_p_P[t+1,k]

  C_1_P[t+1,k]~dbin(p_P[t+1,k],N_tot_P[t+1,k])
  N_1_P[t+1,k]<-N_tot_P[t+1,k]-C_1_P[t+1,k]
  #not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
  for (h in 1:pass_2_P[t+1,k]){
    C_2_P[t+1,k]~dbin(p_P[t+1,k],N_1_P[t+1,k])
    N_2_P[t+1,k]<-N_1_P[t+1,k]-C_2_P[t+1,k]
  }
}

#-----
# 3.2.4 5 min IA fisheries
#-----
# 3.2.4.1 zone 1 : Vichy Langeac
#-----
for (k in 1:K[t+1,1]){
  d_V[t+1,k]<- d_wild_V[t+1,k] + I_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k] + I_site_egg_V[t+1,k] *
d_egg_V[t+1,k]
  log(d_wild_V[t+1,k])<-L_d_wild_V[t+1,k]
  L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1] , tau_wild_site)(-6.91,3)

  log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
  L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1] , tau_juv_site[ I_site_juv_V[t+1,k] + 1])(-6.91,1.09)

```

```

log(d_egg_V[t+1,k]) <- L_d_egg_V[t+1,k]
L_d_egg_moy_V_inc[t+1,k] <- l_site_egg_V[t+1,k] * (L_d_egg_moy[t+1,1] + log(S_juv_JP[t+1,1])) -
log(S_inc_JP[t+1,1])
L_d_egg_V[t+1,k] ~ dnorm(L_d_egg_moy_V_inc[t+1,k], tau_egg_site[l_site_egg_V[t+1,k] + 1]) | (-6.91, 1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_V[t+1,k] <- kappa_cut * d_V[t+1,k] #kappa_cut * pow(d_V[t+1,k], eta_cut)
EF_IA_V[t+1,k] ~ dpois(lambda_IA_V[t+1,k])
}

#.....
# 3.2.4.2 zone 2 : Alagnon
#.....
for (k in 1:K[t+1,2]){
d_A[t+1,k] <- d_wild_A[t+1,k] + l_site_juv_A[t+1,k] * d_juv_A[t+1,k]
log(d_wild_A[t+1,k]) <- L_d_wild_A[t+1,k]
L_d_wild_A[t+1,k] ~ dnorm(L_d_wild_moy[t+1,2], tau_wild_site) | (-6.91, 1.09)

log(d_juv_A[t+1,k]) <- L_d_juv_A[t+1,k]
L_d_juv_A[t+1,k] ~ dnorm(L_d_juv_moy[t+1,2], tau_juv_site[l_site_juv_A[t+1,k] + 1]) | (-6.91, 1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_A[t+1,k] <- kappa_cut * d_A[t+1,k]
EF_IA_A[t+1,k] ~ dpois(lambda_IA_A[t+1,k])
}

#.....
# 3.2.4.3 zone 3 : Langeac Poutes
#.....
for (k in 1:K[t+1,3]){
d_L[t+1,k] <- d_wild_L[t+1,k] + l_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k] + l_site_egg_L[t+1,k] *
d_egg_L[t+1,k]
log(d_wild_L[t+1,k]) <- L_d_wild_L[t+1,k]
L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm(L_d_wild_moy[t+1,3], tau_wild_site) | (-6.91, 1.09)

log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm(L_d_juv_moy[t+1,3], tau_juv_site[l_site_juv_L[t+1,k] + 1]) | (-6.91, 1.09)

log(d_egg_L[t+1,k]) <- L_d_egg_L[t+1,k]
L_d_egg_moy_L_inc[t+1,k] <- l_site_egg_L[t+1,k] * (L_d_egg_moy[t+1,3] + log(S_juv_JP[t+1,3])) -
log(S_inc_JP[t+1,3])
L_d_egg_L[t+1,k] ~ dnorm(L_d_egg_moy_L_inc[t+1,k], tau_egg_site[l_site_egg_L[t+1,k] + 1]) | (-6.91, 1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_L[t+1,k] <- kappa_cut * d_L[t+1,k]
EF_IA_L[t+1,k] ~ dpois(lambda_IA_L[t+1,k])
}

#.....
# 3.2.4.4 zone 4 : upstream Poutes
#.....
for (k in 1:K[t+1,4]){
d_P[t+1,k] <- d_wild_P[t+1,k] + l_site_juv_P[t+1,k] * d_juv_P[t+1,k]
log(d_wild_P[t+1,k]) <- L_d_wild_P[t+1,k]

```

```

L_d_wild_P[t+1,k] ~ dnorm(L_d_wild_moy[t+1,4], tau_wild_site) | (-6.91, 1.09)

log(d_juv_P[t+1,k]) <- L_d_juv_P[t+1,k]
L_d_juv_P[t+1,k] ~ dnorm(L_d_juv_moy[t+1,4], tau_juv_site[l_site_juv_P[t+1,k] + 1]) | (-6.91, 1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_P[t+1,k] <- kappa_cut * d_P[t+1,k]
EF_IA_P[t+1,k] ~ dpois(lambda_IA_P[t+1,k])
}

#####
# 4. Take into account the area used for stocked juveniles #
#####
for (t in 31:T-1){
#=====
# 4.1 Redd/Spawners part
#=====
logit(p_alagnon[t]) <- L_p_alagnon[t]
logit(p_langeac[t]) <- L_p_langeac[t]
logit(p_poutes[t]) <- L_p_poutes[t]
pool_juv[t] <- s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 * smolts_tot[t])
L_mu_Vichy_nm[t] <- log(s_juv2ad * Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 *
smolts_tot[t])) + level_s * l_surv[t]
mean_y_surv[t] <- s_juv2ad * exp(level_s * l_surv[t])

# max is only added for the year we only have a minimum figure at vichy
temp[t] <- max(tot_C[t] + S_stocking[t] + 2, min_N_V[t])

min_N_1[t] <- max(N[t,4] + 2, temp[t] + 2) + S_stocking[t]
N[t,1] ~ dlnorm(L_mu_Vichy_nm[t], tau_vichy) | (min_N_1[t], 15000)
#without fish caught for breeding or rod catches
N_corrected[t] <- N[t,1] - tot_C[t] - S_stocking[t]
N_corr[t] <- N_corrected[t] - N[t,2]
res_Vichy[t] <- log(N[t,1]) - L_mu_Vichy_nm[t]

max_N_langeac[t] <- N_corr[t] - 1
min_L_P[t] <- max(min_L[t], N[t,4] + 1)
N[t,2] ~ dbin(p_alagnon[t], N_corrected[t]) #Pas de l car on pourrait avoir 0 sur alagnon et tout sur allier
une année donnée
N[t,3] ~ dbin(p_langeac[t], N_corr[t]) | (min_L_P[t],)

max_N_poutes[t] <- N[t,3] - 1
N[t,4] ~ dbin(p_poutes[t], N[t,3])
#-----
# 4.1.1 Number of potential spawners
#-----
#mu_S_ts[t,1] <- N[t,1] - N[t,2] - S_stocking[t]
#mu_S_ts[t,2] <- N[t,2] - N[t,3]
#test[t] <- mu_S_ts[t,1] - S_ts[t,1]

S_ts[t,1] <- max(N[t,1] - N[t,2] - N[t,3] - S_stocking[t] - tot_C[t], 1)
S_ts[t,2] <- max(N[t,2], 1)
S_ts[t,3] <- max(N[t,3] - N[t,4], 1)
S_ts[t,4] <- max(N[t,4], 1)

```

```

#ratio_S[t,1] <- S_ts[t,1] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,2] <- S_ts[t,2] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,3] <- S_ts[t,3] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,4] <- S_ts[t,4] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])

#=====
# 4.2 Loop for zones (1= Vichy-Langeac, 2= Alagnon, 3= Langeac-Poutès, 4= upstream Poutès)
#=====
for (i in 1:4){
#-----
# 4.2.1 Redd/Spawners part
#-----
#.....
# 4.2.1.1 Estimation of the spawners
#.....
R[t,i]~dpois(lambda[t,i])
lambda[t,i] <- S_ts[t,i] *zone_effect[t,i]* hel_effect[2] *p_area[t,i]
res_R[t,i] <- (R[t,i]-lambda[t,i])/sqrt(lambda[t,i])
#.....
# 4.2.1.2 Cut of all parameters
#.....
lambda_cut[t,i] <- cut(lambda[t,i])
R_rep[t,i]~dpois(lambda_cut[t,i])

#S_counter[t,i] <- R[t,i] / (zone_effect[t,i] * p_area[t,i])
#chisq_disc_R[t,i] <- (R[t,i]-lambda[t,i]) * (R[t,i]-lambda[t,i]) / (lambda[t,i])
#chisq_disc_R_rep[t,i] <- (R_rep[t,i]-lambda[t,i]) * (R_rep[t,i]-lambda[t,i]) / (lambda[t,i])
#-----
# 4.2.2 Juvenile production
#-----
# l_juv_moy = indicator for stocking of 0+ or not
# l_egg_moy = indicator for stocking of eggs or not
#d_tot_moy with taking into account area for the stocked juveniles (data only from year 31)
d_tot_moy[t+1,i] <- d_wild_moy[t+1,i] + l_juv_moy[t+1,i] *
d_juv_moy[t+1,i] * S_juv_JP_dev[t+1,i] / S_juv_JP[t+1,i] + l_egg_moy[t+1,i] * d_egg_moy_surf[t+1,i]
Juv[t+1,i] <- d_tot_moy[t+1,i] * S_juv_JP[t+1,i]
d_egg_moy_surf[t+1,i] <- d_egg_moy[t+1,i]
#.....
# 4.2.2.1 Wild component
#.....
log(d_wild_moy[t+1,i]) <- L_d_wild_moy[t+1,i]
L_d_wild_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_wild[t+1,i], tau_wild_moy) | (-6.91, 1.09) #<-
L_mu_d_wild[t+1,i] #
L_mu_d_wild[t+1,i] <- log((S_ts[t,i] / S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd * (S_ts[t,i] / S_juv_JP[t,i]))) +
nu_wild[i]
res_wild_moy[t+1,i] <- L_d_wild_moy[t+1,i] - L_mu_d_wild[t+1,i]
#.....
# 4.2.2.2 Stocked juvenile component
#.....
log(d_juv_moy[t+1,i]) <- L_d_juv_moy[t+1,i]
L_d_juv_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_juv[t+1,i], tau_juv_moy[ l_juv_moy[t+1,i]+1]) | (1, 0.9)

# We recalculate the Rmax "available" to stocked 0+ by subtracting wild 0+ density and stocked
eggs density
# to the total Rmax of the density dependence relationship

```

```

Rmax_juv_temp[t+1,i] <- ( Rmax - ((S_ts[t,i] / S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd *
(S_ts[t,i] / S_juv_JP[t,i]))) ) * exp(nu_wild[i])
Rmax_juv[t+1,i] <- max(Rmax_juv_temp[t+1,i], 0.000001)
beta_dd_juv[t+1,i] <- 1 / Rmax_juv[t+1,i]
L_mu_d_juv[t+1,i] <- l_juv_moy[t+1,i] * log((stock_juv[t+1,i] / S_juv_JP[t+1,i]) /
(alpha_dd_juv / exp(nu_wild[i]) + beta_dd_juv[t+1,i] * (stock_juv[t+1,i] / S_juv_JP[t+1,i])))
res_juv_moy[t+1,i] <- L_d_juv_moy[t+1,i] - L_mu_d_juv[t+1,i]
#.....
# 4.2.2.3 Stocked egg component
#.....
log(d_egg_moy[t+1,i]) <- L_d_egg_moy[t+1,i]
L_d_egg_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_egg[t+1,i], tau_egg_moy[ l_egg_moy[t+1,i]+1]) | (-6.91, 1.09) #
res_egg_moy[t+1,i] <- L_d_egg_moy[t+1,i] - L_mu_d_egg[t+1,i]

# l_egg_unit = indicator of presence of incubators or not: only zone 1 and 2 concerned
# l_egg_VL = indicator for incubators in zone 1
# l_egg_LP = indicator for incubators in zone 2
# l_list_inc = indicator for each incubators loaded or not
L_mu_d_egg[t+1,i] <- equals(i, 1) *
log(
(1 - l_egg_moy[t+1,1]) +
(s_egg * ((stock_egg[t+1,1] + stock_egg[t+1,2] + stock_egg[t+1,3] + stock_egg[t+1,4]) /
S_juv_JP[t+1,1]) )
)
+
equals(i, 3) *
log(
(1 - l_egg_moy[t+1,3]) +
(s_egg * ((stock_egg[t+1,5] + stock_egg[t+1,6]) / S_juv_JP[t+1,2]) )
)
)
# getting out of the zone loop, one loop for each zones and the local densite
# to avoid using 3 dimensions matrix
}
#-----
# 4.2.3 Successive removal fisheries
#-----
# l_site_juv_V/L/P = indicator for presence/absence of stocking on the site
# loop for sites with successive removal EF
#.....
# 4.2.3.1 zone 1 : Vichy Langeac
#.....
for (k in 1:J[t+1,1]){
d_V[t+1,k] <- d_wild_V[t+1,k] + l_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k]
log(d_wild_V[t+1,k]) <- L_d_wild_V[t+1,k]
L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1], tau_wild_site) | (-6.91, 1.09)

log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1], tau_juv_site[ l_site_juv_V[t+1,k]+1]) | (-6.91, 1.09)

lambda_N_V[t+1,k] <- d_V[t+1,k] * S_depl_V[t+1,k]
# Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_V[t+1,k] ~ dpois(lambda_N_V[t+1,k])

L_p_V[t+1,k] ~ dnorm(L_mu_p_cut, L_tau_p_cut)

```

```

logit(p_V[t+1,k]) <-L_p_V[t+1,k]

C_1_V[t+1,k]~dbin(p_V[t+1,k],N_tot_V[t+1,k])
N_1_V[t+1,k]<-N_tot_V[t+1,k]-C_1_V[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_V[t+1,k]){
  C_2_V[t+1,k]~dbin(p_V[t+1,k],N_1_V[t+1,k])
  N_2_V[t+1,k]<-N_1_V[t+1,k]-C_2_V[t+1,k]
}
}

#.....
# 4.2.3.3 zone 3 : Langeac Poutes
#.....
for (k in 1:J[t+1,3]){
d_L[t+1,k]<- d_wild_L[t+1,k] + l_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k]
log(d_wild_L[t+1,k])<-L_d_wild_L[t+1,k]
L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,3] , tau_wild_site)l(-6.91,3)

log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,3] , tau_juv_site[ l_site_juv_L[t+1,k] + 1])l(-6.91,1.09)

lambda_N_L[t+1,k]<-d_L[t+1,k]*S_depl_L[t+1,k]
#Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_L[t+1,k]~dpois(lambda_N_L[t+1,k])

L_p_L[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
logit(p_L[t+1,k]) <-L_p_L[t+1,k]

C_1_L[t+1,k]~dbin(p_L[t+1,k],N_tot_L[t+1,k])
N_1_L[t+1,k]<-N_tot_L[t+1,k]-C_1_L[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_L[t+1,k]){
  C_2_L[t+1,k]~dbin(p_L[t+1,k],N_1_L[t+1,k])
  N_2_L[t+1,k]<-N_1_L[t+1,k]-C_2_L[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
  for (m in 1:pass_3_L[t+1,k]){
    C_3_L[t+1,k]~dbin(p_L[t+1,k],N_2_L[t+1,k])
  }
}
}

#.....
# 4.2.3.4 zone 4 : upstream Poutes
#.....
for (k in 1:J[t+1,4]){
d_P[t+1,k]<- d_wild_P[t+1,k] + l_site_juv_P[t+1,k] * d_juv_P[t+1,k]
log(d_wild_P[t+1,k])<-L_d_wild_P[t+1,k]
L_d_wild_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,4] , tau_wild_site)l(-6.91,1.09)

log(d_juv_P[t+1,k]) <- L_d_juv_P[t+1,k]
L_d_juv_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,4] , tau_juv_site[ l_site_juv_P[t+1,k] + 1])l(-6.91,1.09)

lambda_N_P[t+1,k]<-d_P[t+1,k]*S_depl_P[t+1,k]
#Abundance follows a Poisson distribution
N_tot_P[t+1,k]~dpois(lambda_N_P[t+1,k])

L_p_P[t+1,k]~dnorm(L_mu_p_cut,L_tau_p_cut)
logit(p_P[t+1,k]) <-L_p_P[t+1,k]

C_1_P[t+1,k]~dbin(p_P[t+1,k],N_tot_P[t+1,k])
N_1_P[t+1,k]<-N_tot_P[t+1,k]-C_1_P[t+1,k]
#not all sites have 2 pass, this vector show which sites does
for (h in 1:pass_2_P[t+1,k]){
  C_2_P[t+1,k]~dbin(p_P[t+1,k],N_1_P[t+1,k])
  N_2_P[t+1,k]<-N_1_P[t+1,k]-C_2_P[t+1,k]
}
}

#.....
# 4.2.4 5 min IA fisheries
#.....
#.....
# 4.2.4.1 zone 1 : Vichy Langeac
#.....
for (k in 1:K[t+1,1]){
d_V[t+1,k]<- d_wild_V[t+1,k] + l_site_juv_V[t+1,k] * d_juv_V[t+1,k] + l_site_egg_V[t+1,k] *
d_egg_V[t+1,k]
log(d_wild_V[t+1,k])<-L_d_wild_V[t+1,k]
L_d_wild_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,1] , tau_wild_site)l(-6.91,3)

log(d_juv_V[t+1,k]) <- L_d_juv_V[t+1,k]
L_d_juv_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,1] , tau_juv_site[ l_site_juv_V[t+1,k] + 1])l(-6.91,1.09)

log(d_egg_V[t+1,k]) <- L_d_egg_V[t+1,k]
L_d_egg_moy_V_inc[t+1,k]<- l_site_egg_V[t+1,k] * ( L_d_egg_moy[t+1,1] + log( S_juv_JP[t+1,1]) -
log(S_inc_JP[t+1,1]) )
L_d_egg_V[t+1,k] ~ dnorm( L_d_egg_moy_V_inc[t+1,k] , tau_egg_site[l_site_egg_V[t+1,k] + 1])l(-
6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_V[t+1,k]<-kappa_cut*d_V[t+1,k] #kappa_cut*pow(d_V[t+1,k],eta_cut)
EF_IA_V[t+1,k]~dpois(lambda_IA_V[t+1,k])
}

#.....
# 4.2.4.2 zone 2 : Alagnon
#.....
for (k in 1:K[t+1,2]){
d_A[t+1,k]<- d_wild_A[t+1,k] + l_site_juv_A[t+1,k] * d_juv_A[t+1,k]
log(d_wild_A[t+1,k])<-L_d_wild_A[t+1,k]
L_d_wild_A[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,2] , tau_wild_site)l(-6.91,1.09)

log(d_juv_A[t+1,k]) <- L_d_juv_A[t+1,k]
L_d_juv_A[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,2] , tau_juv_site[ l_site_juv_A[t+1,k] + 1])l(-6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_A[t+1,k]<-kappa_cut*d_A[t+1,k]
EF_IA_A[t+1,k]~dpois(lambda_IA_A[t+1,k])
}

#.....
# 4.2.4.3 zone 3 : Langeac Poutes

```

```

#.....
for (k in 1:K[t+1,3]){
  d_L[t+1,k]<- d_wild_L[t+1,k] + l_site_juv_L[t+1,k] * d_juv_L[t+1,k] + l_site_egg_L[t+1,k] *
d_egg_L[t+1,k]
  log(d_wild_L[t+1,k])<-L_d_wild_L[t+1,k]
  L_d_wild_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,3] , tau_wild_site)l(-6.91,1.09)

  log(d_juv_L[t+1,k]) <- L_d_juv_L[t+1,k]
  L_d_juv_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,3] , tau_juv_site[ l_site_juv_L[t+1,k] + 1])l(-6.91,1.09)

  log(d_egg_L[t+1,k]) <- L_d_egg_L[t+1,k]
  L_d_egg_moy_L_inc[t+1,k]<- l_site_egg_L[t+1,k] * ( L_d_egg_moy[t+1,3] + log( S_juv_JP[t+1,3] ) -
log(S_inc_JP[t+1,3]) )
  L_d_egg_L[t+1,k] ~ dnorm( L_d_egg_moy_L_inc[t+1,k] , tau_egg_site[l_site_egg_L[t+1,k] + 1])l(-
6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_L[t+1,k]<-kappa_cut*d_L[t+1,k]
EF_IA_L[t+1,k]~dpois(lambda_IA_L[t+1,k])
}

#.....
# 4.2.4.4 zone 4 : upstream Poutes
#.....
for (k in 1:K[t+1,4]){
  d_P[t+1,k]<- d_wild_P[t+1,k] + l_site_juv_P[t+1,k] * d_juv_P[t+1,k]
  log(d_wild_P[t+1,k])<-L_d_wild_P[t+1,k]
  L_d_wild_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_wild_moy[t+1,4] , tau_wild_site)l(-6.91,1.09)

  log(d_juv_P[t+1,k]) <- L_d_juv_P[t+1,k]
  L_d_juv_P[t+1,k] ~ dnorm( L_d_juv_moy[t+1,4] , tau_juv_site[ l_site_juv_P[t+1,k] + 1])l(-6.91,1.09)

#5minute EF part
lambda_IA_P[t+1,k]<-kappa_cut*d_P[t+1,k]
EF_IA_P[t+1,k]~dpois(lambda_IA_P[t+1,k])
}
}

#####
# 5. Just the last year to estimate spawners #
#####
for (t in T:T){
#=====
# 5.1 Redd/Spawners part
#=====
logit(p_alagnon[t])<-L_p_alagnon[t]
logit(p_langeac[t])<- L_p_langeac[t]
logit(p_poutes[t])<- L_p_poutes[t]
pool_juv[t]<-s_juv2ad* Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 * smolts_tot[t] )
L_mu_Vichy_nm[t]<-log(s_juv2ad *Juv_tot_system[t] + s_smolt * (0.5 * smolts_tot[t+1] + 0.5 *
smolts_tot[t] )) + level_s *l_surv[t]

min_N_1[t]<-max(N[t,4]+2,tot_C[t] +2)+S_stocking[t]
N[t,1]~dlnorm(L_mu_Vichy_nm[t],tau_vichy)l(min_N_1[t],15000)
#without fish caught for breeding
N_corrected[t]<-N[t,1]-S_stocking[t]

```

```

N_corr[t]<-N_corrected[t] - N[t,2]
res_Vichy[t] <- log(N[t,1]) - L_mu_Vichy_nm[t]

max_N_langeac[t]<- N_corr[t] -1
min_L_P[t]<-N[t,4]+1

N[t,2]~dbin(p_alagnon[t],N_corrected[t]) #Pas de l car on pourrait avoir 0 sur alagnon et tout sur
allier une année donnée
N[t,3]~dbin(p_langeac[t],N_corr[t])l(min_L_P[t],)

max_N_poutes[t]<-N[t,3]-1
N[t,4]~dbin(p_poutes[t],N[t,3])

#-----
# 5.1.1 Number of potential spawners
#-----
S_ts[t,1]<- max(N[t,1] - N[t,2] - N[t,3] - S_stocking[t] - tot_C[t] , 1)
S_ts[t,2]<- max( N[t,2],1)
S_ts[t,3]<- max( N[t,3]-N[t,4],1)
S_ts[t,4]<-max( N[t,4],1)

#ratio_S[t,1] <- S_ts[t,1] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,2] <- S_ts[t,2] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,3] <- S_ts[t,3] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])
#ratio_S[t,4] <- S_ts[t,4] / ( S_ts[t,1] + S_ts[t,2] + S_ts[t,3] + S_ts[t,4])

#=====
# 5.2 Loop for zones (1= Vichy-Langeac, 2= Langeac-Poutès, 3= upstream Poutès)
#=====
for (i in 1:4){
#-----
# 5.2.1 Redd/Spawners part
#-----
#.....
# 5.2.1.1 Estimation of the spawners
#.....
R[t,i]~dpois(lambda[t,i])
lambda[t,i] <- S_ts[t,i] *zone_effect[t,i] * hel_effect[2]*p_area[t,i]
res_R[t,i]<-(R[t,i]-lambda[t,i])/sqrt(lambda[t,i])
#.....
# 5.2.1.2 Cut of all parameters
#.....
lambda_cut[t,i]<-cut(lambda[t,i])
R_rep[t,i]~dpois(lambda_cut[t,i])

#S_counter[t,i]<-R[t,i] / (zone_effect[t,i] *p_area[t,i])
#chisq_disc_R[t,i]<- (R[t,i]-lambda[t,i]) * (R[t,i]-lambda[t,i]) / (lambda[t,i])
#chisq_disc_R_rep[t,i]<- (R_rep[t,i]-lambda[t,i]) * (R_rep[t,i]-lambda[t,i]) / (lambda[t,i])
#-----
# 5.2.2 Juvenile production (wild only)
#-----
d_tot_moy[t+1,i] <- d_wild_moy[t+1,i]
Juv[t+1,i] <- d_tot_moy[t+1,i]*S_juv_JP[t+1,i]
#.....
# 5.2.2.1 Wild component
#.....

```

```
log(d_wild_moy[t+1,i]) <- L_d_wild_moy[t+1,i]
L_d_wild_moy[t+1,i] ~ dnorm(L_mu_d_wild[t+1,i],tau_wild_moy)(-6.91,1.09)
L_mu_d_wild[t+1,i] <- log((S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]) / (alpha_dd + beta_dd * (S_ts[t,i]/S_juv_JP[t,i]))) +
nu_wild[i]
res_wild_moy[t+1,i] <- L_d_wild_moy[t+1,i] - L_mu_d_wild[t+1,i]
}
}

### END MODEL BRACKET
}
```

**L'Europe c'est ici.**  
**L'Europe c'est maintenant.**

# **PROGRAMME D' ACTIONS EN FAVEUR DES POISSONS MIGRATEURS**

## **Tableaux de bord Migrateurs du Bassin Loire**



**Le programme Tableaux de bord Migrateurs en faveur des poissons migrateurs est cofinancé par l'Union européenne.**

**L'Europe s'engage dans le bassin de la Loire avec le Fonds européen de développement régional.**

