



- RAPPORT D'ETUDE -

2019 N° 6/15

Faisabilité d'utilisation de la microchimie des otolithes d'aloses feintes de Méditerranée

ALIX F. RIVOALLAN D. • Février 2020



Photo de couverture

(© STRUCTURE / Auteur (exemple Y. Goughenheim) Année)

Référence à citer

ALIX F., MATHERON C., RIVOALLAN D., 2020. Faisabilité d'utilisation de la microchimie des otolithes d'aloses feintes de Méditerranée. Campagne d'Études 2020. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 30p + annexes

Remerciements

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM) tient à remercier vivement tous ceux qui, par leur collaboration technique ou financière, ont contribué à la réalisation de cette étude.

PARTENAIRES FINANCIERS

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
- Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Région Auvergne Rhône-Alpes
- Fédération Nationale pour la Pêche en France
- Compagnie Nationale du Rhône dans le cadre de ses missions d'intérêt général

MEMBRES MRM

- Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (FDAAPPMA) de l'Ain, des Alpes de Haute Provence, des Hautes-Alpes, des Alpes-Maritimes, de l'Ardèche, de l'Aude, des Bouches-du-Rhône, de la Corse, de la Drôme, du Gard, de l'Hérault, de l'Isère, de la Loire, des Pyrénées-Orientales, du Rhône, de la Savoie, de Haute-Savoie, de Haute-Saône, de la Saône et Loire, du Var et du Vaucluse
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique PACA (ARFPPMA PACA)
- Association Régionale des Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique Auvergne-Rhône-Alpes (ARPARA)

PARTENAIRES TECHNIQUES

- CNRS de Pau
- SCIMABIO Interface
- Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de l'Ardèche, de l'Aude, des Bouches-du-Rhône, du Gard, de l'Hérault et du Vaucluse
- Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de Narbonne, de Sallèles d'Aude, Les amis pêcheurs de Montfrin, de pont Saint Esprit, de Bagnols sur Cèze, de Saint Just d'Ardèche, le brochet Vidourlais

Résumé

Actuellement, les suivis relatifs à l'alse feinte de Méditerranée se concentrent principalement sur la migration anadrome et la reproduction. Ces suivis visent à caractériser l'évolution de la population d'aloses afin de visualiser l'effet des mesures de gestion en sa faveur.

Initialement mis en place sur le bassin du Rhône et l'Aude au travers des Plans de Gestion des Poissons Migrateurs successifs (notamment par les suivis de la reproduction et de la pêche), la zone d'étude s'est étendue progressivement aux autres fleuves côtiers, avec le Vidourle en 2007 (comptage des bulles d'aloses), l'Hérault depuis 2015 (suivi vidéo de la passe à poissons de Bladier Ricard) ainsi que d'autres projets qui sont en phase de finalisation pour aboutir à un suivi sur l'ensemble du territoire au cours du PLAGEPOMI 2016-2021.

Il est largement reconnu que la qualité des habitats de reproduction influence directement la survie des juvéniles et donc la contribution de certaines frayères au stock global de l'espèce. Ainsi, le maintien des populations dépend de la colonisation du cours d'eau en question, de l'accessibilité des zones de reproduction et de la qualité des habitats présents (pour la reproduction et le développement des juvéniles).

En lien avec les obligations réglementaires sur la restauration de la continuité écologique (Article L214.17 du Code de l'Environnement), un important linéaire redevient progressivement accessible pour la reproduction des aloses et son suivi relativement lourd à mettre en œuvre nécessite aujourd'hui des méthodes alternatives ou complémentaires.

Connaître la contribution des cours d'eau au stock d'aloses en Méditerranée serait donc un atout conséquent. Il permettrait par ailleurs d'optimiser les mesures de gestion pour l'espèce à l'échelle du bassin Rhône-Méditerranée.

La méthodologie sélectionnée pour répondre à cet objectif est l'analyse microchimique des otolithes d'aloses qui permet de retracer leur histoire de vie. Cette méthode a d'ores et déjà fait ses preuves sur d'autres espèces d'aloses, en France sur les grandes aloses (*Alosa alosa*) de la façade Atlantique mais également outre Atlantique sur les aloses à dos bleus (*Alosa aestivalis*). La mise en place d'une telle étude nécessite une importante phase de faisabilité qui a démarré lors de la saison 2019.

L'otolithe est une pièce calcaire située dans l'oreille interne des poissons. C'est une pièce présente dès l'éclosion du poisson et qui croît tout au long de la vie de l'individu. C'est une pièce qui est métaboliquement inerte et dont le calcaire n'est pas résorbable contrairement à celui des écailles qui est remobilisé pour la maturation des gamètes chez l'alse. L'otolithe a la particularité « d'imprimer » la signature géochimique du cours dans lequel le poisson vit. Cette signature est notamment caractérisée par le rapport de divers éléments comme le rapport Strontium/Baryum ou bien Strontium/Calcium mais également par des rapports isotopiques tels que le rapport Strontium 87/Strontium 86. En théorie, chaque cours d'eau possède sa propre signature géochimique.

La mise en place d'une telle étude nécessite de respecter des conditions d'application :

1 : Les différents milieux de vie ciblés doivent avoir des signatures géochimiques différentes. Cette condition est indispensable pour la transmission à l'otolithe de signatures élémentaires ou isotopiques uniques qui permettront de distinguer les différents sites de naissance

2 : Le contenu géochimique de l'otolithe doit correspondre fidèlement à la signature géochimique du milieu dans lequel il se trouve (des facteurs endogènes (métabolisme de l'individu) ou exogène (température) peuvent influencer dans l'incorporation des éléments sur l'otolithe)

3 : Les signatures géochimiques des cours d'eau doivent être stables dans le temps : condition nécessaire pour mener une étude sur plusieurs cohortes

Les investigations de terrain menées en 2019 visent à vérifier ces conditions d'applications. Pour cela, des échantillons d'eau ont été prélevés sur les cours d'eau du bassin Rhône Méditerranée où la présence de l'alose est avérée et sur les cours d'eau susceptibles d'accueillir l'espèce. Le second volet de la campagne s'est porté sur la recherche d'alosons sur certains sites connus de reproduction

19 sites ont été échantillonnés en allant du Tech à l'Argens et en remontant jusqu'à l'Eyrieux et la Drôme sur l'axe Rhône en période d'étiage (prélèvements effectués au mois de juillet et août). Ces prélèvements ont ensuite été transmis à un laboratoire pour analyse. L'objectif premier était de vérifier que les différents cours d'eau échantillonnés de notre territoire possèdent des signatures géochimiques différentes (CA 1). Ce que l'on peut retenir de ces analyses c'est qu'il n'y a pas de différenciation marquée entre les affluents du Rhône, le Rhône lui-même et les fleuves côtiers. A titre d'exemple le Vidourle, l'Ouvèze et l'Agly semblent avoir signatures microchimique semblables sans cohérence géographique apparente. A ce stade de l'étude, il est difficile de statuer sur les cours d'eau que l'on pourra distinguer des autres. L'analyse des otolithes de juvéniles, prévu en 2020 nous apportera des éléments d'informations précieux pour compléter les premiers résultats, notamment sur la stabilité temporelle des signatures géochimiques des cours d'eau. De plus, ce n'est qu'en ayant un regard d'ensemble sur les résultats des différentes analyses effectuées que nous pourrons distinguer chacun des cours d'eau. A titre d'exemple : les valeurs du rapport isotopique du strontium permettent de différencier nettement la Têt et le Tech ainsi que l'Eyrieux, les ratios élémentaires Strontium/Calcium et Baryum/Calcium permettent de distinguer l'Argens et la Durance.

L'analyse des otolithes d'alosons capturés au plus près des zones de frai a pour objectif de répondre à la condition d'application n°2 et préciser la condition n°1. La méthode de capture sélectionnée est la pêche au coup, méthode choisie suite aux témoignages de captures accidentelles d'alosons par nos pêcheurs. 7 journées de pêches ont été organisées sur l'Aude, le Vidourle, l'Hérault, le Gardon, la Cèze, l'Ardèche et la Durance. La méthode de la pêche au coup s'est révélée fonctionnelle puisque 8 alosons ont été capturés sur l'Hérault et la Durance, 2 sur l'Ardèche et 3 sur le Vidourle.

Sommaire

Introduction	7
1 Objectifs	8
2 Matériels et Méthodes	9
2.1 L'alose feinte de Méditerranée	9
2.2 L'otolithe : véritable boîte noire de l'histoire de vie d'un individu	10
2.3 Différenciation des stocks par l'origine géographique	12
2.4 Conditions d'application de la méthodologie	12
2.5 Campagne 2019	12
a) Analyses d'eau	12
b) Captures d'alosons	14
3 Résultats campagne 2019	15
3.1 Analyses des échantillons d'eau	15
a) Données physico-chimiques	15
b) Résultats des analyses élémentaires	15
c) Analyse isotopique	17
d) Analyse combinée des différents marqueurs - essai de discrimination	17
e) Comparaison avec les prélèvements effectués en 2013/2014	20
3.2 Captures d'alosons	21
4 Perspectives	23
4.1 Analyses d'eau	23
a) Poursuite de l'étude	23
b) Analyses complémentaires	23
4.2 Capture des alosons	25
4.3 Lien entre recrutement et qualité de l'habitat	25
Conclusion	26
Bibliographie	27
Annexes	31

Introduction

Les poissons migrateurs amphihalins sont en déclin en Europe à cause de l'impact anthropique, en particulier la construction de barrages, la perte d'habitats, la pollution et la surpêche (Boyer *et al.*, 2000; de Groot, 2002). Les aloses, et en particulier l'aloise feinte de Méditerranée (*Alosa agone*), endémique au bassin méditerranéen, bénéficient ainsi d'un statut de protection international (annexe III de la convention de Berne, annexe II de la directive Habitats de l'Union Européenne). En 2019, cette espèce a été classée « quasi menacée » sur la liste rouge des poissons d'eau douce de France et est classée « préoccupation mineure » à l'échelle internationale (Freyhof et Kottelat, 2008; UICN France, 2019).

Les premiers PLAGEPOMI mis en place sur le bassin du Rhône ont permis d'impulser une politique en faveur des poissons migrateurs, pour permettre le retour de l'aloise feinte de Méditerranée sur le Bas-Rhône et ses affluents en rive droite jusqu'à l'Ardèche. Cet objectif est maintenant atteint. L'objectif géographique actuel du PLAGEPOMI 2016-2021 est de permettre, sur l'axe rhodanien, le retour de l'aloise sur l'Eyrieux et la Drôme. Les plans de gestion des poissons migrateurs successifs (PLAGEPOMI 1993-2003, 2004-2009 et 2010-2015) ont permis d'avancer sur la connaissance des grands migrateurs (aloise, anguille, lamproie) et d'améliorer significativement les conditions de circulation de ces espèces.

Ces plans de gestions semblent également avoir permis de refréner la chute de la population et on assiste maintenant à une augmentation progressive de l'aire de répartition. Toutefois, on ne dispose actuellement d'aucune estimation fiable du niveau d'abondance du stock (estimation quantitative) et donc de son évolution depuis la mise en œuvre du plan migrateurs Rhône-Méditerranée. On peut dire que le stock ne semble pas résiduel dans la mesure où on observe une stabilité des indicateurs issus du suivi de la pêche par rapport au début des années 1990 qui pourrait suggérer un effet des efforts entrepris sur le niveau de population, sur le Rhône mais aussi sur l'Aude, principale population sur les fleuves côtiers (Lebel 2005, Rivoallan et Lebel 2016).

Actuellement, les suivis se concentrent principalement sur la migration anadrome et la reproduction des aloses. Initialement concentrée sur le Rhône et l'Aude, la zone d'étude s'étend progressivement aux fleuves côtiers, avec le Vidourle à partir de 2007 et l'Hérault depuis 2015. L'année 2019 a été marquée par le bilan à mi-parcours du PLAGEPOMI 2016-2021 : la nécessité d'aboutir à un suivi des aloses sur l'ensemble du territoire du bassin rhodanien est ressorti. En effet, en lien avec les obligations réglementaire sur la restauration de la continuité écologique (Article L214.17 du code de l'environnement), un important linéaire redevient progressivement accessible pour la reproduction des aloses, il existe un manque d'information sur ces secteurs. La stratégie mise en place vise à suivre la recolonisation des linéaires décloisonnés et l'évolution de la population.

Il est largement reconnu que la qualité des habitats de reproduction influence directement la survie des juvéniles et la contribution de certaines frayères ou cours d'eau au stock d'aloise. Ainsi, l'évolution du stock d'aloses dépendra de l'effet de dispersion (colonisation) et de la qualité des habitats de reproduction et du bon développement des juvéniles (devenir de la reproduction).

Il y a donc aujourd'hui un besoin qui ressort sur l'ensemble du bassin de connaître l'effet des différents efforts qui ont été entrepris mais également des réponses à apporter pour améliorer la connaissance de l'espèce sur le bassin du Rhône, notamment sur la question du succès reproducteur. Sur le bassin du Rhône, la reproduction est observée sur de nombreuses frayères qu'il est impossible de suivre dans leur totalité. Il convient de s'orienter vers des outils de suivis indirects qui ont déjà fait leurs preuves sur l'aloise, que

ce soit au Nord de l'Amérique ou sur la façade européenne atlantique comme l'utilisation de la microchimie des otolithes.

Ce type de technologie permettrait d'apporter de nouvelles connaissances que ce soit sur le domaine fluviatile ou bien marin. Il s'agit donc de caractériser la contribution des différents cours d'eau à la dynamique de la population par l'estimation du taux de retour des géniteurs. Ce type de technologie permettrait également d'apporter des éléments de réponses sur la distribution des aloses en mer en travaillant avec les criées présentes sur le pourtour du bassin méditerranéen. L'utilisation de la microchimie des otolithes permettrait également d'appréhender la question du homing toujours débattue pour l'alose.

1 Objectifs

L'objectif général de l'étude est de **proposer une méthode de caractérisation de la contribution des différents cours d'eau au stock de la population d'aloses**. Pour cela, l'utilisation de la microchimie des otolithes semble être pertinente, à titre d'exemple :

- Ce type d'étude a été mené avec succès sur le bassin de l'Adour sur des populations de saumons Atlantique, les signatures géochimiques retrouvées dans les otolithes de saumons de différentes origines géographiques sur un bassin étaient spécifiques à leur rivière d'origine (Martin et al., 2015).
- Une étude menée aux Etats-Unis ayant pour but de connaître l'origine natale des aloses d'Alabama (*Alosa alabamiae*) a montré des résultats probants dont la bonne efficacité d'un équipement de restauration de la continuité écologique puisque 86 % des otolithes d'adultes analysées (sur 140 individus) provenaient d'individus nés sur des frayères situées au-dessus d'un barrage (Shaffler et al., 2014).
- En France, sur la côte Atlantique, l'utilisation de la microchimie des otolithes sur la grande alose (*Alosa alosa*) a permis de remarquer un degré de homing assez élevé chez cette espèce (Martin et al., 2015). Une autre étude menée également sur la grande alose en France a contribué à identifier les cours d'eau sources du stock de la population mais également les cours d'eau puits. Les cours d'eau sources sont les cours d'eau dans lesquels la reproduction permet le recrutement des juvéniles, à contrario, les cours d'eau puits ne produisent pas de juvéniles. Ce sont des éléments qui permettront d'adapter au mieux la gestion de cette espèce (Randon et al., 2017).

A terme, sur le bassin Rhône-Méditerranée, cette étude pourrait constituer un suivi des aloses sur sa phase continentale mais aussi marine et intégrer ainsi l'orientation 3 du PLAGEPOMI 2016-2021 (« construire un suivi des populations permettant de connaître les tendances d'évolution dans le temps et l'espace pour améliorer la gestion »).

Avant cela, de premières investigations sont nécessaires et apporteront des informations précieuses dans le cadre de l'orientation 4 du PLAGEPOMI (« Identifier le déterminisme et les voies de montaison privilégiées par les aloses / Comment optimiser les outils d'évaluation de l'abondance des populations ? ») mais également pour engager des réflexions sur la future stratégie de suivi de la population d'alose feinte de Méditerranée.

Dans le cadre d'un suivi à long terme, des variations interannuelles de la contribution de chaque cours d'eau pourraient être visibles. Complété par des analyses scalimétriques,

il sera possible de connaître l'année et le cours d'eau de naissance des aloses et de faire le lien avec les bulls comptabilisés à cette période. De plus, ce type de technologie permettrait de répondre à la question du homing chez l'alse feinte de Méditerranée. Il est admis que celle-ci n'en présente pas, cependant, les résultats récents sur l'alse feinte Atlantique peuvent laisser penser qu'il existe un degré de fidélité au bassin d'origine. Chez l'alse feinte de Méditerranée, ceci pourrait se traduire à large échelle comme par exemple une distinction des fleuves côtiers et de l'axe Rhône.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité d'utilisation de la microchimie des otolithes sur les aloses feintes de Méditerranée et conformément aux conditions d'applications de la méthodologie (cf. 2.4) les objectifs de la campagne 2019 sont :

- De déterminer si les signatures géochimiques des cours d'eau où la présence de l'alse est avérée ou potentielle sont significativement différentes
- D'échantillonner des alosons si techniquement possible à proximité des sites de reproduction connus

2 Matériels et Méthodes

2.1 L'alse feinte de Méditerranée

L'alse feinte de Méditerranée (*Alosa agone*) (Annexe 1), poisson migrateur amphihalín de la famille des clupéidés est endémique au bassin méditerranéen et vit sur le plateau continental et en zone littorale. Elle se reproduit en eau douce, potentiellement à plusieurs centaines de kilomètres de l'embouchure. Elle est classée « quasi-menacé » dans la liste rouge des poissons d'eau douce de France (Annexe 2). Historiquement, l'alse était présente sur la Saône et sur le Rhône jusqu'au lac du Bourget, soit à plus de 650 km de la mer.

Les géniteurs retournent en eau douce au printemps (mars à juin) pour se reproduire après 2 à 5 ans en mer pour les mâles, généralement un an de plus pour les femelles (Le Corre *et al.*, 1997, 2005). Le rhéotactisme positif très marqué leur permet de trouver l'embouchure des fleuves et d'être « guidés » vers les zones de frayères (Baglinière et Elie, 2000).

Les caractéristiques d'une frayère naturelle pour l'alse ont une profondeur de 0,8 à 1,6 m, une vitesse de courant d'environ 80 cm/s et une granulométrie grossière composée de cailloux voire de pierres fines (Figure 1). La température influence le métabolisme du poisson et un seuil de migration à 11°C et de reproduction à 16°C ont été avancés (Aprahamian *et al.*, 2002; Cassou-Leins *et al.*, 2000).

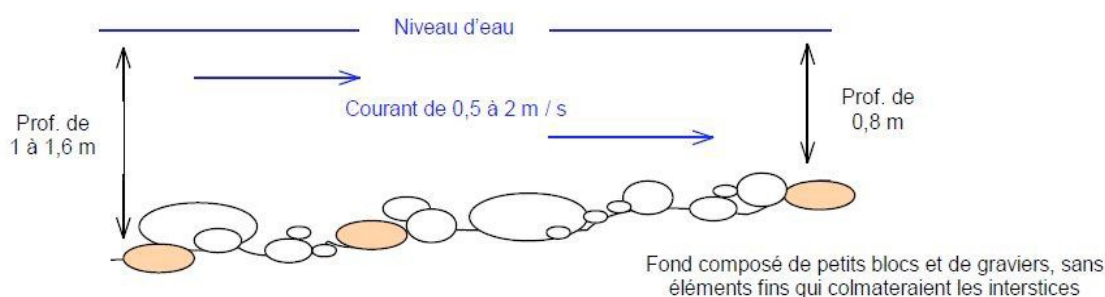


Figure 1 : Schéma d'une frayère à alose (MRM)

Lors de l'acte de reproduction (*Figure 2*), les aloses se manifestent en surface en effectuant des déplacements circulaires et en frappant l'eau de leur nageoire caudale afin de créer un tourbillon qui favorise la fécondation des œufs (Baglinière et Elie, 2000). Cette phase appelée « bull » est exclusivement nocturne, peut être particulièrement bruyante jusqu'à 50dB et peut durer jusqu'à dix secondes, ce qui permet de repérer facilement les zones de frai.



Figure 2 : Acte de ponte ou « Bull » chez l'aloise feinte de méditerranée (MRM)

Les œufs pondus en grand nombre (90 000 à 300 000 / kg, Cassou-Leins et Panisello, données non publiées) sont de très petite taille (Hoestlandt, 1958), et présentent un temps d'incubation très court (3 à 5 jours pour une température de l'eau de 18 à 20°C). Les juvéniles rejoignent la mer 2 à 4 mois après l'éclosion, période pendant lesquels ceux-ci connaissent une croissance importante (Aprahamian et Aprahamian, 2001; Crivelli et Poizat, 2001; Gendre *et al.*, 1997a).

L'aloise feinte de Méditerranée est capable de se reproduire plusieurs fois au cours de sa vie (itéroparité) et les adultes qui survivent à la reproduction rejoignent la mer dès le début de l'été.

La phase de croissance marine et le séjour en estuaire sont relativement peu connus pour l'aloise feinte de Méditerranée, les travaux portant principalement sur les aloses de la façade atlantique (Bardonnnet et Jatteau, 2008; Gerkens et Thiel, 2001; Lochet, 2006; Lochet *et al.*, 2009).

2.2 L'otolithe : véritable boîte noire de l'histoire de vie d'un individu

Les otolithes (du grec « *oto* » oreille et « *lithos* » pierre) sont des pièces calcifiées qui structurent une partie de l'oreille interne des poissons téléostéens. L'oreille interne fonctionne comme un système auditif et permet aux organismes de maintenir leur équilibre. Elle possède également des cellules nerveuses qui sont sensibles à la pression. Ces organes sont structurés par un ensemble complexe de canaux et sacs remplis d'endolymphe (Wright *et al.*, 2002). Chaque oreille interne (*Figure 3*) contient trois canaux semi-circulaires qui détectent les accélérations angulaires ce qui permet à un individu de garder son équilibre. Les canaux s'ouvrent dans une série de grandes chambres d'interconnexion ou sacs otiques qui contiennent un tissu sensoriel, la macula, qui détecte les accélérations linéaires et les sons. Les sacs, appelés le saccule, l'urticule et la lagena contiennent chacun un otolithe respectivement appelé la *Sagitta*, le *Lapillus* et l'*Asteriscus*. La taille et la forme des otolithes diffèrent selon les espèces. Cependant, selon le milieu de croissance des individus des variations inter-espèces peuvent être observées (Popper et Lu, 2000). Généralement la *Sagitta* est le plus gros des otolithes et c'est en l'occurrence celui qui est étudié. Le terme d'otolithes désignera par la suite la paire de *Sagittae*.

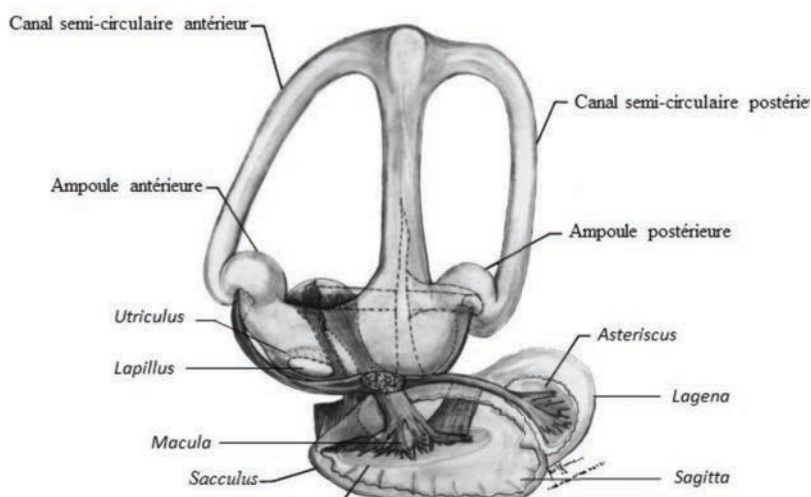


Figure 3 : Illustration de l'oreille interne du hareng (*Clupea harengus*) - Redessiné d'après Retzius 1881 - Mille 2

le carbonate de calcium sous forme de stries journalières et annuelles. Les éléments chimiques présents dans le milieu sont incorporés à la surface des otolithes au fur et à mesure de leur croissance, et les couches successives ainsi constituées de l'otolithes conservent leur caractéristique tout au long de la vie du poisson.

Les otolithes ne semblent pas sujets à des résorptions minérales contrairement au calcium squelettique et celui des écailles qui voient par exemple leur calcium remobilisé pour la maturation des gamètes. Cette propriété des otolithes favorise leur utilisation pour ce type d'étude.

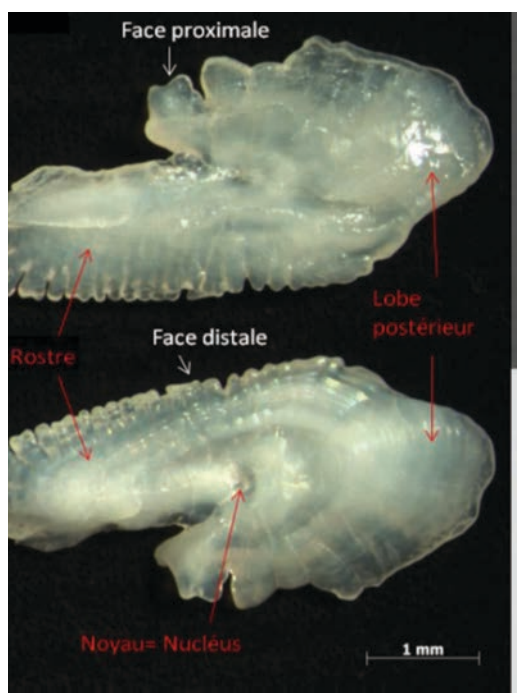


Figure 4 : Paire d'otolithes d'aloise feinte adulte (Sola, 2014)

Les éléments chimiques présents dans l'eau ne s'inscrivent pas directement dans l'otolithe mais traversent plusieurs compartiments du poisson et donc diverses barrières chimiques comme le système branchial ou encore la paroi intestinale, par ce biais, les éléments entrent dans la boucle de régulation physiologique de l'individu qui est plus ou moins importante selon les éléments avant de précipiter pour former l'otolithe (Campana, 1999). La formation de l'otolithe est donc soumise à des facteurs environnementaux et endogènes.

Le rapport isotopique strontium ($Sr^{87} : Sr^{86}$) est constant entre l'habitat et l'otolithe, ce qui signifie que les valeurs mesurées dans le milieu environnant et les otolithes sont quasi-identiques. De plus, ce rapport varie indépendamment des processus métaboliques et permet donc d'analyser la zone larvaire des otolithes. D'autres rapport tels que Strontium/ Calcium ($Sr : Ca$) et Baryum / Calcium ($Ba : Ca$) sont constants avec le milieu de vie de l'individu. Pour d'autres rapports, il peut y avoir une différence entre le contenu chimique du milieu de vie et de l'otolithe en relation avec des processus métaboliques (période de stress ou de reproduction).

Les propriétés des otolithes sont les suivantes (Campana & Thorold, 2001) :

- Ils sont présents dès l'éclosion du poisson
- Ils croissent tout au long de la vie des individus
- Ils sont métaboliquement inertes et ne sont pas résorbables
- On y retrouve de nombreux éléments traces caractéristiques du milieu ambiant

Chaque région géographique possède sa propre signature géochimique. Elle est fonction de la concentration en éléments chimiques (couche géologique, pollutions, etc...), des régimes de température et des chaînes trophiques. C'est l'incorporation dans les otolithes des éléments chimiques Strontium (Sr) et Baryum (Ba) et du rapport isotopique du Strontium ($Sr^{87} : Sr^{86}$) en relation avec le milieu de vie de l'individu qui peut être utilisée pour reconstituer les habitats occupés à la naissance mais également pour retracer l'histoire de vie de l'individu. Ce dernier rapport isotopique ($Sr^{87} : Sr^{86}$) est l'un des plus intéressants car il peut présenter des variations assez marquées d'un bassin versant à un autre et il n'existe pas de fractionnement biologique entre les eaux et les otolithes. Il y a un enregistrement direct de ces isotopes de la rivière à l'otolithe. Un couplage de l'isotopie du Sr ($Sr^{87} : Sr^{86}$) et de rapports élémentaires (Sr : Ca ; Ba : Ca ; Sr : Ba) est généralement nécessaire pour obtenir une discrimination plus poussée des différents milieux de vie.

2.4 Conditions d'application de la méthodologie

L'utilisation de la microchimie des otolithes pour répondre à nos objectifs nécessite de respecter certaines conditions d'application sur le bassin Rhône Méditerranée :

- **1** : Les différents milieux de vie ciblés doivent avoir des signatures géochimiques différentes. Cette condition est indispensable pour la transmission à l'otolithe de signatures élémentaires ou isotopiques uniques qui permettront de distinguer les différents sites de naissance des aloses.
- **2** : Le contenu géochimique de l'otolithe doit correspondre fidèlement à la signature géochimique du milieu dans lequel il se trouve. En effet, des facteurs endogènes (métabolisme de l'individu) ou exogènes (température) peuvent influencer l'incorporation des éléments sur les otolithes.
- **3** : Les signatures géochimiques des cours d'eau doivent être stables dans le temps : c'est une condition nécessaire pour mener une étude sur plusieurs cohortes.

2.5 Campagne 2019

La campagne d'étude 2019 de faisabilité d'utilisation de la microchimie des otolithes sur les aloses du bassin Rhône Méditerranée vise à s'assurer que les conditions d'applications d'une telle étude sont valides.

a) Analyses d'eau

Premièrement, des analyses d'eau ont été réalisées dans le but de caractériser la signature géochimique de chaque cours d'eau. Celles-ci ont été comparées aux prélèvements réalisés en 2013/2014 (Annexe 3) sur l'axe Rhône pour vérifier si les signatures géochimiques des différents sites sont stables dans le temps. Cette première phase doit apporter des éléments de réponses à la première et 3^e d'application.

19 échantillons d'eau ont été prélevés sur le bassin allant du Tech à l'Argens et sur l'axe Rhône en remontant jusqu'aux rivières Eyrieux et Drôme qui sont l'objectif géographique de colonisation des aloses du PLAGEPOMI 2016-2021 (Figure 5).

Les échantillons d'eau ont été prélevés en période d'étiage et au plus près des zones de frai sur les sites où la reproduction effective des aloses est observée ou supposée afin de caractériser au mieux la signature géochimique de l'eau sur ces sites. Ces échantillons ont été envoyés au CNRS de Pau pour analyse. Scimabio Interface est le prestataire qui assure les échanges avec le CNRS et fournit le rapport d'analyse statistiques des résultats.

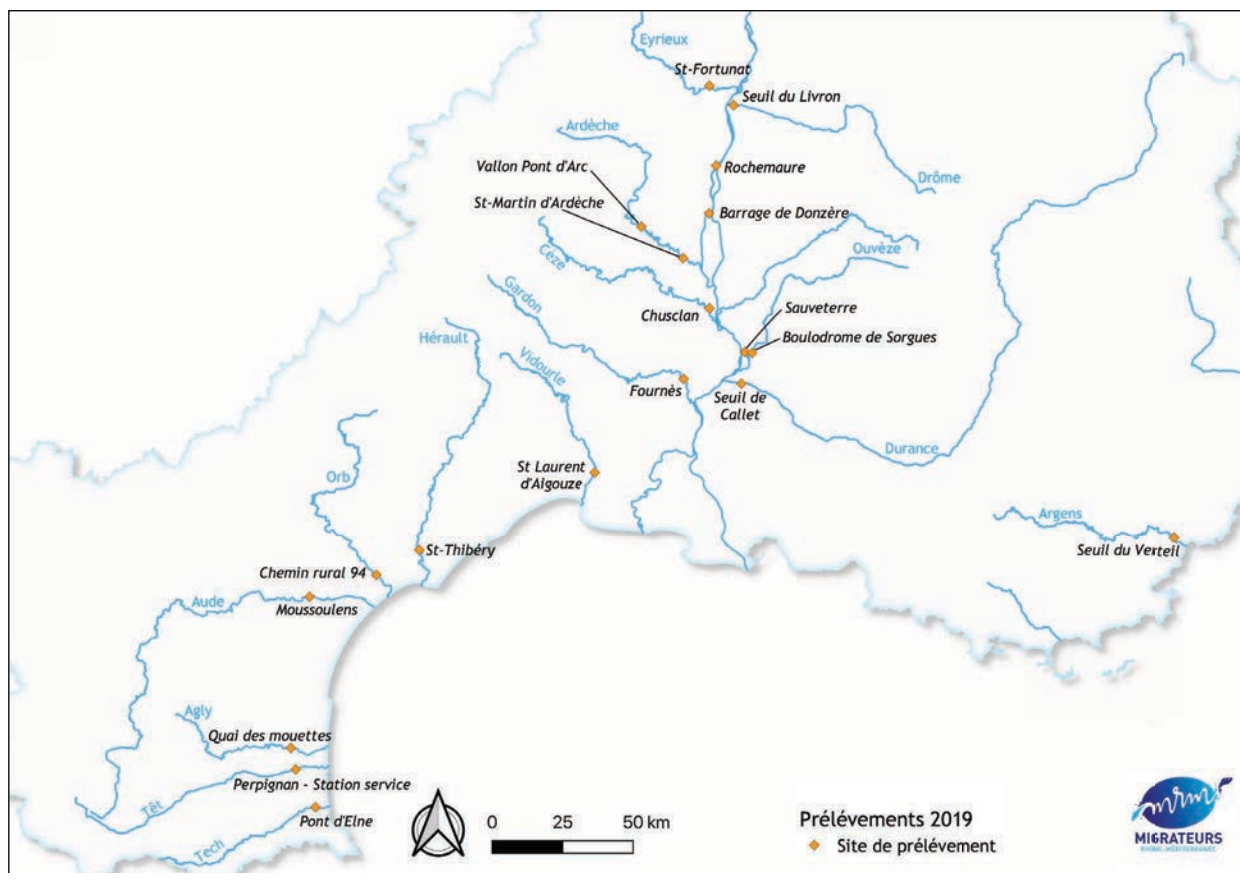


Figure 5 : Site de prélèvements des échantillons d'eau

Le protocole d'échantillonnage a été fourni par le prestataire engagé pour cette étude : Scimabio Interface. Les étapes de l'échantillonnage sont les suivantes :

- Lavage préalable de l'ensemble du matériel utilisé avec de l'acide nitrique à 10 % afin d'éviter une éventuelle contamination des échantillons (fait au préalable en laboratoire)
- Prélèvement de 125 mL d'eau à l'aide d'un flacon rincé plusieurs fois avec de l'eau du site de prélèvement
- Filtration de l'eau grâce à un filtre PDVF Whatmann de porosité 0,45 µm fixé sur une seringue en polypropène
- Acidification de l'échantillon avec 2 mL d'acide nitrique à des fins de stabilisations de l'échantillon
- Stockage des échantillons d'eau au frais et à l'abri de la lumière jusqu'aux analyses

Sur chaque site, la température, le pH et la conductivité ont été mesurées (Annexe 4). Conductivité et pH à la composition en ions majeurs de l'eau tel que : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- ; et donc à l'origine géologique du milieu. Ces mesures donnent donc une première indication sur les différences qu'on est susceptible de retrouver ensuite dans les ratios élémentaires et isotopiques, en lien avec la géologie des bassins versants.

b) Captures d'alosons

Pour répondre à la seconde condition d'application, il est nécessaire de capturer des juvéniles sur leur site de naissance.

Le principe consiste à analyser les otolithes des alosons capturés et de comparer leur composition aux signatures géochimiques des cours d'eau. En capturant des juvéniles sur leur lieu de naissance, nous nous assurons que seule la marque géochimique du site d'éclosion est présente. Ces analyses pourront également permettre de compléter les discriminations des cours d'eau échantillonnés en apportant des éléments d'informations quant à la stabilité des éléments analysés au cours du temps. En effet, l'otolithe étant une pièce qui croît quotidiennement, il sera possible de retranscrire la teneur en éléments traces tout au long de sa période de résidence de l'alose dans le cours d'eau de naissance. Ces retranscriptions apporteront donc des éléments nécessaires pour appréhender la stabilité de la signature géochimique du cours d'eau au cours du temps.

Les individus capturés sont conservés au congélateur. Les alosons capturés en 2019 verront leurs otolithes analysées en 2020. Il est prévu d'analyser les otolithes de 5 alosons par cours d'eau. L'objectif fixé est de capturer 8 alosons par site. Il est important de s'assurer que les otolithes soumis aux analyses chimiques soient structurés normalement. Un otolithe bien formé est constitué d'aragonite sous forme cristalline mais il peut arriver que ce soit une autre forme qui se soit cristallisée. De plus, lors de l'extraction des otolithes il peut arriver d'en casser ou bien d'en perdre un. Capturer 8 individus permet donc de se couvrir en cas d'un otolithe mal formé ou perdu.

Capter des alosons n'est pas chose évidente. Sur le bassin Garonne - Dordogne, MIGADO capture des alosons dans le cadre d'évaluation de l'efficacité de lâchers expérimentaux de larves de grandes aloses grâce à des sennes de plage (Bouyssonnie et al., 2017). Cette méthode nécessite des moyens humains, matériels et financiers assez conséquents. Au vu de notre objectif qui est de capturer 8 alosons par site, il ne semble pas pertinent de mettre en place de tels efforts.

L'association Migrateurs Rhône-Méditerranée s'était par le passé déjà prêtée à la captures d'alosons en pêchant dans les puits anti-vortex des usines de Caderousse et Sauveterre en 1993 et 1994 à l'aide de carrelets (Gendre et al., 1997a). Bien que ces investigations aient permis de capturer des alosons, ces opérations n'ont pas été reconduites, le matériel utilisé au niveau des puits anti-vortex des usines hydroélectrique n'étant pas adapté à une utilisation avec des groupes alternateurs en fonctionnement. Les autres sites prospectés sur le delta de la Camargue en 1994 n'avaient pas non plus permis d'identifier de bons sites d'échantillonnage. L'étude de la dévalaison des alosons avait alors été abandonnée.

La méthode qui a été choisie est la méthode de pêche au coup. En effet, il arrive assez fréquemment que des pêcheurs amateurs à la ligne capturent de manière accidentelle des alosons. Dans des écrits de 1995 il est mentionné que les pêcheurs de fritures capturent des alosons avec les ablettes sur le bassin de la Loire. C'est une méthode qui n'avait alors pas été reproduite à l'époque sur le BV Rhône dans le cadre de l'étude sur la dévalaison des alosons car l'objectif était de capturer des alosons dans les zones de stabulations (Tabardel et al., 1995).

3 Résultats campagne 2019

3.1 Analyses des échantillons d'eau

a) Données physico-chimiques

Les échantillons d'eau ont été prélevés entre le 15 juillet et le 14 août 2019, période d'étiage où le cours d'eau est le moins soumis aux influences des crues et de ses affluents (Annexe 4).

Les valeurs de conductivité mesurées lors des prélèvements d'eau montrent une importante hétérogénéité (Annexe 4). L'Eyrieux se distingue par sa faible concentration en ions majeurs¹ (cond. = 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$), à l'inverse l'Argens présente une conductivité extrêmement élevée avec plus de 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entre ces valeurs extrêmes, les 17 points de mesures restants se répartissent au sein d'un gradient de valeurs comprises entre 200 et 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui correspond à ce qui est régulièrement observée pour les eaux courantes. La figure 3 propose des regroupements par classes de conductivité.

Il est à noter également une certaine hétérogénéité dans les valeurs de pH mesurées. L'Agly présente le pH le plus bas avec 7,22 et le maximum est atteint sur l'Eyrieux avec 9,3. Les autres mesures oscillent entre 7,5 et 8,8.

Les mesures de pH et surtout de conductivité, effectuées lors des prélèvements, traduisent une hétérogénéité importante des concentrations en ions dans ces différents cours d'eau, **reflétant très certainement des différences géologiques entre bassins versants.**

b) Résultats des analyses élémentaires

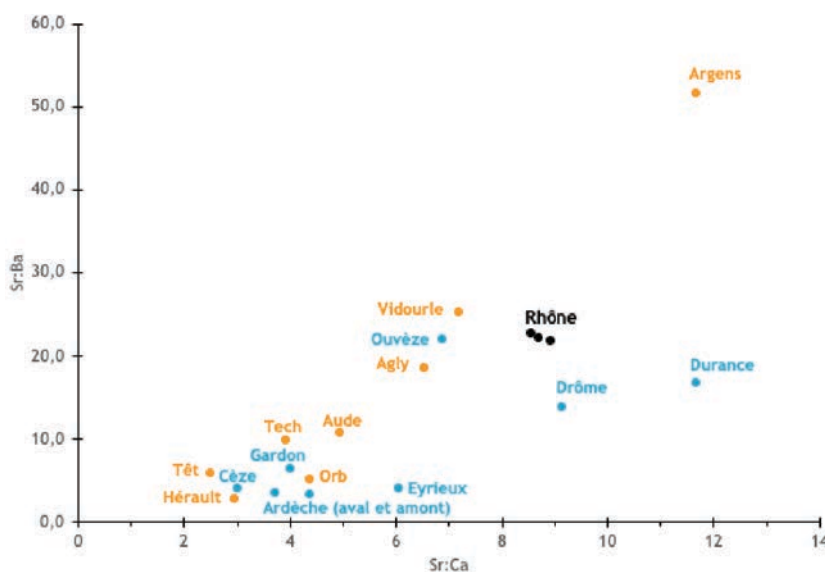
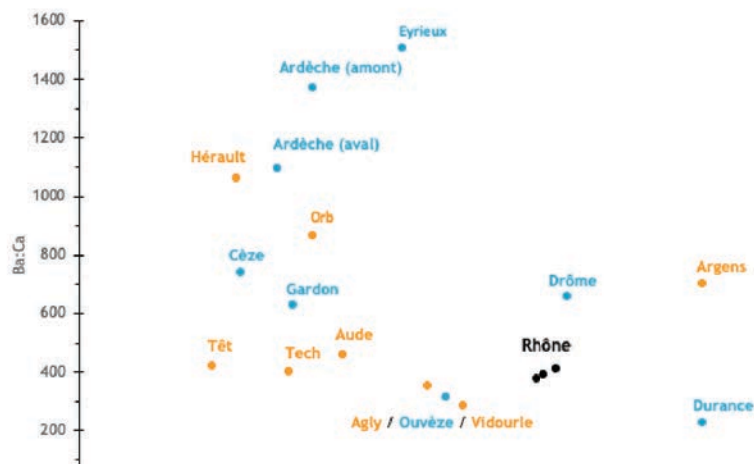


Figure 6 : Ratio élémentaire Strontium : Barium et Strontium : Calcium des 19 échantillons d'eau prélevés sur le bassin Rhône Méditerranée

¹ La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment **les ions majeurs**. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate.



bassin Rhône Méditerranée

Les résultats des analyses élémentaires sont basés sur les éléments strontium, baryum et calcium. Les résultats bruts sont disponibles en annexe 5.

Les *figures 6 et 7* permettent de visualiser les ratios élémentaires Sr : Ca (Strontium sur Calcium), Ba : Ca (Baryum sur Calcium) et Sr : Ba (Strontium sur Baryum) des 19 prélèvements d'eau réalisés sur le bassin méditerranéen.

A première vue, certains cours d'eau ou groupe de cours d'eau se distinguent comme la Durance, la Drôme, l'Eyrieux et l'Argens. Des groupements semblent ressortir comme les trois prélèvements effectués sur le Rhône qui semblent similaires (Sauveterre / Donzère et Rochemaure), l'ensemble Agly, Ouvèze et Vidourle ainsi que l'Hérault l'Ardèche. La *figure 6* montre des résultats très proche pour l'Hérault, la Têt, la Cèze, l'Ardèche, l'Orb, le Gardon et le Tech. Le ratio Sr : Ba semble à première vue moins discriminant, excepté l'Argens qui se détache nettement des autres cours d'eau.

Les ratios élémentaires Sr : Ca et Ba : Ca montrent une hétérogénéité importante entre les cours d'eau prélevés. Les ratios Ba : Ca s'échelonnent de 227 à 1506 ppm², seul 4 cours d'eau voient leur ration se situer au dessus de 800 ppm : l'Orb, l'Hérault, l'Ardèche et l'Eyrieux.

Les valeurs du ratio Sr : Ca s'échelonnent entre 2.5 et 11.7, avec une différenciation plus marquée d'un groupe de 4 cours d'eau : Argens, Drôme, Durance et Rhône. Le ratio Sr : Ba semble à première vue moins discriminant, excepté l'Argens qui se détache nettement des autres cours d'eau.

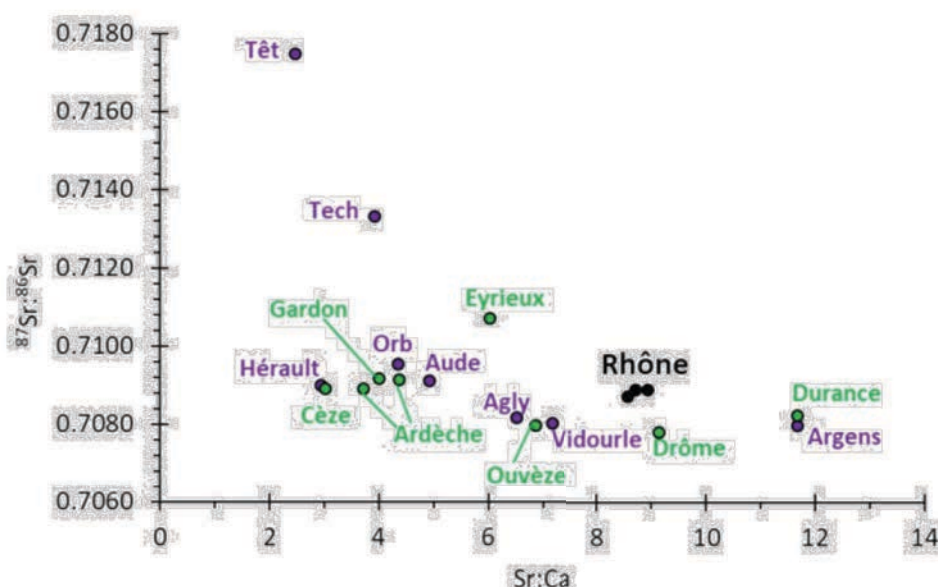
Il n'y a pas de différenciation nette entre les affluents du Rhône et les fleuves côtiers comme nous aurions pu le penser. L'Ouvèze présente par exemple des signatures microchimiques très proches du Vidourle et de l'Agly, sans cohérence géographique ni hydrographique entre ces trois cours d'eau.

² PPM : Partie Par Million, 10⁻⁶

Les autres concentrations d'éléments (K, Mg, Na, Mn) sont présentés en annexe 5. Ils ne sont pas analysés pour l'instant, car leur caractère discriminant est incertain et sera à établir à partir des otolithes.

Les trois prélèvements réalisés sur le Rhône montrent des résultats très proches pour les 3 ratios élémentaires analysés, et confirment la stabilité spatiale des signatures sur ce cours d'eau au moment du prélèvement. L'Ardèche présente davantage de variabilité entre les deux points de prélèvement, en particulier au niveau du rapport Ba : Ca (Scimabio, 2020). Cela peut s'expliquer par des apports des affluents entre les deux points de prélèvements (Vallon Pont d'Arc et Saint Martin d'Ardèche), ou encore par un apport d'eau souterraine entre ces deux mêmes points.

c) Analyse isotopique



fleuves cotiers en violet ; les 3 stations du Rhone en noir.

Les valeurs du rapport isotopique du strontium permettent de différencier nettement la Têt et le Tech ainsi que l'Eyrieux. Les valeurs des autres cours d'eau sont bien plus proches entre-elles (entre 0,7078 et 0,7095). La stabilité ou au contraire la variabilité du rapport isotopique dans le temps seront déterminants pour caractériser son pouvoir discriminant (Scimabio, 2020), l'analyse des otolithes de juvéniles, prochaine étape de cette étude se révèle donc indispensable. Il pourra être envisagé pour la poursuite de l'étude de réaliser de nouveaux prélèvements d'eau. Cependant, l'analyse des otolithes d'alosons prévue en 2020 permettront d'apporter une première vision de la stabilité de la signature géochimique de certains cours d'eau.

d) Analyse combinée des différents marqueurs - essai de discrimination

Les résultats sont analysés par ACP centrée-réduite. Il ressort que 87 % de la variabilité totale de 4 ratios d'éléments est expliquée par les deux premiers axes, l'axe 1 expliquant à lui seul 61%. Les ratios Sr : Ca et Sr : Ba montrent une certaine corrélation, et expliquent l'essentiel de la variabilité de l'axe 1. L'axe 2 reflète d'avantage le gradient des ratios $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$ et Ba : Ca (Figure 9). L'axe 3 représente moins de 10 % de la variance totale (Figure 10).

Globalement les affluents du Rhône et les fleuves côtiers se discriminent plutôt sur l'axe 2, les fleuves côtiers étant caractérisés par des ratios isotopiques plus élevés en moyenne, et les affluents du Rhône par des signatures Ba : Ca plus fortes. Toutefois, cette tendance semble principalement expliquée par deux cours d'eau (Têt et Tech) qui présentent tous deux des ratios isotopiques très élevés.

L'Ouvèze coule sur le même type de sol que la Durance et il est intéressant de remarquer qu'elle ne semble pas former de groupe avec la Durance (figure 6, 7, 8 et 9).

La distribution de cours d'eau dans le plan factoriel de l'ACP montre des disparités importantes, ce qui d'une part justifie l'intérêt de combiner les différents ratios d'éléments, et d'autre part laisse présager la possibilité d'une discrimination de la plupart de ces cours d'eau sur la base de la microchimie des otolithes (Scimabio, 2020). Pour cela, l'analyse des otolithes des alosons permettra de caractériser les variations saisonnières de chacun des sites et aider à leur discrimination.

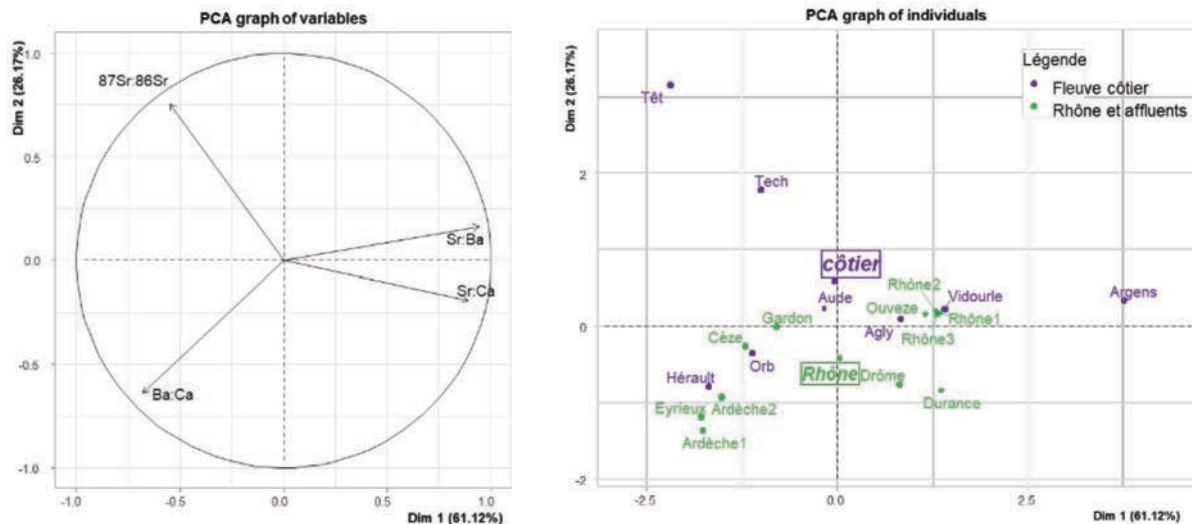


Figure 9 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 2) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopiques du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») sont figurés en encadré.

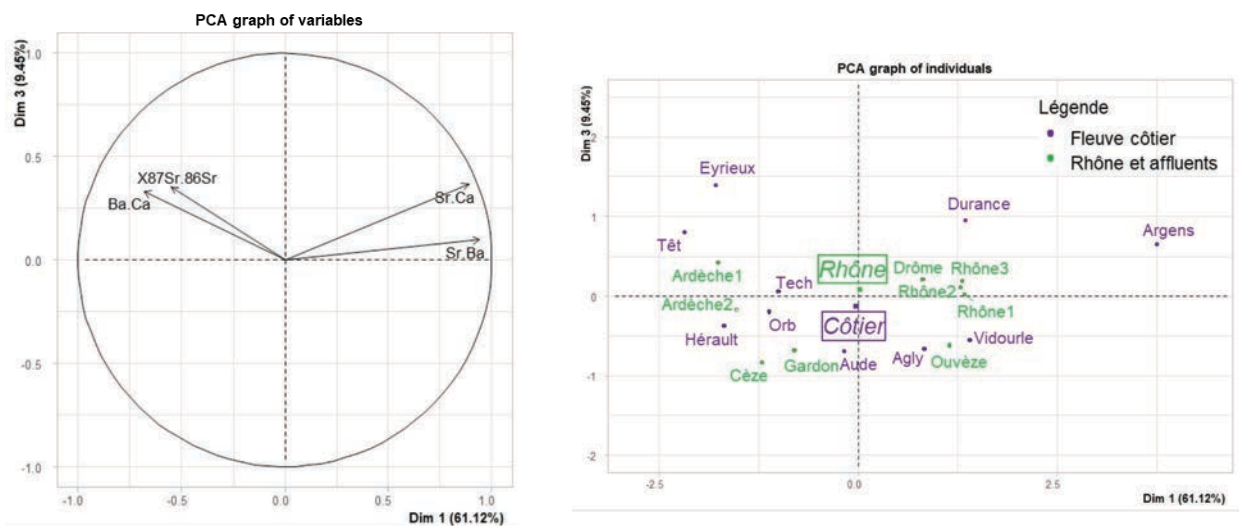


Figure 10 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 3) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopique du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») sont figurés en encadré.

À la lecture de ces premiers résultats sur la chimie de l'eau, certains cours d'eau se distinguent assez nettement : le Tech, la Têt, l'Argens, la Durance et la Drôme. L'Eyrieux semble également se démarquer sur l'axe 3 de l'ACP. Ces résultats sont à confirmer avec la lecture des otolithes des alosons.

Ensuite, les cours d'eau restants peuvent être regroupés selon leurs ressemblances chimiques :

- Ardèche, Hérault
- Cèze, Orb, Gardon, Aude
- Vidourle, Ouvèze, Agly.

Le Rhône (3 points de prélèvement) est très proche de ce dernier groupe dans le plan des deux premiers axes de l'ACP ; il se démarque légèrement sur l'axe 3 car il présente un rapport Sr :Ca légèrement plus élevé. Cette tendance devra être confirmée à partir des otolithes puisque le Rhône présente une variabilité saisonnière marquée (G. Bareille, comm. Pers. Scimabio Interface).

Ces regroupements n'ont pas nécessairement de cohérence géographique, puisque des rivières assez éloignées peuvent appartenir à un même groupe (cas de l'Orb et de la Cèze). Cela s'explique très probablement par des similitudes géologiques sur tout ou partie de leur bassins versants.

À ce stade de l'étude, bien que quelques cours d'eau semblent se distinguer des autres (comme la Têt, le Tech ou encore l'Argens) et que quelques groupements semblent se former (Vidourle, Ouvèze, Agly ; Cèze, Orb, Gardon ou encore Ardèche et Hérault) **il se peut cependant que ces regroupements évoluent au cours des prochaines étapes de cette étude.**

En effet, ces prélèvements d'eau montrent un instant T et ne prennent pas en compte les variations au cours du temps que l'on pourrait observer au travers des otolithes. La **prochaine étape d'analyse des otolithes d'alosons sera donc primordiale** pour la poursuite de l'étude :

- Pour s'assurer que les otolithes s'imprègnent bien de la signature géochimique du cours d'eau
- Pour observer la stabilité du signal pendant la période de résidence des juvéniles dans le cours d'eau où ils ont été capturés.

Les différentes valeurs observées que ce soit élémentaire ou isotopique sont tout à fait cohérentes avec ce qui est observé en milieu courant. Il **n'existe pas de valeurs seuils** pour distinguer les cours d'eau les uns des autres : le tout dépendra de la **stabilité du signal** au cours de la saison qui nous intéresse. Deux valeurs très proches graphiquement mais qui sont très stables dans le temps pourront être distinguées, en revanche, deux valeurs qui semblent pouvoir se distinguer à l'instant du prélèvement d'eau mais qui ne sont pas stables et montrent des valeurs similaires au cours du temps ne pourront pas l'être.

e) Comparaison avec les prélèvements effectués en 2013/2014

Une étude parue en 2014 présente des résultats d'analyses d'échantillons d'eau qui avaient été effectués sur le Rhône au niveau de Bollène, Pont Saint Esprit, du Port de l'Ardoise, du Pontet (au niveau de la confluence avec l'Ouvèze) et d'Arles, sur l'Ardèche au niveau de Vallon Pont d'Arc et de Saint Martin d'Ardèche, sur le Gardon, la Cèze, la Durance, la Drôme et l'Eyrieux entre 2012 et 2014 (Sola *et al.*, 2014). Cette étude retranscrit également des résultats d'analyses effectuées sur le Rhône au début des années 2000 (Ollivier *et al.*, 2010)

5 masses d'eau avaient été caractérisées grâce à la dispersion graphique (Figure 11) : L'Ardèche (Vallon Pont d'Arc & Saint Martin d'Ardèche) qui se distinguait notamment par des valeurs du rapport Ba:Ca élevé.

Le Gardon, La Cèze et le Port de l'Ardoise qui est directement sous l'influence des eaux de la Cèze renvoyaient vers une composition chimique similaire.

Le Rhône à Pont Saint Esprit, Bollène et Arles en 2012 était caractérisé par de faibles valeurs pour les rapports en Ba:Ca et Sr:Ca. En 2013, lors de l'échantillonnage, le débit du Rhône était élevé et certainement sous l'influence d'affluents tels que la Saône, l'Isère et la Drôme suite à des intempéries.

Cela est notamment visible quand on compare les résultats des échantillonnages d'eau réalisés à Arles au début des années 2000 : une autre masse d'eau se dégageait comprenant le Rhône à Arles et la confluence avec l'Ouvèze (groupement 4, Figure 11).

L'affluent qui semblait alors le plus se distinguer est la Durance qui présente une valeur de rapport Sr:Ca très élevée. Cette valeur est cohérente et logique puisque la Durance coule sur des sols calcaires issus du Triasique connus pour être riche en Strontium. L'Ouvèze a cette année été échantillonnée au niveau de la ville de Sorgues afin d'éviter toute influence de la composition géochimique du Rhône.

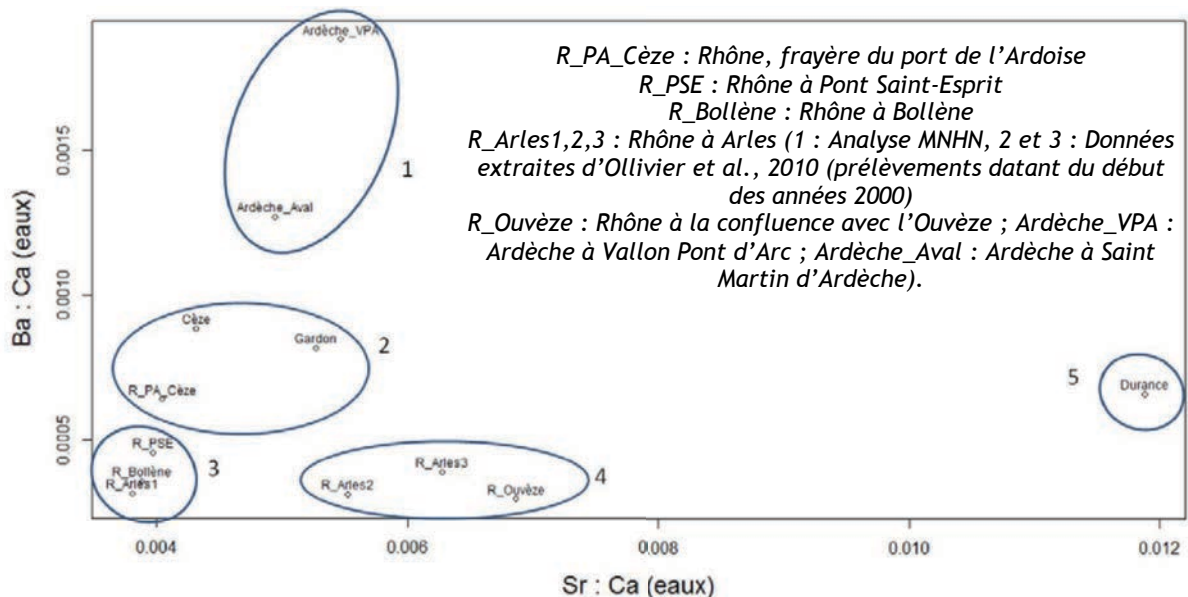


Figure 11 : Dispersion graphique des eaux en fonction des valeurs analysées en Sr : Ca et Ba : Ca - Extrait de Sola 2014

Les résultats de ces analyses d'eau sont fournis en annexe 2.

Les échantillons d'eau provenant des mêmes sites entre 2013/2014 et 2019 certains cours d'eau présentent des valeurs analogues entre les différents ratio (ex : Durance, Drôme, Cèze) ; d'autres montrent des différences plus importantes entre les ratios élémentaires (comme l'Eyrieux où l'Ouvèze au niveau de Sorgues). Les ratios isotopiques quant à eux présentent des valeurs stables sur tous les cours d'eau entre ces deux périodes d'échantillonnage. En 2013 et 2014 les échantillons ont été prélevés en octobre et décembre ce qui peut en partie expliquer les fortes variations observées pour certaines valeurs (Tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs des ratios élémentaires et isotopiques des sites prélevés en 2013/2014 et 2019

Rivières	$^{87}\text{Sr}:^{86}\text{Sr}$ 2013-2014	$^{87}\text{Sr}:^{86}\text{Sr}$ 2019	$\text{Sr}:\text{Ca}$ (10^{-3}) 2013-2014	$\text{Sr}:\text{Ca}$ (10^{-3}) 2019	$\text{Ba}:\text{Ca}$ (10^{-6}) 2013-2014	$\text{Ba}:\text{Ca}$ (10^{-6}) 2019	$\text{Sr}:\text{Ba}$ (10^{-9}) 2013-2014	$\text{Sr}:\text{Ba}$ (10^{-9}) 2019
Rhône - Vieux Rhône de Donzère	0,7088	0,7089	6,0	8,7	389,1	392,0	15,4	22,2
Ardèche amont	0,7090	0,7091	5,1	4,4	1758,4	1370,0	2,9	3,2
Ardèche aval	0,7092	0,7089	4,2	3,7	1765,6	1096,0	2,4	3,4
Gardon	0,7090	0,7092	4,6	401,0	786,3	626,0	5,8	6,4
Durance aval	0,7090	0,7082	11,2	11,7	616,8	702,0	18,2	16,6
Cèze	0,7095	0,7089	3,3	3,0	962,5	739,0	3,5	4,1
Eyrieux	0,7117	0,7107	6,3	6,0	3057,2	1506,0	2,1	4
Drôme	0,7079	0,7078	9,7	9,2	590,5	659,0	16,4	13,9
Ouvèze	0,7080	0,0780	9,5	6,9	402,7	312,0	23,6	22,1

3.2 Captures d'alosons

8 journées de pêche au coup ont été menées pour capturer des alosons entre le 5 août et le 1^{er} septembre (Annexe 6). La méthode de pêche au coup s'est avérée pertinente puisque pour des coûts réduits elle s'est révélée efficace. Ainsi, 8 alosons ont été capturés en aval direct du seuil de Callet sur la Durance, 8 également en aval direct du barrage de Saint-Thibéry sur l'Hérault. 2 alosons ont été capturés sur le site de Sauze sur l'Ardèche et 3 sur le Vidourle en aval du seuil de Marsillargues (Figure 12). Les autres journées de pêches sur les autres cours d'eau n'ont pas permis de capturer des alosons (Gardon / Cèze / Aude) bien que la reproduction ait été observée sur certains de ces sites (Gardon & Cèze, Alix et al., 2020).

La difficulté majeure de cette campagne de terrain reste de « trouver » les alosons. En effet, ceux-ci semblent se déplacer en banc, ce qui nécessite de se placer au bon endroit, mais également au bon moment. En revanche, une fois le banc d'aloson repéré, la capture des 8 alosons peut prendre peu de temps (environ 1h sur la Durance et l'Hérault). Sur le Vidourle, par manque de temps du pêcheur volontaire, il n'a pas été possible de capturer plus d'alosons bien que l'on suppose qu'ils étaient présents. Sur chacun des sites de captures il a été observé que les alosons étaient mêlés aux ablettes, ce qui confirme les diverses observations et témoignages qui étaient jusqu'alors rapportés à MRM. Sur la Durance, l'Hérault et le Vidourle, les captures ont été réalisées en aval d'ouvrages bloquants dans les courants en aval direct de la chute d'eau. Sur la Durance, les alosons ont été capturés sur la frayère forcée où des bulls ont été observés cette saison 2019.

Sur l'Ardèche, 2 alosons ont été capturés au niveau du débarcadère de Sauze où des bulls avaient été observés. Ces alosons ont été capturés dans des courants près de rochers, il n'y a pas de seuil au niveau de ce site de frai connu. La pêche a été interrompue en raison de la fréquentation par les touristes trop importante dès le milieu de matinée en période estivale (baignade / canoë etc...).

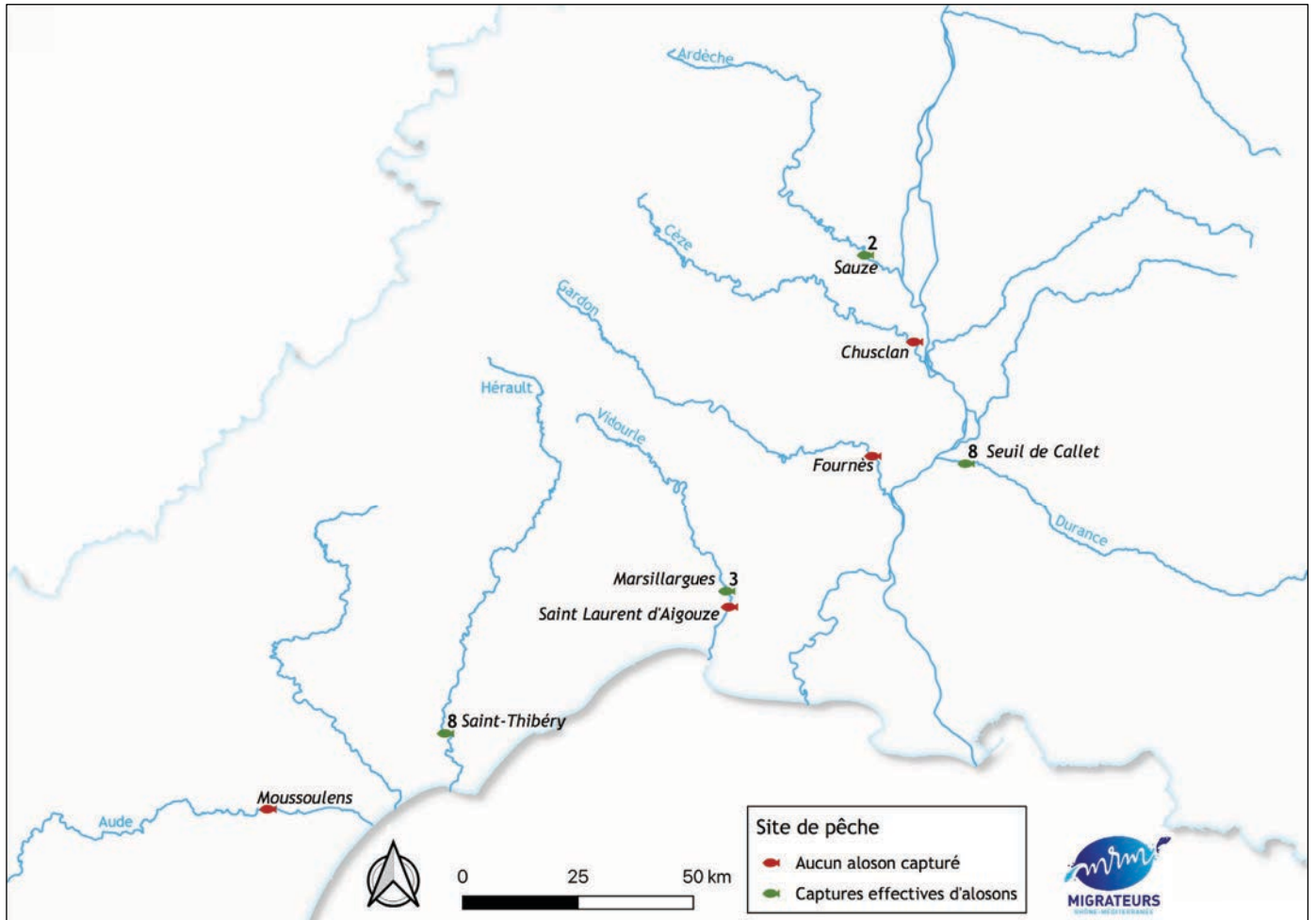


Figure 12 : Sites de pêche échantillonnés & résultats des captures 2019

Fort de l'expérience de l'année 2019, les sites et la méthode d'échantillonnage pourront être optimisés en 2020. Il faudra privilégier les veines d'eau courante ce qui correspond aux habitats recherchés par les alevins (Brusclé & al., 2013). La période d'échantillonnage sera fixée de manière à ce que les alosons soient assez grands pour être capturés et ainsi maximiser les probabilités de captures. Elles devront également être adaptées en fonction des observations du suivi de la reproduction mené sur certains cours d'eau ainsi qu'en fonction des conditions hydroclimatiques de la saison 2020.

Les alosons capturés sur la Durance, l'Hérault et l'Ardèche mesuraient en moyenne une dizaine de centimètres. En revanche, ceux capturés sur le Vidourle mesuraient entre 17 et 20 cm. Ces tailles importantes observées soulèvent la question de l'âge des individus : s'agit-il d'individus de l'année ou ont-ils déjà passé une année en eau douce ?

4 Perspectives

4.1 Analyses d'eau

a) Poursuite de l'étude

L'une des conditions d'applications de l'utilisation de la microchimie des otolithes sur les aloses feintes de Méditerranée est que les cours d'eau du bassin se distinguent les uns des autres par leur signature géochimique.

Les premiers résultats indiquent la possibilité de différencier des rivières ou groupe de rivières, à partir de la microchimie de l'eau, en couplant les différents marqueurs Sr : Ca ; Sr : Ba, Ba :Ca et le rapport isotopique $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$. Plusieurs cours d'eau se différencient nettement (Têt, Tech, Argens, Durance, Drôme et Eyrieux), ce qui laisse présager la possibilité de déterminer avec un faible taux d'erreur l'origine natale des juvéniles (aloses) issus de ces cours d'eau.

Plusieurs regroupements peuvent être proposés :

- Le Rhône (présenterait de fortes variations saisonnières qui le rapprocherait du second groupement proposé)
- Agly, Ouvèze et Vidourle
- Cèze, Orb, Gardon et Aude
- Ardèche et Hérault

Il est nécessaire d'être **vigilant** quant à ces premiers résultats. En effet, ils ne constituent qu'une image instantanée (1 seul échantillon d'eau), qui ne prend pas en considération la variabilité temporelle naturelle de ces marqueurs. Ces résultats doivent donc être **considérés avec prudence**. A titre d'exemple, une étude réalisée sur les affluents du bassins lémaniques a montré que certains cours d'eau se caractérisent par une relative stabilité des signatures microchimique au cours de l'année alors que d'autres présentent une forte saisonnalité, ce qui a pu ont pu être démontré à partir des analyses des otolithes de juvéniles de truites (Richard et al., 2019).

Au vu de ces résultats, la prochaine étape qui consistera à analyser les otolithes des aloses prélevés sur le secteur de naissance sera cruciale. L'objectif étant de vérifier que les différences observées sur les cours d'eau sont réelles et qu'il n'y a pas de variabilité saisonnière trop marquée. Ces analyses pourraient également permettre de distinguer l'Ardèche et l'Hérault ou encore le Vidourle qui semblent former un groupe avec l'Agly et l'Ouvèze.

b) Analyses complémentaires

Plusieurs types d'analyses complémentaires peuvent être envisagés pour la poursuite de l'étude.

Réplicas d'analyses

Il pourrait être nécessaire de renouveler les prélèvements d'eau pour s'assurer qu'il n'y a pas de fortes variations de composition en éléments chimiques d'une année à l'autre. Nous avons pour le moment qu'une comparaison de certains sites avec des analyses d'eau du début des années 2000 et début des années 2010 (Ollivier et al., 2010 ; Sola 2014) mais les prélèvements 2013/2014 ont été faits en période hivernale ce qui est fortement déconseillé dans le cadre de ce type d'étude, les cours d'eau étant sous influence plus importante de leurs affluents.

De plus, l'image obtenue en 2019 correspond à un instant, mais il est possible que la variabilité des signatures microchimiques en rivière pendant la période de développement des juvéniles puisse rendre moins évidentes certaines discriminations. Une autre manière de s'assurer de la viabilité de l'étude est d'analyser des otolithes de juvéniles des différentes rivières pour vérifier que les différences sont nettes entre les cours d'eau et qu'il n'y ait pas de variabilité saisonnière trop marquée. Sans un recul sur les analyses des otolithes d'alosons, il est prématuré de programmer de nouveau des échantillons d'eau.

Zones de stabulations

Il semblerait également intéressant de disposer de prélèvements d'eau des zones de stabulations des alosons. En effet, la présence d'alosons dans la zone estuarienne du Rhône mais également dans des lagunes comme le Vaccarès serait courante.

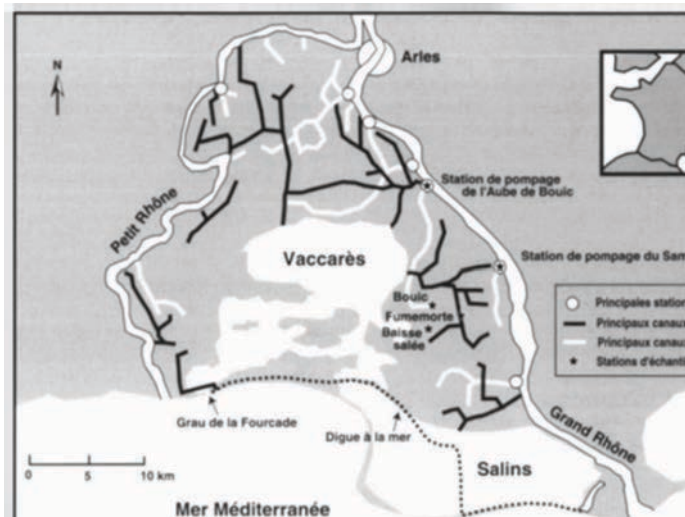


Figure 13 : Schéma des principaux accès à la lagune du Vaccarès et des canaux d'irrigation (Poizat et al., 1999)

A la fin des années 1990, des premières conclusions dans le cadre de l'étude de la dévalaison menée par l'association MRM montraient que le Rhône était probablement qu'une zone de transit entre les nurseries fluviales et les zones de stabulations dans l'estuaire (Figure 13). Il serait intéressant de comprendre ces échanges.

De plus, le travail mené en 2014 sur des otolithes d'alosons nés en 2009 semble montrer que des juvéniles étaient présents dans le Vaccarès en nombre et parfois dès le stade larvaire : des individus seraient arrivés dans la lagune à un stade précoce de leur croissance (Sola, 2014). Lors de cette étude, les otolithes de 90 individus ont été analysés et les résultats semblent indiquer que la moitié des individus proviendraient de la région du delta du Rhône :

- 20 % des alosons proviendraient de l'aval du Rhône en présentant des signatures chimiques caractéristiques de milieu estuariens.
- 30 % proviendraient de ces mêmes milieux et auraient poursuivi leur croissance dans des milieux plus saumâtres (Sola, 2014). Les individus capturés dans la lagune du Vaccarès proviendraient de canaux d'irrigations du delta du Rhône.

4.2 Capture des alosons

Bien qu'elle pourrait être optimisée sur certains sites, la méthode de capture des alosons par pêche au coup s'est révélée fonctionnelle. Néanmoins, il semble compromis de réussir à capturer 8 alosons sur chacun des 19 sites étudiés pour cette étude. La campagne 2020 permettra en effet de compléter les échantillons d'aloses sur les cours d'eau où la reproduction des aloses est effective. En revanche, sur les autres cours d'eau où la présence des aloses semble plus sporadique (Têt, Agly ou Argens), cela semble compromis.

Le fait d'avoir obtenu la bonne quantité d'aloses sur deux des cours d'eau identifiés comme favorables à leur présence (Hérault & Durance) est encourageant et permettra d'obtenir une réponse à la question suivante : les juvéniles restent-ils assez longtemps pour s'imprégner de la signature géochimique du cours d'eau de naissance ?

La campagne 2019 a permis d'identifier les points de vigilance pour optimiser les probabilités de captures d'aloses (recherche des bancs d'ablettes ; cibler la fin de l'été tout en restant vigilant sur les conditions hydroclimatiques de l'année ; échantillonner dès le lever du soleil...). Fort de ce retour d'expérience, il semble aujourd'hui possible de compléter les échantillons d'aloses de l'Ardèche et du Vidourle. Nous espérons en capturer également sur l'Aude, la Cèze, le Gardon et l'Orb.

4.3 Lien entre recrutement et qualité de l'habitat

Il est admis que la qualité des zones de frai influe fortement sur le succès de la reproduction. Aux États Unis, sur le gaspareau (*Alosa pseudoharengus*) et l'aloise à dos bleu (*Alosa aestivalis*), il a été mis en évidence que les conditions du milieu expliquent entre 40 et 80 % de l'abondance en juvénile (Tommasi et al., 2015).

Les conditions optimales nécessaires en eau douce ne sont pas encore totalement connues. Bien que l'on sache que l'oxygénation est importante pour le développement de l'œuf et que l'éclosion intervient après 80 degrés jour d'incubation, les autres paramètres restent encore non déterminés. En milieu fermé, la température influe sur le taux d'éclosion avec notamment une mortalité induite par le développement de champignons à températures élevées. Des températures extrêmes peuvent réduire la qualité de la nurserie en influençant sur les taux de prédateurs ou la disponibilité en nourriture (Fuiman 1991 / Crecco & Savoy 1984).

Les températures influent sur la reproduction des géniteurs et la dévalaison des juvéniles ce qui peut provoquer un décalage temporel entre la période de présence des jeunes de l'année et les conditions optimales dans les nurseries et les zones de stabulations.

Plusieurs études soulignent que le fait d'exposer des juvéniles à des températures extrêmes pendant leur développement dans la nurserie peut contraindre la croissance et diminuer les performances des individus (Portner et Farrel, 2008 / Kellog 1982). Il semblerait que les débits et températures retrouvés en début d'été dans les cours d'eau aient une importance non-négligeable sur le développement des alosons.

Il sera pertinent lors des prochaines phases de l'étude de confronter les résultats avec la caractérisation des zones de frai qui a été effectué sur l'ensemble des Zones d'Actions Prioritaires aloses identifiés au PLAGEPOMI 2016-2021 (Mutel & al., 2019).

Conclusion

L'objectif final de cette étude est la caractérisation de l'apport de chacun des cours d'eau du bassin Rhône-Méditerranée au stock de la population d'aloses feintes de Méditerranée. La technologie sélectionnée pour tenter de répondre à cette question est l'utilisation de la microchimie des otolithes. C'est une technologie prometteuse, qui a fait ses preuves lors de nombreuses études, dont certaines menées sur des aloses (aloses feintes Atlantique, alose à dos bleu...). Cette technique consiste à analyser l'otolithe qui est une pièce de l'oreille interne des poissons qui intègre la signature géochimique des cours d'eau. L'otolithe croît tout au long de la vie du poisson et s'imprègne de manière continue de la signature géochimique des cours d'eau.

La mise en place de l'étude nécessite de vérifier des conditions d'applications : les signatures géochimiques des cours d'eau doivent être différentes entre chacun des sites. Il faut également s'assurer que les otolithes des alosons s'imprègnent bien de la marque du cours d'eau de naissance.

La campagne 2019 a donc été marquée par deux objectifs :

- L'analyse de l'eau de nombreux cours d'eau (du Tech à l'Argens, le Rhône jusqu'à Montélimar, ainsi que ses principaux affluents jusqu'à l'Eyrieux et la Drôme)
- La mise en place d'une méthode de capture d'alosons

Les premiers résultats des analyses d'eau montrent la possibilité de différencier des rivières ou groupes de rivières, à partir de la microchimie de l'eau, en couplant les différents marqueurs (élémentaires ou isotopique). Quelques cours d'eau se distinguent nettement des autres, c'est le cas du Tech, de la Têt, de l'Argens, de la Durance de la Drôme et de l'Eyrieux. D'autres présentent des signatures géochimiques semblables sans cohérence géographique apparente qui permet de proposer des premiers regroupements qui sont susceptibles d'évoluer lors des prochaines phases de l'étude (Agly, Vidourle et Ouvèze / Ardèche et Hérault / Cèze, Gardon, Orb et Aude). La prochaine étape d'analyse des otolithes d'alosons devrait permettre de vérifier que les différences observées entre les différents cours d'eau sont bien nettes et de vérifier l'absence de variabilité saisonnière. Cette étape pourrait également permettre de différencier des cours d'eau grâce à l'imprégnation des signatures géochimiques dans l'otolithe de l'aloson.

La méthode de la pêche au coup a été choisie pour la capture des alosons, elle s'est révélée efficace et a permis la capture d'aloson sur l'Ardèche, le Vidourle, l'Hérault et la Durance. Le retour d'expérience acquis en 2019 permettra d'ajuster le protocole utilisé pour la capture des alosons, notamment sur certains sites très fréquentés, être présent dès le lever du soleil paraît primordial.

Cette première phase de faisabilité d'utilisation des otolithes a donc permis de valider une méthode de capture des alosons. Concernant les analyses des différents échantillons d'eau, les analyses prévues sur les otolithes d'alosons lors des prochaines campagnes seront cruciales pour la poursuite de l'étude.

Bibliographie

- ALIX F., RIVOALLAN D., 2020. Suivi quantitatif des frayères d'aloses sur le bassin rhodanien. Campagne d'Études 2019. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. Nombre p47 + annexes
- APRAHAMIAN M. W., ET APRAHAMIAN C. D (2001) The Influence of Water Temperature and Flow on Year Class Strength of Twaite Shad (*Alosa fallax fallax*) From the River Severn, England. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. 953 - 972
- APRAHAMIAN M. W., BAGLINIERE J. L., SABATIE R., ALEXANDRINO, P., et APRAHAMIAN C. D., 2002. Synopsis of Biological Data on *Alosa alosa* and *Alosa fallax* spp. Environment Agency UMR INRA-ENSA ENSAR University of Porto. 314 pp
- BAGLINIERE J-L., et ELIE P., 2000 Les Aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.), Quae Edition. Cemagref/Inra. 278pp
- BOUYSSONNIE W., MATHERON C., CLAVE D., 2017 Etude survie grande alose : compte rendu d'activité de la production de larves et du suivi des alosons, Année 2017, 47p
- BOYER S., GUERRI O., ET PUSTELNIK G (2001) Situation des programmes migrateurs sur l'ensemble des bassins versants Garonne et Dordogne. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. 344.
- BRUSCLE J., QUIGNARD J.P., 2013 Biologie des poissons d'eau douce européens - 2^e édition, collection Aquaculture Pisciculture, édition Lavoisier, 740p
- CAMPANA S.E., 1999 Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series, 188, pp. 263-297.
- CAMPANA S.E., THORROLD S.R., 2001 Otoliths, increments, and elements: key to a comprehensive understanding of fish populations ? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58, pp. 30-38.
- CASSOU-LEINS F., CASSOU-LEINS J. J., BOISNEAU P., et BAGLINIERE J. L., 2000, La reproduction. In Les Aloses, Cemagref-I, pp. 73-92. Éd. par J. L. Baglinière et P. Elie. Cemagref/Inra
- CRECCO V.A., and SAVOY T.F., 1984. Effects of fluctuations in hydrographic conditions on year-class strength of American shad (*Alosa sapidissima*) in the Connecticut River. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41(8) : 1216-1223
- CRIVELLI A. J., et POIZAT G. 2001. Timing of migration and exceptional growth of YOY *Alosa fallax rhodanensis* (Roule, 1924) in a lagoon in southern France. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture: 761-772.
- DE GROOT S. J., 2002 A review of the past and present status of anadromous fish species in The Netherlands: is restocking the Rhine feasible?
- FREYHOF J., et KOTTELAT M. 2008. *Alosa fallax*. e.T904A13092303 (Consulté le 5 avril 2017).
- FUIMAN L.A., 1991. Influence of temperature on evasive responses of Atlantic herring larvae attacked by yearling herring, *Clupea harengus*. J. Fish Biol. 39: 93-102.

GENDRE, L., MENELLA, J., et CORRAO, B. 1997a. Suivi de la dévalaison des alosons. Campagne d'étude 1995. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 40 pp.

HOESTLANDT H. 1958. Reproduction de l'alse atlantique (*Alosa alosa* Linné) et transfert au bassin méditerranéen. Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, 13: 736-742.

KELLOGG R.L., 1982 Temperature requirements for the survival and early development of the anadromous alewife. Prog. Fish-Cult. 44: 63-73.

LEBEL I (2005) Suivi de la pêcherie d'Alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*, ROULE 1924) sur le bassin du Rhône. Campagne d'études 2004. Synthèse des années 1997 à 2004.

LE CORRE M., BAGLINIERE J.L., SABATIE R., MENELLA J.Y., PONT D., 1997 Données récentes sur les caractéristiques morphologiques et biologiques de la population d'Alose feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis* Roule, 1924). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 346, pp. 527-545

LE CORRE M., ALEXANDRIONO P., SABATIE R., APRAHAMIAN M.W., BAGLINIERE J. L., 2005, Genetic characterisation of the Rhodanian twaite shad, *Alosa fallax rhodanensis*, Fisheries Management and Ecology, Volume 12, Issue 4, p 275-282

MARTIN J., ROUGEMONT Q., DROUINEAU H., LAUNEY S., JATTEAU P., BAREILLE G., BERAIL S., PECHEYRAN C., FEUNTEUN E., ROQUES S., CLAVE D., NACHON D.J., ANTUNES C., MOTA M., REVEILLAC E., DAVERAT F., 2015 Dispersal capacities of anadromous Allis shad population inferred from a coupled genetic and otolith approach, Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 2015, 72(7): 991-1003

MUTEL M., CAMPTON P., 2019. Actualisation des connaissances sur les habitats favorables à la reproduction de l'Alose sur le bassin Rhône-Méditerranée - Campagne d'études 2018 - Rapport Association Migrateurs Rhône Méditerranée - 29 p + Annexes

OLLIVIER P., HAMELIN B., RADAKOVITCH O. 2010. Seasonal variation of physical and chemical erosion : a three-year survey of the Rhone River (France). Geochimica et Cosmochimica (Elsevier), 74, pp. 907-927

POIZAT G., CHAUVELON P., ROSECCI E., CRIVELLI A.J., CONTOURNET P., 1999, Passage de poissons du Rhône par les pompes d'irrigation de Camargue : premiers résultats. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture, 352, pp. 31-43

POPPER A.N., et LU, Z., 2000 Structure - Function relationships in fish otolith organs. Fisheries Research, 46, pp. 15 - 25

PORTNER H.O., and FARRELL A.P., 2008 Physiology and climate change. Science, 322: 690-692.

RANDON M., DAVERAT F., BAREILLE G., JATTEAU P., MARTIN, J., PECHEYRAN C., DROUINEAU H., 2017 Quantifying exchanges of Allis shads between river catchments by combining otolith microchemistry and abundance indices in a Bayesian model, ICES Journal of Marine Science, Volume 75, Issue 1, January/February 2018, Pages 9-21

Richard A, Bareille G., Caudron A., Collet M.A., Dorioz J.M., Vignon M., 2019. Recherche de l'origine natale des truites du Léman à partir de la composition géochimique des otolithes. Rapport final. 49p

RIVOALLAN D., LEBEL I., 2016. *Suivi de la pêcherie d'aloses sur quelques fleuves côtiers des bassins Rhône-Méditerranée & Corse : Tech, Têt, Agly, Aude, Orb, Hérault, Vidourle, Argens, Tavignano*. Campagne d'études 2016. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 38p

SCIMABIO, 2020. Etude de faisabilité « Détermination de l'origine natale des aloses de Méditerranée (*Alosa agone*) par la géochimie des otolithes ». Phase 1 : analyse des échantillons d'eau. 17p.

SHAFFLER J. J., YOUNG P. S., HERRINGTON S., INGRAM T., TANNEHILL J., 2015 Otolith chemistry to determine within-river origins of Alabama Shad in the Apalachicola-Chattahoochee-Flint Rivers basin, Transactions of the American Fisheries society 144:1-10, 2015

SOLA E., 2014 Histoire de vie précoce et connectivité entre les habitats des juvéniles d'Aloses (*Alosa fallax Rhodanensis*) présents dans le delta du Rhône : Apport de la structure et de la chimie des otolithes - Mémoire - 109p

TABARDEL M., MENELLA J.Y., GENDRE L., 1995. Suivi de la dévalaison des alosons à Sauveterre. Prospection de sites d'échantillonnage sur le Grand Rhône et le Petit Rhône. Campagne d'études 1994. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, 1994-n° 4/5. 44 p.

TOMMASI, D., NYE, J., STOCK, C., HARE, J. A., ALEXANDER, M., DREW, K., et TIERNEY, K. 2015. Effect of environmental conditions on juvenile recruitment of alewife (*Alosa pseudoharengus*) and blueback herring (*Alosa aestivalis*) in fresh water: a coastwide perspective. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 72: 1037-1047.

UICN France, 2019 Liste rouge des poissons d'eau douce de France

WRIGHT, P.J., PANFILI, J., MORALES-Nin, B., GEFFEN, A.F., 2002 Différents types de pièces calcifiées. A/ Otolithes. In Manuel de sclérochronologie des poissons (eds J. Panfili, H. de pontual, H. Troadec, P.J. Wright) pp. 31-57. Coédition Ifremer - IRD.

Table des figures

Figure 1 : Schéma d'une frayère à alose (MRM)	9
Figure 2 : Acte de ponte ou « Bull » chez l'alose feinte de méditerranée (MRM).....	10
Figure 3 : Illustration de l'oreille interne du hareng (<i>Clupea harengus</i>) - Redessiné d'après Retzius 1881 - Mille 2015.....	11
Figure 4 : Paire d'otolithes d'alose feinte adulte (Sola, 2014)	11
Figure 5 : Site de prélèvements des échantillons d'eau	13
Figure 6 : Ratio élémentaire Strontium : Barium et Strontium : Calcium des 19 échantillons d'eau prélevés sur le bassin Rhône Méditerranée	15
Figure 7 : Ratio élémentaire Strontium : Calcium et Barium : Calcium des 19 échantillons d'eau prélevés sur le bassin Rhône Méditerranée	16
Figure 8 : Ratio élémentaire Sr:Ca (Strontium sur Calcium) et rapport isotopique du strontium Sr87 et Sr86 des 19 prélèvements réalisés sur le bassin méditerranéen. Les 7 affluents du Rhône sont figurés en vert ; les 8 fleuves côtiers en violet ; les 3 stations du Rhône en noir.	17
Figure 9 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 2) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopiques du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») sont figurés en encadré.	18
Figure 10 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 3) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopique du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») sont figurés en encadré.....	18
Figure 11 : Dispersion graphique des eaux en fonction des valeurs analysées en Sr : Ca et Ba : Ca - Extrait de Sola 2014	20
Figure 12 : Sites de pêche échantillonnés & résultats des captures 2019.....	22
Figure 13 : Schéma des principaux accès à la lagune du Vaccarès par les canaux d'irrigation (Poizat et al., 1999)	24

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeurs des ratios élémentaires et isotopiques des sites prélevés en 2013/2014 et 2019.....	21
---	----

Table des annexes

Annexe 1 : Alose feinte de Méditerranée - <i>Alosa agone</i> , Scopoli, 1786.....	32
Annexe 2 : Statut IUCN.....	35
Annexe 3 : Résultats des prélèvements d'eau effectués en 2013 et 2014 sur le bassin Rhodanien.....	38
Annexe 4 : Caractéristiques des sites de prélèvements d'eau 2019.....	39
Annexe 5 : Résultats des analyses des échantillons d'eau 2019.....	40
Annexe 6 : Résultats de la phase terrain de capture d'Alosons.....	41

Annexes

Annexe 1 : Alose feinte de Méditerranée - *Alosa agone*, Scopoli, 1786

L'alose présente sur le bassin Rhône Méditerranée Corse a changé de nom à la fin de l'année 2018. Plusieurs espèces du pourtour méditerranéen, dont l'alose feinte du Rhône (*Alosa fallax Rhodanensis*, Roule 1924) ont été réunies, principalement grâce à des critères génétiques, mais également morphologiques et comportementaux.

La première proposition de réunification des espèces du pourtour méditerranéen a été publiée en 2002 (Bianco, 2002). D'après l'INPN³ les anciennes dénominations suivantes sont maintenant synonyme d'*Alosa agone* :

- *Alosa africana* (Regan, 1916)
- *Alosa fallax nilotica* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)
- *Alosa fallax rhodanensis* (Roule, 1924)
- *Alosa fallax* (auct. non Lacépède, 1803)
- *Alosa finta gracilis* (Regan, 1916)
- *Alosa finta lacustris* (Fatio, 1890)
- *Alosa finta rhodanensis* (Roule, 1924)
- *Alosa finta* (Cuvier, 1829)
- *Alosa lacustris benacensis* (Barbieri, 1907)
- *Alosa lacustris ceresio-verbana* (Barbieri, 1907)
- *Alosa lacustris lariana* (Barbieri, 1907)
- *Alosa nilotica* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)
- *Clupea finta lacustris* (Fatio, 1890)
- *Clupea finta* (Cuvier, 1829)
- *Clupea nilotica* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1809)
- *Clupea nilotica* (Geoffroy-Saint-Hilaire, 1808)
- *Clupea sardinella* (Vallot, 1837)
- *Cyprinus agone* (Scopoli, 1786)

On retrouve dans cette liste des espèces qui avaient déjà par le passé changé de nom, nous pouvons citer l'exemple de la sous espèce qui était identifiée sur le bassin du Rhône : *Alosa finta rhodanensis* puis *Alosa fallax rhodanensis*. Il est intéressant de noter qu'en 1946, l'alose du bassin du Rhône était nommée *Paralosa (nilotica) rhodanensis* (Gallois et al., 1946). La systématique est une science changeante.

Les critères qui ont permis de réunir l'ensemble de ses sous espèces sous un même nom sont multiples :

- **Génétiques** : depuis la proposition de Bianco en 2002 d'établir une seule espèce sur le bassin méditerranéen, de nombreuses études génétiques se sont succédées. A titre d'exemple les aloses du Rhône et de l'Èbre en Espagne partagent des mêmes haplotypes que l'on ne retrouve pas sur les aloses feintes Atlantique (Andree et al., 2011), des analyses génétiques menées sur de l'ADN mitochondrial (Cytochrome b) confirment qu'il y aurait bien qu'une seule espèce d'alose en Italie malgré des morphes lacustres et migrantes (Chiesa et al., 2014).

³ Site de l'INPN consulté le 18 décembre 2019

- **Morphologiques et comportementaux** : c'est d'ailleurs sous ces deux critères que Bianco, qui a proposé cette réunification, s'est en premier lieu basé en comparant des morphes lacustres et migrantes présentes en Italie et en retrouvant de nombreuses similitudes.
- Cette distinction se justifie également sous ces critères car l'alse que l'on retrouve sur le bassin du Rhône est différente de l'alse feinte atlantique : en effet, l'alse feinte de Méditerranée est plus grande que sa congénère et remontait historiquement les cours d'eau bien plus haut (sur l'ensemble de la Saône sur l'axe Rhône) alors que l'alse feinte atlantique colonise rarement plus en amont que les zones soumises à l'influence de la marée, (Baglinière et Elie, 2000).

La classification de l'alse feinte de méditerranée est donc maintenant la suivante :

Domaine : Biota

Règne : Animalia Linnaeus, 1758

Sous-Règne : Eumetazoa Bütschli, 1910

Clade : Bilateria Haeckel, 1874

Infra-Règne : Deuterostomia Karl Grobben, 1908

Phylum : Chordata Haeckel, 1874

Sous-Phylum : Craniata Janvier, 1981

Infra-Phylum : Vertebrata

Super-Classe : Gnathostomata

Clade : Euteleostomi

Classe : Actinopterygii

Sous-Classe : Neopterygii Regan, 1923

Infra-Classe : Teleostei

Ordre : Clupeiformes

Famille : Clupeidae Cuvier, 1816

Genre : *Alosa* Linck, 1790

Espèce : *Alosa agone* (Scopoli, 1786)



Ce changement de classement systématique ne signifie pas qu'il faut abandonner un plan de gestion à l'échelle d'axe ou de bassin. Ce type de gestion pour les aloses est nécessaire notamment parce que la notion de homing chez cette espèce est encore débattue (Chiesa et al., 2014). De plus, bien qu'il existe des différences génétiques entre les anciennes sous espèces du bassin méditerranéen, elles sont infimes et seule une technologie pointue permet de les souligner. Il pourrait donc être pertinent d'apporter des éléments de réponses au flou concernant le homing et la dispersion des aloses en mer afin d'établir une gestion cohérente de cette espèce patrimoniale en mer et entre les différents pays. Cela viendrait compléter les gestions existantes sur chacun des bassins hydrographiques.

Andree, K., B., ANGEL LOPEZ, M., ALEXANDRINO, P., FARIA, R., GISBERT, E., (2011) A preliminary genetic analysis of a recently rediscovers population of the Twaite shad (*Alosa fallax*) in the Ebro river, Spain (Western Mediterranean), J. Appl. Ichtyol. 27 (Suppl. 3) 21-23

Bagliniere J.L. Elie P., 2000. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Ecobiologie et variabilité des populations. CEMAGREF Ed., INRA Ed. 275 p.

Bianco P., G. (2002) The status of the Tawaite Shad, *Alosa agone*, in Italy and the Western Balkans, P.S.Z.N. : Larine Ecology, 23, Supplement 1 (2002), 51-64

CHIESA, S., PICCINI, A., LUCENTINI, L., FILONZI, L., NONNIS MARZANO, F., (2014) Genetic data on endangered twaite shad (Clupeidae) assessed in landlocked and anadromous populations: one or more species?



Annexe 2 : Statut IUCN

En 2019, la nouvelle liste rouge des poissons d'eau douce de France est parue. Dans la liste rouge précédente, l'alse feinte de Méditerranée (alors alse feinte du Rhône (*Alosa fallax rhodanensis*) était classée avec l'alse feinte (*Alosa fallax*). Elle était classée « Vulnérable » ce qui correspond à l'une des catégories « menacé » de l'IUCN. Aujourd'hui, l'alse feinte de Méditerranée est classée « Quasi-menacée », ce qui ne correspond plus aux catégories considérées comme « Menacé » par l'IUCN (Figure 1).

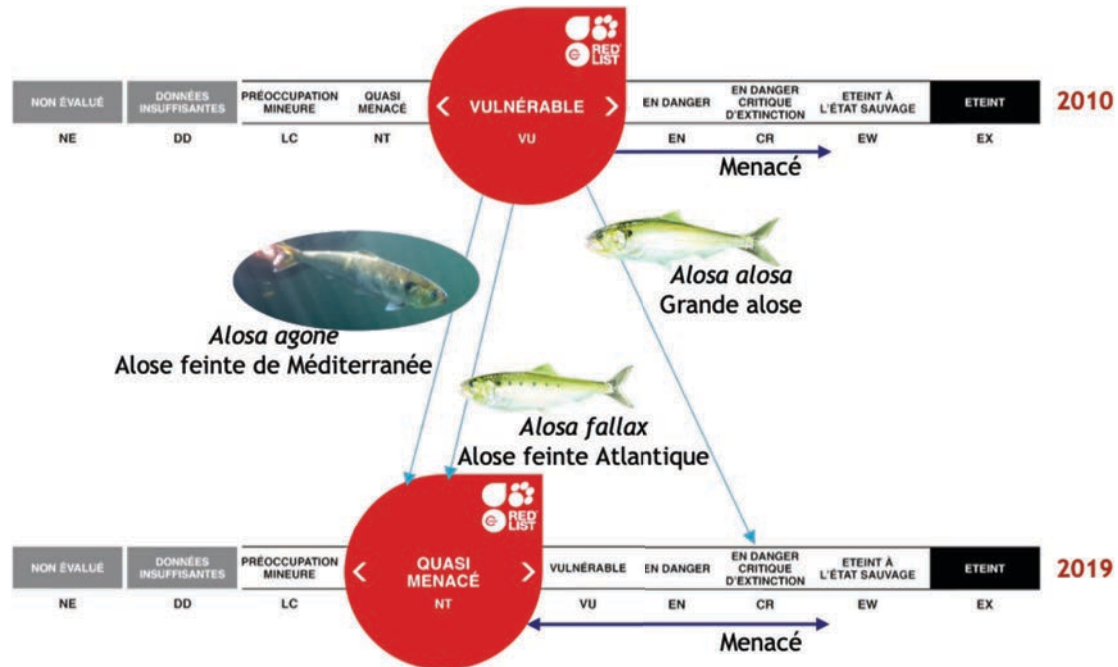


Figure 1 : Représentation des classements des aloses présentes en France sur la façade atlantique et méditerranéenne dans les listes rouges de 2010 et 2019.

L'alse feinte de Méditerranée et l'alse feinte Atlantique sont toutes deux passées de « Vulnérable » à « Quasi Menacé ». La grande alse quant à elle est passée de « Vulnérable » à « En danger critique d'extinction » soit la dernière case avant l'extinction à l'état sauvage.

Les catégories considérées comme « menacées » par l'IUCN sont : « Vulnérable » ; « En danger » et « En danger critique d'extinction ».

Ce classement s'élabore sous plusieurs critères et se veut homogène entre tous les taxons. La méthodologie se base sur l'évolution de la population sur 10 ans ou 3 générations selon la période la plus longue mais ne prend pas en compte les données plus anciennes ou historiques.

La méthodologie de la mise en place de la liste rouge souligne également qu'un taxon peut être transféré d'une menace élevée à une catégorie de menace inférieure si aucun des critères de la catégorie de menace élevée n'a été rempli depuis 5 ans au moins.

Dans le cas de notre alse, les données qui ont été considérées sont les données issues de l'étude de la pêche amateur à la ligne, suivi organisé et dont les résultats sont annuellement analysés par l'association Migrateurs Rhône Méditerranée depuis 1997.

Les données de pêche 2008-2018 (Figure 2) ne montrent pas de tendance que ce soit à la baisse ou à la hausse. Il convient également de rappeler que le descripteur utilisé est la « Capture Par Unité d'Effort » qui représente le nombre d'aloses capturé par heure. Les sites les plus fréquentés par les pêcheurs de notre réseau sont des sites « verrous » en aval d'ouvrage (Vallabrègues, Sauveterre sur le Rhône, Moussoulens sur l'Aude ...). Dans ces conditions, la CPUE qui est censée représenter une image de l'abondance de l'espèce n'est

pas exempte de biais. La pêche à la ligne ne capturant pas de façon exhaustive les poissons sur une surface donnée et étant fortement dépendante de nombreux paramètres (turbidité, agressivité, compétence du pêcheur, no kill ...), ainsi la CPUE est plutôt une image de la capturabilité (qui dépend entre autres de l'abondance).

Par exemple : l'effacement d'un ouvrage qui aurait une conséquence positive sur la population en rétablissant l'accès à de nouvelles frayères, pourrait se traduire par une baisse de la CPUE sur le secteur considéré, les poissons n'étant plus concentré sous l'ouvrage effacé.

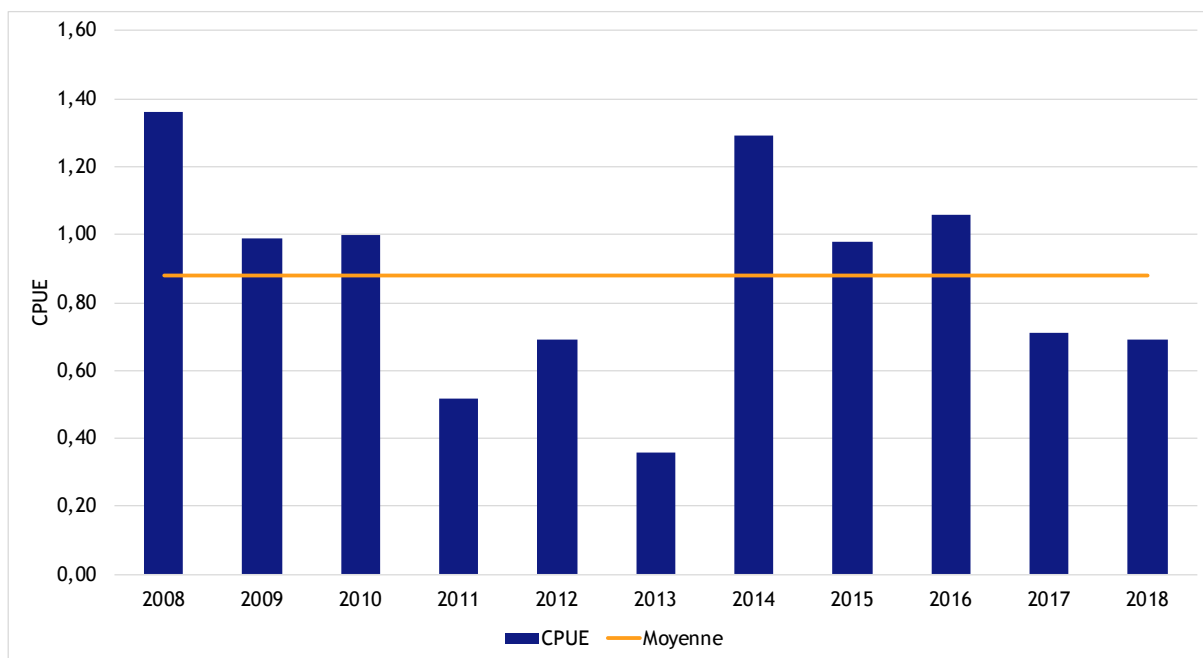


Figure 2 : CPUE Moyenne sur l'axe Rhône de 2005 à 2018 chaque année et moyenne interannuelle (0,88)

Les données issues du suivi bulls mis en place sur le bassin rhodanien depuis 1998 n'ont pas été prises en compte étant donné les avancées scientifiques récentes qui tendent à montrer que l'estimation du nombre de géniteurs élaboré par Cassou-Leins et Cassou-Leins (1981) ne serait pas fiable et par le fait que grâce aux efforts entrepris pour le rétablissement de la continuité écologique il est encore plus difficile qu'auparavant de suivre toutes les frayères de manière quantitative.

Bien que le suivi de reproduction des aloses contienne de nombreux biais, il convient tout de même de souligner les fortes chutes de bulls observés depuis la fin des années 2010 sur les sites suivis (Figure 3).

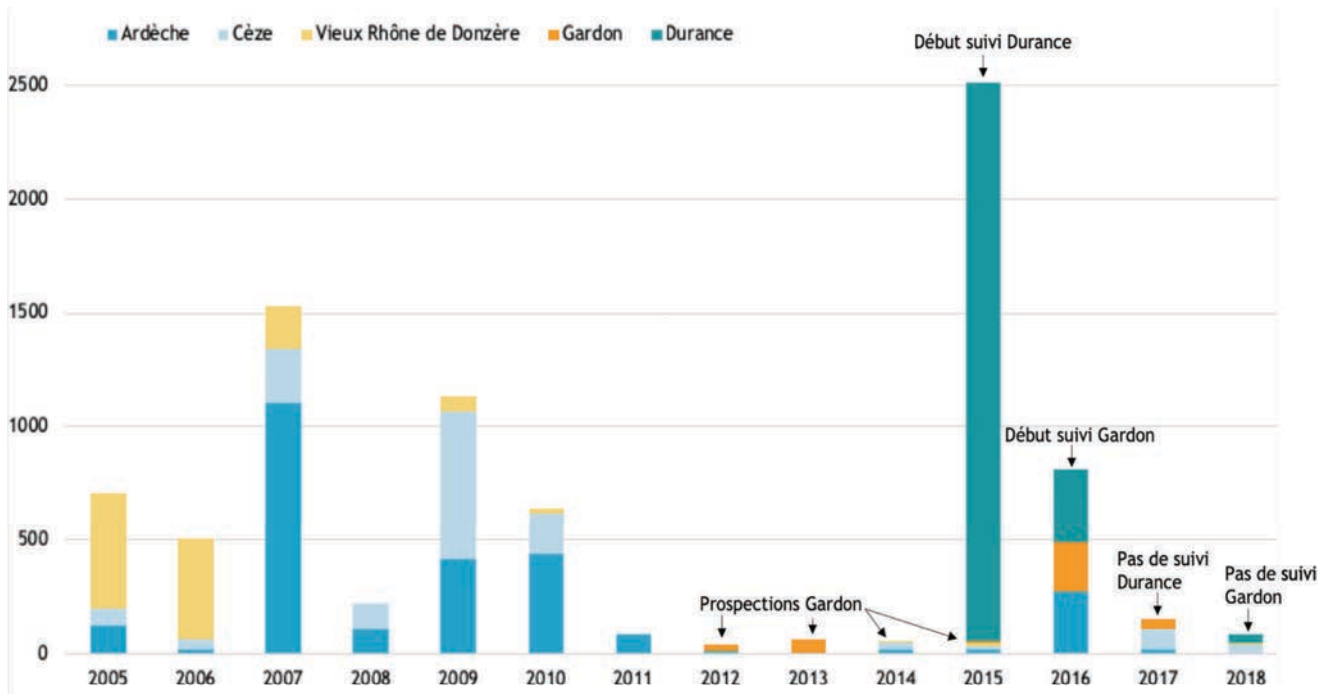


Figure 3 : Représentation interannuelle du nombre de bulls observés sur chaque site depuis 2005.

Sur le Gardon, des prospections « bulls » ont eu lieu de 2012 à 2015 dans le cadre de l'étude sur la recolonisation de cet axe, premier affluent rencontré par les migrateurs le long de l'axe Rhône. Ces prospections ont permis d'identifier la frayère d'aloise la plus active pour les aloses. Celle-ci est désormais identifiée au PLAGEPOMI 2016-2021 pour un suivi quantitatif. Malheureusement, ce site n'a pas pu être suivi par faute de maîtrise d'ouvrage en 2018. Le suivi sur la Durance a débuté en 2015 avec une année qui désormais semble exceptionnelle où plus de 2000 bulls ont été comptabilisés. Le suivi n'a pas été porté en 2017 pour faute de maîtrise d'ouvrage. Ce graphique reflète la chute du nombre de bulls observés sur les sites situés les plus en amont depuis 2010 (Vieux Rhône de Donzère, Ardèche, et

Ces remarques sur ces suivis portés par MRM depuis plus de 20 ans soulignent le fait que notre association considère que le déclassement de l'aloise de « Vulnérable » à « Quasi-menacé » ne correspond pas à la réalité de terrain et aux données issues des suivis. Il semble important que les experts de l'IUCN se réfèrent aux experts régionaux pour statuer sur l'état de la population d'une espèce dont ils ont la gestion.

De plus, nous trouvons très regrettable que l'évolution par rapport aux données historiques ne soit pas considérée comme l'un des critères de classement dans la liste rouge. Par exemple, dans le cas des bulls d'aloses, depuis 2011, le nombre d'observation est stable à une valeur qui n'en est pas moins médiocre.

Annexe 3 : Résultats des prélèvements d'eau effectués en 2013 et 2014 sur le bassin Rhodanien

Rivières	Sites (commune, lieu dit)	N° Site	Date	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Sr/Ca (10^{-3})	Ba/Ca (10^{-6})	Sr/Ba
Rhône	Canal de dérivation (pont aval Bollène)	R1	02/01/2013	0,7088	3,6	336,9	10,7
Rhône	07_Rhône_Bollène	R07	31/10/2014	0,7087	5,7	378,4	15,2
Rhône	Pont Saint-Esprit	R2	02/01/2013	0,7088	3,7	425,1	8,7
Rhône	05_Rhône_Pt-St-Esprit	R05	31/10/2014	0,7091	4,3	1446,7	3,0
Rhône	Pont de l'Ardoise	R3	02/01/2013	0,7089	3,8	598,3	6,3
Rhône	Confluence de l'Ouvèze (Frayère)	R4	02/01/2013	0,7080	6,5	277,7	23,5
Rhône	06_Rhône_Bg-St-Andéol	R06	31/10/2014	0,7088	6,0	389,1	15,4
Rhône	09_Rhône_La-Roche	R09	31/10/2014	0,7087	4,6	363,0	12,7
Ardèche amont		R5	28/12/2013	0,7090	5,1	1758,4	2,9
Ardèche aval		R6	28/12/2013	0,7086	4,7	1190,8	3,9
Ardèche	04_Ardèche_Sauze	R04	30/10/2014	0,7092	4,2	1765,6	2,4
Gardon		R7	30/12/2013	0,7092	4,9	766,1	6,4
Gard	02_Gard_Remoulins	R02	30/10/2014	0,7090	4,6	786,3	5,8
Durance aval		R8	30/12/2013	0,7090	11,2	616,8	18,2
Cèze		R9	27/12/2013	0,7082	4,0	826,9	4,9
Cèze	03_Cèze_Bagnols	R03	30/10/2014	0,7095	3,3	962,5	3,5
Eyrieux	08_Eyrieux_St-Laurent	R08	31/10/2014	0,7117	6,3	3057,2	2,1
Isère	10_Isère_Beaumont	R10	31/10/2014	0,7088	13,8	341,2	40,5
Drôme	11_Drôme_Ramières	R11	31/10/2014	0,7079	9,7	590,5	16,4
Ouvèze	12_Ouvèze_Sorgues	R12	31/10/2014	0,7080	9,5	402,7	23,6

Annexe 4 : Caractéristiques des sites de prélèvements d'eau 2019

Code	Cours d'eau	Station	Date	XL93	YL93	Temperature	Conductivité	pH	Observations
01juillet	Gardon	Fournes	15/07/2019	826246.23	6315561.37	21.4	0.59	8.06	
02juillet	Ceze	Chusclan	15/07/2019	834629.43	6340048.43	24.5	0.45	8.03	
03juillet	Ardeche	Saint Martin	15/07/2019	825208.47	6356850.22	23.9	0.25	8.23	
04juillet	Ardeche	Vallon Pont d'Arc	15/07/2019	810714.98	6367369.06	23.4	0.2	8.78	Beaucoup de canoe
05juillet	Vieux Rhone de Donzere	Barrage de Donzere	15/07/2019	833820.19	6372341.22	22.4	0.38	8.14	
06juillet	Vieux Rhone de Rochemaure	Rochemaure	15/07/2019	835873.94	6388689.25	22.7	0.43	8.1	
07juillet	Eyrieux	Saint Fortunat	15/07/2019	833002.21	6415811.19	24.9	0.11	9.3	
08juillet	Drome	Aval Livron	15/07/2019	841365.63	6409381.95	24.3	0.36	8.32	
09juillet	Rhone	Sauveterre	16/07/2019	847171.11	6325314.35	22.9	0.38	8.21	
10juillet	Ouveze	Boulodrome de Sorgues	16/07/2019	849637.86	6325023.19	19.3	0.65	8.02	
11juillet	Durance	Callet	16/07/2019	846209.91	6314381.38	18.8	0.6	7.51	
12juillet	Tech	Pont d'Elne	17/07/2019	698854.43	6165169.77	23.4	0.28	7.81	Algues +++
13juillet	Tet	Perpignan - station service	17/07/2019	691867.8	6178457.5	23.6	0.26	7.94	
14juillet	Agly	Quai des mouettes	17/07/2019	690163.87	6185993.45	27.7	0.62	7.22	Eau bleue + algues
15juillet	Aude	Moussoulens	17/07/2019	696765.81	6238548.27	25.7	0.52	8.3	
16juillet	Orb	Chemin rural 94	17/07/2019	720127.79	6246229.64	27.7	0.48	7.78	
17juillet	Herauld	Saint-Thibery	17/07/2019	735060.04	6254940.42	27.4	0.48	7.78	
18juillet	Argens	Seuil du Verteil	18/07/2019	998309.65	6266489.87	24.7	2.1	7.9	
19juillet	Vidourle	Saint-Laurent d'Aldouze	14/08/2019	795999.97	6282677.62	24.1	0.43	7.81	Algues +++ / Mortalite piscicole

Annexe 5 : Résultats des analyses des échantillons d'eau 2019

River	Site	Sample	Ca (ppm)	SD Ca	Sr (ppb)	SD Sr	Ba (ppb)	SD Ba	K (ppm)	Mg (ppm)	SD Mg	Na (ppm)	Mn (ppb)	SD Mn	Sr:Ca	Ba:Ca	Sr:Ba	87
Têt	Perpignan - station service	RH19-13	32,3	0,4	80	3	13,6	0,2	1,5	5,3	0,0	8,4	9,4	0,9	2,49	421	5,9	
Hérault	Saint-Thibéry	RH19-17	57,6	0,1	170	5	61,0	0,4	1,9	16,2	0,2	10,9	1,8	0,0	2,95	1059	2,8	
Cèze	Chusclan	RH19-02	73,9	0,7	224	5	54,6	0,1	2,0	6,1	0,1	8,8	2,2	0,1	3,03	739	4,1	
Ardèche	Saint Martin	RH19-03	38,5	0,7	144	5	42,2	0,1	1,5	3,5	0,0	5,5	0,9	0,1	3,73	1096	3,4	
Tech	Pont d'Elne	RH19-12	34,8	0,4	137	5	13,9	0,2	2,0	6,4	0,1	10,6	1,5	0,1	3,94	399	9,9	
Garonne	Fournès	RH19-01	75,3	0,5	302	8	47,2	0,3	2,8	8,9	0,2	11,8	0,8	0,0	4,01	626	6,4	
Orb	Chemin rural 94	RH19-16	51,5	0,4	225	5	44,5	0,3	5,6	26,5	0,2	71,5	9,4	0,7	4,37	864	5,1	
Ardèche	Vallon pont d'Arc	RH19-04	28,7	0,6	126	3	39,3	0,1	1,6	3,3	0,1	5,5	1,2	0,2	4,38	1370	3,2	
Aude	Moussoulens	RH19-15	67,7	0,1	334	6	31,1	0,2	3,0	10,5	0,2	17,9	3,7	0,3	4,93	460	10,7	
Eyrieux	Saint Fortunat	RH19-07	8,0	0,0	48	6	12,0	0,2	1,8	2,0	0,0	7,0	3,9	0,3	6,04	1506	4,0	
Agly	Quai des mouettes	RH19-14	95,6	1,3	625	13	33,8	0,0	2,5	12,7	0,3	11,8	2,0	0,0	6,53	353	18,5	
Ouvèze	Boulodrome de Sorgues	RH19-10	105,3	2,2	725	11	32,8	0,2	1,9	9,3	0,1	10,0	2,7	0,2	6,88	312	22,1	
Vidourle	Saint-Laurent d'Aigouze	RH19-19	73,0	0,4	524	11	20,8	0,1	2,1	10,9	0,1	19,4	2,4	0,0	7,18	285	25,2	
Rhône	Rochemaure	RH19-06	55,1	0,1	472	7	20,7	0,2	2,9	6,4	0,1	12,2	4,8	0,3	8,56	376	22,8	
Rhône	Barrage de Donzère	RH19-05	53,6	0,4	467	6	21,0	0,1	1,8	6,3	0,1	9,0	5,0	0,3	8,70	392	22,2	
Rhône	Sauveterre	RH19-09	54,0	0,3	482	6	22,0	0,2	1,7	6,4	0,1	9,0	3,2	0,2	8,93	408	21,9	
Drôme	Aval livron	RH19-08	56,4	0,5	516	5	37,2	0,1	1,4	6,6	0,1	5,0			9,15	659	13,9	
Argens	Seuil de Verteil	RH19-18	160,7	2,1	1877	38	36,4	0,3	8,9	31,8	0,1	223,4	17,5	1,4	11,68	227	51,5	
Durance	Callet	RH19-11	86,9	1,1	1015	12	61,0	0,8	2,1	14,2	0,3	14,4	0,4	0,2	11,68	702	16,6	

Annexe 6 : Résultats de la phase terrain de capture d'Alosons

Cours d'eau	Station	Date	XL93	YL93	Nombre de captures
Gardon	Fournes	06/08/2019	826246.23	6315561.37	0
Ceze	Chusclan	07/08/2019	834629.43	6340048.43	0
Ardeche	Sauze	22/08/2019	823827,75	6358103,77	2
Durance	Callet	08/08/2019	846209.91	6314381.38	8
Aude	Moussoulens	12/08/2019	696765.81	6238548.27	0
Herault	Saint-Thibery	14/08/2019	735060.04	6254940.42	8
Vidourle	Saint-Laurent d'Aigouze	05/08/2019 & 01/09/2019	795999.97	6282672.62	0
Vidourle	Marsillargues	01/09/2019	795373,05	6286056,7	3

Financeurs

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée ne pourrait agir sans l'engagement durable de ses partenaires financiers



Membres de l'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique :

- Ain
- Alpes de Haute-Provence
- Hautes-Alpes
- Alpes-Maritimes
- Ardèche
- Aude
- Bouches-du-Rhône
- Corse
- Drôme
- Gard
- Hérault
- Isère
- Loire
- Pyrénées-Orientales
- Rhône
- Haute-Saône
- Saône et Loire
- Savoie
- Haute-Savoie
- Var
- Vaucluse

Association Régionale des Fédérations de Pêche de PACA (ARFPPMA PACA)

Association Régionale des Fédérations de Pêche Auvergne Rhône-Alpes (ARPARA).

**ASSOCIATION MIGRATEURS
RHÔNE-MÉDITERRANÉE**

ZI Nord, rue André Chamson, 13200 Arles
contact@migrateursrhonemediterranee.org
Tél. : 04 90 93 39 32
www.migrateursrhonemediterranee.org

