Mise à jour de la relation stock-recrutement sur l'Oir (50)

Laurent Beaulaton, Marie Nevoux, Etienne Prévost, Frédéric Marchand, Arnaud Richard

▶ **To cite this version:**

Laurent Beaulaton, Marie Nevoux, Etienne Prévost, Frédéric Marchand, Arnaud Richard. Mise à jour de la relation stock-recrutement sur l'Oir (50). [Rapport Technique] Office Français de la Biodiversité. 2016, 34 p. hal-01603603

HAL Id: hal-01603603
https://hal.science/hal-01603603

Submitted on 5 Jun 2020

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

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

Mise à jour de la relation Stock-Recrutement sur l'Oir (50)

Rapport final

BEAULATON Laurent, pôle Onema-Inra Gest'Aqua
NEVOUX Marie, pôle Onema-Inra Gest'Aqua
PRÉVOST Étienne, pôle Onema-Inra Gest'Aqua
MARCHAND Frédéric, pôle Onema-Inra Gest'Aqua
RICHARD Arnaud, Onema

Novembre 2016

SOMMAIRE

I –Introduction....3
II –Méthodes....3
III –Habitat disponible....3
IV –Évaluation du Stock (S)....3
V –Évaluation du recrutement (R)....4
VI –Coefficient de conversion du smolt à l'œuf et gain....6
VII –Estimation de la relation Stock-Recrutement....7
VII.1 –Modèle simple (1)....7
VII.2 –Modèle sur les années récentes (2)....14
VII.3 –Modèle à trois niveaux (3)....19
VII.4 –Modèle à deux niveaux (4)....24
VIII –Discussion....29
IX –Bibliographie....32

I – INTRODUCTION

Afin de mener un travail de mise à jour des TAC en Basse-Normandie, en particulier sur les rivières de la baie du Mont Saint-Michel la DiR Nord-Ouest de l'Onema a sollicité un appui du pôle Gest'Aqua.
Les TAC ont été établi en 1996 par Prévost et Porcher (1996a) et Porcher et Prévost (1996). Cette méthode repose sur une cible en dépose d'œufs basée sur une relation stock-recrutement. À l'époque ce sont les données de l'Oir entre 1985 et 1994 qui ont été utilisées.
Il apparaît aujourd'hui nécessaire de réévaluer les paramètres utilisés, compte tenu de la disponibilité d'environ 20 années de données supplémentaires et de l'évolution constatée de certains traits d'histoire de vie. De plus, le pôle a entrepris de mettre à jour et de standardiser les séries chronologiques d'abondance du saumon sur ces 4 observatoires long terme, dont l'Oir. Ce travail vient de s'achever (Servanty and Prévost, 2016).
Le présent document vise à présenter les données utilisées, les exploitations faites et ultimement à mettre à jour la relation stock-recrutement de l'Oir.

II – MÉTHODES

Le stock (S) est en fait la quantité de géniteurs et le recrutement (R) la quantité de descendants issus de ces géniteurs. Dans le cas du saumon, S est estimé en nombre d'œufs déposés et R en nombre de smolts dévalant vers la mer. Afin d'assurer une ré-utilisation sur d'autres rivières, ces grandeurs sont rapportées à l'habitat disponible, quantifié en surface (m²) d'équivalent radier-rapide.
Le stock et le recrutement sont reliés par la relation de Ricker (1954) :

$R = a\ S\ e^{-b\ S}$, où $b = \frac{a}{R_{max} e^{1}}$, avec R_{max}, le recrutement maximal et a, la pente à l'origine.

III – HABITAT DISPONIBLE

L'habitat de l'Oir a été réévalué à 26 714m² d'équivalent radier-rapide (Servanty and Prévost, 2016).

IV – ÉVALUATION DU STOCK (S)

Servanty et Prévost (2016) donnent une estimation des géniteurs ayant remonté l'Oir entre 1984 et 2013 par sexe et durée du séjour en mer.
À partir des données de taille et d'âge des poissons capturés au pièges de Cerisel et des relations taille-fécondité décrite dans Prévost et Porcher (1996b), il est possible de calculer la fécondité moyenne annuelle des femelles par classe d'age (un ou plusieurs hiver de mer), via un modèle GAM simple[1] (Hastie and Tibshirani, 1990) qui explique 70 % de la déviance. Les résultats sont présentés Figure 1.

1 Qui ne considère que les effets année et age en mer, sans interactions : s(année) + age_mer

Ces éléments permettent de construire une série de dépose d'œufs (Tableau 1).

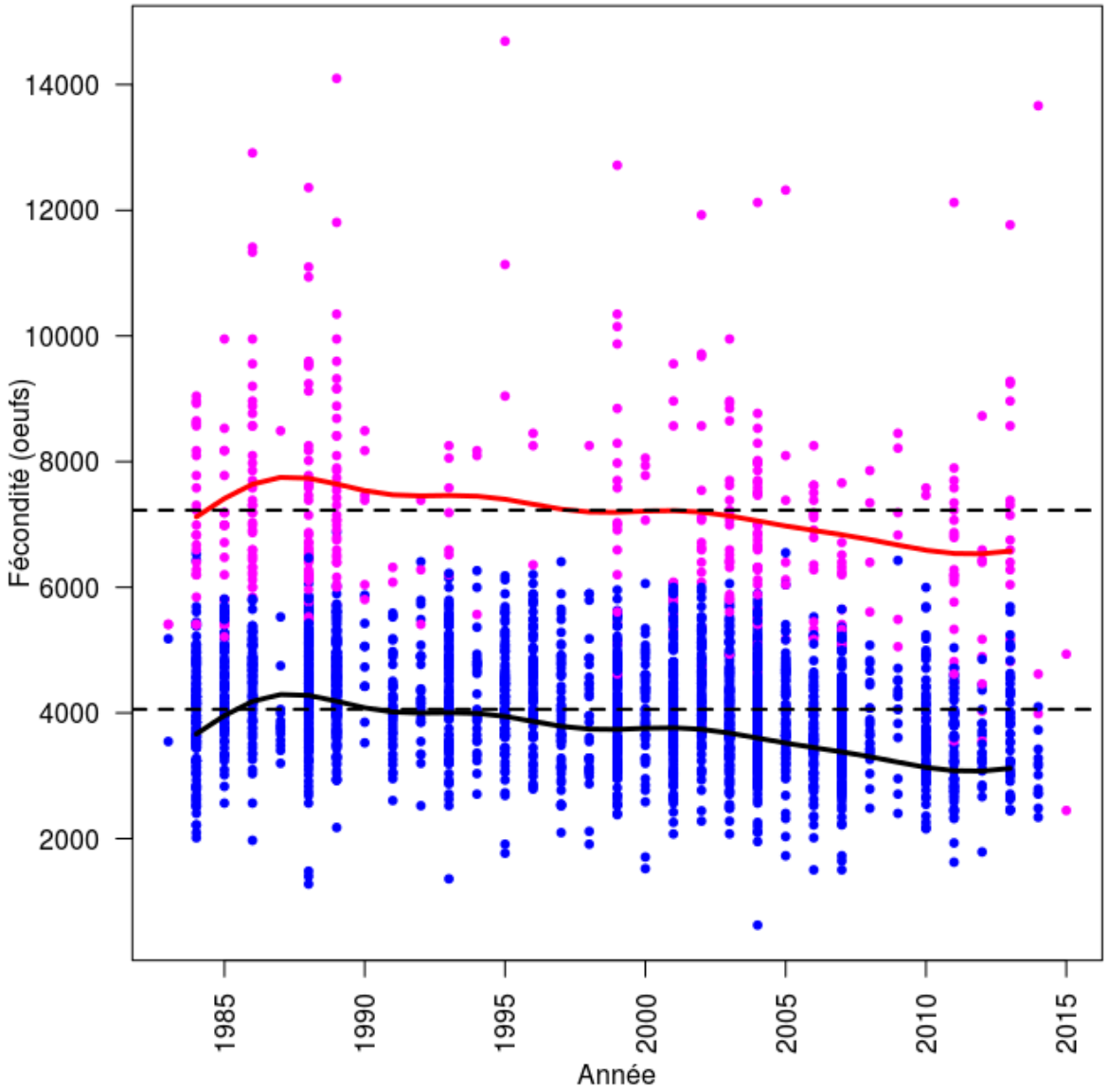

Figure 1 : fécondité des femelles capturées sur l'Oir. En bleu les 1 hiver de mer, en rose les plusieurs hiver de mer. Les traits épais représentent la tendance moyenne (GAM) et les pointillés sont les valeurs données par Prévost et Porcher (1996b).

V – ÉVALUATION DU RECRUTEMENT (R)

Servanty et Prévost (2016) donnent une estimation des smolts ayant dévalé l'Oir entre 1986 et 2014. Ils ne distinguent néanmoins pas les classes d'âge.
Nous avons utilisé les données d'âge des smolts de l'Oir. Cet âge (1 ou 2 ans de rivière, les 3 ans étant anecdotiques) est évalué sur un sous-échantillon des poissons capturés au piège. Cela représente ainsi

14 391 poissons âgés sur 22 418 piégés. Ces données permettent de mettre au point un modèle (GLM de type logistique) donnant l'âge en fonction de la taille du poisson, effet croisé avec l'année et le numéro de la semaine. Ce modèle explique 68 % de la déviance et permet d'évaluer l'âge des individus non sous-échantillonné et par conséquent d'estimer la proportion de 1 et 2 ans de rivière pour chaque année (Figure 2). On obtient la série chronologique du recrutement en additionnant les smolts de 1 an de l'année n+2 et de 2 ans de l'année n + 3 (à mettre en relation avec le stock remonté l'année n ; Tableau 2).

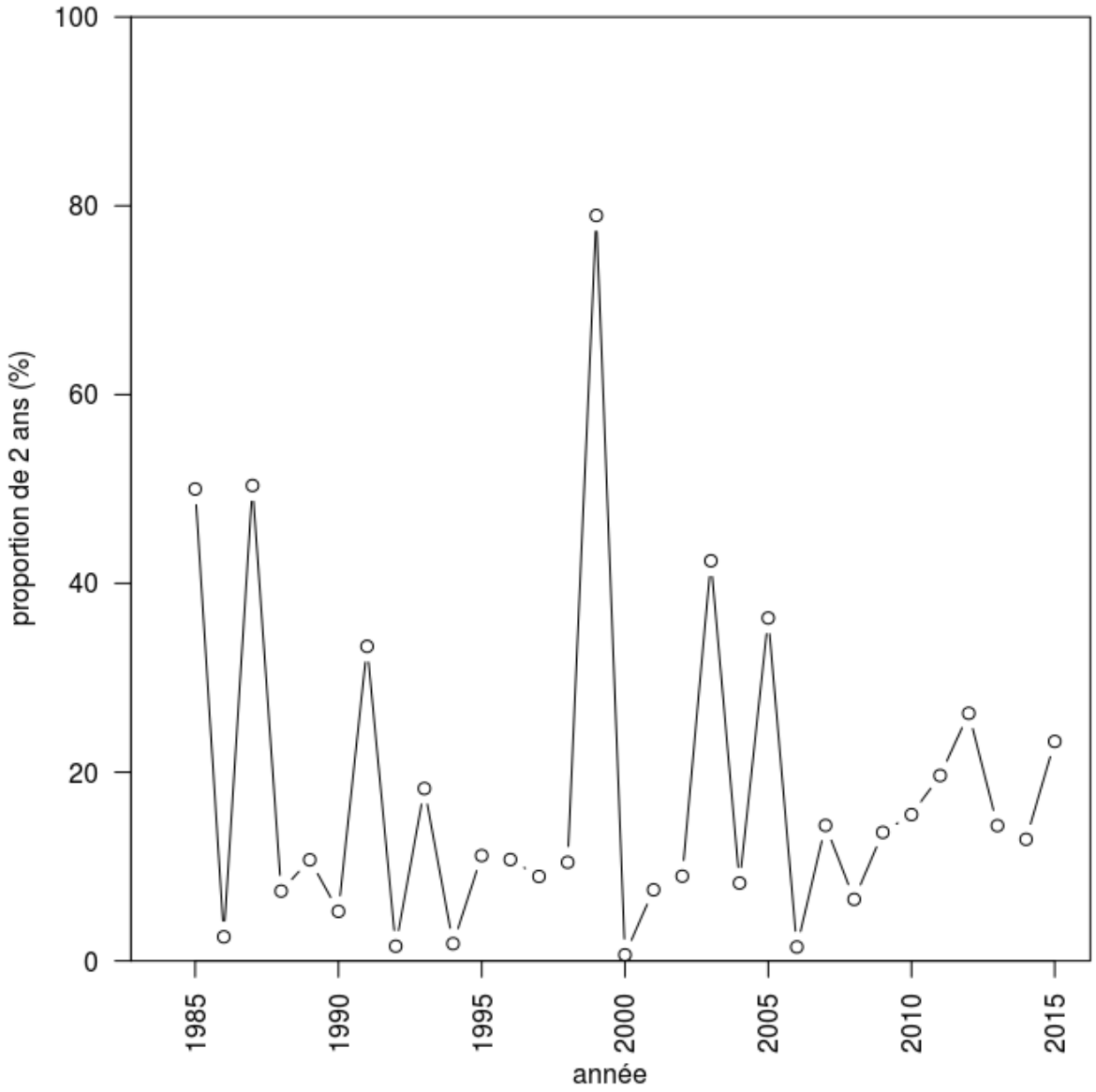

Figure 2 : proportion des 2 ans de rivières dans les smolts dévalant sur l'Oir. L'année est l'année de dévalaison.

Tableau 1 : stock = dépose d'œufs sur l'Oir entre 1984 et 2013 (œufs / m² équivalent radier-rapide)

	1980	1990	2000	2010
0		9,06	22,11	25,46
1		3,07	11,18	27,24
2		5,34	24,98	16,30
3		6,36	17,40	22,02
4	16,30	7,80	36,57	
5	25,33	9,82	10,04	
6	15,02	17,86	19,30	
7	8,56	4,52	14,47	
8	26,85	11,67	10,11	
9	16,62	16,74	11,04	

Tableau 2 : recrutement = nombre de smolt sur l'Oir (smolts / m² équivalent radier-rapide). Les années correspondent à l'année de remontée des géniteurs.

	1980	1990	2000	2010
0		0,0264	0,1003	0,0444
1		0,0073	0,0305	0,0483
2		0,0241	0,0539	
3		0,0288	0,0210	
4	0,0340	0,0353	0,0550	
5	0,0079	0,0200	0,0359	
6	0,0176	0,0434	0,0922	
7	0,0290	0,0026	0,1170	
8	0,0315	0,0844	0,0575	
9	0,0054	0,0542	0,0675	

VI – COEFFICIENT DE CONVERSION DU SMOLT À L'ŒUF ET GAIN

Ce paramètre permet de "convertir" le nombre de smolts en nombre d'œufs qu'ils donneront une fois de retour dans leur rivière. Il est défini de la manière suivante :

$C = S_m \left(P_1 \, PF_1 \, F_1 + (1 - P_1) \, PF_p \, F_p \right) = 186$, avec

S_m = 9.49 %, le taux de survie en mer, obtenu sur le Scorff (issu du document de travail du 29/10/2015 du CoGePoMi Bretagne, (Arago, 2015))

P_1 = 83.1 %, la proportion de castillons dans les retours d'adultes de l'Oir lors de la dernière décennie connue (2004-2013 ; Servanty and Prévost, 2016)

PF_1 = 37.4 %, la proportion de femelles parmi les castillons de l'Oir lors de la dernière décennie connue (2004-2013 ; Servanty and Prévost, 2016)

F1 = 3567 œufs / femelle, la fécondité moyenne d'une femelle de castillon lors de la dernière décennie connue (2006-2015) (2006-2015 ; Richard, 2016)

PF_p = 82.5 %, la proportion de femelles parmi les saumons de printemps de l'Oir lors de la dernière décennie connue (2004-2013 ; Servanty and Prévost, 2016)

F_p = 6082 œufs / femelle, la fécondité moyenne d'une femelle de saumon de printemps lors de la dernière

décennie connue (2006-2015 ; Richard, 2016)

Ce paramètre est la pente de la droite de remplacement.

À L'aide de ce paramètre et de la relation S-R, on peut calculer le gain qui est la différence entre le recrutement et les géniteurs qui les ont générés, les deux étant exprimés dans la même unité (œufs), grâce à l'équation suivante : $gain = R_{calculé} * C - S$.

VII – ESTIMATION DE LA RELATION STOCK-RECRUTEMENT

La modélisation s'effectue dans un cadre bayésien et l'erreur autour de la courbe S-R est supposée lognormale (proche de la courbe pour les valeurs en dessous et pouvant être plus éloignée pour les valeurs au-dessus). Les résultats sont donnés après avoir vérifié la convergence du modèle sur 3 chaînes (fonction gelman.diag du package coda de R). Les valeurs des paramètres sont données pour un modèle ajusté sur un recrutement R en smolts / m² (Tableau 2) et un stock S en œufs / m² (Tableau 1). Compte tenu de l'allure des données, quatre modèles différents sont testés.

VII.1 – Modèle simple (1)

Ce modèle considère qu'une unique relation S-R existe sur l'Oir, commune à toutes les années.
Le Tableau 3 et la Figure 3 donnent les valeurs des paramètres ajustés (selon l'équation de Ricker II). On notera la très grande variance autour des paramètres et la corrélation entre les paramètres.

Tableau 3 : distribution a posteriori des paramètres de la loi de Ricker (modèle 1)

	2,5%	25,0%	50,0%	75,0%	97,5%
Rmax	0.031697	0,040832	0,0487258	0,062961	0,09403
a	0,002461	0,003451	0,0043102	0,005557	0,00948

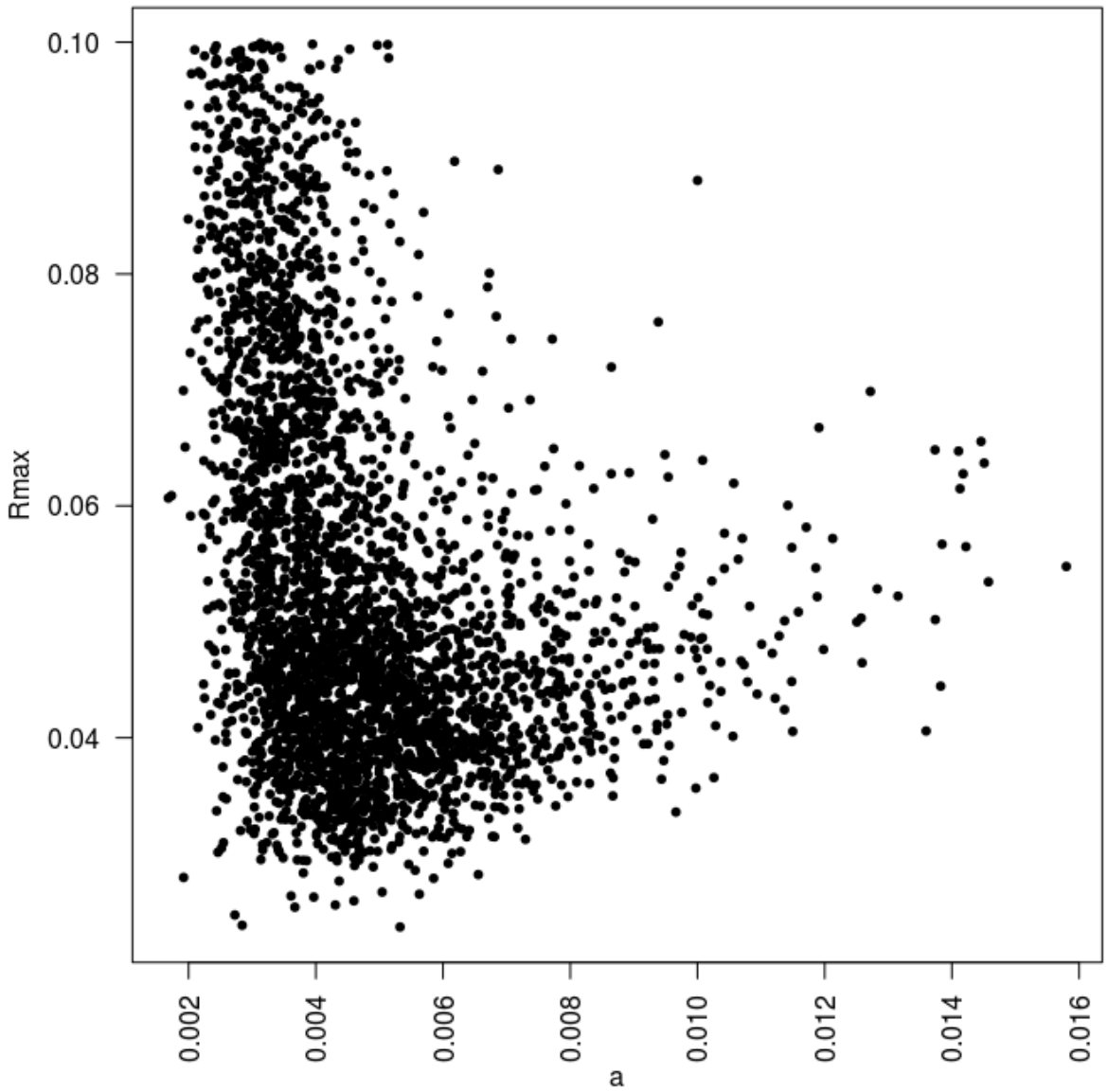

Figure 3 : couples (a, R_{max}) issus des tirages bayésiens (modèle 1)

Les figures 4 à 6 illustrent les valeurs estimées de déposes d'œufs et de smolts sur l'Oir et les relations S-R issues du présent travail (modèle 1) et de celui de Prévost et Porcher (1996b).

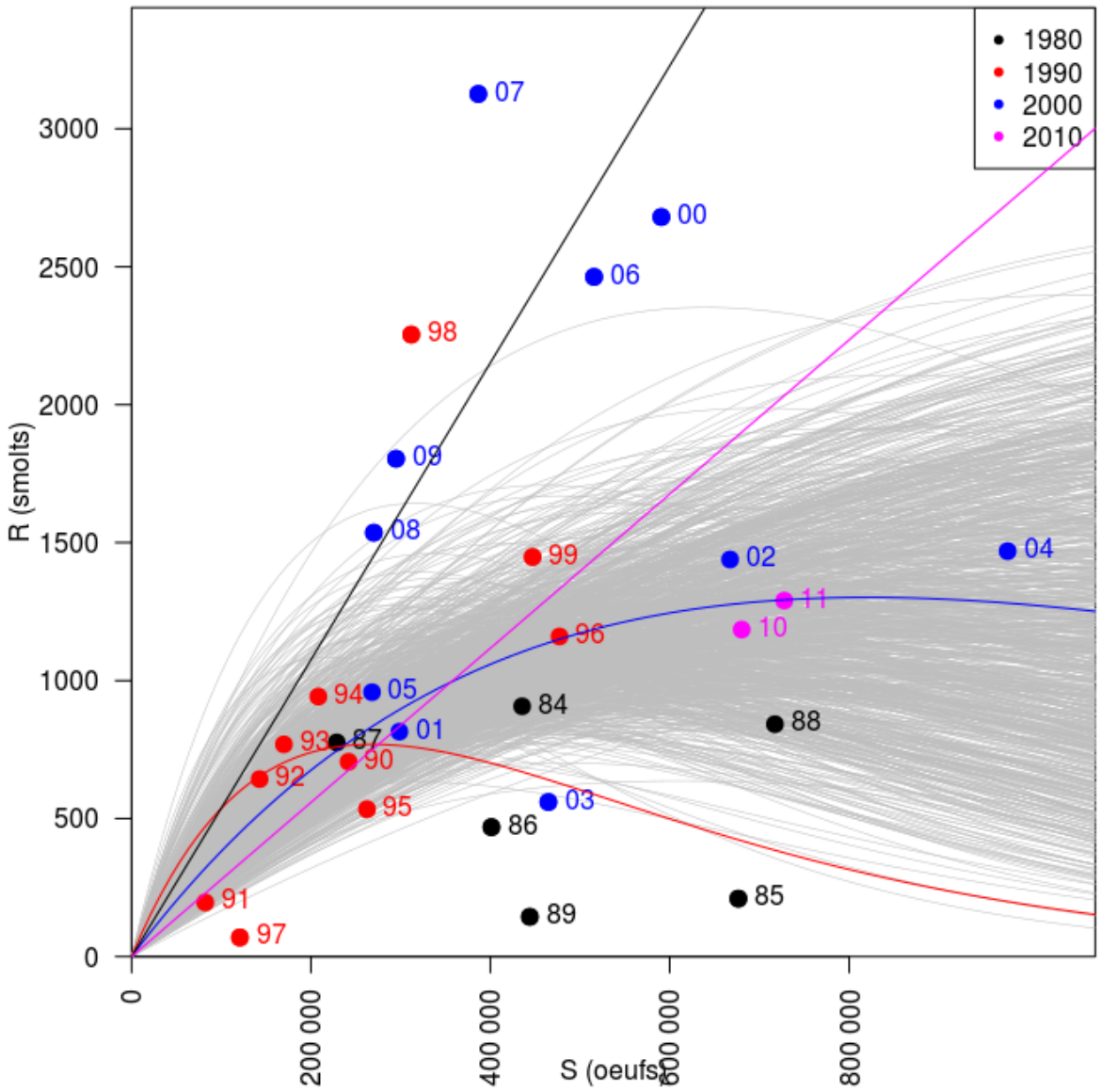

Figure 4 : relation stock-recrutement sur l'Oir (S en œufs et R en smolts), la courbe bleue est la relation issue des paramètres médians (Tableau 3) du modèle 1, les courbes grises sont 1000 relations tirées dans le modèle bayésien, la rouge celle de Prévost et Porcher (1996b). La courbe noir est la droite de replacement du présent travail (VI) et la magenta celle de Prévost et Porcher (1996b).

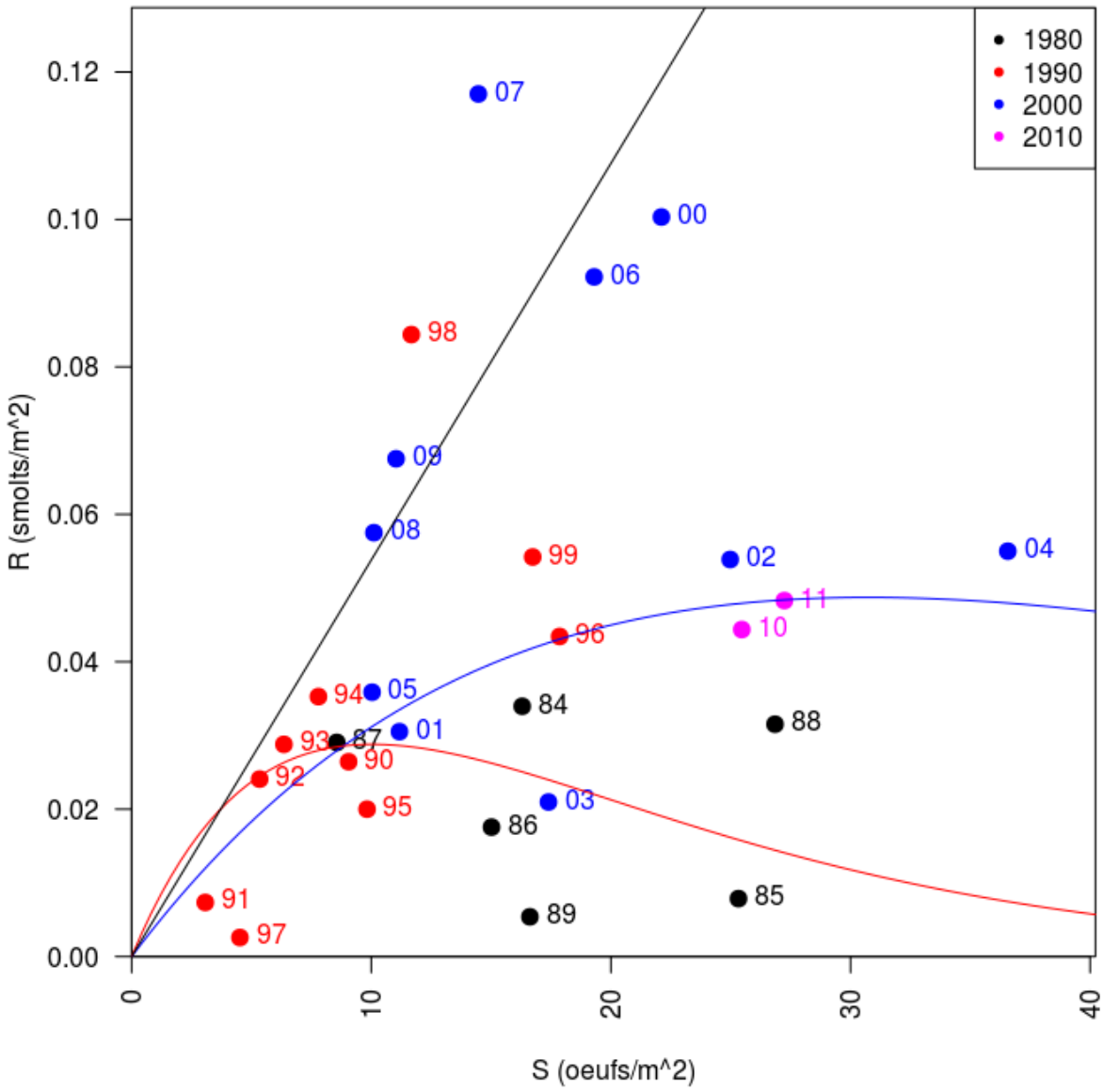

Figure 5 : relation stock-recrutement sur l'Oir (S en œufs / m² de radiers-rapides et R en smolts / m² de radiers-rapides), la courbe bleue est la relation issue des paramètres médians (Tableau 3) du modèle 1, la rouge celle de Prévost et Porcher (1996b). La courbe noir est la droite de replacement du présent travail (VI).

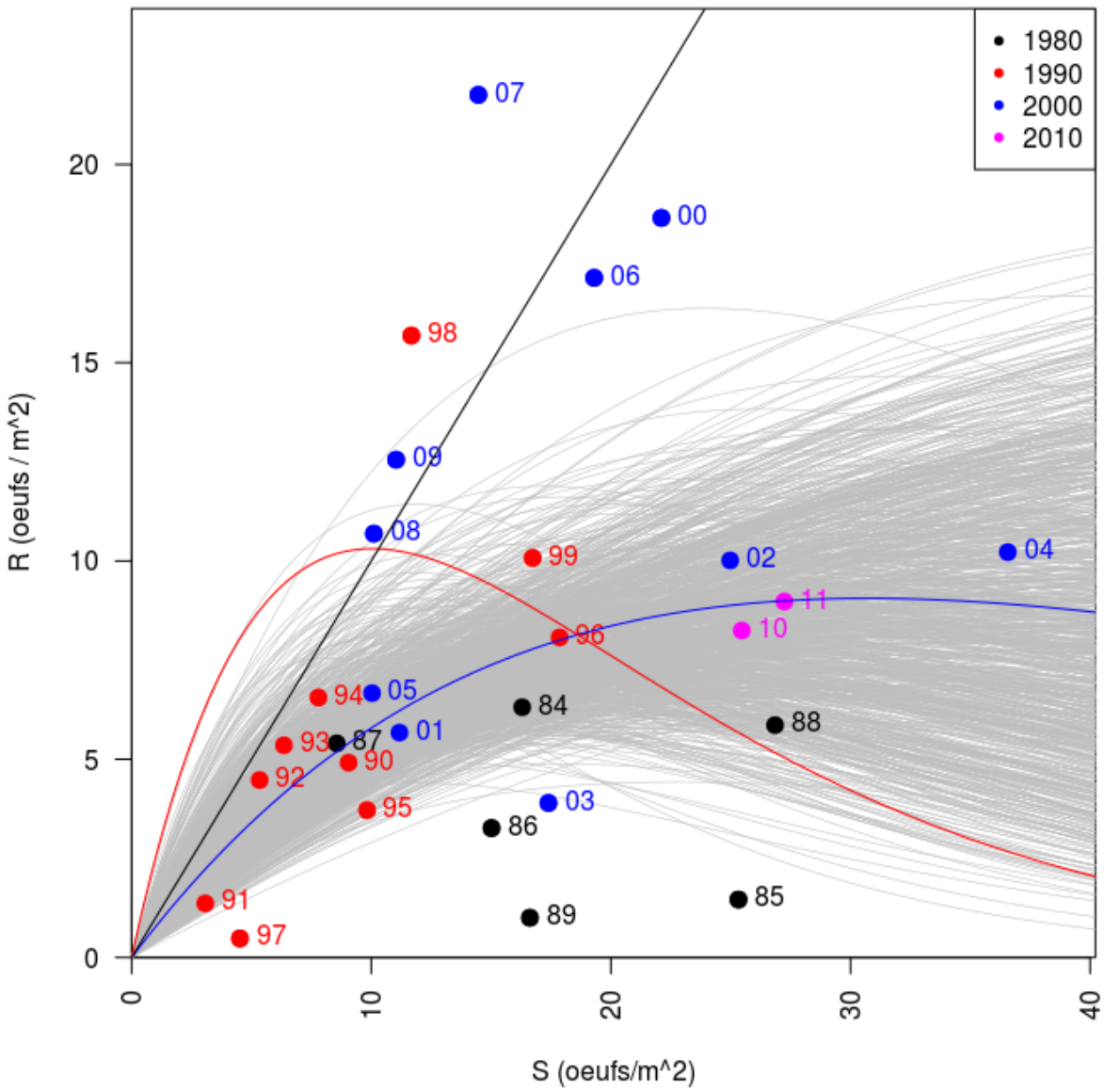

Figure 6 : relation stock-recrutement sur l'Oir (S en œufs / m² de radiers-rapides et R en œufs / m² de radiers-rapides), la courbe bleue est la relation issue des paramètres médians (Tableau 3) du modèle 1, les courbes grises sont 1000 relations tirées dans le modèle bayésien, la rouge celle de Prévost et Porcher (1996b). La courbe noir est la droite de replacement (bissectrice étant donné que R et S sont dans la même unité).

La Figure 7 présente l'estimation du gain pour la courbe « médiane ». Dans ce modèle, il n'y a pas de gain possible avec la relation médiane, ce qui n'était pas le cas par le passé avec une droite de remplacement moins contraignante (et qui ne serait pas le cas actuellement avec la droite de remplacement historique, Figure 4). La Figure 8 montre l'impact de la variabilité des estimations des paramètres de la relation S-R sur le gain.

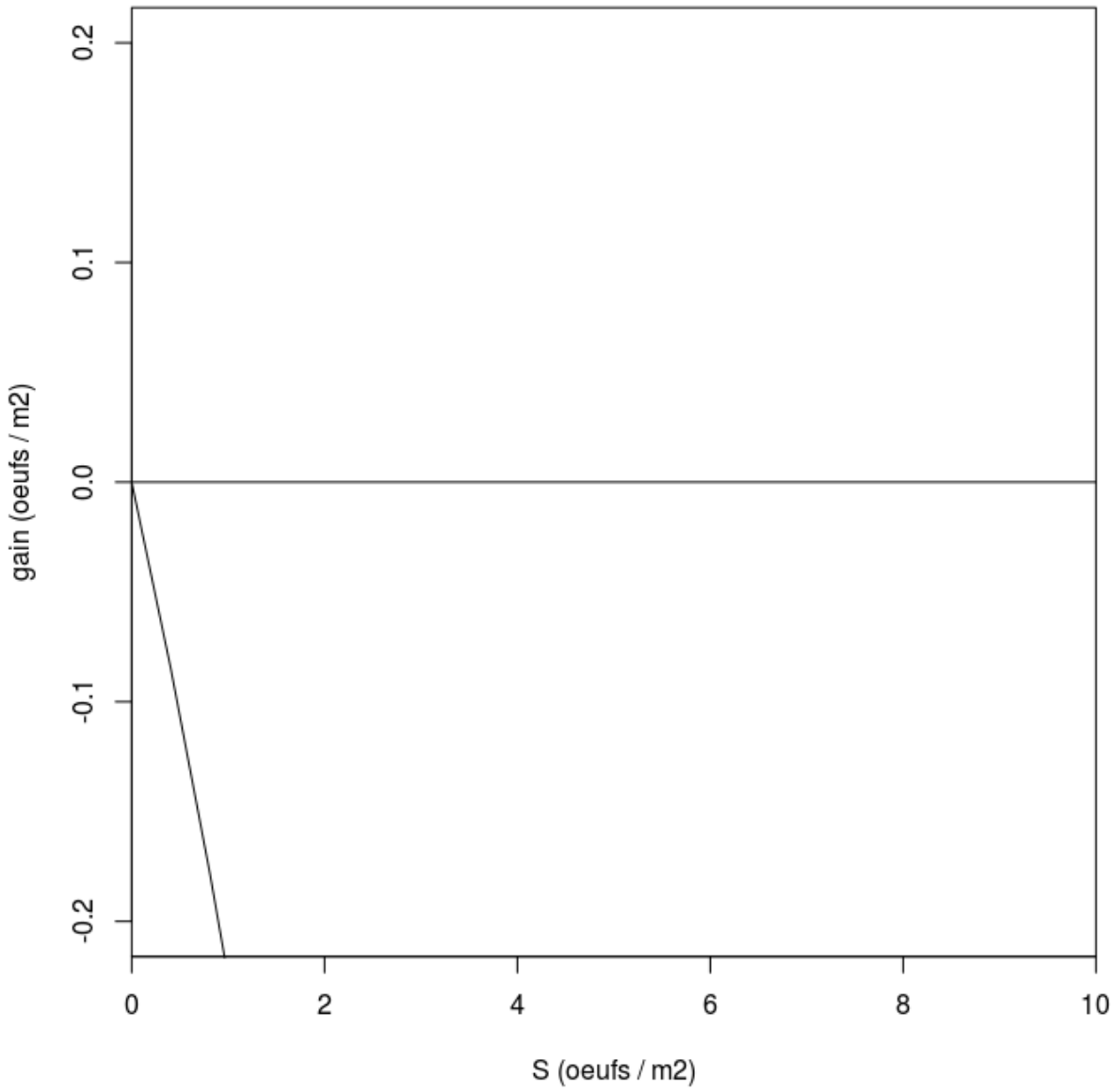

Figure 7: gain calculé avec le modèle (1)

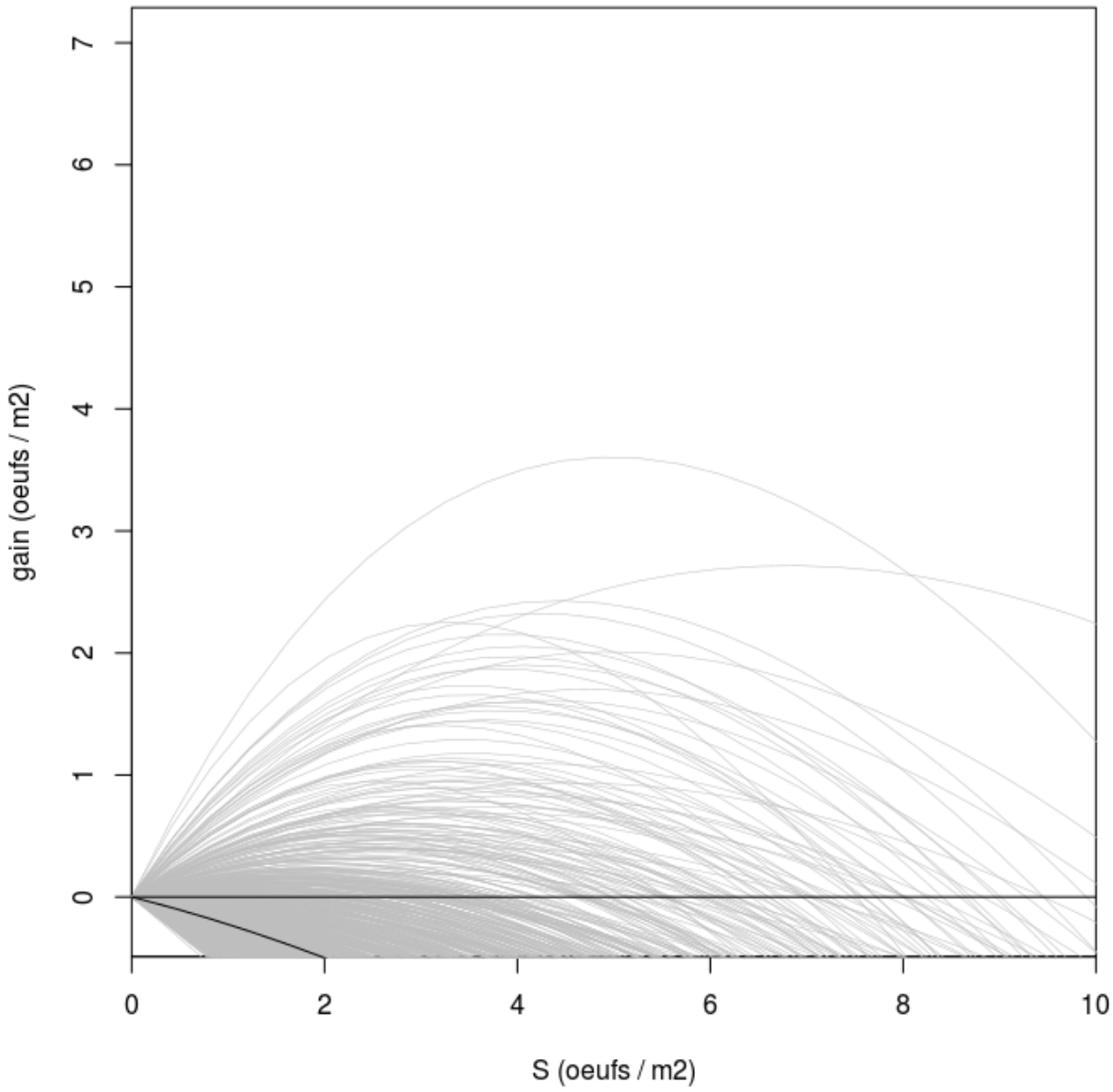

Figure 8 : gain calculé avec le modèle (1), en noir les paramètres médians et en gris 1000 tirages bayésiens

La Figure 9 montre la qualité des prédictions du recrutement en donnant l'écart entre valeur observée et prédite. On notera que certaines années les données observées sont bien plus faibles que les prédictions du modèle (1986 par exemple) et inversement (2007 par exemple). Pour 1985, 1989 et 1997, elles sont mêmes extrêmement faible. Globalement les recrutements observés sont plus faibles que ceux prédits pour les années 1980 et 1990 et plus forts que ceux prédits pour les années 2000 et 2010.

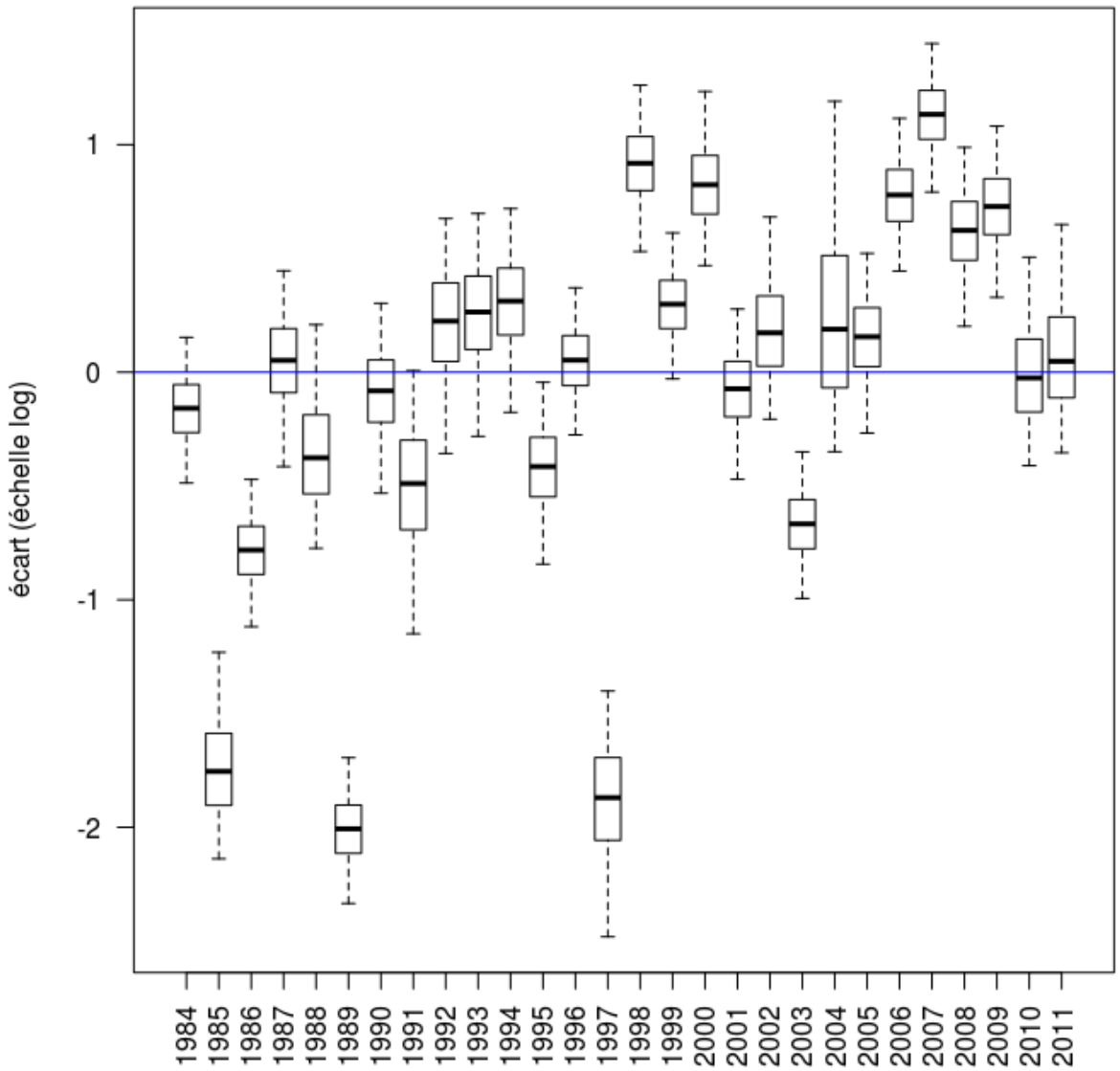

Figure 9 : écart (en échelle log) entre valeur observée et prédite du recrutement par le modèle S-R (1)

VII.2 – Modèle sur les années récentes (2)

Les données S-R montrant une rupture vers 2000 (valeurs basses avant, haute après, voir aussi les écarts observés / prédits du modèle 1), le modèle est calé indépendamment (équation de Ricker : II) sur les années récentes (depuis 1998 inclus) et ancienne (jusqu'à 1997). Le Tableau 4 et la Figure 10 donnent les valeurs des paramètres ajustés.
On notera la très grande variance autour des paramètres et la corrélation entre les paramètres.

Tableau 4 : distribution a posteriori des paramètres de la loi de Ricker (modèle 2)

	2,5%	25,0%	50,0%	75,0%	97,5%
Rmax (>=1998)	0,050051	0,066351	0,078491	0,09847	0,23648
A (>=1998)	0,003639	0,007314	0,011477	0,01784	0,04566
Rmax (<=1997)	0,017307	0,02279	0,027152	0,03726	0,40913
A (<=1997)	0,001587	0,00282	0,004168	0,00583	0,01126

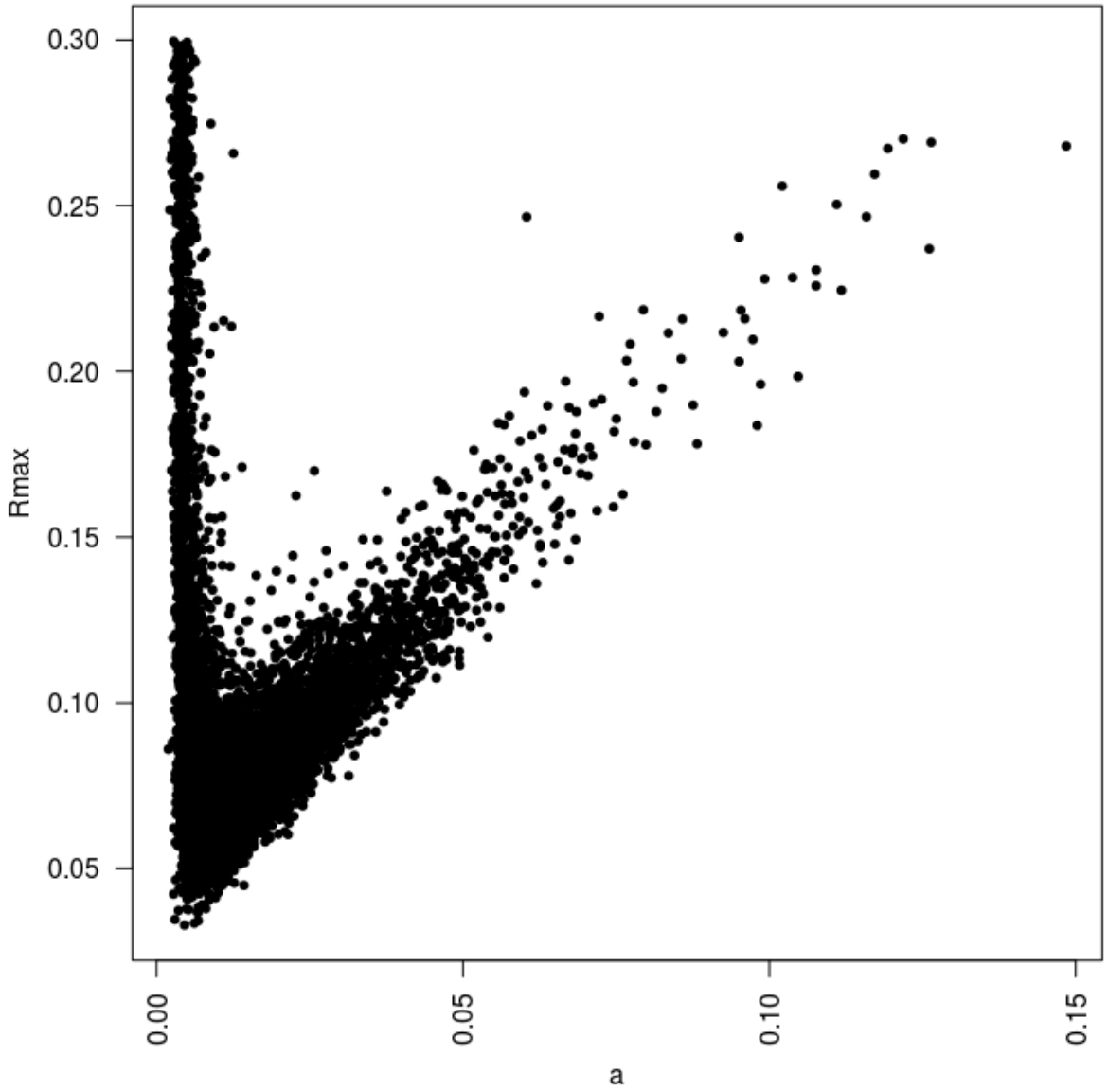

Figure 10 : couples (a, R_{max}) issus des tirages bayésiens pour les années récentes (modèle 2)

La figure 11 illustre les valeurs estimées de déposes d'œufs et de smolts sur l'Oir et les relations S-R issues du présent travail (modèle 2) et de celui de Prévost et Porcher (1996b).

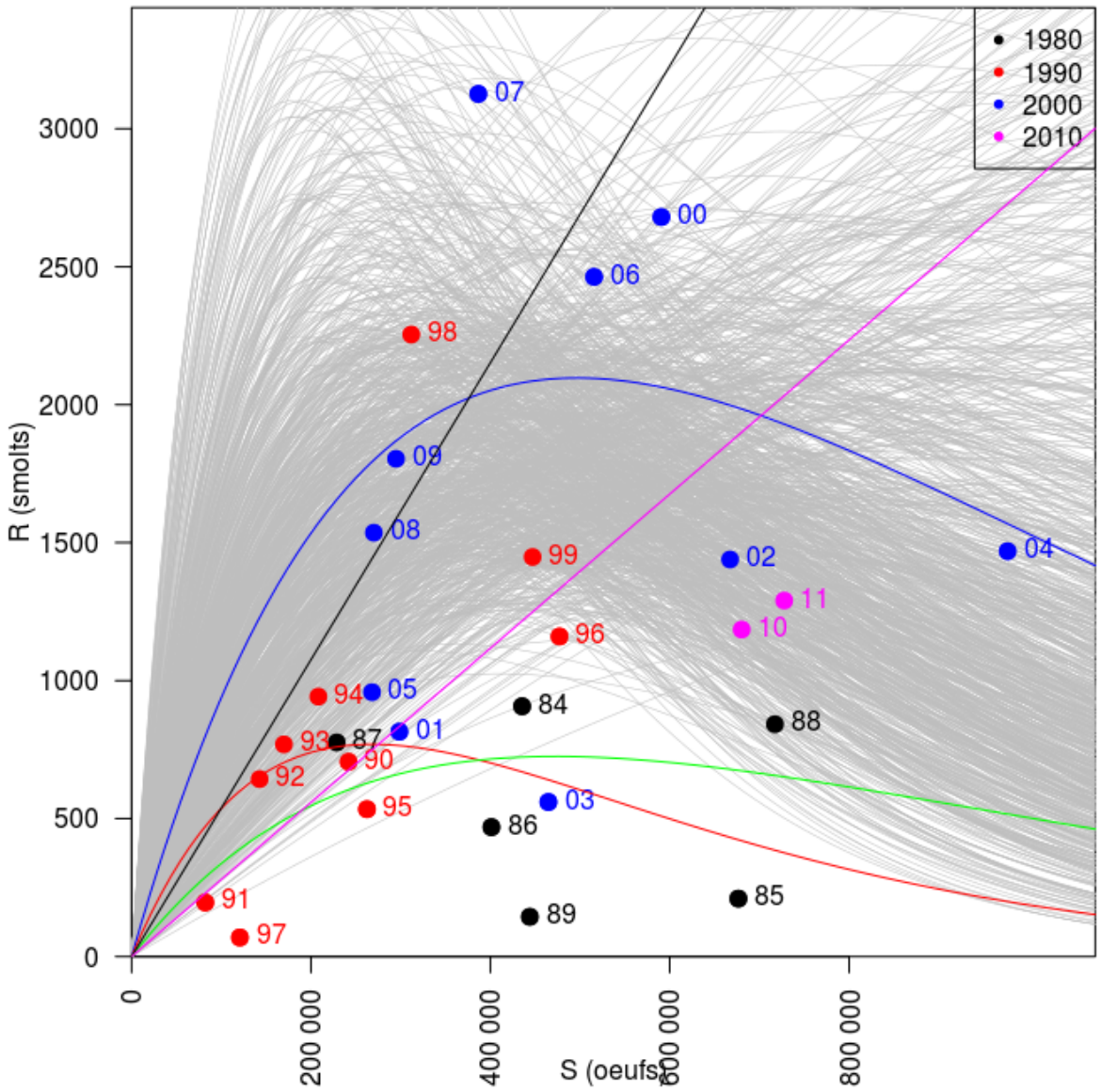

Figure 11 : relation stock-recrutement sur l'Oir (S en œufs et R en smolts), la courbe bleue est la relation issue des paramètres médians pour les années récentes du modèle 2 et la verte pour les années les plus anciennes (Tableau 4), les courbes grises sont 1000 relations tirées dans le modèle bayésien (années récentes), la rouge celle de Prévost et Porcher (1996b). La courbe noir est la droite de replacement du présent travail (VI) et la magenta celle de Prévost et Porcher (1996b).

La Figure 12 présente l'estimation du gain pour la courbe « médiane », avec un gain maximum de 3,34 œufs / m² pour une dépose d'œufs de 6,36 œufs / m², et la Figure 13 montre l'impact de la variabilité des estimations des paramètres de la relation S-R sur le gain.

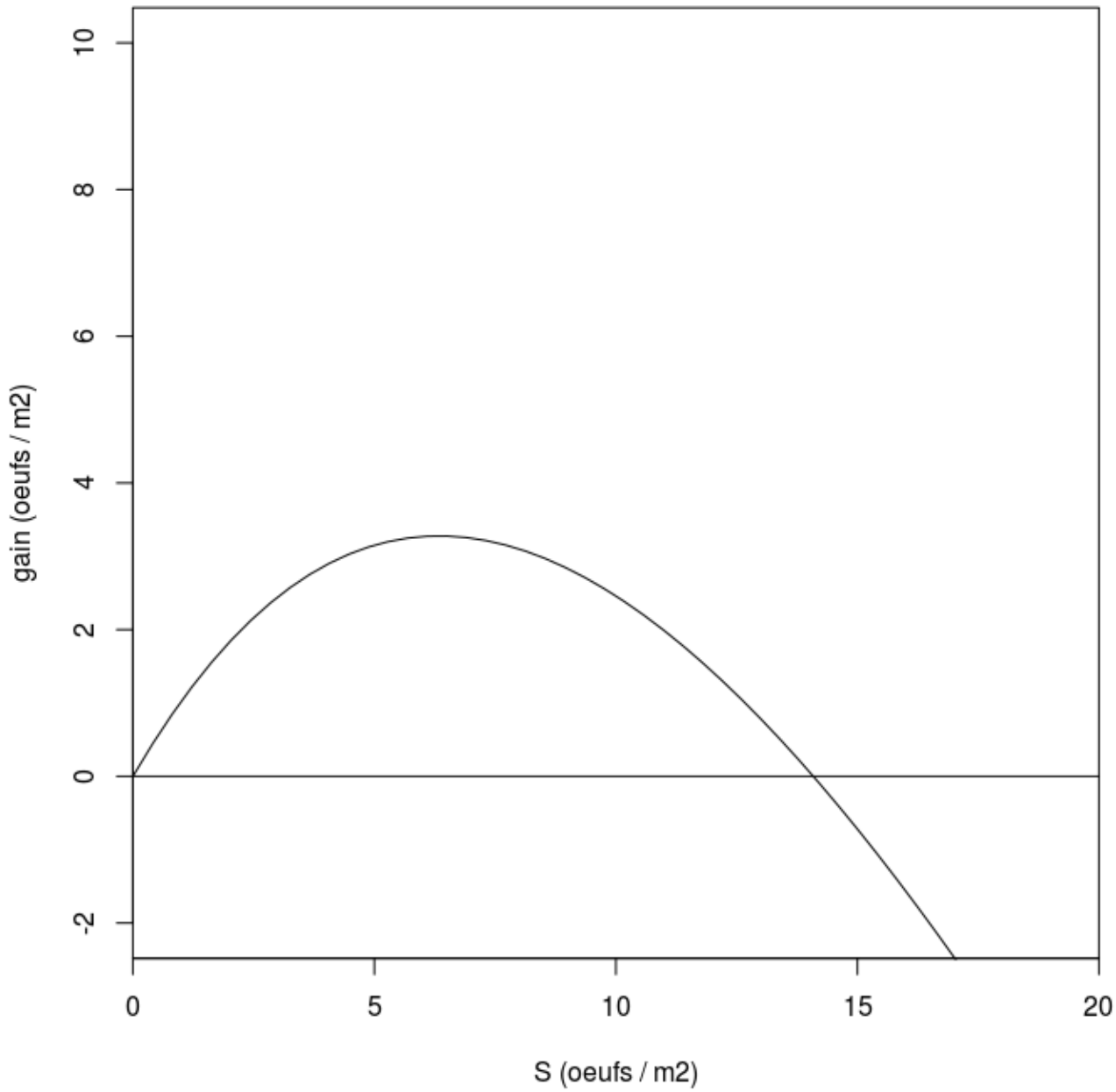

Figure 12 : gain calculé avec le modèle (2) pour les années récentes.

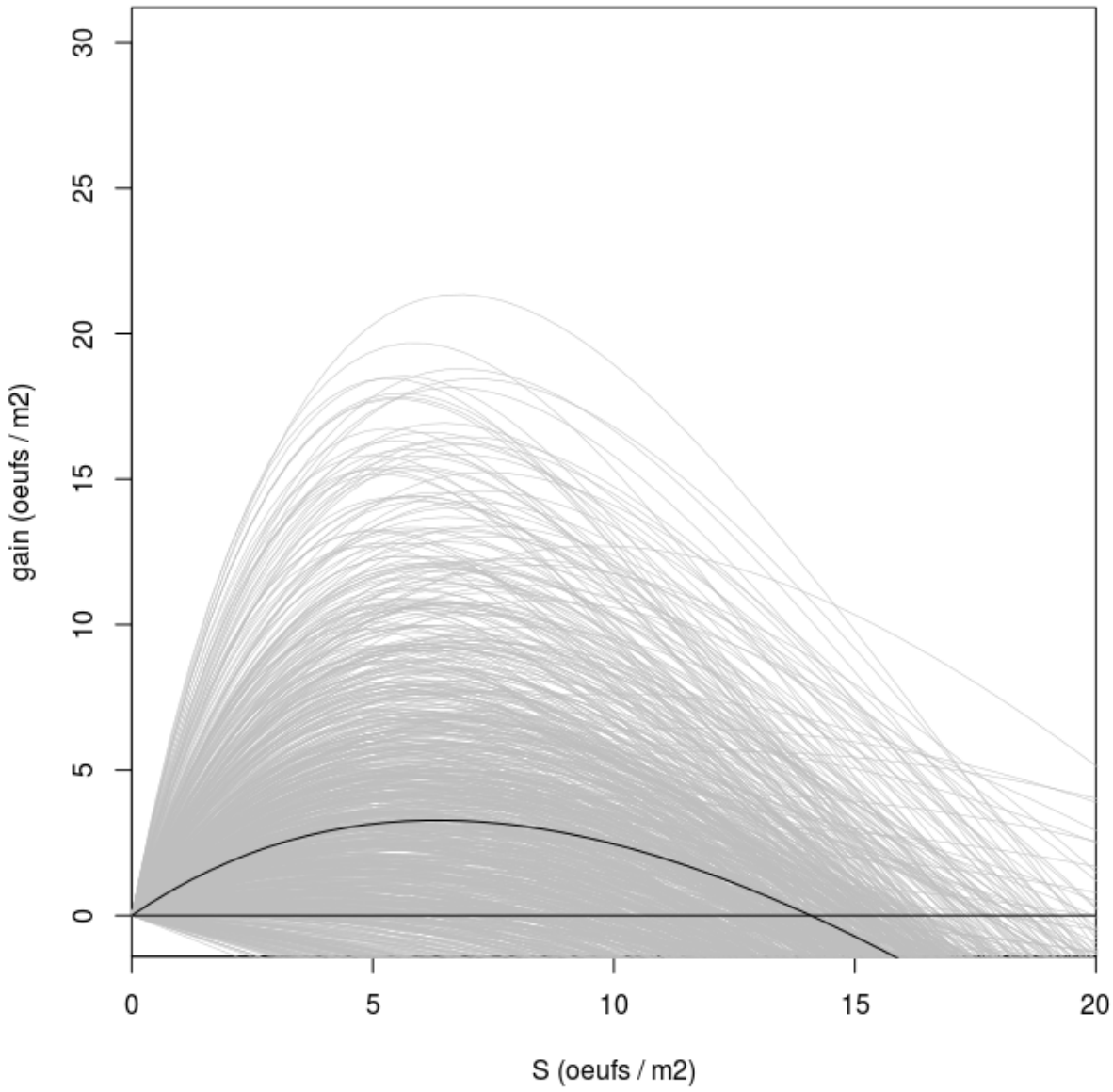

Figure 13 : gain calculé avec le modèle (2) pour les années récentes, en noir les paramètres médians et en gris 1000 tirages bayésiens

La Figure 14 montre la qualité des prédictions du recrutement en donnant l'écart entre valeur observée et prédite. On notera que certaines années les données observées sont bien plus faibles que les prédictions du modèle (2001 par exemple) et inversement (1994 par exemple). Il n'existe pas comme pour le modèle 1 une tendance temporelle dans les écarts. En revanche, 1985, 1989 et 1997 restent des années avec des observations extrêmement faibles par rapport aux prédictions.

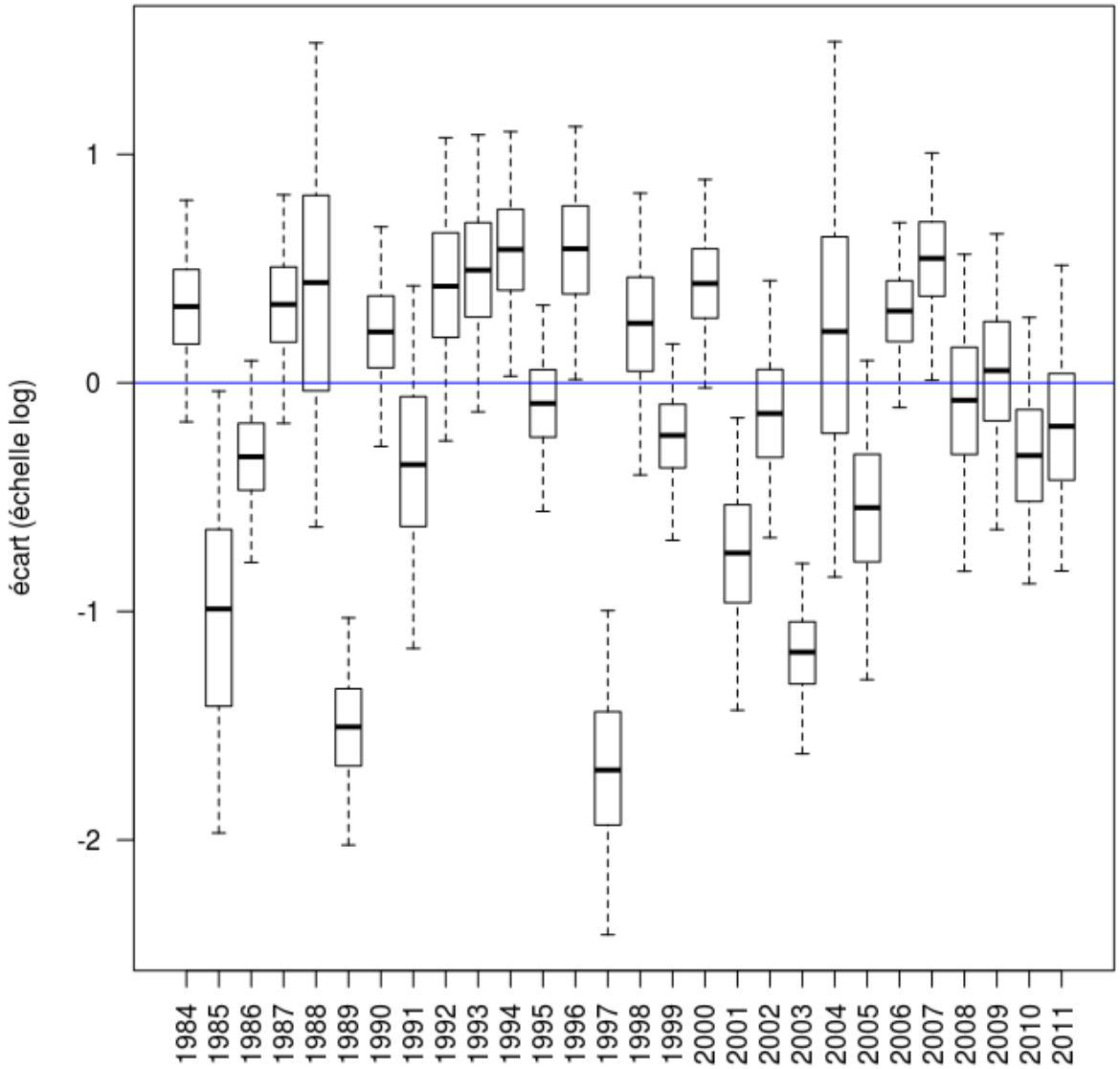

Figure 14 : écart (en échelle log) entre valeur observée et prédite du recrutement par le modèle S-R (2)

VII.3 – Modèle à trois niveaux (3)

Ce modèle considère que certaines années (« catastrophe »), par exemple pour des raisons environnementales, le recrutement est anormalement réduit d'un coefficient « c ». Nous considérons ici qu'il peut y avoir deux niveaux de réduction (moyenne ou sévère).

$R[i]=aS[i]e^{\frac{aS[i]}{R_{max}e^{1}}\times I_1(c_1\times I_2 c_2)}$, avec I_1 et I_2 les indicatrices "activant" respectivement la réduction moyenne et sévère du recrutement avec une probabilité noté p_1 et p_2. Tel que formulé ici, la réduction moyenne est donc c_1 et intervient avec une probabilité p_1 x (1-p_2) et la réduction sévère est c_1 x c_2 et intervient à une probabilité p_1 x p_2.

Le Tableau 5 et la Figure 15 donnent les valeurs des paramètres ajustés.
On notera la très grande variance autour des paramètres et la corrélation entre les paramètres.

Tableau 5 : distribution a posteriori des paramètres de la loi de Ricker (modèle 3)

	2,5%	25,0%	50,0%	75,0%	97,5%
Rmax	0,049206	0,071338	0,10025	0,15439	0,28165
a	0,003679	0,005603	0,007235	0,01023	0,03243
p1*(1-p2)	18,43%	40,60%	49,95%	55,66%	46,47%
c1	14,94%	36,64%	47,26%	60,90%	93,17%
p1*p2	1,31%	7,43%	14,11%	23,90%	49,76%
c1*c2	1,06%	5,29%	8,74%	14,87%	67,74%

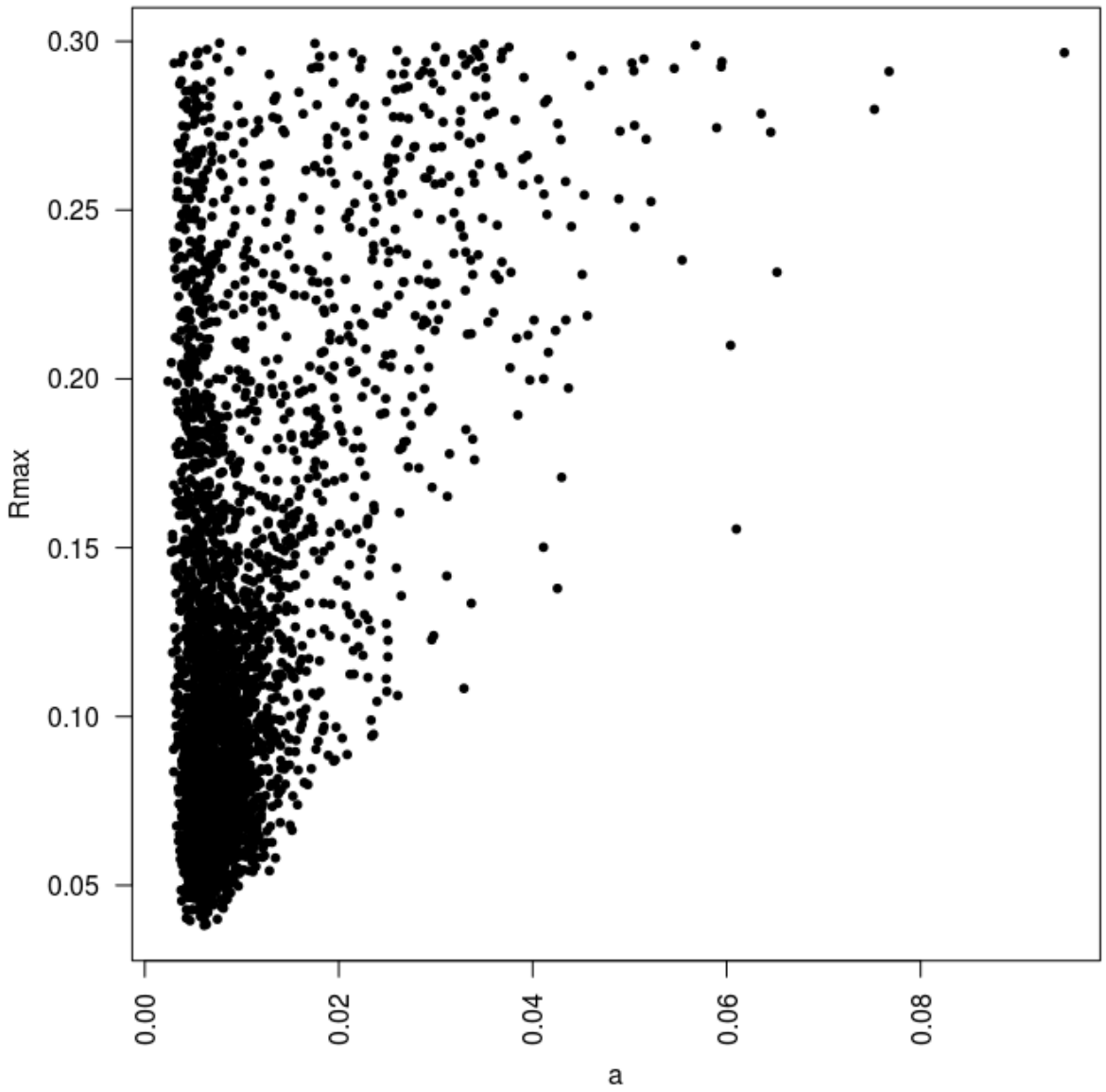

Figure 15 : couples (a, Rmax) issus des tirages bayésiens (modèle 3)

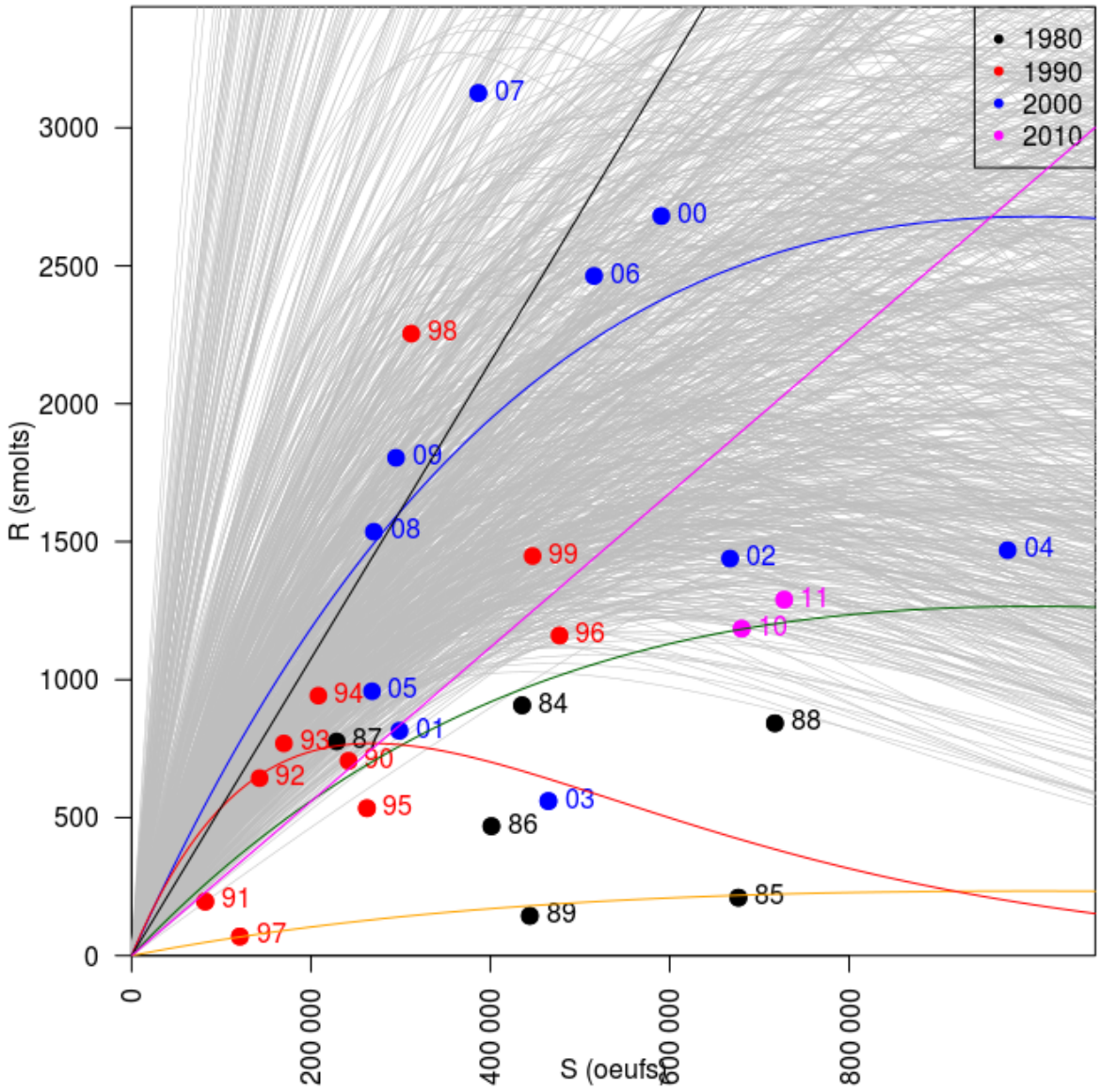

Figure 16 : relation stock-recrutement sur l'Oir (S en œufs et R en smolts), la courbe bleue est la relation issue des paramètres médians du modèle 3 pour les conditions optimales, la verte pour une réduction moyenne et la orange pour une réduction sévère (Tableau 5), les courbes grises sont 1000 relations tirées dans le modèle bayésien (conditions optimales), la rouge celle de Prévost et Porcher (1996b). La courbe noir est la droite de replacement du présent travail (VI).

La Figure 17 présente l'estimation du gain pour la courbe « médiane » dans les trois conditions environnementales, avec un gain maximum de 0,89 œufs / m² pour une dépose d'œufs de 5,367 œufs / m² pour la condition optimale.

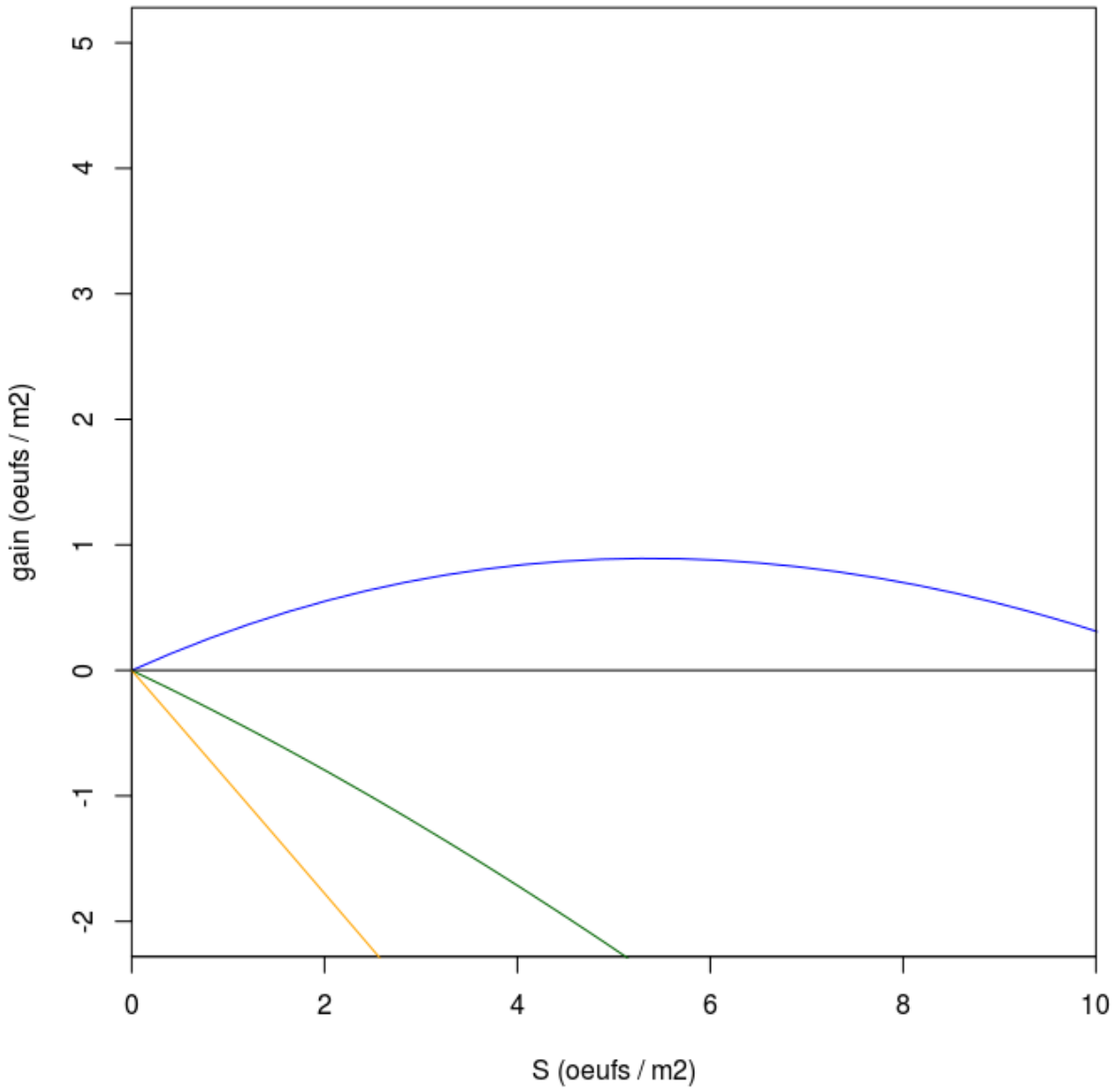

Figure 17 : gain calculé avec le modèle (3) pour les conditions environnementales optimales (bleu), avec une réduction moyenne (vert) et sévère (orange).

La Figure 18 montre la qualité des prédictions du recrutement en donnant l'écart entre valeur observée et prédite. On notera que certaines années les données observées sont bien plus faibles que les prédictions du modèle (2003 par exemple) et inversement (1998 par exemple). Il existe une tendance temporelle dans les écarts avec des écarts plutôt négatifs en début de période et positifs en fin de période.

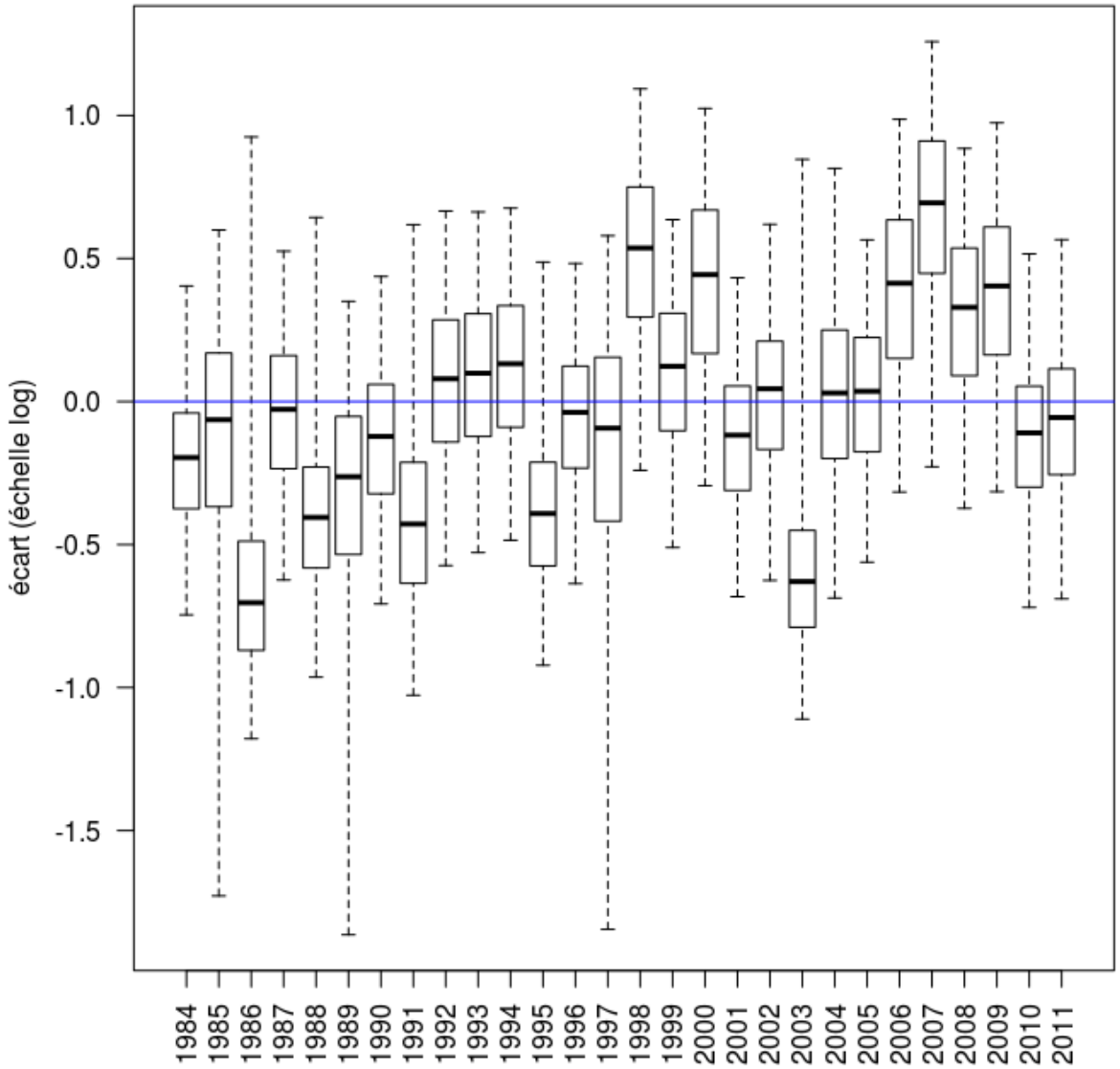

Figure 18 : écart (en échelle log) entre valeur observée et prédite du recrutement par le modèle S-R (3)

La Figure 19 montre la probabilité d'appartenance d'une année à chacune des trois courbes représentant les conditions environnementales optimales, réduction moyenne ou sévère. Par exemple, 1989 peut être qualifiée d'une année où le recrutement a été sévèrement réduit (probabilité > 90%), 2003 d'une année où le recrutement a été réduit modérément (probabilité > 75%) et 2007 une année avec recrutement optimal (probabilité > 75%).

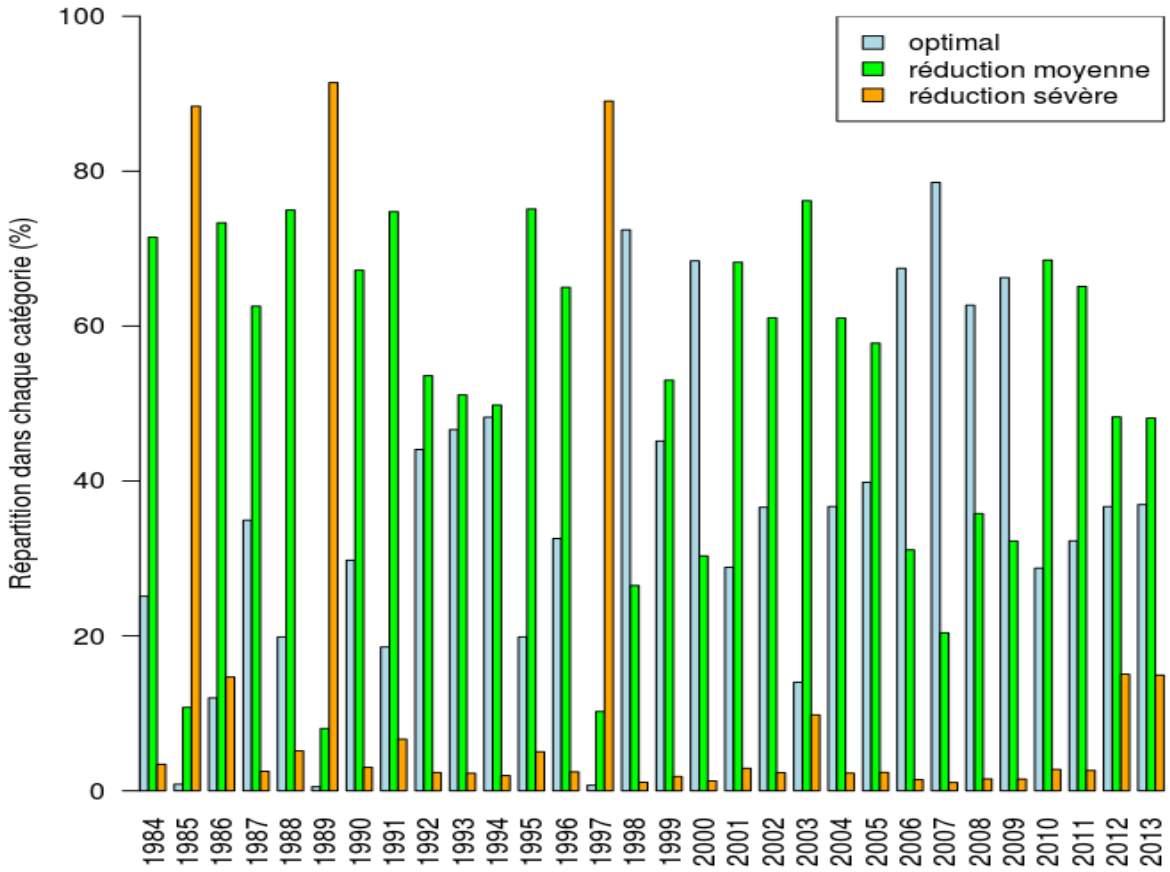

Figure 19 : Probabilité d'appartenance d'une année aux trois conditions environnementales

VII.4 – Modèle à deux niveaux (4)

Il s'agit du même modèle, mais avec simplement un seul niveau « catastrophique ». Le Tableau 6 donne les paramètres ainsi ajustés. Comme dans les autres cas, on notera la très grande variance autour des paramètres et la corrélation entre les paramètres (non montrée).

Tableau 6 : distribution a posteriori des paramètres de la loi de Ricker (modèle 4)

	2,5%	25,0%	50,0%	75,0%	97,5%
Rmax	0,042796	0,055171	0,071107	0,134927	0,2827
a	0,002995	0,004267	0,005344	0,007365	0,03642
p	6,73 %	15,05 %	23,32 %	52,39 %	95,33 %
c	8,13 %	13,71 %	19,06 %	31,46 %	79,84 %

La Figure 20 montre la relation stock-recrutement telle qu'estimée avec les paramètres médian du Tableau 6. La Figure 21 présente l'estimation du gain pour la courbe « médiane ». Dans ce modèle, il n'y a pas de gain possible avec la relation médiane, ce qui n'était pas le cas par le passé avec une droite de remplacement moins contraignante (et qui ne serait pas le cas actuellement avec la droite de remplacement passé). Comme dans le cas du modèle 1, aucun gain n'est possible aussi bien dans la condition optimale ou dégradée.

La Figure 22 montre la qualité des prédictions du recrutement en donnant l'écart entre valeur observée et prédite. On notera que certaines années les données observées sont bien plus faibles que les prédictions du modèle (2003 par exemple) et inversement (1998 par exemple). Il existe une tendance temporelle dans les écarts avec des écarts plutôt négatifs en début de période et positifs en fin de période.

La Figure 23 montre la probabilité d'appartenance d'une année à l'une ou l'autre des courbes représentant les conditions environnementales optimales ou dégradées. Seule les années 1985, 1998, 1997 ont une probabilité importante (>80%) d'appartenir à des années avec des conditions dégradées (et pour lesquelles il y a une forte variabilité des écarts observations/prédiction, Figure 22). Toutes les autres années appartiennent à la courbe optimale avec une probabilité de plus de 50 %.

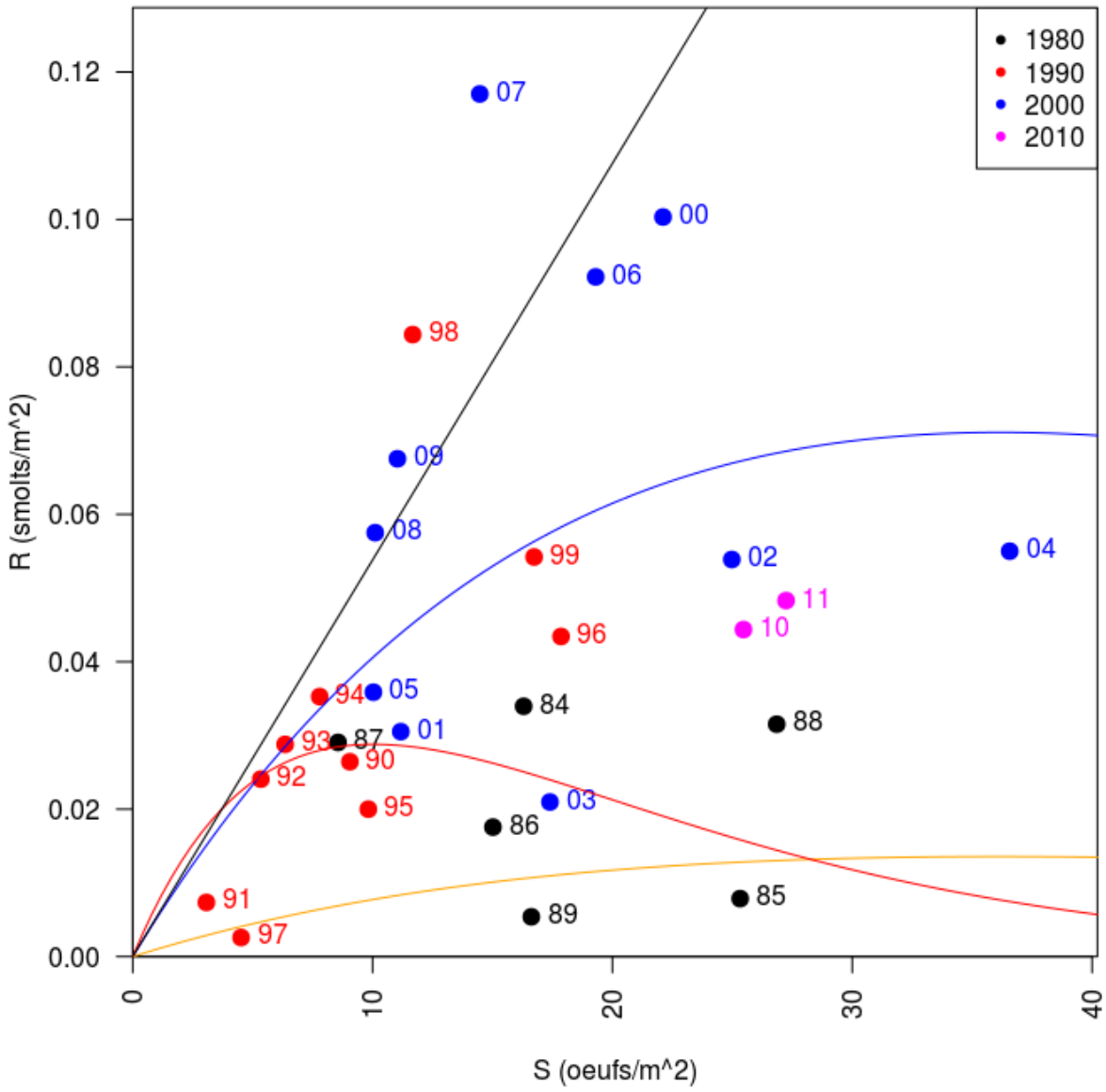

Figure 20 : relation stock-recrutement sur l'Oir (S en œufs / m2 de radiers-rapides et R en smolts / m2 de radiers-rapides), les courbes bleue et orange est la relation issue des paramètres médians (Tableau 6) du modèle 4 (respectivement en condition normale ou détériorée), la rouge celle de Prévost et Porcher (1996b). La courbe noir est la droite de replacement du présent travail (VI).

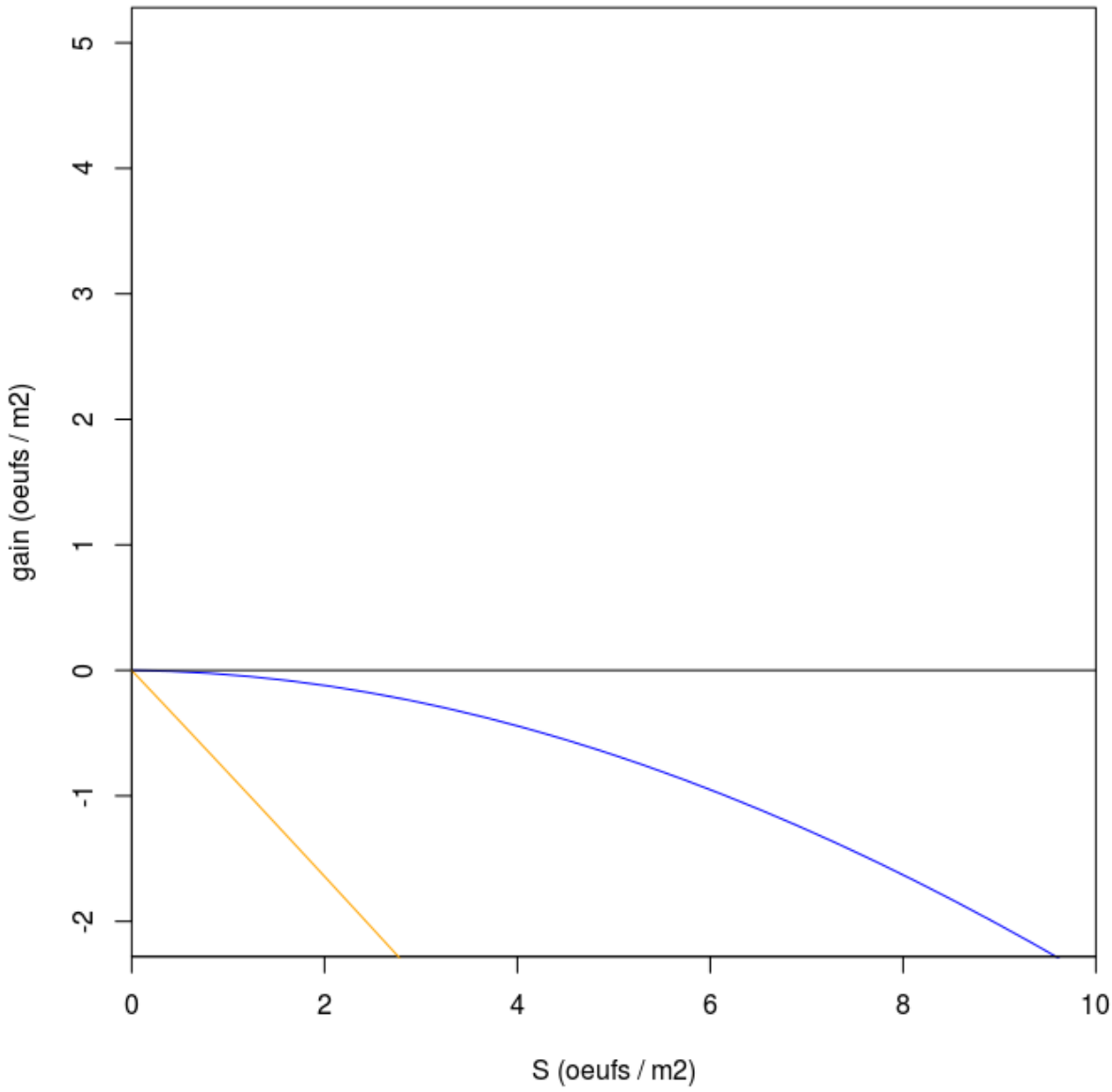

Figure 21 : gain calculé avec le modèle (4) pour les conditions environnementales optimales (bleu), avec une réduction sévère (orange).

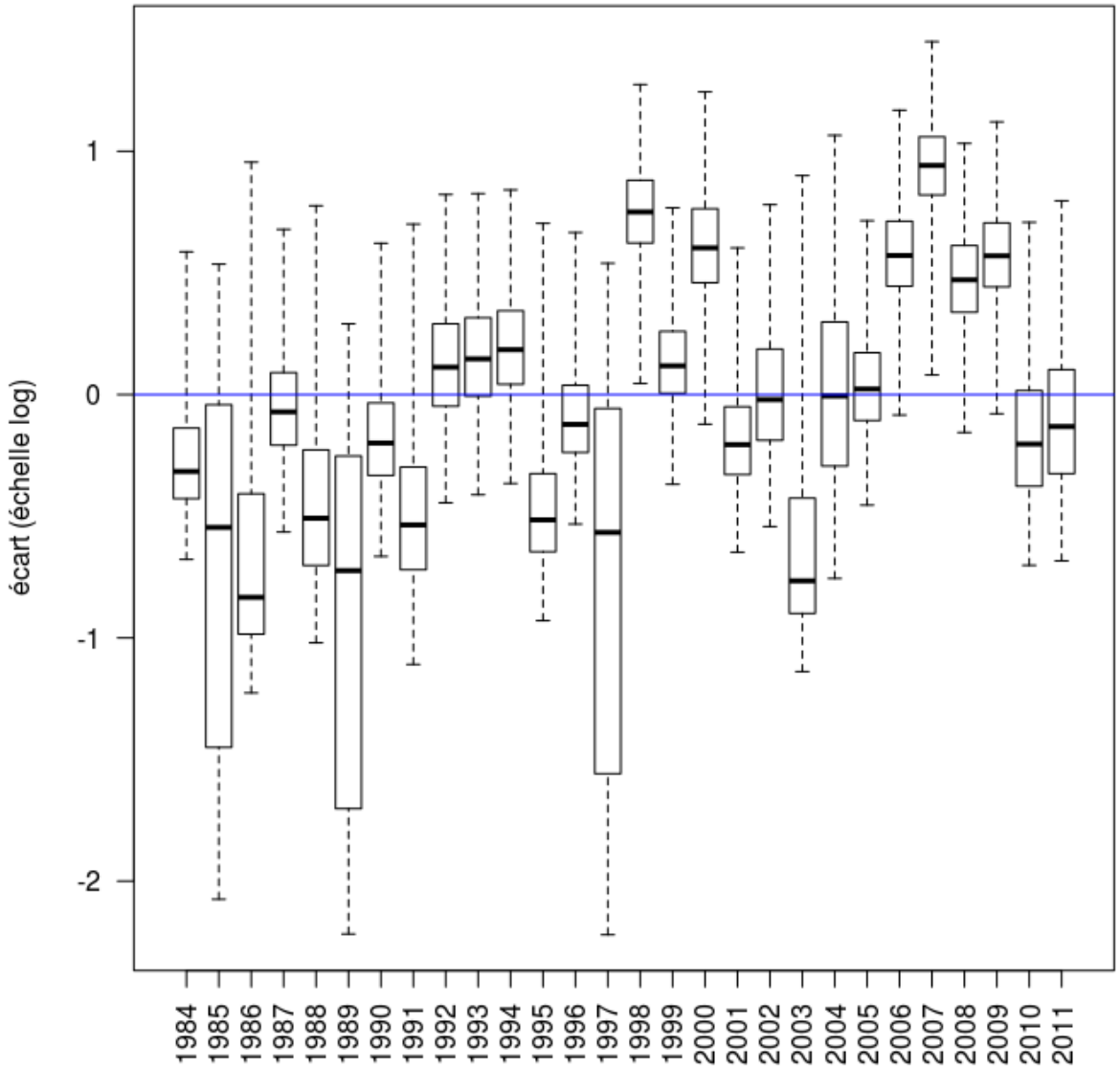

Figure 22 : écart (en échelle log) entre valeur observée et prédite du recrutement par le modèle S-R (4)

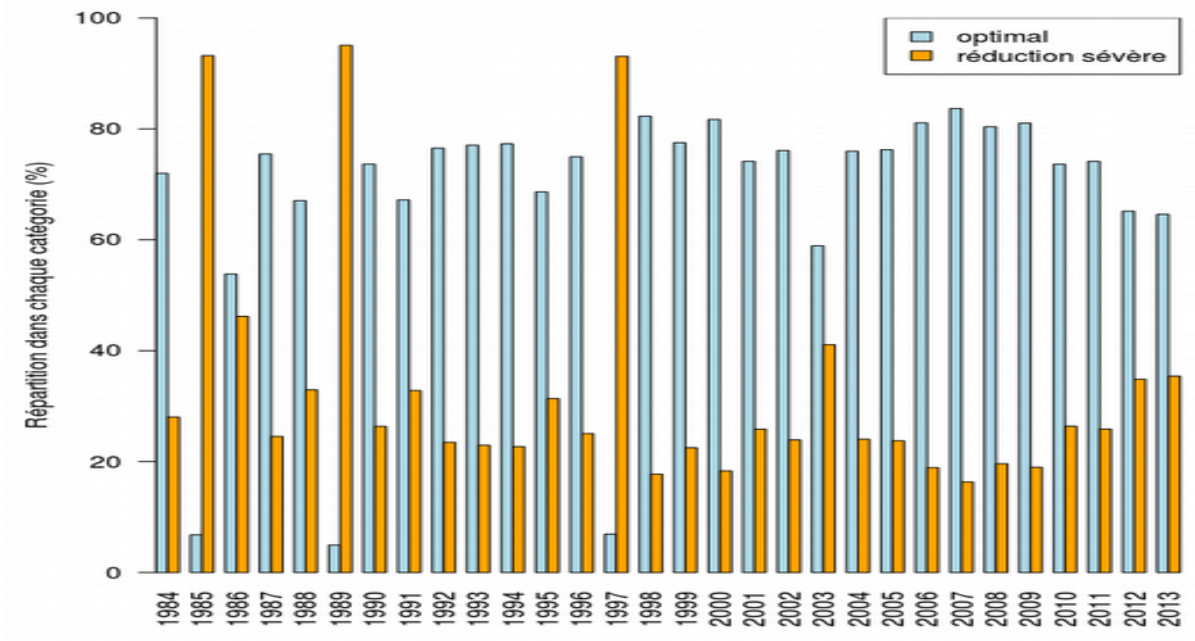

Figure 23 : Probabilité d'appartenance d'une année aux deux conditions environnementales

VIII – DISCUSSION

Les données stock-recrutement de l'Oir montrent clairement une forte variabilité autour de la courbe S-R (comme c'est souvent le cas). Le modèle 1 s'en tient à cette interprétation des données. Néanmoins en regardant de plus près, on peut y déceler une certaine tendance temporelle, voire un changement de régime puisque les données avant 1997 (inclus) se situe plutôt dans la partie inférieure (faible recrutement) du graphique et les données depuis 1999 (inclus) plutôt dans la partie supérieure (fort recrutement) du graphique. Le modèle 2 correspond à cette interprétation. Enfin, nous avons considérer une troisième interprétation (et il y en a sûrement d'autres) : contrairement au modèle 2, le modèle 3 considère qu'il n'y a pas eu de changements de régime dans la population, mais qu'à partir de la même relation S-R "optimale", les conditions environnementales ont pu dégrader le recrutement (pour rappel les smolts dévalant ici) plus ou moins fortement (ici modérément ou sévèrement, mais on pourrait imaginer plus de niveaux de dégradation, voire un niveau de dégradation continu et dépendant de variables environnementales). À noter que, dans ce cas, la dégradation environnementale peut elle-même avoir une tendance temporelle (apparition moins fréquente de conditions défavorables par exemple). Le modèle 4 est une variante du modèle 3 supposant simplement deux niveaux de conditions environnementales et correspond au modèle utilisé récemment par le COGEPOMI Bretagne sur le Scorff (Arago, 2015).

Pour les quatre modèles, l'incertitude autour des paramètres, illustrée par les pourcentiles dans les tableaux 3 à 6 et par les courbes grises sur les différentes figures, est très forte. À noter que cette incertitude est ici uniquement liée à une incertitude d'estimation des paramètres et ne prend pas en compte l'incertitude sur les données utilisées elle-même : le stock, le recrutement, la fécondité, … qui sont tous des estimations, que nous avons ici considérées sans incertitude, alors qu'il existe aussi une incertitude sur ces données. Il aurait fallu repartir des données de base et reconstruire l'ensemble des estimations (fécondité, stock, recrutement, …) pour produire des courbes S-R prenant en compte l'ensemble des incertitudes. Cela constitue un travail d'ampleur, hors d'atteinte dans le cadre du présent travail. La thèse de Rivot (2003) illustre le type de travail

qu'il faudrait ainsi entreprendre.
On notera que les modèles 1, 3 et 4 présentent une tendance temporelle plus ou moins prononcée des écarts observation/prédiction (figures 14, 18 et 22).
L'ensemble de ces possibles donne une estimation du gain qui, en fonction des modèles, peut être négative (modèle 1 ou 4, Figure 7 et Figure 21) ou au contraire peut être positive sur une large plage de stock (année récente du modèle 2, Figure 13 ou condition optimale du modèle 3, Figure 17). Et même si l'on ne retient qu'une seule hypothèse, l'incertitude autour de l'estimation des paramètres font que tous les cas (gain négatif, nul ou positif) sont possibles (voir par exemple la Figure 8). Si le gain est nul voire négatif, cela ne permet pas à la population de se renouveler et ne laisse donc pas de place à l'exploitation. Au contraire, un gain positif, voire fortement positif, laisse une place pour une exploitation.

Aucun modèle ne représente parfaitement les données observées. Néanmoins le modèle 2 est celui qui s'en approche le plus : pas de tendance temporelle, mais une mauvaise prédiction des années "catastrophiques" comme 1985, 1989 ou 1997. Le gain maximum est assez proche des valeurs utilisées actuellement (Oir ancien et Scorff), mais pour des déposes d'œufs plus élevées (6,34 au lieu de 4,75).

Le Tableau 7 et la Figure 24 résument l'ensemble de nos résultats et les comparent aux travaux antérieurs. On notera que le facteur de conversion smolt – œufs est identique à celui utilisé en Bretagne (Arago, 2015), mais deux fois moins important que celui utilisé par Prévost et Porcher (1996a) ; autrement dit le milieu marin est deux moins propice au saumon. En ce qui concerne la capacité d'accueil, elle est dans tous les cas plus importante que dans Prévost et Porcher (1996a) et que pour le Scorff (Arago, 2015). Elle varie en fonction des modèles du simple au triple. Enfin en ce qui concerne la productivité, elle peut varier du simple au triple. On notera que la productivité est inversement proportionnelle à la capacité d'accueil. Au contraire du milieu marin, le milieu dulçaquicole semble plus propice au saumon.

À noter que le gain est aussi largement déterminé par le coefficient de conversion du smolt à l'œuf (VI) qui n'a fait l'objet ici que d'une simple mise à jour, mais qui mériterait lui aussi un travail en profondeur. À titre d'exemple, nous avons retenu pour la proportion des saumons de printemps dans les retours, celle vue sur l'Oir au piège de Cerisel (VI). Cependant les saumons ne pénètrent en général sur l'Oir qu'en fin de saison, c'est-à-dire après l'exploitation par la pêche qui est connue pour déséquilibrer cette proportion. Le Tableau 8 donne à titre d'illustration la proportion de saumon de printemps dans les captures sur la Sée-Sélune dont on constate qu'elle est bien supérieure à celle observée sur l'Oir (8 % à 35 %, 24,7 % en moyenne). Le Tableau 9 donne différentes estimations de population et la fraction de cette population entrant dans l'Oir pour être en accord à la fois avec les données d'exploitation (Tableau 8) et l'observation de 16,9 % de saumon de printemps sur l'Oir (VI ; sur 266,3 saumons en moyenne entre 2004 et 2013) et en faisant différentes hypothèses de proportion des saumons de printemps dans les retours avant exploitation. On notera qu'à partir de 22 %, il ne reste en moyenne plus assez de poissons après exploitation pour être compatible avec les estimations de poissons entrant dans l'Oir. Dans le Tableau 10, nous explorons l'effet d'un changement de la proportion des saumons de printemps dans les retours. En fonction de l'hypothèse retenue pour cette proportion le gain maximum varie de 3,34 à 7,88 œufs / m². Ceci reste une exploration qui mériterait d'être affinée en prenant en compte l'ensemble des données disponibles sur le système. Elle montre qu'une proportion de saumons de printemps de 18 % à 20 % est probable, donnant un gain maximum entre 3,97 et 5,21 œufs / m².

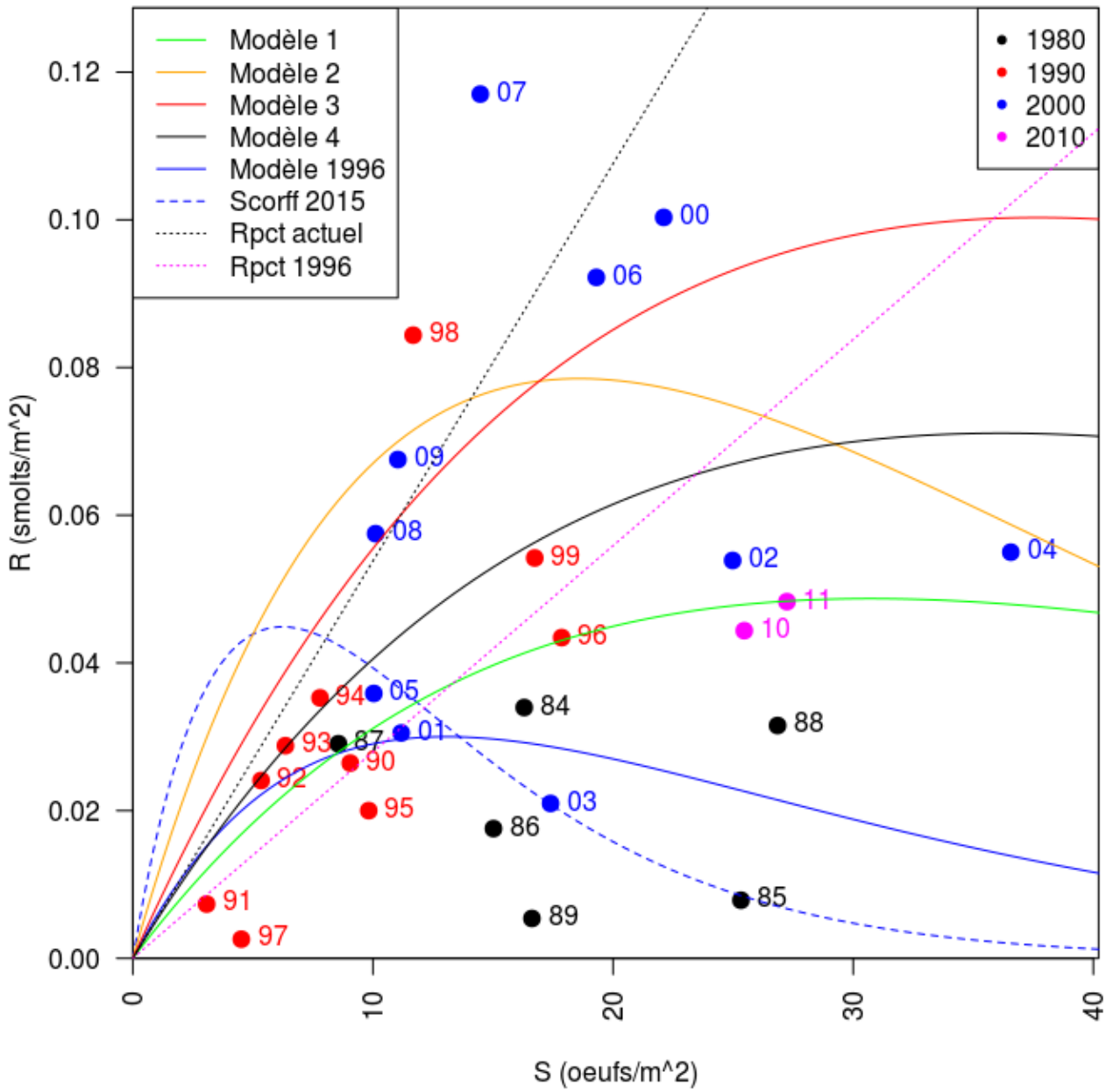

Figure 24 : Données Stock-Recrutement sur l'Oir (point), les différents modèles calibrés (trait plein), à titre de comparaison celui du Scorff (tiret long) et les droites de remplacement (tiret court). Années récentes pour le modèle 2 et conditions optimales pour les modèles 3 et 4.

*Tableau 7 : Synthèse des résultats obtenus et comparaison avec les travaux antérieurs. * ⇒ années récentes pour le modèle 2 et conditions optimales pour les modèles 3 et 4*

	Oir 1985-1994 Prévost et Porcher 1996	Scorff 1994-2014 Arago, 2015	Oir 1984-2013 Ce travail Modèle 1	Modèle 2*	Modèle 3*	Modèle 4*
Facteur de conversion du smolt à l'œuf	358	186		186		
Survie en mer	*14,10 %*	*9,49 %*				*9,49 %*
Saumon de printemps dans les retours	*18,00 %*	*13,70 %*				*16,90 %*
Taille saumon de printemps (mm)	*766*	*724*				*737*
Taille castillon (mm)	*630*	*602*				*606*
Fécondité des femelles PHM (œufs)	*7227*	*5569*				*6082*
Fécondité des femelles 1HM (œufs)	*4058*	*3485*				*3547*
Proportion de femelle dans les PHM	*80,00 %*	*80,00 %*				*82,50 %*
Proportion de femelle dans les 1HM	*45,00 %*	*45,00 %*				*37,40 %*
Capacité d'accueil (=Rmax ; smolts/m²)	0,03	0,0449	0,0487	0,0785	0,1003	0,0711
Productivité (=1/a ; 1 smolt pour x œufs)	160	51	232	87	138	187
Gain maximum (œufs/m²)	3,5	3,39	0	3,28	0,89	0
Dépose gain maximum (œufs/m2)	4,75		0	6,34	5,37	0

Tableau 8 : Captures estimées sur la Sée-Sélune (données DiR Nord-Ouest Onema)

	PHM	1HM	Total	%PHM
2009	60	120	180	33,3%
2010	46	500	546	8,4%
2011	142	350	492	28,9%
2012	134	600	734	18,3%
2013	153	281	434	35,3%
2014	170	344	514	33,1%
2015	140	301	441	31,7%
2016	115	432	547	21,0%
Total	960	2928	3888	24,7%
Moyenne	120	366	486	24,7%

Tableau 9 : Estimation de la population Sée-Sélune, compte tenu d'une exploitation moyenne de 99 saumons de printemps et de 217 castillons et une proportion de saumon de printemps après exploitation de 16,9 % sur les 266,3 saumons entrant dans l'Oir

Saumon de printemps dans les retours	PHM	1HM	Stock total	Taux d'exploitation PHM	Taux d'exploitation 1HM	% entrant dans l'Oir
18%	620	2 823	3 442	19%	13%	9,0%
19%	343	1 461	1 803	35%	25%	20,2%
20%	244	977	1 221	49%	37%	36,2%
21%	194	730	924	62%	50%	60,9%
22%	163	579	742	73%	63%	103,8%
23%	143	478	621	84%	77%	197,6%
24%	128	405	533	94%	90%	562,7%

Tableau 10 : Effet de la modification de la proportion de saumon de printemps dans les retours

Saumon de printemps dans les retours	Facteur de conversion du smolt à l'œuf	Dépose gain maximum (œufs/m2)	Gain maximum (œufs/m²)
16,9%	186	6,36	3,34
18%	198	6,80	3,97
19%	209	7,19	4,58
20%	220	7,54	5,21
21%	231	7,87	5,85
22%	242	8,18	6,51
23%	253	8,47	7,19
24%	264	8,75	7,88

IX – BIBLIOGRAPHIE

Arago, M.-A. 2015. Mise à jour des Totaux autorisés de Captures (TAC) de saumon en Bretagne pour les saisons 2016 à 2018. Document de travail pour la réunion du 29 octobre 2015. Onema.

Hastie, T. J., and Tibshirani, R. J. 1990. Generalized Additive Models. Chapman & Hall. 352 pp.

Porcher, J. P., and Prévost, E. 1996. Pêche du saumon dans les cours d'eau du massif armoricain : fixation du nombre total autorisé de captures (T.A.C.) par bassin. Notice explicative et propositions pour l'année 1996. Document scientifique et technique, 2. GRISAM.

Prévost, E., and Porcher, J. P. 1996a. Révision du TAC pour la pêche du saumon Atlantique dans les rivières de Quimper (Finistère) : première analyse des données scientifiques disponibles et propositions.

Prévost, E., and Porcher, J. P. 1996b. Méthodologie d'élaboration de totaux autorisés de captures (T.A.C.) pour le saumon atlantique (Salmo salar L.) dans le massif armoricain. Propositions et recommandations scientifiques. Document scientifique et technique, 1. GRISAM.

Richard, A. 2016. Évolution des tailles des saumons de Sée-Sélune. Onema.

Ricker, W. E. 1954. Stock and recruitment. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 11: 559–623.

Rivot, E. 2003. Investigations Bayesiennes de la dynamique des populations de Saumon atlantique (Salmo salar L.). Des observations de terrain à la construction du modèle statistique pour apprendre et gérer. ENSAR, Rennes. 213 pp.

Servanty, S., and Prévost, É. 2016. Mise à jour et standardisation des séries chronologiques d'abondance du saumon atlantique sur les cours d'eau de l'ORE Dia-PFC et la Bresle. Rapport final INRA/ONEMA.

Pôle Gest'Aqua.