



HAL
open science

Reconstitution des cohortes de grande alose (*Alosa alosa* L.) en Loire de 1980 à 2005, liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux.

Catherine Boisneau, Brigitte Ruaux, Philippe Boisneau

► To cite this version:

Catherine Boisneau, Brigitte Ruaux, Philippe Boisneau. Reconstitution des cohortes de grande alose (*Alosa alosa* L.) en Loire de 1980 à 2005, liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux.. 2011. halshs-01015461

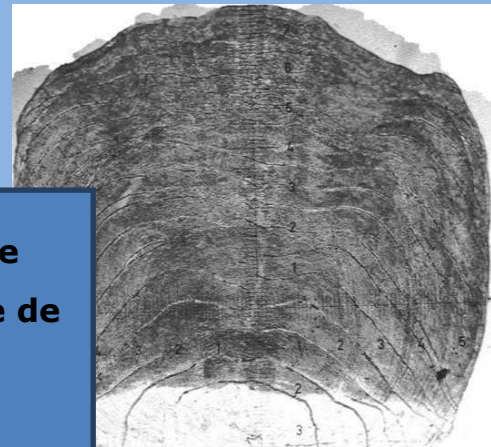
HAL Id: halshs-01015461

<https://shs.hal.science/halshs-01015461>

Submitted on 9 Jul 2014

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

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



Reconstitution des cohortes de grande alose (*Alosa alosa* L.) en Loire de 1980 à 2005

Liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux

C. Boisneau*,
B. Ruaux*,
Ph. Boisneau

Juin 2011

Plan Loire Grandeur Nature III

Plate-forme Recherche, Données, Informations



*Université de Tours, CITERES IPAPE, Parc de Grandmont

° Association Interdépartementale de Pêcheurs Professionnels du Bassin Loire –Bretagne

**RECONSTITUTION DES COHORTES DE GRANDE ALOSE
(*Alosa alosa* L.) EN LOIRE DE 1980 à 2005,
LIENS ENTRE INDICE D'ABONDANCE ET FACTEURS
ENVIRONNEMENTAUX**

C. Boisneau*, B Ruaux*, Ph. Boisneau^o
*Université de Tours, CITERES IPAPE, Parc de Grandmont
^oAssociation Agréée Interdépartementale des Pêcheurs
Professionnels du Bassin Loire et des cours d'eau Bretons

Juin 2011

C. Boisneau, B Ruaux, Ph. Boisneau, 2011. Reconstitution des cohortes de grande alose (*Alosa alosa* L.) en Loire de 1980 à 2010, liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux. Rapport de l'université de Tours.

Cette étude a été réalisée par l'université de Tours, Laboratoire CITERES, équipe IPAPE, 11 Allée F. de Lesseps, 37100 TOURS.

La direction a été assurée par Catherine Boisneau (Maître de conférences à l'Université de Tours) assistée de Brigitte Ruaux (Ingénieur de Recherche) avec la collaboration de l'Association Agréée Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels du bassin de la Loire et des cours d'eau Breton AIPPBLB (Philippe Boisneau).

Cette étude a été financée dans le cadre du Plan Loire grandeur Nature III.

Remerciements

Ce travail est le fruit d'une longue et étroite collaboration entre deux partenaires, les Pêcheurs Professionnels du bassin de la Loire pratiquant le filet barrage et l'Université de Tours.

Que soient ici remerciés :

Les cofinanceurs de cette étude et ceux qui ont permis la collecte des données anciennes, la DIREN Centre, l'Agence de l'eau Loire Bretagne, le Conseil Régional Centre, le Conseil Supérieur de la Pêche, le CNPE de St Laurent des Eaux, l'Association Agréée Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels du bassin de la Loire et des cours d'eau bretons (AAIPPBLB),...

Tous les pêcheurs au filet barrage, actuels et anciens, qui, depuis 1984, ont participé à la fourniture des données.

Les techniciens de l'AAIPPBLB pour leur assiduité dans les mesures biométriques, tout particulièrement Mathieu Bodin.

Le CPNE d'Avoine pour la fourniture des données de température de l'eau.

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	2
Liste des tableaux	5
Liste des figures	8
Liste des annexes.....	11
Contexte et objectifs généraux.....	12
Sites et techniques d'échantillonnage	14
1. Sites d'étude	14
2. Technique d'échantillonnage des poissons.....	15
Caractéristiques des cohortes	17
1. Introduction	17
2. Matériel et méthodes.....	18
2.1. Données recueillies	18
2.2. Attribution de l'âge.....	19
2.3. Les traitements	21
3. Résultats	23
3.1. Attribution d'un âge	23
3.1.1 Test de validation des lectures anciennes et actuelles.....	23
3.1.2 Attribution de l'âge.....	23
3.2. Caractéristiques des cohortes	24
3.2.1. Caractéristiques globales.....	24
3.2.2. Comparaisons inter-cohortes, sexes séparés	27
3.2.3. Comparaison des relations tailles-masses par cohorte	33
3.3. Typologie des cohortes	37
3.4. Rapport des sexes	38
Activité des pêcheries et indices d'abondance.....	40
1. Introduction	40
2. Méthodes.....	42
2.1. Données recueillies	42
2.2. Variables liées aux activités des pêcheries	43
2.3. Indices d'abondance.....	44
Calcul et choix d'un indice d'abondance des captures.....	44
Calcul et choix d'un indice d'abondance des cohortes.....	45

3.	Résultats	46
3.1.	Captures et efforts	46
3.2.	Activités des pêcheries et CPUE	49
3.3.	Indices d'abondance.....	51
3.3.1.	Indice d'abondance des captures	51
3.3.2.	Indice d'abondance des Cohortes.....	53

Paramètres environnementaux 56

1.	Introduction	56
2.	Matériel et méthodes.....	58
2.1.	Sources des données.....	58
2.2.	Les variables environnementales.....	59
	Les variables thermiques	59
	Les variables hydrologiques	60
2.3.	Traitement des données.....	62
3.	Résultats	62
3.1.	Variables thermiques.....	62
	Période de montaison : du 1/03 au 15/06	63
	Période de reproduction : du 16/06 au 16/07	64
3.2.	Variables hydrologiques	65
	Période de montaison : du 1/03 au 15/06	68
	Période de reproduction : du 16/06 au 16/07	69
3.3.	Relations entre variables thermiques et variables hydrologiques	69
	Période de montaison du 15/02 au 15/06	69
	Période de reproduction du 16/06 au 16/07	70

Liens entre indices d'abondance et paramètres environnementaux 71

1.	Introduction	71
2.	Matériel et méthodes.....	72
3.	Résultats	73
3.1.	Abondance sur l'ensemble des années.....	73
3.1.1.	Abondance et thermie.....	73
3.1.2.	Abondance et hydrologie	74
3.2.	Abondance en liaison avec les travaux d'aménagement pour la continuité piscicole	75
3.2.1.	Sur la Loire en aval du Bec de Vienne	75
3.2.2.	Sur la Loire en amont du Bec de Vienne	78

Discussion générale, Conclusion 82

Caractéristiques des cohortes	82
Paramètres environnementaux	83
Activités des pêcheries et indices d'abondance	83
Liens entre abondance des cohortes et paramètres environnementaux	86
Bibliographie	90
Annexes.....	93

Liste des tableaux

Tableau 1 : Conditions d'attribution ou de non attribution d'un âge chez <i>A. alosa</i>	20
Tableau 2 : Risque d'erreur (R) d'attribution d'un âge aux grandes aloses de Loire	23
Tableau 3 : Synthèse des longueurs à la fourche (LF), des masses (PT), des coefficients de condition (K) et des âges (AG) associé au nombre d'individus par cohorte de grande Alose de Loire ; moyenne \pm écart type.....	25
Tableau 4 : Résultats des ANOVA suivis d'un test de Tukey sur les paramètres : Longueur Fourche et Masse totale des différentes cohortes de grande Alose de Loire.....	26
Tableau 5 : Résultats des ANOVA suivis d'un test de Tukey sur les paramètres : Coefficient de condition et Âge des différentes cohortes de grande Alose de Loire	27
Tableau 6 : Nombre de pêcheries pratiquant le filet barrage sur la Loire dans les zones amont et aval de la confluence avec la Vienne	43
Tableau 7 : Moyennes et écart-types des captures de grande Alose en Loire et efforts dans les deux zones de pêche pour la période du 1 mars au 15 juin et probabilité associée aux tests de comparaison (Mann& Whitney).....	47
Tableau 8 : Caractéristiques des saisons de pêche en Loire, de captures de grande Alose, des CPUE dans les deux zones de pêche et probabilités associées aux tests de comparaison (Mann& Whitney)	50
Tableau 9 : Valeurs moyennes des indices d'abondance des cohortes d'aloses avant et après 1998, en Loire à l'aval et à l'amont de la confluence avec la Vienne.....	55
Tableau 10 : Synthèse des variables thermiques calculées et périodes auxquelles elles s'appliquent.....	60
Tableau 11 : Synthèse des variables hydrologiques calculées et périodes auxquelles elles s'appliquent.....	61
Tableau 12 : Synthèse des tests de corrélation et des régressions linéaires sur les variables thermiques de la première période (1/03 au 15/06)(en gras : corrélation significative)	63
Tableau 13 : Synthèse des tests de corrélation (rs) entre les variables thermiques de la première période (1/03 au 15/06) (en gras : corrélation significative)	63
Tableau 14 : Synthèse des tests de corrélation et des régressions linéaires sur les variables étudiées lors de la seconde période (16/06 au 16/07) (en gras : corrélation significative)	64
Tableau 15 : Synthèse des corrélations(rs) entre les variables thermiques de la seconde période	65

Tableau 16 : Matrice de synthèse du nombre de corrélations significatives pour les 5 stations considérées (0 : aucune corrélation ; 5 : corrélation entre les deux variables pour les 5 stations)	69
Tableau 17 : Synthèse des différentes modalités pour lesquelles les corrélations entre variables environnementales et abondance des captures et des cohortes d’aloses en Loire ont été testées sur l’ensemble de la période d’étude (1984-2010 pour les captures et 1980-2004 pour les cohortes)	72
Tableau 18 : Synthèse des différentes modalités pour lesquelles les corrélations entre variables hydrologiques et abondance des captures et des cohortes d’aloses en Loire ont été testées en tenant compte des travaux d’aménagement pour la continuité piscicole	73
Tableau 19: Corrélations entre les variables thermiques et les indices d’abondance des cohortes et des captures d’aloses en Loire en aval et en amont du bec de Vienne pour l’ensemble de la période d’étude (1984-2010 pour les captures et 1980-2004 pour les cohortes) (en gras corrélations significatives)	73
Tableau 20: Corrélations entre variables hydrologiques du 16/06 au 16/07 et l’indice d’abondance des cohortes d’aloses en Loire en aval et en amont du bec de Vienne (en gras corrélations de Spearman significatives).....	74
Tableau 21 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d’abondance des captures de grande Alose en Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges)	75
Tableau 22 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d’abondance des cohortes de grande Alose en Loire à l’aval du bec de Vienne, pour les périodes 1 et 2, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges) (corrélations de Spearman significatives).....	76
Tableau 23 : Corrélations entre les variables hydrologiques et les indices d’abondance des captures de grande Alose en Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges) (corrélations de Spearman significatives).....	76
Tableau 24 : Corrélations entre les variables hydrologiques et les indices d’abondance des cohortes de grande Alose en Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges) (corrélations de Spearman significatives).....	77

Tableau 25 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d'abondance des captures de grande Alose en Loire en amont du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1996) et après (1997-2010) aménagement de la continuité piscicole (aménagement de la passe à poissons de Vichy) (corrélations significatives).....	78
Tableau 26 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire en amont du bec de Vienne, pour les périodes 1 et 2, avant(1980-1995) et après (1996-2004) aménagement de la continuité piscicole (aménagement de la passe à poissons de Vichy) (corrélations significatives).....	79
Tableau 27 : Corrélations entre les variables hydrologiques et les indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire en amont du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1980-1995) et après (1996-2004) aménagement de la continuité piscicole (aménagement de la passe à poissons de Vichy) (corrélations de Spearman significatives).....	79
Tableau 28 : Les différentes combinaisons possibles de captures, effort et CPUE (Girardin <i>et al.</i> 2006)	85

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des pêcheries ayant participé au suivi des aloses en Loire.....	14
Figure 2 : Filet-barrage en Loire Moyenne, une vue d'ensemble (source : C. Boisneau)	15
Figure 3 : Filet-barrage en Loire, les fils de touche (source : C. Boisneau)	16
Figure 4 : Cycle de vie de l'alose (<i>Alosa alosa</i>) (C. Boisneau).....	18
Figure 5 : Couple de grande alose (<i>Alosa alosa</i>), la femelle est en haut (source : Ph Boisneau).....	19
Figure 6 : Localisation de la zone de prélèvement d'écaillés des géniteurs d'alose.....	19
Figure 7 : Écaille de grande alose (<i>Alosa alosa</i>) (source : C. Boisneau)	20
Figure 8 : Principe de répartition des individus dans une cohorte.....	21
Figure 9 : Principe de répartition des proportions des individus, observées lors de la migration, dans une cohorte de grande Alose de Loire	22
Figure 10 : Longueurs à la fourche (LF, mm) des aloses mâles, cohortes de 1980 à 2005	28
Figure 11 : Longueurs à la fourche (LF, mm) des aloses femelles, cohortes de 1980 à 2005.....	28
Figure 12 : Longueurs normalisées pour les cohortes de 1980 à 2005 de grande Alose de Loire.....	29
Figure 13 : Masses totale (PT, g) des aloses mâles, cohortes de 1980 à 2005	29
Figure 14 : Masses totale (PT, g) des aloses femelles, cohortes de 1980 à 2005	30
Figure 15 : Masses normalisées pour les cohortes 1980 à 2005 de grande Alose de Loire	30
Figure 16 : Coefficient de condition (K) des aloses mâles, cohortes de 1980 à 2005.....	31
Figure 17 : Coefficient de condition (K) des aloses femelles, cohortes de 1980 à 2005 .	31
Figure 18 : Coefficient de condition normalisé pour les cohortes de 1980 à 2005 de grande Alose de Loire.....	32
Figure 19 : Répartition des mâles et des femelles d'alose de Loire en fonction de leurs âges	32
Figure 20 : Âges normalisés pour les cohortes 1980 à 2005 de grande Alose en Loire ..	33
Figure 21 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1980-1984).....	33
Figure 22 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1984-1989).....	34
Figure 23 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1990-1994).....	34
Figure 24 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1995-1999).....	34
Figure 25 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (2000-2005).....	35
Figure 26 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1980-1984)	35
Figure 27 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1985-1989)	36
Figure 28 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1990-1994)	36

Figure 29 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1995-1999)	36
Figure 30 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (2000-2005)	37
Figure 31 : Dendrogramme consécutif à la CAH sur les cohortes de grande Alose en Loire de 1980 à 2005 et classes associées. (Variance intra-classe, de gauche à droite sur le graphe : classe 5 :0 ; classe 2 :12337 ; classe 4 : 8909 ; classe 3 : 688 ; classe 1 : 2640)	38
Figure 32 : Évolution temporelle du rapport des sexes sur les cohortes de grande Alose en Loire de 1980 à 2005.....	39
Figure 33 : Les différents estimateurs de l'abondance des captures de grandes aloses en Loire.....	45
Figure 34 : Nombre total de pêcheries, de jours de pêche, de jours sans pêche, de jours sans captures et des captures de grandes aloses en Loire de 1984 à 2010, à l'aval et à l'amont du bec de Vienne. Les * indiquent les années où aucune activité de pêche n'a été pratiquée	48
Figure 35 : Evolution du nombre d'heures de pêche de 1984 à 2010 sur les stations de la Loire en aval et en amont du bec de Vienne (ligne grise : régression linéaire significative pour la station amont, $F=10.723$, $p=0.004$)	49
Figure 36 : Dates moyennes relatives aux activités de pêche de la Grande alose entre 1984 et 2010 sur les pêcheries en Loire , en aval et en amont du bec de Vienne	50
Figure 37 : CPUE de grande Alose en Loire entre 1984 et 2010 sur les pêcheries aval et amont du bec de Vienne	50
Figure 38 : Moyenne annuelle des CPUE d'alose de 1984 à 2010 en Loire sur les stations aval et amont du bec de Vienne (ligne bleue : régression linéaire significative pour la station aval, $F=12.133$, $p=0.002$).....	51
Figure 39 : Comparaison des différents indices d'abondances des captures de grande Alose en Loire de 1984 à 2010, à l'aval de la confluence avec la Vienne (aval) et à l'amont de la confluence avec la Vienne (amont). Remarque : les années 2000, 2001 et 2004 manquent pour l'aval et l'année 2008 manque pour l'amont.....	52
Figure 40 : Ln (CPUE+1) de grande Alose en Loire de 1984 à 2010 sur les stations aval et amont de la confluence avec la Vienne	52
Figure 41 : Indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire sur la zone à l'aval du bec de Vienne pour les années de naissance de 1980 à 2004 (_ : années avec donnée(s) manquante(s)).....	53
Figure 42 : Indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire sur la zone amont du bec de Vienne pour les années de naissance de 1980 à 2004 (_ : années avec donnée(s) manquante(s)).....	54
Figure 43 : Indices d'abondance des cohortes (1980-2004) de grandes aloses en Loire, à l'aval et à l'amont de la confluence avec la Vienne.....	54

Figure 44 : Schéma de la dynamique migratoire de la grande alose de l'océan aux zones de frayères (Source : Mennesson-Boisneau <i>et al</i> , 2000b)	57
Figure 45 : Localisation des sites de mesures de la température (Loire moyenne) et de débit (Loire, Allier et Vienne).....	58
Figure 46 : Rapport entre les températures moyennes journalières annuelles et la température moyenne journalière de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2)	62
Figure 47 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Montjean	66
Figure 48 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Nouâtre	66
Figure 49 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Blois	67
Figure 50 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Moulins.....	67
Figure 51 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Nevers	68
Figure 52 : Relation entre l'indice d'abondance des aloses sur la Loire en aval du Bec de Vienne et le coefficient de variation du débit de la période 15/03 au 15/06, à Montjean avant et après l'effacement du barrage de Maisons Rouges	78
Figure 53 : Relation entre l'indice d'abondance des aloses sur la Loire en amont du Bec de Vienne et le coefficient de variation du débit de la période 15/03 au 15/06, à Blois avant et après l'aménagement de la passe à poissons de Vichy.....	80
Figure 54 : Débits moyens de la période 1 de remontée des géniteurs d'aloses (15/03 au 15/06) de 1900 à 2010 pour la station de Montjean (source Banque Hydro).....	88

Liste des annexes

Annexe 1 : valeurs des captures et efforts pour les zones aval et amont de la Vienne ..	93
Annexe 2 : Valeurs de l'indice d'abondance des aloses et écart-types à l'amont et à l'aval de la Vienne	94
Annexe 3 : Valeurs de l'indice d'abondance des cohortes d'aloses à l'amont et à l'aval de la Vienne.....	95
Annexe 4: Valeurs des coefficients de corrélation (rs) entre variables thermiques et hydrologiques pour les 2 périodes (en gras : corrélation significative)	96

Contexte et objectifs généraux

Les aloses sont des poissons migrateurs anadromes de la famille des Clupeidae. Deux espèces fréquentent la façade atlantique, la grande alose (*Alosa alosa* L.) et l'aloise feinte (*Alosa fallax* Lacépède). En Europe et en France, les populations de grande alose présentent des situations très contrastées suivant les bassins, recolonisation des bassins bretons, normands et du Rhin, stabilisation sur le bassin de l'Adour, décroissance postérieure à une très forte augmentation sur la Garonne et la Dordogne. Le bassin de la Loire est un des derniers grands bassins européens où les deux espèces cohabitent. La grande alose y est la plus abondante et celle qui remonte le plus en amont. Elle fait l'objet d'une pêche amateur et professionnelle.

Le bassin de la Loire est pratiquement le seul où l'on dispose de séries temporelles sur les adultes, en continu, établies avec une méthode stable. Les pêcheurs professionnels de ce bassin, au travers de leur association, l'AAIPPBLB, ont assuré, depuis le milieu des années 1980, un suivi des données de pêche de la phase adulte et le recueil d'éléments biométriques (sexe, taille, masse, condition corporelle, âge), sur cette même phase, essentiellement à partir des filets barrages de la basse Loire et de la Loire moyenne.

Une première analyse de ces données, de 1984 à 1998, financée sur fonds du Plan Loire Grandeur Nature I (Coupaye & Boisneau, 1996), a conforté les résultats obtenus dans Mennesson-Boisneau (1990). Les classes d'âge 4 et 5 ans dominent très largement parmi les géniteurs, ces deux classes constituent en moyenne 79% des individus et les mâles sont toujours plus jeunes que les femelles. Le rapport des sexes n'est pas toujours égal à 1/1 et n'est pas constant au fil du temps. L'indice d'abondance annuel des cohortes, calculé sur la période 1980-1992, a montré que celui-ci présente des fluctuations interannuelles d'abondance forte et que la cohorte 1983 fut une année de très fort recrutement. C'est aussi une année où le débit moyen observé sur la Loire en période printanière (15/03 au 15/06) fut le plus fort depuis 1900, $2544\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ pour la station de Montjean (source Banque Hydro). Il était apparu que les variations

d'abondance de la grande alose en Loire étaient expliquées à 95% par le débit de la période printanière de leur année de naissance. Une forte relation de type habitat recrutement semblait gérer les populations d'aloses de la Loire.

En 2008, à l'image du tableau de bord Anguille, les gestionnaires ont décidé de mettre en place un tableau de bord Saumon, Alose, Lamproie et Truite de mer (SALT) afin de pouvoir fournir au Comité de gestion des poissons migrateurs (COGEPOMI) des éléments concernant l'état des stocks et les pressions s'exerçant sur ces espèces. Les travaux réalisés depuis 1994 dans le cadre du suivi des aloses du bassin de la Loire par l'AAIPPBLB s'inscrivaient, depuis longtemps, pleinement dans cette démarche. Ces données sont les plus anciennes, les seules disponibles sur les parties basse et moyenne du fleuve et en parcours libre tandis que les données acquises par LOGRAMI sont plus récentes (à partir de 1997), dans les parties amont, plus près des zones de reproduction, et au droit de passes à poissons sur la Loire, l'Allier et la Vienne. Ces données sont complémentaires dans le temps et dans l'espace.

En 2009, à la demande de la DREAL Centre, un rapprochement des détenteurs des données s'est opéré. Une des issues en est la conduite d'une étude visant à la reconstitution des cohortes de grande alose en Loire de 1980 à 2005 et à la recherche de liens entre abondance et des facteurs de débit et de température. Le travail à fournir se décompose en trois éléments :

- 1) le calcul de l'indice d'abondance, à partir des pêcheries au filet barrage, pour chaque année, de 1984 à 2009,
- 2) la reconstitution des cohortes pour les grandes aloses à partir des lectures d'écaillés et une analyse de ces cohortes
- 3) l'étude de l'évolution de l'abondance des aloses en liaison avec les débits et les températures de l'eau.

Sites et techniques d'échantillonnage

1. Sites d'étude

Les données sur les aloses, recueillies depuis 1984, le sont à partir des pêcheries au filet barrage, technique patrimoniale ligérienne. Le nombre et la localisation des pêcheries ont varié au fil du temps mais elles sont distribuées entre Nevers et Angers (Figure 1). Depuis 1984, leur nombre tend à se réduire, les sites à l'aval de la Vienne et entre Blois et Tours sont ceux qui persistent le plus longtemps, respectivement 26 et 22 ans. Dans ce travail, deux secteurs sont considérés, l'amont et l'aval de la confluence avec la Vienne, cette dernière étant reconnue comme un axe migratoire majeur pour les aloses sur le bassin de la Loire.

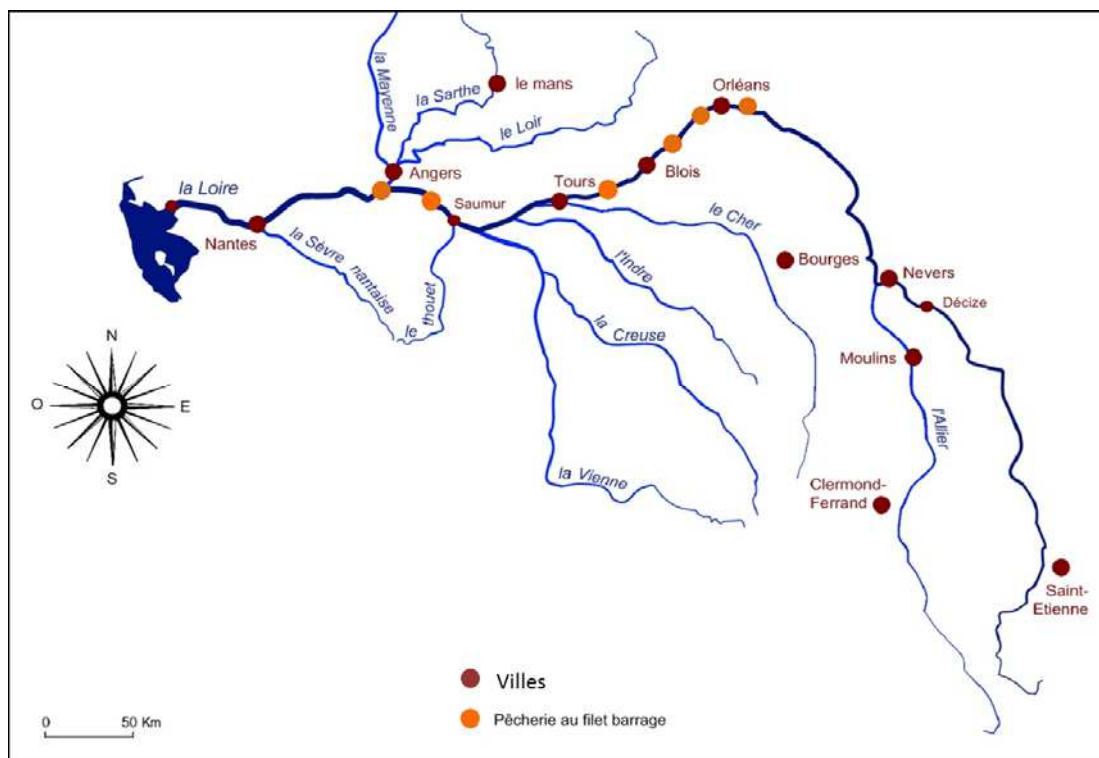


Figure 1 : Localisation des pêcheries ayant participé au suivi des aloses en Loire

2. Technique d'échantillonnage des poissons



Figure 2 : Filet-barrage en Loire Moyenne, une vue d'ensemble (source : C. Boisneau)

Le filet-barrage est composé d'un long filet (nappe de 2 à 2,5 m de haut pour une centaine de mètres de long) disposé transversalement au courant. Cette structure est fixée avec de puissants pieux métalliques, appelés pieux d'alignement. De longues perches en bois, nommées fourchettes, servent à tendre le filet qui est lui-même ancré à l'aide de pieux de fond localisés à l'amont. Deux cordes partent de chaque pieu de fond, l'une est reliée à la ralingue (câble) basse, l'autre à la ralingue haute du filet. Le filet est maintenu à la verticale en coinçant la ralingue basse dans une encoche à la base de la fourchette et en attachant la ralingue haute, à l'aide d'une cordelette, sur la fourchette. **Ce filet ne capture pas de poissons, mais créé un obstacle sensoriel que les aloses cherchent à contourner.** Le long du filet-barrage, à son aval immédiat, est installée une toue cabanée, bateau de Loire traditionnel, munie d'un carrelet. Le carrelet de maille de 40 mm est situé à l'avant ou sur le côté de la toue. De nombreux fils fins sont reliés à la toile du carrelet (Figure 3). Ces fils transmettent les touches engendrées par les poissons qui passent au dessus du carrelet, au pêcheur, par le biais d'une cordelette. Le pêcheur libère alors un contre poids qui permet un relevage rapide du carrelet.



Figure 3 : Filet-barrage en Loire, les fils de touche (source : C. Boisneau)

Le filet-barrage est un système fixe, passif qui, lorsqu'il est utilisé en continu, permet de connaître les périodes de déplacements des poissons en montaison. Il est déclenché de la même manière par des poissons de grande taille comme les aloses ou les mulets et par des individus de petite taille comme les ablettes. Néanmoins les poissons de longueur inférieure à 20 cm passent au travers des mailles du carrelet, les autres sont retenus et peuvent être capturés ou remis à l'eau. Les aloses adultes remontant le cours d'eau ne passent pas au travers des mailles du carrelet et sont donc toutes retenues quelle que soit leur taille.

Le suivi d'un filet-barrage permet donc d'appréhender le déroulement de la migration en un point donné. L'utilisation de plusieurs filets-barrages consécutifs fournit une dimension spatiale aux informations. Cette technique nécessite, pour la capture, un déplacement du poisson. Or, pour des températures inférieures à 10,5-11°C, quelles que soient les autres conditions environnementales, les mouvements des aloses sont inexistantes dans 98% des cas (Menesson-Boisneau *et al.*, 1993). De même, lors des augmentations violentes de débits (de l'ordre du doublement journalier), les migrateurs stoppent leur progression vers l'amont. Généralement, de telles conditions hydrologiques obligent à arrêter toute action de pêche rapidement, en raison du charriage des matériaux divers entraînés par l'accroissement du débit et du niveau des eaux. Les autres motifs d'interruption des pêches sont la dérive des glaçons par temps très froid et, une nouvelle cause plus récente, liée à la réduction de trophie des eaux, la dérive parfois considérable des algues vertes filamenteuses et/ou des renoncules aquatiques.

Caractéristiques des cohortes

1. Introduction

Les aloses ont un cycle de vie de type anadrome avec une reproduction en eau douce, un séjour des juvéniles en eau douce de un à trois mois puis elles vont grossir en mer (Figure 4). La durée du séjour marin varie, selon les individus, de 3 à 7 ans, les mâles séjournant un an de moins que les femelles (Menesson *et al.*, 2000a). Lorsque les adultes remontent les cours d'eau, ils appartiennent à plusieurs cohortes, c'est à dire que les poissons ne sont pas tous nés la même année, mais entre 3 et 7 ans auparavant. Ce mélange des cohortes conduit à l'abondance, observée par les pêcheurs et les gestionnaires, qui est nommée abondance des géniteurs. Pour comprendre l'abondance des géniteurs, il faut retourner aux cohortes. En effet, les conditions environnementales rencontrées par les parents, puis au moment de la naissance et durant les premières semaines de leur vie affectent différemment la survie pendant la première phase en eau douce. La phase de séjour en mer est également une phase au cours de laquelle les taux de mortalité sont importants mais celle-ci reste encore une boîte noire dans le cycle de vie. Si cette phase est neutre pour l'ensemble des cohortes observées, ce que nous supposons, les paramètres environnementaux pourraient expliquer, avec de très forts taux, les variations d'abondance des géniteurs. Aussi, avant de les tester, est-il nécessaire de procéder à diverses analyses préliminaires dont celles des cohortes. Les méthodes d'attribution de l'âge et les caractéristiques biométriques des cohortes sont présentées ci-après.

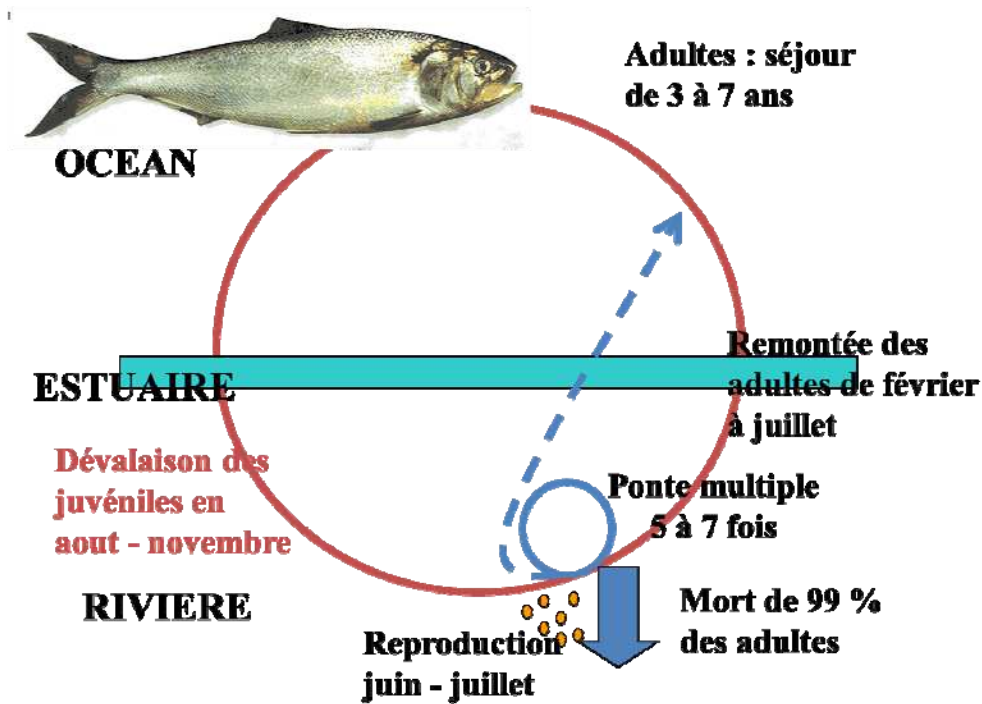


Figure 4 : Cycle de vie de l'alose (*Alosa alosa*) (C. Boisneau)

2. Matériel et méthodes

2.1. Données recueillies

Sur les pêcheries au filet barrage, des mesures biométriques ont été conduites, chaque année, à plusieurs reprises au cours de la saison de pêche entre le 1 mars et le 15 juin. Les poissons sont identifiés à l'espèce, sexés, pesés ($\pm 10g$) et mesurés depuis l'extrémité de la tête jusqu'à l'échancrure de la nageoire caudale, longueur à la fourche (mm) (Figure 5). Des écailles sont prélevées pour une attribution ultérieure de l'âge.

L'identification spécifique se fait à partir du comptage des branchiospines (Br) sur le premier arc branchial gauche.

Si **Br > 90**, grande alose (*Alosa alosa*), notée **ALA**

Si **Br < 60**, alose feinte (*Alosa fallax*), notée **ALF**

Si **60 < Br < 90**, alose hybride, notée **ALH**



Figure 5 : Couple de grande alose (*Alosa alosa*), la femelle est en haut (source : Ph Boisneau)

2.2. Attribution de l'âge

L'âge des individus est un paramètre fondamental dans une population. Chez les poissons, les événements de croissance et certains éléments physiologiques comme la reproduction sont inscrits dans les structures osseuses et dans les écailles. Les écailles sont des structures faciles d'accès et non destructrices pour les individus. Le prélèvement d'écailles (15 environ) s'effectue après avoir enlevé le mucus sur la zone de prélèvement, en arrière de la nageoire dorsale et au-dessus de la ligne médiane (Figure 6). Cette zone est commune aux deux espèces, elle est considérée comme optimale pour la lecture d'écailles (Mennesson-Boisneau & Baglinière, 1992). Les écailles sont ensuite déposées dans une enveloppe individuelle contenant les caractéristiques de taille, de masse, de sexe, la date et le site de capture.

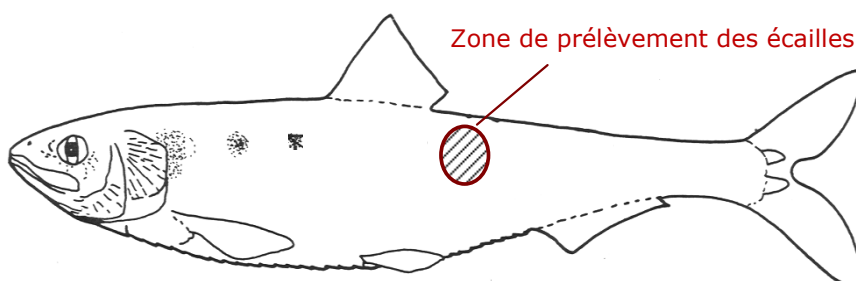


Figure 6 : Localisation de la zone de prélèvement d'écailles des géniteurs d'alose

L'attribution de l'âge est faite au moyen d'un lecteur de microfiche avec un grossissement de 30 fois. Six écailles sont déposées sur une lame et observées. Les marques d'arrêt de croissance, de reproduction sont recherchées sur chacune des six écailles en veillant à ce que chacune des structures apparaissent dans chacun des champs de l'écaille (Figure 7) (Mennesson-Boisneau et Baglinière, 1992 ; Baglinière et al., 2001). Si un individu ne peut recevoir d'âge à la première lecture, il sera repris lors d'une deuxième séance en utilisant un second lot de 6 écailles. Lors de cette deuxième séance, il n'est pas toujours possible d'attribuer un âge à partir des écailles. Trois cas se présentent alors (Tableau 1).

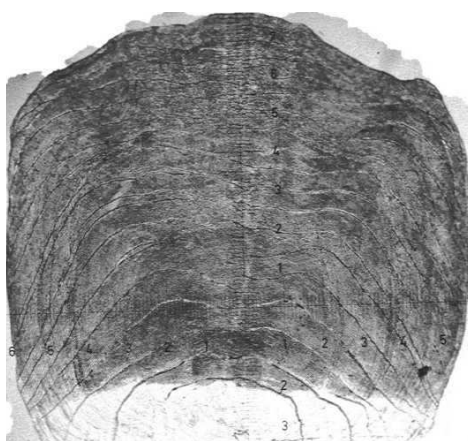


Figure 7 : Écaille de grande alose (*Alosa alosa*) (source : C. Boisneau)

Tableau 1 : Conditions d'attribution ou de non attribution d'un âge chez *A. alosa*

État de l'attribution	Condition	Attribution de l'âge
Écailles entièrement régénérées	-	NON
Hésitation entre 2 classes d'âge	L'individu appartient à une classe de taille pour laquelle la probabilité d'appartenir à une classe d'âge est >0.9	OUI
Hésitation entre 2 classes d'âge	L'individu appartient à une classe de taille pour laquelle la probabilité d'appartenir à une classe d'âge est <0.9	NON

Le risque d'erreur d'attribution d'un âge, pour une classe d'âge, est '**R**' le rapport du nombre d'individu affecté à une classe d'âge après la seconde lecture sur le nombre total d'individu affecté à cette classe d'âge.

Un test de cohérence d'attribution de l'âge a été réalisé à partir des poissons capturés en 1999. Un échantillon de 30 poissons traité en 1999 a été repris en 2010 afin de vérifier l'accord des attributions. Cet échantillon n'est pas représentatif de la composition de l'année 1999. Il a été choisi avec un rapport des sexes quasi équilibré (16

mâles, 14 femelles) et de manière à disposer de toute la variété de cas problématiques d'attribution de l'âge : écailles régénérées, impossibilité d'attribuer un âge, hésitation entre deux classes d'âge.

2.3. Les traitements

Après attribution d'un âge, chaque individu est attribué à une cohorte ou année de naissance (Figure 8, Figure 9) en posant le postulat suivant : la structure d'âge observée lors de la migration anadrome une année donnée, pour chaque sexe, correspond à la distribution des classes des individus matures d'une cohorte. Pour une année n , les individus âgés de 3 ans sont issues de la cohorte $n-3$, ceux de 4 ans de la cohorte $n-4$ et ceux de 5 ans de la cohorte $n-5$. A partir des données de capture de 1984 à 2010, les cohortes de 1978, 1979, 2006 et 2007 sont incomplètes, il faudrait les reconstituer. Or un test du χ^2 ($p < 0,05$) nous montre que la composition en classes d'âge diffère significativement d'une cohorte à l'autre. Aussi, ne seront prises en compte que les cohortes qui peuvent être considérées comme complètes, celles dont les aloses de 4 à 6 ans sont venues frayer, soit les cohortes 1980 à 2005.

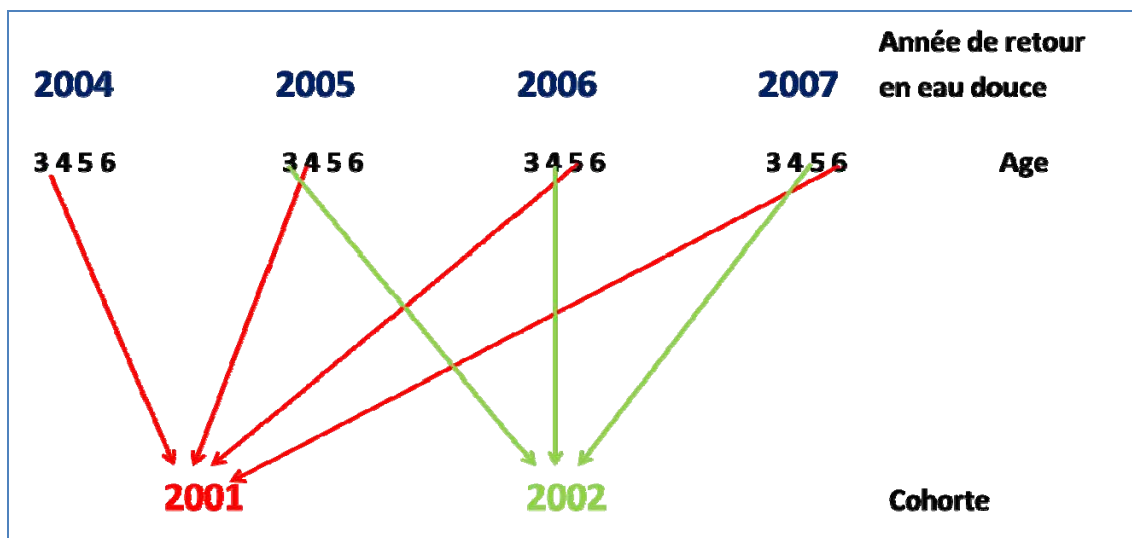


Figure 8 : Principe de répartition des individus dans une cohorte

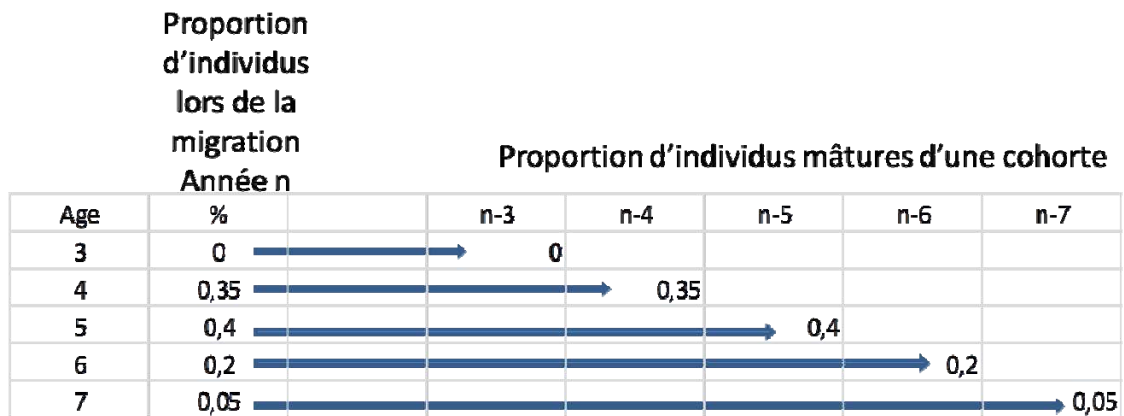


Figure 9 : Principe de répartition des proportions des individus, observées lors de la migration, dans une cohorte de grande Alose de Loire

Les variables biologiques utilisées dans l'analyse des caractéristiques des cohortes sont la longueur fourche (LF), la masse totale (PT), le sexe, l'âge (AG) et le coefficient de condition (K), calculé selon la formule :

$$K = 10^5 P/L^3$$

avec **P** la masse du poisson en g et **L** la longueur fourche en mm.

Ce coefficient illustre l'état d'embonpoint des poissons. Ce coefficient évolue au cours de la phase anadrome. Il augmente lorsque la maturité sexuelle contribue à l'augmentation en volume des gonades puis il diminue au moment de la ponte.

Le rapport des sexes retenu dans ce travail, exprimé en nombre de mâles pour une femelle, est celui collecté sur l'ensemble des individus capturés sur une pêcherie de référence qui a enregistré cette variable sur les 26 années.

Pour l'analyse des caractéristiques de cohortes, ne sont retenus que les individus pour lesquels toutes les variables biologiques sont renseignées. Pour chacune de ces variables des comparaisons inter cohortes sont conduites avec une ANOVA suivie d'un test de normalité des résidus. Les relations taille-poids de chaque cohorte sont calculées et comparées avec des ANCOVA. Une classification hiérarchique ascendante (CAH) a été conduite sur les caractéristiques de taille et de masse des cohortes en utilisant pour la proximité de dissimilarité, la distance de Mahalanobis et une agrégation par lien moyen.

Lorsque les valeurs des variables sont normalisées, la valeur de la cohorte a été rapportée à la valeur moyenne des cohortes (1980 à 2005).

3. Résultats

3.1. Attribution d'un âge

3.1.1 Test de validation des lectures anciennes et actuelles

Sur les 30 individus retenus pour le test de validation d'attribution de l'âge, deux d'entre eux, un de chaque sexe, n'ont pas reçu la même attribution de l'âge. Ce sont, dans les deux cas, des poissons pour lesquels des doutes entre deux classes d'âge étaient rencontrés. La relecture n'a pas résolu la non attribution aux individus dont les écailles sont régénérées ni à ceux pour lesquels aucun âge n'avait pu être attribué. Après ajustement à la composition de l'année 1999, il y a, au plus, 2,7% des individus pour lesquels les attributions de l'âge ne seraient pas cohérentes.

3.1.2 Attribution de l'âge

Le nombre total d'individus des cohortes 1980-2005 analysé est de 5883. Parmi ceux-ci, 231 individus, soit 3,9%, n'ont pas reçu d'attribution de l'âge pour les raisons suivantes : régénération des écailles à 77 individus (1,3%), impossibilité d'attribuer un âge quelconque à 30 individus (0,5%) et hésitation entre deux classes d'âge pour 114 individus (1,9%). Les taux diffèrent entre les deux sexes avec 3,7% chez les mâles et 6% chez les femelles.

Au total, ce sont 5652 poissons dont 2868 mâles (50,7%) et 2784 femelles (49,3%) appartenant aux cohortes 1980-2005 qui ont reçu un âge. Le risque d'erreur d'attribution de l'âge affecte les diverses classes d'âge et les sexes différemment (Tableau 2).

Tableau 2 : Risque d'erreur (R) d'attribution d'un âge aux grandes aloses de Loire

Age	Mâles		Femelles	
	N	R	N	R
2 ans	2	0 %	-	-
3 ans	229	1.2 %	13	0.2 %
4 ans	1862	4.1 %	809	7.7 %
5 ans	683	5.3 %	1590	3.8 %
6 ans	91	5.9 %	310	9.6 %
7 ans	1	0 %	62	5 %
Total	2868		2784	

3.2. Caractéristiques des cohortes

La majorité des poissons sont des primipares, seuls 1.2 % d'entre eux ont effectué 2 reproductions.

3.2.1. Caractéristiques globales

Les caractéristiques globales des grandes aloses, les deux sexes confondus montrent un âge moyen compris entre 4 et 5 ans, un coefficient de condition (K) qui apparaît très homogène, des tailles et des masses qui fluctuent d'une cohorte à l'autre (Tableau 3).

Les distributions des classes d'âge diffèrent entre les 26 années ($\text{Khi}^2 = 2294,085$; $p < 0,0001$), les classes d'âge 4 à 6 ans dominant.

Tableau 3 : Synthèse des longueurs à la fourche (LF), des masses (PT), des coefficients de condition (K) et des âges (AG) associé au nombre d'individus par cohorte de grande Alose de Loire ; moyenne ± écart type

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Nb ind	179	449	688	838	130	139	100	144	338	110
LF (mm)	466 ± 48,7	473 ± 40,5	453 ± 48,2	452 ± 56,3	480 ± 56,3	495 ± 38,5	476 ± 47,3	501 ± 53,5	474 ± 44,2	451 ± 43,9
PT (g)	1371 ± 595,7	1571 ± 488,8	1289 ± 483,5	1243 ± 530,1	1489 ± 580	1608 ± 484,4	1450 ± 515,8	1706 ± 548,9	1473 ± 468,7	1266 ± 438,2
K	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2
AG (an)	5 ± 0,9	5 ± 0,6	4 ± 0,7	4 ± 0,9	5 ± 1	5 ± 0,6	5 ± 0,8	5 ± 0,7	5 ± 0,6	4 ± 0,7

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Nb ind	41	95	246	127	177	96	32	100	380	392
LF (mm)	514 ± 42,5	499 ± 41,1	474 ± 39,4	470 ± 56,6	495 ± 49,3	452 ± 35,2	481 ± 30,3	509 ± 41,7	495 ± 29,5	471 ± 35,1
PT (g)	1851 ± 423,5	1647 ± 417,8	1395 ± 371,6	1446 ± 552,5	1777 ± 496,7	1303 ± 365	1358 ± 382,1	1756 ± 463,7	1578 ± 339,2	1349 ± 350,4
K	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,3	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,2	1 ± 0,1	1 ± 0,1	1 ± 0,1
AG (an)	5 ± 0,8	5 ± 0,7	4 ± 0,5	4 ± 0,7	5 ± 0,5	4 ± 0,3	4 ± 0,6	5 ± 0,6	4 ± 0,5	4 ± 0,7

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Nb ind	149	84	241	161	57	160
LF (mm)	469 ± 36,1	507 ± 37,6	492 ± 30,2	468 ± 25,9	498 ± 53,1	495 ± 29,6
PT (g)	1364 ± 374,6	1728 ± 387,3	1595 ± 367,3	1390 ± 340,1	1826 ± 575,1	1718 ± 306,5
K	1 ± 0,1	1 ± 0,2	1 ± 0,1	1 ± 0,2	1 ± 0,1	1 ± 0,2
AG (an)	4 ± 0,6	5 ± 0,8	5 ± 0,5	4 ± 0,4	5 ± 1	5 ± 0,5

Des ANOVA, ont été réalisées pour chaque paramètre mesuré ou calculé. Ceux-ci sont significativement différents entre les cohortes ($p < 0,0001$ pour les quatre paramètres ; LF, $F=36,128$; PT, $F=30,803$; K, $F=15,373$; AG, $F=38,379$). Le nombre de groupes définis suite aux tests de Tukey varie sans qu'aucune tendance temporelle ne se dessine (Tableau 4 et Tableau 5).

- 4 groupes pour la longueur fourche (LF),
- 6 groupes pour la masse totale (PT),
- 5 groupes pour le coefficient de condition (K),
- 7 groupes pour l'âge des aloses (AG).

Tableau 4 : Résultats des ANOVA suivis d'un test de Tukey sur les paramètres : Longueur Fourche et Masse totale des différentes cohortes de grande Alose de Loire

Année de naissance	Groupes Longueur Fourche				Année de naissance	Groupes Masse totale						
1990	A				1990	A						
1997	A				2004	A						
2001	A				1994	A						
1987	A				1997	A	B					
1991	A	B			2001	A	B					
2004	A	B			2005	A	B					
1985	A	B			1987	A	B					
1994	A	B			1991	A	B	C				
2005	A	B			1985	A	B	C				
1998	A	B			2002	A	B	C				
2002	A	B			1998	A	B	C				
1996	A	B	C		1981		B	C				
1984		B	C		1984			C	D			
1986		B	C		1988			C	D			
1992			C		1986			C	D	E		
1988			C		1993			C	D	E		
1981			C		1992				D	E		
1999			C		2003				D	E		
1993			C		1980				D	E		
2000			C		2000				D	E		
2003			C		1996				D	E		
1980			C		1999				D	E		
1982			C	D	1995				D	E	F	
1995			C	D	1982					E	F	
1983				D	1989					E	F	
1989				D	1983						F	

Tableau 5 : Résultats des ANOVA suivis d'un test de Tukey sur les paramètres : Coefficient de condition et Âge des différentes cohortes de grande Alose de Loire

Modalité	Groupes Coefficient de condition					Modalité	Groupes Âge					
1981	A					1990	A					
1994	A					1985	A	B				
2004	A	B				2001	A	B	C			
2005	A	B				1987	A	B	C			
1995	A	B	C			1991	A	B	C	D		
1990	A	B	C			2004	A	B	C	D	E	
1982		B	C			1997	A	B	C	D	E	
1988		B	C	D		1994		B	C	D	E	
1989		B	C	D	E	1986		B	C	D	E	
1993		B	C	D	E	1981			C	D	E	
2003		B	C	D	E	1984			C	D	E	
2002		B	C	D	E	2002			C	D	E	
1987		B	C	D	E	2005				D	E	
2001		B	C	D	E	1980					E	
1991		B	C	D	E	1988					E	
1997		B	C	D	E	1998					F	
1986			C	D	E	1992					F	
1992			C	D	E	1983					F	
2000			C	D	E	1993					F	G
1985			C	D	E	1996					F	G
1998				D	E	1982					F	G
1984				D	E	1989					F	G
1980				D	E	1999						G
1983					E	2000						G
1999					E	2003						G
1996					E	1995						G

3.2.2. Comparaisons inter-cohortes, sexes séparés

En séparant les sexes, les cohortes ont été comparées pour les quatre variables, longueur fourche, masse totale, coefficient de condition et âge. Quelle que soit la variable, les cohortes de grandes aloses présentent des différences significatives sans qu'aucune évolution temporelle ne se dessine.

Longueurs à la fourche

Pour les mâles, comme pour les femelles, les longueurs à la fourche sont significativement différentes entre les années (ANOVA, Mâles : $F= 25,953$, $p<0,0001$, Femelles : $F=15,060$, $p<0,0001$) (Figure 10, Figure 11, Figure 12). Les minima sont de 421 mm pour les mâles en 1983 et 475mm en 1989 pour les femelles. Les maxima sont 537 mm en 2004 pour les femelles et 491 mm en 1990 pour les mâles. Les longueurs

normalisées font ressortir des cohortes avec des individus de petite taille, 1982,1983, 1989, et avec des individus de grande taille 1990, 2004, 2005. Il n'apparaît pas de tendance à l'augmentation ou à la diminution de la taille sur l'ensemble des cohortes 1980-2005 (Figure 12).

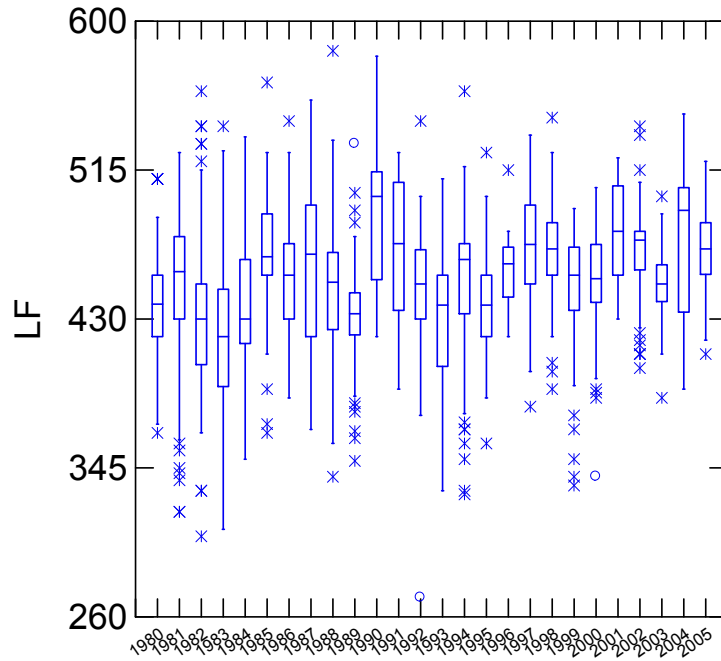


Figure 10 : Longueurs à la fourche (LF, mm) des aloses mâles, cohortes de 1980 à 2005

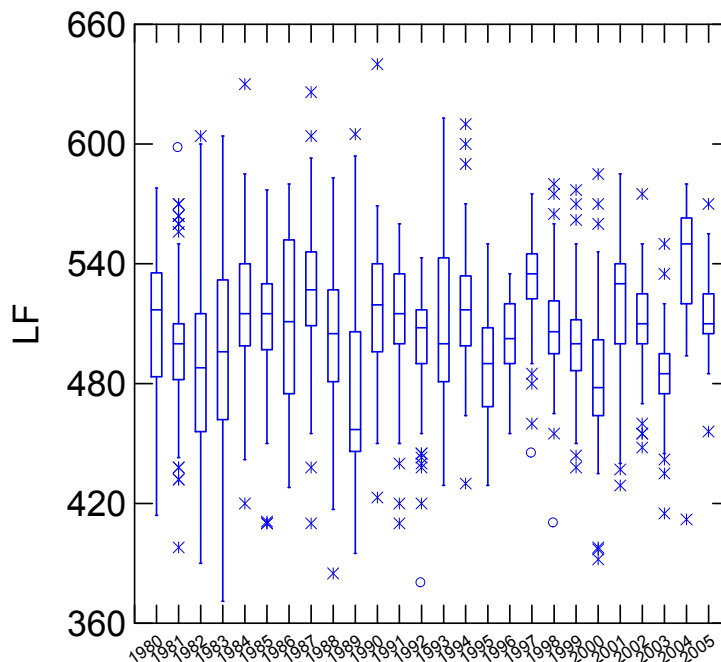


Figure 11 : Longueurs à la fourche (LF, mm) des aloses femelles, cohortes de 1980 à 2005

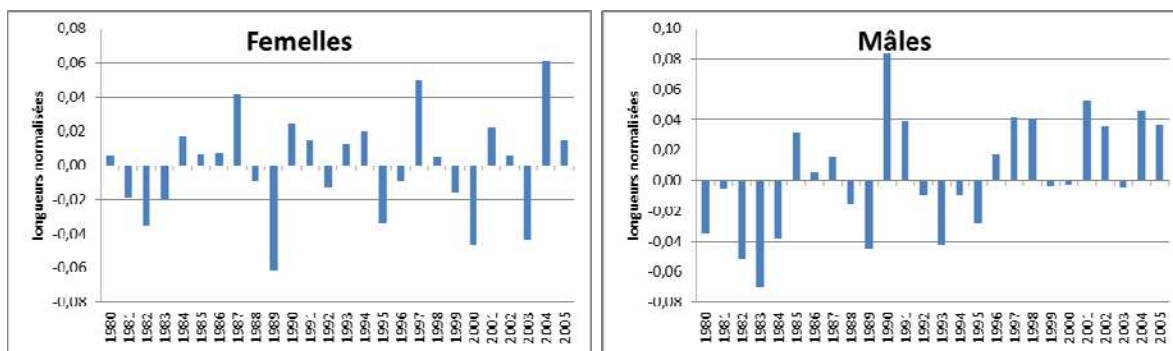


Figure 12 : Longueurs normalisées pour les cohortes de 1980 à 2005 de grande Alose de Loire

Masses totales

Pour les mâles, les masses totales sont significativement différentes entre les années (ANOVA, $F=25,294$, $p<0,0001$). Les maximum et minimum sont, respectivement de 1564 g en 2004 et 958 g en 1983 (Figure 13, Figure 15).

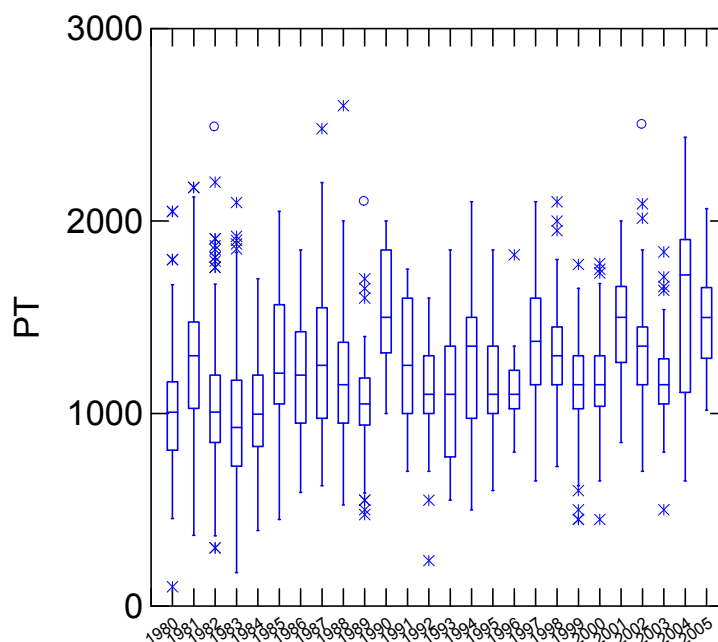


Figure 13 : Masses totale (PT, g) des aloses mâles, cohortes de 1980 à 2005

Pour les femelles, les masses totales sont significativement différentes entre les années (ANOVA, $F=12,910$, $p<0,0001$). Les maximum et minimum sont, respectivement de 2243g en 2004 et 1515g en 2000 (Figure 14, Figure 15).

Les masses normalisées présentent des différences entre mâles et femelles plus fortes que celles observées pour les tailles. Elles identifient les mêmes cohortes avec des individus de petite masse, 1982,1983, 1989, et avec des individus de grande masse

1990, 2004, 2005. Il n'apparaît pas non plus de tendance à l'augmentation ou à la diminution de la masse sur l'ensemble des cohortes 1980-2005 (Figure 15Figure 12).

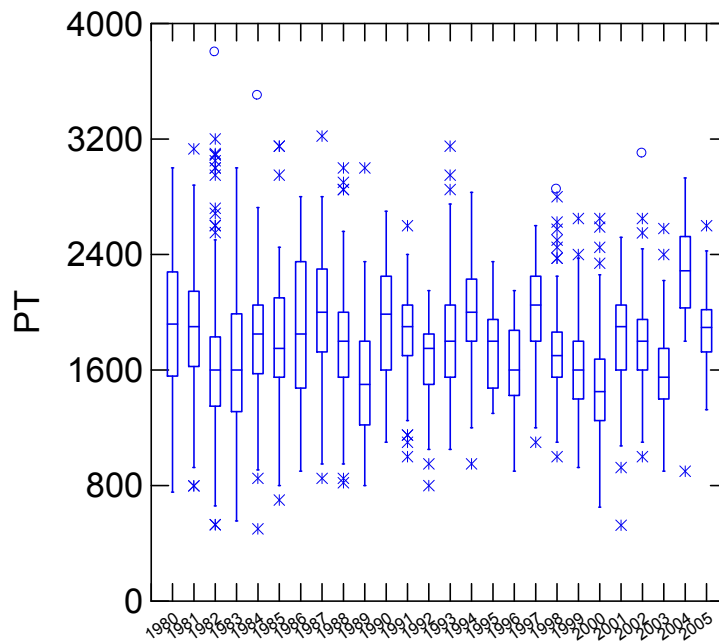


Figure 14 : Masses totale (PT, g) des aloses femelles, cohortes de 1980 à 2005

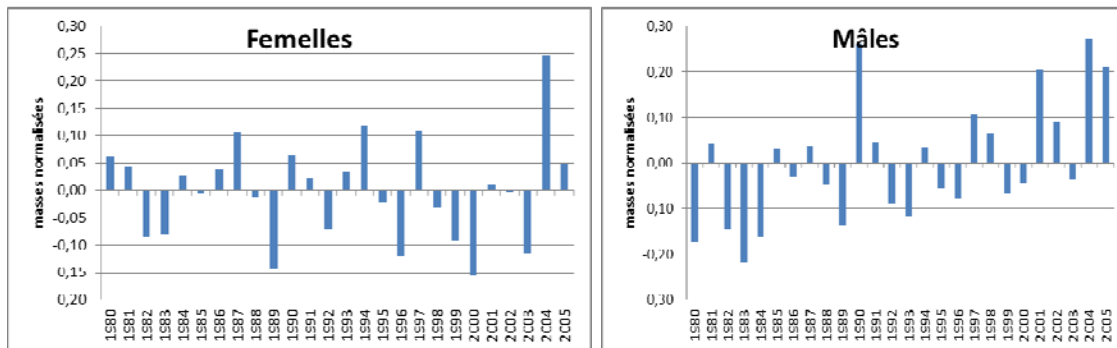


Figure 15 : Masses normalisées pour les cohortes 1980 à 2005 de grande Alose de Loire

Coefficients de condition

Les coefficients de condition sont significativement différents entre les années (mâles : ANOVA, $F=7,810$, $p<0,0001$; femelles, ANOVA, $F=11,811$, $p<0,0001$) (Figure 16, Figure 17 et Figure 18). Les minima sont de 1,147 pour les mâles et 1,296 pour les femelles en 1996. Les maxima sont 1,519 en 1981 pour les femelles et 1,44 en 2005 pour les mâles.

Pour les cohortes 1996 à 2000, les coefficients de condition sont significativement plus faibles que lors des années précédentes et suivantes. Les valeurs maximales sont observées pour les cohortes 1981, 2004 et 2005.

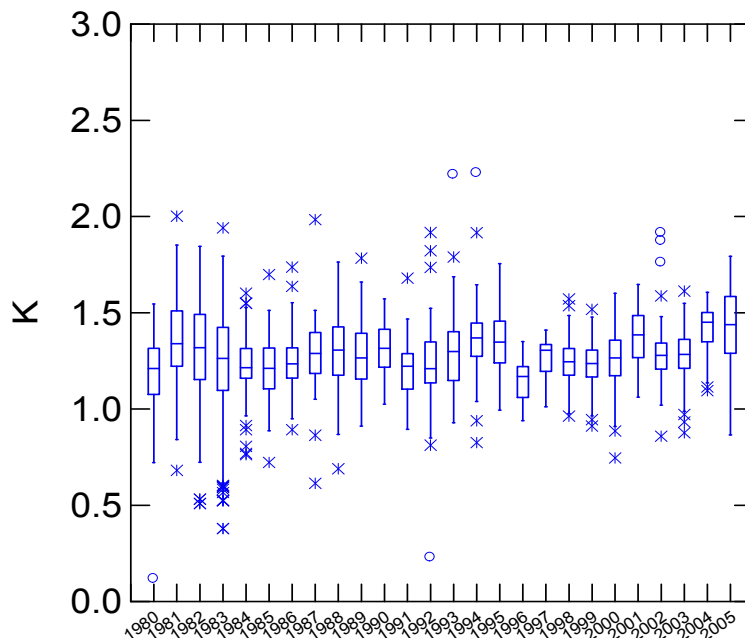


Figure 16 : Coefficient de condition (K) des aloses mâles, cohortes de 1980 à 2005

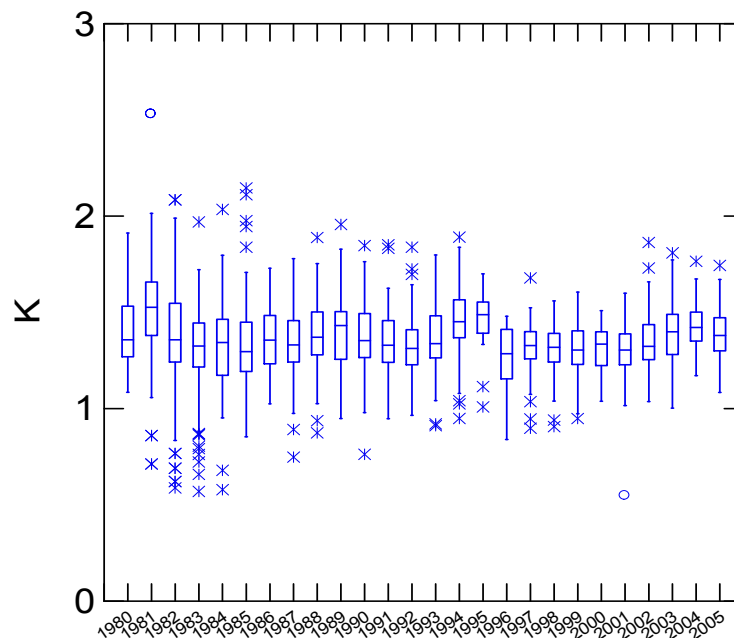


Figure 17 : Coefficient de condition (K) des aloses femelles, cohortes de 1980 à 2005

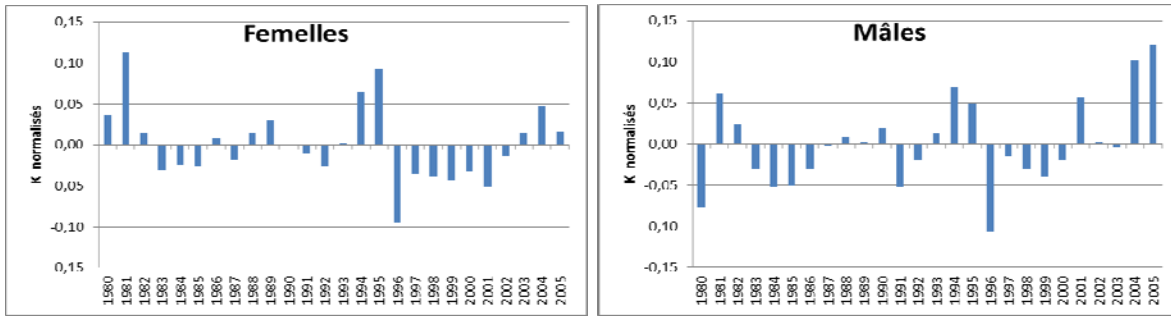


Figure 18 : Coefficient de condition normalisé pour les cohortes de 1980 à 2005 de grande Alose de Loire

Âges

Les âges de première reproduction sont significativement différents entre les années (mâles : ANOVA, $F=27,732$, $p<0,0001$, femelles, ANOVA, $F=19,361$, $p<0,0001$). L'âge modal est de 4 ans pour les mâles, i.e. un an plus jeune que pour les femelles (Figure 19, Figure 20). Les minima sont de 3,8 ans pour les mâles en 1999 et 4,2 ans en 2003 pour les femelles. Les maxima sont 5,7 ans en 2004 pour les femelles et 5,4 ans en 1990 pour les mâles. Comme pour les paramètres taille et masse, il n'apparaît pas de tendance à l'augmentation ou à la diminution de l'âge sur l'ensemble des cohortes 1980-2005.

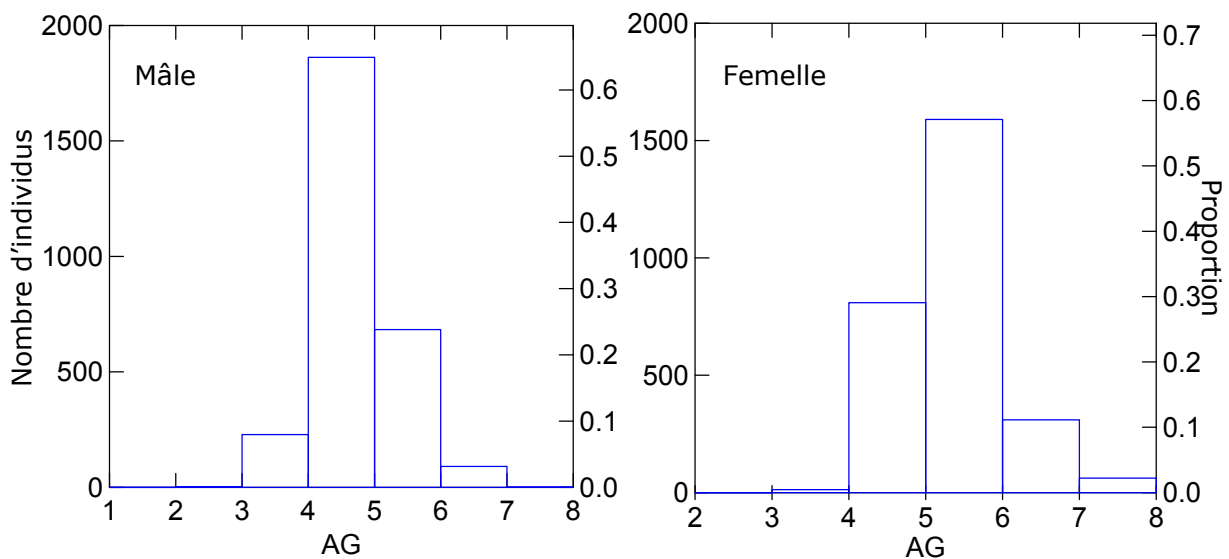


Figure 19 : Répartition des mâles et des femelles d'alose de Loire en fonction de leurs âges

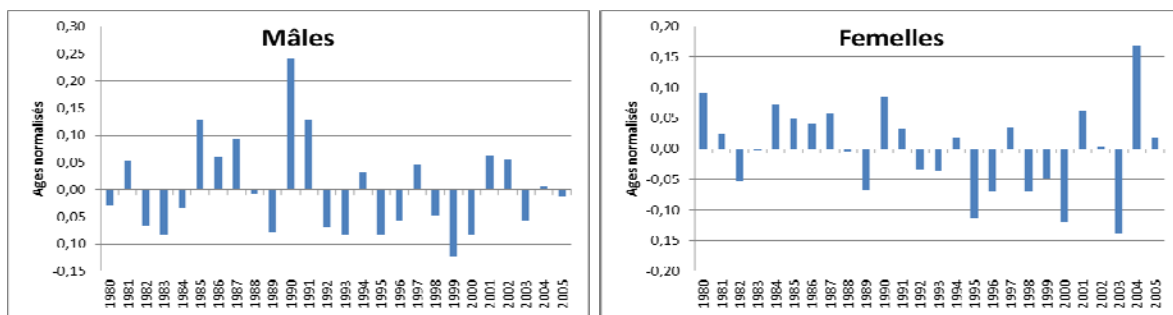


Figure 20 : Âges normalisés pour les cohortes 1980 à 2005 de grande Alose en Loire

3.2.3. Comparaison des relations tailles-masses par cohorte

Pour les mâles :

La pente n'est pas la même pour toutes les années de naissance (ANCOVA $F=5,981$, $p(AN*LF)<0,0001$, $R^2 : 0,751$, AN : année de naissance). Les relations taille-masse totale (LF-PT) diffèrent significativement d'une cohorte à l'autre (Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24 et Figure 25).

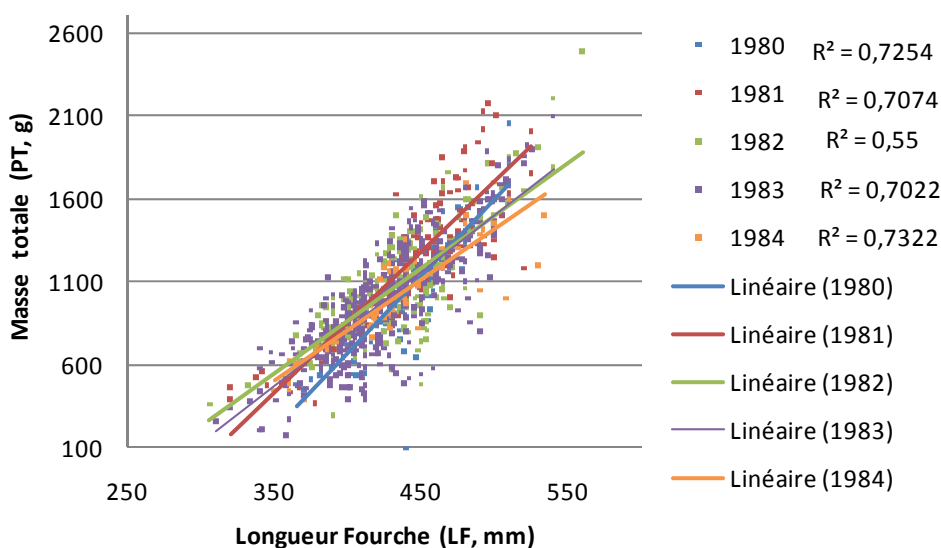


Figure 21 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1980-1984)

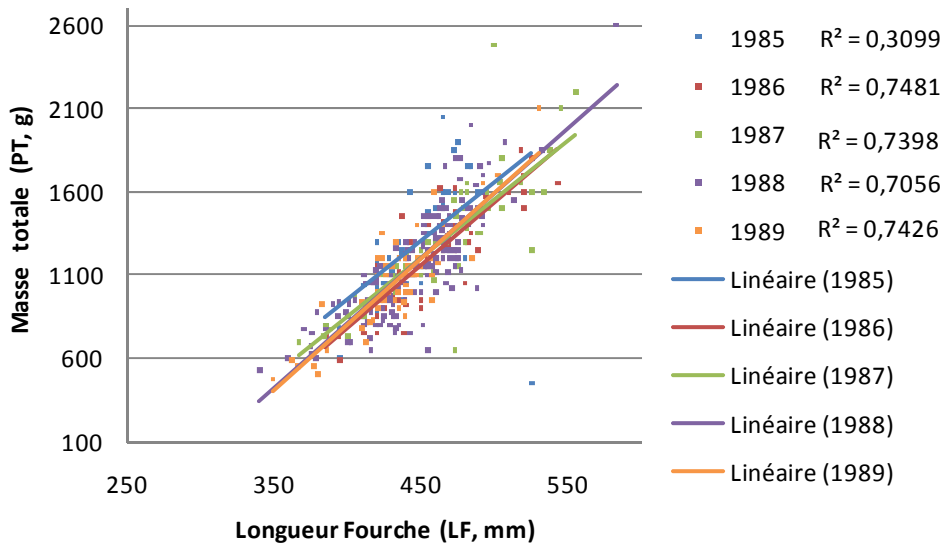


Figure 22 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1984-1989)

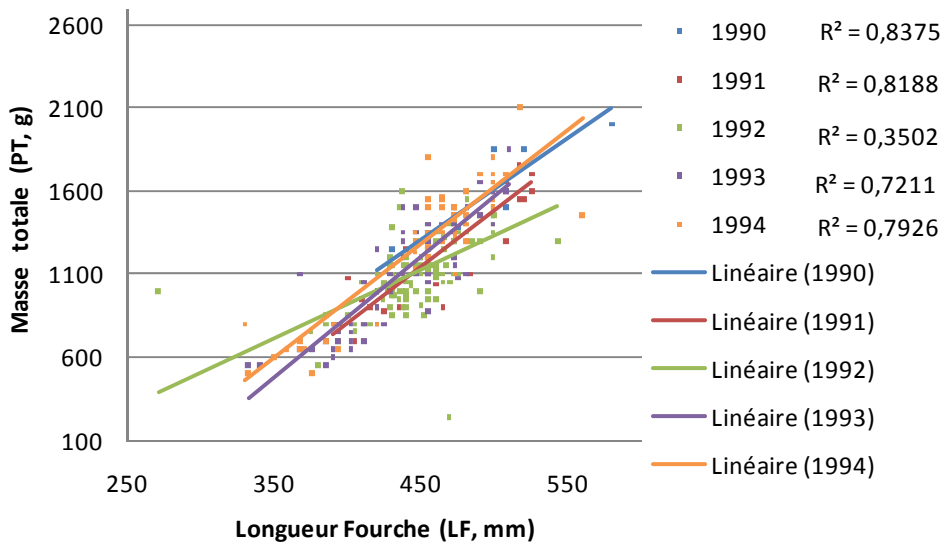


Figure 23 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1990-1994)

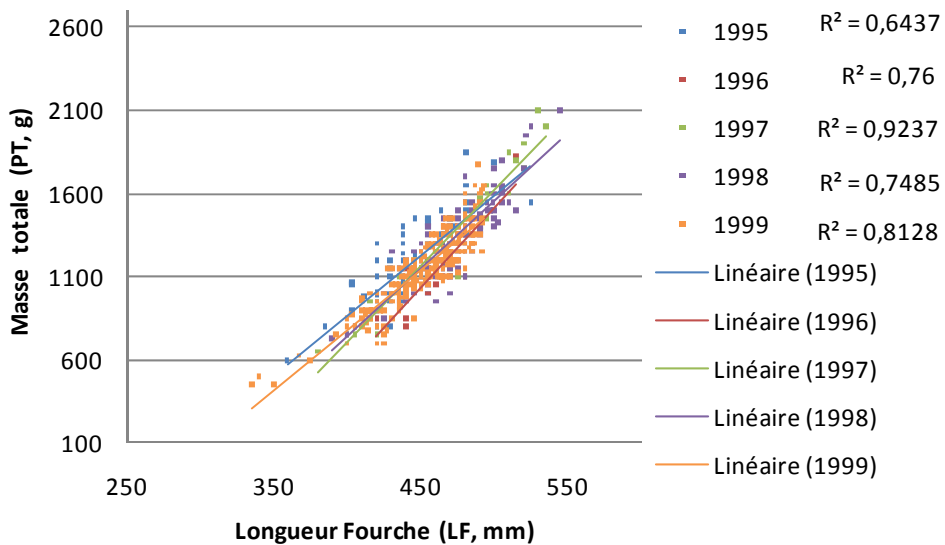


Figure 24 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses mâles (1995-1999)

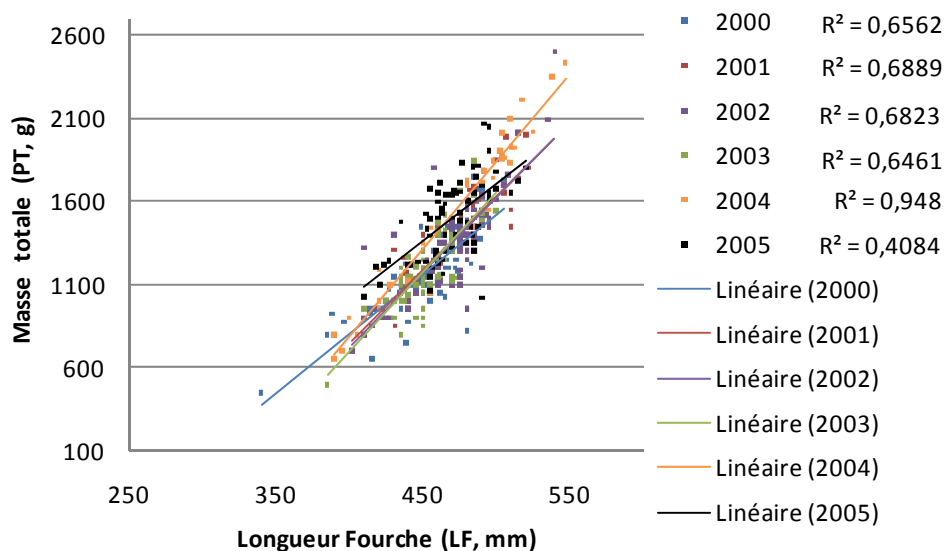


Figure 25 : Relations taille/masse pour les cohortes d’aloses mâles (2000-2005)

Pour les femelles :

Les pentes des relations taille-masse ne sont pas les mêmes pour toute les années de naissance (ANCOVA $F=2,216$, $p(AN*LF)<0,0001$, $R^2=0,687$, AN : année de naissance). Elles diffèrent significativement d’une cohorte à l’autre (Figure 26, Figure 27, Figure 28, Figure 29 et Figure 30).

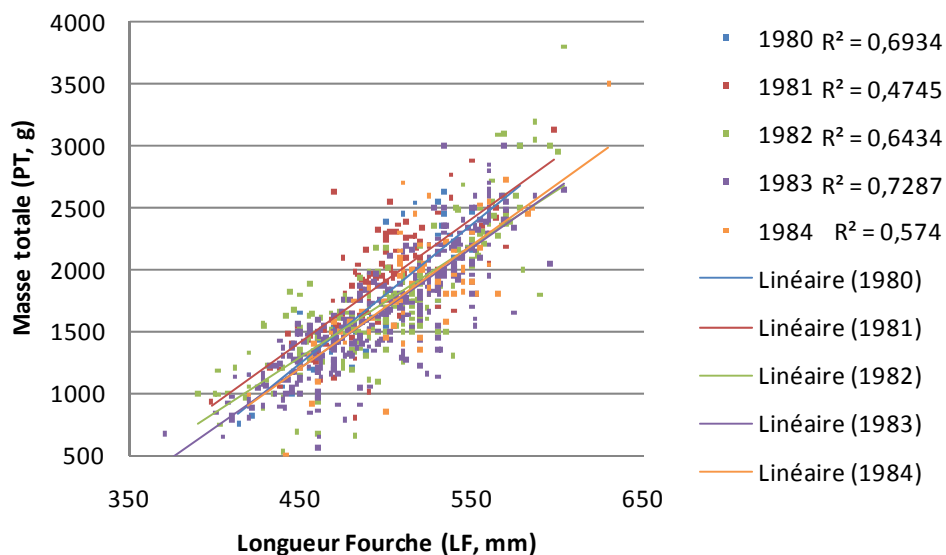


Figure 26 : Relations taille/masse pour les cohortes d’aloses femelles (1980-1984)

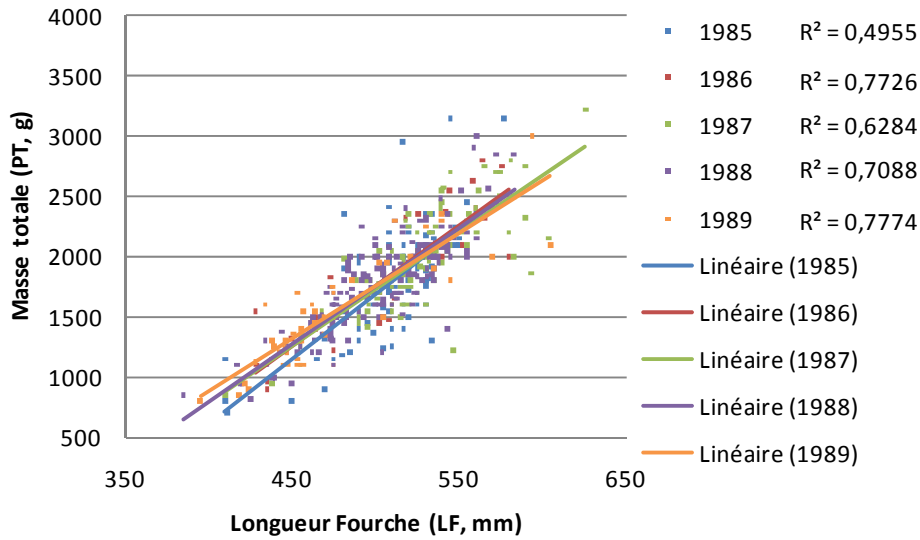


Figure 27 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1985-1989)

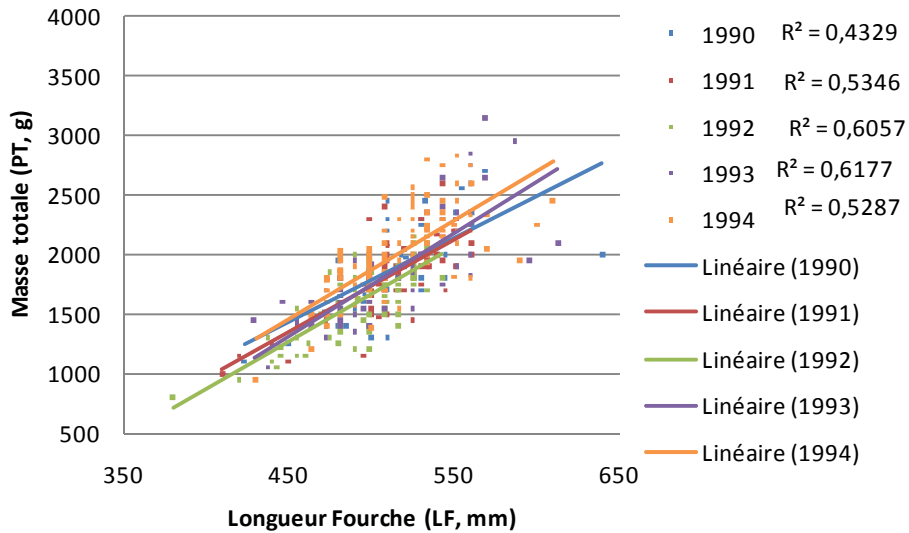


Figure 28 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1990-1994)

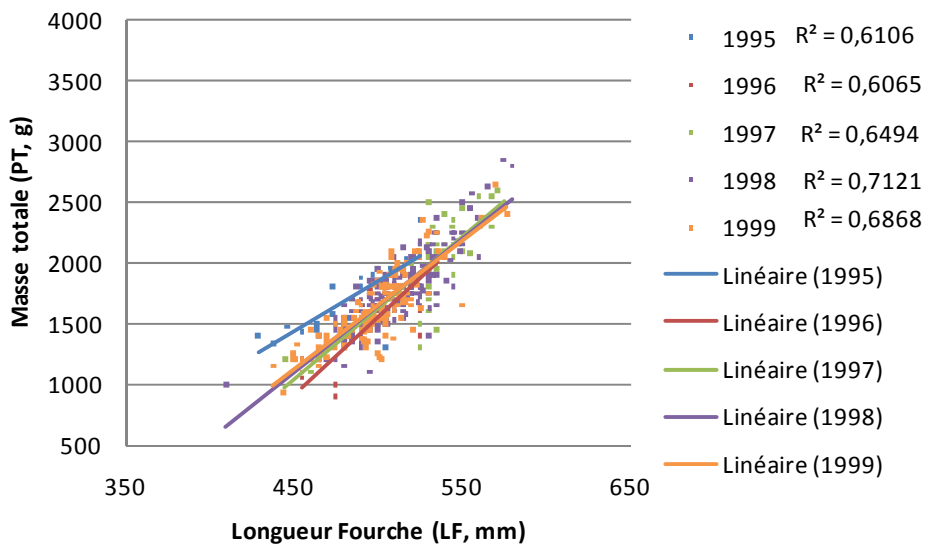


Figure 29 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (1995-1999)

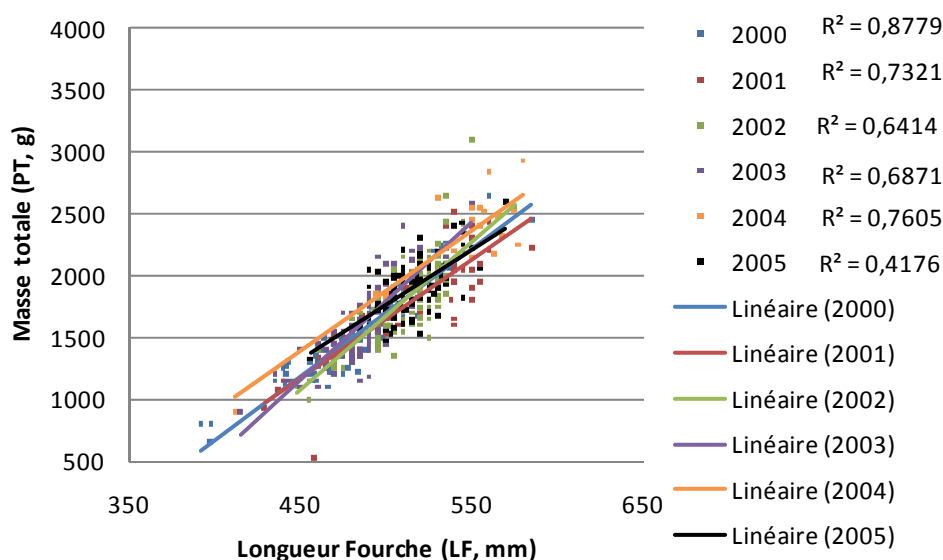


Figure 30 : Relations taille/masse pour les cohortes d'aloses femelles (2000-2005)

3.3. Typologie des cohortes

Une classification ascendante hiérarchique réalisée sur les masses et les longueurs (moyennes estimées des ANOVA précédentes), les deux sexes réunis, partage les cohortes en 5 classes (Figure 31). La cohorte 1996 est isolée et constitue une classe à elle toute seule. Cette cohorte se caractérise par un échantillon de faible effectif, des tailles et des masses non extrêmes mais son coefficient de condition est le plus faible de tous, avec 1,19. La classe 2 contient les cohortes dont une ou plusieurs caractéristiques sont maximales. La cohorte 1981 est caractérisée par le plus fort coefficient de condition de toute la série, les cohortes 2004 et 2005 ont des grandes tailles et des grandes masses. La cohorte 1990, dans la classe 4, contient les individus les plus lourds, les plus longs et les plus vieux. La classe 3 contient les cohortes dont une ou plusieurs caractéristiques sont faibles voire minimales, les cohortes 1982, 1983, 1989 et 1995 possèdent des tailles, des masses et des âges faibles. Aucune tendance d'évolution chronologique ne se dessine, ni à l'intérieur des classes, ni entre les classes.

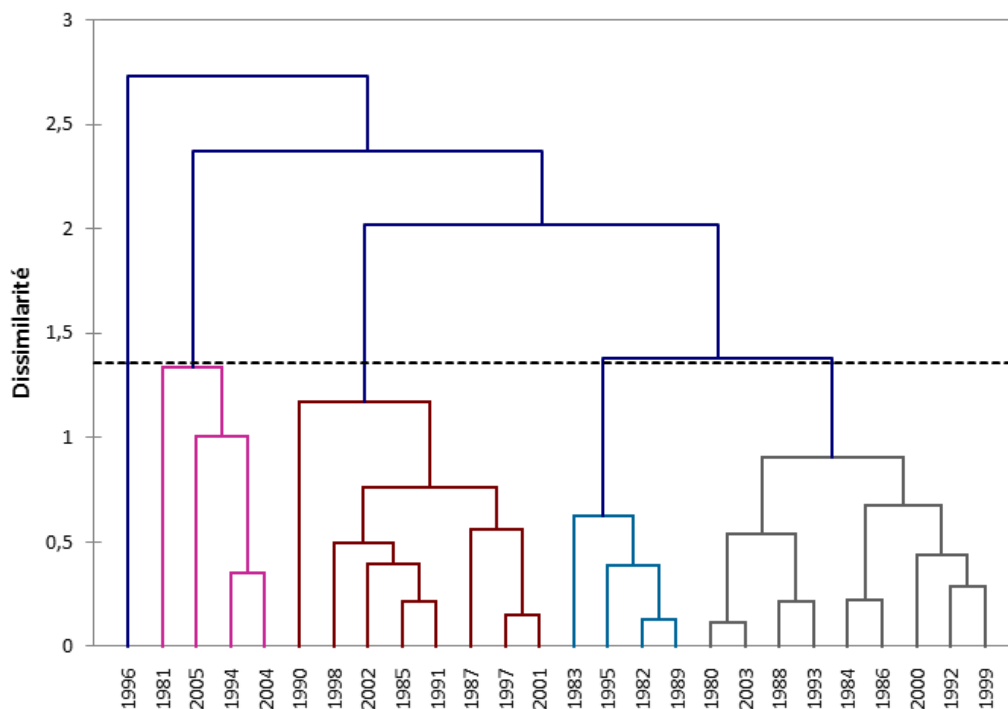


Figure 31 : Dendrogramme consécutif à la CAH sur les cohortes de grande Alose en Loire de 1980 à 2005 et classes associées. (Variance intra-classe, de gauche à droite sur le graphe : classe 5 : 0 ; classe 2 : 12337 ; classe 4 : 8909 ; classe 3 : 688 ; classe 1 : 2640)

3.4. Rapport des sexes

Le rapport des sexes de chaque cohorte a été reconstitué à partir des rapports des sexes des années de migration et des classes d'âge de chaque sexe. La série temporelle obtenue montre un rapport des sexes très variable avec une valeur minimale de 0,43 pour la cohorte 2000, une valeur maximale de 1,77 pour la cohorte 1981 et une moyenne de 0,91 pour les 26 cohortes étudiées (Figure 32). Le rapport des sexes montre une tendance significative à la baisse (régression linéaire, $F=11.4$, $n=26$, $p=0.002$).

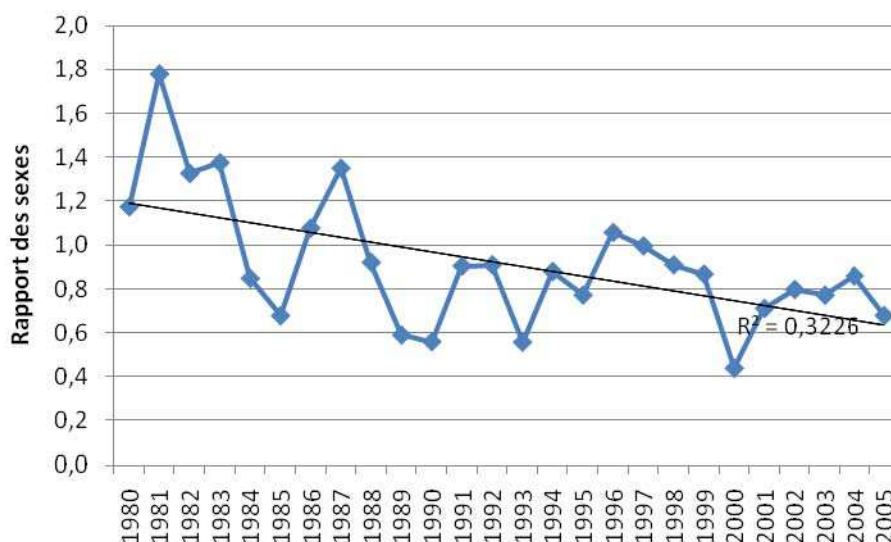


Figure 32 : Évolution temporelle du rapport des sexes sur les cohortes de grande Alose en Loire de 1980 à 2005

Les cohortes de grandes aloses de la Loire sont composées d'individus majoritairement primipares, âgés de 4 et 5 ans, les mâles étant un an plus jeunes que les femelles. Trois cohortes se distinguent des autres, 1996 et 1981 avec, respectivement, le plus petit et le grand coefficient de condition et, 1990 avec les individus les plus gros et les plus vieux. Il n'y a pas d'évolution temporelle à la diminution ou à l'augmentation des tailles, masses, coefficients de condition et âges chez les deux sexes ni au sein des cohortes complètes sans différenciation des sexes. En revanche, le rapport des sexes présente une tendance à la diminution pour les 26 cohortes considérées.

Activité des pêcheries et indices d'abondance

1. Introduction

Le long d'un axe fluvial, pour des populations de poissons migrateurs, une pêche peut être considérée comme une activité qui intercepte et soustrait une partie du flux de poissons. A ce titre, sous certaines conditions, elle constitue un outil d'aide à la mesure de l'abondance relative de ce flux, l'abondance absolue correspondant à la quantification du flux dans sa totalité. L'indice le plus immédiat d'abondance d'un stock, dans une zone homogène, correspond aux captures par unité d'effort (CPUE) (Gulland, 1969 ; Laurec et le Guen, 1981) qui s'expriment par :

$$CPUE = C/f = q N$$

avec **C** les captures, **f** l'effort, **q** la « capturabilité » et **N** l'abondance.

L'effort de pêche à utiliser pour cette estimation est l'effort effectif (Laurec et le Guen, 1981). Cet effort est une mesure affinée de la pratique, à l'aide de variables comme le nombre de jours ou d'heures de pêche.

La capturabilité '**q**', est la probabilité pour un poisson d'être capturée par unité d'effort de pêche. Elle est fonction de trois paramètres :

- l'efficacité du pêcheur c'est-à-dire sa capacité à capturer les poissons qui est fonction de son matériel et de son expérience,
- l'accessibilité du poisson qui est fonction de sa présence ou de son absence sur la zone de pêche,
- la vulnérabilité qui est la probabilité qu'un poisson se fasse capturer. Cette probabilité est fonction du comportement des animaux (distribution dans la masse d'eau, grégarisme) et de la capacité par les engins à les capturer (profondeur d'usage, taille des mailles, ...).

L'utilisation des CPUE pour un suivi interannuel d'abondance suppose une capturabilité constante. Pour ce faire, au regard des composantes de la capturabilité, quelques éléments et hypothèses doivent être posés. Installées sur les mêmes sites depuis 1984, les pêcheries retenues se répartissent sur deux secteurs, l'un à l'aval de la confluence avec la Vienne, axe majeur du bassin de la Loire pour les poissons migrateurs et l'autre à l'amont de cette confluence, entre Amboise (37) et Jargeau (45). Notre première hypothèse sera que ces deux secteurs constituent, chacun, une zone homogène pour la circulation des poissons.

Dans le cas de la pêche au filet barrage, l'accessibilité est constante puisque la période légale de pêche se situe dans la phase de présence des adultes. Jusqu'en 1994, année d'interdiction de la pêche du saumon, les filets-barrage étaient installés par les pêcheurs dès la date d'ouverture légale de la pêche au saumon (entre le 15 février et le début du mois de mars selon les départements), c'est-à-dire toujours avant l'arrivée de la première alose dans la Loire. En outre, depuis 1990, grâce à l'amélioration de la communication entre pêcheurs, les pêcheurs fluviaux peuvent être informés par les marins-pêcheurs de la présence des premières aloses en estuaire. Les aloses peuvent donc être capturées dès le début de leur migration. Aussi, l'amélioration de la communication entre les pêcheurs professionnels depuis 1990 est susceptible d'introduire un lien entre effort de pêche et captures. Ce transfert d'informations, qui s'avère bénéfique en début de saison, peut l'être moins pendant la saison de pêche et réduire la stabilité de l'effort de pêche. Prévenus d'un creux dans l'abondance des aloses, les pêcheurs peuvent en effet décider de ne pas pêcher pendant quelques jours. L'efficacité du pêcheur n'apparaît donc pas comme constante à l'échelle intra-annuelle. Pour réduire cette variabilité, une pêche virtuelle, correspondant à la moyenne des CPUE journalières des pêcheries de chaque secteur (amont et aval de la confluence avec la Vienne), a donc été utilisée.

Les captures sont enregistrées jusqu'à la fin de la période de pêche, celle-ci étant déterminée soit par l'absence de poissons, soit par des conditions environnementales défavorables (étiage). Les données de pêche permettent ainsi de couvrir, chaque année, l'ensemble de la période de migration de la grande alose sous réserve de conditions environnementales favorables.

Les pêcheries utilisent le même type d'engins, sans changement technique sur la période d'étude. Il n'y a donc pas de variation dans la puissance de pêche, ni entre bateaux, ni entre saisons de pêche pour un même bateau. Ceci permet de considérer que la deuxième composante de la vulnérabilité est constante à l'échelle interannuelle.

Les aloses sont en phase de migration pré-reproductrice, elles ont toutes, à l'échelle interannuelle, le même comportement de montée grégaire. Il en résulte que la capturabilité est fonction des conditions environnementales, notamment du débit du fleuve et des quantités de MES qu'il transporte, puisqu'avec l'augmentation de débit et donc de la section mouillée du cours d'eau, la proportion d'eau filtrée par le filet barrage diminue et les masses dérivantes qui s'y accumulent en réduisent fortement l'utilisation.

Ceci nous permet d'utiliser les CPUE obtenues sur les filets barrages comme des indicateurs de l'abondance annuelle des aloses. Les objectifs de cette partie de l'étude sont d'analyser l'activité des pêcheries sur l'ensemble de la période d'étude, 1984-2010 puis de définir un indice d'abondance des captures à partir des CPUE et enfin un indice d'abondance des cohortes. Le premier indice d'abondance aurait dû être confronté à l'indice obtenu par Logrami au droit des passes à poissons de Vichy, Decize et de la Vienne (Châtelleraut et Descartes), mais pour des raisons techniques ceci n'a pas pu se faire. Le second indice sera mis en regard de variables hydrologiques et thermiques influant sur la migration des géniteurs et sur la phase de développement des juvéniles dans la dernière partie de ce rapport.

2. Méthodes

2.1. Données recueillies

Chaque année, le nombre de pêcheries pratiquant est relevé pour les deux zones à l'amont et à l'aval de la confluence avec la Vienne (

Tableau 6). Les données recueillies, sur chaque pêcherie, pour chaque année, au quotidien, sont la présence ou l'absence d'actions de pêche, leur durée ainsi que le nombre de poissons capturés. La pêche au filet-barrage n'est autorisée que de deux heures avant le lever du soleil jusqu'à deux heures après son coucher, du lundi au vendredi et de deux heures avant le lever du soleil jusqu'à 18h le samedi. Elle est interdite le dimanche.

L'effort collecté ici est un effort effectif puisqu'il correspond au nombre d'heures de pêche, pour une période de 24 heures. La Capture Par Unité d'Effort (CPUE) est exprimée ici en nombre d'aloses capturées par heure de travail effectif :

$$\text{CPUE} = \frac{\text{Nb. aloses pêchées}}{\text{Nb. heures de pêche}}$$

Tableau 6 : Nombre de pêcheries pratiquant le filet barrage sur la Loire dans les zones amont et aval de la confluence avec la Vienne

ANNEE	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Aval	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Amont	2	1	2	3	1	4	3	4	4	4	3	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1

2.2. Variables liées aux activités des pêcheries

Afin d'étudier l'activité des pêcheries en liens avec les captures des géniteurs d'aloses différentes variables ont été utilisées. Ces variables sont notées sur la période du 1^{er} mars au 15 juin de chaque année :

- Le nombre total de jours de pêche,
- Le nombre de jours sans pêche hors dimanche. Sur la période considérée (1/03 au 15/06), généralement, 15 dimanches (parfois 16) sont notés. Les dimanches étant un jour d'interdiction de pêche, ils ont été ôtés de l'analyse.
- Le nombre de jours de pêche sans captures,
- Le nombre de jours de pêche avec captures,
- La date de début de pêche (N° du jour),
- La date de début de capture (N° du jour),
- La date de fin de capture (N° du jour),
- La date de fin de pêche (N° du jour),
- La moyenne des CPUE quotidiennes,
- Le numéro du jour où 5% des CPUE sont atteints,
- Le numéro du jour où 50% des CPUE sont atteints,
- Le numéro du jour où 95% des CPUE sont atteints.

Ces différentes variables sont utilisés pour identifier les périodes de captures, donc de présence des aloses, quantifier les activités des pêcheries, l'effort de pêche et les captures. La liaison (test de Spearman) de ces différentes variables en fonction du temps est analysée. Lorsqu'une corrélation existe, l'évolution temporelle des diverses variables est évaluée à partir des tendances linéaires observées sur la période, 1984-2010. La significativité des régressions linéaires est vérifiée avec une analyse de variance suivie d'un test de normalité des résidus. Des corrélations de Spearman entre les variables permettent d'identifier les variables redondantes, c'est-à-dire celles dont le coefficient de corrélation est ≥ 0.99 .

2.3. Indices d'abondance

Calcul et choix d'un indice d'abondance des captures

Quatre indices d'abondance des captures, calculés pour les années 1984 à 2010, ont été testés afin de déterminer celui qui sera utilisé pour calculer l'indice d'abondance des cohortes :

- La moyenne arithmétique des CPUE journalières pour chaque année et chaque zone, IACapt1,
- La moyenne arithmétique des $\ln(\text{CPUE}+1)$ pour chaque année et chaque zone. La transformation logarithmique a pour fonction de réduire l'hétéroscédasticité des données. L'ajout de 1 à la CPUE permet d'intégrer les jours de captures nulles qui sont aussi informatives que celles avec des captures non nulles, IACapt2.
- La méthode delta log normale permet de produire un indice d'abondance à partir de deux estimations distinctes, la moyenne arithmétique des $\ln(\text{CPUE}+1)$ et la proportion de captures positives. Deux indices, s'appuyant sur ce principe ont été élaborés (Figure 33).

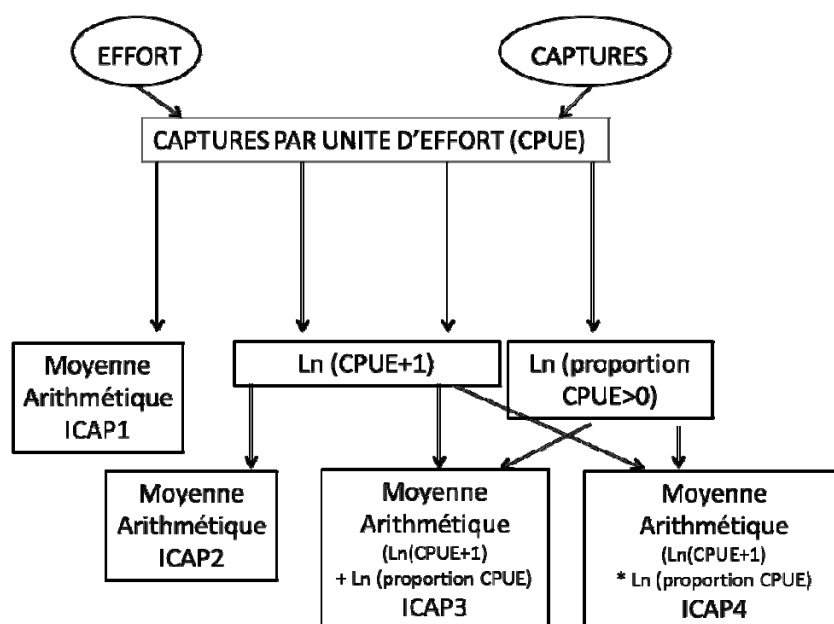


Figure 33 : Les différents estimateurs de l'abondance des captures de grandes aloses en Loire

La sélection de l'indice qui servira à la construction de l'indice d'abondance des cohortes est faite sur sa pertinence (absence de valeurs négatives), une capacité à souligner les variations d'abondance et une facilité d'exécution.

Calcul et choix d'un indice d'abondance des cohortes

L'indice d'abondance des cohortes (IA coh), calculé pour les années de naissance de 1980 à 2004, découle de l'indice de capture des adultes reproducteurs âgés de 4, 5 et 6 ans, les classes 3 ans et 7 ans comptant, respectivement, pour 2.8% et 1.2%. Deux postulats sont posés, la proportion de survie d'une classe d'âge, pour chaque sexe, est constante d'une cohorte à l'autre et la proportion d'individus matures pour un âge donné, pour chaque sexe, est également constante d'une cohorte à l'autre. Ceci est envisageable si l'environnement marin possède les mêmes influences sur la période analysée.

Différentes méthodes de calcul de l'indice ont été testées :

- **IA coh brut** : somme des proportions de chaque classe d'âge (4 à 6 ans) multiplié par l'indice d'abondance de capture correspondant.

$$IA\ coh\ brut\ x = \%de\ 4ans\ x+4 * IA\ capt\ x+4 + \%de\ 5ans\ x+5 * IA\ capt\ x+5 + \%de\ 6ans\ x+6 * IA\ capt\ x+6,$$
 avec « x » l'année de naissance.

La contribution de chaque classe d'âge à l'abondance des cohortes prend en compte le rapport des sexes.

L'absence de pêche certaines années (

Tableau 6) affecte donc la valeur de l'indice d'abondance de certaines cohortes, 1994 à 2000 pour la Loire en aval du bec de Vienne et 2002 à 2004 pour la Loire à l'amont du bec de Vienne. Les valeurs obtenues sont donc des minima. Afin de pallier ce manque de donnée, deux options ont été testées.

- **IA coh Option 1** : les trois IA capture manquants sur la zone de la Loire en aval du bec de Vienne ont été remplacés par ceux de la zone amont et inversement pour le seul IA capture manquant de la zone amont.

Cette méthode a le désavantage de sous ou surestimer l'IA capture et donc de sous ou surestimer les IA cohorte qui lui sont liés.

- **IA coh Option 2** : pour chaque IA cohorte impactés par les années sans pêche, l'ensemble des combinaisons possibles avec les valeurs d'IA capture amont ou aval sur 3 ans ont été calculés. La moyenne de ces six IA cohorte est retenue.

La sélection de l'indice qui sera utilisée pour la recherche de liens entre abondance et variables environnementales est faite sur sa capacité à souligner les variations d'abondance.

3. Résultats

3.1. Captures et efforts

Les suivis des pêcheries au filet barrage du secteur d'étude, de 1984 à 2010, soit 27 ans, représentent un total de 2284 jours de pêche pour 30604 heures et 30956 poissons.

Le nombre de pêcheries en activité a décru au cours de la période (aval, $F=13.059$, $p=0.0013$; amont, $F=11.87$, $p=0.002$), il n'en reste plus que deux, de part et d'autre de la confluence avec la Vienne depuis 1999 (Figure 34). Certaines années, aucune activité de pêche n'a été pratiquée (

Tableau 6), 2000, 2001 et 2004 dans la zone aval et 2008 dans la zone amont.

Le nombre de jours de pêche, le nombre de jours sans pêche, le nombre de jours de pêche sans captures et le nombre de poissons capturés sont fortement variables d'une année à l'autre et d'un groupe de pêcherie à l'autre (Figure 34, Tableau 7). Sur la période allant du 1^{er} mars au 15 juin, les pêcheries de la zone aval réalisent un nombre de jours de pêche moindre, pour un nombre de grandes aloses capturées très variable. Les pêcheries de la zone amont pratiquent plus longtemps sur une saison, possèdent des nombre de jours sans captures moindre. Le nombre de grandes aloses capturées y est encore plus variable. Cette forte variation est en grande partie imputable au très fort nombre de captures de l'année 1987.

Tableau 7 : Moyennes et écart-types des captures de grande Alose en Loire et efforts dans les deux zones de pêche pour la période du 1 mars au 15 juin et probabilité associée aux tests de comparaison (Mann & Whitney)

	Aval	Amont	p
Nombre de jours de pêche	38±19	53±19	0.000
Nombre de jours sans pêche	54±19	57±22	0.09
Nombre de jours de pêche sans capture	13±13	10±7	0.003
Nombre de poissons	546 ± 644	687±920	0.224

Il existe des liens forts entre nombre de pêcheries et nombre de jours de pêche sur les deux zones (corrélation de Spearman, aval et amont, $p=0.000$). La zone aval se différencie de la zone amont par une absence de corrélation entre captures et efforts que ce soit le nombre de pêcheries ou le nombre de jours de pêche (corrélation de Spearman, respectivement, $p=0.334$ et $p=0.068$) et par une absence de tendance pour les captures.

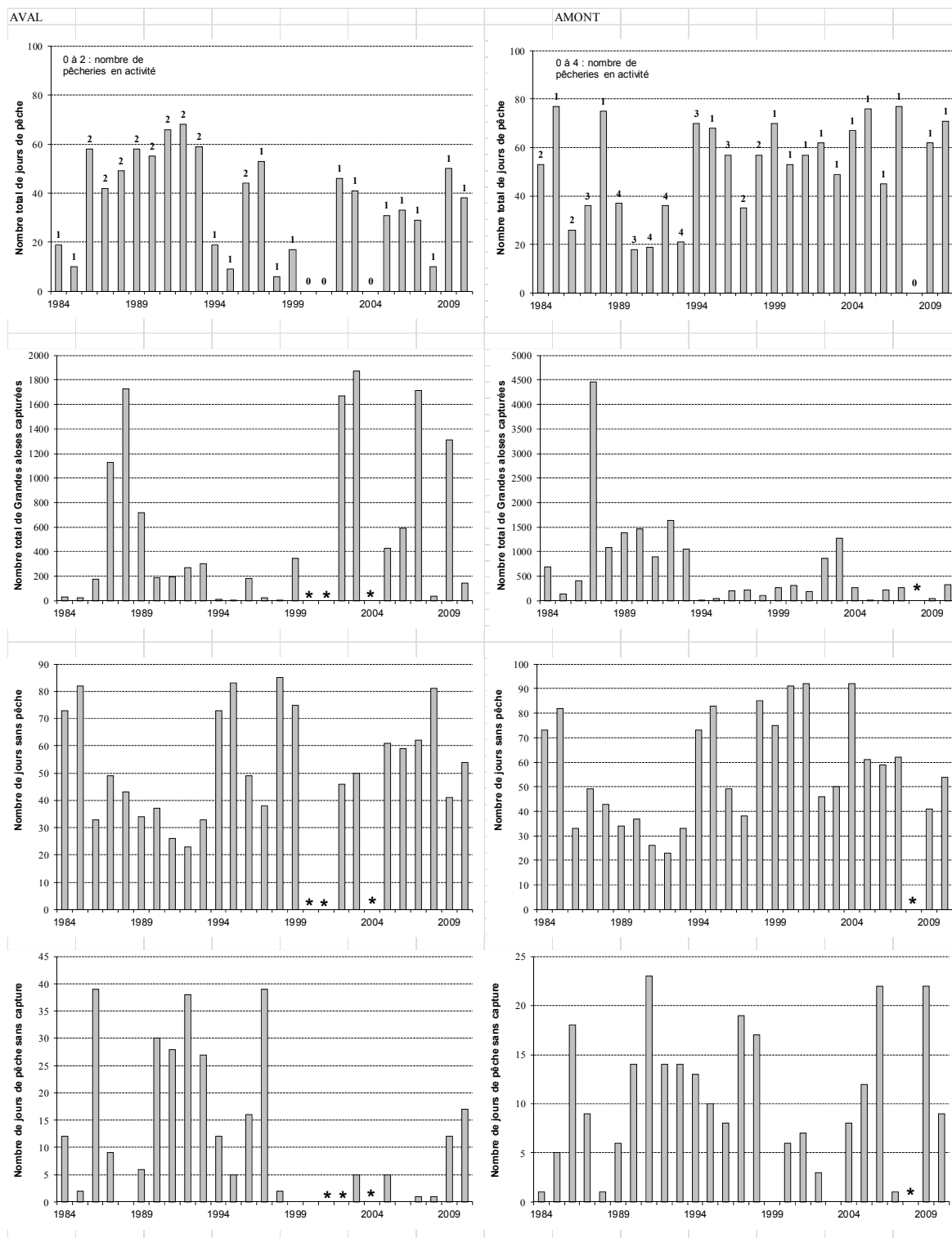


Figure 34 : Nombre total de pêcheries, de jours de pêche, de jours sans pêche, de jours sans captures et des captures de grandes aloses en Loire de 1984 à 2010, à l'aval et à l'amont du bec de Vienne. Les * indiquent les années où aucune activité de pêche n'a été pratiquée

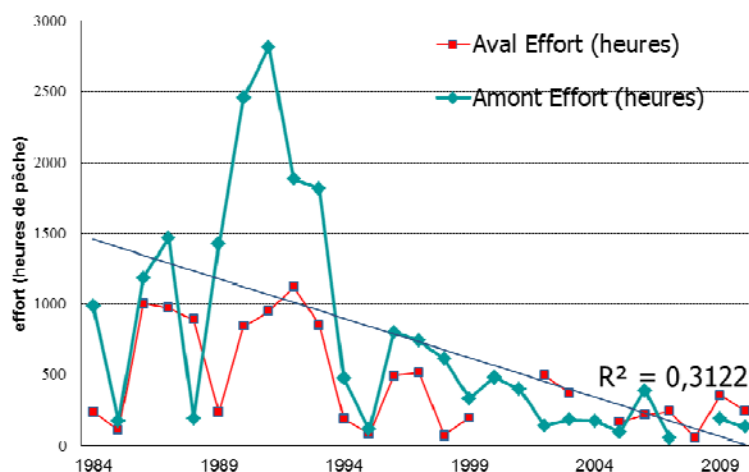


Figure 35 : Evolution du nombre d'heures de pêche de 1984 à 2010 sur les stations de la Loire en aval et en amont du bec de Vienne (ligne grise : régression linéaire significative pour la station amont, $F=10.723$, $p=0.004$)

Sur la zone amont, les efforts de pêche et les captures diminuent au fil du temps (Figure 34, Figure 35) et un lien est observé entre ces variables (nombre de pêcheries - nombre de poissons, $p=0.029$; nombre de jours de pêche - nombre de poissons, $p=0.003$).

3.2. Activités des pêcheries et CPUE

La durée moyenne de la saison pêche ne diffère pas entre les deux zones (Figure 36, Tableau 8). Le nombre de jours entre la première et la dernière capture est plus grand en aval qu'en amont mais non significatif. Les dates d'activité de pêche à l'alose varient en fonction de la position des pêcheries sur le cours du fleuve (Figure 36). La ou les pêcherie(s) en aval débutent leur activité de pêche et capturent des aloses plus précocement dans l'année, le 29 ou 30 mars, pour le 4 ou 5 avril pour la ou les pêcherie(s) amont.

Les CPUE moyennes présentent des variabilités intra et interannuelles extrêmement fortes (Tableau 8, Figure 37).

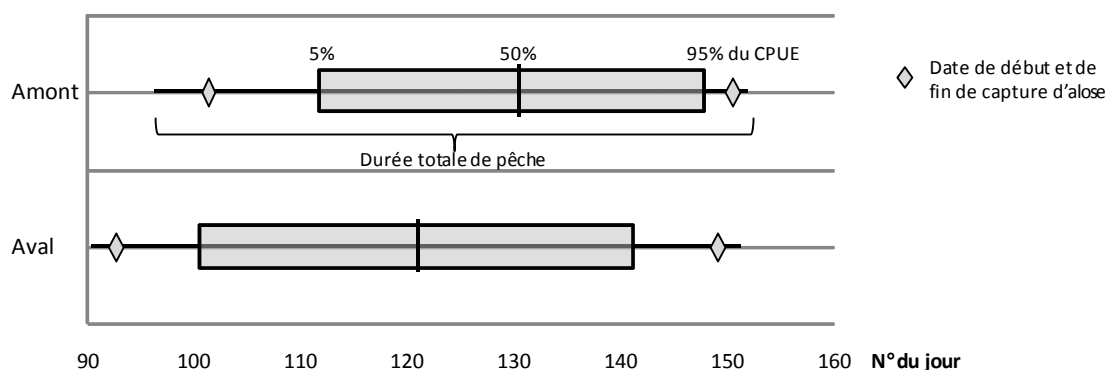


Figure 36 : Dates moyennes relatives aux activités de pêche de la Grande alose entre 1984 et 2010 sur les pêcheries en Loire , en aval et en amont du bec de Vienne

Tableau 8 : Caractéristiques des saisons de pêche en Loire, de captures de grande Alose, des CPUE dans les deux zones de pêche et probabilités associées aux tests de comparaison (Mann & Whitney)

	Aval	Amont	p
Durée de la saison de pêche	60±24	57±22	0,293
Durée de la période de capture	56±24	50±23	0,188
Numero du jour 5% du CPUE	100±13	112±13	0,002
Numéro du jour 50% du CPUE	121±12	130±10	0,001
Moyenne des CPUE	1,233±1,676	1,593±2,435	0,191

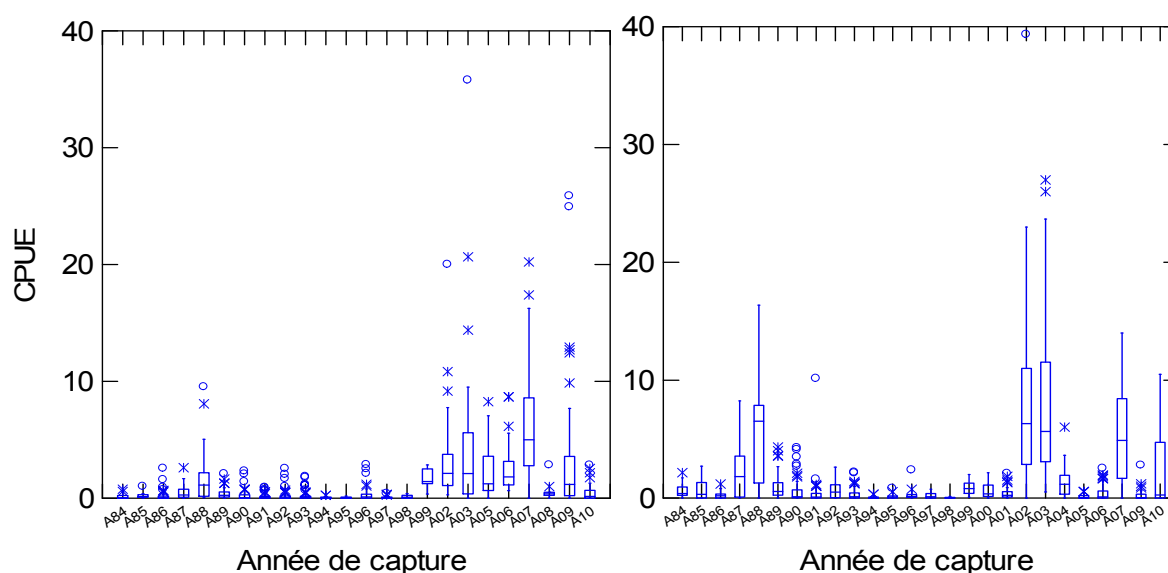


Figure 37 : CPUE de grande Alose en Loire entre 1984 et 2010 sur les pêcheries aval et amont du bec de Vienne

Pour **la station aval**, une tendance à l'augmentation des moyennes des CPUE au cours du temps est notée (Figure 38).

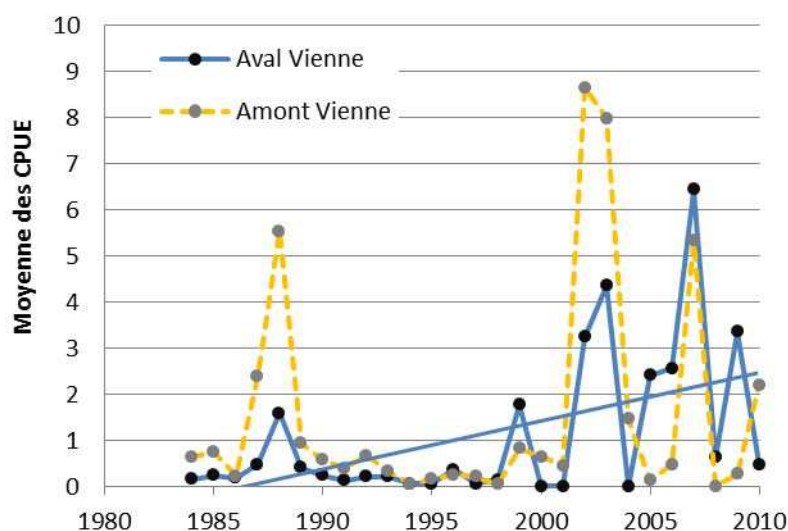


Figure 38 : Moyenne annuelle des CPUE d'alose de 1984 à 2010 en Loire sur les stations aval et amont du bec de Vienne (ligne bleue : régression linéaire significative pour la station aval, $F=12.133$, $p=0.002$)

3.3. Indices d'abondance

3.3.1. Indice d'abondance des captures

Quatre méthodes ont été utilisées pour fournir un indice d'abondance des grandes aloses en Loire au niveau des deux zones amont et aval de la confluence avec la Vienne (Figure 39). La moyenne des CPUE fournit les valeurs les plus élevées et des écart-types très importants. La transformation logarithmique réduit mathématiquement les amplitudes des écart-types et ne diffère pas de l'indice intégrant le % des CPUE. Enfin, l'indice basé sur le produit fournit de très faibles valeurs et très peu de variations interannuelles. La valeur retenue de l'indice d'abondance des cohortes de grandes aloses est le $\ln(\text{CPUE}+1)$.

Quelle que soit la zone, deux phases apparaissent dans la période 1984-2010 (Figure 40). De 1984 à 1998, une phase de faible abondance est dominée par les années 1987 à 1989, où les intensités sont plus importantes à l'amont ($I_{\text{cap}} = 0.871$) (test de Mann et Whitney, $p=0.02$, $I_{\text{cap}} \text{ aval} = 0.296$). De 1999 à 2010, des fluctuations de grandes amplitudes sont observées à l'amont tandis qu'à l'aval s'amorce une remontée des CPUE de 1999 à 2007. Pour les deux zones, les abondances sont plus élevées pendant la seconde phase (test de Mann et Whitney, amont $p=0.04$, aval $p=0.001$) et ne diffèrent pas entre elles (aval $I_{\text{cap}} = 2.8$, amont $I_{\text{cap}} = 2.6$).

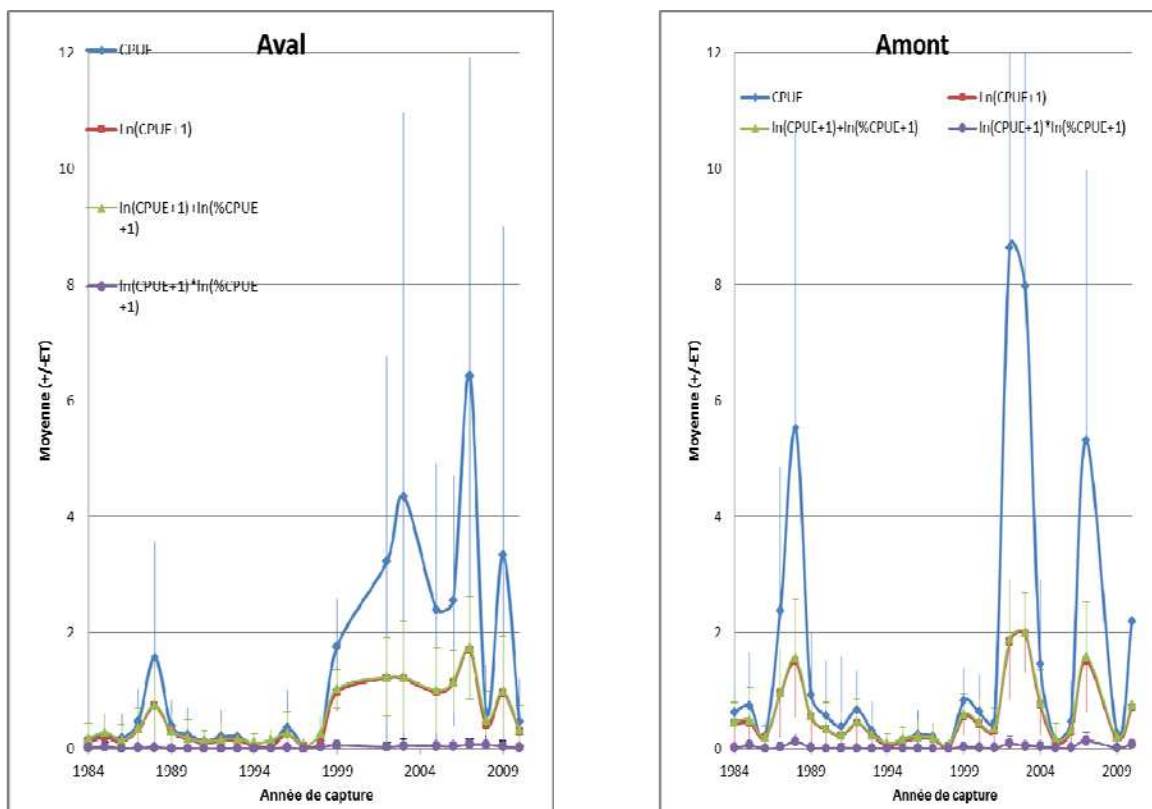


Figure 39 : Comparaison des différents indices d'abondances des captures de grande Alose en Loire de 1984 à 2010, à l'aval de la confluence avec la Vienne (aval) et à l'amont de la confluence avec la Vienne (amont). Remarque : les années 2000, 2001 et 2004 manquent pour l'aval et l'année 2008 manque pour l'amont

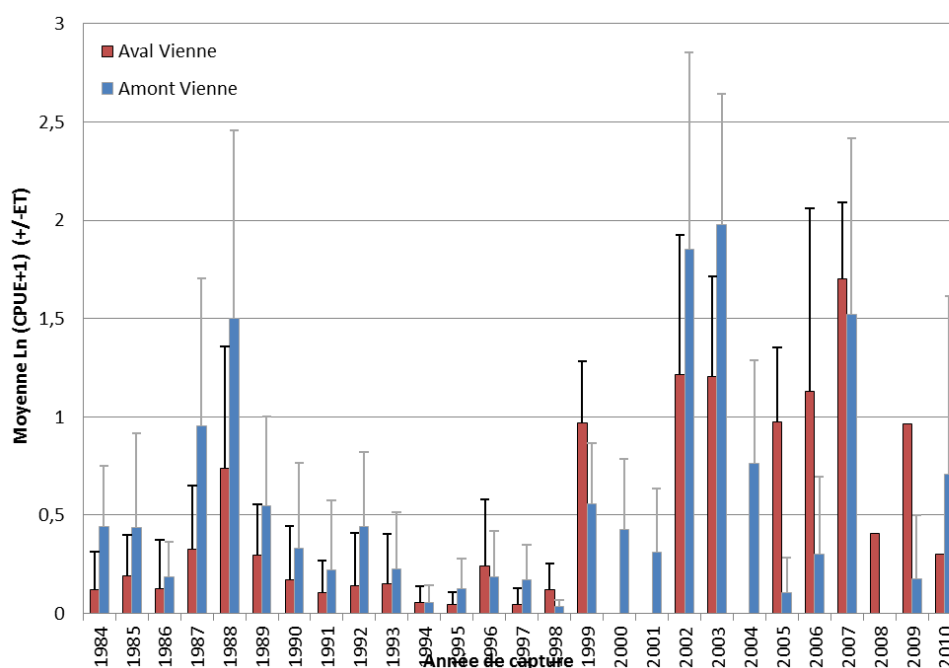


Figure 40 : Ln (CPUE+1) de grande Alose en Loire de 1984 à 2010 sur les stations aval et amont de la confluence avec la Vienne

3.3.2. Indice d'abondance des Cohortes

Pour les deux zone d'étude, les trois indices sont identiques lorsque les trois valeurs d'indice d'abondance des captures de grande Alose nécessaires au calcul de l'IA cohorte sont disponibles (Figure 41 et Figure 42).

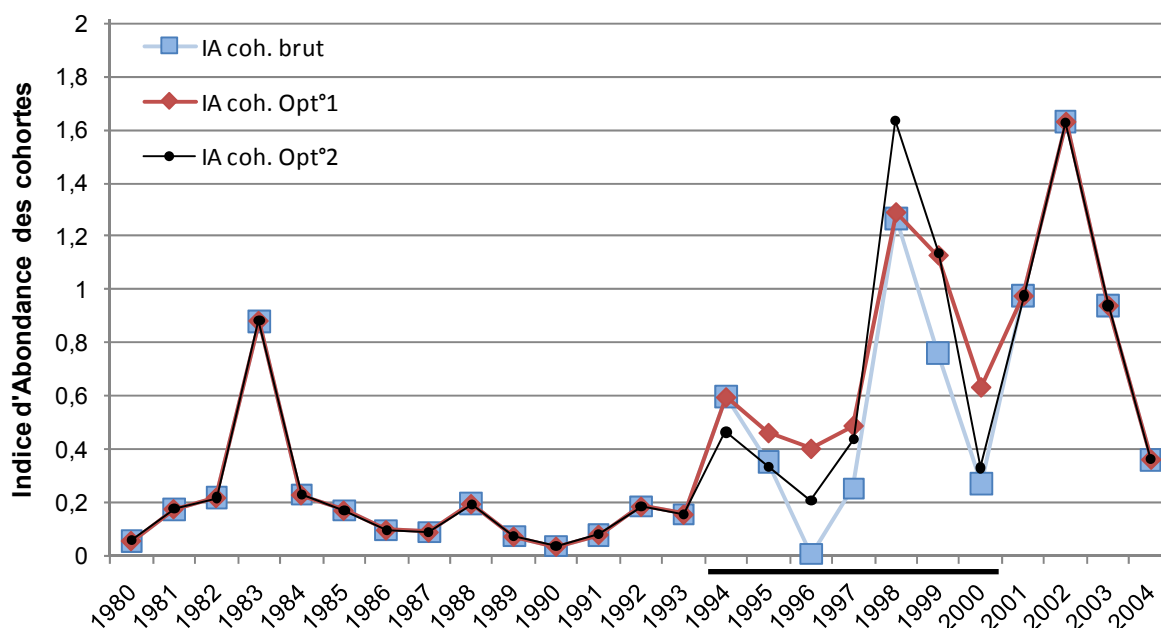


Figure 41 : Indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire sur la zone à l'aval du bec de Vienne pour les années de naissance de 1980 à 2004 (_ : années avec donnée(s) manquante(s))

Pour la zone aval, les trois années de capture manquantes, 2000, 2001 et 2004 impactent les cohortes de 1994 jusqu'à 2000, les indices d'abondance des cohortes différent. IA cohorte brut est souvent le plus faible car calculé seulement avec une ou deux valeurs issues des années de capture. L'IA cohorte option 1 semble réduire les amplitudes des variations ce que ne fait pas l'IA cohorte option 2.

Pour la zone amont, une seule année de capture manque, 2008. L'indice d'abondance des cohortes 2002 à 2004 est affecté. L'IA cohorte option 1 réduit l'amplitude des variations. A nouveau, l'IA cohorte Option 2 semble le plus adapté, il a donc été retenu pour l'ensemble des analyses portant sur les liens entre indice d'abondance et paramètres environnementaux.

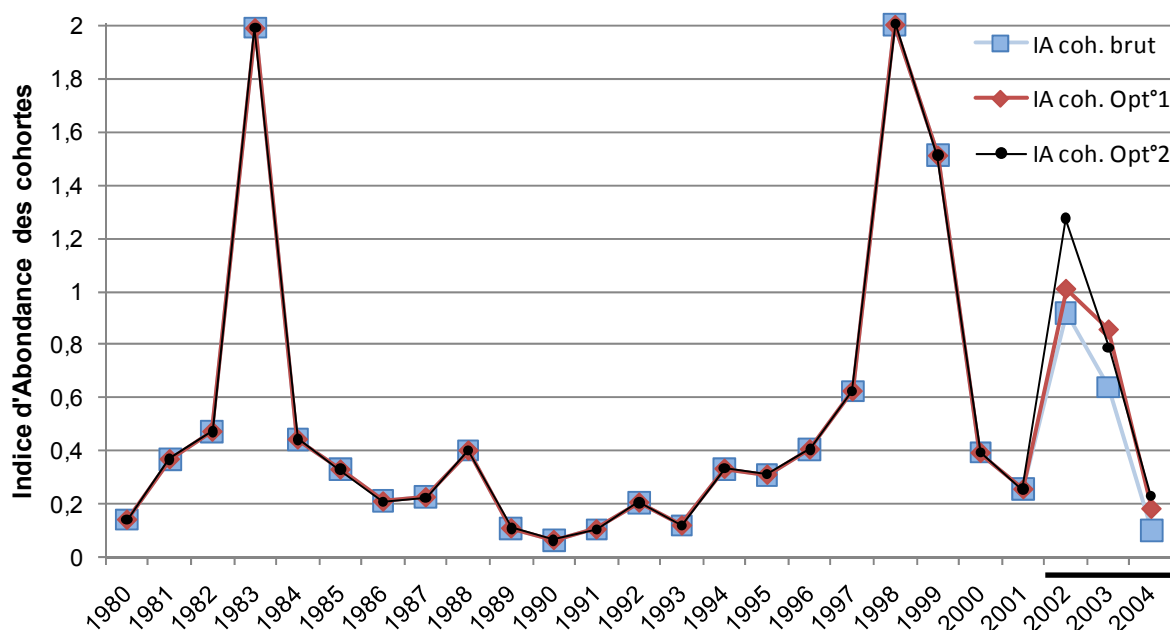


Figure 42 : Indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire sur la zone amont du bec de Vienne pour les années de naissance de 1980 à 2004 (_ : années avec donnée(s) manquante(s))

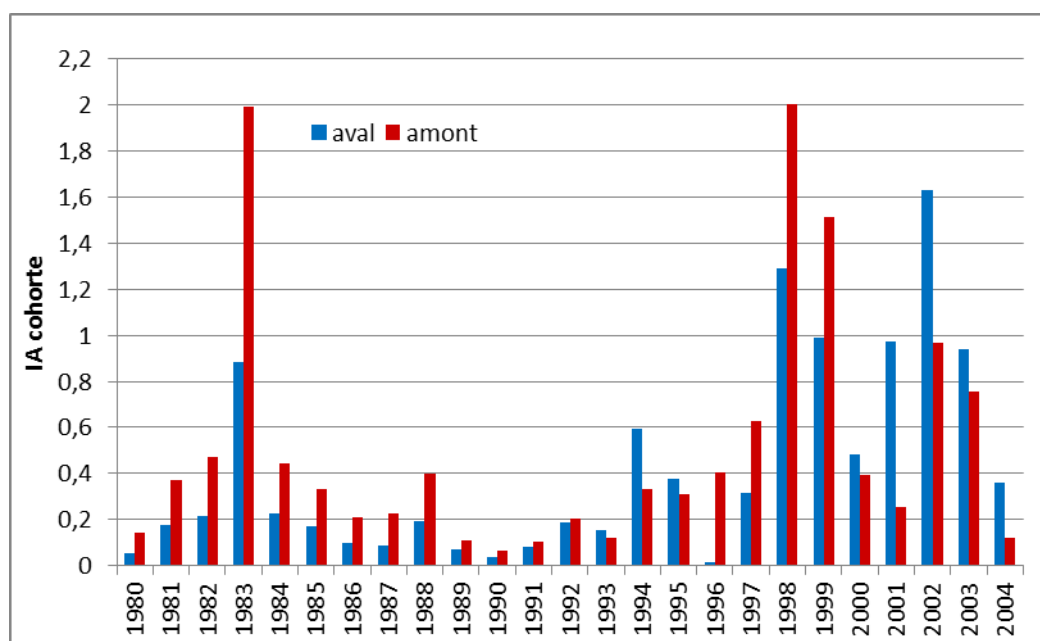


Figure 43 : Indices d'abondance des cohortes (1980-2004) de grandes aloses en Loire, à l'aval et à l'amont de la confluence avec la Vienne

L'analyse des indices d'abondance des cohortes permet de dissocier deux phases. Les indices d'abondance des cohortes 1980 à 1997 montrent de faibles valeurs dominées par la cohorte 1983. L'indice des pêcheries amont est supérieur à celui des pêcheries aval

(Mann et Whitney, $p= 0.02$, Figure 43, Tableau 9). Les indices des cohortes 1998 et suivantes sont plus forts que ceux des années précédentes (aval $p=0.0001$, amont $p=0.022$) mais ne diffèrent pas entre eux ($p=0.24$). Les cohortes 1998, 1999 et 2002 sont les plus abondantes, celle de 1998 étant de même intensité que celle de 1983.

L'indice d'abondance moyen des cohortes, tous sites confondus a été multiplié par trois d'une période à l'autre. Si l'on considère uniquement les pêcheries en aval du Bec de Vienne, concernée par les flux de poissons s'engageant sur les axes Vienne et Loire l'indice est multiplié par 4.3.

Tableau 9 : Valeurs moyennes des indices d'abondance des cohortes d'aloses avant et après 1998, en Loire à l'aval et à l'amont de la confluence avec la Vienne

	Avant 1998	Après 1998
Aval	0,22 (a)	0,95 (c)
Amont	0,38 (b)	0,85 (c)

De 1984 à 2010, le nombre de pêcheries pratiquant le filet barrage en Loire a diminué pour n'être plus que deux en 1999, une à l'amont, une à l'aval du bec de Vienne. Sur la zone aval, il y a indépendance entre captures et efforts sans évolution temporelle de ces paramètres alors qu'à l'amont, ils diminuent significativement.

La période de capture des aloses est plus précoce en aval de la Vienne mais ne présente ni avance ni retard au cours de la période d'étude.

Les CPUE moyennes augmentent significativement à l'aval de 1984 à 2010.

L'indice d'abondance des captures, exprimé en $\ln(\text{CPUE}+1)$, diffère entre l'aval et l'amont. Il est faible avec un maximum en 1988 durant la période 1984-1998. Après 1998, il augmente avec de fortes fluctuations.

Les cohortes 1983 et 1998 dominent par leur abondance. L'abondance des cohortes nées après 1998 est trois fois plus forte que celle des cohortes nées auparavant.

Paramètres environnementaux

1. Introduction

Les poissons sont des organismes ectothermes, leurs activités comportementales et métaboliques sont très fortement régies par la température. En zone tempérée, la saisonnalité de la température assure la succession des processus physiologiques et biologiques nécessaires au recrutement annuel, du regroupement sur les sites de reproduction jusqu'à la survie des juvéniles, en passant par la survie et le développement larvaire. La saisonnalité de la température, même si elle est prévisible, présente des variations inter-annuelles. Dans les cours d'eau, les variations hydrologiques, en interaction avec la température, sont susceptibles de fortement structurer le succès de la reproduction (Bischoff & Wolter, 2001 ; Cattaneo *et al*, 2001 ; Daufresne *et al*, 2003). Dans le cas d'espèces holobiotiques¹ d'eau douce, ceci se traduit par la production de classes d'âge dominantes, souvent synchrones chez plusieurs espèces (Mann, 1991). Chez les espèces migratrices amphihalines, les variations hydrologiques et thermiques conditionnent le succès reproducteur mais aussi la circulation des géniteurs au sein du réseau hydrographique et donc l'accès aux zones de frayères, ce qui constitue une contrainte supplémentaire. Les facteurs hydrologiques et thermiques affectent le départ de la mer vers les sites de reproduction et le patron de migration des poissons tels que le saumon (Jonsson *et al*, 1990 ; Orell *et al*, 2007), la truite (Lobon Cervia, 2005), les aloses (Prouzet *et al*, 1994 ; Thiel *et al*, 1996) et inversement pour l'anguille (Vollestad *et al*, 1994 ; Acou *et al*, 2008).

Chez la grande alose, la dynamique migratoire des géniteurs peut se concevoir comme un flux de poissons, structuré dans la partie estuarienne et dans la partie basse du bassin versant par la marée ou le couple débit/marée (Menesson-Boisneau *et al*, 2000b). Au cours de la remontée, l'influence de la marée décroît au profit de la

¹ Holobiotiques d'eau douce : cycle de vie qui se déroule en permanence en eau douce

température et du débit, qui peuvent agir en synergie ou en antagonisme, et des facteurs internes dont la part augmente avec l'avancement vers l'amont (Figure 44).

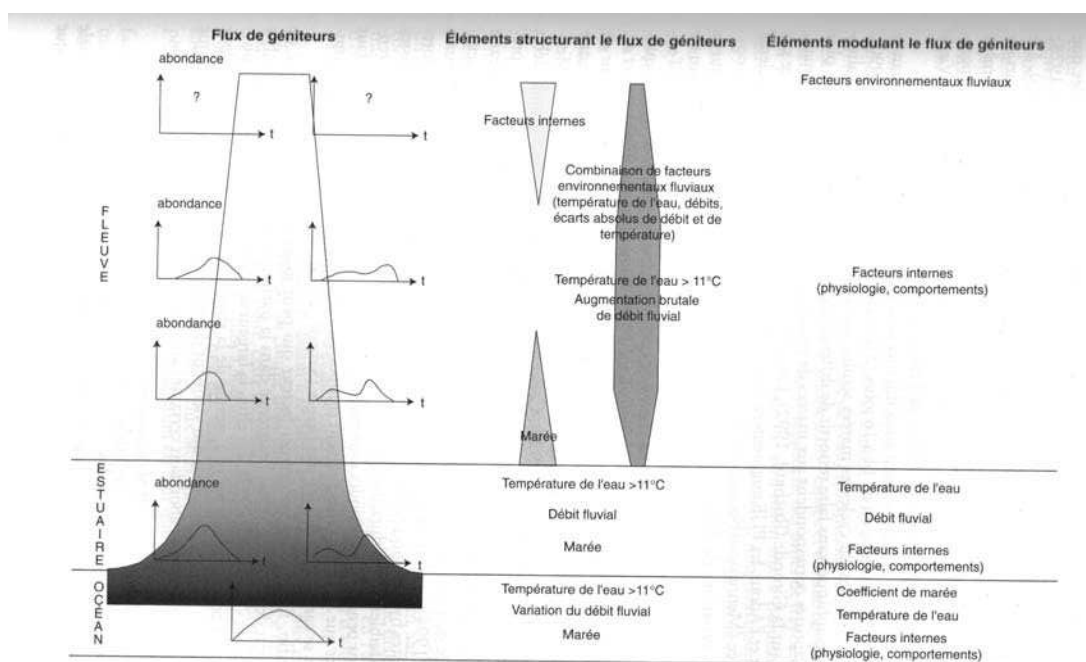


Figure 44 : Schéma de la dynamique migratoire de la grande alose de l'océan aux zones de frayères (Source : Mennesson-Boisneau *et al*, 2000b)

La phase de reproduction est essentiellement soumise à des conditions de température, le seuil de 18°C, apparaissant comme une valeur minimale pour déclencher la reproduction qui s'étale de fin mai à fin juillet puisque les aloses disposent d'une maturation fractionnée des ovaires qui leur permet un ajustement spatio temporel de leur reproduction en fonction des conditions environnementales de température et de débit (Cassou-Leins *et al*, 2000). L'incubation est très rapide puisque l'éclosion a lieu au bout de 88 degrés-jours (°J). Le temps de résidence en eau douce des larves et des alevins est également court, entre 58 et 123 jours pour une valeur médiane de 88 jours (Lochet *et al*, 2008).

Des travaux antérieurs ayant montré que la migration de montaison et la reproduction sont liées à la température et au débit, un travail important de cette étude a été de produire des variables liées à ces deux paramètres environnementaux, pertinentes du point de vue de ces deux fonctions. L'évolution interannuelle et la redondance de ces variables sont analysées.

2. Matériel et méthodes

2.1. Sources des données

Les exigences relatives aux données ont été de disposer de valeurs journalières, à proximité des pêcheries sur la période d'étude, de 1980 à 2010. Deux zones sont distinguées, la zone aval qui correspond à la Loire à l'aval de sa confluence avec la Vienne, axe majeur de migration pour les aloses (source : Cogepomi et Logrami) et la zone amont qui correspond à la portion de Loire entre la confluence avec la Vienne (exclue) et 30km à l'amont d'Orléans et qui contient les aloses allant se reproduire sur les axes Loire et Allier, le Cher n'étant pas considéré comme un axe disposant d'une importante population d'aloses.

Les variables thermiques sont issues des enregistrements quotidiens de température à l'amont du CPNE Avoine- Chinon (source EDF), site localisé à mi-chemin entre les deux secteurs de pêcheries et pour lequel les données sont disponibles sur l'ensemble de la période (Figure 45).

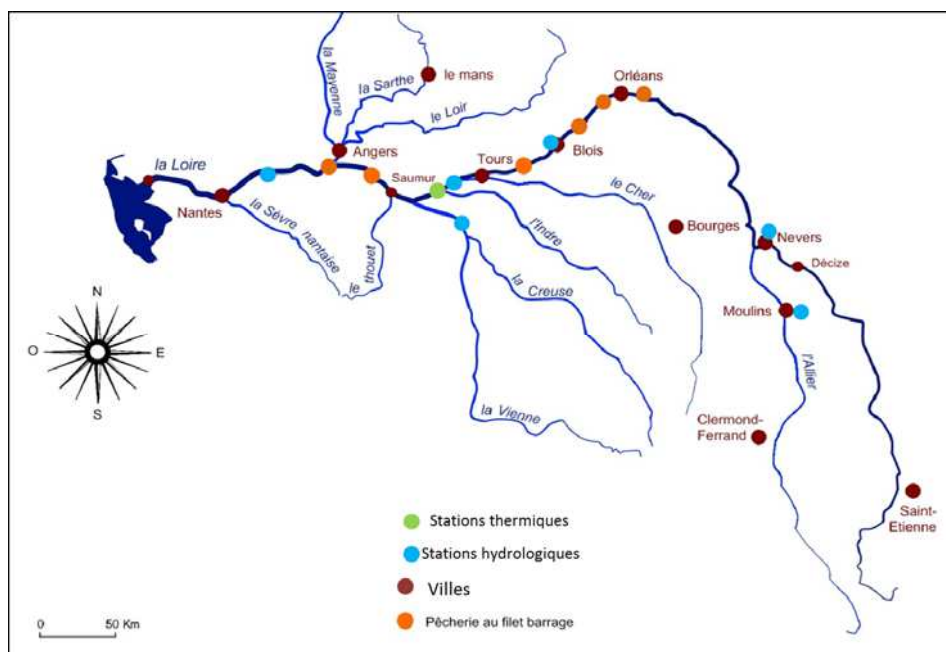


Figure 45 : Localisation des sites de mesures de la température (Loire moyenne) et de débit (Loire, Allier et Vienne)

Les données relatives aux débits sont issues des enregistrements quotidiens de la Banque Hydro pour les stations de Montjean, Blois et Nevers pour l'axe Loire, Moulins pour l'Allier et Nouâtre pour la Vienne (Figure 45).

Les bases de données thermiques et hydrologiques sont construites sur la base des années bissextiles. Dans les calculs des variables, le nombre de jour du mois de février est intégré selon le type d'année (bissextile ou non).

2.2. Les variables environnementales

Les variables thermiques et hydrologiques sont calculées à partir des données journalières, en distinguant deux périodes. La période 1 (PER1), du 15 février au 15 juin correspond, globalement, à la période de montaison de géniteurs et la période 2 (PER2), du 16 juin au 16 juillet, correspond aux phases de ponte, de survie des larves et de croissance des juvéniles.

Les variables thermiques

Les variables thermiques ont été choisies en tenant compte des seuils de température reconnus pour cette espèce et de sa phénologie (Menesson-Boisneau et al., 2000b ; Boisneau et al. 2008)(Tableau 10) :

- La « thermicité » i.e. la température moyenne journalière de l'année i rapportée à la température moyenne journalière de l'ensemble des années (1980 à 2010). Ceci permet d'évaluer la variabilité interannuelle et d'identifier des séquences interannuelles chaudes ou froides.
- La température moyenne journalière et le nombre de degrés-jours ($^{\circ}\text{J}$). De faibles valeurs sont supposées ralentir le déplacement des géniteurs et les processus liés à la reproduction. A l'inverse, les températures estivales élevées sont supposées améliorer la croissance et la survie des larves.
- Le nombre de jour et le numéro du jour quand le seuil de 10°C est dépassé, ce seuil est retenu comme seuil d'activité des poissons. Un printemps tardif, se traduisant par un petit nombre de jours où la température est supérieure à 10°C est supposé retarder la montée des géniteurs.
- La durée et le nombre de degrés-jours ($^{\circ}\text{J}$) de la période de montaison des géniteurs. Celle-ci est bornée par les seuils 10°C et 18°C , pour la période 1. Si le seuil 18°C n'est pas atteint dans la période 1, le jour de la période 2 où il est dépassé sera considéré. Pour la période 2, les bornes sont le 16 juin et le jour où le seuil 18°C est dépassé. Une forte valeur est supposée accélérer les processus de migration.

- Le repérage temporel de la période de reproduction se fait à partir du numéro du jour où la température de l'eau est égale ou supérieure à 18°C.
- La durée et le nombre de °J pendant les phases de ponte et de croissance des juvéniles. Celle-ci est bornée par les seuils 18°C et la fin de la période 2. Une forte valeur est supposée accélérer ces processus.

Pour le numéro du jour où la température dépasse un seuil (10°C ou 18°C), si des fluctuations sont observées sur plusieurs jours autour des valeurs seuils, la valeur médiane de la période est alors retenue.

Tableau 10 : Synthèse des variables thermiques calculées et périodes auxquelles elles s'appliquent

Variable		Période 1	Période 2
Température moyenne journalière	: Tmoy	X	X
« Thermicité »		X	X
Nombre de degrés-jours	: NB °J	X	X
Nombre de jour où T>10 °C	: NB jour T>10°C	X	
Numéro du jour T>10°C	: N° jour T>10°C	X	
Nombre de jour où T>18 °C	: NB jour T>18°C	X	X
Numéro du jour T>18 °C	: N° jour T>18°C	X	X
Nombre de degrés-jours T>18°C	: NB °J T>18°C	X	X
Nombre de jour où 10<T<18 °C	: NB jour 10<T<18°C	X	X
Nombre de degrés-jours où 10<T<18 °C	: NB °J 10<T<18°C	X	X

Les variables hydrologiques

Le débit est une variable qui agit directement sur l'activité migratoire en tant que facteur stimulant ou bloquant la migration. Pour chaque station hydrologique, sur la base des valeurs quotidiennes, diverses variables hydrologiques sont calculées pour chaque année :

- Le débit moyen et son coefficient de variation, pour chacune des deux périodes.
- Le rapport des débits moyens journaliers de l'année *i* sur le débit moyen journalier de l'ensemble des années, des deux périodes : « hydraulité ». Ceci permet d'évaluer la variabilité interannuelle et d'identifier des séquences humides ou sèches.

- Le débit moyen pendant la période de migration des adultes. Celui-ci est supposé être favorable pour des valeurs supérieures à la moyenne. C'est donc le débit moyen quand la température de l'eau est comprise entre 10°C et 18 °C avant le 16 juin pour la période 1 et le débit moyen quand la température de l'eau est inférieure à 18 °C pour la période 2.
- La moyenne des variations quotidiennes de débit (débit du jour- débit de la veille) pendant la période de migration des adultes i.e. du 15/02 au 15/06. De très fortes variations de débit sont supposés freiner la migration de la première période et perturber la reproduction et l'établissement des juvéniles.
- Les valeurs des centiles 90, 95 et 99 (C90, C95, C99), les dates des jours où ces seuils ont été dépassés, pendant la première période. Les axes migratoires empruntés par les aloses sont ou ont été équipés en obstacles plus ou moins franchissables. De très fortes valeurs de débit, de faible occurrence, sont susceptibles de permettre le franchissement des obstacles et permettre l'accès à des zones de frayères de meilleure qualité que celles habituellement fréquentées. Ceci est supposé augmenter le succès reproducteur des poissons.

Tableau 11 : Synthèse des variables hydrologiques calculées et périodes auxquelles elles s'appliquent

Variable	Période 1	Période 2
Débit moyen et son coefficient de variation	X	X
Débit moyen quand 10°C<T eau<18°C	X	
Variations quotidiennes de débit quand 10°C<T eau<18°C	X	
Centiles, 90, 95 et 99	X	
Dates des centiles 90, 95,99	X	
Rapport des débits moyens journaliers de l'année i sur le débit moyen journalier de l'ensemble des années	X	X
Débit moyen quand Teau<18°C		X

2.3. Traitement des données

Dans un premier temps des corrélations de Spearman entre les variables permettent d'identifier les variables redondantes, c'est-à-dire celles dont le coefficient de corrélation est ≥ 0.99 . Ensuite la corrélation (test de Spearman) de ces différentes variables en fonction du temps est analysée. Lorsqu'une corrélation existe, l'évolution temporelle des diverses variables thermiques et hydrologiques est évaluée à partir des tendances linéaires observées sur l'ensemble de la période, 1980-2010. La significativité des régressions linéaires est vérifiée avec une analyse de variance suivi d'un test de normalité des résidus.

3. Résultats

3.1. Variables thermiques

L'analyse des écarts à la moyenne ou thermicité montre des distributions différentes entre les deux périodes (Figure 46). Pour la période 1, les années 1980 à 1988, plus froides s'opposent aux années postérieures à 1997, plus chaudes. Pour la période 2, à partir de 1998, les écarts à la moyenne sont positifs à l'exception de 3 années, tout particulièrement 2007 qui fut plus frais. Les deux séries présentent une tendance à l'augmentation (PER1, $F=29.27$, $p=0.0001$; PER2, $F=8.13$, $p=0.008$), plus forte et légèrement plus précoce sur la période 1 que sur la période 2, les pentes sont respectivement de 0,007 et 0,004.

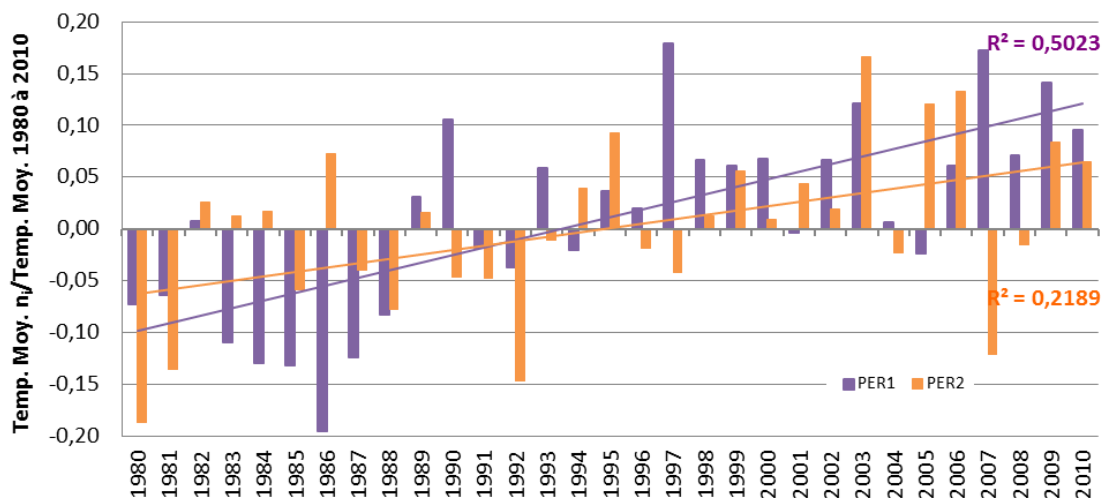


Figure 46 : Rapport entre les températures moyennes journalières annuelles et la température moyenne journalière de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2)

Période de montaison : du 1/03 au 15/06

Les variables thermiques de la période de montaison des géniteurs sont corrélées au temps sauf le nombre de jour (NB jour) et nombre de degré jour (NB °J) compris entre 10°C et 18°C (Tableau 12). L'ensemble des variables corrélées avec le temps suit une tendance plus ou moins forte à l'augmentation (pentes des droites de régression comprises entre 0,0073 et 8,23) au cours de la période 1980-2010, soit 31 ans. Les températures moyennes et la quantité de chaleur reçues par la masse d'eau augmentent, +2.86 °C pour la température et +84°J. La survenue du dépassement des seuils 10°C et 18°C est plus précoce de 17.5 jours.

Tableau 12 : Synthèse des tests de corrélation et des régressions linéaires sur les variables thermiques de la première période (1/03 au 15/06)(en gras : corrélation significative)

Variable*temps	Corrélation de Spearman		Régression linéaire			
	rs	p-val.	R ²	F	p-val.	pente
Temp moy	0,715	< 0,0001	0,502	29,268	< 0,0001	0,095
Thermicité	0,715	< 0,0001	0,502	29,268	< 0,0001	0,0073
NB °J	0,545	0,002	0,314	13,279	0,001	8,23
NB jour T>10°C	0,454	0,011	0,203	7,385	0,011	0,57
N° jour T>10°C	-0,432	0,016	0,169	5,912	0,021	0,48
NB jour T>18°C	0,549	0,002	0,37	17,022	< 0,0001	0,62
N° jour T>18°C	-0,613	0,000	0,351	15,661	0,0004	0,65
NB °J T>18°C	0,539	0,002	0,372	17,162	< 0,0001	13,01
NB jour 10°C< T<18°C	-0,099	0,596				
NB °J 10°C< T<18°C	-0,044	0,816				

Tableau 13 : Synthèse des tests de corrélation (rs) entre les variables thermiques de la première période (1/03 au 15/06) (en gras : corrélation significative)

Variables	Température moyenne	Thermicité	NB °J	NB jour T>10°C	N° jour T>10°C	NB jour T>18°C	N° jour T>18°C	NB °J T>18°C	NB jour 10°C< T<18°C	NB °J 10°C< T<18°C
Température moyenne	1									
Thermicité	1,000	1								
NB °J	0,907	0,907	1							
NB jour T>10°C	0,686	0,686	0,764	1						
N° jour T>10°C	-0,637	-0,637	-0,678	-0,927	1					
NB jour T>18°C	0,834	0,834	0,826	0,615	-0,577	1				
N° jour T>18°C	-0,697	-0,697	-0,626	-0,431	0,468	-0,790	1			
NB °J T>18°C	0,825	0,825	0,812	0,573	-0,524	0,988	-0,799	1		
NB jour 10°C< T<18°C	0,034	0,034	0,185	0,587	-0,522	-0,166	0,224	-0,196	1	
NB °J 10°C< T<18°C	0,050	0,050	0,146	0,445	-0,392	-0,275	0,300	-0,300	0,911	1

Les variables thermiques présentent des corrélations significatives entre elles, assez fortes à l'exception des deux variables le nombre de jour (NB jour $10^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$) et le nombre de °J (NB °J $10^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$) quand la température est comprise entre 10°C et 18°C qui ne sont corrélées qu'avec les deux variables le nombre de jours et le numéro du jour quand la température est supérieure à 10°C (Tableau 13). La température moyenne sur la période et la thermicité sont logiquement redondantes aussi cette variable sera retirée dans les tests avec l'abondance des poissons.

Période de reproduction : du 16/06 au 16/07

Seules trois variables sont corrélées avec le temps, la température moyenne, la thermicité et le nombre de degrés-jours sur l'ensemble de la période 2 (Tableau 14). Elles suivent une tendance à l'augmentation (pentes des droites de régression comprises entre 0,004 et 2,8) au cours de la période 1980-2010. Les températures moyennes et la quantité de chaleur reçues par la masse d'eau augmentent, $+2.76^{\circ}\text{C}$ pour la température et $+247^{\circ}\text{J}$.

Les variables thermiques présentent des corrélations significatives entre elles, assez fortes (Tableau 15). La température moyenne sur la période et la thermicité sont logiquement redondantes ainsi que le nombre de jours quand la température dépasse 18°C , le nombre de °J quand la température est comprise entre 10°C et 18°C , le nombre de jours quand la température est comprise entre 10°C et 18°C aussi ces deux dernières variables, avec la thermicité, seront retirées dans les tests avec l'abondance des poissons.

Tableau 14 : Synthèse des tests de corrélation et des régressions linéaires sur les variables étudiées lors de la seconde période (16/06 au 16/07) (en gras : corrélation significative)

Variable*temps	Corrélation de Spearman		R ²	Régression linéaire		
	rs	p-val.		F	p-val.	pente
Temp moy	0,435	0,015	0,219	8,129	0,008	0,092
Thermicité	0,435	0,015	0,219	8,129	0,008	0,004
NB °J	0,431	0,016	0,211	7,755	0,009	2,8
NB jour $10^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$	-0,249	0,177				
NB °J $10^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$	-0,245	0,183				
N° jour $T > 18^{\circ}\text{C}$	-0,145	0,435				
NB jour $T > 18^{\circ}\text{C}$	0,270	0,141				
NB °J $T > 18^{\circ}\text{C}$	0,354	0,052				

Tableau 15 : Synthèse des corrélations(rs) entre les variables thermiques de la seconde période (16/06 au 16/07) (en gras : corrélation significative)

Variables	Température moyenne	Thermicité	NB jour T>18°C	N° jour T>18°C	NB °J T>18°C	NB jour 10°C< T<18°C	NB °J 10°C< T<18°C	NB °J
Température moyenne	1							
Thermicité	1,000	1						
NB jour T>18°C	0,770	0,770	1					
N° jour T>18°C	-0,678	-0,678	-0,774	1				
NB °J T>18°C	0,963	0,963	0,865	-0,771	1			
NB jour 10°C< T<18°C	-0,763	-0,763	-0,997	0,787	-0,863	1		
NB °J 10°C< T<18°C	-0,769	-0,769	-0,997	0,782	-0,864	0,999	1	
NB °J	1,000	1,000	0,775	-0,679	0,963	-0,768	-0,774	1

3.2. Variables hydrologiques

L'analyse des écarts à la moyenne du débit ou hydraulité est conduite sur chacune des cinq stations. Pour toutes, l'année 1983 présente les plus forts débits pendant la période de montaison des géniteurs (Figure 47, Figure 48, Figure 49, Figure 50, Figure 51). Les années 1989 à 1993 ont une hydraulité faible sur les cinq stations. A celles-ci s'ajoutent les années 2002 à 2005 à Montjean et à Nouâtre. A Blois, les écarts à la moyenne oscillent faiblement de 2004 à 2010.

Les extrêmes positifs de la période 2, période de reproduction, diffèrent selon la station, 1981 et 1988 pour Montjean, 1987 pour Nevers, 1988 pour Nouâtre et 1992 pour Moulins (Figure 47, Figure 48, Figure 49, Figure 50, Figure 51). Les années 1994-2006 constituent une période d'écarts à la moyenne négatifs pour la zone amont de la Vienne (Nevers, Moulins et Blois) tandis que pour les stations de Nouâtre et Montjean ce sont les années 2002-2006. Pour cette dernière, s'y ajoutent les années 1994-1999. Enfin, à Montjean, de plus fortes valeurs de débits sont survenues de 1983 à 1988 toujours pour la période 2.

Aucune des séries ne présentent de tendance quelconque sur la période 1980-2010 ($p > 0.05$ dans tous les cas).

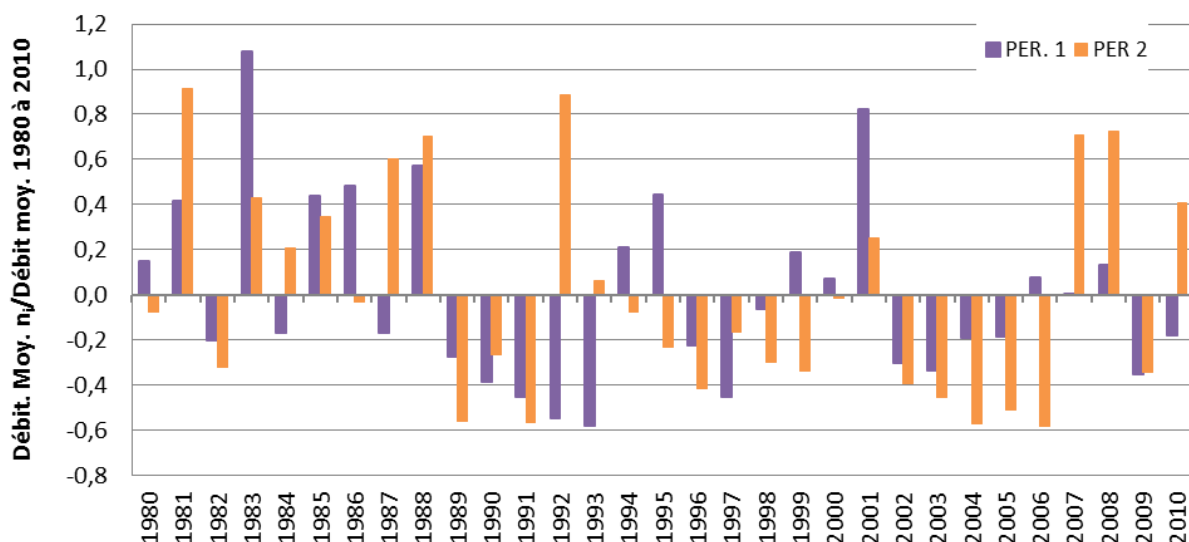


Figure 47 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Montjean

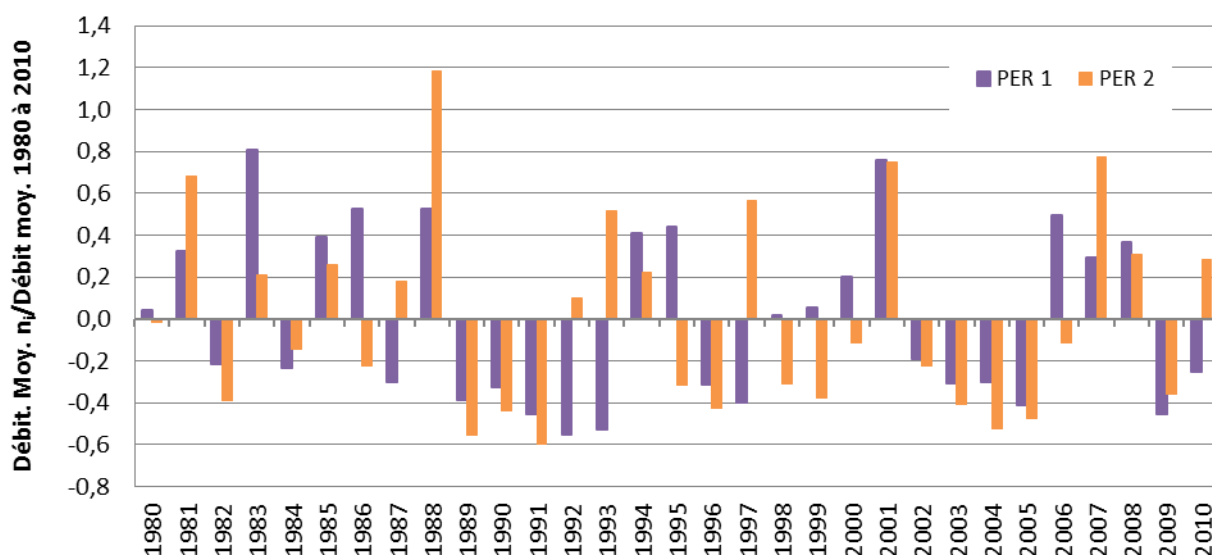


Figure 48 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Nouâtre

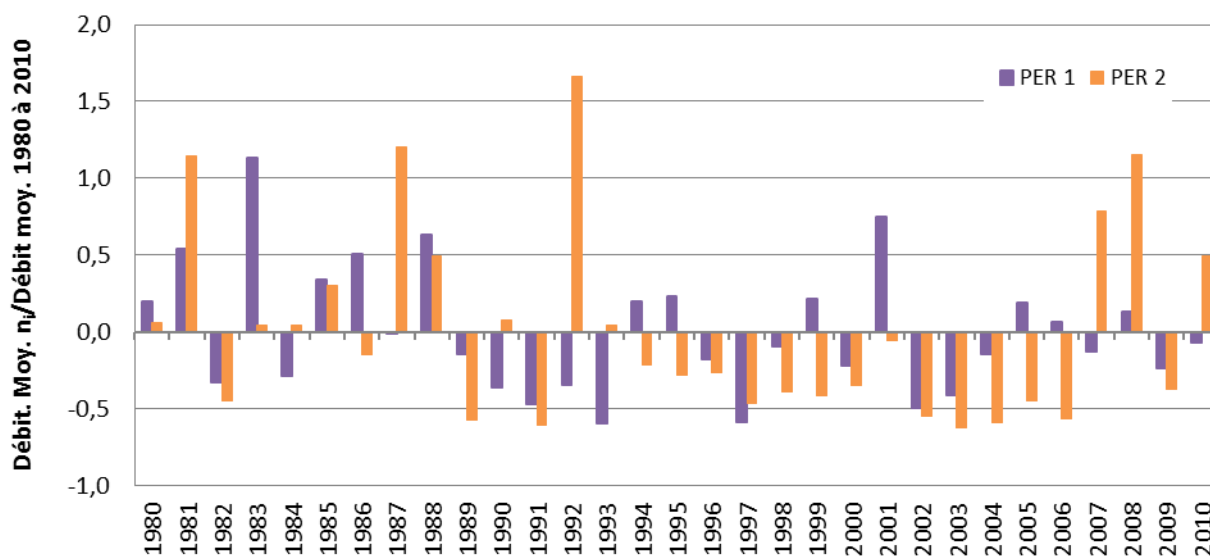


Figure 49 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Blois

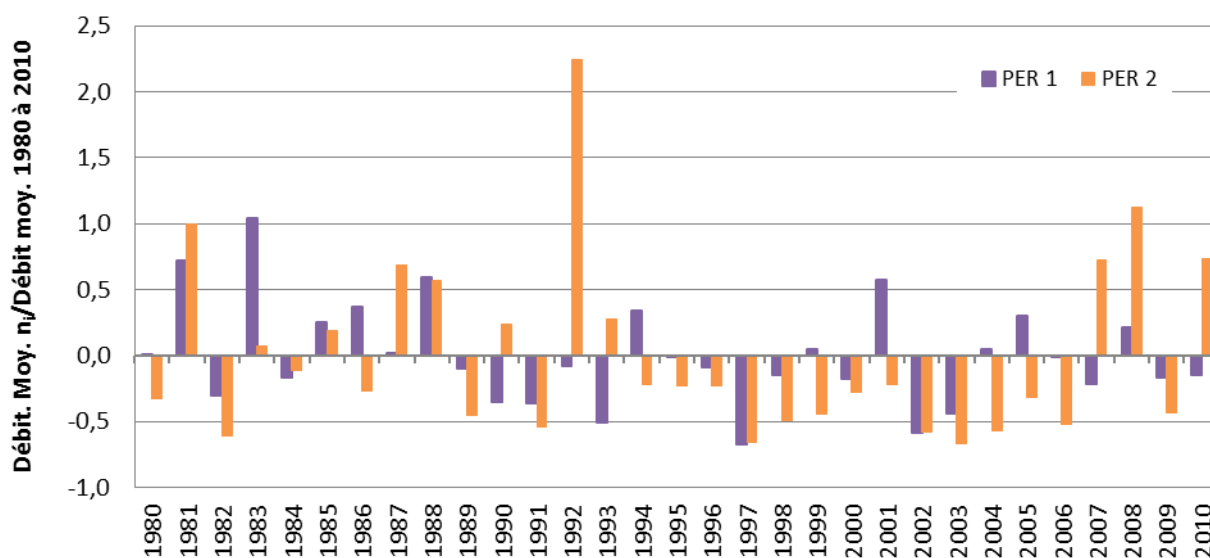


Figure 50 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Moulins

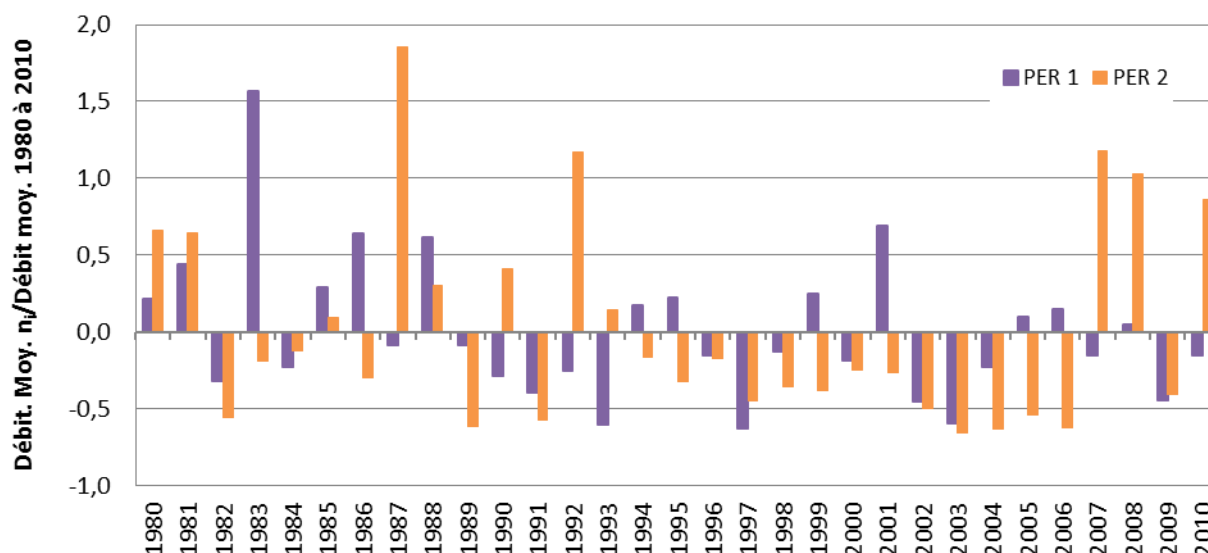


Figure 51 : Rapport entre les débits moyens journaliers annuels (n_i) et le débit moyen journalier de 1980 à 2010 du 1/03 au 15/06 (PER1) et du 16/06 au 16/07 (PER2) à Nevers

Période de montaison : du 1/03 au 15/06

Seule une variable, le numéro du premier jour où le centile 95 est dépassé (N° 1^{er} jour C95), est corrélée **au temps** pour la station de Nevers. Pour les autres variables, l'absence de corrélation induit l'absence de tendance à la hausse ou à la baisse.

Parmi les onze variables hydrologiques, certaines présentent des corrélations significatives. Pour les cinq stations étudiées, le débit moyen annuel est toujours corrélé avec cinq variables, l'hydraulicité, le débit moyen quand la température est comprise entre 10 et 18°C, ($Q_{\text{moy}} 10^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$), et les centiles (Tableau 16). Les variations journalières du débit sont seulement corrélées avec les numéros du premier jour où les centiles sont dépassés (N° 1^{er} jour C90, C95 et C99). L'hydraulicité est, structurellement, redondante avec le débit moyen sur la période, elle est retirée des variables à tester avec l'abondance des poissons.

Tableau 16 : Matrice de synthèse du nombre de corrélations significatives pour les 5 stations considérées (0 : aucune corrélation ; 5 : corrélation entre les deux variables pour les 5 stations)

	Débit moyen période 1	Coef. de variation des débits	Q.moy/Q tot 1980-2010	Débit moyen 10°C<T<18°C	Variation journalière moy. du débit	C90	C95	C99	N°1 ^{er} j C90	N°1 ^{er} j C95
Débit moyen période 1										
Coef. de variation des débits	0									
Q.moy/Q tot 1980-2010	5	0								
Débit moyen 10°C<T<18°C	5	0	5							
Variation journalière moy. du débit	0	0	0	0						
C90	5	0	5	5	0					
C95	5	2 : Montjean, Moulins	5	5	0	5				
C99	5	4 sauf Blois	5	5	0	5	5			
N°1 ^{er} jour C90				1 : Moulins	5	1 : Moulins	1 : Moulins	1 : Moulins		
N°1 ^{er} jour C95	2 : Moulins, Nevers		2 : Moulins, Nevers	4 sauf Nouatre	5	3 : Moulins, Nevers, Blois	3 : Moulins, Nevers, Blois	3 : Moulins, Nevers, Blois	5	
N°1 ^{er} jour C99	1 : Moulins			3 : Moulins, Nevers, Blois	4 sauf Moulins	1 : Moulins	2 : Moulins, Blois	2 : Moulins, Blois	5	5

Période de reproduction : du 16/06 au 16/07

Les quatre variables liées aux débits présentent toutes des corrélations significatives entre elles sauf, pour les stations de Montjean et Moulins, le coefficient de variation qui n'est pas corrélé au débit moyen et à l'hydraulicité. De plus à Montjean, le coefficient de variation n'est pas corrélé au débit moyen entre 10 et 18°C. De même que pour la période 1, l'hydraulicité est retirée des variables à tester avec l'abondance des poissons.

Pour les quatre variables en fonction du temps aucune corrélation ne se dessine, donc aucune tendance à la hausse ou à la baisse ne peut être définie.

3.3. Relations entre variables thermiques et variables hydrologiques

Période de montaison du 15/02 au 15/06

Pour les cinq stations, les variations journalières de débits ne sont corrélées à aucune variable thermique. En revanche, les débits moyens, les débits entre 10° et 18 °C

et l'hydraulicité sont toujours corrélés aux températures moyennes, à la thermicité, au NB °J, au NB°J $T > 18^{\circ}\text{C}$ ainsi qu'au NB jour $T > 10^{\circ}\text{C}$ et $T > 18^{\circ}\text{C}$ (Annexe 1). Aucune redondance n'est observée entre les variables thermiques et hydrologiques.

Période de reproduction du 16/06 au 16/07

Les débits moyens sont corrélés avec toutes les variables thermiques pour les cinq stations considérées (Annexe 1). Aucune redondance n'est observée entre les variables thermiques et hydrologiques.

Les paramètres environnementaux sur les deux périodes étudiées évoluent différemment. Les paramètres thermiques augmentent de 1980 à 2010 alors que les paramètres hydrologiques varient mais sans qu'aucune tendance ne se dessine. La période 1, migration de montaison des adultes, avec pour borne inférieure le seuil de 10°C survient 17 jours plus tôt, la quantité de chaleur reçue par la masse d'eau augmente et la température moyenne croît de 2.86°C . Pour la période de reproduction (à partir de 18°C , après le 16 juin, jusqu'au 16 juillet) la température moyenne augmente de 2.76°C .

L'année 1983 est une année où les débits ont été maximaux pour toutes les stations pendant la période 1 tandis que les années 1989-1993 ont présenté une faible hydraulicité. Durant la période 2, de reproduction des aloses, des différences d'hydraulicité sont observées pour la Loire entre l'amont et l'aval du bec de Vienne pour les phases de faibles débits.

Liens entre indices d'abondance et paramètres environnementaux

1. Introduction

La gestion des populations de poissons repose sur trois piliers qui sont les paramètres des habitats, la dynamique de population et les activités socio-économiques utilisant la ressource. La part des processus densité dépendants versus celle des paramètres environnementaux, densité indépendant, est un travail majeur de l'écologie des espèces et dans la dynamique de population. L'objectif de cette dernière partie est de rechercher les liens entre l'abondance des cohortes d'aloses et les facteurs environnementaux thermiques et hydrologiques susceptibles d'influer sur cette abondance en utilisant les hypothèses et résultats obtenus dans les parties précédentes.

Par ailleurs, dans le cadre de la politique de gestion des poissons migrateurs sur le bassin de la Loire, des aménagements d'ouvrage, difficilement franchissables pour les aloses, ont été réalisés pendant la période d'étude. Ce sont, un meilleur équipement de la passe à poissons de Vichy sur l'Allier, en 1995 et l'arasement du barrage de Maisons Rouges sur la Vienne en 1998. Les réponses à l'aménagement, en termes d'effectifs de poissons présents sur l'axe Vienne, ont été rapides avec des sites de frai recolonisés l'année suivant l'arasement et des quantités de poissons franchissant les passes de Châtellerault et Descartes de plus en plus importantes (Onema, Logrami). La levée de ces points de blocage, identifiés dans les travaux précédents, laissait supposer un changement dans les modalités de fonctionnement des populations d'aloses. Aussi, l'indice d'abondance des cohortes a été corrélé avec les variables de débit sur les périodes antérieures et postérieures aux aménagements.

2. Matériel et méthodes

Les données utilisées ici sont les séries temporelles des indices d'abondance des cohortes (IAcoh), des captures (IAcap) et celles des paramètres thermiques (Tableau 10) et hydrologiques (Tableau 11) identifiés dans la partie Paramètres environnementaux. Les deux zones de la Loire, amont et aval du Bec de Vienne, les périodes 1, migration des adultes, et 2, reproduction et phase post reproductrice, sont conservées.

L'analyse a été conduite en deux temps, une analyse par corrélation simples et multiples entre les variables thermiques et hydrologiques et les indices d'abondance des captures et des cohortes sur l'ensemble de la période d'étude (Tableau 17). Une analyse par corrélation simples et multiples entre les variables thermiques et hydrologiques et les indices d'abondance des cohortes en scindant la période d'étude en deux phases : avant et après aménagements visant à améliorer la continuité piscicole (

	Loire à l'aval de la confluence avec la Vienne		Loire à l'amont de la confluence avec la Vienne		Loire à l'aval de la confluence avec la Vienne	Loire à l'amont de la confluence avec la Vienne
Période	PER1	PER2	PER1	PER2	PER1	PER1
Indice	IAcoh	IAcoh	IAcoh	IAcoh	IAcap	IAcap
Thermie	x	x	x	x	x	x
Hydrologie	x	x	x	x	x	x
Stations hydrologiques	Montjean	Nouâtre	Blois	Moulins	Montjean	Blois
	Nouâtre	Blois	Moulins	Decize	Nouâtre	Moulins
	Blois		Decize		Blois	Decize

Tableau 18).

Tableau 17 : Synthèse des différentes modalités pour lesquelles les corrélations entre variables environnementales et abondance des captures et des cohortes d'aloses en Loire ont été testées sur l'ensemble de la période d'étude (1984-2010 pour les captures et 1980-2004 pour les cohortes)

	Loire à l'aval de la confluence avec la Vienne		Loire à l'amont de la confluence avec la Vienne		Loire à l'aval de la confluence avec la Vienne	Loire à l'amont de la confluence avec la Vienne
Période	PER1	PER2	PER1	PER2	PER1	PER1
Indice	IAcoh	IAcoh	IAcoh	IAcoh	IAcap	IAcap
Thermie	x	x	x	x	x	x
Hydrologie	x	x	x	x	x	x
Stations hydrologiques	Montjean	Nouâtre	Blois	Moulins	Montjean	Blois
	Nouâtre	Blois	Moulins	Decize	Nouâtre	Moulins
	Blois		Decize		Blois	Decize

Tableau 18 : Synthèse des différentes modalités pour lesquelles les corrélations entre variables hydrologiques et abondance des captures et des cohortes d'aloses en Loire ont été testées en tenant compte des travaux d'aménagement pour la continuité piscicole

Loire à l'aval de la confluence avec la Vienne	Loire à l'amont de la confluence avec la Vienne	Loire à l'aval de la confluence avec la Vienne	Loire à l'amont de la confluence avec la Vienne
PER1	PER1	PER1	PER1
IACoh	IACoh	IACap	IACap
1980-1997 1998-2004	1980-1995 1996-2004	1984-1998 1999-2010	1984-1996 1997-2010
x	x	x	x
x	x	x	x
Montjean	Blois	Montjean	Blois
Nouâtre	Moulins	Nouâtre	Moulins
	Decize		Decize

3. Résultats

3.1. Abondance sur l'ensemble des années

3.1.1 Abondance et thermie

L'IA **capture** sur la Loire en aval et en amont du bec de Vienne, pour la période 1 de migration des adultes (15/02 au 15/06), ne présente aucune corrélation significative avec les variables thermiques testées (Tableau 19Tableau 20)

L'IA **cohorte** sur la période 1, pour la zone aval, est relié négativement au numéro du jour de survenue du seuil 18°C, plus ce seuil survient tard, moins bonne est l'abondance de la cohorte. Sur la période 2 (16/06 au 16/07), correspondant à la ponte, naissance et croissance des juvéniles, seules les corrélations avec l'IA cohorte sont analysées. Des corrélations significatives positives, ne sont observées que pour la zone de la Loire en aval du Bec de Vienne, pour toutes les variables thermiques à l'exception du numéro du jour de survenue du seuil 18°C (Tableau 19Tableau 20).

Tableau 19: Corrélations entre les variables thermiques et les indices d'abondance des cohortes et des captures d'aloses en Loire en aval et en amont du bec de Vienne pour l'ensemble de la période d'étude (1984-2010 pour les captures et 1980-2004 pour les cohortes) (en gras corrélations significatives)

Thermie PER1	Corrélation de Spearman							
	IA cohorte				IA capture			
	Zone aval Bec de Vienne		Zone amont Bec de Vienne		Zone aval Bec de Vienne		Zone amont Bec de Vienne	
Variable*IA ...	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val
Temp moy	0,367	0,072	0,219	0,290	0,275	0,192	0,041	0,840
NB jour T>10°C	0,289	0,160	0,020	0,922	0,068	0,752	-0,017	0,935
N° jour T>10°C	-0,220	0,290	0,054	0,795	-0,032	0,882	0,031	0,878
NB jour T>18°C	0,306	0,136	0,136	0,515	0,079	0,710	-0,090	0,660
N° jour T>18°C	-0,477	0,017	-0,332	0,106	-0,136	0,526	0,179	0,379
NB °J T>18°C	0,308	0,134	0,150	0,471	0,110	0,605	-0,076	0,713
NB jour 10°C< T<18°C	0,093	0,655	0,032	0,878	0,002	0,992	0,044	0,830
NB °J 10°C< T<18°C	-0,006	0,978	0,028	0,892	0,086	0,687	0,077	0,707
NB °J	0,377	0,064	0,219	0,290	0,163	0,442	0,018	0,929

Thermie PER2	IA cohorte			
	Zone aval Bec de Vienne		Zone amont Bec de Vienne	
	rs	p-val	rs	p-val
Temp moy	0,553	0,005	0,366	0,072
NB jour T>18°C	0,503	0,011	0,335	0,101
N° jour T>18°C	-0,280	0,175	-0,050	0,814
NB °J T>18°C	0,528	0,007	0,355	0,082
NB °J	0,553	0,005	0,366	0,072

3.1.2 Abondance et hydrologie

Sur la période 1 (15/02 au 15/06), aucune corrélation significative avec les variables hydrologiques n'est notée aussi bien pour l'indice d'abondance des **cohortes** que celui des **captures**, que ce soit sur la Loire en aval du bec de Vienne ou sur la zone amont.

Sur la période 2 (16/06 au 16/07), pour la zone de Loire en aval du bec de Vienne, une corrélation négative est notée entre IA cohorte et le débit moyen de cette période, rien n'est observé pour la Loire en amont du Bec de Vienne (Tableau 20).

Tableau 20: Corrélations entre variables hydrologiques du 16/06 au 16/07 et l'indice d'abondance des cohortes d'aloses en Loire en aval et en amont du bec de Vienne (en gras corrélations de Spearman significatives)

Variable*IA cohorte	IA cohorte, aval Vienne						IA cohorte, amont Vienne					
	Montjean		Blois		Nouatre (Vienne)		Blois		Nevers		Moulins (Allier)	
	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val
Débit moyen annuel	-0,148	0,479	-0,419	0,038	0,115	0,580	-0,271	0,190	-0,297	0,149	-0,328	0,110
Coef. variat° des débits	-0,080	0,703	-0,264	0,202	-0,095	0,649	-0,062	0,767	-0,185	0,375	-0,287	0,164

L'utilisation de corrélations multiples, associant les variables thermiques et hydrologiques, ne fournit pas de meilleurs résultats.

3.2. Abondance en liaison avec les travaux d'aménagement pour la continuité piscicole

3.2.1. Sur la Loire en aval du Bec de Vienne

Rappel : Les indices d'abondance des captures sont analysés pour les années 1984-1998 et 1999-2010, pour la période 1 et les indices d'abondance des cohortes sont analysés pour les années 1980-1997 et 1998-2010 pour les périodes 1 et 2.

Abondance et thermie

Les indices d'abondance des **captures** des pêcheries pour les années 1984-1998 n'apparaissent corrélés à aucune variable thermique (Tableau 21 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Par contre les indices d'abondance des captures, des années 1999-2010 sont corrélées avec 3 variables thermiques de la période 1. Les captures augmentent quand la quantité de chaleur reçue par la masse d'eau s'accroît mais elles diminueraient quand le nombre de jours, où la température est supérieure à 10°C, augmente.

Tableau 21 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d'abondance des captures de grande Alose en Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1, avant (1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges)

Loire en Zone aval de la confluence avec la Vienne				
Thermie PER1	Corrélation de Spearman			
IA capture	1984-1998		1999-2010	
Variable*IA ...	rs	p-val	rs	p-val
Temp moy	-	-	-	-
NB jour T>10°C	-	-	-0,604	*
N° jour T>10°C	-	-	-	-
NB jour T>18°C	-	-	-	-
N° jour T>18°C	-	-	-	-
NB °J T>18°C	-	-	-	-
NB jour 10°C< T<18°C	-	-	0,581	*
NB °J 10°C< T<18°C	-	-	0,830	***
NB °J	-	-	-	-

Aucune corrélation n'est trouvée entre les variables thermiques et les indices d'abondance des **cohortes** à l'aval du bec de Vienne pour la période de migration des adultes (PER1,

Tableau 22). L'indice d'abondance des cohortes 1980-1997 de la période 2 est corrélé à quatre variables thermiques, quand ces variables augmentent, l'abondance des cohortes augmente (

Tableau 22).

Tableau 22 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire à l'aval du bec de Vienne, pour les périodes 1 et 2, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges) (corrélations de Spearman significatives)

Thermie PER1		Zone aval Vienne			
Variable*IA ...	IA cohorte 1980-1997		IA cohorte 1998-2004		
	rs	p-val	rs	p-val	
Temp moy	-	-	-	-	
NB jour T>10°C	-	-	-	-	
N° jour T>10°C	-	-	-	-	
NB jour T>18°C	-	-	-	-	
N° jour T>18°C	-	-	-	-	
NB °J T>18°C	-	-	-	-	
NB jour 10°C< T<18°C	-	-	-	-	
NB °J 10°C< T<18°C	-	-	-	-	
NB °J	-	-	-	-	

Thermie PER2		Zone aval Vienne			
Variable*IA ...	IA cohorte 1980-1997		IA cohorte 1998-2004		
	rs	p-val	rs	p-val	
Temp moy	0,414		-	-	
NB jour T>18°C	0,439	*	-	-	
N° jour T>18°C	-	-	-	-	
NB °J T>18°C	0,432	*	-	-	
NB °J	0,412	*	-	-	

Abondance et hydrologie

Aucune corrélation n'est trouvée avant travaux d'aménagement de la continuité piscicole entre l'indice d'abondance des **captures** et les variables hydrologiques de la période 1. Après travaux, IA capture augmente lorsque les coefficients de variations font de même pour les stations de Montjean et de Nouâtre (Tableau 23). Les captures sont plus nombreuses lorsque les variations de débit sont plus fréquentes. En sus, plus le seuil C90 sur la Vienne (Nouâtre) est dépassé tôt dans la saison, plus le nombre d'adultes reproducteurs capturé est important.

Tableau 23 : Corrélations entre les variables hydrologiques et les indices d'abondance des captures de grande Alose en Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges) (corrélations de Spearman significatives)

Variable * IA capture	IA capture 1984-1998				IA capture 1999-2010			
	Montjean (Loire)		Nouatre (Vienne)		Montjean (Loire)		Nouatre (Vienne)	
	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val
Débit moyen	-	-	-	-	-	-	-	-
Coef. de variation	-	-	-	-	0,750	0,025	0,750	0,025
Débit moyen 10°C<T<18°C	-	-	-	-	-	-	-	-
Var. journalière moy.	-	-	-	-	-	-	-	-
C90	-	-	-	-	-	-	-	-
C95	-	-	-	-	-	-	-	-
C99	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C90	-	-	-	-	-	-	-0,712	0,037
N°1 ^{er} j C95	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C99	-	-	-	-	-	-	-	-

Sur la zone de la Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1 avant les travaux d'arasement, l'abondance des **cohortes** apparaît liée aux valeurs du centile 90 sur la Vienne, plus celles-ci sont élevées plus l'indice d'abondance des cohortes est fort (Tableau 24). Après les travaux d'arasement, l'indice d'abondance des cohortes apparaît lié au coefficient de variation du débit de la période de montaison des poissons, avec une intensité très forte (Figure 52). Aucune corrélation n'est trouvée avec les variables hydrologiques de la période 2.

Tableau 24 : Corrélations entre les variables hydrologiques et les indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire en aval du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1998) et après (1999-2010) aménagement de la continuité piscicole (effacement du barrage de Maisons Rouges) (corrélations de Spearman significatives)

PER1 Variable * IA cohorte	IA cohorte 1980-1997				IA cohorte 1998-2004			
	Montjean (Loire)		Nouatre (Vienne)		Montjean (Loire)		Nouatre (Vienne)	
	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val
Débit moyen	-	-	-	-	-	-	-	-
Coef. de variation	-	-	-	-	0,929	0,007	-	-
Débit moyen 10°C<T<18°C	-	-	-	-	-	-	-	-
Var. journalière moy.	-	-	-	-	-	-	-	-
C90	-	-	0,480	0,045	-	-	-	-
C95	-	-	-	-	-	-	-	-
C99	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C90	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C95	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C99	-	-	-	-	-	-	-	-

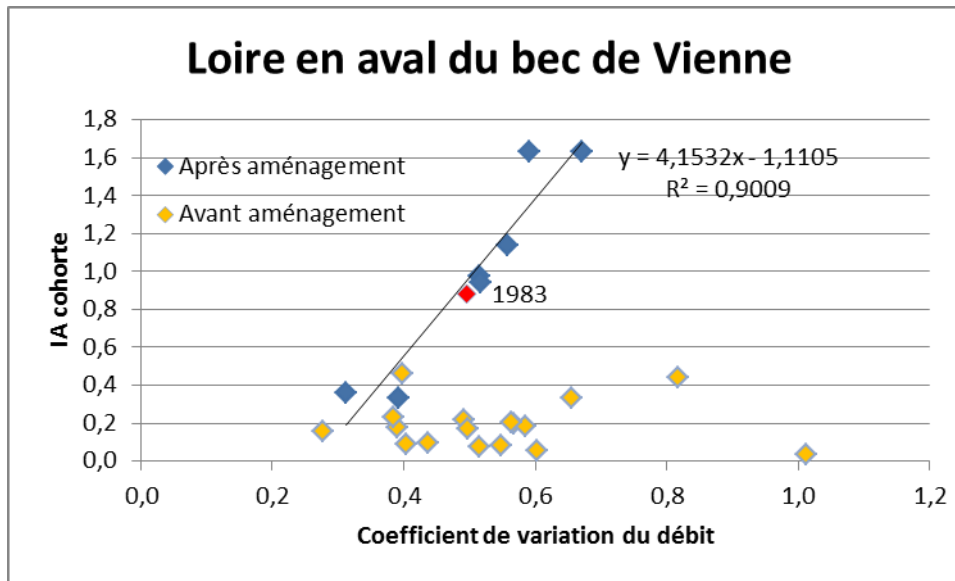


Figure 52 : Relation entre l’indice d’abondance des aloses sur la Loire en aval du Bec de Vienne et le coefficient de variation du débit de la période 15/03 au 15/06, à Montjean avant et après l’effacement du barrage de Maisons Rouges

3.2.2. Sur la Loire en amont du Bec de Vienne

Rappel : Les indices d’abondance des captures sont analysés pour les années 1984-1996 et 1997-2010, pour la période 1 et les indices d’abondance des cohortes sont analysés pour les années 1980-1995 et 1996-2004 pour les périodes 1 et 2.

Abondance et thermie

Les indices d’abondance des **captures** des pêcheries de la zone **amont**, pour les années 1984-1996 sont corrélés positivement, pour la période 1 avec le nombre de jour où la température est supérieure à 18°C (Tableau 25). Aucune corrélation n’apparaît pour la période post aménagement.

Tableau 25 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d’abondance des captures de grande Alose en Loire en amont du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1984-1996) et après (1997-2010) aménagement de la continuité piscicole (aménagement de la passe à poissons de Vichy) (corrélations significatives)

Loire en Zone amont de la confluence avec la Vienne				
Thermie PER1	Corrélation de Spearman			
IA capture	1984-1996		1997-2010	
Variable*IA ...	rs	p-val	rs	p-val
Temp moy	-	-	-	-
NB jour T>10°C	-	-	-	-
N° jour T>10°C	-	-	-	-
NB jour T>18°C	0,534	**	-	-
N° jour T>18°C	-	-	-	-
NB °J T>18°C	-	-	-	-
NB jour 10°C< T<18°C	-	-	-	-
NB °J 10°C< T<18°C	-	-	-	-
NB °J	-	-	-	-

Les indices d'abondance des **cohortes** des pêcheries de la zone amont présente des corrélations significatives uniquement pour la période 1, avec le nombre de jours où la température dépasse les 10°C (Tableau 26).

Tableau 26 : Corrélations entre les variables thermiques et les indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire en amont du bec de Vienne, pour les périodes 1 et 2, avant(1980-1995) et après (1996-2004) aménagement de la continuité piscicole (aménagement de la passe à poissons de Vichy) (corrélations significatives)

Loire en Zone amont de la confluence avec la Vienne									
Thermie PER1	Corrélation de Spearman				Thermie PER2	Corrélation de Spearman			
IA cohorte	1980-1995		1996-2004		IA capture	1980-1995		1996-2004	
Variable*IA ...	rs	p-val	rs	p-val	Variable*IA ...	rs	p-val	rs	p-val
Temp moy	-	-	-	-	Temp moy	-	-	-	-
NB jour T>10°C	-0,540	0,033	-	-	NB jour T>18°C	-	-	-	-
N° jour T>10°C	-	-	-	-	N° jour T>18°C	-	-	-	-
NB jour T>18°C	-	-	-	-	NB °J T>18°C	-	-	-	-
N° jour T>18°C	-	-	-	-	NB °J	-	-	-	-
NB °J T>18°C	-	-	-	-					
NB jour 10°C< T<18°C	-	-	-	-					
NB °J 10°C< T<18°C	-	-	-	-					
NB °J	-	-	-	-					

Abondance et hydrologie

Sur la Loire, dans la zone **amont** du bec de Vienne, aucune corrélation significative n'est notée entre les variables hydrologiques et l'indice d'abondance des **captures** pour les deux groupes d'années considérés, avant et après travaux.

Sur la Loire en zone **amont** du bec de Vienne, avant les travaux d'arasement, l'abondance des **cohortes** d'aloses est corrélée positivement aux débits moyens de la période 1 de la Loire et de l'Allier. L'indice d'abondance des cohortes d'aloses est aussi corrélé positivement aux centiles 90 et 95 ainsi qu'aux débits moyens de l'Allier lorsque les températures sont comprises entre 10 et 18°C. Lorsque les débits sont plus forts les obstacles sont plus simples à franchir, il y a plus de géniteurs à remonter et ceux-ci remontent plus en amont. Après travaux, comme pour la Loire en zone aval du bec de Vienne, l'abondance des cohortes est liée aux variations des débits. Plus les variations de débits sont fortes plus l'IA cohorte augmente (Tableau 27, Figure 53). Aucune corrélation n'est trouvée avec les variables hydrologiques de la période 2.

Tableau 27 : Corrélations entre les variables hydrologiques et les indices d'abondance des cohortes de grande Alose en Loire en amont du bec de Vienne, pour la période 1, avant(1980-1995) et après (1996-2004) aménagement de la continuité piscicole (aménagement de la passe à poissons de Vichy) (corrélations de Spearman significatives)

Variable * IA cohorte	IA cohorte 1980-1995				IA cohorte 1996-2004			
	Blois		Moulins (Allier)		Blois		Moulins (Allier)	
	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val	rs	p-val
Débit moyen	0,591	0,018	0,568	0,024	-	-	-	-
Coef. de variation	-	-	-	-	0,867	0,005	-	-
Débit moyen 10°C<T<18°C	-	-	0,503	0,049	-	-	-	-
Var. journalière moy.	-	-	-	-	-	-	-	-
C90	-	-	0,609	0,014	-	-	-	-
C95	-	-	0,594	0,017	-	-	-	-
C99	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C90	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C95	-	-	-	-	-	-	-	-
N°1 ^{er} j C99	-	-	-	-	-	-	-	-

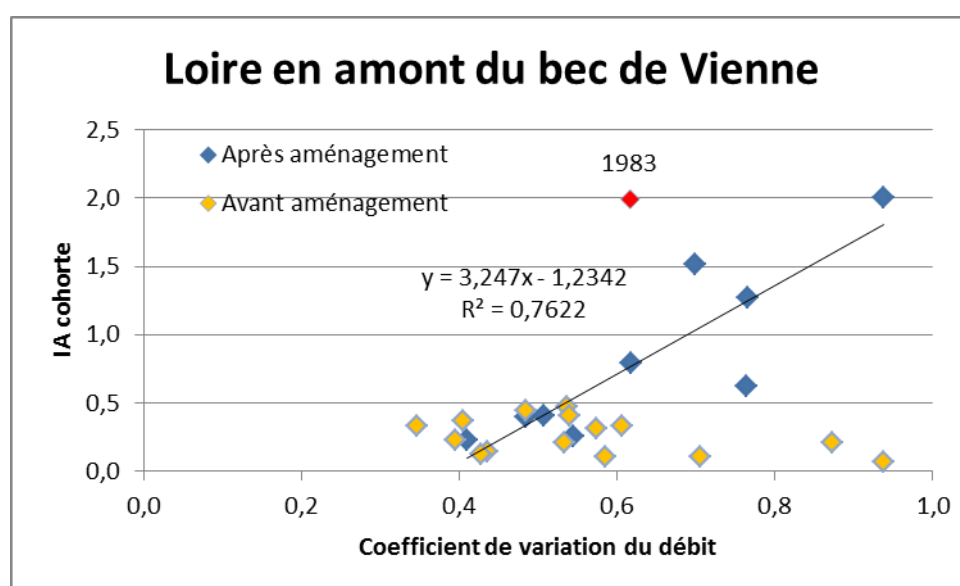


Figure 53 : Relation entre l'indice d'abondance des aloses sur la Loire en amont du Bec de Vienne et le coefficient de variation du débit de la période 15/03 au 15/06, à Blois avant et après l'aménagement de la passe à poissons de Vichy

Sur l'ensemble de la période d'étude, l'abondance des captures d'aloses ne peut être reliée aux variables environnementales mais l'abondance des cohortes est reliée positivement à certaines variables thermiques.

La période d'étude est scindée en fonction des dates des aménagements améliorant la continuité piscicole, 1998, année de l'arasement du barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne, pour la Loire en aval de la confluence avec la Vienne et 1996 année d'amélioration des passes à poissons de Vichy sur l'Allier pour la Loire en amont du Bec de Vienne. Pour les deux portions de Loire, avant les travaux, l'abondance des cohortes est liée à la valeur du centile 90 de la période 1. Plus cette valeur est élevée, plus l'abondance des cohortes d'aloses est forte. Après travaux d'aménagement, l'indice d'abondance des cohortes est lié aux variations de débit de la période de remontée des poissons (période 1).

Discussion générale, Conclusion

Caractéristiques des cohortes

Un faible pourcentage de poissons n'a pu recevoir un âge, 3.9%, avec des différences significatives entre les mâles et les femelles, elles sont plus nombreuses à ne pas recevoir d'âge. De même, le risque d'erreur d'attribution d'une classe d'âge est plus élevé pour les femelles. Ces taux d'attribution et les difficultés rencontrées sont celles citées par Baglinière et al. (2001) et sont liées à la variabilité structurelle des écailles, ce qui semble être commun au genre *Alosa*, à la grande variabilité de morphologie et d'intensité des marques, et à la forte érosion en fin de saison migratoire. Les différences observées entre les deux sexes sont fortement liées à un âge plus élevée pour les femelles.

Les caractéristiques de taille, de masse et d'âge rencontrées sont typiques de celles des grandes aloses qui présentent une grande variabilité interannuelle au sein de chaque population (Menesson-Boisneau et al., 2000a). Sur la base de la longueur et de la masse, les vingt-six cohortes se regroupent en 5 classes qui ne permettent pas d'identifier une évolution temporelle à l'augmentation ou à la diminution de ces caractéristiques biologiques. Une analyse de la croissance en mer pourrait peut-être expliquer cette variabilité à moins que celle-ci ne soit structurelle.

Le rapport des sexes (nombre de mâles pour une femelle) est aussi très variable d'une cohorte à l'autre mais il présente une tendance à la diminution, les femelles devenant dominantes. C'est un paramètre qui peut être souvent fortement biaisé par le mode d'échantillonnage et de capture (Le Corre et al., 1997). Pour ce qui est du mode de capture utilisé ici, celui-ci est resté identique sur la période analysée et les tailles des mailles des carrelets sont toujours les mêmes, 40mm de côté. Elles retiennent donc tous les géniteurs remontant le cours d'eau sans qu'ils puissent passer au travers. L'échantillonnage du rapport des sexes est réalisé sur l'ensemble de la saison de pêche, il n'est biaisé que les années à très forte hydrologie qui ne permettent pas une pratique assidue. Le rapport des sexes apparaît donc éminemment variable, au sein d'une population comme souligné par Mennesson-Boisneau et al., (2000a). Toutefois, sa diminution traduit une augmentation du potentiel reproducteur des aloses à l'échelle du

bassin puisque le nombre de femelles augmente et qu'un mâle peut se reproduire avec plusieurs femelles.

Paramètres environnementaux

Les écarts à la moyenne de température des périodes de migration et de reproduction des aloses augmentent entre 1980 et 2010 conformément aux résultats obtenus par Moatar et Gailhard (2006). Ceci fournit des conditions thermiques de plus en plus chaudes et plus favorables à la grande alose, espèce thermophile. L'activité migratoire, si elle n'est pas contrariée par des conditions hydrologiques défavorables, doit en être accélérée, les aloses sont susceptibles d'arriver plus tôt sur les zones de frayères. Or, la descente des juvéniles se fait plus précocement (Boisneau et al., 2008), le développement des œufs et l'ontogenèse des juvéniles sont donc plus rapides.

L'année 1983 est celle qui présente les débits maximaux pour la période 1, sur les années 1980-2010. Ces débits sont susceptibles de faciliter la migration et de permettre aux aloses d'utiliser des zones de frayères localisées bien à l'amont de celles utilisées les années antérieures et postérieures. La cohorte 1983 doit présenter une abondance différente et bien supérieure aux autres.

Pour la période de reproduction (PER2), les différences observées entre l'amont et l'aval de la confluence avec la Vienne traduisent des fonctionnements hydrologiques différents et l'on doit s'attendre à des abondances différentes sur ces deux parties du bassin.

Activités des pêcheries et indices d'abondance

La pêche au filet barrage est une technique spécifiquement ligérienne et patrimoniale. Cette pratique s'inscrit dans une activité d'entreprise conçue et gérée à l'échelle annuelle et interannuelle. La composition de la pêcherie (bateau, filets, pieux et matériels divers) nécessite un investissement important avec des périodes d'immobilisation longues (9 à 10 mois par an) qui ne permettent pas à un nouvel arrivant pêcheur d'investir dans ce genre de technique. Conçue pour la capture des poissons migrateurs anadromes en activité de montaison, les pêcheries, avant 1994, fonctionnaient aussi pour la capture du saumon. Ceci permettait un usage plus long (3 à 4 mois) et un revenu plus important. Ces éléments associés à un arrêt ou à la disparition

de certains pêcheurs sont à l'origine de la diminution du nombre de pêcheries sur la période 1984-2010.

L'utilisation de plusieurs pêcheries présente l'avantage de disposer de données plus intégratives de la réalité de la migration et des pêcheries et ainsi de réduire la variabilité des CPUE. Néanmoins, la poursuite de l'activité des deux pêcheries existantes distribuée de part et d'autre de la Vienne reste un atout de taille dans le suivi des aloses en basse Loire et en Loire moyenne.

Le filet barrage est une technique de pêche passive, le pêcheur ne recherche pas activement les poissons, il attend que ceux-ci se déplacent. Les efforts fournis sont des efforts effectifs et non relatifs, ce qui est un avantage (Laurec et le Guen, 1981). Malgré l'homogénéité de la technique, un effet mixte pêche*site existe comme le montrent les caractéristiques des efforts et des captures. Cet effet pêche intègre la position dans le bassin versant, la pratique du pêcheur, ce qui correspond à la composante efficacité de la capturabilité mais aussi à la vulnérabilité des poissons car les pêcheries ne sont pas installées sur des sections de Loire identiques. L'hypothèse de constance de capturabilité est donc remise en cause comme le notent Castelnaud et al (1994). D'autres facteurs, tel l'hydroclimat et la transparence de l'eau (MES, densité du phytoplancton), sont susceptibles d'intervenir.

Un indicateur et un indice doivent disposer de plusieurs qualités (Girardin et al., 2005). Ils doivent être pertinents et fiables, sensibles et révélateurs de l'évolution à surveiller, interprétables et disponibles sur la durée. L'indice d'abondance des aloses basé sur les captures des pêcheries au filet barrage est la moyenne des valeurs quotidiennes du logarithme népérien des CPUE +1. Ceci est un outil, classique, qui permet à la fois d'intégrer la grande disparité des valeurs quotidiennes, de 0 jusqu'à 35 poissons par heure et les efforts sans capture qui sont aussi importants que les CPUE positives. Cet indice, depuis 1999, ne repose que sur deux pêcheries, localisées à l'amont et l'aval de la confluence avec la Vienne, ce qui permet néanmoins de dissocier ce qui se passe sur cet axe et sur la Loire moyenne.

La zone aval ne présente pas d'évolution temporelle des captures alors que les efforts diminuent et les CPUE augmentent. Sur la zone amont, captures et efforts diminuent pour une CPUE stable. Parmi les différentes combinaisons possibles de captures, effort et CPUE (Girardin *et al.* 2006), la zone aval correspond au cas 4 et la zone amont au cas 8 (Tableau 28). Les cas n° 1 à 5 regroupent des situations où l'on peut déceler une augmentation de l'abondance. Ceci implique, pour que la tendance

montrée par la CPUE soit confirmée, respectivement, que les captures totales augmentent plus vite ou diminuent moins vite que l'effort total. Les cas n° 9 à 13 sont inverses des précédents et indiquent une diminution de l'abondance. Dans les cas 9 et 13, les captures totales augmentent moins vite ou diminuent plus vite que l'effort total. Les cas 6, 7 et 8 sont les plus délicats, la CPUE apparaît stable mais cette stabilité masque des situations différentes.

Tableau 28 : Les différentes combinaisons possibles de captures, effort et CPUE (Girardin *et al.* 2006)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CPUE	↗	↗	↗	↗	↗	→	→	→	↘	↘	↘	↘	↘
Captures totales (C)	↗	↗	↗	→	↘	↗	→	↘	↗	→	↘	↘	↘
Effort total (f)	↗	→	↘	↘	↘	↗	→	↘	↗	↗	↗	→	↘

La situation contrastée, observée sur la Loire à l'amont et à l'aval de la confluence avec la Vienne, traduit une évolution différenciée des stocks d'aloses sur le bassin de la Loire avec une augmentation sur l'axe Vienne plus forte que celle de la Loire à l'amont de la confluence avec cet axe. Ces processus sont confortés par les observations de LOGRAMI au droit des passes à poissons sur les axes Vienne-Creuse et Loire-Allier.

Les calendriers de captures ne sont pas identiques entre les deux zones avec un début des captures plus précoces à l'aval de la Vienne, ce qui traduit la dynamique du flux de géniteurs à l'intérieur du bassin.

L'absence de précocité de la migration au cours de la période 1984-2010 montre une indépendance avec l'évolution des facteurs thermiques. D'autres facteurs tels que l'hydrologie sont susceptibles d'interférer sur la migration. Si les aloses ne commencent pas plus tôt leur migration, elles subissent néanmoins une survenue plus précoce du dépassement des seuils 10°C et 18°C et une augmentation de la quantité de chaleur reçue par la masse d'eau. Ceci est susceptible d'interférer sur leur dynamique migratoire. Celle-ci pourrait être accélérée en début de la période de montaison. Les premiers contingents d'aloses, constitués des plus gros individus, pourraient monter plus rapidement et/ou plus loin dans le bassin. Un processus différent pourrait opérer pour les contingents plus tardifs, après la mi-mai. Ces poissons, également soumis à des températures chaudes, pourraient se retrouver en condition de reproduction plus

précocement, n'avoit pas le temps de rejoindre les zones de frayères de l'amont et se reproduire à l'aval des zones de reproductions historiques.

Si le premier et le second processus opèrent sur la Vienne, ils le font en synergie. En effet, les zones de frayères historiques sont localisées à partir de 250 km de l'océan (Bénardeau, 1905, Boisneau 1990). De plus, les aménagements comme l'arasement du barrage de Maisons Rouges (1998) et les passes à poissons de Châtellerault (271 km de la mer, 2004) et Descartes (2006) favorisent la libre circulation des géniteurs. Les populations d'aloses du bassin de la Vienne doivent augmenter. Si les deux processus opèrent sur les axes Loire et Allier, ils sont susceptibles d'opérer en antagonisme, vu les distances à parcourir pour rejoindre les zones de frayères, plus de 550 km (Poitrineau, 1985, Leclerc, 1941, Boisneau, 1990). Les populations d'aloses des axes Loire et Allier apparaissent beaucoup plus sujettes à fluctuations.

Ces hypothèses sont posées sous réserves de conditions hydrologiques favorables qui peuvent à leur tour interférer en synergie ou en antagonisme dans la dynamique migratoire et dans l'accès aux zones de frayères.

Liens entre abondance des cohortes et paramètres environnementaux

Sur **l'ensemble de la période d'étude**, l'abondance des **captures** d'aloses ne peut être reliée aux variables environnementales mais l'abondance des **cohortes** est reliée positivement à certaines variables thermiques et hydrologiques de la période 2 (16/06 au 15/07), correspondant à la période post reproduction. Le seuil thermique de reproduction des aloses est à 18°C (Boisneau *et al.* 2008). Les variables thermiques de la période 2 et celles liées à ce seuil influent sur l'abondance des cohortes d'aloses. Plus ce seuil est précoce, plus la quantité de chaleur reçue par l'eau est importante, meilleure est l'abondance de la cohorte. Ces résultats rejoignent ceux observés pour des espèces holobiotiques d'eau douce, ablette, gardon, goujon, spirilin et bouvière, dans des grands cours d'eau comme le Rhône (Poirel *et al.*, 2001) et l'Oder (Wolter, 2007).

De forts débits en période 2 ainsi qu'une forte variation de ces débits sont reliés négativement à l'abondance des cohortes d'aloses. La perturbation de l'habitat (sensu lato) par l'hydrologie lors de la phase post reproductrice serait défavorable aux jeunes stades d'aloses alors qu'une température de l'eau élevée serait favorable. Ces processus ont été observés sur la Loire pour les 0+ d'ablette, gardon, goujon, spirilin et bouvière,

au niveau de la centrale d'avoine (37) dans le cadre du suivi hydrobiologique et piscicole (Boisneau, 2011).

La période d'étude a ensuite été scindée en deux en fonction des dates des aménagements améliorant la continuité piscicole, 1998, année de l'arasement du barrage de Maisons-Rouges sur la Vienne, pour la Loire en aval de la confluence avec la Vienne et 1996 année d'amélioration des passes à poissons de Vichy sur l'Allier pour la Loire en amont du Bec de Vienne. Pour les deux portions de Loire, on observe un changement de modalités de recrutement des cohortes. Avant les travaux, l'abondance des cohortes est liée à la valeur du centile 90 du débit de la période de migration des géniteurs. Plus cette valeur est élevée, plus l'abondance des cohortes d'aloses est forte. Il fallait alors de très forts débits permettant aux aloses de franchir les divers obstacles entre la mer et les zones de frayères pour qu'elles produisent une cohorte abondante.

Pour les cohortes 1980 à 1997, seule l'année 1983 a produit une cohorte d'une abondance qu'il doit être possible de qualifier d' « historiquement normalement abondante ». L'abondance de cette cohorte, dix fois supérieure à celles des autres cohortes de cette première partie de la série chronologique, est expliquée par les débits très forts de la période de migration de reproduction des géniteurs dont elle descend. En effet, depuis 1968, les débits de l'année 1983 n'ont été atteints qu'une fois sur les quatre stations Montjean, Nouâtre, Moulins et Nevers (source Banque Hydro), et même une seule fois depuis 1900 sur la station de Montjean (Figure 54).

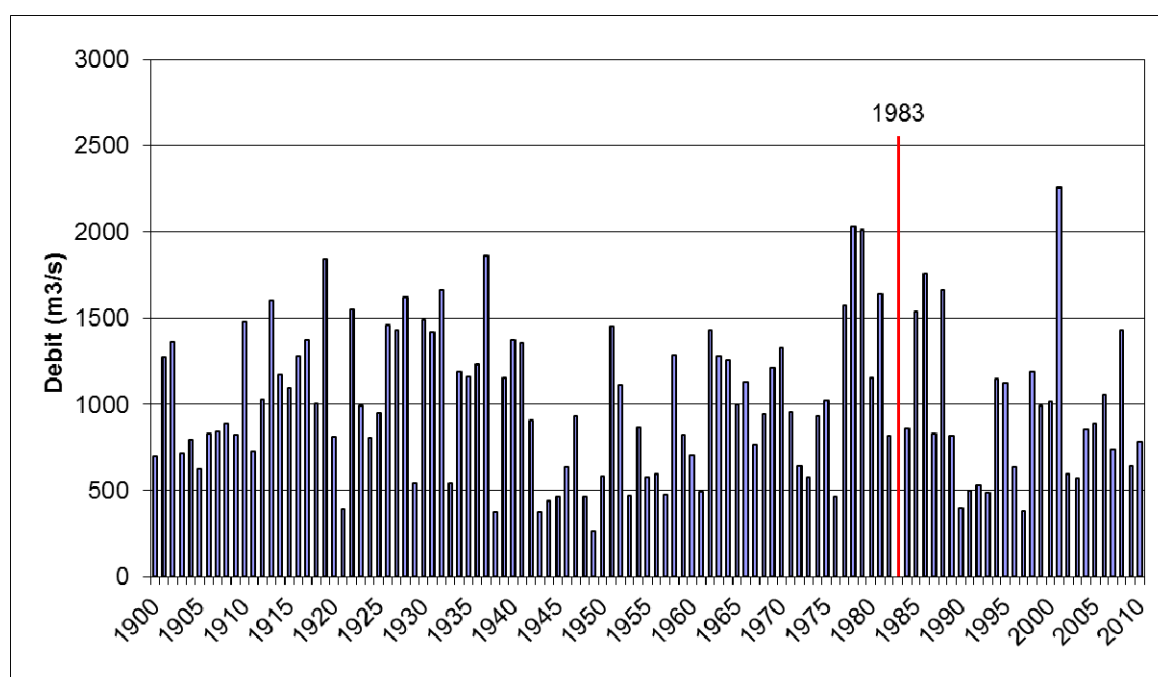


Figure 54 : Débits moyens de la période 1 de remontée des géniteurs d'aloses (15/03 au 15/06) de 1900 à 2010 pour la station de Montjean (source Banque Hydro)

Le suivi de l'abondance des captures annuelles n'ayant débuté qu'en 1984, les indices d'abondances de la migration de reproduction pour l'année 1983 n'est pas disponible. Toutefois, les informations transmises par les pêcheurs ayant pratiqué la pêche de l'alose lors de cette année particulière laissent à penser que leurs abondances devaient se situer dans la moyenne de celles mesurées pour la période 1984-1998, hormis les années 1987 à 1989 correspondants au recrutement de géniteurs nés en 1983 (Siegler, Rabin, com. pers.). Dans ce cas, un contingent probablement assez faible de reproducteurs avait pu engendrer une descendance très nombreuse grâce à des conditions hydrologiques particulièrement élevées qui avaient effacées une grande partie des obstacles à la migration et permis la reproduction sur des habitats favorables.

A contrario, pour les géniteurs très abondants nés en 1983 et ayant réalisé leur migration de reproduction en 1988, un suivi de la reproduction a été réalisé sur la frayère forcée de St Léger-des-Vignes, à l'aval du barrage de Decize sur la Loire amont. Ce suivi avait permis d'estimer le nombre de reproducteurs présents sur le site à environ 35 000 et la dépose d'œufs entre 2,5 et 3,5 milliards (Boisneau et al., 1990). Or de 3 à 6 ans plus tard, l'abondance des migrations annuelles n'a pas augmenté et est restée dans la moyenne très faible de cette première partie de la série chronologique. La description des caractéristiques de ce site de reproduction forcé avait montré qu'elles ne correspondaient pas à celles des frayères choisies librement par les aloses.

Compte tenu de la fécondité très élevée de l'alose, l'ensemble de ces éléments militent pour un modèle de recrutement de type habitat – dépendant.

Après travaux d'aménagement, non seulement le recrutement moyen des cohortes a été multiplié par trois par rapport à la période précédente, mais les modalités expliquant l'abondance de ce recrutement ont changé, l'indice d'abondance des cohortes est lié désormais aux variations de débit de la période de remontée des poissons (période 1). Ce changement de modalité peut s'expliquer par l'effacement de certains obstacles pénalisants la migration des aloses (Maisons-Rouges sur la Vienne, Blois sur la Loire moyenne), et par l'amélioration du franchissement de certains autres (Decize sur la Loire amont, Vichy sur l'Allier, Descartes sur la Creuse et Châtellerauld sur la Vienne). Les passes à poissons ne sont généralement attractives et efficaces pour les aloses que dans des gammes de débits particulières, gammes plus étroites que celles des débits du cours d'eau au droit de l'obstacle. En effet, alors que le saumon atlantique présente un comportement très actif de recherche des voies de passages possibles au droit d'un obstacle, testant les différents écoulements, l'alose s'obstine à forcer un passage dans la veine d'eau la plus puissante s'écoulant au pied d'un obstacle, quelles que soient les

conditions, éventuellement variées, d'écoulements hydrauliques sur un site. Aussi une grande variabilité dans la gamme de débits pendant la période de présence des géniteurs leur offrirait une plus grande opportunité de trouver l'entrée de la passe et de franchir l'obstacle, fournissant ainsi des conditions de recrutement plus favorables. Il faut probablement compter également avec le réchauffement des eaux pendant les phases de migration et de reproduction.

En conclusion, le travail réalisé et ces informations indiquent que l'effacement des obstacles est bien la solution permettant de maximiser les gains de productions en aloses, et que les passes à poissons, aussi bien dimensionnées et positionnées sur les obstacles que possible, compte tenu des technologies disponibles, restent perfectibles et ne garantissent pas un transit complet, sans retards et sans impacts sur le recrutement des cohortes. Les travaux collectifs, de long terme, sur la restauration de la continuité écologique de la Loire et de ses affluents portent leurs fruits et se doivent d'être suivis dans un souci d'évaluation de leur impact et de l'efficacité des politiques publiques engagées.

Bibliographie

Acou A, Laffaille P, Legault A, Feunteun E. 2008. Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 17: 432–442.

Baglinière JL, Sabatie MR, Aprahamian MW, Alexandrino P., Aprahamian D.C., Aprahamian M.W., Assis C.A., Cassou-Leins JJ, Le Corre M, Menesson -Boisneau C., Martin Vamdembulcke D., Rochard E., Teixeira C., 2001. Guide pour l'interprétation des écailles et estimation de l'âge chez les aloses (*Alosa* sp) de la façade atlantique Ouest et de la Méditerranée Est. *B.F.P.P.*, N° spécial, 357-60, 485-530.

Bénardeau F, 1905. Pêche et reproduction du saumon en Loire. Berger-Levrault et Cie, Paris-Nancy, 51 p.

Bischoff A, Wolter C, 2001. The flood of the century on the river Oder : effects on the 0+ fish community and implications for floodplain restoration. *Regul. Rivers*, 17, 171-190.

Boisneau C. 2011. Evolution interannuelle des peuplements piscicoles et analyses au regard de variables thermiques, hydrologiques et relatives aux invertébrés benthiques In Impact hydro écologique du CNPE de Chinon sur les eaux de la Loire période 1991-2010. Rapport Univ Tours-EDF, 111p.

Boisneau P. 1990. Recherches sur les aloses dans le bassin de la Loire. Thèse Univ Paris XII, Vaml de Marne, 103p + ann.

Boisneau Ph., Menesson-Boisneau C., Bagliniere J.L., 1990. Description d'une frayère et comportement de reproduction de la grande Alose (*Alosa alosa* L.) dans le cours supérieur de la Loire. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **316** : 15-23.

Boisneau C, Moatar F, Bodin M, Boisneau Ph, 2008. Does global warming impact on migration patterns and recruitment of Allis shad (*Alosa alosa* L.) young of the year in the Loire river, France ? *Hydrobiologia*, 602, 179-186.

Cassou-Leins JJ, Cassou-Leins F, Boisneau P, Baglinière JL, 2000. La reproduction. . In *Biologie, écologie et exploitation des aloses (Alosa sp.) de l'Atlantique Est et de la Méditerranée occidentale*. Ed. INRA, CEMAGREF, 73-93.

Castelnaud G, Guerault D, Desaunay Y, Elie P. 1994. Production et abondance de civelles au début des années 1990. *Bull Fr. Pêche Piscic*, 335, 237-260.

Cattanéo F., Carrel G., Lamouroux N., Breil P. 2001. Relationship between hydrology and cyprinid reproductive success in the lower Rhône at Montélimar, France. *Arch. Hydrobiol.*, 151, 427-450.

Coupage N., Boisneau P., 1996. Variabilité de l'abondance de la grande alose dans la Loire. Mise au point d'un indicateur à partir des données acquises depuis 1984.

Analyse des variations interannuelles en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. DIREN CENTRE, 33p+ann.

Daufresne M., Roger M.C., Capra H., Lamouroux N. 2003. Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: effects of climatic factors. *Global Change Biology*, vol. 10; 124-140.

Girardin P, Guichard L, Bocktaller C. 2005. Indicateurs et tableaux de bord. Guide pratique pour l'évaluation environnementale. Ed Lavoisier Tec &Doc.

Girardin M, Castelnaud G, Beaulaton L., 2006. Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde : Suivi des captures 2004. Etude de la faune circulante 2005. *Cemagref Cestas: 211*.

Gulland J.A., 1969. Manual of methods for fish stock assessment. Part 1. Fish population analysis, *FAO, Manual in fisheries sciences, 4 (1)*, Rome, 154 p.

Jonsson N, Jonsson B, Hansen LP, 1990. Partial segregation in the timing of migration of Atlantic salmon, *Salmo salar*, in relation to early summer water temperatures in the northern Baltic Sea. *Ecology of freshwater Fish*, 14, 69-78.

Laurec A. et Le Guen J.C., 1981. *Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1 concepts et modèles*, CNEXO Rapport scientifiques et technique n°45, Brest, 117 p.

Le Clerc, M., 1941. Note sur des essais de multiplication artificielle de l'alose dans le bassin de la Loire. *Bull. Fr. Piscic.*, 123 : 27-37.

Le Corre M., Baglinière J.L, Sabatié MR, Menella JY, Pont D. 1997. Données récentes sur les caractéristiques morphologiques et biologiques de la population d'aloses feintes du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis* Roule, 1924). *Bull Fr. Peche Piscic*, 346,527-545.

Lobon Cervia J, Mortensen E, 2005. Population size in stream living juveniles of the lake migratory brown trout *Salmo trutta* L. : the importance of stream discharge and temperature. *Ecology of Freshwater fish*, 14, 394-401.

Lochet A, Jatteau P, Tomas J, Rochard E, 2008. Retrospective approach to investigating the early life history of a diadromous fish : Allis shad (*Alosa alosa* L.) in the Gironde-Garonne-Dordogne watershed, *Journal of Fish Biology*, 72, 946-960.

Mann RH, 1991. Growth and production. In Winfield and Nelson (Eds), *Cyprinid fishes. Systematics, biology and exploitation*. Fish and fisheries series 3, Chapman & Hall, London, 456-482.

Menesson-Boisneau C., 1990. *Migration, répartition, reproduction et caractéristiques biologiques des aloses (Alosa sp.) dans le bassin de la Loire*. Thèse Univ. Rennes I, 106 p. + ann.

Menesson-Boisneau C., Baglinière J.L.1992. Mise au point d'une méthode de détermination de l'âge de la grande alose (*Alosa alosa*) à partir des écailles. In « Tissus

durs et âge individuel des vertébrés ». J.L. Baglinière, J. Castanet, F. Conand, F.J. Meunier (Eds), ORSTOM-INRA, Paris, pp.221-231.

Menesson-Boisneau C., Poisneau Ph., Bagliniere J.L., 1993. Migration de reproduction des aloses dans le bassin de la Loire de 1986 à 1991, incidence des obstacles. Rapp. EDF, CPN St Laurent des eaux, 21 p.

Menesson C., M.R. Sabatie, M.W. Aprahamian.2000a. Caractéristiques des adultes. *In Biologie, écologie et exploitation des aloses (Alosa sp.) de l'Atlantique Est et de la Méditerranée occidentale*. Ed. INRA, CEMAGREF, 33-55.

Menesson C., M.R. Sabatie, M.W. Aprahamian.2000b. Remontée migratoire des adultes. *In Biologie, écologie et exploitation des aloses (Alosa sp.) de l'Atlantique Est et de la Méditerranée occidentale*. Ed. INRA, CEMAGREF, 33-55.

Moatar F, Gailhard J, 2006. Water temperature behavior in the River Loire since 1976 and 1881. *C. R. Geoscience*, 338: 319–328.

Orell P, Erkinaro J, Svenning MA, Davidsen JG, Niemela E, 2007. Synchrony in the downstream migration of smolts and upstream migration of adult Atlantic salmon in the subarctic River Utsjoki. *Journal of Fish Biology*, 71,1735-1750.

Poirel, A., Carrel, G., Olivier J.M. 2001. Illustration de la complémentarité des chroniques environnementales dans l'étude d'un hydrosystème fluvial : régime thermique et peuplements piscicoles du Rhône. Actes du colloque « Gestion des fleuves », juin 2001, Lyon.

Poitrineau A., 1985. La Loire, les peuples du fleuve. Ed. Horvath, 151-163.

Prouzet P, Martinet JP, Badia J, 1994. Caractérisation biologique et variation des captures d grande Alose (*Alosa alosa* L.) par unité d'effort sur le fleuve Adour. *Aquatic Living Resources*, 7,1-16.

Thiel R, Sepuvela A, Oesmann S, 1996. Occurrence and distribution of twaite shad (*Alosa fallax* Lacépède) in the lower Elbe River, Germany. In *Conservation of Endangered freshwater fish in Europe*. A Kirchofer, D Hefti (eds), Birkhauser Verlag, Basel, 157-170.

Vollestad L.A., B. Jonsson, N.A. Hvidsten & T.F. Naesje. 1994: Experimental test of environmental factors influencing the seaward migration of European silver eels. *Journal of Fish Biology*, 45 : 641-651.

Wolter C. 2007. Temperature influence on the fish assemblage structure in a large lowland river, the lower Oder River, Germany. *Ecology of Freshwater Fish*, 16, 493-503.

Annexes

Annexe 1 : Valeurs des captures et efforts pour les zones aval et amont de la Vienne

ANNEE	Aval				Amont			
	NB pêcheries	NB jours de pêche	NB grdes aloses	Effort (heures)	NB pêcheries	NB jours de pêche	NB grdes aloses	Effort (heures)
1984	1	19	28	238	2	53	695	982
1985	1	10	26	108	1	77	133	174
1986	2	58	175	1004	2	26	408	1183
1987	2	42	1131	971	3	36	4461	1466
1988	2	49	1728	891	1	75	1091	192
1989	2	58	718	238	4	37	1389	1423
1990	2	55	187	843	3	18	1457	2456
1991	2	66	194	948	4	19	899	2818
1992	2	68	273	1122	4	36	1645	1881
1993	2	59	302	853	4	21	1057	1814
1994	1	19	13	190	3	70	18	473
1995	1	9	5	84	1	68	41	114
1996	2	44	182	493	3	57	196	800
1997	1	53	24	513	2	35	214	740
1998	1	6	9	70	2	57	108	614
1999	1	17	345	197	1	70	272	330
2000	0	0			1	53	312	482
2001	0	0			1	57	191	397
2002	1	46	1673	499	1	62	866	141
2003	1	41	1871	368	1	49	1271	183
2004	0	0			1	67	259	176
2005	1	31	428	165	1	76	11	94
2006	1	33	593	219	1	45	216	390
2007	1	29	1712	240	1	54	265	77
2008	1	10	35	56	0	0		
2009	1	50	1310	355	1	62	44	189
2010	1	38	144	245	1	71	331	132

Annexe 2 : Valeurs de l'indice d'abondance des aloses et écart-types à l'amont et à l'aval de la Vienne

	aval	aval écart type	amont	amont écart type
1984	0,123	0,192	0,441	0,307
1985	0,193	0,207	0,438	0,480
1986	0,124	0,250	0,188	0,178
1987	0,325	0,323	0,952	0,751
1988	0,740	0,618	1,500	0,959
1989	0,296	0,262	0,547	0,455
1990	0,170	0,277	0,333	0,435
1991	0,106	0,164	0,221	0,354
1992	0,143	0,265	0,440	0,382
1993	0,150	0,253	0,226	0,291
1994	0,055	0,081	0,054	0,090
1995	0,048	0,062	0,124	0,157
1996	0,239	0,343	0,187	0,232
1997	0,044	0,085	0,170	0,179
1998	0,119	0,134	0,034	0,036
1999	0,971	0,310	0,555	0,313
2000			0,427	0,359
2001			0,314	0,320
2002	1,215	0,642	1,850	1,004
2003	1,206	0,937	1,978	0,666
2004			0,762	0,527
2005	0,976	0,709	0,106	0,178
2006	1,131	0,505	0,302	0,394
2007	1,701	0,858	1,521	0,895
2008	0,405	0,378		
2009	0,964	0,930	0,176	0,322
2010	0,302	0,388	0,709	0,905

Annexe 3 : Valeurs de l'indice d'abondance des cohortes d'aloses à l'amont et à l'aval de la Vienne

cohorte	aval	amont
1980	0,0566	0,1416
1981	0,1761	0,3693
1982	0,2181	0,4731
1983	0,8823	1,9922
1984	0,2292	0,4438
1985	0,1704	0,3304
1986	0,0970	0,2102
1987	0,0892	0,2259
1988	0,1948	0,4017
1989	0,0729	0,1090
1990	0,0357	0,0650
1991	0,0798	0,1050
1992	0,1853	0,2060
1993	0,1555	0,1198
1994	0,5954	0,3332
1995	0,3771	0,3109
1996	0,0134	0,4062
1997	0,3137	0,6256
1998	1,2899	2,0049
1999	0,9897	1,5124
2000	0,4848	0,3932
2001	0,9758	0,2563
2002	1,6292	0,9664
2003	0,9394	0,7553
2004	0,3620	0,1190

Annexe 4: Valeurs des coefficients de corrélation (rs) entre variables thermiques et hydrologiques pour les 2 périodes (en gras : corrélation significative)

Période 1

	Débit moyen annuel	Coef. De variation des débits	Débit moyen 10°C<T<18°C	Variations journalière moy. du débit	C90	C95	C99	N°1erj C90	N°1erj C95	N°1erj C99
Montjean										
Température moyen	-0,475	0,363	-0,420	0,035	-0,358	-0,291	-0,265	-0,159	-0,177	-0,310
Thermicité	-0,475	0,363	-0,420	0,035	-0,358	-0,291	-0,265	-0,159	-0,177	-0,310
NB °J	-0,493	0,425	-0,444	-0,029	-0,353	-0,298	-0,273	-0,153	-0,191	-0,274
NB jour T>10°C	-0,357	0,397	-0,259	0,113	-0,247	-0,211	-0,178	-0,128	-0,028	-0,159
N° jour T>10°C	0,297	-0,447	0,201	-0,133	0,185	0,152	0,129	0,137	0,044	0,204
NB jour T>18°C	-0,368	0,333	-0,272	0,217	-0,284	-0,230	-0,213	0,094	0,066	0,009
N° jour T>18°C	0,215	-0,304	0,157	-0,117	0,136	0,124	0,093	0,044	-0,067	0,041
NB °J T>18°C	-0,385	0,320	-0,280	0,201	-0,299	-0,253	-0,237	0,083	0,055	0,000
NB jour 10°C< T<18°C	-0,065	0,162	-0,041	-0,073	-0,016	-0,025	0,005	-0,258	-0,081	-0,200
NB °J 10°C< T<18°C	-0,126	0,092	-0,166	-0,193	-0,083	-0,083	-0,044	-0,370	-0,178	-0,330
Nouatre										
Température moyen	-0,319	0,327	-0,254	0,032	-0,232	-0,216	-0,038	-0,052	-0,007	0,051
Thermicité	-0,319	0,327	-0,254	0,032	-0,232	-0,216	-0,038	-0,052	-0,007	0,051
NB °J	-0,363	0,363	-0,302	-0,032	-0,271	-0,250	-0,079	-0,055	-0,055	0,080
NB jour T>10°C	-0,289	0,399	-0,163	0,091	-0,245	-0,205	-0,017	-0,118	-0,029	0,107
N° jour T>10°C	0,248	-0,456	0,130	-0,123	0,214	0,192	-0,054	0,171	0,038	-0,097
NB jour T>18°C	-0,240	0,312	-0,128	0,188	-0,154	-0,148	-0,032	0,155	0,007	0,060
N° jour T>18°C	0,151	-0,143	0,081	-0,132	0,043	0,071	0,081	0,060	0,132	0,061
NB °J T>18°C	-0,268	0,286	-0,147	0,182	-0,186	-0,179	-0,068	0,140	0,008	0,063
NB jour 10°C< T<18°C	-0,109	0,197	-0,062	-0,074	-0,142	-0,094	0,031	-0,311	-0,025	0,090
NB °J 10°C< T<18°C	-0,156	0,106	-0,182	-0,183	-0,182	-0,144	-0,021	-0,366	-0,068	0,063
Moulins										
Température moyen	-0,609	-0,030	-0,582	-0,026	-0,557	-0,569	-0,524	-0,307	-0,430	-0,387
Thermicité	-0,609	-0,030	-0,582	-0,026	-0,557	-0,569	-0,524	-0,307	-0,430	-0,387
NB °J	-0,642	0,016	-0,618	-0,102	-0,595	-0,582	-0,505	-0,306	-0,469	-0,511
NB jour T>10°C	-0,436	-0,012	-0,386	-0,088	-0,441	-0,440	-0,336	-0,300	-0,402	-0,431
N° jour T>10°C	0,387	0,012	0,332	0,043	0,374	0,402	0,308	0,271	0,389	0,431
NB jour T>18°C	-0,515	0,110	-0,455	0,057	-0,445	-0,426	-0,378	-0,129	-0,263	-0,266
N° jour T>18°C	0,331	-0,085	0,288	0,091	0,301	0,268	0,274	0,248	0,397	0,277
NB °J T>18°C	-0,527	0,113	-0,458	0,028	-0,458	-0,437	-0,386	-0,146	-0,278	-0,276
NB jour 10°C< T<18°C	-0,017	-0,127	-0,015	-0,174	-0,099	-0,116	-0,034	-0,263	-0,248	-0,287
NB °J 10°C< T<18°C	-0,066	-0,239	-0,101	-0,232	-0,160	-0,186	-0,132	-0,325	-0,298	-0,331
Nevers										
Température moyen	-0,586	0,299	-0,558	-0,001	-0,508	-0,525	-0,395	-0,284	-0,570	-0,311
Thermicité	-0,586	0,299	-0,558	-0,001	-0,508	-0,525	-0,395	-0,284	-0,570	-0,311
NB °J	-0,608	0,372	-0,582	-0,053	-0,522	-0,523	-0,381	-0,275	-0,547	-0,273
NB jour T>10°C	-0,431	0,351	-0,388	0,010	-0,379	-0,370	-0,243	-0,253	-0,462	-0,169
N° jour T>10°C	0,356	-0,367	0,307	-0,047	0,302	0,304	0,183	0,271	0,496	0,213
NB jour T>18°C	-0,472	0,411	-0,425	0,121	-0,385	-0,378	-0,226	-0,091	-0,364	0,016
N° jour T>18°C	0,291	-0,339	0,261	-0,022	0,204	0,218	0,120	0,188	0,365	0,035
NB °J T>18°C	-0,486	0,404	-0,428	0,106	-0,393	-0,387	-0,240	-0,097	-0,369	0,008
NB jour 10°C< T<18°C	-0,058	0,027	-0,051	-0,111	-0,083	-0,077	-0,073	-0,228	-0,215	-0,220
NB °J 10°C< T<18°C	-0,118	-0,095	-0,140	-0,228	-0,159	-0,165	-0,172	-0,295	-0,246	-0,351
Blois										
Température moyen	-0,552	0,304	-0,529	-0,017	-0,509	-0,487	-0,392	-0,107	-0,305	-0,455
Thermicité	-0,552	0,304	-0,529	-0,017	-0,509	-0,487	-0,392	-0,107	-0,305	-0,455
NB °J	-0,593	0,400	-0,573	-0,064	-0,531	-0,494	-0,380	-0,131	-0,329	-0,437
NB jour T>10°C	-0,411	0,388	-0,372	0,027	-0,369	-0,339	-0,221	-0,131	-0,228	-0,303
N° jour T>10°C	0,342	-0,393	0,295	-0,075	0,297	0,273	0,177	0,107	0,264	0,300
NB jour T>18°C	-0,452	0,388	-0,398	0,196	-0,410	-0,342	-0,227	0,123	0,038	-0,183
N° jour T>18°C	0,246	-0,294	0,212	-0,026	0,221	0,156	0,097	0,060	0,028	0,283
NB °J T>18°C	-0,467	0,384	-0,402	0,164	-0,421	-0,354	-0,243	0,106	0,013	-0,197
NB jour 10°C< T<18°C	-0,050	0,093	-0,056	-0,166	-0,041	-0,075	-0,039	-0,298	-0,323	-0,195
NB °J 10°C< T<18°C	-0,099	-0,037	-0,147	-0,317	-0,100	-0,163	-0,144	-0,426	-0,434	-0,314

Période 2

		Débit moyen annuel	Coef. De variation des débits
Montjean	Variables		
	Température moyenne	-0,549	-0,244
	Thermicité	-0,549	-0,244
	NB jour T>18°C	-0,483	-0,127
	N° jour T>18°C	0,452	0,161
	NB °J T>18°C	-0,543	-0,189
	NB jour 10°C< T<18°C	0,493	0,104
	NB °J 10°C< T<18°C	0,492	0,099
	NB °J	-0,556	-0,252
Nouatre	Variables	Débit moyen annuel	Coef. De variation des débits
	Température moyenne	-0,423	-0,171
	Thermicité	-0,423	-0,171
	NB jour T>18°C	-0,305	-0,079
	N° jour T>18°C	0,542	0,253
	NB °J T>18°C	-0,381	-0,128
	NB jour 10°C< T<18°C	0,331	0,085
	NB °J 10°C< T<18°C	0,336	0,084
	NB °J	-0,426	-0,176
Moulins	Variables	Débit moyen annuel	Coef. De variation des débits
	Température moyenne	-0,533	-0,166
	Thermicité	-0,533	-0,166
	NB jour T>18°C	-0,483	-0,189
	N° jour T>18°C	0,288	0,122
	NB °J T>18°C	-0,535	-0,190
	NB jour 10°C< T<18°C	0,479	0,204
	NB °J 10°C< T<18°C	0,477	0,200
	NB °J	-0,540	-0,175
Nevers	Variables	Débit moyen annuel	Coef. De variation des débits
	Température moyenne	-0,601	-0,176
	Thermicité	-0,601	-0,176
	NB jour T>18°C	-0,655	-0,164
	N° jour T>18°C	0,534	0,201
	NB °J T>18°C	-0,668	-0,176
	NB jour 10°C< T<18°C	0,670	0,168
	NB °J 10°C< T<18°C	0,667	0,159
	NB °J	-0,609	-0,183
Blois	Variables	Débit moyen annuel	Coef. De variation des débits
	Température moyenne	-0,594	0,059
	Thermicité	-0,594	0,059
	NB jour T>18°C	-0,594	0,071
	N° jour T>18°C	0,420	-0,006
	NB °J T>18°C	-0,628	0,069
	NB jour 10°C< T<18°C	0,593	-0,064
	NB °J 10°C< T<18°C	0,588	-0,069
	NB °J	-0,601	0,051