

- RAPPORT D'ETUDE -



2020 N° 5/15

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

ALIX F. RIVOALLAN D. CAMPTON P., • Avril 2021



Photo de couverture : Otolithe d'aloson MRM (© SCIMABIO)

Référence à citer

ALIX F., RIVOALLAN D., CAMPTON P., 2021. Faisabilité d'utilisation de la microchimie des otolithes d'aloses feintes de Méditerranée. Campagne d'Études 2020. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée. 25p + 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

- 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

PRESTATAIRES

- SCIMABIO Interface
- CNRS de Pau

Résumé

En lien avec la restauration de la continuité écologique, 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 pour 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. La mise en place d'une telle étude nécessite une importante phase de faisabilité qui a démarré lors de la saison 2019 et s'est poursuivie en 2020 afin de vérifier les conditions suivantes

1 : Les différents milieux de vie ciblés doivent avoir des signatures géochimiques différentes

2 : Le contenu géochimique de l'otolithe doit correspondre fidèlement à la signature géochimique du milieu dans lequel il se trouve.

3 : Les signatures géochimiques des cours d'eau doivent être stables dans le temps

Des échantillons d'eau ont été prélevés sur 19 sites sur l'ensemble des cours d'eau du bassin Rhône Méditerranée où la présence de l'aloise est avérée et sur les cours d'eau susceptibles d'accueillir l'espèce.

Un deuxième volet s'est porté sur la recherche d'alosons sur certains sites connus de reproduction. 21 alosons avaient été capturés en 2019. Malheureusement, la campagne 2020 ne s'est pas révélée aussi fructueuse puisque aucun aloson supplémentaire n'a pu être capturé.

Il y a peu de différenciation marquée concernant la constitution géochimique des cours d'eau. A titre d'exemple, le Vidourle, l'Ouvèze et l'Agly semblent avoir des signatures microchimiques 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. L'analyse des otolithes de juvéniles, dont les résultats sont attendus courant 2021, nous apportera des éléments cruciaux, notamment sur la stabilité temporelle des signatures géochimiques des cours d'eau.

A ce jour, il semble donc nécessaire de parvenir à obtenir des alosons provenant des cours d'eau où la reproduction est effective et qui sont *a priori* difficiles à discriminer. Le travail sur les otolithes de géniteurs devrait débuter en 2021.

Sommaire

Introduction	6
1 Objectifs	7
2 Matériels et Méthodes	8
2.1 Du cours d'eau à l'otolithe	8
2.2 Conditions d'application de la méthodologie	8
2.3 Campagnes de terrain 2019 et 2020	9
a) Analyses d'eau	9
b) Captures d'alosons	10
3 Résultats	11
3.1 Analyses des échantillons d'eau	11
a) Données physico-chimiques	11
b) Résultats des analyses élémentaires	11
c) Analyse isotopique	13
d) Analyse combinée des différents marqueurs - essai de discrimination	13
e) Comparaison avec les prélèvements effectués en 2013/2014	16
3.2 Captures d'alosons	17
4 Perspectives	19
4.1 Analyses d'eau	19
4.2 Capture des alosons	20
4.3 Lien entre recrutement et qualité de l'habitat	21
Conclusion	22
Bibliographie	23
Annexes	26

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.*, 2001; de Groot, 2002). Les aloses, et en particulier l'aloise feinte de Méditerranée (*Alosa agone*) (<https://www.observatoire-rhonemediterranee.fr/aloise-feinte-de-mediterranee/>), endémique au bassin méditerranéen, bénéficient 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).

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 Rhône Méditerranée (Bassin Rhône et fleuves côtiers méditerranéens), de connaître l'effet des différents efforts qui ont été entrepris en faveur des aloses, mais également d'améliorer la connaissance des bénéfices apportés par chaque territoire pour l'espèce, notamment sur la question du succès reproducteur.

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 fluvial 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'aloise.

Le présent rapport présente l'avancement des démarches 2019 / 2020 concernant la faisabilité d'utiliser l'outil en Rhône Méditerranée (vérification de la différence géochimique des cours d'eau, de sa stabilité dans le temps et vérification du bon transfert des éléments traces du cours d'eau à l'otolithes d'aloise).

1 Objectifs

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

- 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.*, 2015).
- 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 (dont la reproduction permet le recrutement des juvéniles) du stock de la population mais également les cours d'eau puits (qui 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. 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'alse 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 était considéré jusqu'à aujourd'hui 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.

2 Matériels et Méthodes

2.1 Du cours d'eau à l'otolithe

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 des éléments chimiques Strontium (Sr) et Baryum (Ba) dans les otolithes et le rapport isotopique du Strontium ($Sr^{87} : Sr^{86}$) en relation avec le milieu de vie de l'individu qui peuvent être utilisés pour reconstituer les habitats fréquentés à la naissance, mais également pour retracer l'histoire de vie de l'individu.

En effet, l'otolithe est une pièce calcaire située dans l'oreille interne des individus (*Annexe 1*) dont les propriétés 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

Le 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 avec les rapports élémentaires (Sr : Ca ; Ba : Ca ; Sr : Ba) est généralement nécessaire pour obtenir une discrimination plus poussée des différents milieux de vie.

2.2 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 :

- **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 exogène (température) peuvent influencer l'incorporation des éléments sur l'otolithes.
- **3** : Les signatures géochimiques des cours d'eau doivent être stables dans le temps : nécessaire pour mener une étude sur plusieurs cohortes.

2.3 Campagnes de terrain 2019 et 2020

Les campagnes d'études 2019 et 2020 visent à s'assurer que les conditions d'applications d'une telle étude sont valides.

a) Analyses d'eau

Dans un premier temps, des analyses d'eau ont été réalisées dans le but de caractériser la constitution géochimique de chaque cours d'eau. Elles ont été comparées à des prélèvements réalisés en 2013/2014 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 aux première et troisième condition d'application.

19 échantillons d'eau ont été prélevés 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 1).

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. 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.

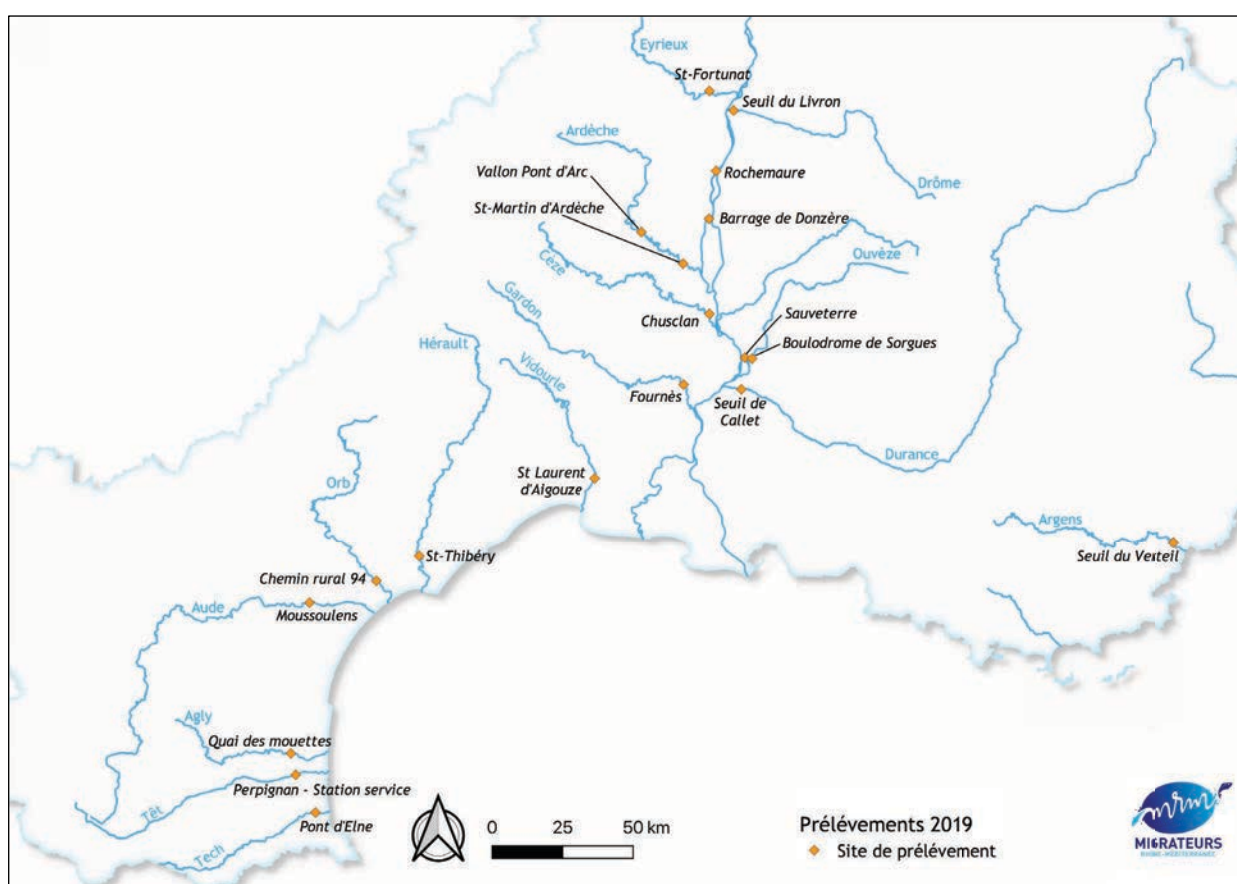


Figure 1 : Site de prélèvements des échantillons d'eau

Le protocole d'échantillonnage a été fourni par le prestataire engagé pour cette étude : Scimabio Interface (Annexe 2).

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 permettront 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 la période de résidence de l'alose dans le cours d'eau.

Les individus capturés sont conservés au congélateur. Les alosons capturés en 2019 ont été transmis au CNRS en septembre 2020. Les résultats d'analyses d'otolithes devraient nous parvenir en 2021.

Il est nécessaire d'analyser 5 alosons par cours d'eau pour disposer de résultats exploitables statistiquement. L'objectif fixé est par conséquent de 8 alosons par site. Il est en effet 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 de l'endommager ou l'égarer. Capturer 8 individus permet donc de se couvrir en cas de désagrément.

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.

MRM s'était par le passé déjà prêtée à la captures d'alosons en échantillonnant les puits anti-vortex des usines de Caderousse et Sauveterre en 1993 et 1994 à l'aide de carrelots (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 choisie est la 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

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 3).

Les valeurs de conductivité mesurées lors des prélèvements d'eau montrent une importante hétérogénéité (Annexe 3). 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 2 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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.

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

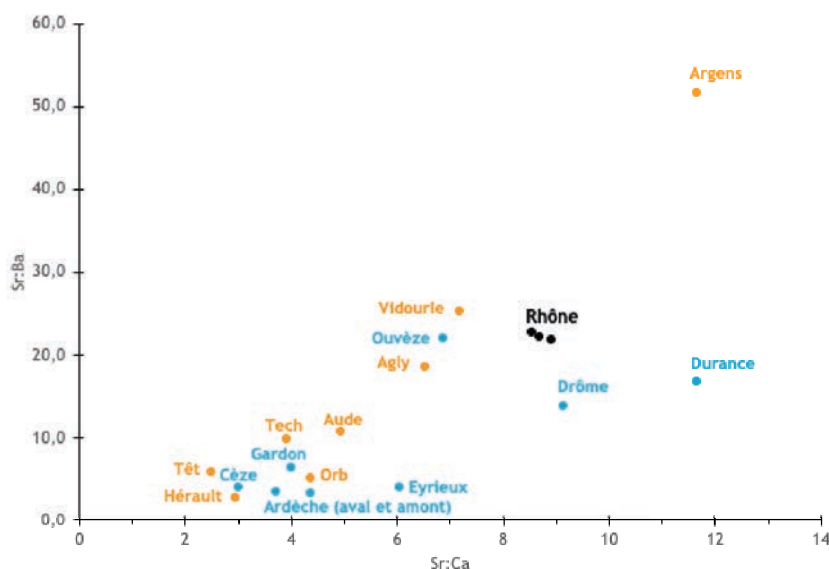
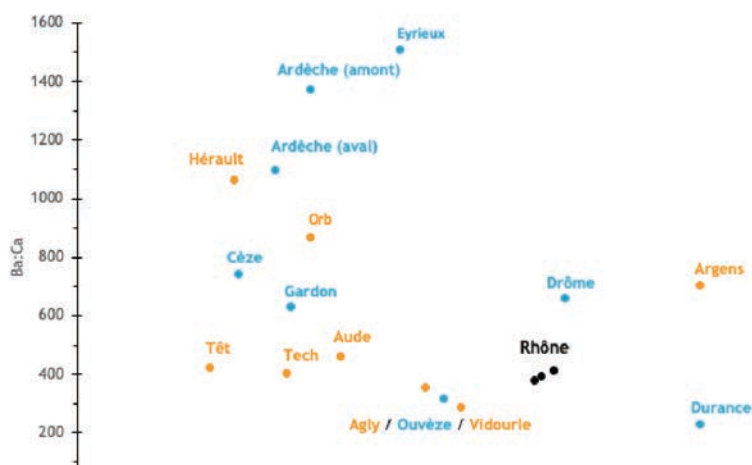


Figure 2 : Ratio élémentaire Strontium : Barium et Strontium : Calcium des 19 échantillons d'eau prélevés sur le bassin Rhône Méditerranée

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.



sur le bassin Rhône Méditerranée

Les résultats des analyses élémentaires sont basés sur les éléments strontium, baryum et calcium. Les résultats bruts sont disponibles en annexe 3.

Les figures 2 et 3 permettent de visualiser les ratios élémentaires Sr : Ca (Strontium sur Calcium), Ba : Ca (Barium sur Calcium) et Sr : Ba (Strontium sur Baryum) des 19 prélèvements d'eau réalisés sur le bassin méditerranéen.

La figure 2 montre des résultats très proches 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, seuls 4 cours d'eau voient leur ratio 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.

L'analyse couplée des deux figures montre que des groupements ressortent, comme les trois prélèvements effectués sur le Rhône (Sauveterre / Donzère et Rochemaure), l'ensemble Agly, Ouvèze et Vidourle ainsi que l'Hérault, Ardèche.

A première vue, certains cours d'eau se distinguent comme la Durance, la Drôme, l'Eyrieux et l'Argens.

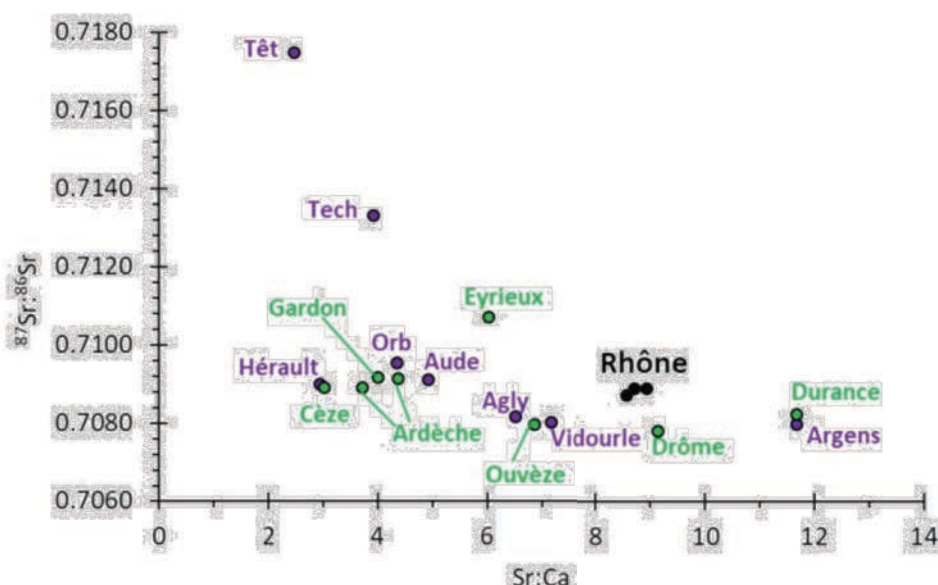
Il n'y a pas de différenciation nette entre certains affluents du Rhône et certains fleuves côtiers comme nous aurions pu le penser. L'Ouvèze présente par exemple des signatures microchimiques très proches du Vidourle et de l'Agly, sans cohérence géographique ni hydrographique entre ces trois cours d'eau.

² PPM : Partie Par Million, 10⁻⁶

Les autres concentrations d'éléments (K, Mg, Na, Mn) sont présentées en annexe 3. 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



s en vert ; les 8

jeuves cotiers en violet ; les 3 stations du Rhône en noir.

Les valeurs du rapport isotopique du strontium permettent de différencier nettement la Têt et le Tech ainsi que l'Eyrieux (Figure 4). 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'aloses prévue en 2021 permettra 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 5). L'axe 3 représente moins de 10 % de la variance totale (Figure 6).

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'elles ne semblent pas former de groupe (figure 3, 4, 5 et 6).

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.

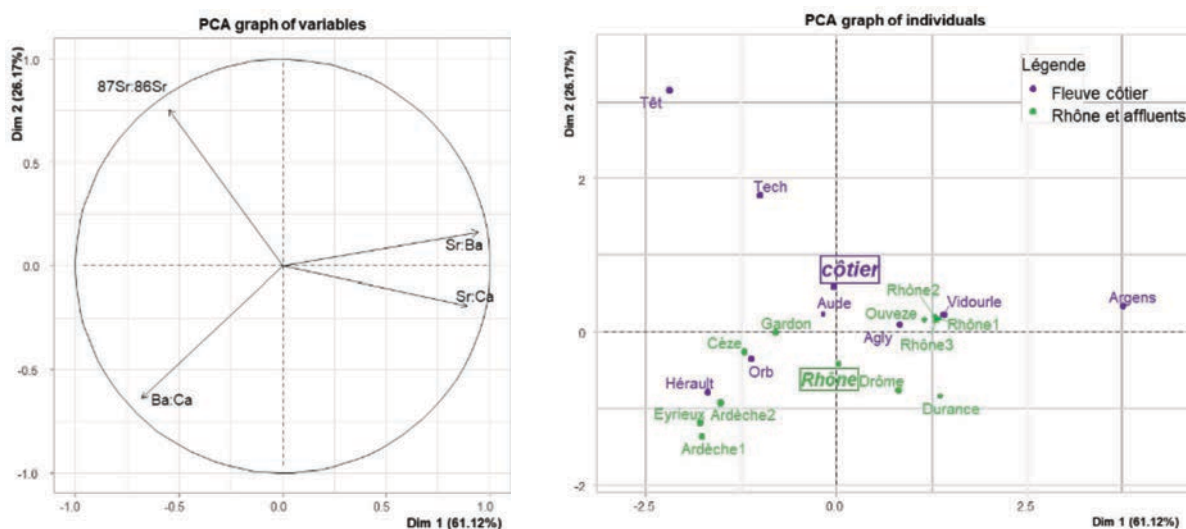


Figure 5 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 2) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopiques du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») sont figurés en encadré.

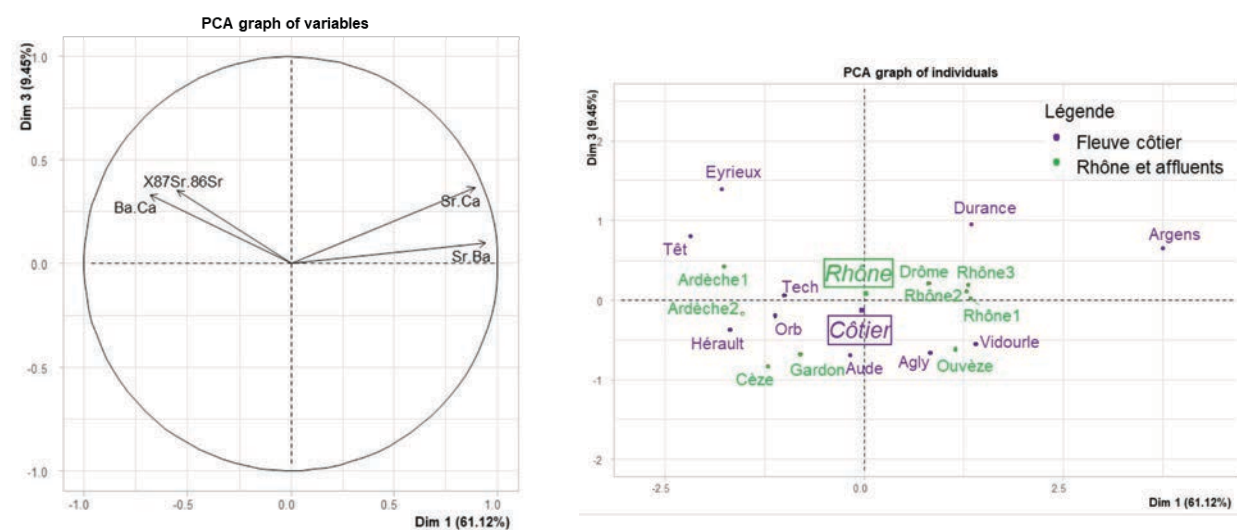


Figure 6 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 3) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopique du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») 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.

Les cours d'eau restants peuvent être regroupés selon leur ressemblance chimique :

- 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 est probable que ces regroupements évoluent au cours des prochaines étapes de l'étude.**

En effet, ces prélèvements d'eau reflètent 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 et permettra de :

- S'assurer que les otolithes s'imprègnent bien de la signature géochimique du cours d'eau
- 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. 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 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) (*Annexe 5*).

5 masses d'eau avaient été caractérisées grâce à la dispersion graphique (*Figure 7*) : 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 7*).

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.

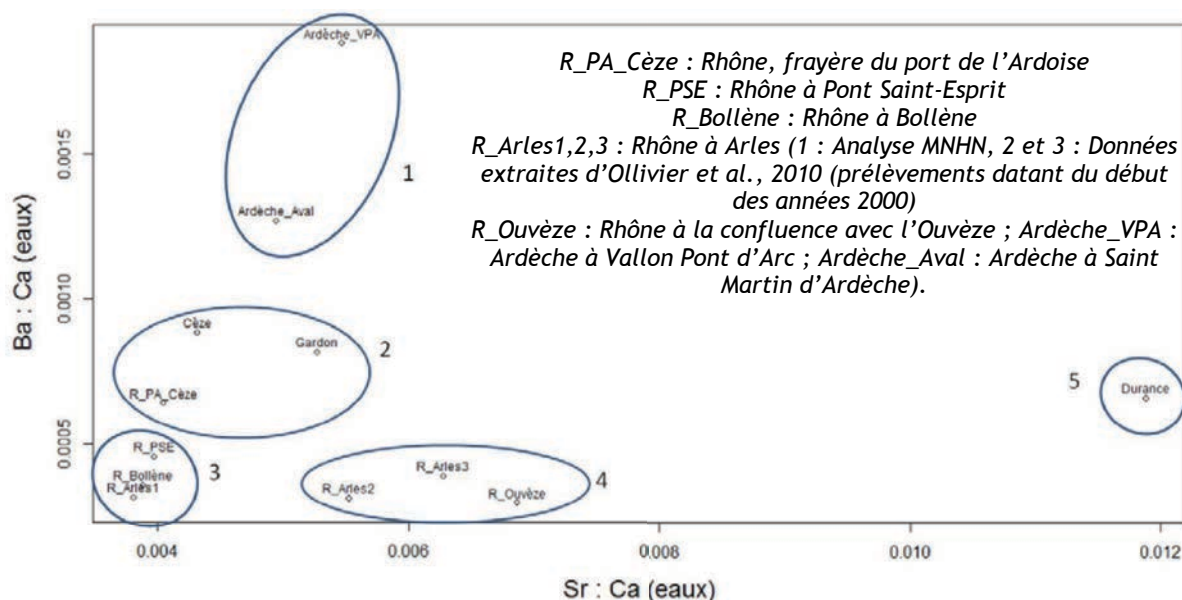


Figure 7 : Dispersion graphique des eaux en fonction des valeurs analysées en Sr : Ca et Ba : Ca - Extrait de Sola 2014

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

Parmi 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) (*Tableau 1*). 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, ce qui pourrait par exemple être le cas des prélèvements effectués sur le Vieux Rhône de Donzère.

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	Sr:Ca (10^{-3}) 2013-2014	Sr:Ca (10^{-3}) 2019	Ba:Ca (10^{-6}) 2013-2014	Ba:Ca (10^{-6}) 2019	Sr:Ba (10^{-9}) 2013-2014	Sr:Ba (10^{-9}) 2019
Rhône - Vieux Rhône de Donzère	0,7088	0,7089	6	8,7	389,1	392	15,4	22,2
Ardèche amont	0,709	0,7091	5,1	4,4	1758,4	1370	2,9	3,2
Ardèche aval	0,7092	0,7089	4,2	3,7	1765,6	1096	2,4	3,4
Gardon	0,709	0,7092	4,6	4,1	786,3	626	5,8	6,4
Durance aval	0,709	0,7082	11,2	11,7	616,8	702	18,2	16,6
Cèze	0,7095	0,7089	3,3	3	962,5	739	3,5	4,1
Eyrieux	0,7117	0,7107	6,3	6	3057,2	1506	2,1	4
Drôme	0,7079	0,7078	9,7	9,2	590,5	659	16,4	13,9
Ouvèze	0,708	0,708	9,5	6,9	402,7	312	23,6	22,1

3.2 Captures d'alosons

En 2019, 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 68 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 8*). 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 & Rivoallan., 2020).

En 2020, 7 journées de pêches ont été menées du 18 août au 3 septembre sur le Vidourle, l'Aude (2 journées), le Gardon, l'Ardèche et la Cèze (2 journées). La recherche d'alosons 2020 s'est révélée infructueuse.

La difficulté majeure de cette campagne de terrain reste de « trouver » les alosons. En effet, ils se déplacent en banc, ce qui nécessite de se placer au bon endroit, mais également au bon moment. En revanche, une fois le banc d'alosons repéré, la capture des 8 individus peut prendre peu de temps (environ 1 heure sur la Durance et l'Hérault).

L'absence d'alosons dans les échantillonnages 2020 peut s'expliquer par plusieurs facteurs : premièrement, la méthode choisie reste une technique de pêche et le succès n'est pas garanti. Sur le Gardon, la Cèze et l'Ardèche, une crue survenue à la mi-juin a pu provoquer un départ anticipé des juvéniles où avoir un impact sur la survie des pontes / juvéniles.

Sur la Cèze, 3 alosons ont été contactés par la fédération de pêche du Gard le 17 juillet lors d'une pêche de sauvetage réalisée dans la passe à poisson de Codolet (confluence Cèze / Rhône). Malheureusement un manque de communication entre les structures n'a pas permis de récupérer ces alosons. Ces captures montrent l'échantillonnage mené sur la Cèze a été probablement tardif (24 et 27 août 2020).

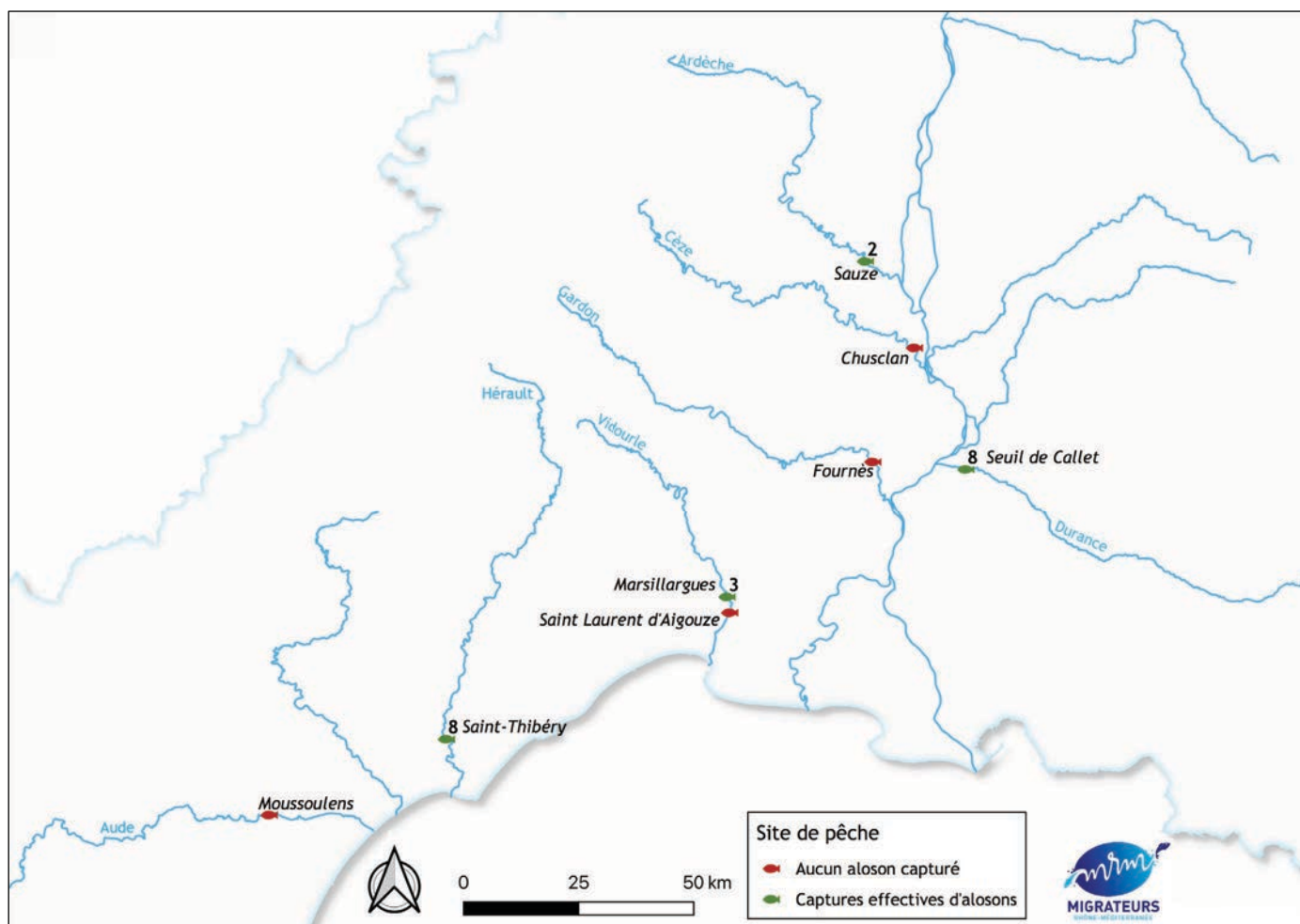


Figure 8 : Sites de pêche échantillonnés & résultats des captures 2019

En 2021, il est prévu de tenter de nouveau de capturer des alosons afin de compléter l'analyse des données. A ce jour, il semble nécessaire d'obtenir des alosons des cours d'eau où la reproduction est effective et qui sont proches d'un point de vue microchimique :

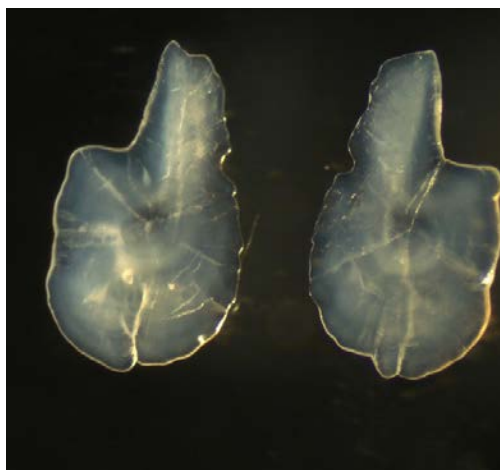
- Ardèche, Hérault
- Cèze, Orb, Gardon, Aude
- Vidourle, Ouvèze, Agly.

Il est donc souhaitable de compléter les échantillonnages sur l'Ardèche et également obtenir des alosons sur la Cèze, le Gardon et l'Aude. Ainsi, des investigations sur ces quatre cours d'eau seront de nouveau privilégiées.

Il faudra privilégier les veines d'eau courante, ce qui correspond aux habitats recherchés par les ablettes (Brusclé & Quignard., 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 2021.

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 ?

Les otolithes des juvéniles capturés en 2019 ont été extraits le 19 octobre 2020 (Figure 9). Les résultats ne sont pas disponibles pour le moment : le laboratoire chargé de leur étude a pris beaucoup de retard suite à la fermeture de ses locaux au printemps dernier en conséquence du premier confinement. Les résultats d'analyses seront disponibles dans le courant du premier semestre 2021.



Durance © Scimabio-Interface

4 Perspectives

4.1 Analyses d'eau

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. A titre d'exemple, une étude réalisée sur les affluents du bassin lémanique 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 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 consiste à analyser les otolithes des alosons 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.

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 en 2019.

Le fait d'avoir obtenu la bonne quantité d'alosons 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 ?

L'année 2020 n'a pas permis de capturer d'autres individus malgré la prise en compte du retour d'expérience 2019 (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...).

La capture d'alosons sur l'ensemble des cours d'eau appartenant à l'étude est impossible (colonisation de l'alse de certains secteurs rares ou sporadiques, zones de reproduction inconnues etc...). C'est pourquoi il semble aujourd'hui nécessaire de se concentrer sur les cours d'eau dont la reproduction est effective et qui apparaissent dans des groupes suite aux analyses d'eau.

Il faudrait donc en 2021 parvenir à compléter l'échantillonnage sur l'Ardèche, ainsi qu'obtenir des alosons sur la Cèze, le Gardon et l'Aude. Compléter l'échantillonnage sur le Vidourle se révélerait également pertinent pour la poursuite de l'étude.

Pour l'année 2021, il faudra veiller à ce que les partenaires soient informés de la nécessité de capture de quelques alosons au cas où au cours de leur travaux ils en contactent. Ainsi c'est une chance supplémentaire d'atteindre nos objectifs de captures. Il sera donc nécessaire de maximiser les échanges avec les partenaires.

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'alse 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.

Une étude récente (Baumann et al., 2020) montre qu'en condition expérimentale, entre 30 et 60 jours, des températures de 26°C et 28°C ont un impact négatif sur la survie des alosons. Cela pourrait être limitant sur nos cours d'eau méditerranéens. L'obtention de données de thermie sur les cours d'eau méditerranéens semblent à ce jour indispensable.

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 & Camptonrd, 2019).

Conclusion

L'objectif 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.

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. Les premiers résultats d'analyse des alosons capturés en 2019 seront disponibles dans le courant de l'année 2021.

La méthode de la pêche au coup a été choisie pour la capture des alosons, elle s'est révélée efficace en 2019 et a permis la capture d'alosons sur l'Ardèche, le Vidourle, l'Hérault et la Durance. Malheureusement, aucun aloson n'a pu être capturé en 2020. L'opération sera reconduite en 2021 avec une vigilance accrue sur le déroulement de la reproduction des aloses sur les cours d'eau à échantillonner. L'objectif étant de cibler au plus juste la période de présence des juvéniles à proximité des frayères.

La capture d'alosons sur l'ensemble des cours d'eau appartenant à l'étude est impossible (colonisation de l'alose de certains secteurs rares ou sporadiques, zones de reproduction inconnues etc...). C'est pourquoi il semble aujourd'hui nécessaire de se concentrer sur les cours d'eau où la reproduction est effective et qui constituent des groupes dans les analyses d'eau : l'Ardèche, la Cèze, le Gardon et l'Aude.

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

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 bassin 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.

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

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.

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

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 Cosmochimicas (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 e 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., Colleu 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

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 : Site de prélèvements des échantillons d'eau	9
Figure 2 : Ratio élémentaire Strontium : Barium et Strontium : Calcium des 19 échantillons d'eau prélevés sur le bassin Rhône Méditerranée.....	11
Figure 3 : Ratio élémentaire Strontium : Calcium et Barium : Calcium des 19 échantillons d'eau prélevés sur le bassin Rhône Méditerranée.....	12
Figure 4 : 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.	13
Figure 5 : 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.	14
Figure 6 : 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	14
Figure 7 : Dispersion graphique des eaux en fonction des valeurs analysées en Sr : Ca et Ba : Ca - Extrait de Sola 2014.....	16
Figure 8 : Sites de pêche échantillonnés & résultats des captures 2019	18
Figure 9 : Paire d'otolithes d'un aloson capturé sur la Durance © Scimabio-Interface	19
Figure 10 : Schéma des principaux accès à la lagune du Vaccarès par les canaux d'irrigation (Poizat et al., 1999)	Erreur ! Signet non défini.

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeurs des ratios élémentaires et isotopiques des sites prélevés en 2013/2014 et 2019.....	17
---	----

Table des annexes

Annexe 1 : L'otolithe, véritable boîte noire de l'histoire de vie d'un individu.....	26
Annexe 2 : Protocole d'échantillonnage des prélèvements d'eau	28
Annexe 3 : Résultats des prélèvements d'eau effectués en 2013 et 2014 sur le bassin Rhodanien	29
Annexe 4 : Caractéristiques des sites de prélèvements d'eau 2019	30
Annexe 5 : Résultats des analyses des échantillons d'eau 2019	31
Annexe 6 : Résultats des phases terrain de capture d'Alosons	32

Annexes

Annexe 1 : L'otolithe, véritable boîte noire de l'histoire de vie d'un individu

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 bulles d'aloses, depuis 2011, le nombre d'observation est stable à une valeur qui n'en est pas moins médiocre.

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 10*) 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 sacculus, 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*.**

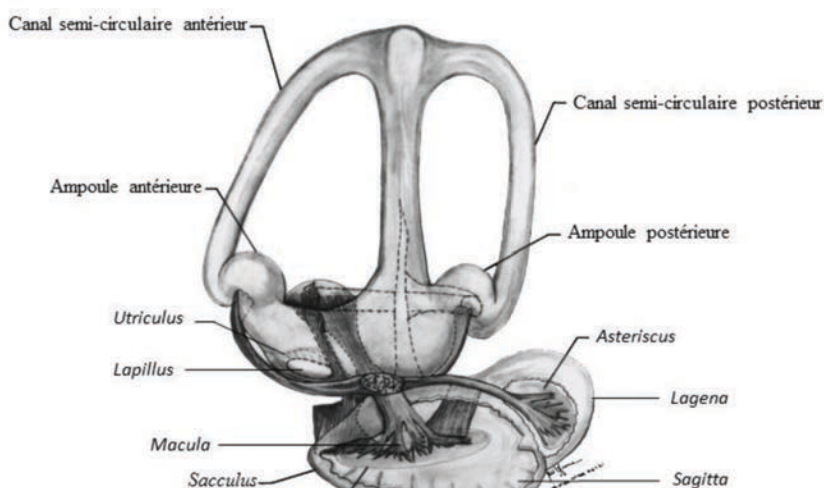


Figure 10 : Illustration de l'oreille interne du hareng (*Clupea harengus*) - Redessiné d'après Retzius 1881 - Mille 2015

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.



(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

Annexe 2 : Protocole d'échantillonnage des prélèvements d'eau

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. La Conductivité et le pH dépendent de 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.

Annexe 3 : Caractéristiques des sites de prélèvements d'eau 2019

Code	Cours d'eau	Station	Date	XL93	YL93	T°C	Conductivité	pH	Observations
RH19-01juillet	Gardon	Fournes	15/07/2019	826246.23	6315561.37	21.4	0.59	8.06	
RH19-02juillet	Ceze	Chusclan	15/07/2019	834629.43	6340048.43	24.5	0.45	8.03	
RH19-03juillet	Ardeche	Saint Martin	15/07/2019	825208.47	6356850.22	23.9	0.25	8.23	
RH19-04juillet	Ardeche	Vallon Pont d'Arc	15/07/2019	810714.98	6367369.06	23.4	0.2	8.78	Beaucoup de canoe
RH19-05juillet	Vieux Rhone de Donzere	Barrage de Donzere	15/07/2019	833820.19	6372341.22	22.4	0.38	8.14	
RH19-06juillet	Vieux Rhone de Rochemaure	Rochemaure	15/07/2019	835873.94	6388689.25	22.7	0.43	8.1	
RH19-07juillet	Eyrieux	Saint Fortunat	15/07/2019	833002.21	6415811.19	24.9	0.11	9.3	
RH19-08juillet	Drome	Aval Livron	15/07/2019	841365.63	6409381.95	24.3	0.36	8.32	
RH19-09juillet	Rhone	Sauveterre	16/07/2019	847171.11	6325314.35	22.9	0.38	8.21	
RH19-10juillet	Ouveze	Boulodrome de Sorgues	16/07/2019	849637.86	6325023.19	19.3	0.65	8.02	
RH19-11juillet	Durance	Callet	16/07/2019	846209.91	6314381.38	18.8	0.6	7.51	
RH19-12juillet	Tech	Pont d'Elne	17/07/2019	698854.43	6165169.77	23.4	0.28	7.81	Algues +++
RH19-13juillet	Tet	Perpignan - station service	17/07/2019	691867.8	6178457.5	23.6	0.26	7.94	
RH19-14juillet	Agly	Quai des mouettes	17/07/2019	690163.87	6185993.45	27.7	0.62	7.22	Eau bleue + algues
RH19-15juillet	Aude	Moussoulens	17/07/2019	696765.81	6238548.27	25.7	0.52	8.3	
RH19-16juillet	Orb	Chemin rural 94	17/07/2019	720127.79	6246229.64	27.7	0.48	7.78	
RH19-17juillet	Herault	Saint-Thibery	17/07/2019	735060.04	6254940.42	27.4	0.48	7.78	
RH19-18juillet	Argens	Seuil du Verteil	18/07/2019	998309.65	6266489.87	24.7	2.1	7.9	
RH19-19juillet	Vidourle	Saint-Laurent d'Aigouze	14/08/2019	795999.97	6282672.62	24.1	0.43	7.81	Algues +++ / Mortalité piscicole

Annexe 4 : 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 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	87Sr:86Sr
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	0,7175
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	0,709
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	0,7089
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	0,7089
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	0,7133
Gardon	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	0,7092
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	0,7095
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	0,7091
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	0,7091
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	0,7107
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	0,7081
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	0,708
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	0,708
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	0,7087
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	0,7089
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	0,7089
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	0,7078
Argens	Seuil de Vertheil	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	0,7079
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	0,7082

Annexe 6 : Résultats des phases 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

Cours d'eau	Station	Date	XL93	YL93	Nombre de captures
Vidourle	Marsillargues	18/08/2020	795373.05	6286056.7	0
Aude	Moussoulens	19/08/2020 & 03/09/2020	696765.81	6238548.27	0
Ardèche	Sauze	25/08/2020	823827.75	6358103.77	0
Cèze	Chusclan	24/08/2020 & 27/08/2020	834629.43	6340048.43	0
Gardon	Fournès	20/08/2020	826246.23	6315561.37	0

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

