



HAL
open science

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

Alexandre Richard, Gilles Bareille

► **To cite this version:**

Alexandre Richard, Gilles Bareille. 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. Scimabio Interface; IPREM UMR5254 CNRS/UPPA - Institut des Sciences analytiques et de physico-chimie pour l’Environnement et les matériaux. 2020. hal-04449462

HAL Id: hal-04449462

<https://univ-pau.hal.science/hal-04449462>

Submitted on 9 Feb 2024

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

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



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

Richard A. et Bareille G., 2020

Association Migrateurs Rhône-Méditerranée



Février 2020



En collaboration avec :



Auteurs :

Alexandre RICHARD¹

Gilles BAREILLE²

1. SCIMABIO Interface, 5 rue des quatre vents, les cyclades B, Thonon-les-Bains, France

2. UMR IPREM CNRS/UPPA, 2 avenue du Président Angot, 64053 Pau, France

Citation : Richard A. et Bareille G., 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. 16p.

SOMMAIRE

1	Contexte et problématique	4
2	Principe de la géochimie des otolithes.....	4
3	Objectifs	5
4	Prélèvements et analyses.....	5
4.1	Sites d'échantillonnage	5
4.2	Collecte et préparation des échantillons d'eau	6
4.3	Analyses.....	7
5	RESULTATS.....	7
5.1	Mesures physico-chimiques	7
5.2	Analyses élémentaires.....	8
5.3	Analyses isotopiques	10
5.4	Analyse combinée des différents marqueurs – essai de discrimination.....	11
6	DISCUSSION	12
7	Références.....	13
	ANNEXES.....	14

Liste des figures

Figure 1 : localisation des points de prélèvement sur les cours d'eau échantillonnés.....	6
Figure 2 : étapes du protocole de prélèvement d'eau.....	7
Figure 3 : Représentation des valeurs de conductivité mesurées sur les différents sites.....	8
Figure 4 : Ratios élémentaires Sr :Ca (Strontium sur Calcium) et Ba :Ca (Baryum sur Calcium) 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.	9
Figure 5 : Ratios élémentaires Sr :Ca (Strontium sur Calcium) et Sr :Ba (Strontium sur Baryum) 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.	9
Figure 6 : Ratio élémentaire Sr :Ca (Strontium sur Calcium) et rapport isotopique du strontium $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$ 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.	10
Figure 7 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 2) 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.....	11

1 Contexte et problématique

L'alose de Méditerranée (*Alosa agone*) est un clupéidé marin endémique de la Méditerranée française, caractérisé par sa migration anadrome des adultes au printemps (mars-juin) vers les zones de reproduction, puis par une dévalaison des juvéniles (alosos) entre juin et octobre. Les principaux sites de reproduction connus se situent dans les affluents du Rhône, pour lesquels la connectivité depuis la Méditerranée a été restaurée, ainsi que dans certains fleuves côtiers, notamment à l'Ouest du delta du Rhône. La reproduction de l'alose est suivie par le biais de comptages nocturnes des « bulls », certains sites étant suivis depuis plus de 20 ans (Mutel et Campton, 2019). Toutefois, les informations collectées ne permettent pas de déterminer l'efficacité de la reproduction naturelle, les captures d'alosos au moment de la dévalaison étant aléatoires. Les apports respectifs des différents affluents / fleuves côtiers en termes de contribution au stock d'aloses restent ainsi méconnus.

La microchimie des otolithes a été utilisée avec succès pour retracer l'origine natale des salmonidés anadromes (par ex. Martin, 2013). Plusieurs travaux ont également été réalisés sur les aloses et ont montré la pertinence de cet outil pour étudier leur origine natale (Tomas et al., 2005 ; Walther et al., 2008 ; Nachón et al. 2019). Sous réserve d'une différenciation géochimique suffisante des cours d'eau étudiés, l'outil peut permettre d'identifier les cours d'eau qui contribuent majoritairement au recrutement naturel de l'espèce. Cette information est essentielle pour mieux comprendre la dynamique des populations d'alose et *in fine* pouvoir axer la gestion sur la conservation des affluents frayères les plus importants et prioriser les futures actions de restauration.

2 Principe de la géochimie des otolithes

La détermination de l'origine natale (affluents spécifiques, piscicultures) des poissons est possible aujourd'hui grâce à l'analyse d'éléments traces et/ou de rapports isotopiques contenus dans des pièces calcifiées (otolithes *sagittae*) constitutive de l'oreille interne du poisson. Ces pièces sont formées par le dépôt journalier de couches de carbonate de calcium/protéines tout au long de la vie du poisson. Des éléments chimiques tels que le Strontium (Sr), le baryum (Ba), le calcium (Ca) et certains isotopes du Strontium (^{87}Sr , ^{86}Sr) sont incorporés chaque jour de la vie du poisson dans ces couches journalières. Les ratios de certains de ces éléments (Sr:Ca, Ba:Ca, $^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr) ont la propriété d'être incorporés dans l'otolithe en proportion avec le milieu de vie (Elsdon and Gillanders, 2004). Ils sont donc susceptibles de renseigner sur les milieux occupés par le poisson à différents stades de son développement, notamment sur le milieu d'origine (rivières ou lac d'origine, piscicultures) sous réserve de l'existence de compositions géochimiques contrastées entre les différents milieux fréquentés.

Cette approche a été récemment testée sur le saumon du bassin de l'Adour (Thèse Martin J., 2013; Martin et al., 2013a, b) où elle a permis de déterminer pour des saumons adultes revenus se reproduire, l'origine géographique de développement au stade juvénile (rivière) mais aussi leur origine natale anadrome ou d'élevage (pisciculture de Cauterets dans les Hautes Pyrénées). Plus récemment, cette approche a été utilisée avec succès sur les truites lacustres des grands lacs alpins, de manière à déterminer les contributions des principaux affluents frayères (Richard et al., 2019).

La microchimie des otolithes présente donc un fort potentiel pour les poissons migrateurs potamotoques, notamment pour l’alose de Méditerranée, sous réserve qu’il existe suffisamment de contrastes entre les cours d’eau dans lesquels la reproduction naturelle est susceptible de s’opérer. L’isotopie du strontium ($^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr) est un des indicateurs parmi les plus intéressants car 1) il peut présenter des variations assez marquées d’un bassin-versant à un autre, ceci en relation étroite avec la diversité géologique et l’âge des roches des bassins-versants et 2) il n’existe pas de fractionnement biologique entre les eaux et les otolithes pour ce rapport, ce qui se traduit par un enregistrement direct du rapport d’une rivière à l’otolithe. Un couplage de l’isotopie du Sr ($^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr) et de rapports élémentaires (Sr:Ca ; Ba:Ca ; Sr :Ba) est généralement nécessaire pour obtenir une discrimination plus poussée des différents milieux de vie comme cela a pu être montré pour le saumon Atlantique (Martin et al., 2013) et la truite lacustre des grands lacs alpins (Richard et al., 2019).

3 Objectifs

Les objectifs de cette étude préliminaire sont les suivants :

1. Analyser et comparer la composition chimique élémentaire et isotopique des eaux des principaux cours d’eaux dans lesquels la reproduction naturelle de l’alose est avérée ou fortement suspectée (fleuves côtiers, Rhône et affluents du Rhône) ;
2. Evaluer le potentiel de la chimie pour discriminer ces cours d’eau, ou *a minima* différencier certains groupes de cours d’eau.

4 Prélèvements et analyses

4.1 Sites d’échantillonnage

Au total 19 prélèvements d’eau ont été réalisés sur 16 cours d’eau (Figure 1). Les cours d’eau comprennent le Rhône et ses 7 principaux affluents en aval de Valence (du nord au sud : Eyrieux, Drôme, Ardèche, Cèze, Ouvèze, Durance, Gardon), ainsi que 8 fleuves côtiers (d’ouest en est : Tech, Têt, Agly, Aude, Orb, Hérault, Vidourle, Argens). Le Rhône a été prélevé sur 3 sites : Vieux-Rhône de Donzère, Vieux-Rhône de Rochemaure et Sauveterre (bras d’Avignon). L’Ardèche a été échantillonnée en aval et en amont des gorges : Vallon Pont d’Arc (point amont) et Saint-Martin-d’Ardèche (point aval).

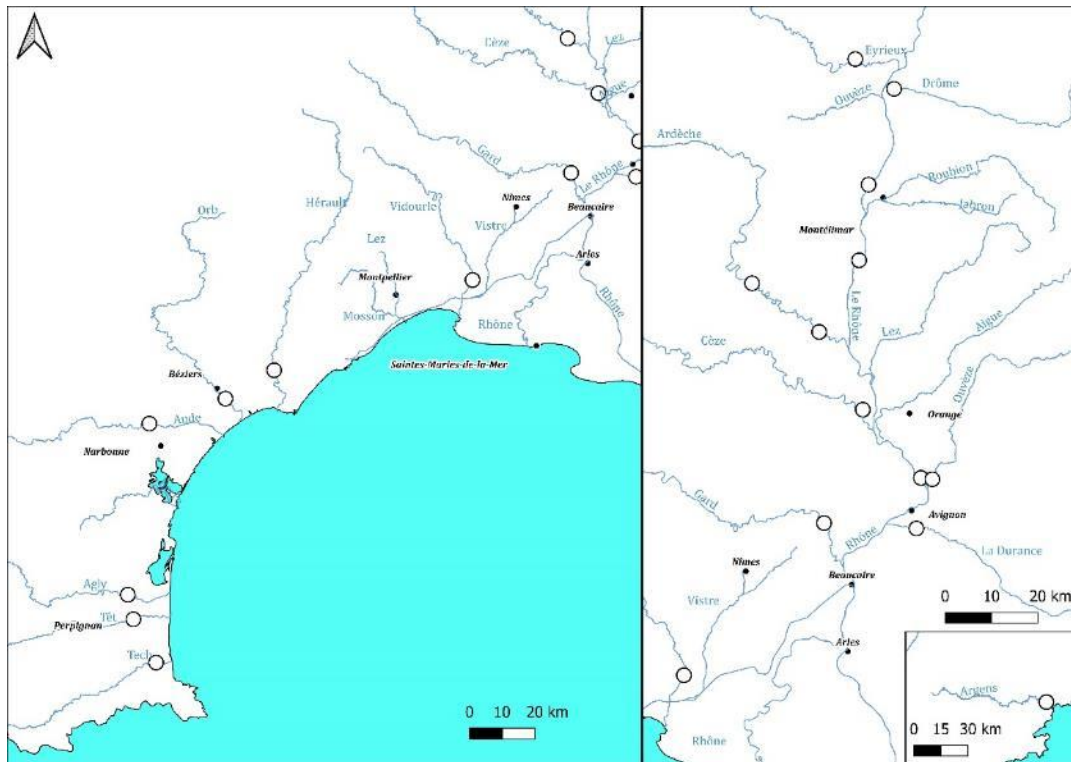


Figure 1 : localisation des points de prélèvement sur les cours d'eau échantillonnés

4.2 Collecte et préparation des échantillons d'eau

Les prélèvements ont été réalisés par MRM du 15/07 au 14/08/2019 selon le protocole fourni par Scimabio et G. Bareille (IPREM), en respectant les étapes suivantes (figure 2) :

- Lavage préalable de l'ensemble du matériel utilisé avec de l'acide nitrique à 10%, afin d'éviter une éventuelle contamination des échantillons (en laboratoire) ;
- Prélèvement de 125 mL d'eau à l'aide d'un flacon préalablement rincé 2 fois avec de l'eau filtrée du site de prélèvement ;
- Filtration de l'eau grâce à un filtre PVDF Whatmann de porosité 0.45µm fixé sur une seringue en polypropylène ;
- Acidification de l'échantillon avec 2mL d'acide nitrique (J.T. Baker, Ultrex) ;
- Stockage des échantillons d'eau au frais et à l'abri de la lumière jusqu'aux analyses.



Figure 2 : étapes du protocole de prélèvement d'eau

Parallèlement aux prélèvements, la température, le pH et la conductivité ont été mesurés. Il ressort en effet que la conductivité est un paramètre particulièrement informatif, car hautement lié à la composition en ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) de l'eau, et donc à l'origine géologique.

4.3 Analyses

La composition chimique des eaux a été étudiée au laboratoire de l'IPREM (UPPA) sous la responsabilité de Gilles Bareille, au niveau de 7 éléments chimiques : calcium (Ca), magnésium (Mg), manganèse (Mn), strontium (Sr), potassium (K), baryum (Ba), sodium (Na), mesurés en quantités supérieures aux limites de détection. Le rapport des isotopes du Sr ($^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$) a également été réalisé.

La composition en éléments chimiques des eaux a été déterminée par spectrométrie d'émission atomique à plasma induit (ICP-AES). La quantification des concentrations a été réalisée par calibration externe à partir de standards en solution. L'analyse des isotopes du Sr a nécessité une étape préalable de séparation matricielle sur colonne via une résine échangeuse de cations pour éliminer les éléments chimiques interférents (cations majeurs et Rb). L'analyse du $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$ a été réalisée par spectrométrie de masse multicollection à plasma induit (MC-ICP-MS).

Les analyses statistiques ont été réalisées par Analyse en Composantes Principales à l'aide du logiciel R (package FactoMineR ; Lê *et al.*, 2008).

5 RESULTATS

5.1 Mesures physico-chimiques

Les résultats des mesures physico-chimiques de l'eau sont détaillés en annexe 1.

Il ressort une forte hétérogénéité dans les valeurs de conductivité mesurées lors des prélèvements d'eau (Figure 3). L'Eyrieux se distingue par sa faible concentration en ions majeurs (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 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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.

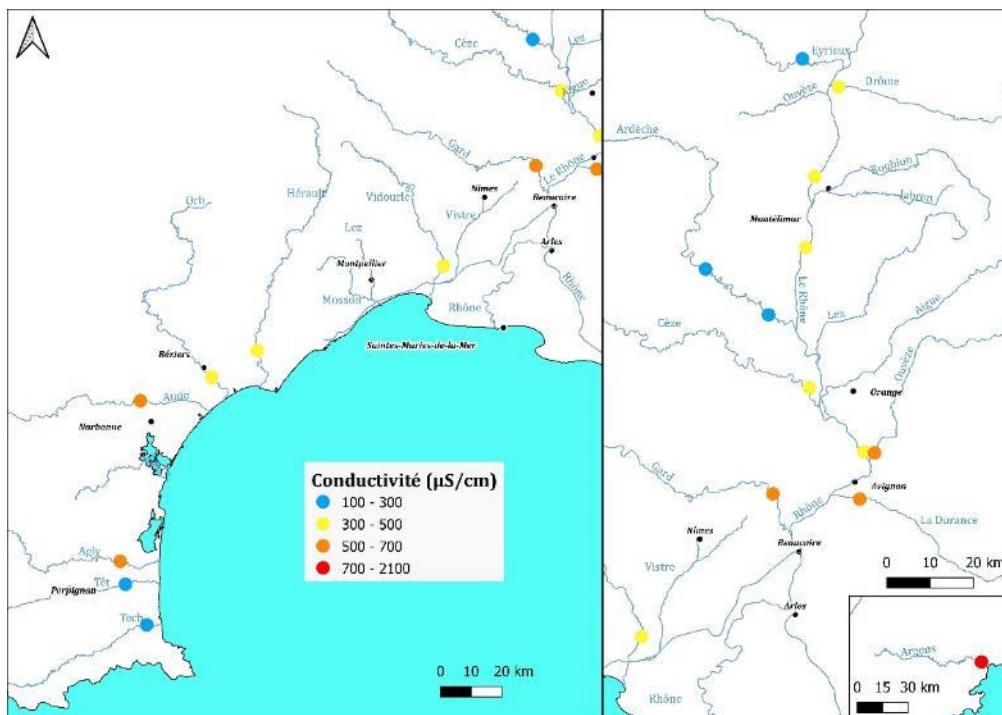


Figure 3 : Représentation des valeurs de conductivité mesurées sur les différents sites

5.2 Analyses élémentaires

Les résultats complets sont présentés en annexe 2. Les figures 4 et 5 présentent les 3 principaux ratios élémentaires généralement utilisés pour discriminer les origines natales.

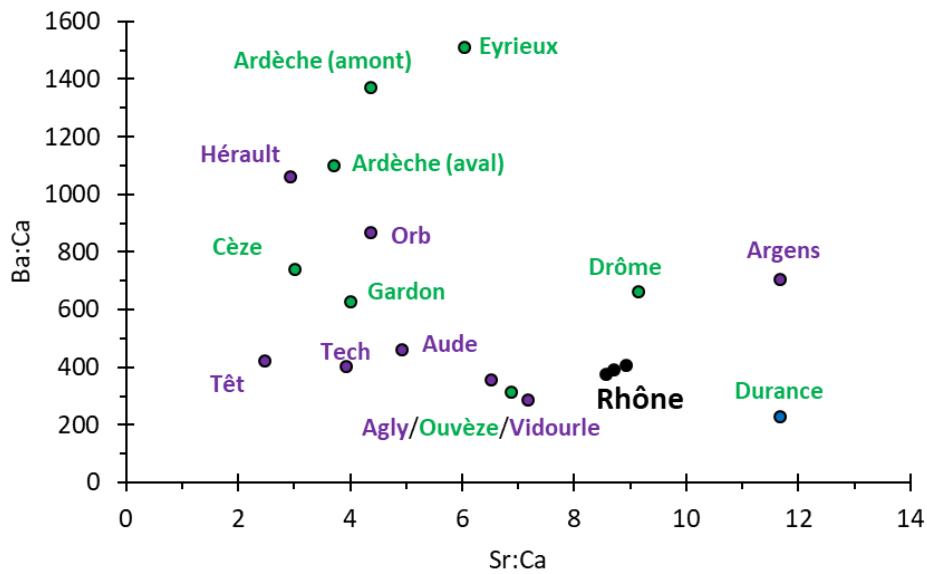


Figure 4 : Ratios élémentaires Sr :Ca (Strontium sur Calcium) et Ba :Ca (Baryum sur Calcium) des 19 prélèvements réalisés sur le bassin méditerranéen. Les 7 affluents du Rhône sont figurés en vert ; les 8 fleuves côtiers en violet ; les 3 stations du Rhône en noir.

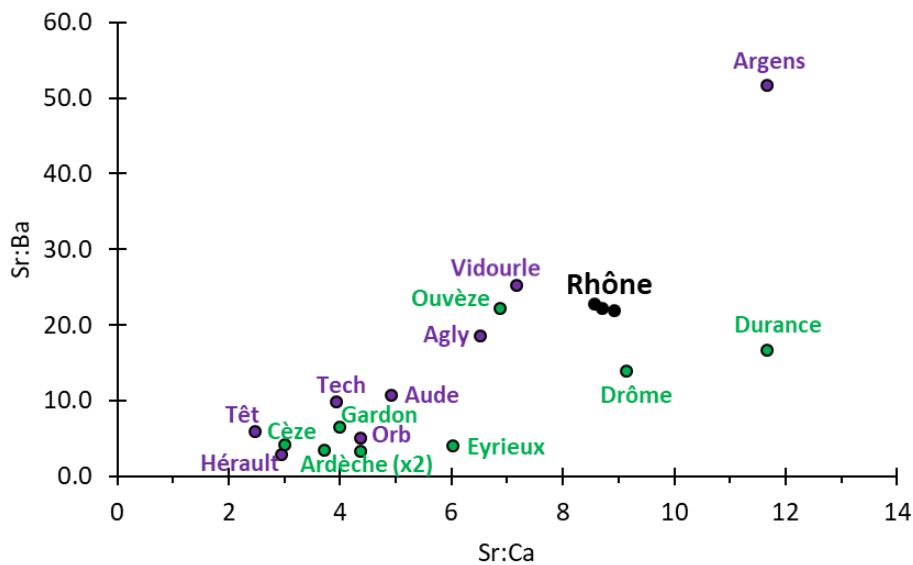


Figure 5 : Ratios élémentaires Sr :Ca (Strontium sur Calcium) et Sr :Ba (Strontium sur Baryum) des 19 prélèvements réalisés sur le bassin méditerranéen. Les 7 affluents du Rhône sont figurés en vert ; les 8 fleuves côtiers en violet ; les 3 stations du Rhône en noir.

Les ratios élémentaires Sr :Ca et Ba :Ca montrent une hétérogénéité importante entre les cours d'eau prélevés. En effet, les ratios Ba :Ca s'échelonnent de 227 à 1506 ppm, avec en particulier 4 cours d'eau situés 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. L’Ouvèze présente par exemple des signatures chimiques très proches du Vidourle et de l’Agly, sans cohérence géographique ni hydrographique entre ces trois cours d’eau.

Les autres concentrations d’éléments (K, Mg, Na, Mn) sont présentés dans l’annexe 2. 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.

5.3 Analyses isotopiques

Les résultats sont présentés sur la figure 7 et le détail en annexe 2.

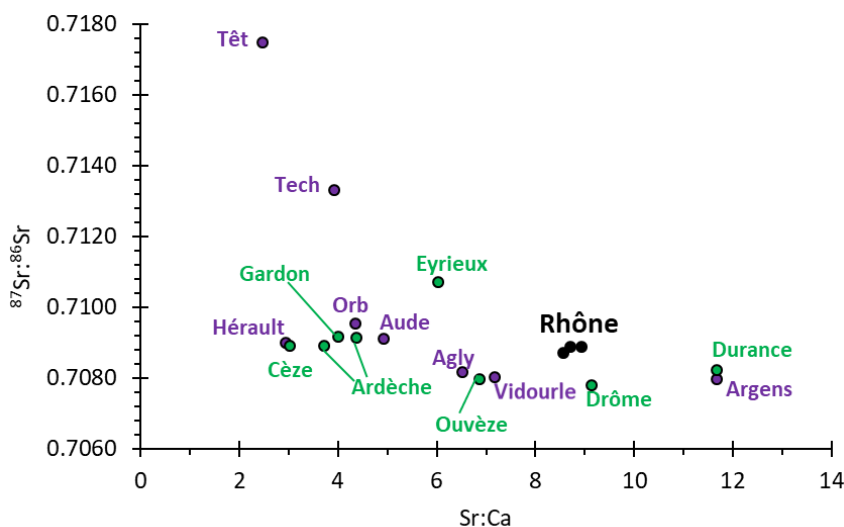


Figure 6 : Ratio élémentaire Sr :Ca (Strontium sur Calcium) et rapport isotopique du strontium $^{87}\text{Sr}:^{86}\text{Sr}$ des 19 prélèvements réalisés sur le bassin méditerranéen. Les 7 affluents du Rhône sont figurés en vert ; les 8 fleuves côtiers en violet ; les 3 stations du Rhône en noir.

Les valeurs du rapport isotopique du strontium permettent de différencier nettement deux fleuves côtiers (la Têt et le Tech) ainsi qu’un affluent du Rhône, l’Eyrieux. Les 16 autres valeurs sont davantage groupées (entre 0.7078 et 0.7095). Pour autant, bien que certaines valeurs semblent proches, la stabilité ou au contraire la variabilité du rapport isotopique dans le temps seront déterminants pour caractériser son pouvoir discriminant.

5.4 Analyse combinée des différents marqueurs – essai de discrimination

Les résultats sont analysés par ACP centrée-réduite. Il ressort que 87% de la variabilité totale des 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 davantage le gradient des ratios $^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$ et Ba :Ca.

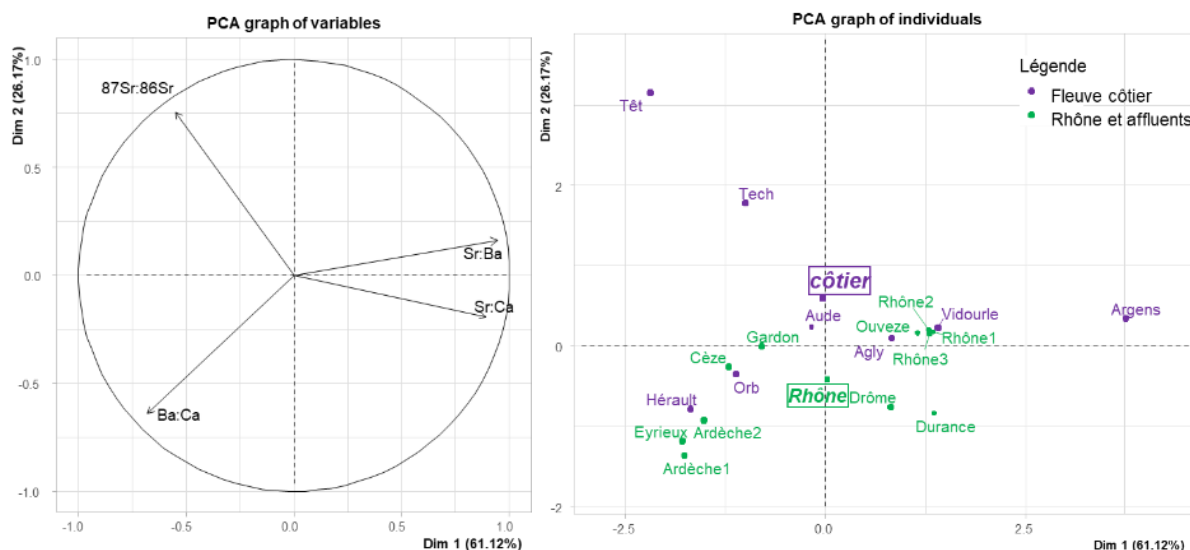


Figure 7 : Représentation en ACP centrée réduite (axes 1 et 2) des 4 marqueurs (3 ratios élémentaires et le rapport isotopique du strontium ; figure de gauche) et des 19 sites de prélèvements (figure de droite). Les barycentres des fleuves côtiers (noté « côtier ») et du Rhône + affluents (noté « Rhône ») sont figurés en encadré.

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.

La distribution des 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, à condition que les signatures soient stables dans le temps.

6 DISCUSSION

Ces premiers résultats indiquent la possibilité de différencier des rivières ou groupes de rivières, à partir de la chimie de l'eau, en couplant les différents marqueurs Sr:Ca, Sr :Ba, Ba:Ca et $^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr . Plusieurs cours d'eau se différencient très nettement (Têt, Tech, Argens, Durance, Drôme), ce qui laisse présager la possibilité de déterminer avec un faible taux d'erreur l'origine natale des juvéniles (aloses) provenant de ceux-ci. D'autres cours d'eau présentent des signatures chimiques plus proches (ex : Ardèche-Hérault), ce qui ne permet pas de conclure au vu de ces analyses sur la possibilité de discrimination future des juvéniles.

En effet, **les résultats présentés 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. Certains cours d'eau se caractérisent par une relative stabilité des signatures chimiques au cours de l'année, alors que d'autres présentent une forte saisonnalité, ce qui a notamment été observé sur les affluents du bassin lémanique (Richard et al., 2019) et sur le Rhône (Bouquet et al., soumis). Dans la première étude, certains cours d'eau peu différenciés sur la base des analyses chimiques de l'eau ont été plus nettement discriminés à partir des otolithes de juvéniles suggérant que des prélèvements ponctuels d'eau pouvaient ne pas représenter une image fidèle de la signature chimique d'une période de temps donnée plus longue. À l'inverse, d'autres cours d'eau présentaient des fluctuations saisonnières importantes de certains marqueurs chimiques, notamment pendant la période de développement des juvéniles en rivière, pouvant rendre moins évidente la discrimination des juvéniles. Dans la deuxième étude (thèse en cours), une très grande variabilité saisonnière a été observée au niveau du Rhône mais pas sur son affluent l'Ardèche, ce qui a conduit à l'identification de périodes au cours de l'année pendant lesquelles le Rhône n'était pas différenciable de son affluent l'Ardèche.

Des analyses réalisées par l'IPREM en 2013-2014 ont montré une variabilité temporelle importante des ratios élémentaires sur le Rhône notamment sur le Sr :Ba et le Ba :Ca (voir Annexe 3). En comparant la période 2013-2014 et l'année 2019, certains cours d'eau présentent des valeurs analogues entre les différents ratios (ex : Durance, Drôme, Cèze) ; d'autres montrent des différences plus importantes entre les ratios élémentaires (Eyrieux, Ouvèze). Les ratios isotopiques quant à eux présentent des valeurs stables sur tous les cours d'eau entre ces deux périodes d'échantillonnage.

La prochaine étape devra consister à analyser des otolithes d'aloses des différents cours d'eau, pour vérifier que les différences observées sur l'eau sont réelles et qu'il n'y a pas de variabilité saisonnière trop marquée. Il s'agira notamment de mettre l'accent sur la possibilité de discrimination du Rhône avec l'Agly, l'Ouvèze et le Vidourle, et en particulier le Vidourle où sont observées des frayères actives et a priori productives. De la même manière, la possibilité de discrimination de l'Ardèche et de l'Hérault sera évaluée.

7 Références

Bouquet B., Tabouret H., Gibert P., Bareille G., Carrel G., Argillier C., Morat F., 2020. Spawning areas and movement patterns in the early life history of *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) from otolith microchemistry. Soumis mars 2020.

Elsdon, T. S. & Gillanders, B. M. 2004. Fish otolith chemistry influenced by exposure to multiple environmental variables. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 313: 269-284

Lê, S., Josse, J. & Husson, F. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 25(1). pp. 1-18.

Martin J., 2013. Développement de la microchimie élémentaire (Sr, Ba) et isotopique ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) des otolithes et des écailles de salmonidés des gaves pyrénéens : évaluation du potentiel pour un appui à la gestion piscicole. Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) – soutenue le 25 janvier 2013.

Martin J., G. Bareille, S. Berail, F. Daverat, C. Pécheyran, N. Bru, H. Tabouret, O.F.X. Donard, 2013. Spatial and temporal variations in otolith chemistry and relationships with water chemistry: a useful tool to distinguish Atlantic salmon parr from different natal streams. *Journal of Fish Biology* 82: 1556–1581.

Martin J., G. Bareille, S. Berail, F. Daverat, C. Pécheyran, N. Bru, E. Beall, F. Gueraud, F. Lange, D. Barracou, O.F.X. Donard, 2013. Persistence of a southern Atlantic salmon population: diversity in natal origins from otolith elemental and Sr isotopic signatures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70: 1-16

Mutel, M. & Campton, P. 2019. Suivi quantitatif des frayères d'aloses du bassin rhodanien - Campagne d'études 2018. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée – 33 pages + Annexes

Nachón, D.J., Bareille, G., Drouineau, H., Tabouret, H., Taverny, C., Boisneau, C., Bérail, S., Pécheyran, C., Claverie, F. & Davera, F. 2019. 80's population-specific compositions of two related anadromous shad species during the oceanic phase determined by microchemistry of archived otoliths. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 2020, 77(1): 164-176

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

Tomas, J., Augagneur, S. & Rochard E. 2005. Discrimination of the natal origin of young-of-the-year Allis shad (*Alosa alosa*) in the Garonne-Dordogne basin (south-west France) using otolith chemistry. *Ecology of Freshwater Fish* 14(2):185 - 190

Walther, B.D, Thorrold, S.R & Olney J.E. 2008. Geochemical Signatures in Otoliths Record Natal Origins of American Shad. *Transactions of the American Fisheries Society* 137:57-69

ANNEXES

Annexe 1 : Description des stations échantillonnées et mesures physico-chimiques associées

Code	Cours d'eau	Station	Date	X193	Y193	T°C	Conductivité (µS/cm)	pH	Observations
RH19-01	juillet Gardon	Fournes	15/07/2019	826246.23	6315561.37	21.4	590	8.06	
RH19-02	juillet Cèze	Chusclan	15/07/2019	834629.43	6340048.43	24.5	450	8.03	
RH19-03	juillet Ardèche	Saint Martin	15/07/2019	825208.47	6356850.22	23.9	250	8.23	
RH19-04	juillet Ardèche	Vallon Pont d'Arc	15/07/2019	810714.98	6367369.06	23.4	200	8.78	Beaucoup de canoë
RH19-05	juillet Vieux Rhône de Donzère	Barrage de Donzère	15/07/2019	833820.19	6372341.22	22.4	380	8.14	
RH19-06	juillet Vieux Rhône de Rochemaure	Rochemaure	15/07/2019	835873.94	6388689.25	22.7	430	8.1	
RH19-07	juillet Eyrieux	Saint Fortunat	15/07/2019	833002.21	6415811.19	24.9	110	9.3	
RH19-08	juillet Drôme	Aval Livron	15/07/2019	841365.63	6409381.95	24.3	360	8.32	
RH19-09	juillet Rhône	Sauveterre	16/07/2019	847171.11	6325314.35	22.9	380	8.21	
RH19-10	juillet Ouvèze	Boulodrome de Sorgues	16/07/2019	849637.86	6325023.19	19.3	650	8.02	
RH19-11	juillet Durance	Callet	16/07/2019	846209.91	6314381.38	18.8	600	7.51	
RH19-12	juillet Tech	Pont d'Elne	17/07/2019	698854.43	6165169.77	23.4	280	7.81	Algues +++
RH19-13	juillet Têt	Perpignan - station service	17/07/2019	691867.8	6178457.5	23.6	260	7.94	
RH19-14	juillet Agly	Quai des mouettes	17/07/2019	690163.87	6185993.45	27.7	620	7.22	Eau bleue + algues
RH19-15	juillet Aude	Moussoulens	17/07/2019	696765.81	6238548.27	25.7	520	8.3	
RH19-16	juillet Orb	Chemin rural 94	17/07/2019	720127.79	6246229.64	27.7	480	7.78	
RH19-17	juillet Hérault	Saint-Thibery	17/07/2019	735060.04	6254940.42	27.4	480	7.78	
RH19-18	juillet Argens	Seuil du Verteil	18/07/2019	998309.65	6266489.87	24.7	2100	7.9	
RH19-19	juillet Vidourle	Saint-Laurent d'Aigouze	14/08/2019	795999.97	6282672.62	24.1	430	7.81	Algues +++ / Mortalite piscicole

Annexe 2 : Résultats des analyses microchimiques

N° IPREM	Date	River	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
RH19-13	17/07/2019	Têt	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
RH19-17	17/07/2019	Hérault	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	0.7090
RH19-02	15/07/2019	Cèze	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
RH19-03	15/07/2019	Ardèche	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
RH19-12	17/07/2019	Tech	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
RH19-01	15/07/2019	Gardon	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
RH19-16	17/07/2019	Orb	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
RH19-04	15/07/2019	Ardèche	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
RH19-15	17/07/2019	Aude	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
RH19-07	15/07/2019	Eyrieux	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
RH19-14	17/07/2019	Agly	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
RH19-10	16/07/2019	Ouvèze	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	0.7080
RH19-19	14/07/2019	Vidourle	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	0.7080
RH19-06	15/07/2019	Rhône	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
RH19-05	15/07/2019	Rhône	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
RH19-09	16/07/2019	Rhône	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
RH19-08	15/07/2019	Drôme	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
RH19-18	18/07/2019	Argens	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
RH19-11	16/07/2019	Durance	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 3 : Résultats des analyses microchimiques réalisées en 2013-2014 sur le bassin du Rhône
 (Source G. Bareille, IPREM UPPA/CNRS)

Rivières	Sites (commune, lieu dit)	N° Site	Date	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ 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