



M Bodin

ALOSA2012-2013

SUIVI DES ALOSES EN LOIRE MOYENNE ET APPROCHE DE LA PREDATION PAR LE SILURE

C BOISNEAU

Université de Tours

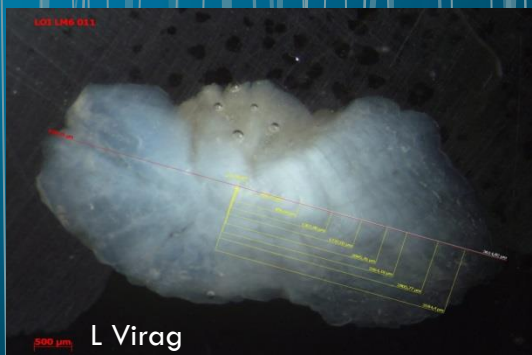
CITERES IPAPE



C Boisneau



V Chevallier



L Virag

ALOSA 2012-2013

SUIVI DES ALOSES EN LOIRE MOYENNE ET

APPROCHE DE LA PREDATION PAR LE SILURE

Catherine Boisneau

*Université de Tours, CITERES IPAPE, Parc de Grandmont

Mai 2015

Catherine Boisneau, 2015. ALOSA 2012-2013, Suivi des aloses en Loire moyenne et approche de la prédation par le silure. Rapport de l'université de Tours, 91 p.

Cette étude a été réalisée par l'université de Tours, Laboratoire CITERES, équipe IPAPE, 11 Allée F. de Lesseps, 37200 TOURS.

La direction a été assurée par Catherine Boisneau (Maître de conférences à l'Université de Tours) avec la collaboration de l'Association Agréée Interdépartementale des Pêcheurs Professionnels du bassin de la Loire et des cours d'eau Breton AAIPPBLB, du Muséum National d'Histoire naturelle, station de Dinard, du Muséum de la ville d'Orléans, des universités de Liège et de Konstanz.

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

Résumé

Les deux années, 2012-2013 ont présenté des conditions hydrologiques et de circulation des végétaux qui n'ont pas permis une mise en place durable des filets barrages. Aussi, les échantillonnages des adultes d'aloses ont été conduits à partir de pêches au filet dérivant. Les individus ainsi collectés sont majoritairement des femelles dont la taille et le poids augmentent avec l'âge.

Les alosons ont été échantillonnés en quantité très importante en 2013 mais leur présence a été constatée tard en saison, vers la fin août. Ces poissons sont des juvéniles de grande alose. Leurs habitats de transition, lors de leur migration de dévalaison, étaient des chenaux en bordure de perré, assez homogènes quant à la profondeur, la granularité et la vitesse de courant.

Lors de cette étude, 274 silures ont été capturés, de l'amont de Nantes à Sancerre. Tous ces individus ont été mesurés, pesés et sexés, leurs estomacs ont été prélevés et des morceaux de nageoire préparés pour des analyses isotopiques.

L'estimation de l'âge des silures a été réalisée par otolithométrie et analyse des vertèbres. Celle-ci montre une bonne corrélation entre taille et âge avec cependant de grosses variabilités de taille pour une même valeur d'âge. L'attribution d'âge est tout à fait possible à partir des otolithes et montre que les silures peuvent atteindre des âges très élevés, par rapport aux autres espèces de poissons, jusqu'à 18 ans. La croissance en longueur est forte jusqu'à 50 cm. Au-delà de cette taille, la croissance pondérale est forte et les poissons de la Loire ont une croissance supérieure à ceux de la Garonne.

Des analyses de contenus stomacaux ont été conduites sur 274 individus. L'indice de remplissage est de 17 %. Les observations faites dans cette étude quant à l'alimentation du silure, tant de manière globale que pour chacune des classes de taille, confortent les résultats obtenus antérieurement sur d'autres écosystèmes aquatiques. Le silure est majoritairement piscivore, opportuniste mais ne dédaigne pas des oiseaux ou des mammifères. Les poissons migrateurs anadromes constituent une grande part de la biomasse consommée en parcours libre. Les analyses isotopiques confortent ces résultats. Le positionnement des silures varie avec leur taille, plus ils sont grands plus ils se rapprochent des poissons migrateurs anadromes pour les concentrations en isotopes de carbone et de soufre.

Cette consommation importante de poissons migrateurs en période printanière montre la grande plasticité et la grande opportunité alimentaire de cette espèce et n'est pas sans poser question quant à l'impact de cette espèce sur la communauté de poissons migrateurs ligériens. En effet, ceux-ci sont consommés au droit des barrages mais également en l'absence de tout obstacle. Même si il n'est pas possible actuellement d'évaluer les densités de silures dans un grand cours d'eau comme la Loire et donc une pression de prédation sur les espèces migratrices amphihalines, cette pression existe néanmoins.

Mots clefs : Aloses, silure, migration, âge, alimentation, habitat, isotopie des protéines, Loire

Remerciements

Ce travail est le fruit d'une longue et étroite collaboration entre 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, l'Agence de l'eau Loire Bretagne, l'Etablissement Public Loire et les fonds FEDER,

Les pêcheurs au filet barrage qui participent à la fourniture régulière des données et Robert Guillod pour le temps passé à la caractérisation des habitats des alosons,

Les techniciens de l'AAIPPBLB pour leur assiduité dans les mesures biométriques, tout particulièrement Mathieu Bodin et Nicolas Bonnet pour son adresse lors des extractions d'otolithes,

Les collègues des différentes institutions, Muséum National d'Histoire naturelle, station de Dinard, le Muséum de la ville d'Orléans, les universités de Liège et de Konstanz, qui ont chacun participé à l'une des parties de ce travail, tout particulièrement Laure Virag pour sa patience pour le travail sur les otolithes et les vertèbres de silure et Nicolas Belhamiti, chargé d'étude de l'AADPPMFEDLA qui a organisé la récolte des données sur la Loire en aval de la Vienne et traité la partie biométrie,

Les plongeurs adhérents de la FFESSM (Fédération française d'études et de sport sous-marin) pour leur participation au protocole de recensement des silures dans le Cher et dans la Vienne et tout particulièrement le club d'Amboise, ACA plongée ainsi qu'A Proust pour sa fourniture de silure de Loire.

Table des matières

1. Contexte et objectifs	8
2. Suivi des adultes en migration de montaison	11
2.1. Localisation des pêcheries d'étude	11
2.2. Caractéristiques des engins de pêche	12
2.3. Données recueillies	14
2.4. Résultats	16
2.4.1. Les conditions hydrologiques en 2012 et 2013	16
2.4.2. Calendriers de captures en 2012 et 2013	17
2.4.3. Caractérisation des adultes échantillonnés en 2012 et 2013	19
3. Suivi des juvéniles en migration de dévalaison	21
3.1. Site d'étude	21
3.2. Matériels et méthodes	21
3.2.1. Protocole d'échantillonnage	21
3.2.2. Mesures biométriques	23
3.2.3. Caractérisation des habitats	24
3.3. Résultats 2012 et 2013	24
3.3.1. Conditions hydrologiques	24
3.3.2. Calendrier d'échantillonnage	25
3.3.3. Caractéristiques des juvéniles	26
3.3.4. Caractéristiques des habitats de transition	28
4. Approche de la prédation exercée par le silure	31
4.1. Rappel des objectifs, mise en contexte avec l'étude réalisée en Basse Loire par l'AADPPMFEDLA	31
4.2. Localisation des sites d'étude	32
4.3. Matériel et méthodes	33
4.3.1. Protocole d'échantillonnage des silures	33
4.3.2. Données biométriques	34
4.3.3. Place dans le réseau trophique	35
4.3.4. Approche d'une estimation des densités de silures en milieu naturel	43
4.3.5. Traitements statistiques des données	45
4.4. Résultats	45
4.4.1. Synthèse des mesures et prélèvements effectués	45
4.4.2. Conditions hydrologiques et thermiques	46
4.4.3. Calendrier d'échantillonnage	48
4.4.4. Caractéristiques biométriques et âge	50
4.4.5. Alimentation et place dans le réseau trophique	57
4.4.6. Approche d'une estimation des densités en milieu naturel	71
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	82
ANNEXES	85

Liste des figures, tableaux et annexes

Figures

Figure 1 Localisation des pêcheries suivies	11
Figure 2 Filet barrage en Loire moyenne.....	13
Figure 3 Localisation de la zone de prélèvement d'écaillés des géniteurs d'alose.....	15
Figure 4 Écaille de grande alose (<i>Alosa alosa</i>) (source : C. Boisneau).....	15
Figure 5 Comparaison entre les débits printaniers 2012 et 2013 et les moyennes interannuelles à la station de Blois (Source : Banque Hydro RNDE).....	17
Figure 6 CPUE quotidiennes exprimées en % de la plus forte CPUE pour chaque filet-barrage en 2012 et 2013 (Lots K6 et H3)	17
Figure 7 CPUE quotidiennes exprimée en % de la plus forte CPUE pour le filet dérivant en 2012 et 2013 (Lot H2)	18
Figure 8 LF, Pt et K des grandes aloses femelles en 2012 et 2013.....	20
Figure 9 Localisation du site d'échantillonnage des alosons.....	21
Figure 10 Débits moyens mensuels de la Loire à Blois pour l'année 2011 (en bleu) et débit moyen mensuel interannuel sur 18 ans (source : Banque Hydro RNDE)	25
Figure 11 Débits quotidiens de la Loire à Blois du 1 juin au 30 octobre 2012 et dates de capture des alosons (points rouges) (source : banque Hydro)	26
Figure 12 Débits quotidiens de la Loire à Onzain du 1 juin au 30 octobre 2013 et dates de capture des alosons (points rouges) (source : banque Hydro)	26
Figure 13 Distribution des branchiospines en fonction de la taille chez les alosons en 2013	27
Figure 14 Lien entre la taille et la masse des alosons en 2013	27
Figure 15 Sites d'échantillonnage des alosons en 2013, localisation des transects (segments rouges) (Source Google Earth)	29
Figure 16 Granularité des habitats de transition fréquentés par les alosons en 2013, Beaugency= aval, Baule = amont	29
Figure 17 Bathymétrie des sites de transition des alosons en 2013 dans la Loire (45)	30
Figure 18 Localisation des sites d'échantillonnage des silures, en 2013, pour la basse Loire (aval confluence Loire-Vienne) et la Loire Moyenne (amont confluence Loire-Vienne).....	32
Figure 19 Schéma d'un verveux et exemple de relève d'un verveux contenant un silure	34
Figure 20 Critères de sexage pour le silure (source EPIDOR)	35
Figure 21 Ouverture des estomacs de silure pour la recherche de pièces osseuses diagnostic, ici la colonne vertébrale d'un saumon, source R Rosoux Muséum d'Orléans.....	36
Figure 22 Prélèvement de nageoire pour l'analyse isotopique (source : ONEMA).....	40
Figure 23 Echantillon réduit en poudre dans son tube neuf	41
Figure 24 Schéma du mode de prospection du cours d'eau pour estimation des densités de silure	44
Figure 25 Débit de la Loire à Langeais en 2013 et débit moyen interannuel (1994-2013) (source banque Hydro, station de Langeais)	47
Figure 26 Températures printanières moyennes de la Loire sur la station amont de la centrale nucléaire d'Avoine (source : EDF)	48
Figure 27 Distribution des silures capturés en Loire en fonction de leurs tailles et de leurs poids (fréquences)	51
Figure 28 Coefficients de condition de Fulton (fréquences) des silures capturés en Loire	51
Figure 29 Distributions des tailles des silures mâles, femelles et indéterminés.....	53

Figure 30 Relation taille-poids des silures échantillonnés en Loire Moyenne,	53
Figure 31 Relation taille-poids des silures échantillonnés en Loire	54
Figure 32 Relations taille-masse pour les silures sexés en Loire	55
Figure 33 Otolithe de silure préparé avec mensuration du diamètre, des rayons correspondant aux différents âges (Source : L Virag MNHN)	56
Figure 34 Comparaison de l'âge estimé de 23 silures via les otolithes et les vertèbres	56
Figure 35 Relation taille-âge estimée pour 58 silures échantillonnés en Loire.....	57
Figure 36 Fréquences des tailles de l'ensemble des silures et de ceux ayant un estomac contenant des proies.....	58
Figure 37 Ratio du nombre de silures ayant un estomac plein/ensemble des silures en fonction de leur date de capture	59
Figure 38 Types de proies consommées par le silure. De gauche à droite, alose, ablettes et grèbe huppé, gardon et corbicules, saumon atlantique.....	60
Figure 39 Occurrences relatives des types de proies consommées par l'ensemble des silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47).....	60
Figure 40 Abondances relatives des types de proies consommées par l'ensemble des silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47).....	60
Figure 41 Biomasses relatives des types de proies consommées par l'ensemble des silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47).....	61
Figure 42 Biomasses relatives des différents taxons proies pour les 5 classes de taille de silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)	63
Figure 43 Ratio de biomasse (biomasse de proies/biomasse de silure) pour les 5 classes de taille de silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)	64
Figure 44 Biomasses moyennes de proies pour les 5 classes de taille de silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47).....	64
Figure 45 Fréquences des tailles de l'ensemble des silures (N=264, total) et de ceux utilisés pour les analyses isotopiques (N=125).....	66
Figure 46 Fréquence de distributions temporelles des silures utilisés pour les analyses isotopiques.....	66
Figure 47 Caractérisation des compositions isotopiques des silures en fonction du secteur de capture en Loire : BL = basse Loire, LM = Loire moyenne.	67
Figure 48 Biplots des compositions isotopiques des silures selon les saisons	67
Figure 49 Caractérisation des compositions isotopiques des silures selon les classes de taille	68
Figure 50 Biplots des valeurs des compositions isotopiques des silures et des proies, ANA = poissons migrateurs anadromes, CAT = poissons migrateurs catadromes = mullets, DUL = poissons holobiotiques d'eau douce.....	70
Figure 51 Opération d'estimation des densités de silure dans le milieu naturel, le Cher à St Georges sur Cher (sources : C Boisneau, C Rives, V Chevalier).....	71
Figure 52 Relations taille- masse chez le silure dans différents bassins versants	75
Figure 53 Relations entre la taille et l'âge chez le silure dans différents bassins versants	77

Tableaux

Tableau 1 Conditions d'attribution ou de non attribution d'un âge chez <i>A. alosa</i>	15
Tableau 2 Dates de pêche au filet-barrage et de captures d'aloses	18
Tableau 3 Risque d'erreur (R) d'attribution d'un âge, synthèse des années 2012 et 2013....	19
Tableau 4 Calendrier d'échantillonnage à la senne des juvéniles d'aloses (2012 et 2013) ...	25
Tableau 5 Caractéristiques de taille (LF), masse (PT) et nombre de branchiospines(BR) des alosons échantillonnés en 2013.	27
Tableau 6 Caractéristiques physiques des habitats de transition des alosons échantillonnés en 2013.	29
Tableau 7 Pourcentage d'abondance des isotopes stables les plus répandus pour le Carbone, l'Azote et le Soufre (Fry, 2006)	38
Tableau 8 Standards internationaux utilisés pour le calcul des valeurs de delta du carbone, de l'azote et du soufre (Tcherkez, 2010).	39
Tableau 9 Gammes de taille et nombre d'individus de silures pour lesquels un échantillon de nageoires est utilisable pour les analyses isotopiques de la Loire moyenne.....	41
Tableau 10 Liste et nombre des espèces proies retenues pour l'analyse des isotopes stables	42
Tableau 11 Fiche de collecte des données lors de la prospection subaquatique	45
Tableau 12 Observations et prélèvements effectuées sur les silures en Loire Moyenne	46
Tableau 13 Effectifs et mois de captures des Silures en Basse Loire (BL) et en Loire Moyenne (LM)	48
Tableau 14 Effectifs et outils de captures des Silures en Basse Loire (BL) et en Loire Moyenne (LM)	48
Tableau 15 Type d'outil de capture et caractéristiques de taille des silures échantillonnés pour la Basse Loire et la Loire moyenne (échantillons d'effectifs ≥ 14 individus)	49
Tableau 16 Saisonnalité des outils d'échantillonnage et nombre de poissons capturés	50
Tableau 17 Proportions de silures sexés pour les différents échantillonnages.....	52
Tableau 18 Estimation de la masse d'un silure en fonction de sa taille en Loire	54
Tableau 19 Caractéristiques des classes de taille de silure et de leurs proies (N silures=47)	61
Tableau 20 Distribution en classes de taille des silures utilisés pour les analyses isotopiques en basse Loire et en Loire moyenne	65
Tableau 21 Distribution selon la période d'échantillonnage des silures utilisés pour les analyses isotopiques en basse Loire et en Loire moyenne	65
Tableau 22 Variables isotopiques des différentes catégories de proies des silures en Loire et C/N. Les valeurs entre () sont les écart-types.....	69
Tableau 23 Localisation des sites où ont été estimées des densités de silure dans le milieu naturel et densités observées.....	72
Tableau 24 Tableau caractéristiques des relations taille-masse des silures selon différentes études. NS = non significatif, ***, différence significative $p < 0.01$	76

Annexes

Annexe 1	85
Annexe 2	86
Annexe 3	90
Annexe 4	91

1. Contexte et objectifs

Le bassin de la Loire compte diverses espèces de poissons migrateurs anadromes, saumon atlantique, aloses grandes et feintes, lamproies marines et fluviatiles, truite de mer, toutes espèces patrimoniales, qui sont le support de différents types de prélèvement par pêche, de loisirs, amateurs ou professionnelles, à l'exception du saumon atlantique et de la truite de mer pour lesquels toute pêche est interdite. Toutes ces espèces ont vu leurs effectifs se réduire depuis le milieu du 19^e siècle avec des vitesses et sur des linéaires de cours d'eau variables, liés à leurs traits d'histoire de vie et à l'histoire des usages dans les différents bassins versants.

Devant ces situations de décroissance, depuis le début des années 1980, l'état français s'est doté de plusieurs outils afin de ralentir ou inverser ces tendances. Actuellement, les plans de gestion des poissons migrateurs (Plagepomi) et les SDAGE constituent les principaux outils de gestion de ces espèces et de leurs habitats, fonctionnant à l'échelle des bassins versants. Le Plagepomi saumon, aloses, lamproies et truite de mer du bassin de la Loire et des côtières vendéens, élaboré et adopté par le comité de gestion des poissons migrateurs (Cogepomi) a été approuvé le 31 décembre 2008. Il est piloté par les DREAL de bassin Loire-Bretagne et de la région des Pays de la Loire et comporte dans ses actions la mise en œuvre d'opérations de suivi et de caractérisation du comportement des poissons migrateurs amphihalins au cours de leur cycle de vie dulçaquicole. Le Plan Loire Grandeur Nature 3, avec le Contrat de projet interrégional Loire 2007-2013 et le Programme opérationnel plurirégional Feder Loire 2007-2013, constitue un outil opérationnel et financier de ces opérations. Deux de ses objectifs rejoignent ceux du Plagepomi, celui de la capitalisation, de la mutualisation des données sur le bassin de la Loire et celui d'une démarche d'excellence pour la restauration des poissons migrateurs.

C'est dans ce contexte, écologique et réglementaire, que des opérations d'acquisition de connaissances et de suivi in situ des populations d'aloses sont financées depuis le début du Plan Loire Grandeur Nature. Ces opérations, principalement menées par deux opérateurs, Logrami et l'AAIPPBLB (association agréée interdépartementale des pêcheurs professionnels en eau douce du bassin de la Loire et des cours d'eau bretons) en collaboration avec l'université de Tours, répondent à la mesure 79 du Plagepomi, assurer un suivi spécifique de l'alose au vu de la baisse des effectifs pour proposer des mesures de

gestion adaptées. Différentes phases au cours de leur cycle de vie dulçaquicole sont appréhendées, celles de la migration de montaison des géniteurs via les suivis sur parcours libres et de la dévalaison des juvéniles par l'AAIPPBLB et l'université de Tours, celles de la migration de montaison des géniteurs au niveau de stations de contrôles et de la reproduction par LOGRAMI.

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'alose feinte (*Alosa fallax* Lacépède). La grande alose est la plus abondante sur le bassin de la Loire et celle qui remonte le plus en amont sur le bassin. De par son état de migrateur amphihaline, la grande alose est considérée comme un indicateur du fonctionnement longitudinal d'un bassin versant. En effet, bien que remontant un peu moins haut que le saumon atlantique, elle se distribue sur un plus grand nombre de tributaires. Ses exigences quant au franchissement des ouvrages sont plus grandes que celles du saumon puisqu'elle ne dispose pas d'une résistance à l'effort importante ni de la capacité de sauter. Aussi, le succès de son passage est également la garantie de la libre circulation de nombreuses espèces tant amphihalines qu'holobiotiques.

Lors de leur migration de montaison, les adultes, sur le bassin de la Loire, ne rencontrent pas d'obstacles majeurs avant les barrages de Vichy sur l'Allier, Decize sur la Loire, Descartes sur la Creuse et Châtellerault sur la Vienne. Cependant, en Loire moyenne, divers sites comme des seuils de pont ou des obstacles aménagés avec des passes à poissons constituent des points de ralentissement ou de blocage temporaire. Le blocage peut être dû à des conditions physiques (hydrologiques, thermiques) mais aussi à des conditions biologiques défavorables, parmi celles-ci, la présence en fortes densités de silures.

Le silure glane, *Silurus glanis*, est un poisson originaire d'Europe de l'Est et d'Asie de l'Ouest mais est maintenant établi dans d'autres pays au sud et à l'ouest de son aire d'origine (Elvira 2001). Les introductions en Europe de l'ouest ont été faites pour l'aquaculture et la pêche (Copp et al. 2005) ou encore comme agent de bio-contrôle pour réguler les populations de cyprinidés («top-down control», Wysujack et Mehner, 2005). Elle constitue la quatrième plus grande espèce au monde de poissons d'eau douce et peut atteindre 5 m de long pour plus de 300 kg (Copp et al., 2009, WWF 2012). Ce poisson carnivore, réputé pour être opportuniste d'un point de vue alimentaire, consomme bien souvent une large partie du spectre de la faune du lieu considéré (écrevisses, bivalves, poissons ... ; Bruslé et Quignard 2006). Des travaux très récents de recherche ont montré sa grande plasticité adaptative, il est capable de développer des nouveaux comportements de prédation sur des oiseaux

terrestres comme les pigeons (Cucherousset et al. 2012). Le type de proie prédominant dans son alimentation reflète bien souvent l'espèce de poissons la plus abondante (Orlova & Popova 1987). Une étude des isotopes stables a mis en évidence qu'il ingère principalement des cyprinidés mais que certains individus consomment des migrateurs anadromes quelquefois en grande quantité (Syväranta et al. 2009).

Dans un écosystème, l'introduction et l'établissement d'un prédateur, de taille plus grande que celles des prédateurs autochtones, conduit celui-ci à devenir un nouveau prédateur sommital pour les espèces autochtones (Martino et al. 2011). En France, les adultes de silure peuvent être deux fois plus gros que les prédateurs natifs comme le brochet ($\approx 1\text{m}$) et peuvent donc modifier la taille refuge des proies (taille maximale à laquelle elles peuvent être prédatées). La plupart des espèces migratrices anadromes ont une taille adulte importante (30 cm à 120 cm, toutes espèces confondues, aloses, lamproie marine et saumon), leur concentration en aval des grands barrages ou de points de blocage temporaire conduit à une accumulation de biomasse susceptible de constituer une source de nourriture non négligeable pour ce nouveau top-prédateurs qu'est le silure.

Les enregistrements vidéo au niveau des stations de contrôle sur différents grands axes fluviaux en France, les observations des différentes catégories des usagers pêcheurs et les résultats de premières études réalisées sur la Dordogne, le Lot, la Garonne (Chanseau et al. 2000 ; Dauba et al. 2009 ; Syvaranta et al., 2009 ; Bouletreau et al., 2011 ; Martino et al., 2011 ; Epidor, 2012) ainsi que sur la Loire montrent que les silures consomment des migrateurs amphihalins lors de la migration anadrome et que ceux-ci peuvent constituer plus du tiers des proies consommées (Rosoux, Museum Orléans, comm. pers.). Cette pression de prédation exercée sur des espèces dont les populations ne sont pas toutes dans un bon état n'est pas sans inquiéter les pouvoirs publics, les gestionnaires de passes à poissons (cf compte rendu du groupe de travail silure de l'Onema du 25/10/2012) et certains usagers pêcheurs.

L'objectif de ce travail est double. Il s'agit d'assurer la pérennité du suivi des aloses en Loire moyenne, donc d'obtenir, pour la phase adulte, des indications sur la population migrante d'aloses (espèce, taille, poids, sexe, âge, calendrier de migration) en parcours libre d'obstacle et pour les juvéniles d'acquérir des données sur la période de dévalaison, leurs caractéristiques biologiques et de connaître les habitats fréquentés par ceux-ci lors de cette phase migratoire pour les années 2012 et 2013.

Le second objectif est de tester l'hypothèse selon laquelle les silures consomment des migrateurs amphihalins, en période printanière en parcours libre, en 2013, et d'identifier sa place dans le réseau trophique, ce qui apportera des éléments à la mesure transversale SALT, n 18 du Plagepomi Loire, conforter et améliorer les connaissances sur les espèces et les milieux, impact des prédateurs.

2. Suivi des adultes en migration de montaison

2.1. Localisation des pêcheries d'étude

En 2012 et 2013, les captures printanières des géniteurs d'aloses ont été suivies sur deux pêcheries en Loire moyenne. Sur le cours de la Loire, de l'aval vers l'amont, se trouve tout d'abord le premier filet-barrage, sur les lots K6 et K7, entre les communes de Saint-Mathurin-sur-Loire (département 49) et La Ménitré (département 49). Le deuxième filet-barrage se trouve sur le lot H2 entre Mosnes et Amboise (département 37). En fonction des régimes hydrologiques, cette pêcherie amont utilise également le filet-dérivant sur le lot H2 entre Chaumont-sur-Loire et Veuves (département 41) (Figure 1).

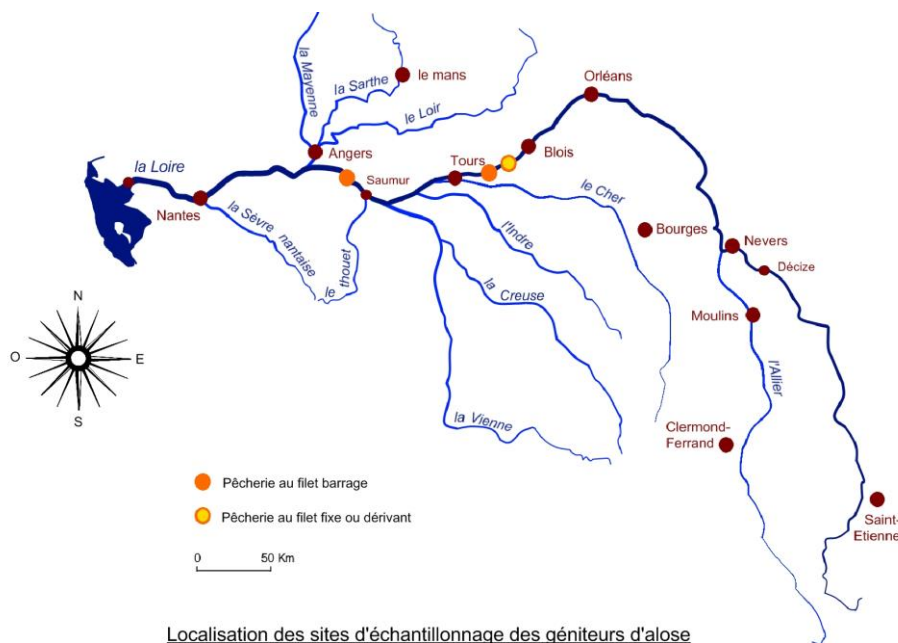


Figure 1 Localisation des pêcheries suivies

2.2. *Caractéristiques des engins de pêche*

Le filet-barrage

Le filet-barrage est composé d'un long filet (ou nappe de 2 à 2,5m de haut pour 100m de long) disposé transversalement au courant (Figure 2). Cette structure est composée de puissants pieux métalliques, appelés pieux d'alignement, ancrés à l'aide de pieux de fond. De longues perches en bois, nommées fourchettes, servent à tendre le filet, ainsi la ralingue basse du filet est maintenue au fond par l'encoche située à la base des fourchettes et le verdon (cordage situé hors d'eau sur la fourchette) sert à attacher la ralingue haute du filet. La nappe du filet est ainsi tendue. **Ce filet ne capture pas de poissons, mais crée un obstacle sensoriel que les aloses cherchent à contourner.**

Le long du filet-barrage, à son aval immédiat, est installée une toue cabanée munie d'un carrelet. La toue est amarrée à deux pieux d'alignement et stabilisée à l'aide de 4 pieux de chevrage. Le carrelet de maille de 40 à 50 mm est situé à l'avant ou sur le côté de la toue. De nombreux fils fins appelés sonnettes sont reliés au carrelet. Ces fils transmettent les touches aux pêcheurs par le biais d'une cordelette. Le pêcheur libère alors un contre poids qui permet un relevage rapide du carrelet.

Le filet-barrage est un système fixe, passif qui, lorsqu'il est utilisé en continu, permet de suivre les 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. Cette technique présente également l'avantage de ne pas sélectionner les aloses par la taille.



Figure 2 Filet barrage en Loire moyenne

Le tramail ou filet emmêlant

Les tramails ou filets emmêlant sont constitués de trois nappes de filets, d'une ralingue flottante et d'une ralingue plombée. Les deux nappes externes sont de mailles très importantes (200 mm à 500 mm). Au centre, la flue, plus haute, est caractérisée par un maillage plus faible (10 mm à 135 mm). Les filets emmêlant sont utilisés soit en dérivant soit posés. Pour employer le filet dérivant, le pêcheur doit au préalable contrôler minutieusement l'absence de croches sur le secteur de dérive. Cette action nécessite du temps et les zones sans accroches restent rares. Leur positionnement, lorsqu'ils sont fixes, doit tenir compte des débris véhiculés par les eaux. Les filets sont généralement placés dans des zones abritées.

Les filets emmêlant dérivants ou fixes sélectionnent les espèces en fonction de leurs lieux et heures d'utilisation. La taille des mailles de la flue sélectionne également la taille des individus capturés. Pour la capture des aloses, des mailles de taille 55 et 65 mm sont utilisées. Cette taille sélectionne les gros individus. Les caractéristiques biométriques des aloses capturées au filet emmêlant ne reflètent donc pas les caractéristiques des géniteurs migrant comme le font les captures au filet barrage. De plus, les captures au filet emmêlant sous-estimeront voire occulteront les aloses feintes et les hybrides.

2.3. Données recueillies

Quel que soit le mode de capture des aloses, chaque pêcheur note au quotidien la présence ou l'absence d'actions de pêche, leur durée ainsi que le nombre de poissons capturés. Le nombre de captures peut ainsi être rapporté à une unité commune d'effort de pêche, la Capture Par Unité d'Effort (CPUE) exprimée ici en nombre d'aloses capturées par heure de travail effectif :

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

Les mesures biométriques ne sont pratiquées que sur les individus faisant l'objet d'un échantillonnage particulier. Les poissons sont identifiés à l'espèce, sexés, pesés ($\pm 10\text{g}$), et mesurés depuis l'extrémité de la tête jusqu'à l'échancrure de la nageoire caudale, longueur à la fourche (mm). L'identification spécifique se fait à partir du comptage des branchiospines (Br.) sur le premier arc branchial gauche.

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

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

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

Le coefficient de condition (K) est un rapport entre la longueur et la masse d'un individu. C'est un indicateur de l'état d'embonpoint d'un individu. Son calcul est le suivant :

$$K = \frac{100 \cdot \text{Masse} \text{ en gramme}}{(\text{Longueur Fourche} / 10)^3 \text{ en millimètre}}$$

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 latérale (Figure 3). Cette zone est commune aux deux espèces, elle est considérée comme optimale pour la lecture d'écailles (cette zone de prélèvement des écailles est plus vaste chez l'alose feinte). Les écailles sont ensuite déposées dans une enveloppe individuelle contenant les caractéristiques de taille, de masse, de sexe et le site de capture.

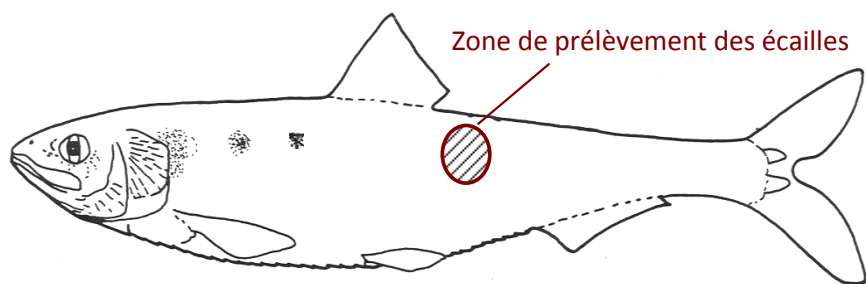
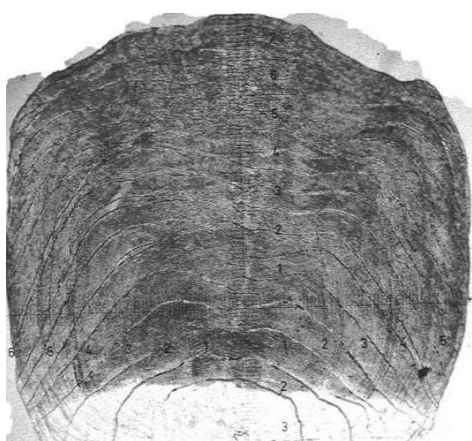


Figure 3 Localisation de la zone de prélèvement d'écailles des géniteurs d'alse

L'attribution de l'âge est faite au moyen d'un lecteur de microfiches 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 4) (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, s'il n'est pas toujours possible d'attribuer un âge à partir des écailles, trois cas se présentent alors (Tableau 1).

Figure 4 Écaille de grande alose (*Alosa alosa*) (source : C. Boisneau)Tableau 1 Conditions d'attribution ou de non attribution d'un âge chez *A. alosa*

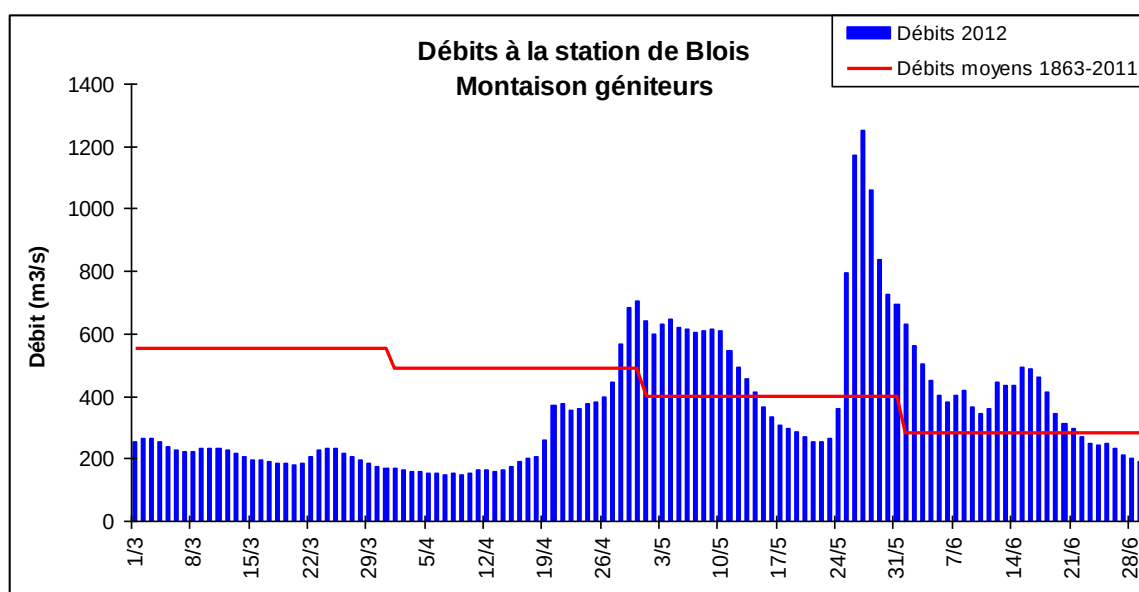
Etat de l'attribution	Condition	Attribution de l'âge
Ecailles entièrement régénérées	-	NON
Hésitation entre 2 classes d'âge	L'individu appartient à une classe de taille pour laquelle la probabilité d'appartenir à une classe d'âge est >0.9	OUI
Hésitation entre 2 classes d'âge	L'individu appartient à une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

2.4. Résultats

2.4.1. Les conditions hydrologiques en 2012 et 2013

En 2012, après des mois de mars et avril présentant des faibles débits, deux crues sont intervenues au début et à la fin du mois de mai (jusqu'à 1250 m³/s à Blois) rendant impossible la pêche au filet-barrage (Figure 5Figure 5). Le mois de juin présente également des débits supérieurs à la moyenne interannuelle. En 2013, les conditions de pêche au filet-barrage étaient encore plus difficiles avec quatre pics de crue entre la mi-mars et la fin mai (jusqu'à 1890 m³/s à Blois), ce qui a contraint la pêcherie amont à n'utiliser que le filet dérivant. Par ailleurs, des masses importantes de végétaux en dérive, algues filamenteuses ou renoncules aquatiques, obstruent très rapidement les mailles du filet barrage et rendent son utilisation plus difficile.



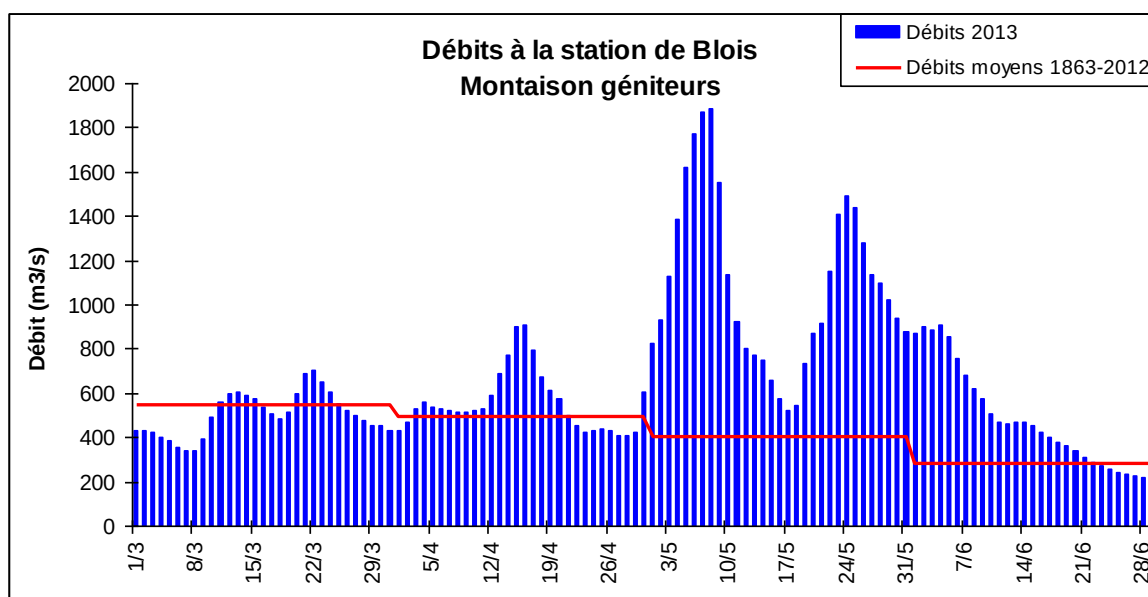


Figure 5 Comparaison entre les débits printaniers 2012 et 2013 et les moyennes interannuelles à la station de Blois (Source : Banque Hydro RNDE)

2.4.2. Calendriers de captures en 2012 et 2013

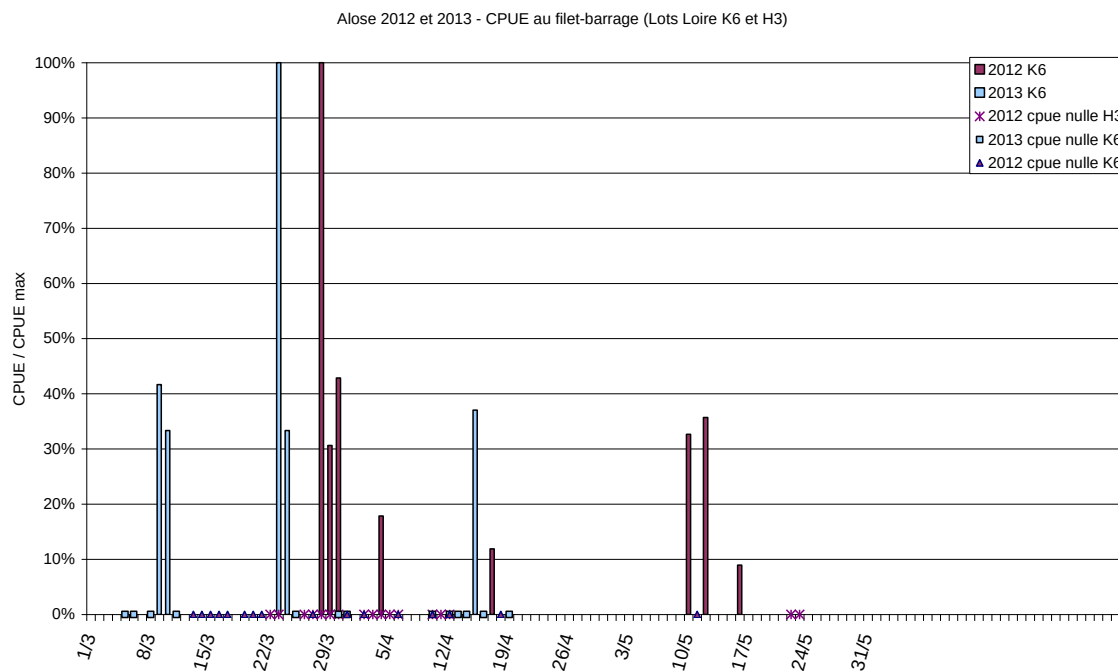


Figure 6 CPUE quotidiennes exprimées en % de la plus forte CPUE pour chaque filet-barrage en 2012 et 2013 (Lots K6 et H3)

Au regard des années précédentes, les saisons de pêche 2012 et 2013 ont été plus mauvaises en captures totales, CPUE moyennes, et avec davantage de journées sans

capture (CPUE nulle) (Figure 6, Tableau 2). Pour la pêcherie aval (Lot K6), 67% des 24 journées d'effort de pêche ont une CPUE nulle en 2012 et 72% en 2013 (pour 18 jours de pêche). Pour la pêcherie amont (Lot H3), compte-tenu des conditions hydrologiques défavorables, le filet-barrage n'a pu être exploité qu'en 2012. Mais malgré 17 journées d'effort de pêche, aucune capture n'a été comptabilisée. En 2013, le filet-barrage amont n'a pu être installé. Par conséquent, la pêcherie amont a utilisé en 2012 et 2013 la technique du filet dérivant (mailles de 65 mm de côté) sur le lot H2 (CPUE quotidiennes exprimée en % de la plus forte CPUE pour le filet dérivant en 2012 et 2013 (Lot H2). Au mois de mai 2013, quelques aloses ont été capturées au tramail fixe de mailles 45mm.

Tableau 2 Dates de pêche au filet-barrage et de captures d'aloses

Filet-barrage K6 et H3	2012		2013	
	Pêcherie aval	Pêcherie amont	Pêcherie aval	Pêcherie amont
Date de début de pêche au filet-barrage	13 mars	22 mars	05 avril	PAS DE PÊCHE EN 2013
Date de première capture d'aloses	28 mars	-	09 avril	
Date de dernière capture d'aloses	16 mai	-	16 mai	
Date de fin de pêche au filet-barrage	16 mai	23 mai	20 mai	
Nb de jours de pêche	24	17	18	
Nb de jours avec CPUE nulle	16 (67%)	17 (100%)	13 (72%)	
Date de CPUE max	28 mars	-	23 avril	

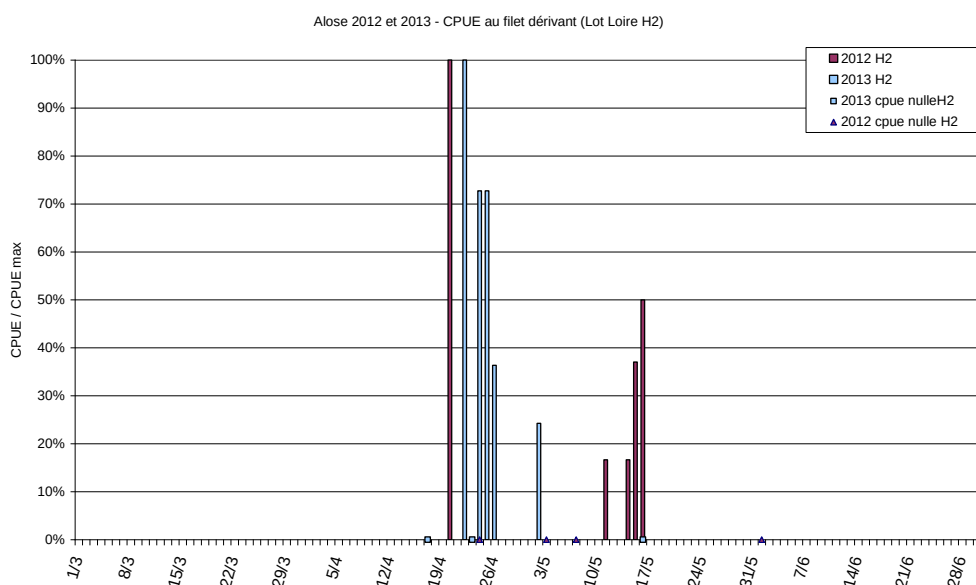


Figure 7 CPUE quotidiennes exprimée en % de la plus forte CPUE pour le filet dérivant en 2012 et 2013 (Lot H2)

2.4.3. Caractérisation des adultes échantillonnés en 2012 et 2013

Compte-tenu des très faibles captures sur le filet-barrage en 2012 et 2013, aucune session d'échantillonnage n'a pu y être organisée. Ainsi, pour les caractéristiques biométriques des géniteurs, nous disposons d'un échantillon d'individus capturés aux filets maillants (dérivant et fixe).

Caractérisation des aloses feintes et hybrides

En 2012, aucune alose hybride ou feinte n'a été échantillonnée. En 2013, 2 aloses feintes mâles et 2 hybrides mâles ont été échantillonnés (annexe 1). Ces poissons sont primipares, et ont tous 4 ans (année de naissance 2009).

Caractérisation des grandes aloses capturées au filet maillant (dérivant et fixe)

La grande alose est l'espèce la plus abondante dans nos échantillons ; elle représente 91.5% des individus, 43 individus sur 47, à raison de 17 individus en 2012 et 26 en 2013.

Attribution de l'âge

L'attribution de l'âge a été réalisée sur l'ensemble des poissons. L'âge d'un individu mâle sur les 7 échantillonnés n'a pu être attribué (14.3% de l'effectif). Chez les femelles, la proportion est moindre puisque l'âge n'a pu être attribué pour 8.3% des individus, pour cause d'écailles régénérées ou dites illisibles.

Tableau 3 Risque d'erreur (R) d'attribution d'un âge, synthèse des années 2012 et 2013

AGE	MALES		FEMELLES	
	N	R	N	R
3	0	-	0	-
4	6	-	3	-
5	1	1,00	18	0,22
6	0	-	11	0,09
7	0	-	1	-
Total	7		33	

Caractéristiques biométriques des individus de grande alose femelle

Pour la suite du travail, les individus pour lesquels il n'a pas été possible d'attribuer un âge ont été écartés, ainsi que les individus mâles dont l'échantillon est trop faible.

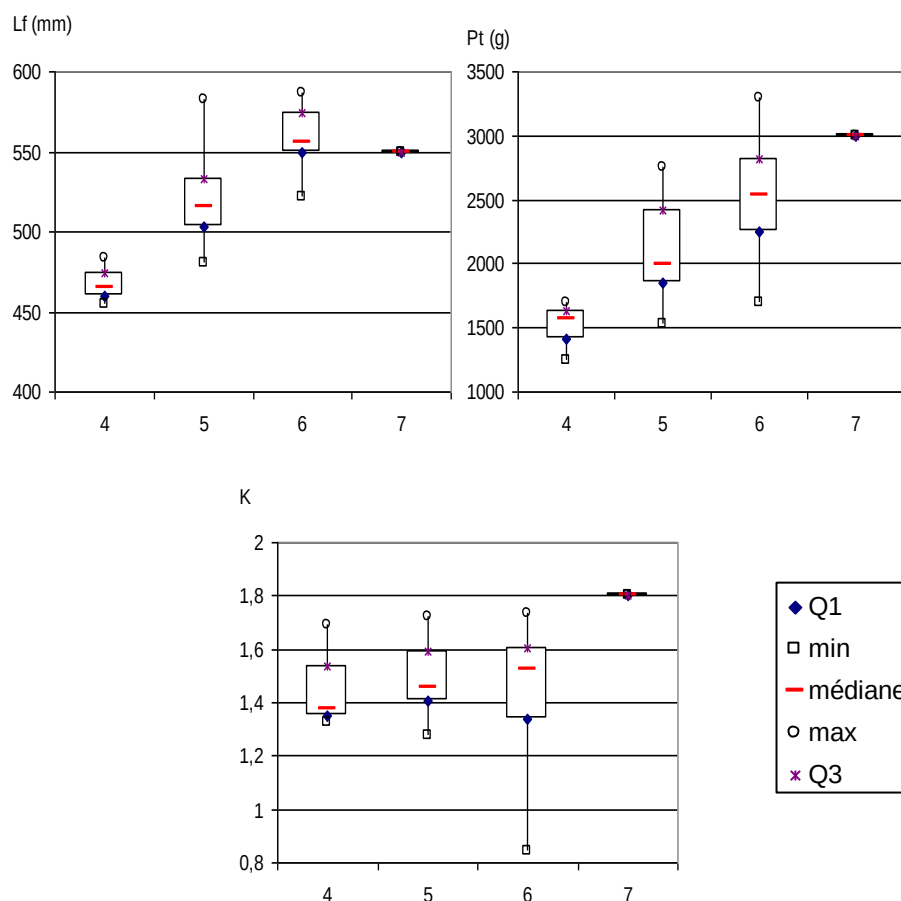


Figure 8 LF, Pt et K des grandes aloses femelles en 2012 et 2013

Classiquement, la taille et le poids augmentent avec l'âge et le coefficient de condition K reste assez homogène. Un individu ressort de l'échantillon avec un très faible embonpoint (Figure 8).

Les deux années, 2012-2013 ont présenté des conditions hydrologiques et de circulation des végétaux qui n'ont pas permis une mise en place durable des filets barrages. L'échantillonnage a donc été perturbé. Néanmoins, les aloses ont été présentes en aval du bec de Vienne entre le 13 mars et le 16 mai en 2012, dates classiques de leur présence. Très peu d'individus ont été échantillonnés et l'ont été au filet dérivant. Leurs caractéristiques ne représentent pas celles des géniteurs échantillonnés au filet barrage, les femelles sont sur échantillonnées et la taille des mailles sélectionnent les gros individus.

3. Suivi des juvéniles en migration de dévalaison

L'objectif de ce travail est d'acquérir, pour cette phase, des données sur la période de dévalaison, sur les caractéristiques biologiques des juvéniles et de connaître les habitats fréquentés par ceux-ci lors de cette phase migratoire.

3.1. Site d'étude

Le site d'étude est situé sur la Loire dans le département d'Indre et Loire, entre Mosnes et Montlouis-sur-Loire, à 250 km à l'aval des zones de frayères de la Loire et de l'Allier (Figure 9.). A ce site s'est ajouté, en 2013 un site dans le Loiret au niveau de Beaugency.

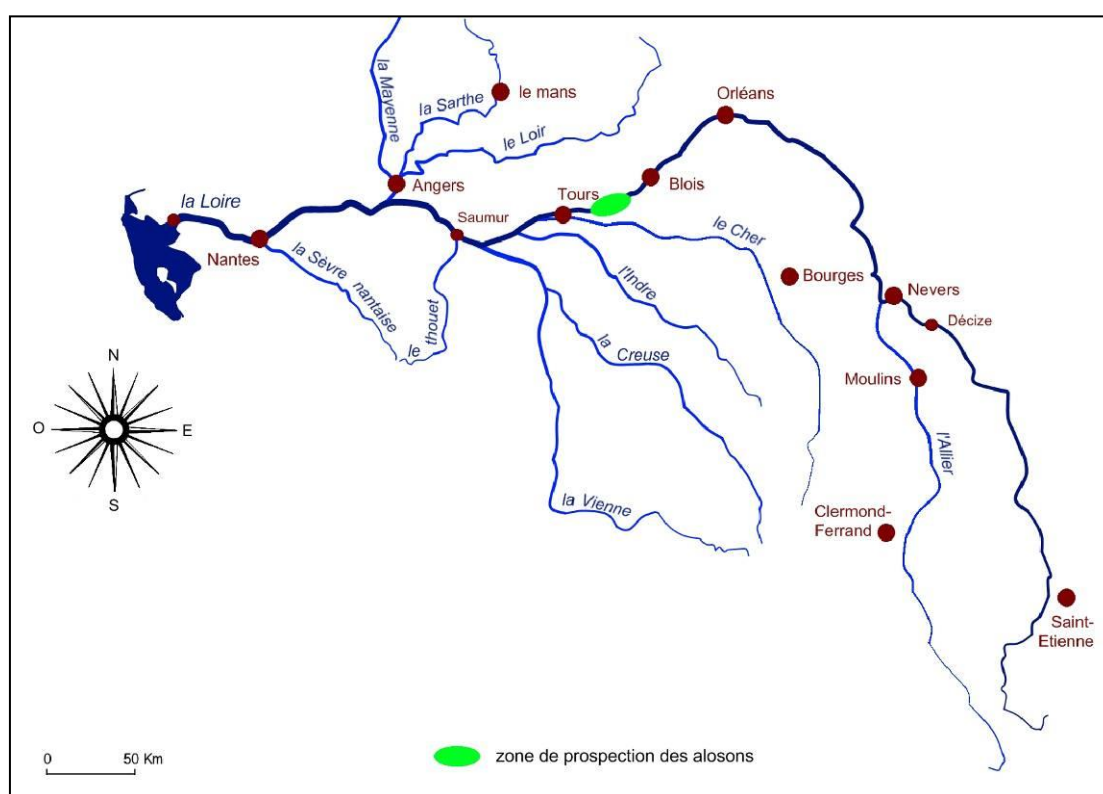


Figure 9 Localisation du site d'échantillonnage des alosons

3.2. Matériels et méthodes

3.2.1. Protocole d'échantillonnage

L'étude de la phase juvénile, complémentaire au suivi des géniteurs d'aloise, est réalisée pendant la saison de pêche de la friture (ablette, goujon, spirin, gardons essentiellement). Cette pêche débute dès le mois de juin. Les alosons, lors de leur migration d'avalaison, sont

actifs et se nourrissent. Ils ont des comportements tels qu'ils sont souvent retrouvés, en début de soirée, en compagnie des ablettes, goujons, spirilins et gardons, poissons formant le cortège typique en Loire de la friture. Aussi le protocole d'échantillonnage, contenant trois niveaux d'intervention, s'appuie-t-il sur ces observations.

Niveau 1

Ce niveau constitue celui des opérations de repérage.

Des pêches à la senne de plage sont réalisées plusieurs fois par semaine, en fin de journée, sur des sites où la hauteur d'eau n'excède pas 1,30m, et où la vitesse de courant et la granularité du substrat permettent le passage de cet engin.

La senne de plage est un filet non maillant constitué d'une seule nappe de maille de 10mm de côté, de longueur 50m, de hauteur 2m, équipé d'une poche centrale où se concentrent les poissons. Le filet est lesté en bas et dispose d'une ralingue flottante en haut. Sa hauteur doit être égale à deux ou trois fois la hauteur d'eau. Cette pêche s'effectue à pied avec deux opérateurs, l'un sur la berge, le second parcourant à pied le coup de pêche pour encercler les poissons et les ramener au bord. La senne permet de prospecter rapidement d'importantes surfaces dans des hauts-fonds où la hauteur d'eau ne dépasse pas 1,30m, entre la berge et le chenal. Il est nécessaire que les fonds soient propres, accessibles et sans végétation.

Deux à quatre passages sont réalisés au cours d'une même soirée sur des habitats différant par au moins l'un des trois paramètres, hauteur d'eau, vitesse du courant et granularité du substrat. Les poissons capturés sont identifiés et ne sont conservés que les individus nécessaires à la constitution d'un échantillon de taille suffisante pour les traitements statistiques, si, lors d'une soirée, le nombre d'alosons capturés est supérieur à 30 individus, la deuxième phase du protocole d'échantillonnage s'applique.

Les sujets pêchés avec cet outil restent généralement vivants. Les alosons vivants sont alors comptabilisés et **remis à l'eau le plus rapidement possible** avec un minimum de manipulation.

Niveau 2

Au plus tard dans les 24 heures qui suivent ces captures, des pêches destinées à définir plus précisément les habitats fréquentés par les alosons et leurs rythmes de fréquentation seront conduites sur le site même et sur des habitats qui le jouxtent. Celles-ci s'effectueront par pêche électrique. Les individus capturés seront conservés à des fins de biométrie et

d'analyse du régime alimentaire. Si, dans un des habitats échantillonnés, le nombre de captures est supérieur à 30 individus, la troisième phase du protocole est appliquée.

Niveau 3

Ce dernier niveau consiste à réaliser les mesures nécessaires à l'établissement de cartes caractérisant les habitats. Les mesures portent sur la hauteur d'eau, la vitesse du courant, la granularité du substrat, la présence ou non de végétaux ou de matière organique. Des filets Surber pourront être employés pour la collecte d'invertébrés afin de comparer avec les proies consommées par les alosons.

3.2.2. Mesures biométriques

Les alosons conservés sont pesés ($\pm 0,1g$), mesurés (longueur fourche $\pm 1mm$). Le nombre de branchiospines sur le premier arc branchial gauche est compté afin de définir l'appartenance spécifique. Le coefficient de condition (cf. définition au 2.3), indiquant l'état physique du poisson (gros, maigre ...), est alors calculé.

Le contenu stomacal est identifié jusqu'au genre pour les insectes, les mollusques et les crustacés à chaque fois que cela est possible. Le stade de développement des insectes (larve, nymphe ou imago) est également noté. La caractérisation se fait, au laboratoire, sur la base d'une identification et d'un comptage des proies contenues dans les estomacs. Les échantillons sont fixés au formol (4%) et stockés dans l'éthanol (75%). Les contenus sont analysés à la loupe binoculaire (grossissement x10 à x45). La détermination des proies se fait jusqu'à la famille (voire jusqu'à la tribu pour les Chironomidae) (niveau d'identification de l'indice RCS) à l'aide du livre « Invertébrés d'eau douce - systématique, biologie, écologie » de Tachet et *al.* (2010), référence nationale pour les identifications des invertébrés dulçaquicoles. Chaque contenu stomacal est ainsi analysé, en relevant le nombre d'individus pour chaque taxon identifié. Cependant, en fonction de l'avancement de la digestion, l'identification et la comptabilisation se font grâce aux parties les mieux conservées du fait de leur sclérification plus avancée. Par exemple, les nymphes de Caenidae sont comptées sur la base de « 1 thorax = 1 individu ». Les larves de Chironomidae sont, quant à elles, dénombrées grâce aux têtes.

3.2.3. Caractérisation des habitats

Le géo référencement du site est réalisé à l'aide d'un GPS. La caractérisation du site est conduite à partir de trois paramètres morpho dynamiques, la hauteur d'eau, la vitesse de courant et la granularité du substrat, relevés le long d'une dizaine de transects régulièrement espacés sur l'ensemble de la zone qui compte entre 400 m de long et environ 100 m de large. Chaque transect, disposé perpendiculairement au courant, est matérialisé par un piquet planté sur la berge, en limite du lit mouillé, et un autre dans le chenal, en limite de la zone de pêche ($h_{\text{eau}} < 1,30\text{m}$). Le long de chacun d'entre eux, les mesures de hauteur d'eau, vitesse de courant et granularité sont enregistrées dès qu'une modification sensible de l'un de ces trois paramètres est observée. A chaque point, la distance à la berge est systématiquement notée. La granularité du substrat est définie par prélèvement manuel et observation visuelle, en utilisant l'échelle granulométrique visuelle basée sur la classification de Wentworth. La hauteur d'eau est mesurée avec la perche graduée du micro moulinet. La vitesse de courant est mesurée au fond, à 0.8 h (vitesse maximale théorique située à 0,8 fois la hauteur d'eau au point de mesure) et à la surface pendant 15 secondes.

3.3. Résultats 2012 et 2013

3.3.1. Conditions hydrologiques

Les débits en juillet 2012 et 2013 sont proches de la moyenne, respectivement +9% et -4% (Figure 10). En revanche, pour la période d'août à septembre, les débits observés à Blois pour les deux années d'étude sont différents. Pour 2012, les débits sont inférieurs à la moyenne interannuelle en août et septembre (-21 et -23%), alors qu'en 2013, ils ont été supérieurs (+84% et +21%). Pour la fin de saison d'échantillonnage, en octobre, les conditions hydrologiques ont été relativement sèches pour 2012 et 2013 (-43% et -15%).

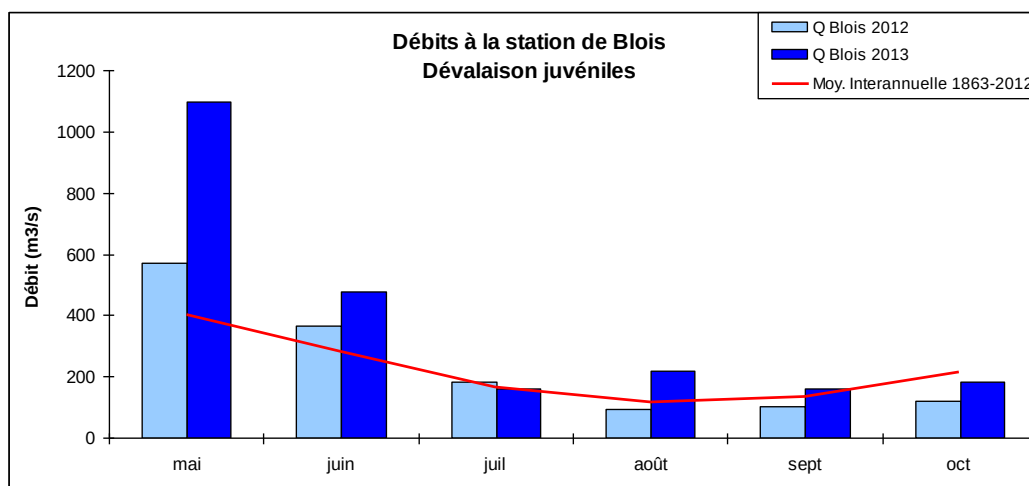


Figure 10 Débits moyens mensuels de la Loire à Blois pour l'année 2011 (en bleu) et débit moyen mensuel interannuel sur 18 ans (source : Banque Hydro RNDE)

3.3.2. Calendrier d'échantillonnage

Tableau 4 Calendrier d'échantillonnage à la senne des juvéniles d'aloses (2012 et 2013)

Alosons 2012-2013	2012	2013
Date début pêche senne	02/07	01/07
Date 1 ^{ère} observation aloson	30/08	26/08
Date dernière observation aloson	30/08	11/09
Date fin pêche friture	15/10	09/10
Nb sorties de pêche	37	25
Nb alosons observés	6	147

Sur l'ensemble des deux années d'étude, les observations sont très différentes avec seulement 6 alosons en 2012 et 147 en 2013) (Tableau 4) et l'ont été très tard dans la saison (entre le 26/08 et le 11/09) (Figure 11, Figure 12).

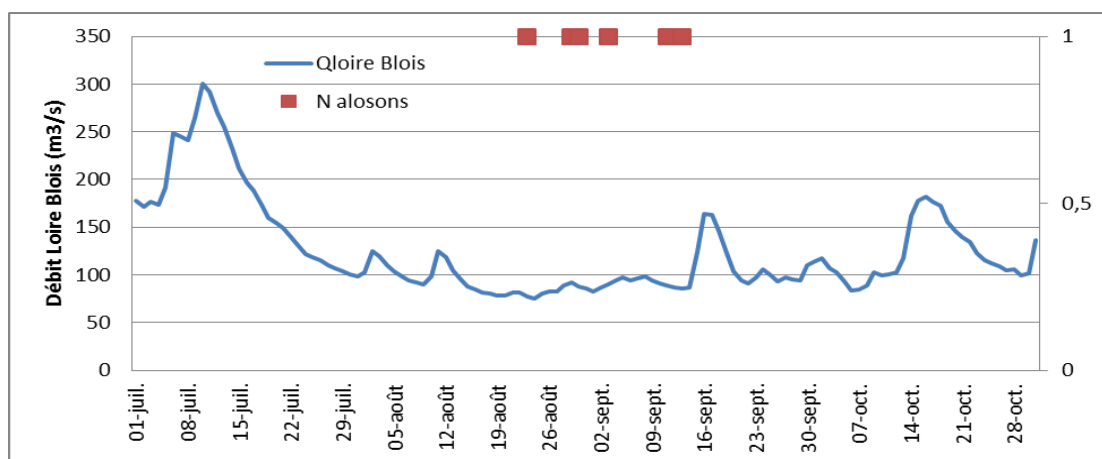


Figure 11 Débits quotidiens de la Loire à Blois du 1 juin au 30 octobre 2012 et dates de capture des alosons (points rouges) (source : banque Hydro)

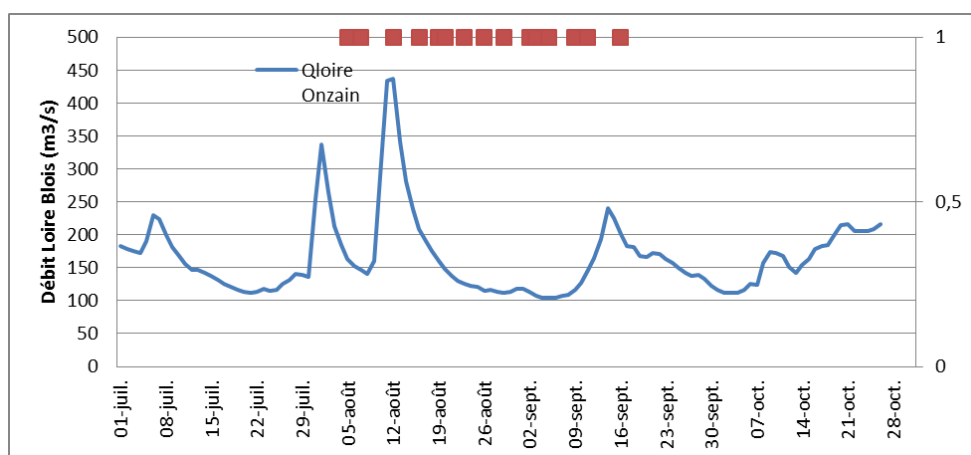


Figure 12 Débits quotidiens de la Loire à Onzain du 1 juin au 30 octobre 2013 et dates de capture des alosons (points rouges) (source : banque Hydro)

3.3.3. Caractéristiques des juvéniles

147 alosons ont été conservés à des fins scientifiques en 2013. Ce sont tous des juvéniles de grande alose (Figure 13), les caractéristiques de ces poissons sont fournies dans le Tableau 5 et illustrées Figure 14.

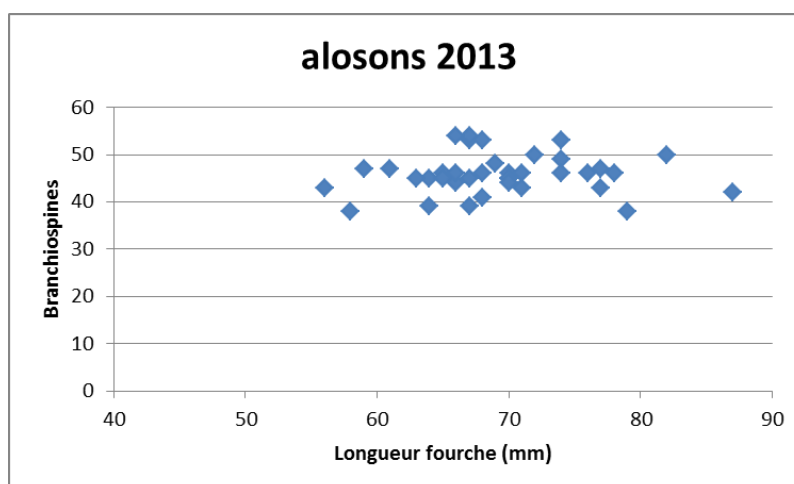


Figure 13 Distribution des branchiostomes en fonction de la taille chez les alosos en 2013

Tableau 5 Caractéristiques de taille (LF), masse (PT) et nombre de branchiostomes (BR) des alosos échantillonnés en 2013.

	BR	LF (mm)	PT (g)
moyenne et écart-type	46 (4,4)	70 (5)	4.4 (1,2)
min-max	38-54	56-87	2.1- 8.7
Nbre individus	38	147	147

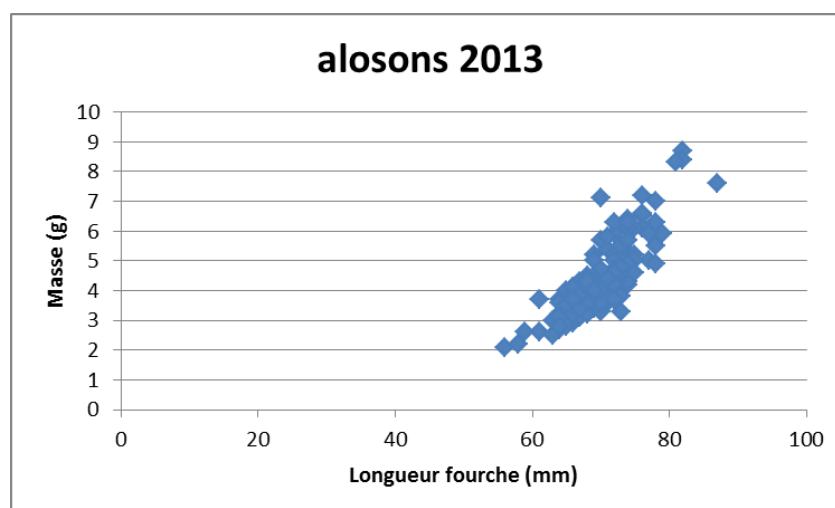


Figure 14 Lien entre la taille et la masse des alosos en 2013

Les proies identifiables contenues dans les estomacs des alosos sont composées en majorité d'insectes appartenant majoritairement à la famille des Chironomidae (Diptères) et des Caenidae (Ephéméroptères). Les juvéniles d'aloses se nourrissent sur le fond du cours d'eau mais aussi dans la colonne d'eau. En effet 100% des individus avaient consommé des larves et des nymphes d'insectes.

3.3.4. Caractéristiques des habitats de transition

En 2013, deux sites ont été échantillonnés pour la caractérisation des habitats, l'un à Beaugency, en rive droite de la Loire, à l'amont du pont, l'autre sur la commune de Baule, en rive gauche (Figure 15Figure 15). Ces sites ont été décrits le 5 octobre 2013, le débit de la Loire à Onzain était de $116 \text{ m}^3/\text{s}$, la transparence de l'eau était importante, le fond était visible sur 3 m de hauteur.

Les deux sites correspondent à des chenaux assez homogènes en morphologie, vitesses de courant et hauteurs d'eau. Les vitesses de courant sont moyennes et la granularité plus grossière sur le site amont que sur le site aval (

Figure 16, Figure 17, Tableau 6). Les habitats de transition lors de la dévalaison échantillonnés dans le département du Loiret diffèrent de ceux échantillonnés les années précédentes dans le département d'Indre et Loire dans la mesure où ils sont constitués d'une partie rivulaire de type « perré », à granularité grossière, des blocs de pierre.





Figure 15 Sites d'échantillonnage des aloses en 2013, localisation des transects (segments rouges) (Source Google Earth)

Tableau 6 Caractéristiques physiques des habitats de transition des aloses échantillonnés en 2013.

		AVAL		AMONT	
		Moyenne $\pm$ écart type	Min-Max	Moyenne $\pm$ écart type	Min-Max
Hauteur d'eau (m)		1,7 $\pm$ 1,1	0,23 - 3,6	1,1 $\pm$ 0,9	0,2 - 4,0
Vitesse du courant à 0,4h (m/s)		0,27 $\pm$ 0,1	0,12 - 0,44	0,33 $\pm$ 0,1	0,11 - 0,43
Granularité du substrat	dominant 1	Blocs	Sables fins- Blocs	Blocs	Sables fins- Blocs
	dominant 2	Sables grossiers		Blocs	
Hydrophytes		-		-	

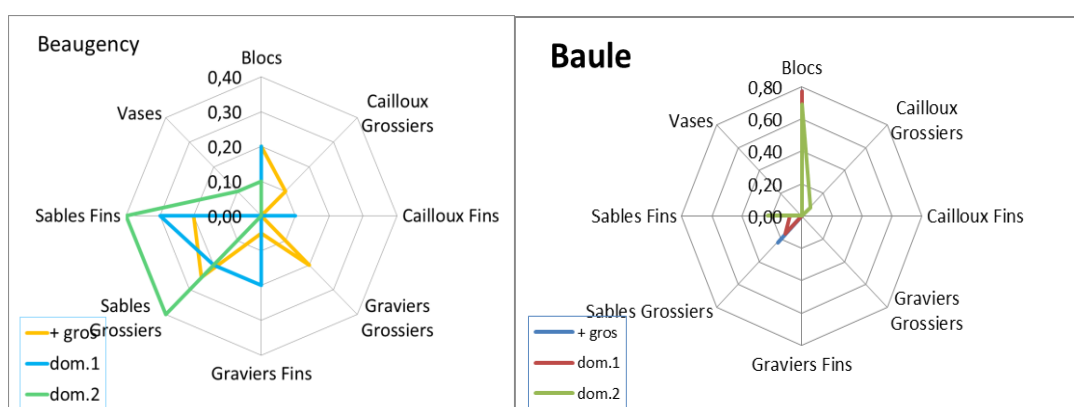


Figure 16 Granularité des habitats de transition fréquentés par les aloses en 2013, Beaugency= aval, Baule = amont

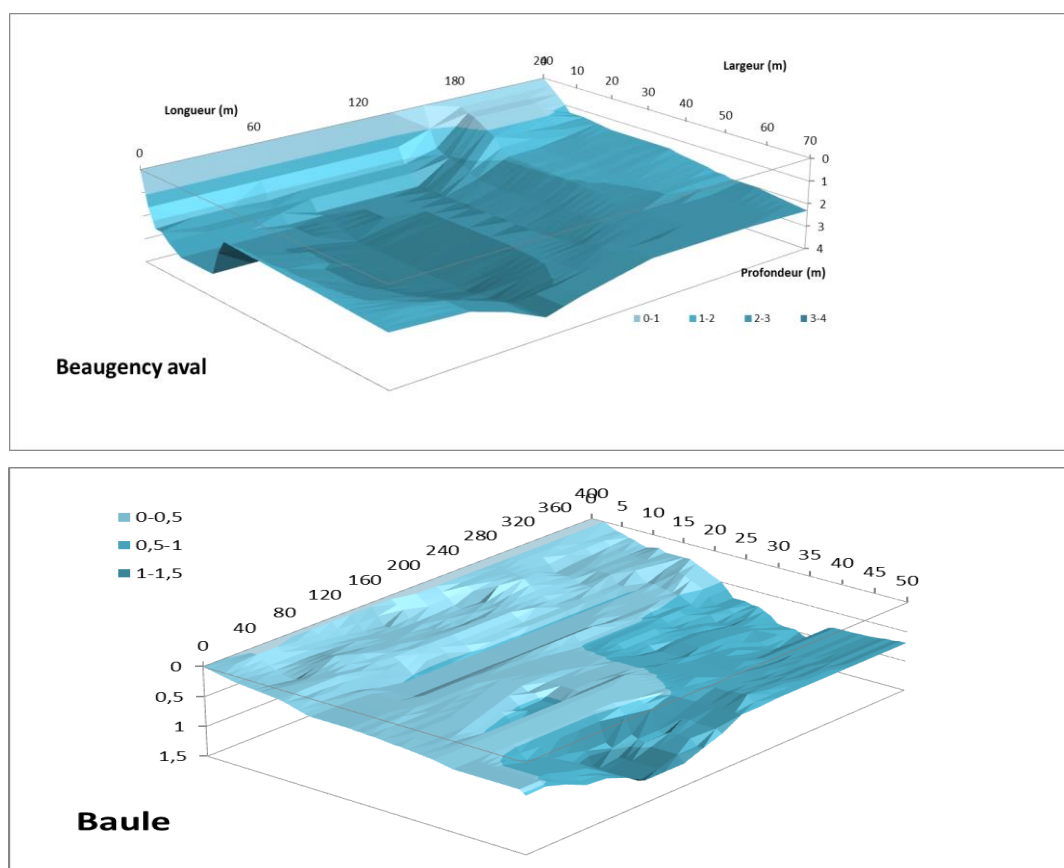


Figure 17 Bathymétrie des sites de transition des alosons en 2013 dans la Loire (45)

Les alosons ont été échantillonnés en quantité très importante en 2013. Leur présence a été constaté tard en saison, à la fin août. Ces poissons sont des juvéniles de grande alose et possèdent des tailles fluctuant entre 56 et 87 mm pour des masses de 2.1 à 8.7g.

Les habitats de transition ont été caractérisés. Sur ce site, ils correspondent au thalweg le long de berge de type perré.

4. Approche de la prédation exercée par le silure

4.1. Rappel des objectifs, mise en contexte avec l'étude réalisée en Basse Loire par l'AADPPMFEDLA

Sur la Loire, à l'aval de la confluence avec la Vienne, dans le périmètre de la région Pays de la Loire, une étude portée par l'AADPPMFEDLA (Association Agréée Départementale des Pêcheurs Professionnels Maritimes et Fluviaux en Eau Douce de Loire Atlantique), nommée SILURUS, en partenariat avec le laboratoire Citeres de l'université de Tours, dans le cadre de l'appel à projet SMIDAP 2013 (Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire) a été déposée et financée par la région Pays de la Loire et l'Agence de l'eau Loire Bretagne. Le but de cette étude est « *de caractériser la population de silure, en milieu naturel en identifiant sa place dans le réseau trophique et de tester l'hypothèse selon laquelle les silures consomment des migrateurs amphihalins, en période printanière, en parcours libre* ». Le terme de parcours libre fait référence à l'absence d'obstacle au déplacement des poissons sur des portions de plusieurs dizaines de kilomètres.

Les objectifs de l'étude en basse Loire et l'objectif 3 de la présente étude sont les mêmes sur des espaces géographiques différents. L'université de Tours a assuré la coordination scientifique des deux études. Les protocoles appliqués pour les captures des silures, les mesures biométriques, les analyses des proies et des isotopes stables sont identiques. Ils suivent ceux mis en œuvre en 2012 sur la Dordogne et la Garonne en s'appuyant sur les recommandations nationales de l'ONEMA. Une mutualisation des moyens techniques et financiers a été conduite notamment lors de la préparation des échantillons pour l'analyse des isotopes stables. Par ailleurs, la présente étude, présentera des données relatives à l'âge des silures. Ceux-ci sont issus d'une recherche financée par l'étude basse Loire. Seuls les résultats des attributions de l'âge, à partir des otolithes et des vertèbres sont fournis, la mise au point de l'attribution de l'âge étant fournie dans le rapport remis à la région Pays de la Loire et l'Agence de l'eau Loire Bretagne. Enfin, ce rapport présentera également une première approche de l'estimation des densités de silure en milieu naturel, ce qui n'était pas prévu dans le projet déposé auprès du PLGN. En effet, si les silures exercent une pression de prédation sur les poissons migrateurs en parcours libre, une première étape dans la quantification de cette pression doit passer par l'estimation des densités de silure dans le milieu naturel.

4.2. Localisation des sites d'étude

Les huit sites d'échantillonnage des silures sont répartis de l'amont de Nantes à l'amont d'Orléans (Figure 18). Le jeu de sites en aval de la confluence entre la Vienne et la Loire (lots K1, K6, L 10 et L12) correspond aux sites d'échantillonnage de l'étude menée en en basse Loire tandis que les sites à l'amont de la confluence avec la Vienne (I5, I6, H3, H4, G1à G5 et F8, F9) sont ceux de la présente étude. Ces sites sont positionnés le long de l'axe Loire, en parcours libre, de part et d'autre des confluences majeures (Maine, Vienne, Cher) mais aussi à l'amont, au milieu et à l'aval de la chaîne de centrale de production d'énergie nucléaire, ces centrales étant toutes dotées d'ouvrages de franchissement pour les poissons. Les prélèvements ont eu lieu de mi mars à mi-septembre 2013. A ceux-ci ont été ajoutés des prélèvements réalisés en juillet et d'octobre à décembre 2012 qui avaient été stockés et conservés par le froid.

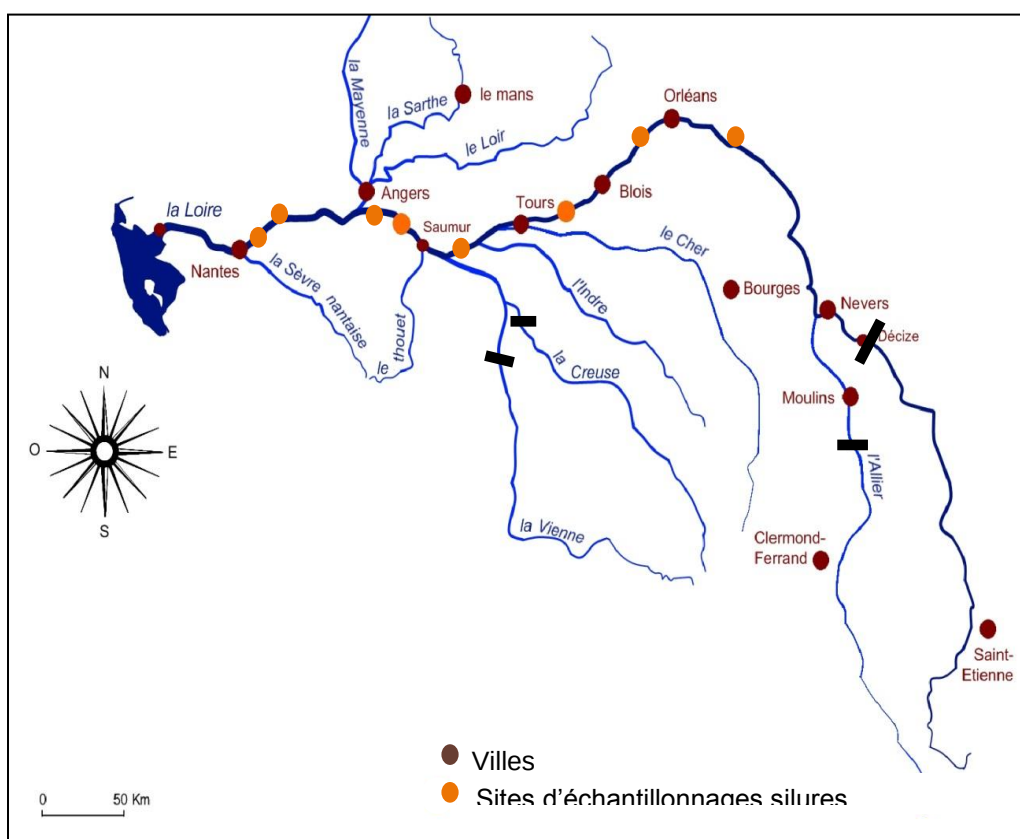


Figure 18 Localisation des sites d'échantillonnage des silures, en 2013, pour la basse Loire (aval confluence Loire-Vienne) et la Loire Moyenne (amont confluence Loire-Vienne)

4.3. Matériel et méthodes

4.3.1. Protocole d'échantillonnage des silures

Sur chacun des sites d'échantillonnage, dans le cadre de l'activité de pêche professionnelle, des pêches aux filets maillants et aux verveux ont été conduites. Les outils de captures sont donc les mêmes que ceux utilisés pour une activité de pêche classique. Les silures ont été prélevés à l'aide de filets fixes (mailles de 50, 55, 60 ou 125 mm), de filets dérivants (maille de 55 et 65 mm) et de verveux (mailles de 27, 40 ou 50 mm). Le choix de ces outils d'échantillonnage, nasses ou verveux, tramails à grandes mailles, est adapté au grand cours d'eau (norme EN 14962, AFNOR) et permet d'échantillonner les habitats littoraux comme les chenaux. La variété de taille de mailles est nécessaire pour une approche de la structure d'âge.

Les tramails ou filets emmêlant sont constitués de trois nappes de filets, d'une ralingue flottante et d'une ralingue plombée. Les deux nappes externes sont de mailles très importantes (200 mm à 500 mm). Au centre, la flue, plus haute, est caractérisée par un maillage plus faible (10 mm à 135 mm). Les filets emmêlant sont utilisés soit en dérivant soit posés. Pour employer le filet dérivant, le pêcheur doit au préalable contrôler minutieusement l'absence de croches au fond du cours d'eau sur le secteur de dérive. Cette action nécessite du temps et les zones sans accroches restent rares. Leur positionnement, lorsqu'ils sont fixes, doit tenir compte des débris véhiculés par les eaux. Les filets emmêlant dérivants ou fixes sélectionnent les espèces en fonction de leurs lieux et heures d'utilisation.

Les verveux font partie des pièges en filets souples (Luneau *et al.*, 2003). Ils sont constitués d'un corps circulaire en filet maintenu par des arceaux ou cercles rigides, contenant différentes chambres séparées par des anches. La partie terminale du corps est conique et constitue une chambre dans laquelle les poissons se concentrent. L'entrée de l'engin peut être conique ou en forme de D, la partie plate du D reposant sur le fond du cours d'eau. Elle peut être également précédée d'une ou deux ailes qui ont pour fonction de guider le poisson vers le piège. Leur positionnement doit tenir compte des courants, des débris véhiculés par les eaux. Ils sélectionnent les espèces en fonction de leurs lieux et heures d'utilisation et présentent l'avantage de pouvoir remettre à l'eau vivant les poissons que l'on ne souhaite pas conserver.

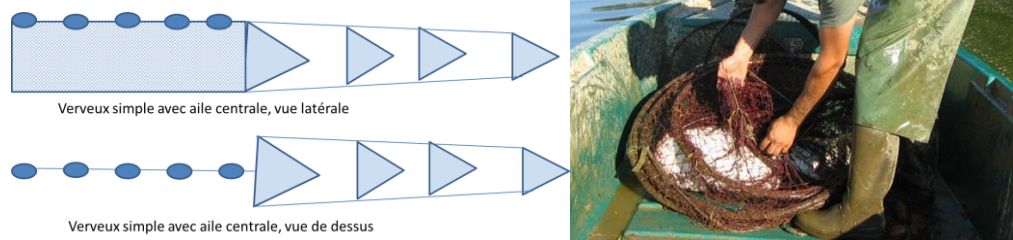


Figure 19 Schéma d'un verveux et exemple de relève d'un verveux contenant un silure

Après chaque capture de silures, les pêcheurs ont suivi un protocole commun précis :

- Mesures biométriques, sexage,
- Prélèvement de la tête pour attribution de l'âge, stockage au congélateur,
- Prélèvement d'un bout de nageoire pectorale déposé dans un microtube référencé pour les analyses isotopiques,
- Prélèvement de l'estomac, uniquement si celui-ci était plein,
- Consignation des informations de biométrie, des caractéristiques des engins de capture et de la date de la sortie de pêche.

Pour ce faire, chaque pêcheur avait reçu un lot de sacs et tubes prénumérotés avec un mode opératoire (annexe 2). Une séance d'information/ formation a également été dispensé à chacun d'eux.

4.3.2. Données biométriques

La longueur totale (LT en cm) et la masse totale (PT en kg) ont été enregistrées pour chaque individu à l'aide d'une balance ou d'un peson ($\pm 10g$ pour les individus $< 4kg$ et $\pm 100g$ pour les individus $> 4kg$) et à l'aide d'un mètre double (± 1 mm pour les individus d'une longueur inférieure au mètre ± 1 cm pour les individus d'une longueur supérieure au mètre).

Pour le sexage, deux méthodes complémentaires ont été appliquées. Pour les silures de moins de 40 cm, le sexage a été conduit à partir de l'observation des gonades. Les individus ne sont pas toujours différenciés sexuellement. La majorité des silures a été sexés par les pêcheurs, lorsqu'il y avait un doute ou une absence de preuve, ils n'indiquaient pas le sexe.

Pour les individus d'une longueur supérieure à 40cm, le protocole employé sur la Dordogne a été appliqué : sexage externe à partir de l'orifice uro-génital et du premier rayon de la

nageoire pectorale (Figure 20). Le premier rayon de la nageoire pectorale est osseux, épais et très dur, il présente un peigne (petits tubercules) sur toute la longueur du rayon chez le male. Les tubercules sont moins marqués ou ne sont présents que sur la partie distale du rayon (extrémité) chez la femelle. Le second dimorphisme concerne la papille uro-génitale. Elle est effilée, avec un orifice < 1 mm chez le male. Elle est arrondie avec un diamètre d'orifice entre 2,5 - 3,5 mm chez la femelle. L'insertion de la pointe d'un crayon dans cet orifice est un test permettant de sexer les silures. Une fois cette identification faite, elle a été validée en regardant les gonades dans la cavité abdominale. Une gonade de femelle est lisse, effilée et d'une teinte plutôt mat. Alors que chez le mâle la gonade est lobée, plus rectangulaire et d'une teinte laiteuse. Une fois ces deux vérifications faites, le pêcheur notait le sexe du poisson.



Figure 20 Critères de sexage pour le silure (source EPIDOR)

4.3.3. Place dans le réseau trophique

La place du silure dans le réseau trophique de la Loire sera identifiée à partir de deux techniques, l'analyse du contenu stomacal et celle des isotopes stables. Le couplage des deux techniques permettra d'associer précision quant à l'identification des proies et synthèse pour étudier l'évolution temporelle du régime alimentaire du silure. Les prélèvements stomacaux ont débuté en mars et se sont terminés fin août.

Les espèces proies

Deux modalités de collecte des proies ont été mises en œuvre, récupération des proies régurgitées et prélèvement des estomacs. Les contenus stomacaux congelés ont été envoyés au Muséum d'Orléans qui, conjointement avec l'université de Liège (Belgique), a assuré l'identification des espèces proies, leurs nombres et leurs tailles.

Une fois les estomacs dégelés et disséqués, le contenu était lavé à l'eau claire dans un tamis pour permettre la récupération des pièces diagnostiques (Figure 21). Quand les proies sont à peine digérées, l'identification et la mesure de la taille sont aisées et rapides. Si la proie était fraîchement ingérée, la masse était relevée.



Figure 21 Ouverture des estomacs de silure pour la recherche de pièces osseuses diagnostic, ici la colonne vertébrale d'un saumon, source R Rosoux Muséum d'Orléans

Le silure pouvant manger toute une série d'animaux aquatiques et amphibies, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'ensemble des proies potentielles et de disposer de spécimens de référence.

Pour les mammifères, les guides de terrain (Corbet *et al.*, 1984) et les clés de détermination des crânes (Chaline *et al.*, 1974) et de poils (Debrot *et al.*, 1982) ont été utilisés. Le poids moyen a été repris dans l'ouvrage : Mammifères de France et du Benelux, de Saint Girons (1973).

Les oiseaux peuvent être identifiés soit directement lorsqu'ils sont peu abîmés (Svensson *et al.*, 2000) soit, avec des caractères anatomiques et osseux (bec, pattes, crâne) et des plumes (rémiges et tectrices). Dans ce cas, une collection de référence est nécessaire ; ainsi

les collections de zoologie du Muséum d'Orléans ont-elles été utilisées à cette fin. L'estimation de la masse moyenne a été reprise dans Géroutet (1959, 1967).

Les cyclostomes (lamproies) et les poissons assez frais ont été identifiés grâce à l'ouvrage de Keith *et al.* (2011). Les restes osseux, principalement les pièces céphaliques, ont été déterminés par comparaison à une collection de références de l'Unité de recherches zoogéographiques de l'Université de Liège et par les articles spécialisés : Libois *et al.*, (1987) et Hallet - Libois (1988). La taille des poissons a été mesurée soit directement, soit avec des abaques présentant la relation entre la taille des pièces céphaliques et la longueur totale du poisson. La masse des poissons et des lamproies a été estimée, d'une part dans FishBase.org, et d'autre part, dans les collections spécialisées et les références mentionnées précédemment. Certains cyprinidés n'ont pas été déterminés à l'espèce, essentiellement parce les os caractéristiques faisaient défaut. Mais les vertèbres ont permis d'identifier les proies à la famille. Les cyprinidés ont été mesurés et leur biomasse a pu être estimée en reprenant les corrélations éditées par Wise (1980).

Les insectes des contenus stomacaux ont été déterminés par Jean-David Chapelin-Viscardi, du Laboratoire d'Eco-entomologie d'Orléans, correspondant du Muséum.

Les crustacés et les mollusques ont été déterminés en fonction des collections de références du Muséum d'Orléans et de l'ouvrage sur les écrevisses de Lemarchand (2012). Pour les biomasses respectives des invertébrés, en particulier les écrevisses, elles ont été estimées et classées en fonction de leur taille : 0.2g, 1g, 5g, 10g, 20g et 30g.

Pour l'analyse des contenus stomacaux, les silures contenant des proies ont été regroupés en 5 classes de taille, $LT < 40$ cm, $40 \text{ cm} \leq LT < 80$ cm, $80 \text{ cm} \leq LT < 120$ cm, $120 \text{ cm} \leq LT < 180$ cm et $LT \geq 180$ cm. Les abondances, biomasses, occurrences et les taxons des proies ont été calculées pour chacune de ces classes de taille. L'indice de remplissage, rapport du nombre d'individus ayant l'estomac plein sur le nombre total d'individus est calculé.

L'indice de Shanon (H') et l'équitabilité (E) ont été calculés pour les biomasses de proies consommées ; H' intègre la richesse spécifique (S) et l'abondance relative des espèces :

$$H' = - \sum (p_i \cdot \log_2 p_i)$$

Où p_i est la proportion d'individus de l'espèce i .

$$E = H' / \log_2 S$$

Le petit effectif d'individus n'a pas permis un suivi temporel des proies pour l'une ou l'autre des classes de taille.

Origine des espèces proies

Pour compléter les analyses de contenus stomacaux, positionner le silure dans le réseau trophique, et savoir si des individus avaient consommé dans les mois précédents leur capture des poissons migrateurs amphihalins, des analyses des isotopes stables des protéines de silure ont été programmées.

Un même élément chimique de la table périodique peut se présenter sous différentes formes appelées isotopes. Ces formes diffèrent par le nombre de masse, c'est-à-dire par le nombre de neutrons dans le noyau atomique. Les isotopes naturels représentent 20% des isotopes connus (1500 en 2010, Tcherkez, 2010), les autres étant des isotopes artificiels. Les isotopes sont dits stables lorsqu'ils ne conduisent pas à une désintégration radioactive, par conséquent, ils ne sont pas dangereux pour la santé humaine et font partie intégrante de tout être vivant. Cependant certains sont beaucoup plus abondants que d'autres. Les plus retrouvés sont souvent les moins lourds, notamment le Carbone (C), l'Azote (N) et le Soufre (S). Pour ces trois éléments, les proportions sont décrites dans le Tableau 7.

Tableau 7 Pourcentage d'abondance des isotopes stables les plus répandus pour le Carbone, l'Azote et le Soufre (Fry, 2006)

Elément	Isotope de faible masse	% d'abondance	Isotope de forte masse	% d'abondance
Carbone	^{12}C	98.89	^{13}C	1.11
Azote	^{14}N	99.64	^{15}N	0.36
Soufre	^{32}S	95.02	^{34}S	4.21

Les isotopes plus lourds, qui sont moins fréquents, sont un bon repère pour détecter les transferts isotopiques. En effet, à cause d'un ou de plusieurs neutrons supplémentaires, les propriétés physico-chimiques de ces isotopes dits lourds sont différentes de celles des isotopes légers. Ces propriétés sont utilisées et constituent un outil très fiable pour mieux comprendre les flux de matières dans les réseaux trophiques (Fry *et al.*, 1978 ; Peterson et Fry, 1987 ; Fry, 2006 ; Copp *et al.*, 2009). La signature isotopique d'une espèce correspond au ratio entre les isotopes rares (les plus lourds) et les plus communs (les plus légers) (Connolly *et al.*, 2004). Les isotopes stables dans les tissus d'un consommateur reflètent son alimentation (Peterson & Fry, 1987) intégrant les proportions relatives des diverses proies sur une longue période et intégrant le processus de fractionnement isotopique qui conduit à un enrichissement du consommateur en isotopes lourds à chaque niveau trophique. Les isotopes stables de l'azote des consommateurs sont enrichis en azote lourd (^{15}N) de 2 à 4 ‰

par niveau trophique (Minagawa & Wada, 1984, Peterson & Fry, 1987), ce qui permet de l'utiliser pour identifier le niveau trophique des consommateurs. Pour ce qui est du carbone, (^{13}C) l'enrichissement est de 1 à 2 ‰, il est utilisé pour identifier les sources d'énergie à partir des producteurs primaires.

Généralement, les isotopes stables du carbone (C) permettent l'identification de la source alimentaire, et les isotopes d'azote (N) donnent une information sur le degré de pollution et le niveau trophique de l'espèce. Les isotopes de soufre (S) peuvent être utilisés pour rendre la « focalisation isotopique », c'est à dire pour définir plus précisément la source alimentaire et pour différencier les sources de l'eau (superficielle ou phréatique) (Connolly *et al.*, 2004). Cependant utiliser un seul élément ne suffit pas à déterminer l'importance des proies qui ont une signature isotopique proche (même type de régime alimentaire). C'est pourquoi au moins deux éléments sont souvent utilisés pour augmenter les chances de différenciations, souvent C et N. La signature isotopique du soufre permet de distinguer les sources alimentaires non distinguées par N et C (Connolly *et al.*, 2004). L'analyse combinée des ratios isotopiques de C et S est celle qui fonctionne le mieux pour séparer les différentes proies et leurs origines.

La quantification des teneurs en isotopes lourds est fournie par la valeur δ , appelée composition isotopique en utilisant le rapport isotopique, R, qui est le rapport de la concentration en isotope lourd sur celle de l'isotope léger. Par exemple, pour le carbone, $R = [^{13}\text{C}] / [^{12}\text{C}]$. La valeur du rapport isotopique est très proche de celle du pourcentage lorsque les isotopes lourds sont peu abondants, ce qui est le cas du carbone (Tcherkez, 2010). La composition isotopique est l'écart relatif du rapport isotopique par rapport à un standard international de rapport isotopique connu, Rst.

$$\delta = (R - R_{\text{st}}) / R_{\text{st}}$$

Cette quantité est petite et est généralement exprimée en pour mille (‰). La valeur isotopique du standard étant zéro, les valeurs positives signifient que l'échantillon est plus riche en isotope lourd que le standard tandis que les valeurs négatives signifient que l'échantillon est plus pauvre en isotope lourd que le standard. Le matériau standard varie d'un élément à un autre (Tableau 8).

Tableau 8 Standards internationaux utilisés pour le calcul des valeurs de delta du carbone, de l'azote et du soufre (Tcherkez, 2010).

Elément	Standard	Rapport isotopique
Carbone	Rostre fossile de bélemnite (PDB)	$^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} = 0.0112372$
Azote	N ₂ atmosphérique	$^{15}\text{N} / ^{14}\text{N} = 0.003677$
Soufre	FeS de la météorite Canyon Diabol (CDT)	$^{34}\text{S} / ^{32}\text{S} = 0.045005$

Pour savoir quelles espèces sont consommées par le silure, les ratios isotopiques, $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C} / ^{15}\text{N} : ^{14}\text{N} / ^{34}\text{S} : ^{32}\text{S}$ de ses potentielles proies ont été recherchés. Ainsi en fonction des différents ratios isotopiques du silure analysé il sera possible de savoir si l'individu a plutôt consommé des poissons d'eau douce ou d'origine marine. L'analyse menée sera une image de la consommation des proies des 3 à 6 mois précédents la pêche du silure. Donc pour les poissons pêchés en Juin et Juillet, il y aura en « mémoire » les mois de Février à Avril et de Mai pendant lesquels de nombreuses migrations ont lieu (aloses, lamproies, saumons). L'échantillonnage ayant eu lieu pendant 4 mois il sera peut être possible de voir l'évolution des origines des proies dans le temps.

Afin de respecter le protocole déjà établi au niveau national par l'ONEMA et parce qu'il existe une bonne corrélation entre les teneurs isotopiques en C et N du muscle blanc et des nageoires (Syvaranta *et al.*, 2010), sur chaque silure, un morceau de tissu de la nageoire pectorale a été prélevé, en évitant un maximum de prélever des rayons durs (Figure 22) Le morceau de nageoire était alors mis dans un tube puis placé au congélateur.

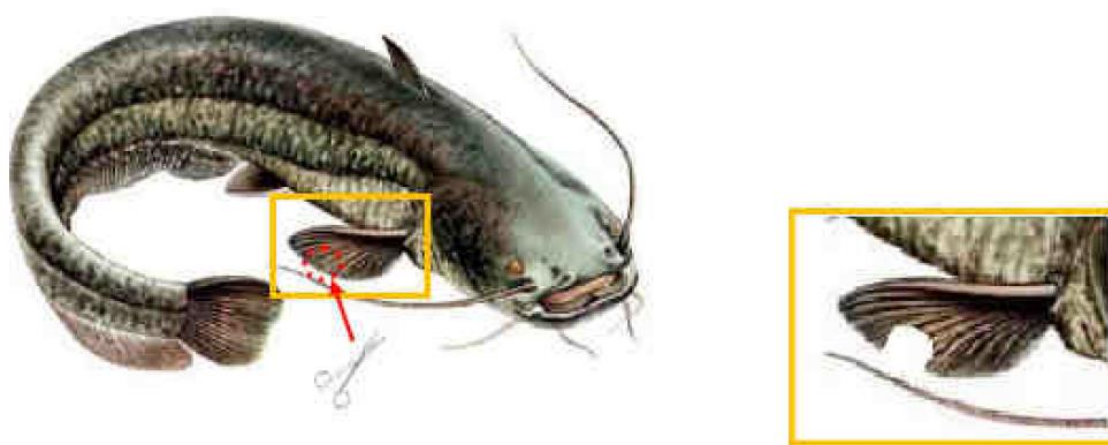


Figure 22 Prélèvement de nageoire pour l'analyse isotopique (source : ONEMA)

Avant de procéder aux analyses, les échantillons ont été préparés à l'Université de Tours avec les collaborations des techniciens des Associations des pêcheurs professionnels de Loire-Atlantique et du bassin Loire-Bretagne, selon le protocole suivant envoyé par le laboratoire d'analyse isotopique de l'Université de Konstanz.

Séchage : les microtubes contenant les morceaux de nageoire ont été séchés dans une étuve à 60°C pendant au moins 24h, jusqu'à ce que la masse de la nageoire soit constante.

Réduction en poudre : l'échantillon totalement sec était sorti de l'étuve pour être broyé à l'aide d'un mortier et d'un pilon en porcelaine. Les quelques rayons durs présents ont été retirés. La poudre ainsi obtenue était placée dans un nouveau microtube étiqueté avec le label correspondant (Figure 23). Cette manipulation a été répétée pour chaque nageoire en prenant bien soin de nettoyer à chaque fois le matériel de broyage (pincette, mortier, pilon) à l'éthanol et à l'eau distillée, ceci dans le but de ne pas contaminer les échantillons entre eux.



Figure 23 Echantillon réduit en poudre dans son tube neuf

Pesée et préparation des capsules d'étain : Les masses de tissus animaux nécessaires pour les analyses sont de 1.0 – 1.5 mg de masse sèche. La poudre est versée dans une capsule d'étain préalablement pesée. La capsule est ensuite fermée hermétiquement et repesée. Les capsules sont déposées dans une plaque de 96 micropuits en laissant, à intervalles réguliers, un espace pour une capsule test servant au calibrage de l'appareil. Ainsi, 64 échantillons, représentant toutes les classes de tailles de silure sont utilisables parmi les 75 préparés en raison de mauvais résultats d'analyses ou de doublons de certains échantillons (Tableau 9).

Tableau 9 Gammes de taille et nombre d'individus de silures pour lesquels un échantillon de nageoires est utilisable pour les analyses isotopiques de la Loire moyenne

Classes de taille	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm	80-100 cm	100-120 cm	120-140 cm	140-160 cm	160-180 cm	180-200 cm	200-220 cm	220-240 cm	> 240 cm
Nombre d'individus	3	7	6	9	6	9	5	3	6	3	4	2	1

Le même protocole a été appliqué sur les échantillons des proies potentielles du silure, capturées dans le milieu naturel (poissons sédentaires) ou issues des régurgitations des silures (écrevisse, ragondin, castor) (Tableau 10). Pour les mammifères et les écrevisses, c'est le muscle qui a été broyé et analysé au lieu de la nageoire pour les poissons. Les

muscles de mammifères étant trop durs pour pouvoir les broyer à la main, une « Pulverisette » (©Fritsch) a été utilisée.

Les échantillons ont été envoyés à l'Université de Konstanz (en Allemagne) au laboratoire d'écologie isotopique qui a fait les analyses par spectrométrie de masse et spectrométrie infra rouge. Les valeurs de C/N, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{34}\text{S}$ ont été fournies. Au retour des résultats, tous les individus considérés comme douteux par le laboratoire ont été écartés des analyses. Trois catégories de proies ont été définies a priori, les poissons holobiotiques d'eau douce parmi lesquels l'anguille, les migrateurs anadromes (saumon, lamproie, alose) et les catadromes avec les mulets.

Tableau 10 Liste et nombre des espèces proies retenues pour l'analyse des isotopes stables

Proies	Echantillons préparés	Conservé pour analyse
Ablette	5	1
Alose	7	5
Anguille	4	4
Aspe	2	1
Barbeau fluviatile	3	2
Brème	5	3
Carassin	2	0
Chevesne	5	4
Ecrevisse	3	1
Gardon	5	3
Goujon	5	1
Gremille	3	1
Lamproie marine	8	1
Mulet	7	6
Poisson chat	3	1
Saumon	3	3
Spirin	5	0
Castor	1	0
Ragondin	1	0
Total	76	37

4.3.4. Approche d'une estimation des densités de silures en milieu naturel

En France, les techniques d'estimation de densités de poissons en grand cours d'eau utilisant la plongée subaquatique sont très peu développées contrairement à ce qui se passe au Québec et restent réservées à des espèces rares et difficiles d'accès, tel que l'apron dans le bassin du Doubs (Bejean 2010) ou de manière expérimentale comme cela a été réalisé sur la Dordogne pour le silure (Epidor, 2012). Néanmoins, ces méthodes, une fois standardisées permettent une approche des densités de poissons dans des milieux naturels non échantillonnables par pêche électrique (Béjean et Kupfer, 2013).

Choix du site :

Le silure étant une espèce opportuniste quant à ses habitats et peu actif en journée (Copp et al, 2009), les recherches ont été conduites, de jour, sur des portions de cours d'eau présentant au moins une succession de faciès (radier, mouille, ...). Un premier repérage le long des cours d'eau a permis d'identifier une station. A l'intérieur de cette station, un linéaire prioritaire, propice à la présence du silure se basant sur les habitats fréquentés par cette espèce, zone profonde, abris de blocs, encombres, sous berges, chevelu racinaire ..., a été défini.

Protocole

La troisième étape a été la prospection en plongée subaquatique (apnée) pour compter le nombre de silures et fournir des indications de taille (longueur de l'individu) et d'habitat de repos. Ce protocole élaboré d'après des expériences dans le Doubs et au Canada est très proche de ceux utilisés en milieu marin (Labrosse et al., 2001). Les prospections prennent place lors de phases de faibles débits avec une transparence de l'eau fournissant une visibilité supérieure au mètre.

Les plongeurs entrent dans l'eau 3 mètres avant le début du site et se positionnent en ligne à égale distance, les uns des autres, en binômes, en fonction de la visibilité. Dans le binôme, les plongées en apnée sont effectuées en alternance, la sécurité de l'apnéiste en prospection étant assurée par celui le suivant en surface. La prospection s'effectue de l'aval vers l'amont, en conservant au mieux la ligne de progression. Chaque plongeur doit avoir un champ d'observation d'au moins 180 degrés, sur une largeur de 1 à 4 mètres environ en fonction de la transparence de l'eau. Lors de la plongée, la progression doit se faire sans gestes brusques, en prenant le temps de regarder toute la surface du substrat attentivement. Il ne faut pas hésiter à chercher sous les débris de bois ainsi que dans les caches sous les

berges et sous les rochers. Le silure doit être identifié de visu, directement, en phase de repos. Un poisson en déplacement passant dans le champ de vision ne sera pas compté pour éviter les doubles ou triples comptage. Dans la mesure du possible, la longueur du silure sera estimée au moyen d'une perche graduée à glisser le long de l'animal.

Les clefs pour la réalisation d'un bon échantillonnage en visuel sont la communication entre les plongeurs et le maintien d'une vitesse appropriée. La communication constante, avec des regards ou des signes entre les plongeurs est importante. Il s'agit de s'assurer que les plongeurs évoluent à la même vitesse. En effet, une progression trop rapide peut faire fuir des individus et fausser les données. Enfin, le silure étant lucifuge, il faut porter une grande attention aux habitats tels que souches, troncs ou herbiers dans lesquels il faut prendre le temps de la prospection. D'après des expériences dans le Doubs et au Canada, le temps requis pour accomplir un bon échantillonnage est d'environ 30 minutes pour un site de 60 mètres de long.

La progression des plongeurs s'est effectuée sur des distances de 50m sur lesquelles les poissons ont été recherchés, espacées les unes des autres de 50m (Figure 24), la largeur des portions échantillonnées étant fonction du nombre de binômes de plongeurs et de la visibilité. Le binôme le long de la berge échantillonne la berge dans toute sa profondeur tandis que les binômes latéraux prospectent des bandes de substrat (B2 à B4) sur 3 à 4 m de large suivant la visibilité.

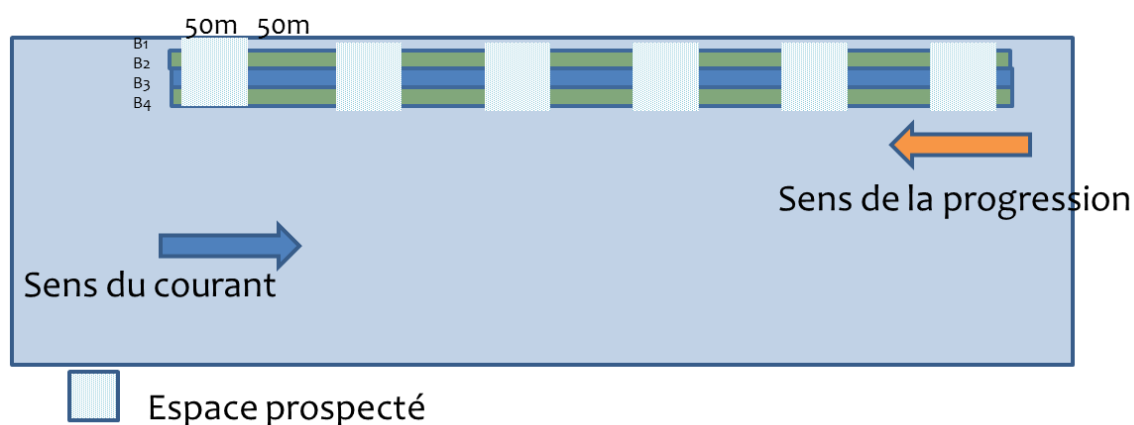


Figure 24 Schéma du mode de prospection du cours d'eau pour estimation des densités de silure

Dans le respect des règles de sécurité, chaque plongeur doit posséder une licence de plongée et un certificat médical valide. Enfin, il convient de respecter les prérogatives de chaque plongeur (en fonction du niveau de plongée). Deux personnes doivent être présentes

sur la rive ou dans un bateau à proximité pour assurer la sécurité, orienter les plongeurs et les aider à rester alignés.

Données recueillies

Le géo référencement du site de mise à l'eau est réalisé à l'aide d'un GPS. Les données recueillies par chaque binôme sont consignés lors de la plongée dans le Tableau 11. Elles sont collectées par le responsable des opérations à la fin du parcours.

Tableau 11 Fiche de collecte des données lors de la prospection subaquatique

séquence	position	souches/bois morts	blocs	sous berges	num poisson	Longueur (m)	autres espèces
xx	berge	x		x	1	1	non
					2	1,2	
					3		
					4		

Les densités de silure sont estimées en rapportant le nombre d'individus à la surface échantillonnée.

4.3.5. Traitements statistiques des données

La normalité des données a été vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk. Lorsque celles-ci ne suivent pas une loi normale, des tests non paramétriques ont été employés ainsi que la corrélation de Spearman dans l'estimation de relations. Dans le cas contraire des tests paramétriques de comparaison de variances, moyennes ... ont été utilisés. Tous les traitements statistiques ont été réalisés avec le logiciel XLstat.

4.4. Résultats

4.4.1. Synthèse des mesures et prélèvements effectués

Les objectifs d'échantillonnage des silures de l'étude en Loire Moyenne (LM) sont atteints voire dépassés (Tableau 12). Tous les silures échantillonnés ont été mesurés, pesés et 51 ont été sexés. 90 paires d'otolithes ont été collectées. Même si l'objectif d'attribution de l'âge par les otolithes n'était pas financé dans la présente étude, une mutualisation des prélèvements d'otolithes puis de vertèbres avait été programmée dès le début, de façon à

optimiser l'acquisition des données et également pour pouvoir disposer d'individus de grande taille plus difficiles à capturer. De plus, les vertèbres ont été ajoutées, en cours de travail devant la difficulté à obtenir des otolithes interprétables. Les prélèvements d'échantillon de nageoires ont été conduits sur tous les individus et une sélection a été opérée pour les analyses des isotopes stables de manière à échantillonner l'ensemble de la gamme de taille des silures. Le nombre d'estomacs contenant des proies est inférieur aux prévisions car les poissons recueillis avaient, pour beaucoup, l'estomac vide.

Tableau 12 Observations et prélèvements effectuées sur les silures en Loire Moyenne

	Objectif initial	Nombre d'observations, de prélèvements fait(e)s	Echantillons traités
Mesure taille-poids	60 au minimum	127	127
Sexage	60 au minimum	51 individus sexés	51
Prélèvement estomac	40 estomacs contenant des proies	25 estomacs contenant des proies	25
Prélèvement otolithes	60 paires	90	90
Prélèvement vertèbres	Pas d'objectifs	13	13
Prélèvement nageoires	60	127	86

Afin d'avoir une vision intégratrice, les résultats de biométrie, d'âge, de sexe seront présentées sur l'ensemble des individus de l'étude conduites en Basse Loire (BL) et de ceux capturés en Loire Moyenne (LM). Ceci donne un total de 264 individus pour lesquels la biométrie est disponible.

Dix silures supplémentaires ont été ajoutés pour la Basse Loire entre avril et mai 2014 afin de compléter l'échantillonnage pour les contenus stomacaux. Les tailles et poids de ces silures ont été relevés. Cependant, ces 10 silures ne sont pris en compte que pour la partie concernant les analyses des estomacs.

4.4.2. Conditions hydrologiques et thermiques

L'année 2013 se caractérise par une hydrologie forte du premier janvier à la mi-juin avec de fortes variations de débits et des épisodes de hautes eaux dépassant la fréquence

quinquennale. La période estivale présente des débits moyens proches de ceux de l'interannuel (1994-2013, 20 ans pour le site de Langeais) avec deux petits événements hydrologiques durant l'été (Figure 25). La fin de l'année civile se termine par une phase de hautes eaux entre le 6 novembre et le 6 décembre.

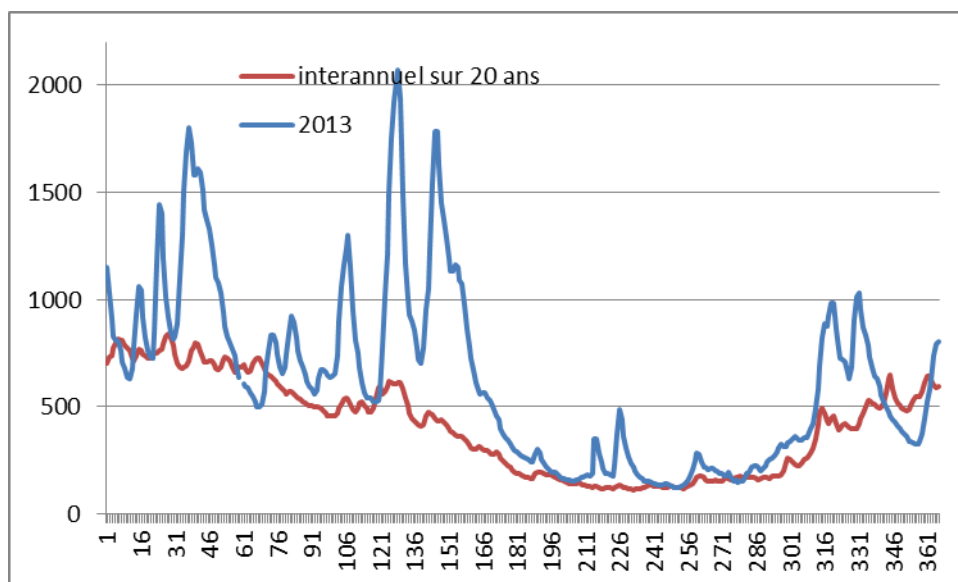


Figure 25 Débit de la Loire à Langeais en 2013 et débit moyen interannuel (1994-2013)
(source banque Hydro, station de Langeais)

Pour la thermie, l'année 2013 peut être qualifiée de fraîche au regard des 20 dernières années, la plus fraîche pour ce qui est des caractéristiques thermiques printanières. Les températures moyennes des mois de mai et juin sont les plus faibles pour la période 1994-2013. La survenue des seuils thermiques d'activité des poissons (10°C) et de reproduction de la majorité des espèces (16°C) est tardive, respectivement aux jours 102 et 157, ce qui les positionne comme les plus tardifs de la période (Figure 26).

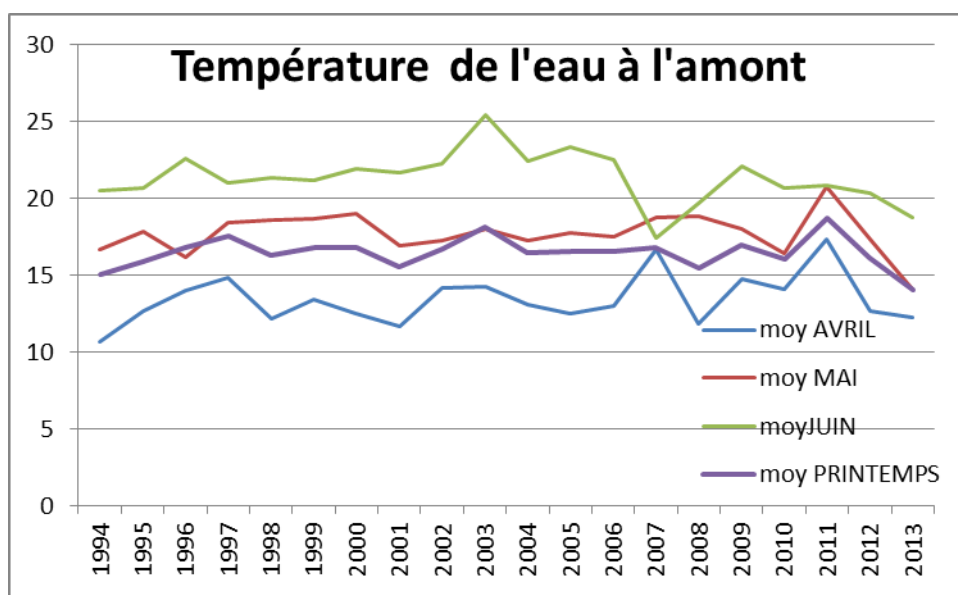


Figure 26 Températures printanières moyennes de la Loire sur la station amont de la centrale nucléaire d'Avoine (source : EDF)

4.4.3. Calendrier d'échantillonnage

Les périodes auxquelles les silures ont été échantillonnés s'étendent de juillet 2012 à septembre 2013 avec une amplitude plus grande pour la Loire moyenne (Tableau 13). La période printanière visée (avril, mai, juin) est mieux appréhendée en Loire moyenne alors que le mois de juillet est dominant en Basse Loire.

Tableau 13 Effectifs et mois de captures des Silures en Basse Loire (BL) et en Loire Moyenne (LM)

Mois de capture	Juil 2012	Oct 2012	Nov 2012	Dec 2012	Mars 2013	Avril 2013	Mai 2013	Juin 2013	Juil 2013	Août 2013	Sept 2013	Indét	Total
BL			5				1	38	81	7	5		137
LM	34	3	5	1	2	13	24	28	8	6		2	127
Total	34	3	10	1	2	13	25	66	89	13	5	2	264

Tableau 14 Effectifs et outils de captures des Silures en Basse Loire (BL) et en Loire Moyenne (LM)

Engin (maille en mm)	Guideau	Verveux 27	Verveux 40	Verveux 50	Filet dérivant 55	Filet dérivant 65	Filet fixe 45	Filet fixe 50	Filet fixe 55	Filet fixe 125	Senne de plage 10	Cordée	Total
Silures capturés BL	5	84	25	5	13	0	0	3	0	2	0	0	137
Silures capturés LM	9	0	48	0	7	2	6	1	7	5	35	7	127
Total	14	84	73	5	20	2	6	4	7	7	35	7	264

Quel que soit le site, la majorité des silures a été capturée avec des verveux à raison de 83% pour la basse Loire et 43% pour la Loire Moyenne (Tableau 14). En 2013, les hautes eaux ont rendu les conditions de pêche aux filets dérivant et fixe peu faciles aussi les verveux ont été privilégiés et ont fourni une majorité d'individus. En Basse Loire, les verveux à maille de 27 mm ont fourni la majorité des individus. Cependant, ne disposant pas des occurrences d'utilisation des engins, ni de tous les efforts de pêche, avec ou sans capture, il n'est pas possible de fournir l'efficacité d'un outil ni une capture par effort de pêche pour chaque type d'outil.

Le guideau a fourni des individus de petite taille dérivant dans le chenal à l'automne (Tableau 15, Tableau 16). La senne de plage a permis d'échantillonner des jeunes individus en période estivale dans des habitats de type plage et bordure de chenaux secondaires. Les verveux et filets fixes, généralement déposés le long de berges ou d'îles ou en bout d'épis pour la basse Loire, ont permis d'échantillonner une très grande gamme de taille de poissons, sur la plus longue période, d'avril à septembre. Les filets dérivants qui opèrent dans le chenal et en raison de leurs grandes mailles (55 mm) ont sélectionné des grands individus, d'une taille moyenne de 149 cm.

Tableau 15 Type d'outil de capture et caractéristiques de taille des silures échantillonnés pour la Basse Loire et la Loire moyenne (échantillons d'effectifs ≥ 14 individus)

Engin maille en mm	Guideau	Verveux 27	Verveux 40	Filet dérivant 55	Senne de plage 10
Nombre individus	14	84	73	20	35
Min-max (cm)	7,9 - 17,5	14,5 - 83	9,7 - 185	72 - 251	16,5 - 43,5
Moyenne (cm)	12,5	28,0	68,5	149,0	24,9
Ecart type (cm)	2,3	10,6	45,0	60,0	6,8

Enfin, les tailles des individus capturés dans les verveux à mailles de 27 mm sont significativement plus petits que ceux capturés dans des verveux à mailles de 40mm (test F, $F=0.055$, $p<0.0001$).

Tableau 16 Saisonnalité des outils d'échantillonnage et nombre de poissons capturés

Mois de capture	Juil 2012	Oct 2012	Nov 2012	Dec 2012	Mars 2013	Avril 2013	Mai 2013	Juin 2013	Juil 2013	Août 2013	Sept 2013	Indé t	Total
Guideau		3	10	1									14
Verveux						11	13	49	75	10	3	1	162
Filet dérivant						2	1	7	11			1	22
Senne de plage	35												35
Filet fixe					2		11	9			2		24
Cordée								1	3	3			7
Total	35	3	10	1	2	13	25	66	89	13	5	2	264

L'échantillonnage pratiqué lors de cette étude a permis de prospecter différents types d'habitats en Loire mais aussi d'appréhender toute la gamme de taille que peut prendre le silure.

4.4.4. Caractéristiques biométriques et âge

Taille et masse

La combinaison des deux échantillons Basse Loire et Loire Moyenne montre que sur les 264 silures pris en compte, la moitié mesure moins de 33,6cm et pèse moins de 250g. Seulement un quart de ces silures mesure plus de 88cm et pèse plus de 4,5kg (Figure 27). 55% font moins de 40cm et 76% pèsent moins de 5kg. Ils sont 23% à mesurer entre 40 et 100cm et 22% à mesurer plus d'un mètre. Au niveau des masses, ils sont 83% à peser entre 1 et 10kg et seulement 17% à peser plus de 10kg, la valeur maximale étant de 92 kg.

Le plus grand échantillonnage des petits individus est dû, d'une part aux outils utilisés, les verveux à mailles de 27 mm, la senne de plage, à une plus grande accessibilité des individus de petite taille mais aussi à leur fréquence dans la population.

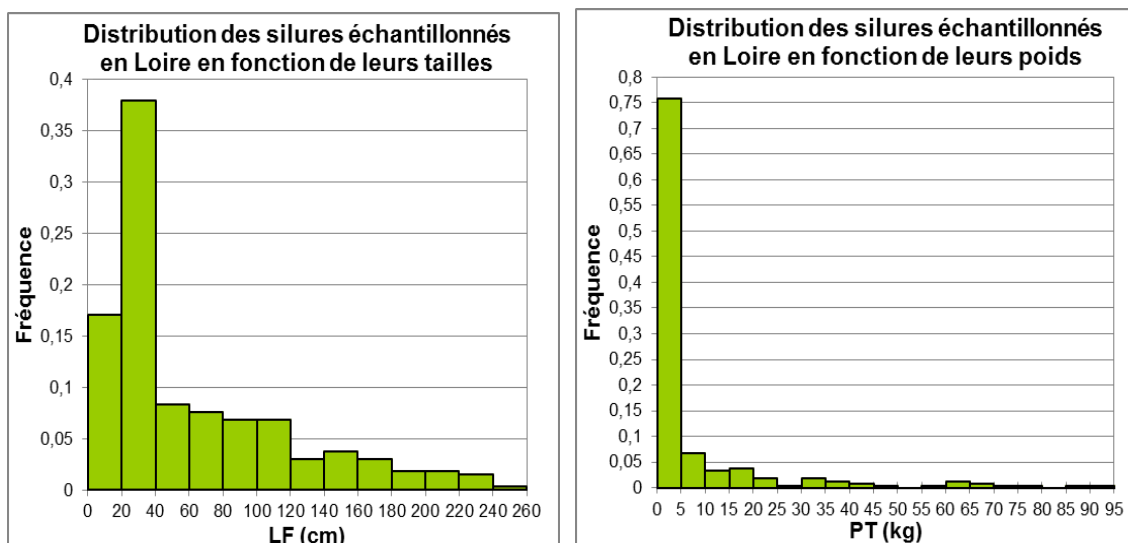


Figure 27 Distribution des silures capturés en Loire en fonction de leurs tailles et de leurs poids (fréquences)

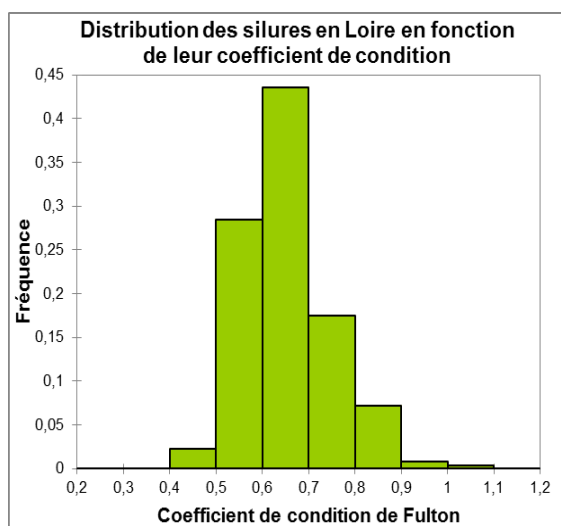


Figure 28 Coefficients de condition de Fulton (fréquences) des silures capturés en Loire

Sur les 264 silures échantillonnés, 44% ont un coefficient de condition (K) compris entre 0,6 et 0,7 (Figure 28). Cet intervalle semble être le plus fréquent chez les silures. La majeure partie des autres silures a un K de 0,5 à 0,6 (28%) ou de 0,7 à 0,8 (17%). Très peu de silure sont maigres (6 silures), ils sont plus nombreux à être plus « arrondis » (22 silures). Globalement les silures échantillonnés étaient bien portants.

La comparaison des variables taille et masse des deux échantillons montre que ces valeurs sont identiques entre les deux sites BL et LM (test de Mann-Whitney LF : $U = 8433,5$, $p=0,668$; PT : $U = 8427$, $p=0,661$) même si les valeurs moyennes et médianes sont

légèrement plus élevées en Loire moyenne. Pour les 127 individus de la Loire moyenne, la moitié mesure moins de 40cm et 378g. Ils sont un quart à dépasser le mètre et faire plus de 7,5kg. Le plus petit silure fait 7,9cm pour 4g et le plus grand 251cm pour 92kg. Les valeurs sont plus élevées car les pêcheurs ont plus capturé de silures au filet ou au verveux à grande maille en LM qu'en BL. De plus la période de capture a été plus longue pour la LM, avec notamment des pêches en juillet 2012. Les coefficients de condition de Fulton des silures de la LM, sont aussi légèrement plus hauts que pour la BL. 20% des 127 silures de la Loire moyenne ont un K compris entre 0.5 et 0.6 ; 41% ont un K entre 0.6 et 0.7 ; 22% ont un K compris entre 0.7 et 0.8 et enfin 15% des silures ont un K supérieur à 0.8. Les silures échantillonnés en LM sont donc, à taille identique, un peu plus gros que ceux de la BL.

Sexage

Au niveau du sexage, de grosses difficultés ont été rencontrées. En effet, ce sont les pêcheurs professionnels qui ont majoritairement sexé les silures et la consigne était claire : ne rien indiquer s'il y avait une difficulté à déterminer le sexe. Le sexage n'étant pas aisé hors de la période de reproduction et surtout quasi impossible pour les individus de petite taille sans observation de la cavité abdominale avec une loupe binoculaire, presque deux tiers des individus n'ont pu être sexés (Tableau 17).

Tableau 17 Proportions de silures sexés pour les différents échantillonnages

	Silures BL	Silures LM	Silures BL+LM
Indéterminé ou immature	97 70,8%	76 59,8%	173 65,5%
Mâle	17 12,4%	26 20,5%	43 16,3%
Femelle	23 16,8%	25 19,7%	48 18,2%

En combinant les deux échantillons BL et LM, 43 silures mâles et 48 silures femelles sont ainsi identifiés. Dans les deux cas, les échantillons sexés présentent des distributions de taille différentes de celles observées pour l'ensemble des individus, les petits poissons (LT < 40 cm) sont sous représentés (Figure 28) avec 9 mâles et 6 femelles faisant entre 20 et 40cm. Les plus grands individus (>180cm) sont surtout des mâles (2 femelles et 13 mâles). Les mâles et les femelles échantillonnés possèdent des coefficients de Fulton similaires, respectivement 0.647 et 0.659 (test de Mann&Whitney, U = 942.5, p=0.497).

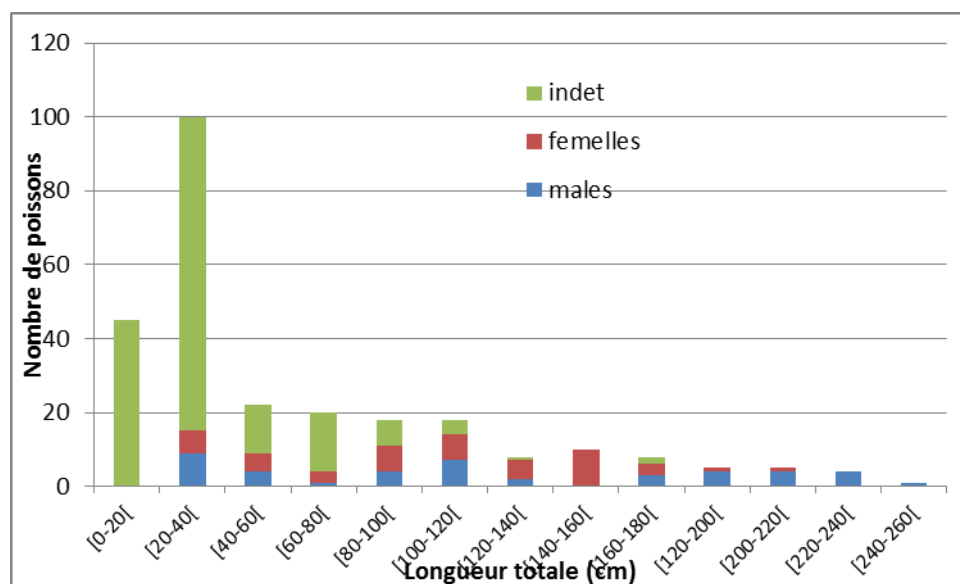


Figure 29 Distributions des tailles des silures mâles, femelles et indéterminés

L'attribution du sexe chez les silures n'apparaît pas simple. Elle est même peu fiable chez les individus de petite taille par voie externe et peu évidente par voie interne. Chez les individus d'une taille supérieure à 100cm, elle apparaît correcte mais encore insuffisante puisque 88% des individus se sont vu attribué un sexe.

Relations taille-masse

Relation taille-masse pour la Loire Moyenne (127 individus)

La taille et la masse des silures échantillonnés en Loire Moyenne sont très fortement corrélées, $r_s = 0.998$, $p < 0.0001$) (Figure 30). La relation est de type exponentiel.

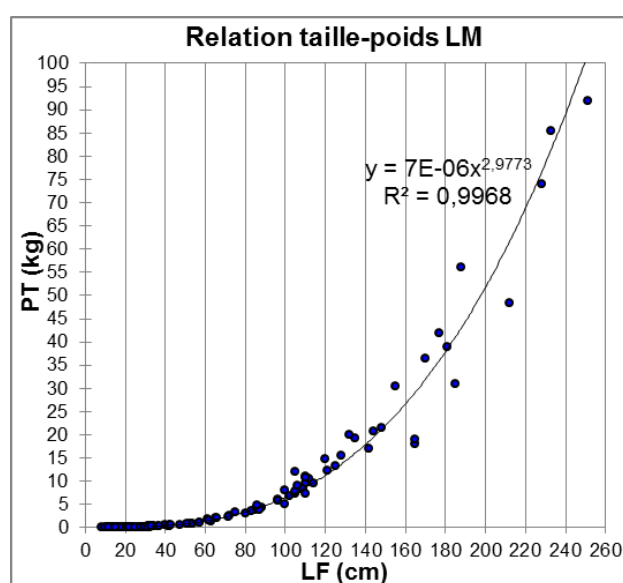


Figure 30 Relation taille-poids des silures échantillonnés en Loire Moyenne,

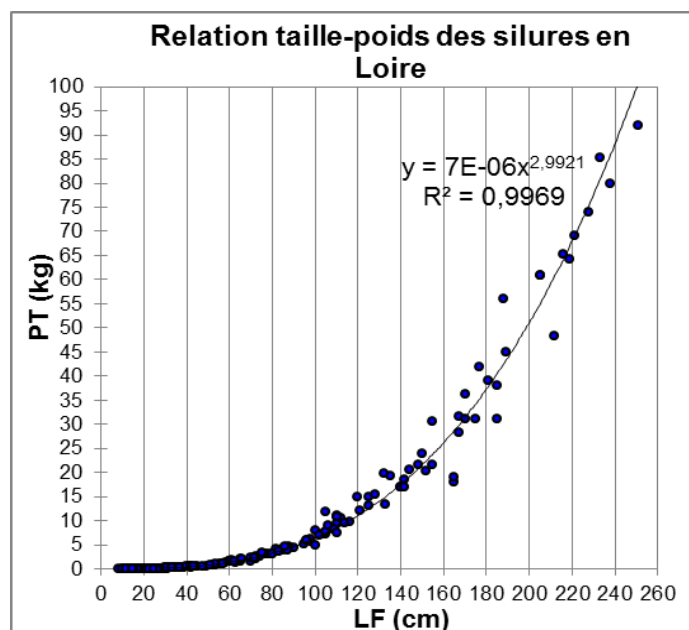


Figure 31 Relation taille-poids des silures échantillonnés en Loire

Les données de BL et de LM n'étant pas différentes, une fois regroupées elles fournissent une régression excellente avec $r^2=0.9969$, la variabilité de croissance allométrique est très faible jusqu'à une taille de 150 cm (Figure 31). Les silures pèsent moins d'un kilo jusqu'à environ 50cm et commencent à prendre beaucoup de poids après avoir atteint la taille d'un mètre. Une clef taille masse peut ainsi être proposée (Tableau 18).

Tableau 18 Estimation de la masse d'un silure en fonction de sa taille en Loire

Taille (m)	0,08 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7
Masse (kg)	0.004 – 0.007	0,007 – 0,05	0,05 – 0,180	0,180 – 0,4	0,4 – 0,8	0,8 – 1,5	1,5 – 2,5

Taille (m)	0,7 – 0,8	0,8 – 0,9	0,9 – 1	1 – 1,2	1,2 – 1,4	1,4 – 1,6	1,6 – 1,8
Masse (kg)	2,5 – 3,5	3,5 – 5	5 – 6,5	6,5 – 11	11 – 17,5	17,5 – 26	26 – 37,5

Taille (m)	1,8 – 2	2 – 2,2	2,2 – 2,4	>2,4
Masse (kg)	37,5 – 51	51 – 68	68 – 88	NC

Croissance chez les silures mâles et femelles

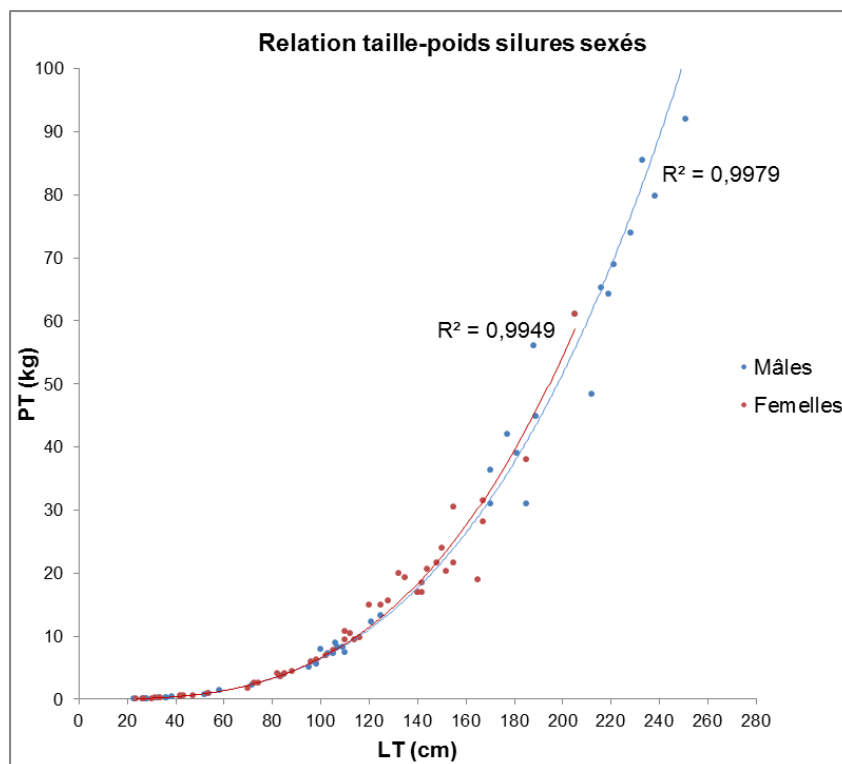


Figure 32 Relations taille-masse pour les silures sexés en Loire

Les deux courbes des mâles et des femelles sont très proches et plus de 99% de la variation en taille est expliquée par les variations de masse des individus (Figure 32). Une légère différence, néanmoins significative, existe entre les mâles et les femelles surtout à partir de 140-160cm (ANCOVA, $F=243.55$, $p=0.0001$).

Attribution de l'âge

Les attributions d'âge ont été réalisées à partir des otolithes (Figure 33) de 58 individus dont 23 pour lesquels les vertèbres étaient disponibles. Ne sont présentés ici que les résultats principaux de l'étude d'attribution de l'âge réalisée par le MNHN. Les résultats complets sont disponibles dans le rapport de l'étude financé par la région pays de la Loire et l'Agence de l'eau Loire Bretagne, SILURUS.

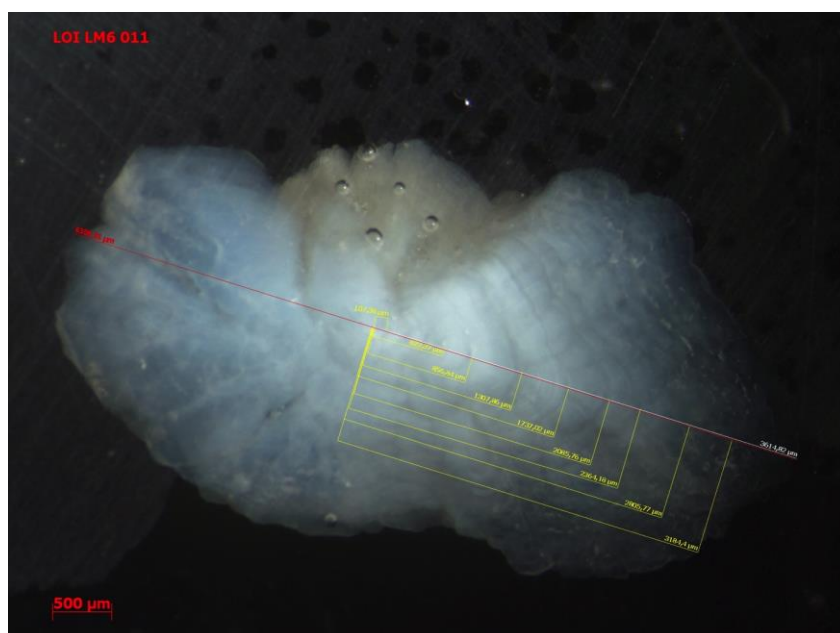


Figure 33 Otolithe de silure préparé avec mensuration du diamètre, des rayons correspondant aux différents âges (Source : L Virag MNHN)

Les estimations d'âge varient entre 0 et 18 ans pour les otolithes et 0 à 19 ans pour les vertèbres. La relation obtenue montre une excellente corrélation ($R^2=0.96$) avec une légère surestimation de l'âge obtenu par les otolithes par rapport à celui obtenu par les vertèbres (Figure 34).

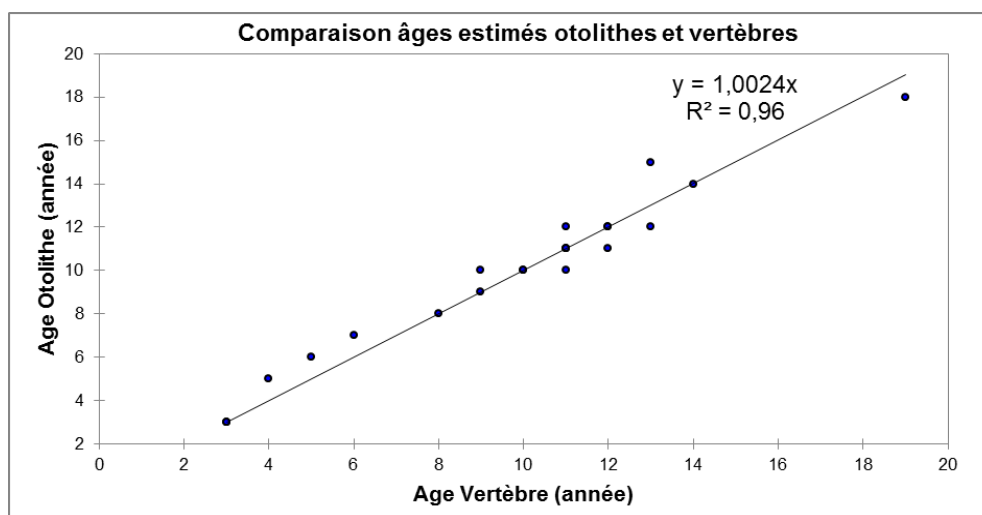


Figure 34 Comparaison de l'âge estimé de 23 silures via les otolithes et les vertèbres

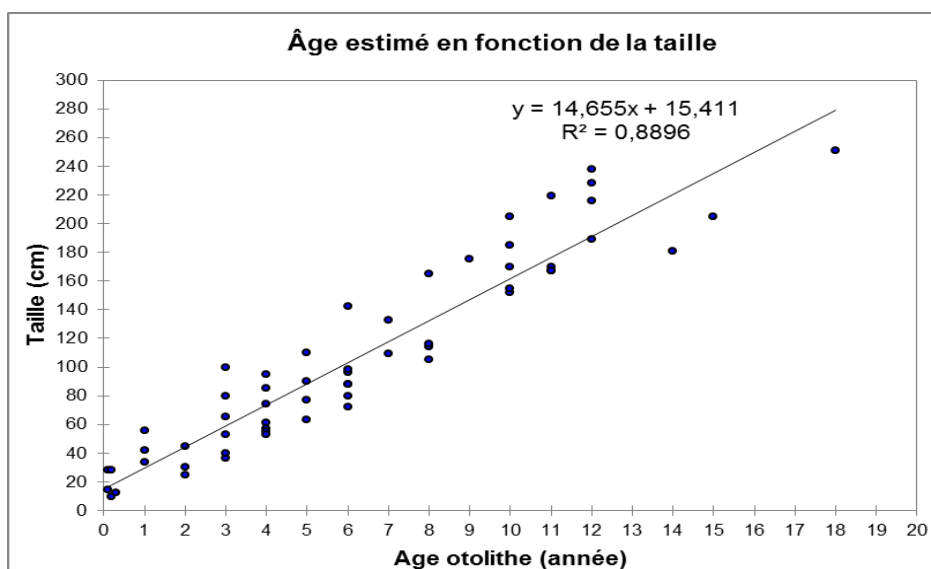


Figure 35 Relation taille-âge estimée pour 58 silures échantillonnés en Loire

La relation taille âge estimée à partir de l'otolithe montre une bonne corrélation linéaire avec cependant de grosses variabilités de taille pour une même valeur d'âge (Figure 35). Par exemple, un poisson de 3 ans peut mesurer entre 30 cm et plus d'un mètre.

L'attribution d'âge est tout à fait possible aussi bien à partir des otolithes que des vertèbres et montre que les silures peuvent atteindre des âges très élevés eu égard aux autres espèces de poissons, jusqu'à 18 ans. Les tailles et les masses montrent une croissance allométrique plus forte chez les femelles que chez les mâles, les silures grandissent rapidement en taille jusqu'à 100 cm puis ensuite prennent de la masse. La faible variabilité de croissance en dessous de 100 cm est remarquable.

4.4.5. Alimentation et place dans le réseau trophique

Contenus stomacaux

L'indice de remplissage des 274 (264+10) individus échantillonnés pour les contenus stomacaux est de 17%, 47 individus avaient des proies dans l'estomac. La distribution en taille de deux échantillons diffère significativement (Figure 36), les classes [60-80 cm [et > 100cm sont sur représentées dans l'échantillon des individus à l'estomac non vide.

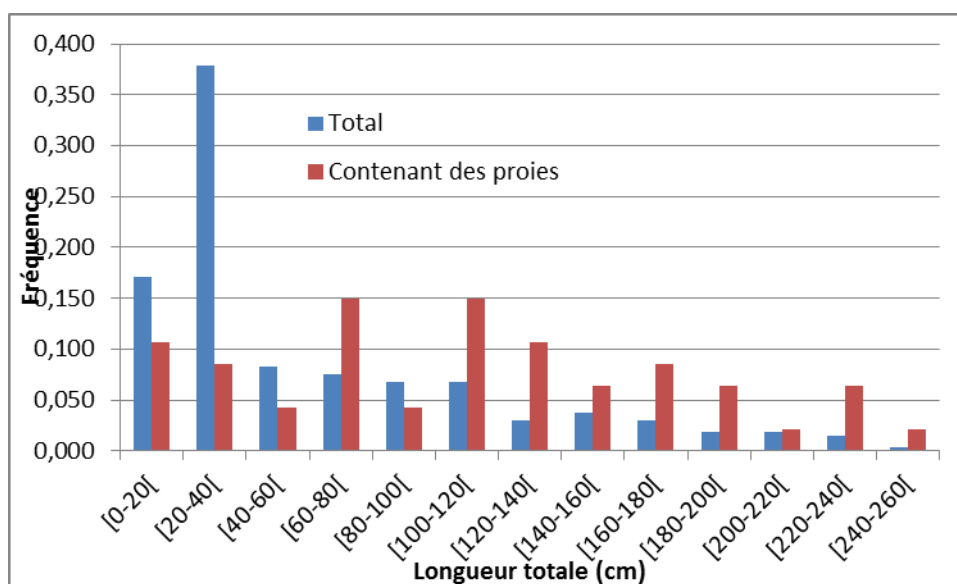


Figure 36 Fréquences des tailles de l'ensemble des silures et de ceux ayant un estomac contenant des proies

Ainsi, les tailles moyennes et médianes de l'échantillon d'individus ayant l'estomac plein sont de 110 cm alors que la médiane de l'ensemble des individus est à 33.6 cm. De même, les masses sont beaucoup plus élevées avec une médiane à 9.7 kg alors qu'elle se situe à 0.25 kg dans l'échantillon total. Les poissons contenant des proies sont plus « arrondis » que les autres, leurs coefficient de condition sont significativement plus élevé, 0.700, contre 0.648 pour l'ensemble des individus (test t, $t=-3.383$, $p=0.001$).

L'attribution des sexes (mâles, femelles et indéterminés) des poissons conservés pour leurs contenus stomacaux est identique à celle observée pour l'ensemble des individus ($X^2 = 0.92$, $ddl = 2$, $p=0.631$).

Les silures dont les estomacs contenaient des proies ont été capturés de mars à juin, période de migration des aloses, lamproies, saumon, anguille et mulot, pour 55% d'entre eux et l'ont été avec l'ensemble des outils de capture. Les individus capturés en août, 10.6%, proviennent des pêches à la senne de plage et ceux de novembre, 10.6 %, proviennent des guideaux.

Le ratio d'individus à l'estomac plein est très variable d'un mois de capture à l'autre (Figure 37), les mois de juin et juillet présentant les valeurs les plus faibles. La valeur maximale de 1 en mars s'explique par le très faible nombre d'individu, deux.

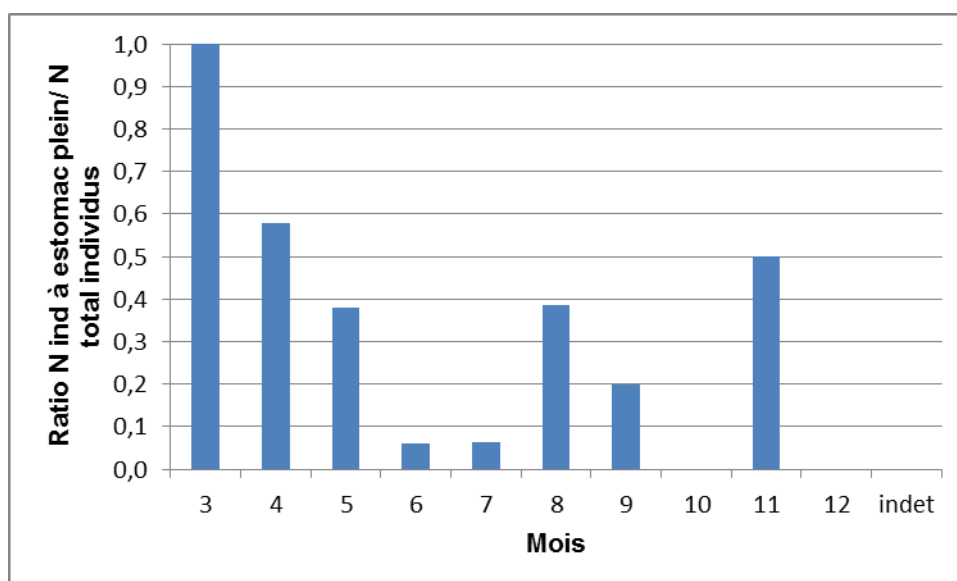


Figure 37 Ratio du nombre de silures ayant un estomac plein/ensemble des silures en fonction de leur date de capture

Globalement, le spectre alimentaire des silures de longueur totale comprise entre 11 et 251 cm est très large et contient 24 taxons proies appartenant aux invertébrés benthiques, écrevisses, poissons holobiotiques d'eau douce et migrateurs amphihalins tels que le saumon atlantique, la grande alose, la lamproie marine, le mulot. S'y ajoutent quelques oiseaux, canard colvert, grèbe huppé et poule d'eau, et un mammifère en l'espèce du rat (*Rattus norvegicus*) (Figure 38, Figure 39). Trois cents quarante-huit (348) proies pour une biomasse totale de 39.2 kg ont été collectés et identifiées, les poissons et cyclostomes dominant largement en occurrence, fréquence et biomasse (Figure 39, Figure 40, Figure 41, annexe 3). Parmi les poissons migrateurs proies, le mulot est l'espèce présentant la plus forte occurrence, 8 fois pour 11 individus consommés, 3 silures avaient consommé deux mulots en même temps. Suivent les lamproies marines et les aloses avec une occurrence de 4 fois pour chacune des deux espèces. Parmi les espèces holobiotiques d'eau douce, l'occurrence maximale revient aux cyprinidés non identifiables avec 8 fois pour 28 poissons, puis du gardon avec 4 fois contre 3 fois pour le carassin, le cheveine et les ablettes (87 individus). Pour les invertébrés, l'occurrence maximale est de 7 pour l'écrevisse *O. limosus* (9 individus consommés) et les insectes (27 individus). Les corbicules, consommées 5 fois, comptent 127 individus dont 84 consommées par le même silure.



Figure 38 Types de proies consommées par le silure. De gauche à droite, alose, ablettes et grêbe huppé, gardon et corbicules, saumon atlantique

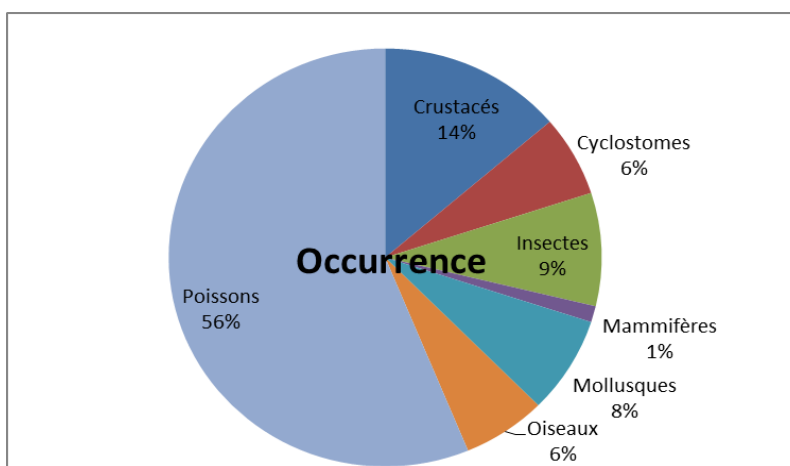


Figure 39 Occurrences relatives des types de proies consommées par l'ensemble des silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)

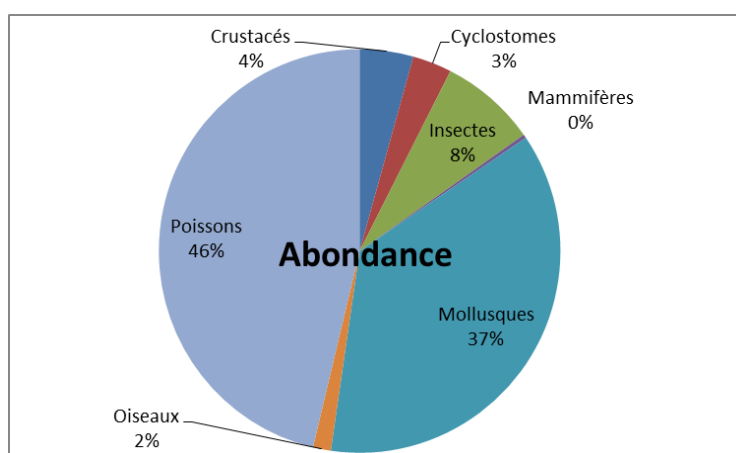


Figure 40 Abondances relatives des types de proies consommées par l'ensemble des silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)

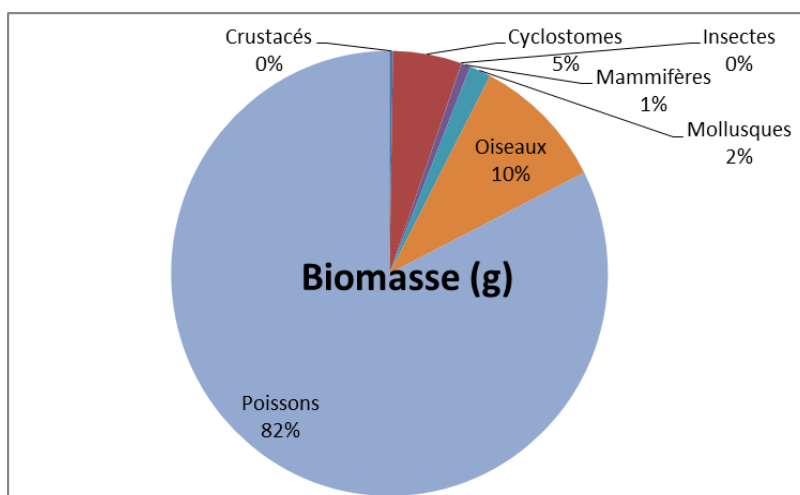


Figure 41 Biomasses relatives des types de proies consommées par l'ensemble des silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)

Quelle que soit sa taille, l'alimentation du silure est assez variée puisque sur les 24 taxons, 6 au moins sont consommés par une classe de taille. Le nombre de taxons consommé augmente avec la taille du prédateur (Tableau 19). Chaque individu a consommé au moins une proie, le maximum observé est de 85 chez un individu de 185 cm de long qui avait ingéré 85 mollusques dont 84 corbicules. L'occurrence des proies est identique pour les silures de taille inférieure à 120 cm puis elle double quasiment entre les classes 80–180 cm (Tableau 19). Enfin, les biomasses totales de proies augmentent avec la taille des prédateurs.

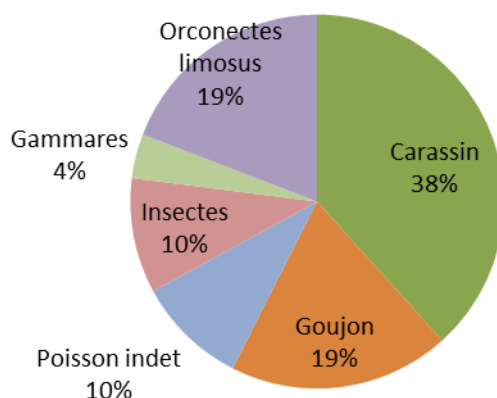
Tableau 19 Caractéristiques des classes de taille de silure et de leurs proies (N silures=47)

N° classe	Classe de taille	N silures	Occurrence des proies	Abondance des proies	Biomasse totale des proies (g)	Nbre de taxons consommés	H' biomasse de proies	E biomasse de proies
1	[0 -40 cm[	9	12	36	52	6	2,28	0,88
2	[40 -80 cm[	9	12	58	1510	6	1,85	0,72
3	[80 -120 cm[	9	13	24	3892	10	1,76	0,53
4	[120 -180 cm[	12	25	44	16325	14	2,45	0,64
5	>= 180 cm	8	17	185	15986	12	2,02	0,56

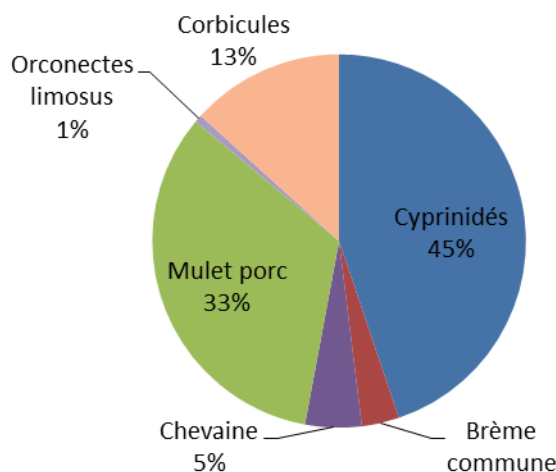
La diversité des biomasses consommées varie selon la classe de taille (Tableau 19) avec une valeur maximale pour la classe [0-40 cm [au sein de laquelle les individus ont consommé à 67% des poissons et à 33% des invertébrés (Figure 42, classe 1). Dès la classe [40-80 cm [, les poissons dominent largement et une espèce amphihaline apparaît, le mulot qui compte pour 33% de la biomasse (Figure 42, classe 2). L'individu ayant consommé

un petit mulot a une taille de 76 cm. Les silures d'une taille comprise entre 80 et 120 cm ont une biomasse moins diversifiée (Figure 42, classe 3) où les migrateurs amphihalins, alose et mulot représentent 86% de la biomasse. A noter la capture d'un rat. La diversité maximale des biomasses est observée classe 4 (Figure 42, classe 4 et Tableau 19). Les espèces migratrices, alose et mulot, auxquelles s'ajoute la lamproie marine, représentent 73% de la biomasse ingérée. Deux espèces d'oiseau aquatiques, le grèbe huppé et la poule d'eau, ainsi que des invertébrés complètent la gamme de proies. Les plus grands silures (≥ 180 cm) ont une distribution de biomasse très proche de celle des poissons de la classe 4 avec oiseaux et poissons amphihalins, le saumon apparaît alors (Figure 42, classe 5).

Biomasse classe 1 : 0-40 cm



Biomasse classe 2 : 40-80 cm



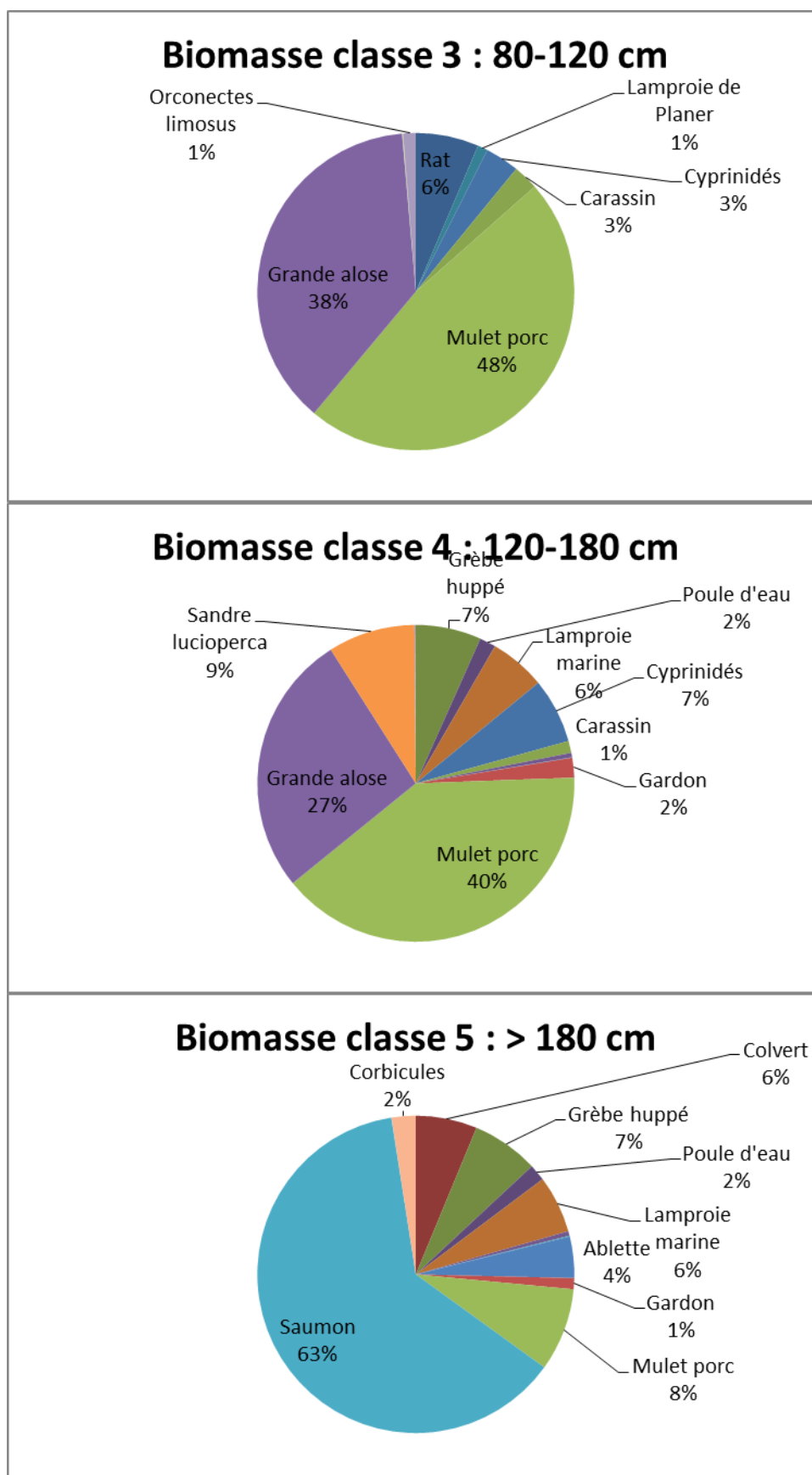


Figure 42 Biomasses relatives des différents taxons proies pour les 5 classes de taille de silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)

Le ratio de biomasse (biomasse de proies/biomasse de silure) (Figure 43) diffère selon la classe de taille, il est maximal pour la classe [40-80 cm [. La biomasse moyenne consommée par individu augmente avec la taille selon une fonction puissance ($F= 34.299$, $p=0.01$, Figure 44).

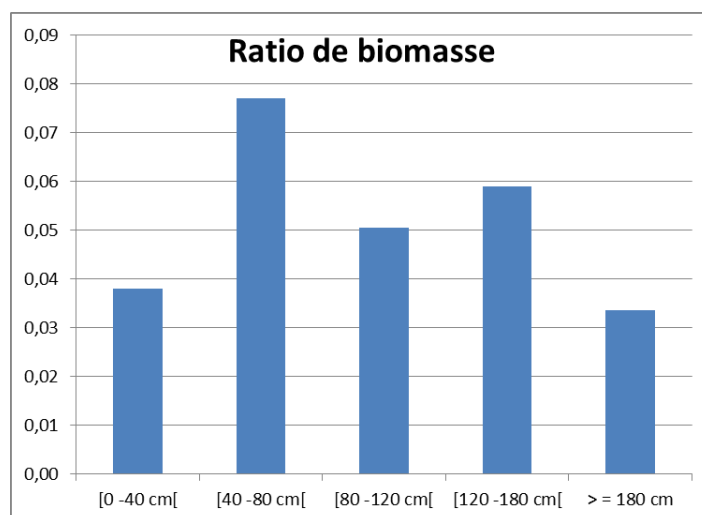


Figure 43 Ratio de biomasse (biomasse de proies/biomasse de silure) pour les 5 classes de taille de silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)

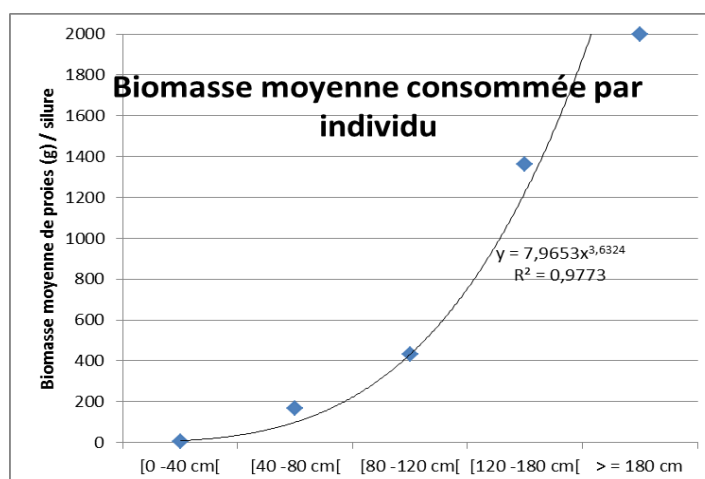


Figure 44 Biomasses moyennes de proies pour les 5 classes de taille de silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne (N silures=47)

Place dans le réseau trophique

Parmi les 264 silures échantillonnés, 125 d'entre eux soit 47.3% ont fourni des échantillons utilisables pour les analyses isotopiques tandis que les échantillons de proies ont permis de disposer de 47 individus (Tableau 20, Tableau 21).

Tableau 20 Distribution en classes de taille des silures utilisés pour les analyses isotopiques en basse Loire et en Loire moyenne

	LM	BL	Total isotopes	Total proies
Classes de taille	Nombre d'individus	Nombre d'individus		
1	10	26	36	9
2	15	13	28	9
3	15	9	24	9
4	14	5	19	12
5	10	8	18	8
Total	64	61	125	47

Tableau 21 Distribution selon la période d'échantillonnage des silures utilisés pour les analyses isotopiques en basse Loire et en Loire moyenne

	LM	BL	Total isotopes	Total proies
Classes de période d'échantillonnage	Nombre d'individus	Nombre d'individus		
1	14	0	14	13
2	18	28	46	15
3	31	33	64	14
4	0	0	0	5
Non connu	1		1	
total	64	61	125	47

Les distributions en taille des échantillons de silure (ensemble des silures et silures retenus pour les analyses des isotopes), diffèrent significativement (Figure 45), les classes de taille inférieures à 40cm sont sur représentées dans l'échantillon des individus pour les analyses isotopiques. La taille médiane de ces derniers est de 75 cm alors que la médiane de l'ensemble des individus est à 33.6 cm. De même, les masses sont beaucoup plus élevées avec une médiane à 2.5 kg alors qu'elle se situe à 0.25 kg dans l'échantillon total.

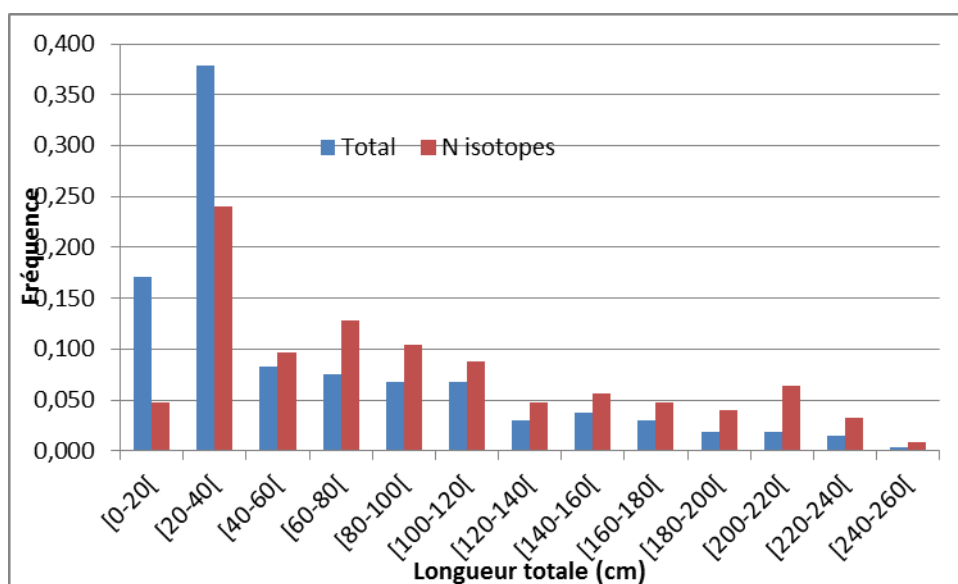


Figure 45 Fréquences des tailles de l'ensemble des silures (N=264, total) et de ceux utilisés pour les analyses isotopiques (N=125)

L'attribution des sexes (mâles, femelles et indéterminés) des poissons utilisés pour les isotopes est différente de celle observée pour l'ensemble des individus ($X^2 = 17,8$, ddl =2, $p=0.000$), les individus indéterminés sont sous représentés.

Les silures utilisés pour les isotopes ont été capturés de mars à septembre et l'ont été avec l'ensemble des outils de capture à l'exception du guideau (Figure 46), les mois de juin et juillet présentant les proportions les plus importantes.

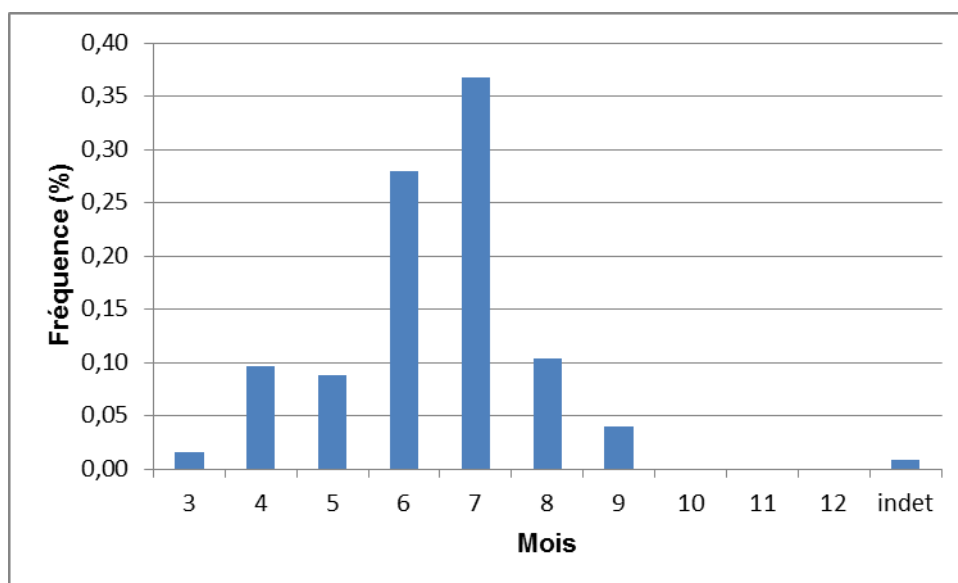


Figure 46 Fréquence de distributions temporelles des silures utilisés pour les analyses isotopiques

Les caractéristiques isotopiques des silures de basse Loire et de Loire moyenne ne présentent pas de différence significatives quel que soit l'isotope considéré (Figure 47) (tests F et t, Azote $p=0.433$, Carbone $p=0.32$, Soufre $p=0.509$). Aucune différence géographique ne sera opérée dans la suite de ce travail. De même, aucune différence n'est observée entre les périodes de capture (Figure 48, ANOVA, Azote $p=0.562$, Carbone $p=0.374$, Soufre $p=0.167$). Par contre, des différences significatives sont observées entre les classes de taille, pour chacun des trois isotopes (Figure 49, ANOVA, Azote $p=0.007$, Carbone $p=0.001$, Soufre $p=0.001$) avec une augmentation des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ avec la taille des poissons tandis qu'une réduction de $\delta^{13}\text{C}$ est observée pour les poissons de grande taille. Pour $\delta^{15}\text{N}$, la valeur maximale est observée pour la classe de taille 3.

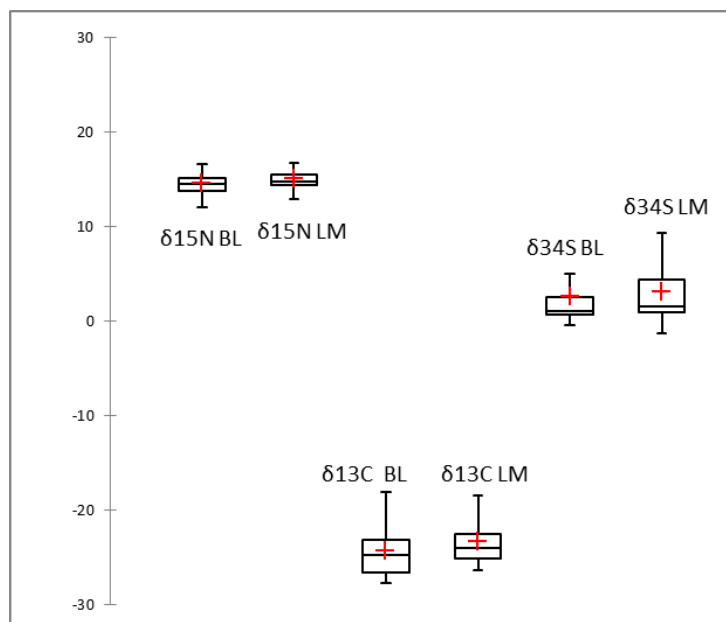


Figure 47 Caractérisation des compositions isotopiques des silures en fonction du secteur de capture en Loire : BL = basse Loire, LM = Loire moyenne.

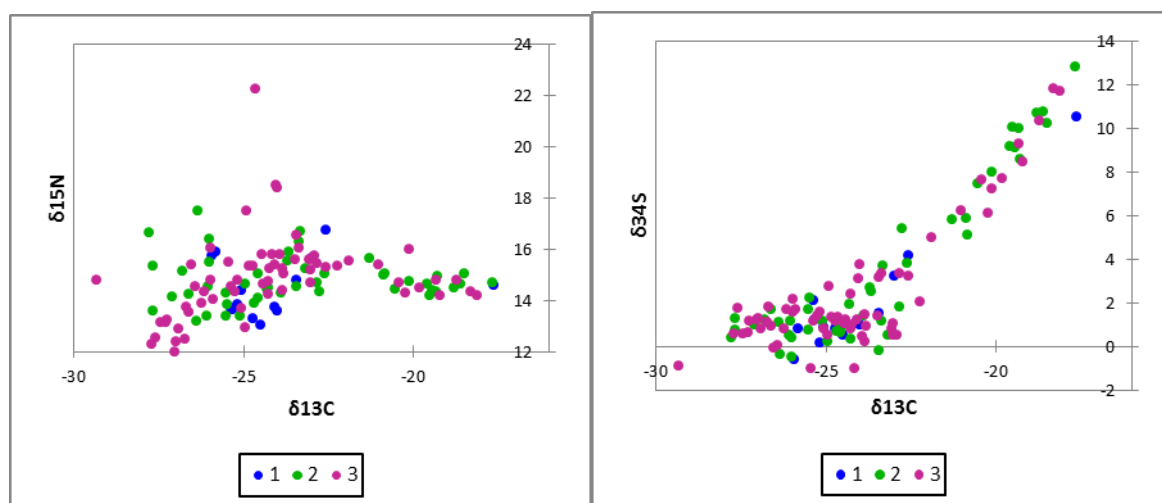


Figure 48 Biplots des compositions isotopiques des silures selon les saisons

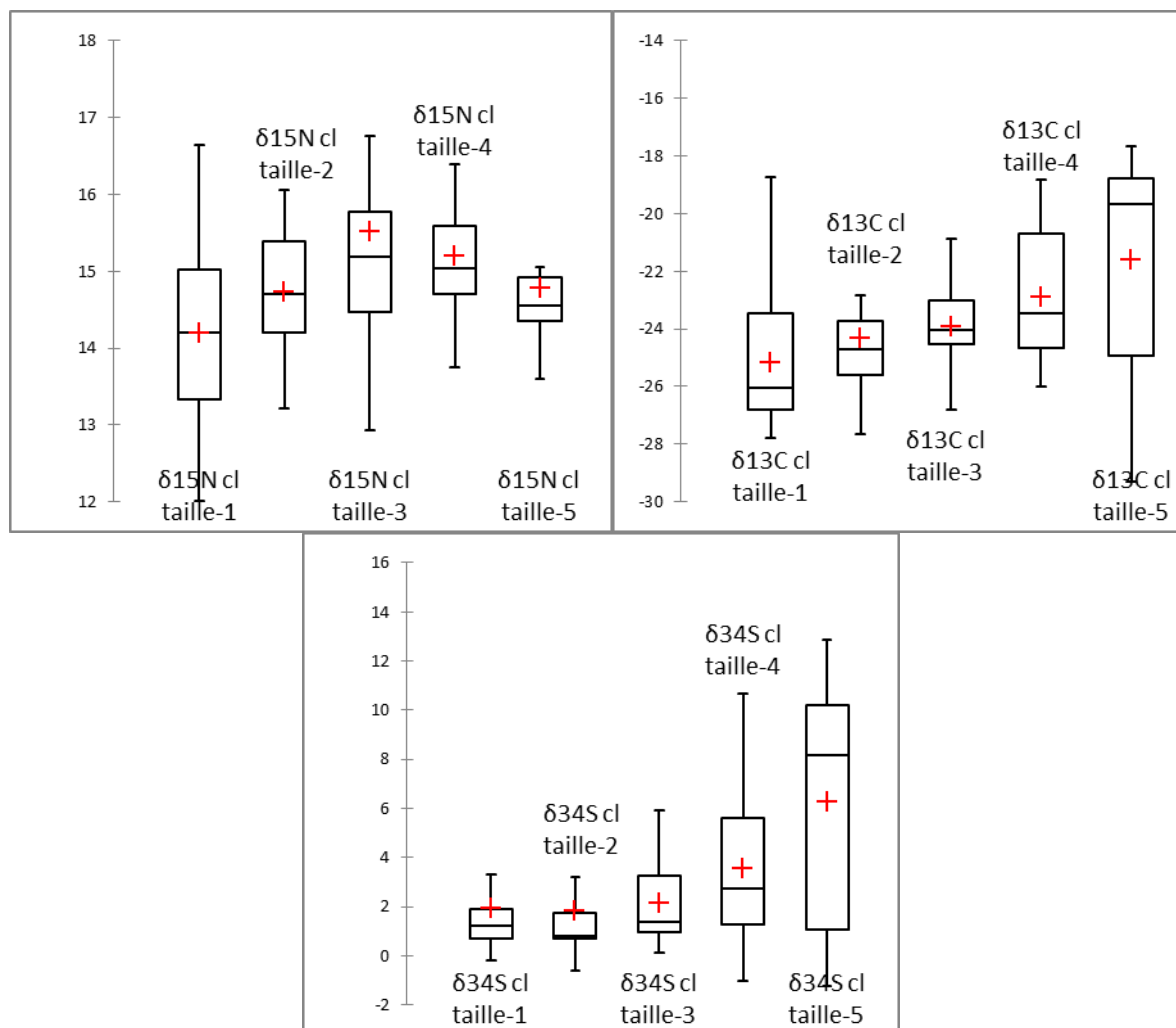


Figure 49 Caractérisation des compositions isotopiques des silures selon les classes de taille

Les proies des silures, classées en trois catégories, poissons holobiotiques d'eau douce, migrateurs anadromes et migrateurs catadromes se différencient principalement par leurs compositions isotopiques en carbone et en soufre (Tableau 22) mais ne présentent pas de différence significative pour le C/N. Les poissons anadromes présentent des signatures isotopiques caractéristiques du milieu marin avec des valeurs inférieures de 2‰ à celles observées chez les poissons d'eau douce pour $\delta^{15}\text{N}$ et supérieures d'environ 10‰ pour $\delta^{13}\text{C}$. La plus grande différence est observée pour le soufre avec plus de 13‰.

Tableau 22 Variables isotopiques des différentes catégories de proies des silures en Loire et C/N. Les valeurs entre () sont les écart-types

Source	C/N	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)
Poissons holobiotiques d'eau douce	3,49 (0,3)	16,21 (8,11)	-32,82 (18,88)	1,55 (2,15)
Migrateurs anadromes	3,73 (0,78)	13,77 (2,63)	-22,23 (5,54)	15,79 (0,55)
Migrateurs catadromes	3,40(0,16)	13,87 (5,14)	-24,44 (0,91)	2,31 (0,33)
Kruskall Wallis test, K	2,28	2,274	12,214	21,314
p value	0,319	0,321	0,002	<0,0001

Le positionnement des proies et des classes de taille des silures dans les plans associant $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ puis $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{34}\text{S}$ montre une discrimination des échantillons beaucoup plus nette dans le plan carbone-soufre (Figure 50). Pour l'azote, seuls les échantillons des silures de classe 4 et les proies dulçaquicoles diffèrent significativement (test de Kruskal Wallis avec correction de Bonferroni, $K=25.294$, $p=0.001$). Le plan $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{34}\text{S}$ permet de distinguer deux groupes de poissons, les silures des classes 4 et 5 non significativement différents des poissons migrateurs anadromes et les silures des classes 1 à 3 proches des proies d'eau douce et des mulets (test de Kruskal Wallis avec correction de Bonferroni, pour le carbone $K=35.418$, $p<0.0001$, pour le soufre $K=39.83$, $p<0.0001$). Une évolution des signatures isotopiques des silures en lien avec la croissance des poissons, partant de signatures proches de celles des proies d'eau douce pour aller, pour les plus grands individus (>180cm), vers une signature marine est observée.

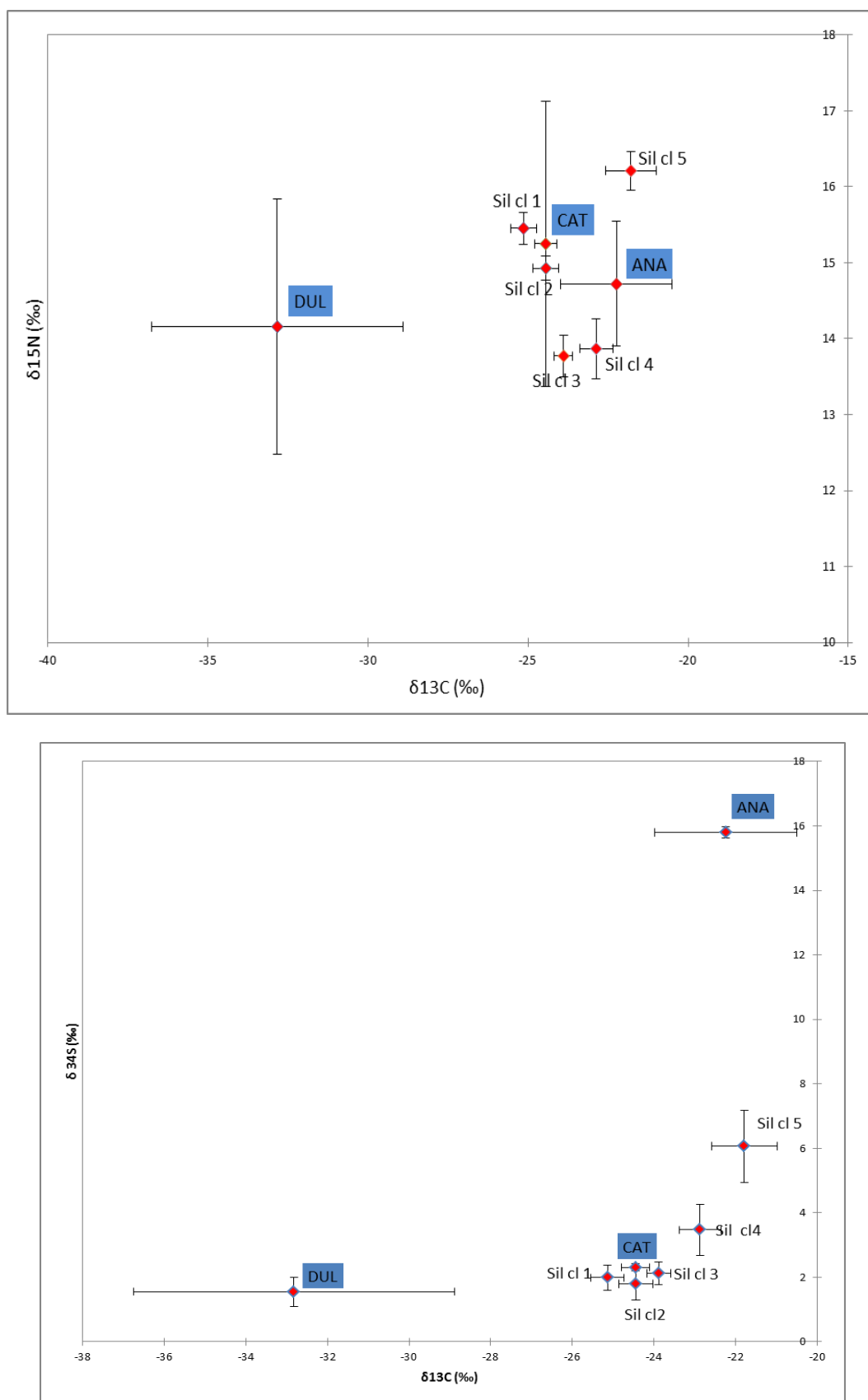


Figure 50 Biplots des valeurs des compositions isotopiques des silures et des proies, ANA = poissons migrateurs anadromes, CAT = poissons migrateurs catadromes = mulets, DUL = poissons holobiotiques d'eau douce

L'analyse des contenus stomacaux et des isotopes stables de nageoires de silure et de ses proies montrent que le silure est un prédateur, majoritairement piscivore. Parmi les poissons consommés les espèces anadromes occupent une part importante de la biomasse ingérée. Cette part augmente avec la taille du silure.

4.4.6. Approche d'une estimation des densités en milieu naturel

Le protocole d'estimation des densités de silures dans le milieu naturel a été testé à trois reprises en 2013 et 2014 dans le Cher et dans la Vienne (Annexe 4) dans le cadre d'activité de découverte du milieu naturel par le CODEP Bio 37 de la FFESSM (Figure 51).



Figure 51 Opération d'estimation des densités de silure dans le milieu naturel, le Cher à St Georges sur Cher (sources : C Boisseau, C Rives, V Chevallier)

Tableau 23 Localisation des sites où ont été estimées des densités de silure dans le milieu naturel et densités observées

Site/Rivière	Date	Coord GPS	Nb binômes	Longueur (m)	Largeur (m)	Nb silures	Densité (ind /ha)
St Georges / Cher	24/08/2013	47,332221	4	800	4	3	2,34
		1,123783					
Civray de T./ Cher	05/07/2014	47,325746	2	1140	4	3	3,29
		1,06605					
Crouzilles/ Vienne	20/09/2014	47,114866	5	2460	4	9	1,83
		0,472066					

Lors de ces observations, 15 silures ont été vus dont les tailles variaient de 40 cm à 250cm. Les densités varient de 1.8 à 2.3 individus par hectare (Tableau 23). Les habitats dans lesquels ils ont été observés sont les algues filamenteuses dans le Cher, pour deux silures (Figure 51), les herbiers de macrophytes pour 5 d'entre eux et le long ou sous des souches d'arbres pour les 8 autres.

Conclusion générale

Les travaux conduits en 2012 et 2013 dans le cadre de cette étude avaient plusieurs objectifs, assurer la pérennité du suivi des aloses en Loire moyenne, tant pour la phase adulte que pour la phase juvénile et tester l'hypothèse selon laquelle les silures consomment des migrateurs amphihalins, en période printanière en parcours libre.

Du fait des conditions hydrologiques particulières, les résultats 2012 et 2013 des filet-barrages, permettant de suivre la phase adulte des aloses, sont en dessous de la moyenne observée depuis plus de 10 ans pour la pêche aval et nuls pour la pêche amont (17 jours sans capture en 2012 et pas de pêche en 2013 en raison de l'abondance des algues vertes filamenteuses dérivantes). Toutes les aloses effectuaient leur première reproduction, la taille augmente avec l'âge pour chacun des sexes et pour une même classe d'âge, la taille des mâles est inférieure à celle des femelles.

Pour la phase juvénile, le principal résultat à retenir est que les habitats de transition, lors de la dévalaison, échantillonnés dans le département du Loiret diffèrent de ceux échantillonnés les années précédentes dans le département d'Indre et Loire dans la mesure où ils sont constitués d'une partie rivulaire de type perré, à granularité grossière, des blocs de pierre. Les conditions hydrologiques en 2013 ont été favorables à la remontée des adultes d'aloses notamment les crues de mai qui ont favorisés la remontée des géniteurs tardifs. De même, les débits observés entre les mois de juin et d'octobre, périodes de reproduction, de croissance de juvéniles et de leur dévalaison, très proches de la courbe interannuelle, ne semblent pas avoir constitué de facteurs limitant pour ces phases biologiques. Les niveaux d'abondance lors de la phase de dévalaison des juvéniles en 2013 apparaissent supérieurs à ceux observés antérieurement.

Les suivis 2012 et 2013 des phases adultes et juvéniles des aloses en Loire moyenne ont permis de pérenniser une activité engagée depuis plus de quinze ans et ont pour fonction de disposer d'outils de connaissance et de gestion de cette espèce sur les parties basse et moyenne du bassin de la Loire. La reconduction de telles opérations, dans les années à venir, en l'étendant à d'autres secteurs de la Loire moyenne, amont et aval d'Orléans, et en Loire Angevine, permettra de compléter les données sur une phase du cycle de vie de cette espèce migratrice anadrome mais aussi, apparaît très utile à moyen terme pour évaluer le succès de la reproduction des adultes lorsque les conditions hydrologiques sont peu ordinaires. En effet, ceci devrait survenir de plus en plus fréquemment et modifier les

modalités de migration et de reproduction de cette espèce en Loire moyenne en raison du changement climatique. De plus, en 2011, une très grande abondance d'alosons avait été observée, a contrario du suivi 2012-2013. Cette année 2011, pouvant servir de marqueur dans la dynamique de population, ressortira-t-elle comme une cohorte de très forte abondance ?

La troisième partie de ce travail traite des caractéristiques du silure en Loire et de son régime alimentaire. Cette étude s'inscrit dans la lignée des divers travaux de caractérisation et connaissance sur le silure en France en posant comme hypothèse que les silures consomment des poissons migrateurs amphihalins en parcours libre, c'est-à-dire en l'absence d'obstacle au déplacement des poissons. Les objectifs de départ étaient la caractérisation de la population de silure en Loire : taille, masse et sexe, l'identification de son régime alimentaire à partir des contenus stomacaux et de sa place dans le réseau trophique à partir des isotopes des protéines. Sont également fournis dans ce rapport les résultats synthétiques de la mise au point d'attribution de l'âge à partir des otolithes et des vertèbres. En effet, même si ce travail n'a pas été financé par les fonds FEDER, il l'a été par l'AELB dans le cadre de l'étude SILURUS, en basse Loire, en cofinancement avec le SMIDAP. Une mutualisation des moyens et échantillons entre les deux études, Loire moyenne et basse Loire, a donc été conduite pour les extractions d'otolithes et de vertèbres mais aussi pour les échantillons de proies des silures pour les analyses isotopiques. Enfin, est également présentée une première approche d'estimation des densités en milieu naturel par plongée subaquatique qui n'était pas du tout prévue dans le projet initial mais qui est néanmoins restituée ici.

Taille, masse, sexe

Les silures sont parmi les plus grands poissons d'eau douce du monde et le plus grand d'Europe où il peut atteindre 5 m de long pour plus de 300 kg (Copp et al., 2009, WWF 2012). Les silures de la Loire ne font pas exception et présentent des tailles maximales pouvant aller jusqu'à 2.5 m pour 92 kg. La relation taille – masse des individus de la Loire est très proche de celle des individus de la Vistule (Horoszewicz et Backiel, 2003) mais la croissance en masse semble y être plus rapide qu'en Dordogne-Garonne (Dauba et al., 2009) (Figure 52). La Loire semble donc offrir des conditions de croissance proches de celles observées dans l'aire d'origine du silure.

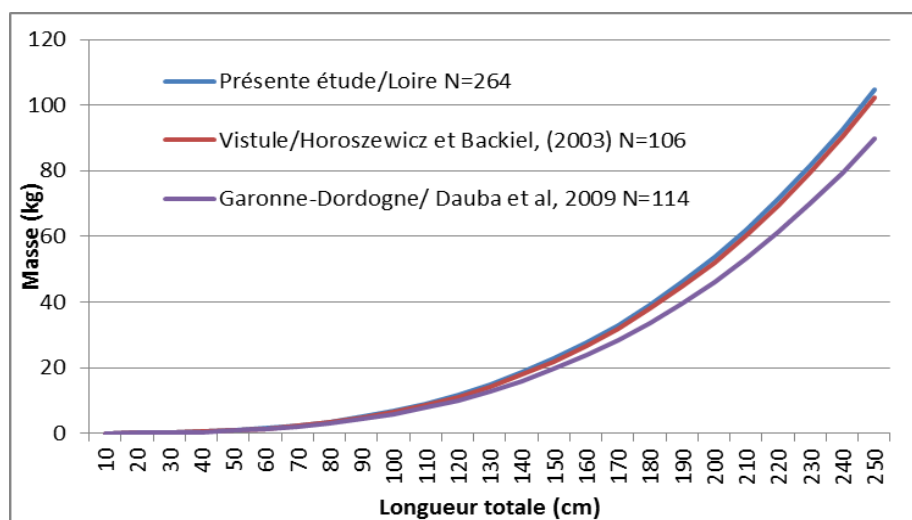


Figure 52 Relations taille- masse chez le silure dans différents bassins versants

L'attribution du sexe chez les silures n'est pas aisée surtout pour les petits individus car sexuellement immatures. Sur Dordogne-Garonne, Dauba et al., (2009) ont pu attribuer un sexe à 39% des individus échantillonnés, ce qui est inférieur au presque 66% de cette étude. Cette forte différence pourrait s'expliquer principalement par le mode d'échantillonnage employé dans cette étude où guideau, senne de plage et verveux à mailles de 27 mm ont échantillonné des petits individus. Pour les individus sexés, on notera dans les deux cas, un rapport des sexes, exprimé en nombre de mâles pour une femelle, en faveur des femelles, 0.89 pour la Loire et 0.93 pour Garonne- Dordogne.

Selon les sites, une différenciation de croissance est observée ou non entre les sexes (Alp et al., 2010 ; Copp et al, 2009 ; Dauba et al., 2009) (Tableau 24). Les silures femelles de la Loire présentent un coefficient d'allométrie inférieur à ceux de la Turquie mais supérieur à ceux de Garonne - Dordogne.

Tableau 24 Tableau caractéristiques des relations taille-masse des silures selon différentes études. NS = non significatif, ***, différence significative $p < 0.01$

Site / Référence	N	a	b	r ²	Différence entre les sexes
Loire /Présente étude Mâles N=43	43	6E-06	3,005	0,9979	***
Loire /Présente étude Femelles N=48	48	5E-06	3,0511	0,9949	
Lac en Turquie/Alp et al. 2010 Mâles N=110	110	0,0104	2,9133	0,9664	***
Lac en Turquie/Alp et al. 2010 Femelles N=135	135	0,0038	3,1295	0,9845	
Garonne-Dordogne/ Dauba et al, 2009 Mâles N=39	39	0,0107	2,8271	0,9137	NS
Garonne-Dordogne/ Dauba et al, 2009 Femelles N=42	42	0,0069	2,9536	0,9829	

Age

Les attributions d'âge chez les poissons se font généralement par sclérochronologie sur les structures comme les écailles, les vertèbres, les otolithes ... Les silures n'ayant pas d'écailles, les structures comme les otolithes, les rayons de nageoire pectorale et les vertèbres sont alors privilégiées. Trois méthodes sont possibles : coupe fine du rayon de la nageoire pectorale, coupe fine d'une vertèbre ou ponçage des otolithes. En général, les otolithes fournissent la lecture la plus fiable chez les poissons téléostéens (Panfili *et al*, 2002) car non remaniées au cours de la croissance. Compte tenu de sa stabilité chimique, cette structure permet également des études de micro chimie.

Même si l'otolithométrie a été utilisée sur des siluriformes avec succès, très peu de références récentes, relative à cette technique sur le silure glane ont été trouvées, la plupart du temps, des coupes fines du rayon de la nageoire pectorale ont été utilisées (Horoszewicz et Backiel, 2003 ; Copp *et al*, 2009 ; Leonardos *et al*, 2009).

Ce travail a permis de mettre au point une méthode d'estimation de l'âge des silures par otolithométrie et utilisation des vertèbres, ce qui en constitue une de ses originalités. La lecture de la vertèbre est un peu plus fiable et plus facile à mettre en œuvre. En effet, les

otolithes ont tendance à être vatéritiques en grossissant, ce qui réduit fortement leur lisibilité, ce qui n'est pas le cas pour les vertèbres. Il est donc recommandé d'utiliser les vertèbres si l'on veut seulement estimer l'âge du silure.

La technique d'attribution de l'âge a donné des résultats satisfaisants, bien qu'une sous-estimation de l'âge ne soit pas exclue pour les individus de grande taille comme cela est classiquement observé chez les poissons de longue durée de vie. Ainsi, chez une espèce très proche, *Silurus aristotelis*, étudiée par Leonardos *et al.* (2009), les attributions d'âge ont été estimées correctes jusqu'à l'âge de 5 ans, mais non validées par la suite. De même, Alp *et al* (2010), sur *Silurus glanis*, à partir des vertèbres, a souligné la difficulté de mise en œuvre, plus spécialement chez les poissons de grande taille.

L'âge maximal observé sur la Loire est de 18 ans, ce qui est proche des 17 ans trouvé par Alp *et al* (2004). Horoszewicz et Backiel, (2003) trouvent une valeur maximale de 13 ans dans la Vistule tandis que, dans leur synthèse sur le silure, Copp *et al* (2009) signalent des valeurs de 25 ans dans son aire de distribution d'origine. Cependant, la croissance observée sur la Loire apparaît supérieure à celles observées dans son aire d'origine et dans son aire d'introduction (Figure 53) tandis que des grandes variabilités de taille pour une même valeur d'âge sont également observées par Horoszewicz et Backiel, (2003) et Alp *et al* (2010).

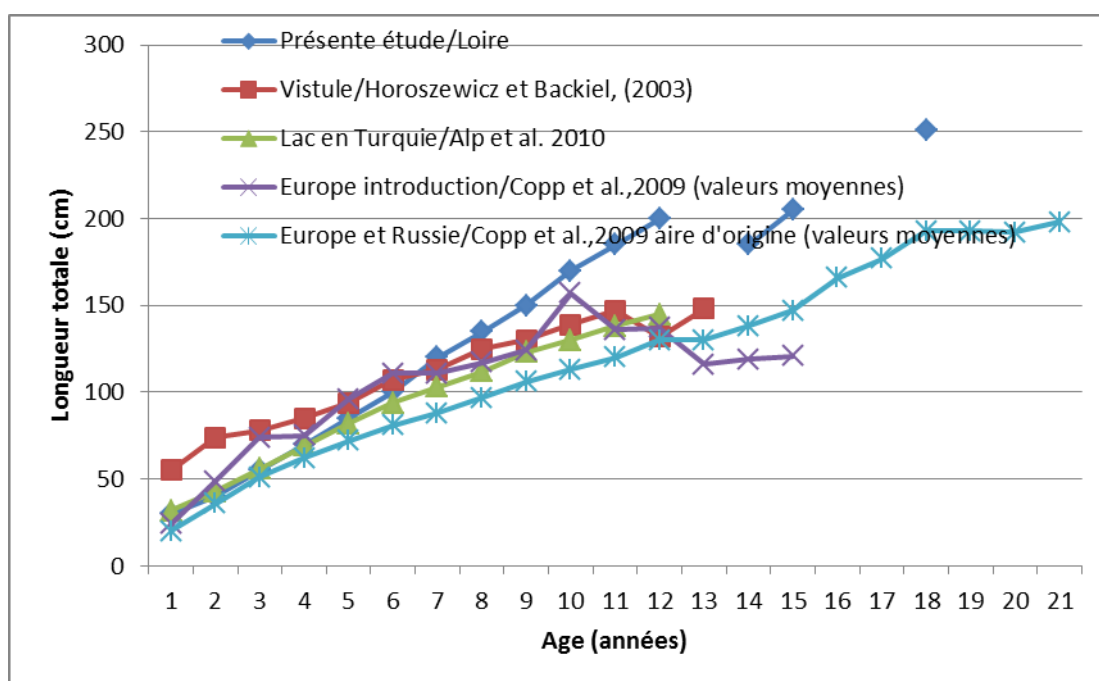


Figure 53 Relations entre la taille et l'âge chez le silure dans différents bassins versants

Enfin, la linéarité de la relation entre la taille et l'âge est relativement surprenante car la relation ne répond pas à une courbe logistique de croissance habituelle chez les poissons. En principe, un ralentissement de la croissance est observé pour les individus âgés. Cependant ce type de relation est également observé par d'autres auteurs (Figure 53). Cette relation linéaire pourrait s'expliquer par une sous-estimation de l'âge des individus les plus grands et les plus âgés en raison de difficultés de lecture des marges de l'otolithe ou par un sous échantillonnage des grands individus en raison d'une moindre accessibilité.

Proies

Il existe peu d'étude fouillée et quantitative en France sur le régime alimentaire de ce poisson, les proies sont généralement traitées en occurrence (Pouyet, 1987 ; Syväranta *et al.* 2010 ; Martino *et al.* 2011). Sur le Tarn, la Garonne et en Camargue, ces auteurs n'ont pas estimé les biomasses des proies ingérées contrairement au travail réalisé ici, ce qui en constitue la deuxième originalité.

L'indice de remplissage de 17% pour les silures de la Loire est inférieur aux valeurs observées sur la Dordogne (26 %, EPIDOR 2012) et sur Garonne- Dordogne (40%, Dauba *et al.*, 2009). Il reste cependant dans des valeurs courantes. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'échantillonnage pratiqué permet de capturer des silures en action de chasse. Ils n'ont donc pas forcément mangé au moment de la capture. De plus le silure régurgite facilement, ce qui augmente le risque de perte d'informations d'où l'intérêt de coupler avec des analyses des isotopes des protéines.

Les observations faites dans cette étude quant à l'alimentation du silure, tant de manière globale que pour chacune des 5 classes de taille, confortent les résultats obtenus antérieurement sur d'autres écosystèmes aquatiques, le silure est majoritairement piscivore, opportuniste (Copp *et al.*, 2009 ; Cucherousset *et al.*, 2012; Dauba *et al.*, 2009 ; Tixier, 1998) mais ne dédaigne pas des oiseaux ou des mammifères. Citons parmi les échantillons hors de cette étude ragondin et castor dont des portions de muscles avaient été conservées. Les poissons migrateurs anadromes constituent une grande part de la biomasse consommée même en parcours libre, notre hypothèse se trouve donc confirmée. Par contre, aucun cas de cannibalisme n'est constaté. Tout comme Martino *et al.* (2011), aucune capture d'anguille n'a été enregistrée dans ce travail. Cependant, dans le cadre de travaux menés par le Museum d'Orléans en 2012, dans les mêmes conditions d'échantillonnage, mais autour d'Orléans et à la confluence Vienne - Loire, des silures et des anguilles avaient été

rencontrés dans les contenus stomacaux des silures (Libois, Rosoux, données non publiées 2012). Enfin, il semble que la quasi-totalité des proies aient été capturées vivantes. . En ce qui concerne les poissons migrateurs anadromes, ceux-ci ont été consommé lors de leur migration génésique.

Bien qu'il ne soit pas possible de suivre l'évolution saisonnière des proies pour une même classe de taille de silure, globalement, les indices de vacuité observés en juin et juillet présentent les valeurs les plus faibles. La plus grande occurrence de proies est observée en avril et mai. Ces éléments laissent entendre une plus grande activité alimentaire à cette période. Celle-ci peut s'expliquer par le réchauffement des eaux mais aussi par un besoin énergétique important lié à la sortie de la période hivernale et à la nécessité d'accumuler des réserves énergétiques pour la reproduction qui se tient en juin (Copp et al., 2009).

Les analyses des isotopes sont considérées comme des outils performant dans l'étude d'introduction d'espèces hors de leur aire d'origine (Copp et al, 2009 ; Olsson et al, 2009) mais aussi dans l'étude des réseaux trophiques (Tcherkez, 2010 ; Sierzen et al, 2014 ; Paterson et al, 2014). Elles ont été utilisées dans la présente étude sur le silure et ses proies dans le bassin de la Loire. Les silures ne présentent pas de différences isotopiques entre la basse Loire et la Loire moyenne soit en raison de l'appartenance à un même axe fluvial ou parce que leurs comportements alimentaires ne seraient pas différents le long de cet axe. Aucune différence parmi les compositions isotopiques n'a été mise en évidence sur l'ensemble de la période étudiée. Celle-ci ayant couvert les mois de mars à août, correspondant à la période de remontée des poissons migrateurs anadromes et de présence des mulets, espèce catadrome, elle n'est peut-être pas suffisamment longue pour observer des différences saisonnières. Néanmoins, les différences de concentrations isotopiques entre les classes de taille de silure observées montrent une diminution des teneurs en carbone au fur et à mesure de sa croissance en lien avec son régime alimentaire piscivore croissant.

Ce travail confirme, une fois de plus, la consommation de proies d'origine marine en concordance avec les observations conduites sur les contenus stomacaux. Syväranta *et al.* (2009 et 2010), Martino et al. (2011) ont montré que sur la Garonne certains silures sont spécialisés sur la prédation de poissons d'eau douce et d'autres sur la prédation de migrateurs. Il semble que les silures de la Loire, au-delà de 1.2 m soient également spécialisés sur les poissons migrateurs anadromes. Cette consommation importante de poissons migrateurs en période printanière montre la grande plasticité et la grande opportunité alimentaire de cette espèce. Bien que les poissons migrateurs aient une taille

adulte importante, 30 cm à 120 cm, (toutes espèces confondues, aloses, lamproie marine, anguille et saumon), ils restent dans une gamme de taille tout à fait accessible aux grands individus de silure et présentent, au moins pour les espèces anadromes en migration de montaison, l'avantage d'être des proies très énergétiques car de grande taille et surtout très riches en lipides.

Densités et habitats

Il apparaît difficile, actuellement, d'estimer les densités de silures dans le milieu naturel de type grand cours d'eau sans cumuler différentes techniques. En effet, la pêche électrique est utilisable dans des habitats de type berges, végétaux, algues, pour les petits individus, et pour des profondeurs inférieure au mètre mais ne permet pas l'accès aux habitats tels que grosses encombres ou dans des secteurs à profondeur largement supérieure au mètre. Des engins tels que les verveux apparaissent les mieux adaptés pour les berges tandis que les filets dérivants permettent d'échantillonner en pleine eau et la gamme de taille des mailles permettent alors de cibler une gamme de taille de poisson. La plongée subaquatique, peut être un complément pour des habitats en zones profondes ou des habitats difficiles d'accès (blocs, anfractuosités, épaves, ...) à condition que le courant ne soit pas un risque pour le plongeur et que la transparence de l'eau permette les observations. Dans certains cas, il est même possible de mesurer la longueur des poissons. Cependant, cette technique est lourde en moyens humains et matériels comme les pêches électriques. Dans les cours d'eau très profonds ou les canaux, l'utilisation de sondeurs multifaisceaux serait à tester. Néanmoins, les essais conduits en 2013 et 2014 ont montré que comme sur la Dordogne, il est possible d'échantillonner des silures en grand cours d'eau par plongée subaquatique. Les habitats fréquentés par les silures en journée, correspondent à ceux cités par Bruton (1996) et Carol et al. (2007), la zone de rive, avec un site de repos dans la végétation dense ou une zone avec des débris ou des racines.

Conclusion générale

La grande opportunité alimentaire du silure pose question quant à son impact sur la communauté de poissons migrateurs ligériens. En effet, ceux-ci sont consommés au droit des barrages mais également en l'absence de tout obstacle. Même si il n'est pas possible actuellement d'évaluer les densités de silures dans un grand cours d'eau comme la Loire et donc de quantifier une pression de prédation sur les espèces migratrices amphihalines, cette

pression existe néanmoins. Or, la Loire accueille une richesse exceptionnelle d'espèces migratrices amphihalines avec pas moins de 7 espèces classées « en danger ou vulnérables », selon les critères de l'UICN, le saumon, l'anguille, la truite de mer, les deux espèces d'aloses (Grande alose et Alose feinte) et de lamproies (fluviale et maritime) (UICN, 2012) et 2 autres espèces non vulnérables, le mulot et le flet. De plus, certaines de ces espèces font l'objet de plan de restauration ou tout au moins de mesures de surveillance dans le cadre du COGEPOMI du bassin de la Loire et des côtières vendéens. Des mesures de surveillance et de gestion du silure sont donc nécessaires dans l'objectif de maximiser les retours sur les zones de reproduction des saumons, aloses et lamproies.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR 2006. Norme EN 14962, guide sur le domaine d'application et la sélection des méthodes d'échantillonnage des poissons. 30p.

Alp A., Kara C., Üçkardes F., Carol J., Garcia-Berthou E. 2010. Age and growth of the European catfish (*Silurus glanis*) in a Turkish Reservoir and comparison with introduced populations. *Rev. Fish Biol. Fisheries* 21, 283-294.

Baglinière JL, Sabatie MR, Aprahamian MW, Alexandrino P., Aprahamian D.C., Assis C.A., Cassou-Leins JJ, Le Corre M, Mennesson-Boisneau C., Martin Vamdembulcke D., Rochard E., Teixeira C., 2000. 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.

Béjean M., 2010. Recherche de l'Apron du Rhône (*Zingel asper*) dans les sites Natura 2000 « Basse Vallée du Doubs » (39) et « Vallée de la Lanterne » (70) par plongée subaquatique. Rapport FFESSM 25, 3p

Béjean M., Kupfer M., 2013. Recherche de l'Apron du Rhône (*Zingel asper*) dans les sites Natura 2000 « Vallée du Doubs de St Hippolyte à Soultz-Cernay » (25). Rapport FFESSM 25.

Boulêtreau S, Cucherousset J, Villegier S, Masson R, Santoul F 2011. Colossal Aggregations of Giant Alien Freshwater Fish as a Potential Biogeochemical Hotspot. *PLoS ONE* 6(10): e25732. doi:10.1371/journal.pone.0025732.

Bruslé J, Quignard JP, 2006. Biologie des poissons d'eau douce européens. Lavoisier Tec & Doc.

Bruton M.N. (1996). Alternative life-history strategies of catfishes. *Aquatic Living Resources* 9, 35–41.

Carol J., Zamora L., Garcia-Berthou E. (2007). Preliminary telemetry data on the patterns and habitat use of European catfish (*Silurus glanis*) in a reservoir of the River Ebro, Spain. *Ecology of Freshwater Fish* 16, 450–456.

Chaline J., Baudvin H., Jammot D., Saint Girons M.C., 1974. Les proies des rapaces. Doin, Paris, 141 p.

Chanseau M., Dartiguelongue J., Larinier M., 2000, Analyse des données sur les passages enregistrés aux stations de contrôle des poissons migrateurs de Golfech et du Bazacle sur la Garonne et de Tuilières sur la Dordogne, rapport GHAPPE RA00.02 / MIGADO G14-00-RT, 64 p.

Connolly, R., Guest, M., Melville, A., Oakes, J., 2004. Sulfur stable isotopes separate producers in marine food-web analysis. *Oecologia* 138, 161-167.

Copp, G.H., Bianco, P.G., Bogutskaya, N.G, 2005. To be, or not to be, a non-native freshwater fish? *Journal of Applied Ichthyology* 21, 242–262.

Copp GH, Britton JR, Cucherousset J, Garcia-Berthou E, Kirk R, 2009. Voracious invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish *Silurus glanis* in its native and introduced ranges. *Fish Fish* 10: 252–282.

Corbet G., Ovenden D., Saint Girons M.C., 1984. Mammifères d'Europe. Bordas, Paris, 240 p.

- Cucherousset J, Boulêtreau S, Azémar F, Compin A, Guillaume M., 2012. "Freshwater Killer Whales": Beaching Behavior of an Alien Fish to Hunt Land Birds. PLoS ONE 7(12): e50840. doi:10.1371/journal.pone.0050840
- Dauba F., Duquesne E., Pacaux L. 2009. Etude de la population de silure à l'aval du bassin Gironde Garonne Dordogne. Rapport IMA -ENSA Toulouse, 74p.
- Debrot S., Fivaz G., Mermod C., Weber J.M., 1982. Atlas des mammifères d'Europe. C. Mermod, Neuchâtel, 208 p.
- Elvira, B. and Almodovar, A., 2001. Freshwater fish introductions in Spain: facts and figures at the beginning of the 21st century. Journal of Fish Biology 59, 323–331.
- EPIDOR, 2012. Mise en place d'une étude sur le Silure - Rivière Dordogne. Epidor.
- Fry, B., Joern, A., Parker, P.L., 1978. Grasshopper Food Web Analysis: Use of Carbon Isotope Ratios to examine Feeding Relationships among Terrestrial Herbivores. Ecology 59, 498-506.
- Fry, B., 2006. Stable Isotope Ecology. Springer, New York.
- Géroutet P., 1959. Les palmipèdes. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel, 284 p.
- Géroutet P., 1967. Les Echassiers. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel, 288 p.
- Horoszewicz L, Backiel T. 2003. Growth of wels (*Silurus glanis* L.) in the Vistula River and the Zegrzyn'ski Reservoir (Poland). Arch Pol Fish 11:115–121
- Keith P., Persat H., Feunteun E., Allardi, J., 2011. Les poissons d'eau douce de France. Museum National d'Histoire Naturelle et Biotope. Paris Collection Inventaires et Biodiversité, 552 p.
- Labrosse P, M Kulbicki, J Ferraris, 2001. Comptage visuel de poissons en plongée, conditions d'utilisation et de mise en œuvre. Secrétariat général de la Communauté du Pacifique, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, IRD, 60p.
- Lemarchand C., 2012. L'écrevisse à pattes blanches. Histoire d'une sauvegarde. Catiche Production, Nohanent, 32 p.
- Leonardos I.D., Tsikliras A.C., Batzakas I., Ntakos A., Liousia V. 2009. Life-history characteristics of the endangered Aristotle's catfish (*Silurus aristotelis* Garman, 1890), Lake Pamvotis, north-western Greece. Journal of Applied Ichthyology 25, issue 6, 746-751.
- Libois R.M. et Hallet-Libois C., 1988. Eléments pour l'identification des restes crâniens des poissons dulçaquicoles de Belgique et du Nord de la France. II. *Cypriniformes*. Fiches Ostéol. anim. pr. Archéol. sér. A, n°4, Centres Rech. Archéol. CNRS, Valbonne, 24 p. <http://hdl.handle.net/2268/114725>
- Libois R.M., Hallet-Libois C., Rosoux R., 1987. Eléments pour l'identification des restes crâniens des poissons dulçaquicoles de Belgique et du Nord de la France. I. Anguilliformes, Gasterosteiformes, Cyprinodontiformes et Perciformes. Fiches Ostéol. anim. pr. Archéol. sér. A, n°3, Centres Rech. Archéol. CNRS, Valbonne, 15 p. <http://hdl.handle.net/2268/114724>
- Luneau S., Mertens D., Changeux T. 2003. Guide des engins de la pêche fluviale et lacustre en France métropolitaine. Coll. mise au point, Conseil Supérieur de la Pêche, 198p.
- Menesson-Boisneau C., Bagliniere 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.BAGLINIERE, J. CASTANET, F. CONAND, F.J. MEUNIER (Eds), ORSTOM-INRA, Paris, pp.221-231.
- Minagawa M, Wada E, 1984. Stepwise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. Geochim Cosmochim Acta, 48:1135–1140.

- Martino, A., Sivänta, J., Crivelli, A., Cereghino, R. and Santoul, F., 2011. Is European catfish a threat to eels in southern France? *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 21: 276–281.
- Orlova, E.L. and Popova, O.A. 1987. Age related changes in feeding of catfish, *Silurus glanis*, and pike, *Esox lucius*, in the outer delta of the Volga. *Journal of Ichthyology* 27, 54–63.
- Olsson K, Stenroth P, Nyström P, Graneli W. 2009. Invasions and niche width: Does niche width of an introduced crayfish differ from a native crayfish? *Freshw Biol* 54:1731–1740
- Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., Wright, P.J., 2002 : in Manuel de sclérochronologie des poissons, (ed Ifremer, IRD), Estimation de l'âge Panfili, J., Morales-Nin, B., p.92
- Paterson G, Rush S, Arts M, Drouillard K, Haffner G, Johnson T, Lantry B, Hebert C, MCGoldrick, Bachus S, Fisk A. 2014. Ecological tracer reveal resource convergence among prey fish species in a large lake ecosystem. *Freshwater Biology*, 59, 2150-216.
- Peterson BJ, Fry B, 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu Rev Ecol Syst* 18:293–320.
- Pouyet C. 1987. *Etude des relations trophiques entre poissons carnassiers dans une rivière de seconde catégorie, référence particulière au silure glane (Silurus glanis, Siluridae)*. Rapport technique de D.E.A. Université de Lyon I, Villeurbanne, 25 pp.
- Saint Girons M.C., 1973. Les mammifères de France et du Bénélux. Doin, Paris, 481 p.
- Sierzen M, Hrabik T, Stocwell J, Cotter A, Hoffman J, Yule D. 2014. Depth gradients in foodweb processes linking habitats in large lakes: Lake Superior as an exemplar ecosystem. *Freshwater Biology*, 59, 2122-2136
- Svensson L., Mullarney K., Zetterström D., Grant P.J. 2000. L'album ornitho. Delachaux & Niestlé, Lausanne, 399 p.
- Syväranta J, Cucherousset J, Kopp D, Martino A, Cereghino R, Santoul F. 2009. Contribution of anadromous fish to the diet of European catfish in a large river system. *Naturwissenschaften* 96: 631–635.
- Syväranta J., J. Cucherousset, D. Kopp, A. Crivelli, R. Céréghino, F. Santoul, 2010. Dietary breadth and trophic position of introduced European catfish *Silurus glanis* in the River Tarn (Garonne River basin), southwest France. *Aquat Biol*, 8: 137-144.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. & Usseglio-Polatera, P. 2010. Invertébrés d'eau douce - systématique, biologie, écologie. CNRS éditions, Paris, 607 p.
- Tcherkez G. 2010. Isotopie biologique. Lavoisier Ed; 237p.
- Tixier P. (1998). Le silure glane (*Silurus glanis* L.) : Biologie, Colonisation et Impacts. Université Paris IV, rapport bibliographique réalisé dans le cadre d'une maîtrise de biologie, 24 p.
- UICN, 2012. La Liste rouge des espèces menacées en France. Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Rapport UICN, 12p.
- Valadou B., Changeux T., Proteau J.P., Belliard J., Ledouble O. (2007). Le *silure glane* (*Silurus glanis* L.) en France. Evolution de son aire de répartition et prédiction de son extension. I.R.D., C.S.P., Cemagref, 99 p.
- Wise M.H., 1980. The use of fish vertebrae in scats for estimating prey size of otters and mink. *J. Zool. London*, 192 : 25-31.
- Wysujack, K., Mehner, T., 2005. Can feeding of European catfish prevent cyprinids from reaching a size refuge? *Ecology of Freshwater Fish* 14, 87–95.
- WWF, 2012. River of giants. Giant Fish of the Mekong. 16p.

ANNEXES

Annexe 1

Caractéristiques des géniteurs d'aloses feintes et hybrides en 2013

Engin	Lot pêche	Date de capture			NE	Espèce	Nb Br.	Sexe	Année naissance	Age	LF(mm)	PT(g)	K
Fixe 45mm	H3	09	05	2013	26	ALH	81	1	2009	4	352	430	0.99
Fixe 45mm	H3	22	05	2013	30	ALH	74	1	2009	4	327	470	1.34
Fixe 45mm	H3	15	05	2013	28	ALF	53	1	2009	4	343	516	1.28
Fixe 45mm	H3	21	02	2013	29	ALF	58	1	2009	4	355	590	1.32

Engin : Filet fixe de maille 45mm

NE : Numéro d'échantillon

Espèce : ALF (Alose Feinte); ALH (Alose Hybride)

Nb Br. : nombre de branchiospines du premier arc branchial gauche

Sexe : 1 pour mâle, 2 pour femelle

LF (mm) : Longueur Fourche

PT (g) : Poids Total

K : Coefficient de condition

Annexe 2

Document envoyé aux pêcheurs échantillonneurs pour l'étude silure

Bonjour,

Vous avez accepté de participer à l'étude Alosa. L'étude Alosa est portée par l'université de Tours avec l'AAippblb comme sous-traitant. Elle est la continuité des études aloses des années précédentes que portait l'AAippblb en partenariat avec l'université de Tours. En 2013, en plus du suivi des migrations des adultes et des juvéniles d'aloses, il est prévu d'étudier la prédation potentielle du silure sur les poissons migrateurs en parcours libre.

Vous allez en 2013 capturer des silures dans le cadre de vos activités de pêche habituelles et sur ces poissons nous aurons besoin de plusieurs éléments pour une période commençant dès maintenant et allant jusqu'à fin octobre.

Renseignements halieutiques : Le lieu (lot de pêche + commune), la date de pêche, l'engin (filet dérivant, ...), la taille de la maille, la durée de pêche, et le nombre de poissons capturés par espèce sur la même base que la déclaration mensuelle (cf tableau ci-joint). Il est important de noter même les fois où il n'y a pas eu de capture de silures.

Renseignements biologiques : lorsqu'un ou des silures ont été capturés, pour chaque poisson faire les opérations suivantes et remplir une deuxième fiche (cf tableau ci-joint). Sur l'ensemble de cette période d'étude, il faut 10 à 15 poissons complets par site pour les prélèvements biologiques et plus si vous le pouvez pour les mesures. Un poisson dit complet est un poisson pour lequel on peut collecter, taille, poids, sexe, estomac plein, vertèbres et bouts de nageoires.

Si le silure mesure moins de 1.4m :

Longueur en cm, poids en kg, sexe (cf photos ci-dessous).

Si le silure mesure plus de 1.4m :

Prendre 2 morceaux de nageoire (cf dessin ci-après). Avec des ciseaux propres et nettoyés entre chaque poisson pour éviter une contamination, couper deux morceaux de nageoire de 1 à 2cm² et les mettre chacun dans un **tube numéroté** qui vous sera fourni. Fermer les tubes et les remettre dans le sac numéroté puis congeler. Il est très important de prendre l'échantillon au bout de la nageoire avec un maximum de peau et le moins possible de rayons durs car cela fausserait la mesure. Ces prélèvements serviront à l'analyse des isotopes stables qui permettront de savoir si le silure a mangé, dans les mois antérieurs, des poissons amphihalins.

Prélever l'estomac du silure. Si il est vide, le noter sur la fiche sans le conserver. Si il contient quelque chose, mettre l'estomac dans un **sac plastique numéroté E** et congeler. Ceci sera envoyé au muséum d'Orléans qui identifiera les proies à l'espèce ce qui permettra plus précisément de savoir ce que le silure a mangé en général et comme poissons migrateurs en particulier. Ceci complète les analyses isotopiques. Si le silure recrache ses proies, procéder de la même manière, récupérer les proies et les mettre dans le sac plastique numéroté avec la lettre E.

Prélever 4 à 5 vertèbres en arrière de la tête, les mettre dans un **sac plastique numéroté V** et congeler. Ceci servira à établir l'âge du poisson.

Vous pouvez aussi faire des **photos** en identifiant bien le poisson par son numéro.

Si le silure a mangé et recraché un saumon ou une lamproie marine, mettre également un bout de nageoire ou à défaut de muscle blanc de la proie dans un petit tube. Cela servira à

mesurer les isotopes des proies amphihalines. Mettre le tube supplémentaire dans le même sac que le silure en notant sur la fiche si c'est saumon ou lamproie et nageoire ou muscle.

Pour chacun de vous, le nombre prévu de silures avec estomacs pleins, vertèbres et échantillons de nageoires est indiqué dans le tableau ci-dessous. Afin de mieux cerner l'impact de la prédation du silure sur les amphihalins les sites ont été choisis de la manière suivante :

N Hérault à l'amont de la confluence avec la Vienne, entrée dans la Loire moyenne,

P Boisneau amont confluence avec le Cher,

B Gabris, avant passage dans la portion de Loire contenant les 3 centrales nucléaires,

S Trevel à l'amont de cette portion.

Le site correspondant à C Sergent a été rajouté à cause des captures en aval d'un petit seuil.

Ces 20 poissons **complets** seront à répartir entre avril et mi juin, en juillet et en septembre, ceci correspond aux chiffres (8-3-4) dans le tableau. Si pour chaque période vous capturez des poissons en plus, il suffit de prendre la taille, le poids, le sexe et des échantillons de nageoire. **Il est très important de prendre des échantillons dès maintenant avec des estomacs pleins car c'est la période de passage des migrants.**

	nbre poissons avec estomacs pleins	nbre poissons collectés	Hérault (10)	Boisneau (10)	Gabris (15)	Sergent (10)	Trevel (15)
silures							
>1m cher	10						
Loire							
0-20cm	4						
20 -40 cm	4						
40-60cm	4						
60-80 cm	4						
80-100cm	4						
100 -140 cm	4						
>1,4m Loire	60		(5-2-3)	(5-2-3)	(8-3-4)	(5-2-3)	(8-3-4)
140-180 cm							
180-220 cm				1			
>220 cm			1				

Prestation des pêcheurs :

Conformément au dossier déposé par l'Université de Tours, une ligne budgétaire a été prévue pour financer votre participation. Ce financement, établi sur 60 estomacs, est basé sur un forfait de 10 euros HT par estomac plein prélevé et conditionné.

Si pour des raisons multiples (forte abondance de silures, grande proportion d'estomacs pleins...) votre quota individuel (10 ou 15 estomacs pleins) risque d'être rapidement dépassé, des reports de lignes budgétaires pourraient être envisagés, dans la limite du possible, afin de vous indemniser le surplus d'échantillons.

Cela nécessite donc de votre part et de la notre, une circulation rapide des informations, le mieux étant par mail. Voici les adresses des personnes concernées par ce projet :

Catherine Boisneau (UnivTours) : catherine.boisneau@univ-tours.fr 02 47 23 86 09

Mathieu Bodin (Aaippblb) : aaippblb@laposte.net 06 79 95 97 87

Nicolas Hérault : nhpeche@orange.fr 06 18 44 11 93

Philippe Boisneau : philippe.boisneau@wanadoo.fr 06 11 29 11 64

Bruno Gabris : contact@pecheursdeloire.fr 06 86 58 98 77

Charles Sergent : sergentcharles@gmail.com 06 86 81 69 99

Sylvain Trevel : sylvain.trevel0686@orange.fr 06 70 75 67 97



Photographie des critères de sexage pour le silure (Verdeyroux, P.)

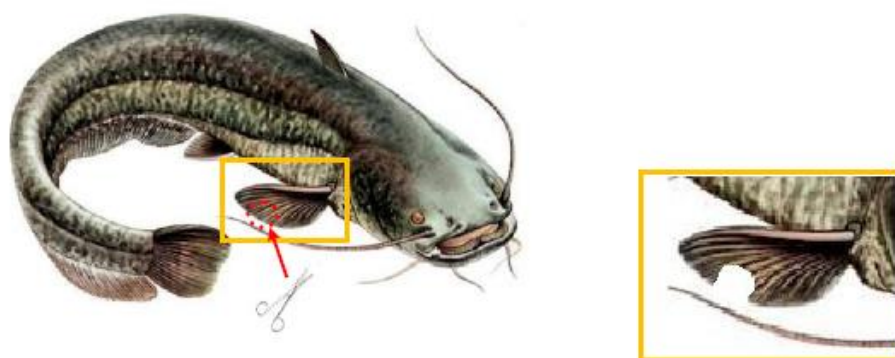


Schéma descriptif du prélèvement de nageoire pour analyse isotopique

Univ Tours ALOSA 2012-13

Annexe 3

Espèces proies consommées par les silures échantillonnés en parcours libre, en basse Loire et en Loire moyenne.

			Abondances	Occurrences	Biomasses totales
Total			347	79	37765,4
<i>Rattus norvegicus</i>	Rat	Mammifères	1	1	250
<i>Anas platyrhynchos</i>	Colvert	Oiseaux	1	1	1000
<i>Podiceps ruficollis</i>	Grèbe huppé	Oiseaux	2	2	2180
<i>Gallinula chloropus</i>	Poule d'eau	Oiseaux	2	2	540
<i>Lamproie de Planer</i>	Lamproie de Planer	Cyclostomes	7	1	40
<i>Petromyzon marinus</i>	Lamproie marine	Cyclostomes	4	4	1870
<i>Cyprinidés</i>	Cyprinidés	Poissons	28	8	1894
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	Poissons	2	2	49
<i>Carassius sp</i>	Carassin	Poissons	3	3	320
<i>Leuciscus cephalus</i>	Chevaine	Poissons	3	3	221
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	Poissons	2	2	16
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	Poissons	1	1	10
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	Poissons	87	3	680
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	Poissons	9	4	509
<i>Liza ramada</i>	Mulet porc	Poissons	11	8	10191
<i>Alosa alosa</i>	Grande alose	Poissons	4	4	5840
<i>Salmo salar</i>	Saumon	Poissons	2	2	10000
<i>Stizostedion luciperca</i>	Sandre	Poissons	1	1	1450
Poisson indet	Poisson indet	Poissons	7	3	7
Insectes	Insectes	Insectes	27	7	5,4
<i>Gammarus sp</i>	Gammarus	Crustacés	6	4	6
<i>Orconectes limosus</i>	Orconectes limosus	Crustacés	9	7	90
<i>Viviparus viviparus</i>	Viviparus	Mollusques	1	1	5
<i>Corbicula fluminea</i>	Corbicules	Mollusques	127	5	592

Annexe 4

Localisation des sites de prospection pour estimation des densités de silures en milieu naturel

