



# Rapport d'étude sur les populations d'ombres dans le Puy de Dôme

Rapport d'étude sur la répartition et la croissance de l'ombre ligérien dans le Puy-de-Dôme en relation avec les paramètres de l'habitat (François Desmolles, Valentin Cavoy, Lilian Bonnafoux)

Identification génétique des populations d'ombre d'Auvergne (*Thymallus ligericus*) du Puy-de-Dôme comparativement aux autres populations ligériennes (Henri PERSAT \*, David Fröhlich \*\* & Steven WEISS \*\*)



Photo Christophe Monier



# Rapport d'étude sur la répartition et la croissance de l'ombre ligérien dans le Puy-de-Dôme en relation avec les paramètres de l'habitat



Photo Christophe Monier

Travail Réalisé par :

Rédaction : Cavoy V. ; Bonnafoux L. ; Desmolles F.

## REALISATION :

Fédération du Puy-de-Dôme pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Site de Marmillat Sud

63370 LEMPDES

Tel : 04.70.92.56.29

Mail : [Accueil@peche63.com](mailto:Accueil@peche63.com)

## TRAITEMENT DES DONNEES ET REDACTION :

Valentin CAVOY - Stagiaire

Lilian BONNAFOUX – Technicien ([l.bonnafox@peche63.com](mailto:l.bonnafox@peche63.com))

François DESMOLLES – Directeur Technique ([f.desmolles@peche63.com](mailto:f.desmolles@peche63.com))

## PROSPECTIONS (Eté 2019 - 2020) :

Nouari BOULEMKHALI – Agent de développement

Lilian BONNAFOUX – Technicien

Luc BORTOLI - Responsable Développement

Valentin CAVOY – Stagiaire

François DESMOLLES – Responsable Technique – Dr Hydrobiologiste

Jean-Noël MARTIN – Agent de développement

Christophe MONIER - Technicien

## RELECTURE :

François DESMOLLES - Responsable Technique - Dr Hydrobiologiste

Lilian BONNAFOUX – Technicien

## REMERCIEMENTS :

La Fédération tient à remercier les membres des AAPPMA concernées par ces prélèvements, ainsi que C. Bayet, R. Dubusse, C. Espy, B. Fontbonne.

## CITATION :

Desmolles, F.; Cavoy, V.; Bonnafoux, L. (2020): Rapport d'étude sur la répartition et la croissance de l'ombre ligérien dans le Puy-de-Dôme en relation avec les paramètres de l'habitat. Rapport FDPPMA63. 61 p.

## MOTS CLES

Ombre commun, Croissance, Habitats

# Sommaire

---

REALISATION.....	3
Introduction.....	7
Rivières et station d'études.....	8
Rivière Allier .....	9
Rivière Alagnon .....	9
Rivière Ance du Nord.....	9
Rivière Dore.....	12
Rivière Sioule .....	15
Matériel et méthode.....	17
Pêches électriques .....	17
Etude morphologique.....	17
Analyses Physico chimiques.....	18
Prélèvements des poissons et de leurs écailles.....	19
Lecture des écailles et rétrocalculs des tailles .....	20
Choix des paramètres du modèle de Von Bertalanffy .....	23
Données utilisées dans caractérisation des stations .....	23
Résultats .....	25
Analyses de la Température .....	25
Analyses physicochimiques .....	25
Embonpoint par rivière.....	25
Croissance en longueur par cours d'eau.....	26
Alagnon .....	26
Ance du Nord.....	27
Dore.....	27
Sioule .....	28
Comparaison des courbes de croissance de tous les cours d'eau .....	29
Modèle de croissance.....	29
Description des paramètres du modèle de VBGF .....	31
Comparaison du paramètre L0 .....	32
Entre Rivières .....	32
Entre Stations .....	32
Comparaison du paramètre K.....	34
Entre Rivières .....	34
Entre Stations .....	34
Comparaison du paramètre L infini ( $L^\infty$ ) .....	35
Entre Rivières .....	35
Entre Stations .....	36
Analyse des relations croissance et caractéristiques environnementales .....	37
Influence des faciès .....	38

Influence de la granulométrie.....	39
Influence des caractéristiques du bassin versant. (Hydro) .....	40
Influence de la Physico chimie.....	41
Influence de la thermie .....	42
Analyse génétique.....	43
Bibliographie.....	45
Annexes 1 .....	46
Annexe 2 .....	51
Alagnon .....	51
Château.....	51
Stade .....	52
Alagnon Totale.....	53
Ance du Nord.....	54
Raffiny .....	54
Pontempeyrat .....	55
Ance du Nord Totale .....	56
Dore .....	57
Marsac.....	57
Job - Marat .....	58
Dore Totale.....	59
Sioule .....	60
Chateauneuf .....	60
Menat .....	61
Sioule Totale.....	62

Figure 1 : Distribution de l'ombre en Europe et en France, tirée de Persat et al. 2016 (3) .....	7
Figure 2 : Répartition de la zone de présence des ombres communs sur la rivière Allier .....	10
Figure 3 Répartition de la zone de présence de l'ombre commun sur la rivière Alagnon .....	11
Figure 4 Répartition de la zone de présence de l'ombre commun sur la rivière Alagnon .....	11
Figure 5: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la partie aval de la rivière Dore .....	12
Figure 6: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la partie amont de la rivière Dore. ....	13
Figure 7: Barrage du Chazier avant et après travaux.....	14
Figure 8: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la rivière Durolle.....	14
Figure 9: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la rivière Sioule .....	15
Figure 10: Ombre commun capturé sur la Sioule.....	16
Figure 11: Clef simplifiée des faciès d'écoulement (Malavoi, souchon 2002).....	18
Figure 12: Appareil de mesure Hach® SL1000 et Chemkey.....	19
Figure 13 : Pêche électrique sur la Sioule à Menat, 03/07/2019 (Photo Christophe Monier).....	20
Figure 14 : Ecaille d'ombre commun (Baglinière et Le Louarn 1987) .....	21
Figure 15: Principe des rétromesures, d'après Arrignon in ECOGEA 2016.....	23
Figure 16 Courbe de croissance des ombres communs sur les deux stations de l'Alagnon.....	27
Figure 17: Courbe de croissance des ombres communs sur les deux stations de l'Ance du Nord .....	27
Figure 18: Courbe de croissance des ombres communs sur les stations de la Dore .....	28
Figure 19: Courbe de croissance des ombres communs sur les deux stations de la Sioule.....	28
Figure 20: Croissance comparée sur les différentes rivières.....	29
Figure 21 : Comparaison des tailles observées et rétrocalculées - Ance du Nord à Pontempeyrat.....	30
Figure 22 : Modèle réaliste de la croissance des Ombres (ici, à Pontempeyrat) .....	30
Figure 23 : Comparatif des deux modèles pour Pontempeyrat, losanges verts pour les tailles observées ; courbe bleue du modèle réaliste ; courbe orange du modèle VBGM .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 24 : Paramètres de croissance du VBGM, les colonnes (-) correspondent aux bornes à 2.5% et les colonnes (+) correspondent aux bornes à 97.5% pour un risque total $\alpha$ de 5%, les colonnes du milieu sont donc les valeurs moyennes de chaque paramètre.....	32
Figure 25 : Evolution du paramètre L0 sur les rivières de l'étude.....	33
Figure 26 : Evolution du paramètre L0 sur les stations de l'étude (valable aussi pour les box-plots suivants, les couleurs correspondent entre stations et rivières, ex : vert = Ance et stations de l'Ance ; de plus, les stations amonts sont d'une nuance plus claire que les stations en aval).....	33
Figure 27 : Evolution du paramètre K sur les rivières de l'étude .....	34
Figure 28 : Evolution du paramètre K sur les stations de l'étude.....	35
Figure 29 : Evolution du paramètre Linf sur les rivières de l'étude .....	35
Figure 30 : Evolution du paramètre Linf sur les stations de l'étude .....	36

## Introduction



Figure 1 : Distribution de l'ombre en Europe et en France, tirée de Persat et al. 2016

Ce classement est une conséquence des activités humaines qui impactent son milieu de vie tant au niveau de la qualité des habitats que la qualité d'eau. Le réchauffement climatique constitue un potentiel changement difficile à apprécier. Les populations d'ombres communs pourraient voir leur effectif diminuer ou complètement disparaître. L'inquiétude est d'autant plus importante sur la partie Ligérienne, les linéaires colonisés sont assez réduits et Henri Persat démontrait en 2019 l'existence d'une lignée bien distincte d'ombre sur le bassin de la Loire (2) qui pourrait donc être menacée.

Cette lignée étant vraiment à part de celles originaires du reste de l'Europe et même de celles du Rhône ou du Rhin (3), elle a donc été décrite comme une nouvelle espèce sous le nom de *Thymallus ligericus*. A partir de ce moment, il est nécessaire de reconsidérer l'importance de la sauvegarde des populations d'ombre ligérien sur le territoire auvergnat. La répartition de ce patrimoine génétique étant limité à l'unique bassin de la Loire, il est raisonnable de penser que l'espèce est encore plus menacée.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude inspirée d'anciens travaux réalisés sur la truite (4). Son but est de faire un point sur la répartition et la croissance de l'ombre sur le territoire du Puy-de-Dôme et essayer de comprendre quels paramètres influents sur cette dernière afin de mieux préserver l'ombre ligérien.

L'ombre commun, *Thymallus thymallus*, est un poisson de l'Ordre des Salmoniformes, de la Famille des Salmonidae et de la sous Famille des Thymalinae. Cette espèce est assez largement présente en Europe, de l'Auvergne à l'Oural et des pays scandinaves au Piémont italien (1). Elle est donc considérée comme peu concernée par une possible extinction d'un point de vue européen et mondial par l'UICN.

La France, correspond à l'extrémité ouest de son aire de répartition. Sur le territoire national, sa présence est déjà nettement moins commune et essentiellement cantonnée à la partie Est. Les ombres se retrouve naturellement dans les Vosges, les Ardennes, la Savoie, le Dauphiné, l'Alsace, la Franche-Comté, la Haute-Vienne et enfin l'Auvergne (Fig.1). En France, l'ombre est d'ailleurs considéré comme vulnérable.

## Rivières et station d'études

---

Dans le département du Puy de Dôme les populations d'ombre communs sont assez bien répertoriés en ce qui concerne les rivières, mais le territoire de répartition de l'espèce est amené à évoluer en fonction des perturbations, des températures mais aussi de la réouverture de linéaire de cours d'eau grâce à des opérations de continuité écologique.

L'absence de connaissances précises et récentes nous a donc incité à réaliser une étude de l'ombre commun dans le département du Puy de Dôme. Plusieurs points seront abordés :

- La répartition de l'espèce en recueillant le témoignage des pêcheurs (ceci nous a permis d'aller au-delà de nos prélèvements). Mais également en mettant en place des opérations de pêches électriques afin de vérifier les fronts de colonisation. Ceci nous amène donc à proposer une carte de répartition réactualisée.
- Nous avons profité de ces pêches pour réaliser des relevés hydro-morphologiques des stations concernées.
- Nous avons prélevé des écailles des poissons capturés afin d'étudier leur croissance
- Enfin nous avons prélevé un bout de nageoire dorsale afin de réaliser une étude génétique des poissons capturés et vérifier leur appartenance à la lignée Ligérienne.

La détermination préalable des rivières concernées par la présence d'ombre commun s'est fait après avoir recherché les occurrences de cette espèce dans les pêches électriques « historiques » mais également après lecture d'anciens documents qui étaient en notre possession.

La base espèce que nous avons constituée avec le CSP puis l'ONEMA jusqu'en 2016 nous indiquait la présence de l'ombre commun sur les cours d'eau suivant :

- rivière Allier
- rivière Alagnon
- Rivière Ance du Nord
- Rivière C Ardes (1981 Pont de l'A75)
- Rivière C Pavin
- Rivière C Chambon (1971, 1975, 1985, 1986, 1989)
- Rivière Dore
- Rivière Faye (1993)
- Rivière Sioule

Toutefois, sur les trois Couzes et la Faye certains, même si un potentiel existe encore, aucune capture n'a été réalisée récemment ni par les pêcheurs à la ligne, ni en pêche électrique.

- Pour la Faye, il est vraisemblable que la présence de l'ombre commun soit liée avec l'existence de l'ancienne salmoniculture du CSP d'Augerolles qui produisait des Saumons atlantiques et des ombres communs. L'arrêt de la production a certainement entraîné la disparition progressive de la population d'ombres.
- Pour les Couzes, les captures sont très sporadiques. Seule la Couze Pavin semblait accueillir une population sur un faible linéaire circonscrit entre sa confluence avec la rivière Allier et le premier seuil infranchissable (4m) situé en pleine ville d'Issoire au barrage de l'hôpital (soit 2 km). De nombreuses pêches ont été réalisées, aucun individu n'a été capturé lors des 10 dernières années.

Nous avons donc axé notre effort de prélèvement en pêche électrique sur l'Alagnon, l'Ance du Nord, la Dore et la Sioule. Pour la rivière Allier nous n'avons pas pu accéder aux zones les plus favorables avec des conditions hydrauliques idéales. Nous avons donc effectué notre prélèvement à l'aide de poissons capturés à la ligne par des pêcheurs spécialisés sur ce poisson.

Pour ces bassins nous avons compilé les informations des pêcheurs, des AAPPMA et nos observations en pêche électrique afin de déterminer la zone de répartition connue, sur ces cartes nous avons également

situé les zones où des ombres communs ont été capturés. De nombreuses pêches ont parfois été nécessaires avant de capturer des individus, ces points n'ont pas été représentés sur les cartes.

## Rivière Allier

La zone actuelle de présence de l'ombre commun s'étend au Nord (en aval) du Pont de Longues jusqu'à la sortie du département au Sud (en amont) celle-ci se prolonge bien évidemment en Haute Loire (Fig.2). Ces limites semblent avoir peu bougées lors des dernières années. La répartition n'est pas régulière, l'Allier, dans ce secteur, alterne les zones lenticules peu favorables avec les secteurs lotiques beaucoup plus favorables. Ces faciès sont très dominants dans la partie amont de la confluence avec l'Alagnon jusqu'à la confluence avec la Couze d'Ardes, puis sont minoritaires jusqu'à Orbeil, puis redeviennent très dominant dans les gorges jusqu'à Longues.

## Rivière Alagnon

Ce cours d'eau est historiquement connu pour la présence d'ombre commun, les travaux d'Henri Persat sur l'ombre Ligérien découlent en grande partie de ce cours d'eau sur la partie Cantal et Haute Loire (Persat *et al* 2019). Il est donc particulièrement intéressant de travailler sur la partie aval située dans le Puy de Dôme et de comparer cette population avec celle de la rivière Allier.

Que ce soient les dire de pêcheurs, où nos prospections par pêches électriques récentes ou historiques les ombres communs sont présents sur l'ensemble de son linéaire dans le département du Puy de dôme (Fig.3).

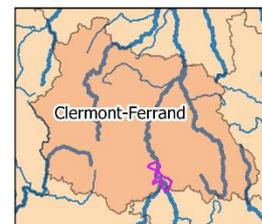
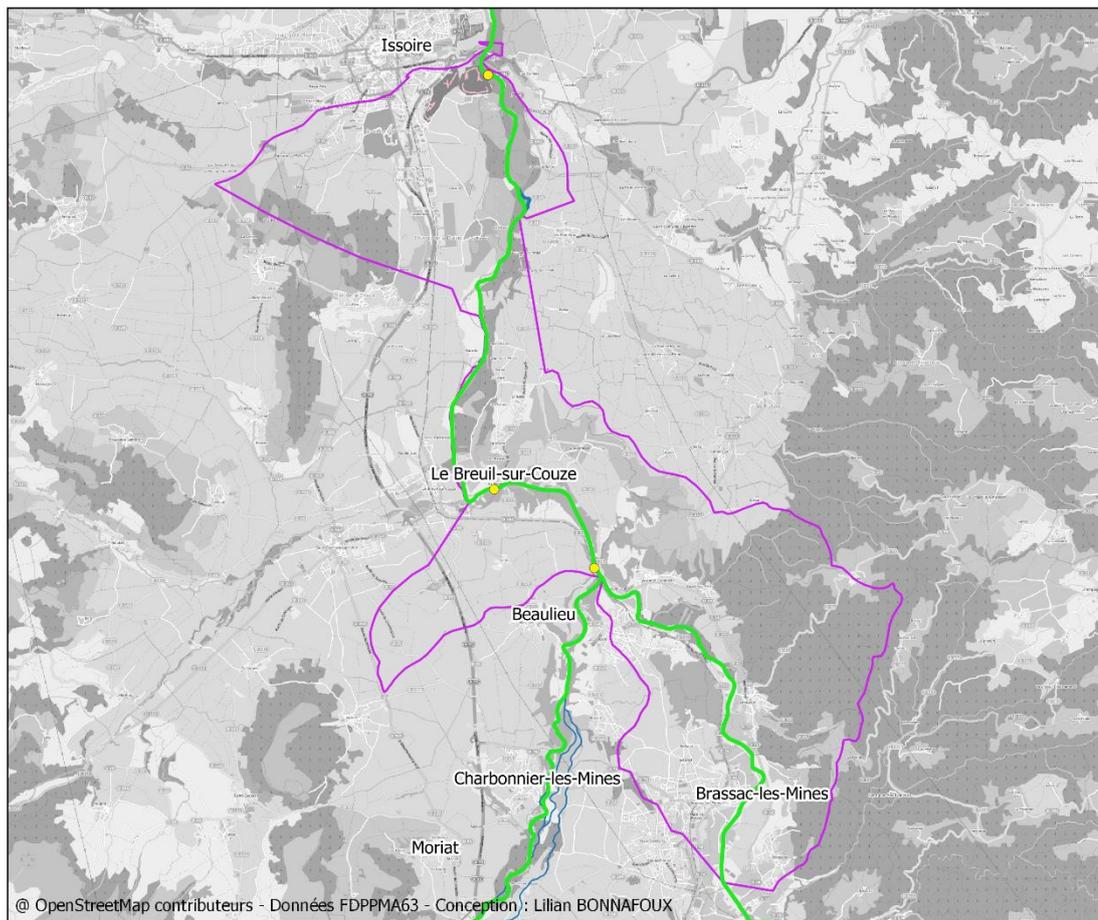
## Rivière Ance du Nord

Cette rivière est également connue pour sa population d'ombre commun. Des études génétiques ont également été réalisées sur ce cours d'eau par Persat et al (2006). Le front de colonisation amont se trouve dans le Puy de Dôme (Fig. 4), au niveau de de l'ancien barrage situé en aval de St Anthème, aucun ombre commun n'a été capturé au-delà. En amont de ce point, les débits et les habitats sont de moins en moins favorables à cette espèce, puis en amont de St Anthème la rivière devient un ruisseau avec de fortes pentes ceci correspond plus aux caractéristiques d'un cours d'eau à ombre commun.

En aval la population d'ombre commun se prolonge dans les départements de la Loire et de la Haute Loire (Persat et al 2005, Persat et al 2013). Des pêches réalisées en 2020, en aval du barrage de Passouira, n'ont pas permis de capturer d'ombres communs alors que lors de l'étude génétique 2013 des individus avaient été capturés en aval. Ces résultats demanderont à être confirmés et peuvent être seulement conjoncturels car la population d'ombre commun est connue pour se déplacer.



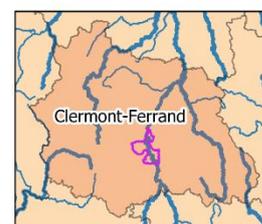
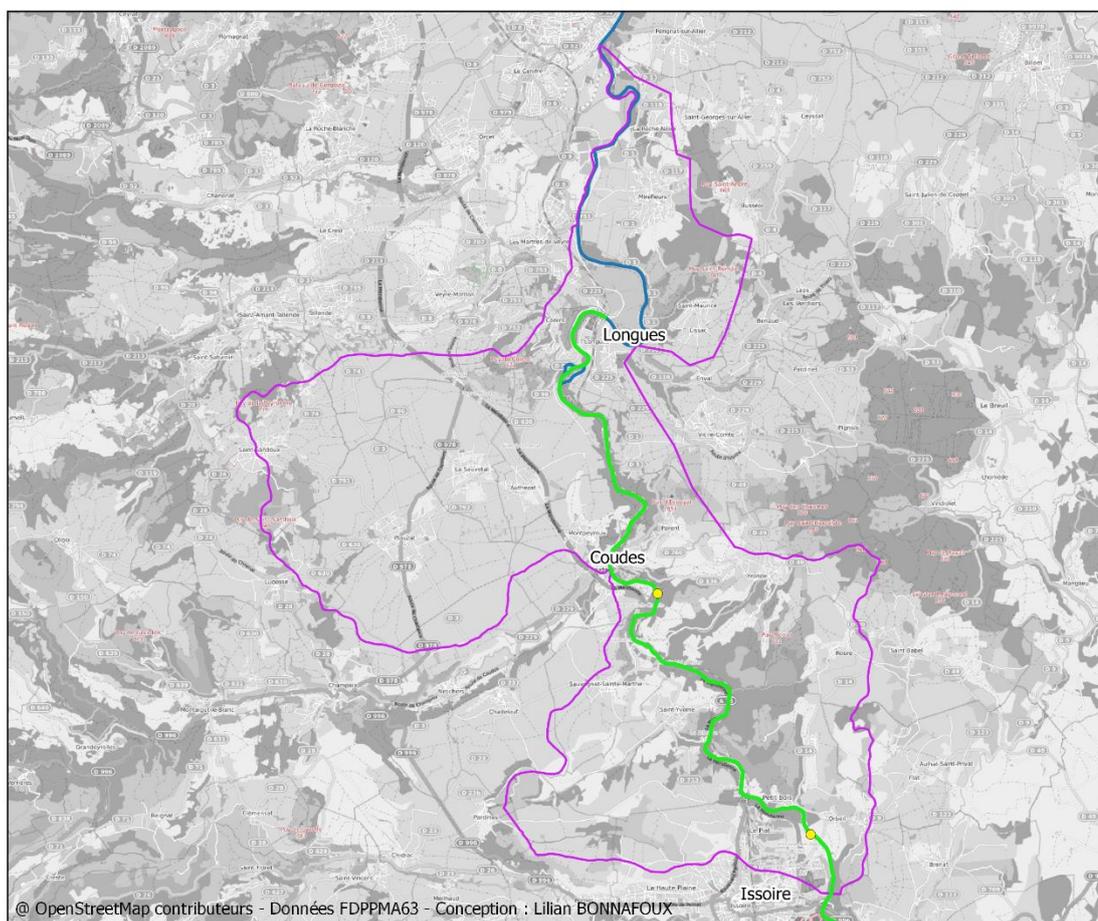
### Bassin versant Allier (amont Issoire)



- Sites de capture
- Pêche à la ligne
- Zone d'étude
- 
- Limite répartition
- Limite de répartition de l'espèce



### Bassin versant Allier (aval Issoire)



- Sites de capture
- Pêche à la ligne
- Zone d'étude
- 
- Limite répartition
- Limite de répartition de l'espèce



Figure 2 : Répartition de la zone de présence des ombres communs sur la rivière Allier

### Bassin versant Alagnon

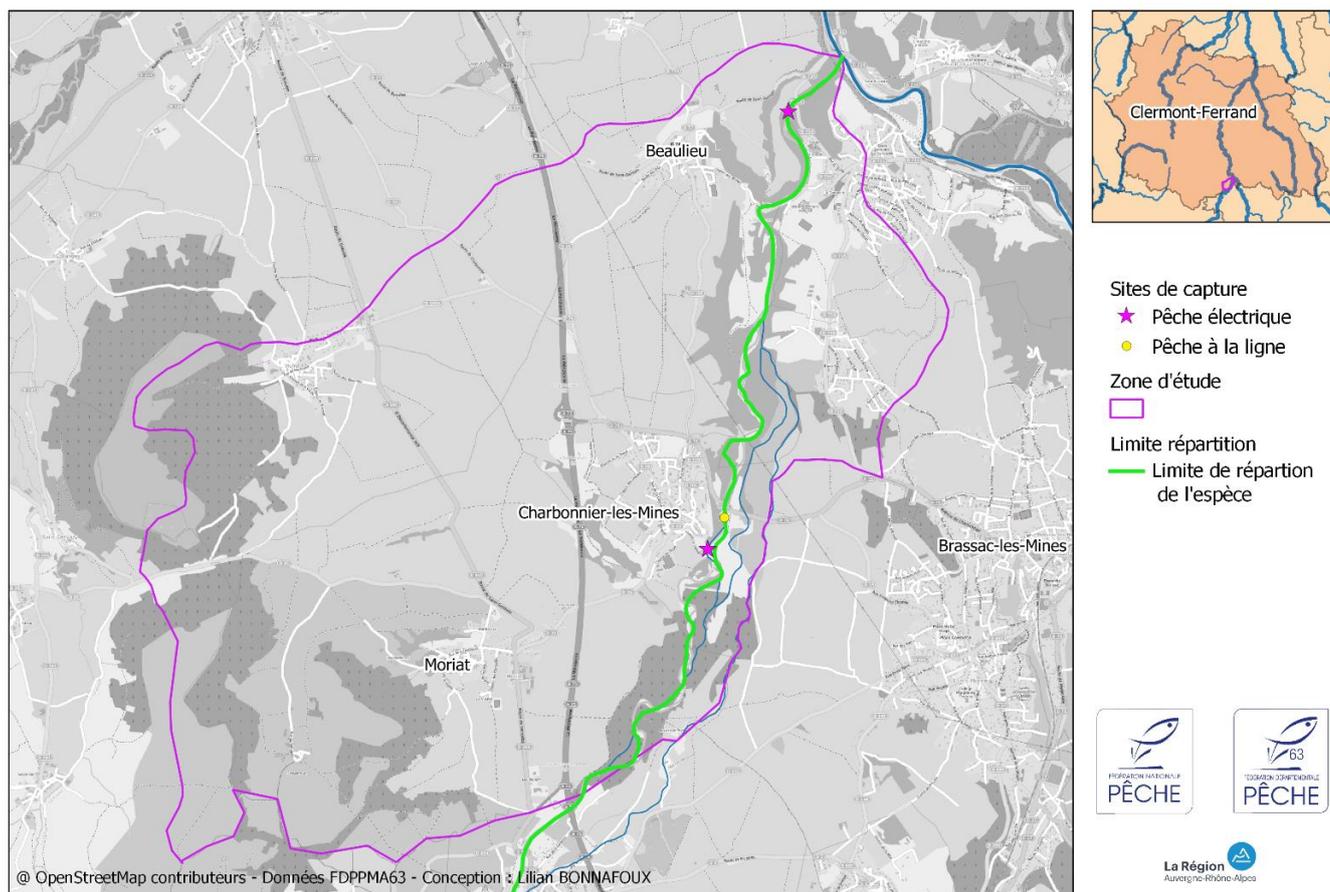


Figure 3 Répartition de la zone de présence de l'ombre commun sur la rivière Alagnon

### Bassin versant Ance du Nord

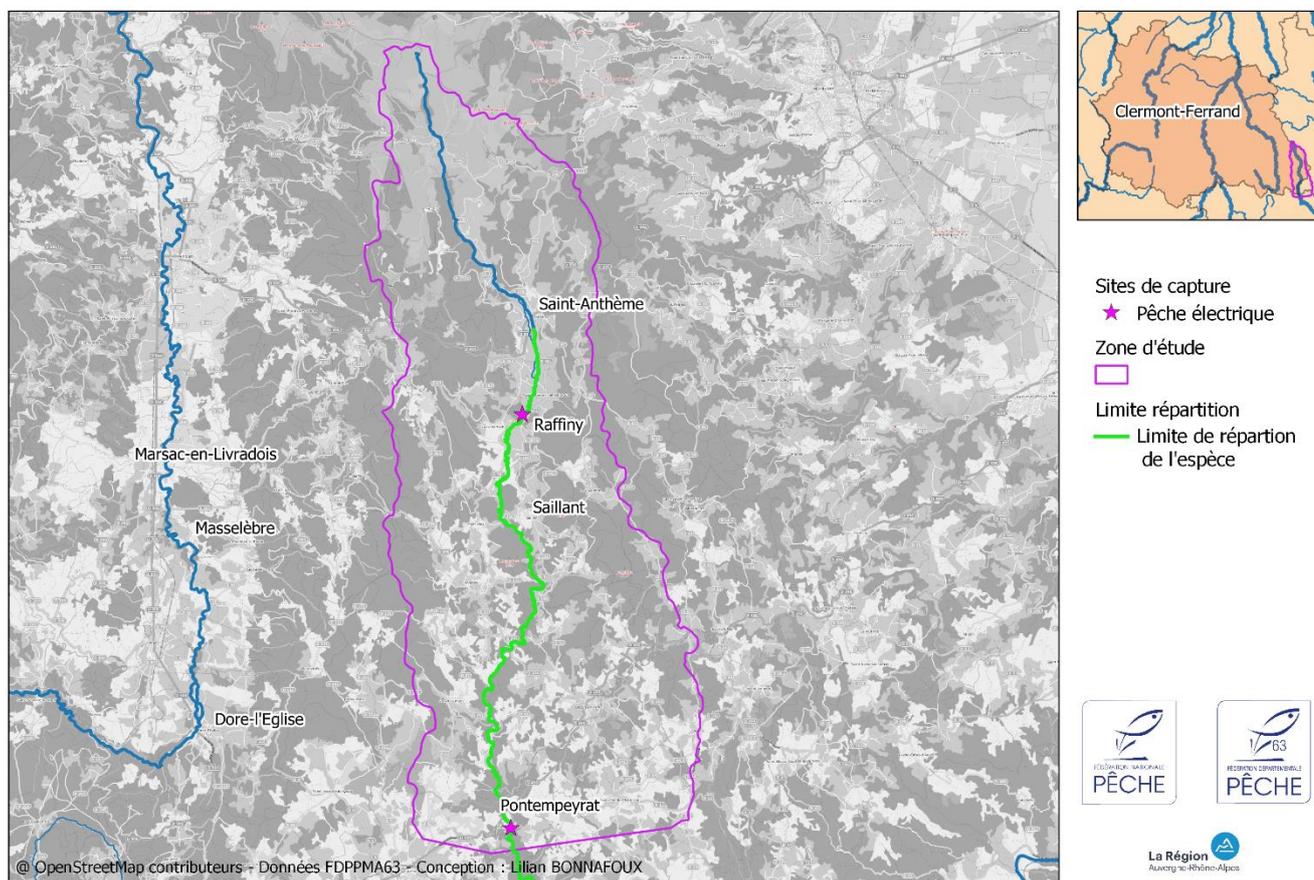


Figure 4 Répartition de la zone de présence de l'ombre commun sur la rivière Alagnon

## Rivière Dore

Ce cours d'eau est particulièrement intéressant et illustre bien la mobilité des populations d'ombres communs. Historiquement ce cours d'eau était connu pour abriter une population d'ombre commun. Les pêches électriques de 1970 à 1990 circonscrivent la population de l'aval de Courpière (moulin de l'Isle) au camping de Vertolaye (entre le barrage du Chazier et le Gour de Champy). Aucun individu n'a été recensé en amont de ce point. Ceci correspond actuellement à la répartition aval (Fig. 5). Rappelons également que cette partie aval correspond au secteur de la confluence entre la Dore et la Faye (aval Olliergues) et c'est sur cette rivière qu'était située la salmoniculture du CSP d'Augerolles.

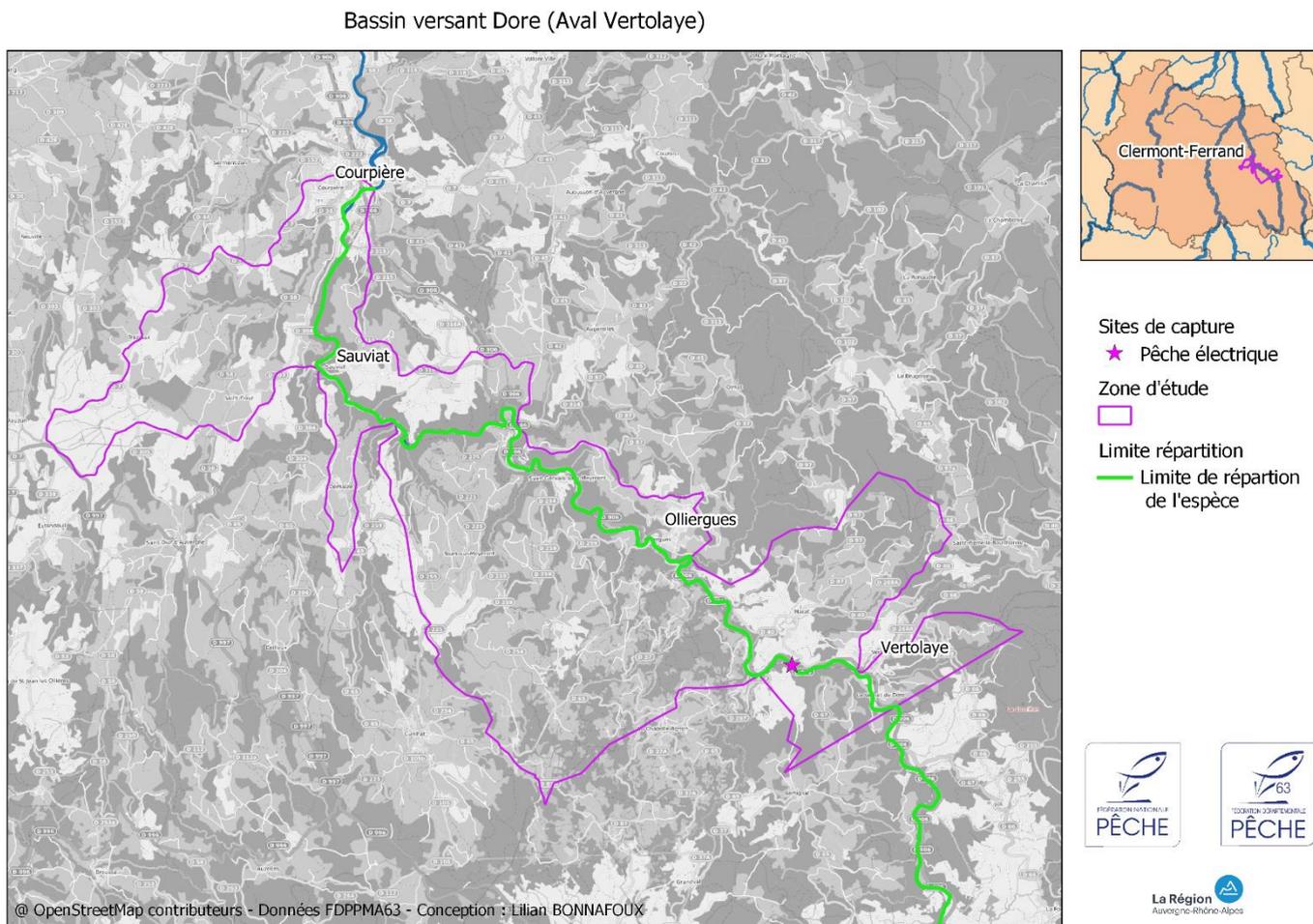


Figure 5: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la partie aval de la rivière Dore

Depuis la mise en place du premier contrat Dore (1988) et les premiers aménagements d'obstacles qui en découlent, le front de colonisation n'a cessé de progresser vers l'amont. Toutefois de nombreux ouvrages hydroélectriques (plus ou moins bien équipés) subsistent sur la partie aval de la Dore entre Thiers et Olliergues (cours d'eau classé en liste 1 et 2 et bénéficiant de l'ancien classement de cours d'eau à grands migrateurs jusqu'au Pont d'Ambert). Même si de nombreux ouvrages ont été aménagés, ceux-ci l'ont été dans l'optique Saumon, beaucoup d'obstacles étaient encore délicats à franchir pour les autres espèces. Les aménagements qui ont eu lieu sur la partie amont du bassin de la Dore et essentiellement à partir de l'amont d'Olliergues semblent avoir bénéficiés à l'augmentation de la répartition de l'ombre commun (Fig.6).

- En 1997 le Gour de Champy situé en amont de Vertolaye était équipé d'une passe à poisson : en 2012 les premiers ombres ont été capturés au Bru commune de Job soit 6.5 km en amont
- En 2015 le barrage du Chazier, en aval de Vertolaye, a été totalement désasé (Fig.7), des arasements partiels avaient préalablement eu lieu en 1997 et en 2009. Ceci confortait la migration éventuelle des ombres sur ce secteur.
- Puis le prochain obstacle en amont du Gour de Champy (14 km en amont du Gour de Champy) est le seuil de l'abattoir d'Ambert. Celui-ci a été détruit en 2013.

- En 2016 nous prenons les premiers ombres communs 300 m en amont de l'ancien seuil au niveau de la confluence avec le ruisseau de Valeyre.
- En 2016 le seuil de Marsac en Livradois, situé 12 km en amont du seuil de l'abattoir, a été arasé. Lors des pêches préalables et lors de la pêche de sauvetage aucun ombre n'a été capturé en amont de ce seuil.
- En 2019 nous avons réalisé des pêches dans le cadre de cette étude. Un des points se situait en amont de l'ancien seuil de Marsac en Livradois, nous avons capturé des ombres de plusieurs classes d'âge. Le front de colonisation s'était encore déplacé vers l'amont.
- Enfin en 2020 nous avons à nouveau cherché à définir le front de colonisation de l'ombre commun, celui-ci s'est encore déplacé de 9.5 km en amont. Il se situe à proximité d'Arlanc et de la confluence avec la Dolore.

Bassin versant Dore (amont Vertolaye)

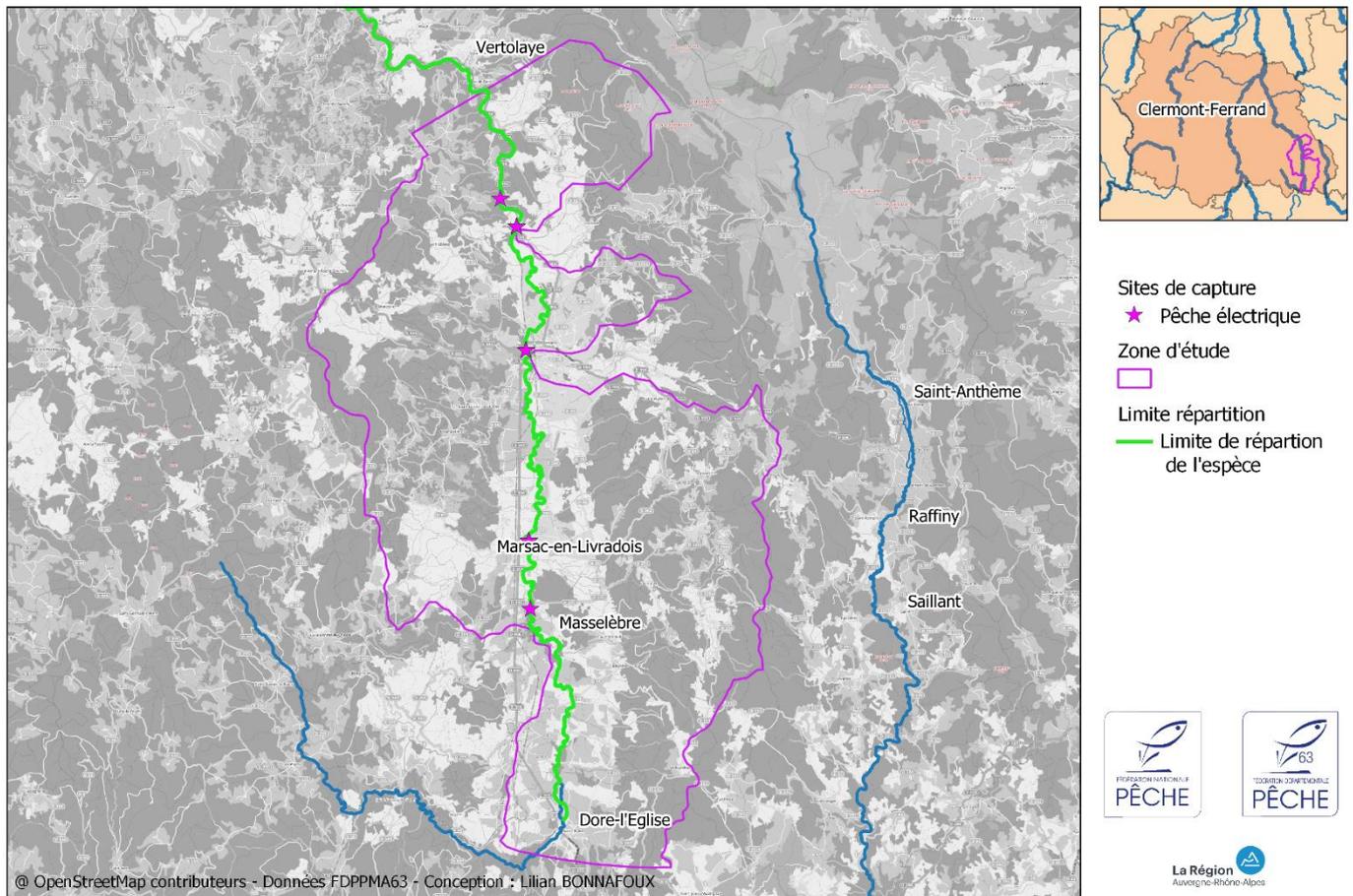


Figure 6: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la partie amont de la rivière Dore.

Même si une colonisation amont est encore possible, la rivière change assez rapidement en allant vers l'amont, la diminution des débits liée aux apports de la Dolore puis de la Dorette et l'augmentation de la pente changent la typologie de la station qui devient donc moins favorable.



Figure 7: Barrage du Chazier avant et après travaux

De nombreux facteurs ont certainement déclenchés la progression du front de colonisation vers l'amont. Le facteur thermique ( $T^{\circ}$  plus fraîches en amont) est certainement essentiel vers cette recherche de nouveaux habitats. Mais il est important de dire que sans une amélioration de la continuité écologique l'extension du territoire de répartition d'une espèce à haute valeur patrimoniale n'aurait pu avoir lieu. Ceci est la démonstration que les pressions actuelles pour freiner l'amélioration de la continuité écologique des cours d'eau et la pseudo argumentation dite de « bon sens » présentée par ses détracteurs ne représente en fait qu'une défense d'intérêt privés. La continuité écologique demeure essentielle afin de permettre aux espèces de s'adapter aux changements des conditions de vie.

Bassin versant Durole

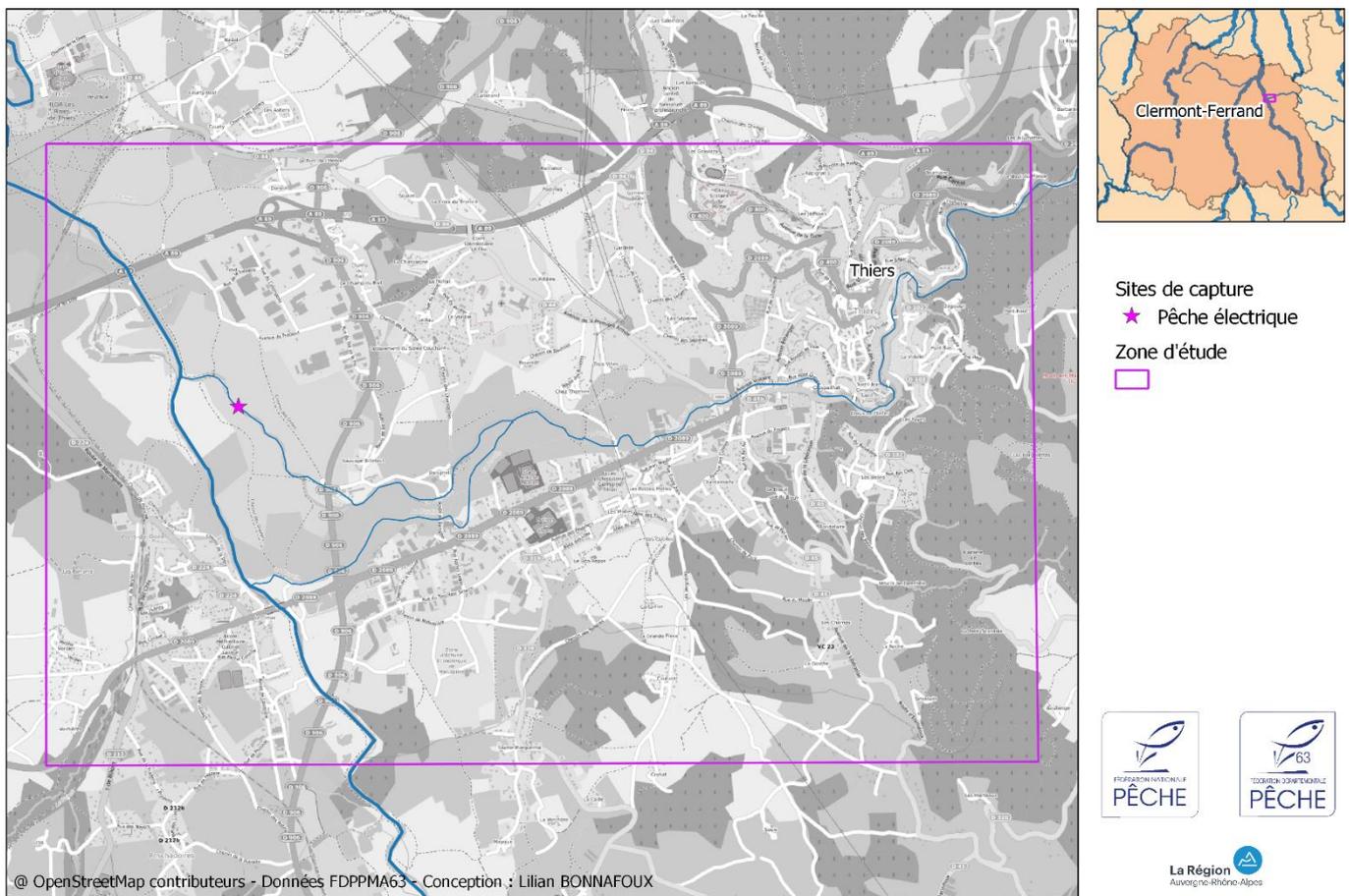


Figure 8: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la rivière Durole

En 2020, lors d'une pêche sur la rivière Durole nous avons capturé un ombre commun, ce secteur n'a fait l'objet d'aucun déversement si ce n'est sur la Dore au Niveau de Courpière (soit 15 km en amont).

# Rivière Sioule

## Bassin versant Sioule

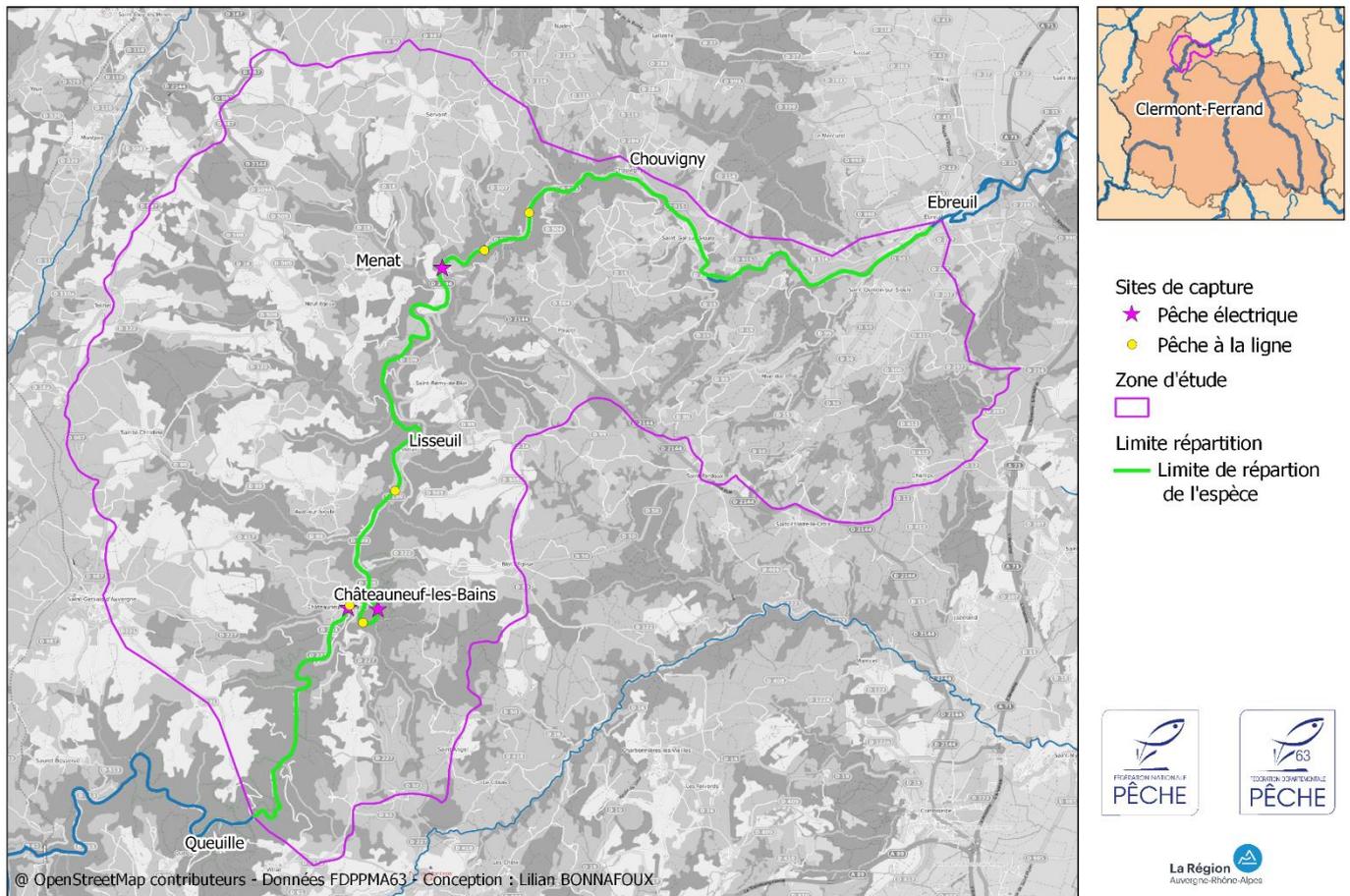


Figure 9: Répartition actuelle de l'ombre commun sur la rivière Sioule

Dans le Puy de Dôme, ce cours d'eau était connu pour connaître une population d'ombre commun (et de saumon) de la limite départementale avec l'Allier en aval à la confluence avec la Miouze en amont (Blanchard 1866). Suite à la construction des complexes hydrauliques de Queuille (1905) et des Fades Besserves (1968) nous avons très peu de chronique de captures ou de répartition. Sur les pêches archivées, aucun individu n'a été capturé sur la Sioule en amont des barrages (malgré une tentative dans les années 90). Une pêche fait référence d'individus capturés en 1979 à Châteauneuf les bains. Entre 1979 et 2005 aucun poisson n'a été signalé lors des pêches électriques. Il est vrai que la rivière est large et impossible à pêcher de façon exhaustive (il faut 45 personnes dans l'eau pour pêcher la Sioule en aval de Queuille !!!), si les ombres ne sont pas recherchés spécifiquement il est difficile de le prendre par hasard.

De plus des introductions ont eu lieu de 2003 à 2005, ce qui explique la reprise des captures par pêche électrique en 2005. Depuis les alevinages ce sont fait de façon sporadique, une population semble prospérer (frayères et alevins produits sans déversement) et l'aval du barrage de Queuille jusqu'à la limitée départementale avec l'Allier (Fig.8) permet de nombreuses captures d'individus de belle taille (Fig.9).



Figure 10: Ombre commun capturé sur la Sioule

# Matériel et méthode

---

Aucune étude spécifique n'avait été menée sur l'ombre commun dans notre département, nous avons donc essayé de combler cette lacune en :

- Essayant de déterminer la répartition géographique de cette espèce
- Comparer celle-ci avec les données historiques que l'on avait à notre disposition
- Examiner les habitats (faciès, granulométrie) des secteurs où les ombres communs ont été capturés
- Analyser leur croissance par rivière
- Réaliser une étude génétique afin de vérifier leur appartenance à une population Ligérienne sauvage ou issue de déversement.

Lors des pêches nous avons relevé différents paramètres :

- Les faciès des secteurs où ont été capturés les poissons
- La granulométrie de ces faciès
- La qualité d'eau des stations

Sur les poissons nous avons également réalisé une biométrie, prélevé des écailles afin de connaître l'âge des poissons et prélevé un bout de nageoire afin de réaliser une étude génétique.

## Pêches électriques

Ces dernières ont été effectuées en utilisant un matériel standard de pêche électrique (héron), par contre la méthodologie de pêche est différente et spécifiquement adaptée à la capture des ombres communs. Ces espèces se déplacent rapidement et passent facilement au travers du champ électrique. Il faut donc mettre en place une « tenaille » à l'aide de 2 électrodes, se déplacer très rapidement et chercher à capturer uniquement cette espèce. Une pêche « traditionnelle » permet de capturer des ombres mais en moindre quantité. Or nous voulions avoir le plus d'individus possible pour l'étude génétique et scalimétrique (au moins 30 poissons par rivière).

Ce type de pêche demande beaucoup d'effort et de temps car il faut souvent parcourir de grandes distances, mettre en place le matériel et pêcher « pour rien », de plus nous ne pouvons réaliser de statistiques de pêche ni sur les ombres communs ni sur les autres espèces.

En annexe 1 sont indiqués les poissons capturés et les lieux de prélèvement, nous avons réalisé 12 jours de pêche sur différents cours d'eau seuls 7 journées ont été productives. Nous ne comptons pas les échantillons témoins prélevés à la salmoniculture de Besse ni ceux obtenus par les pêcheurs à la ligne.

## Etude morphologique

L'étude morphologique a été conduite en deux temps :

- Les bornes amont et aval de la station de pêche électrique ont été déterminées.
- Puis, quelques temps après la pêche (les journées de pêches spécifiques ne permettent pas de réaliser les opérations de description morphologique) nous avons réalisé le travail de description à l'échelle des stations de pêche électrique, tous les 10 m nous mesurons
  - Description du faciès correspondant (Fig.11)
  - Largeur du lit mouillé
  - Largeur du lit de plein bord
  - Profondeur toutes les largeurs/7
  - Sur chaque profondeur la granulométrie dominante suivant l'échelle de Wentworth modifiée (Tab. 1)

Ce travail permet d'avoir une bonne idée des caractéristiques hydromorphologiques des stations pêchées.

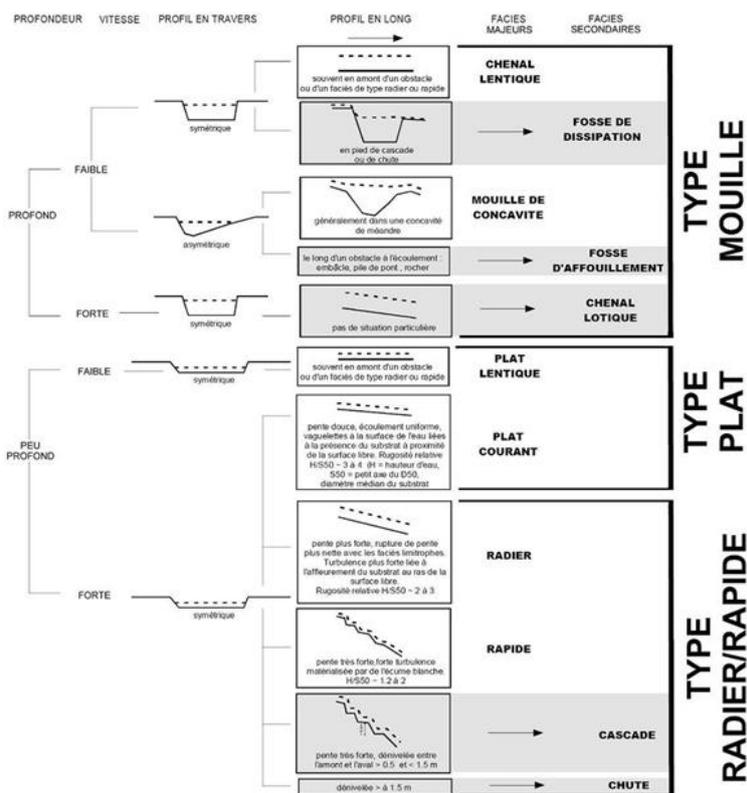


Figure 11: Clé simplifiée des faciès d'écoulement (Malavoi, souchon 2002)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Dalles (dont dalles d'argile)	>1024	D
Rochers	>1024	R
Blocs	256 - 1024	B
Pierres grossières	128 - 256	PG
Pierres fines	64 - 128	PF
Cailloux grossiers	32 - 64	CG
Cailloux fins	16 - 32	CF
Graviers grossiers	8 - 16	GG
Graviers fins	2 - 8	GF
Sables	0,0625 - 2	S
Limons	0,0039 - 0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A
Vase	sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins	V
Terre végétale	points hors d'eau très végétalisés	TV

Tableau 1: Echelle de Wentworth modifiée

## Analyses Physico chimiques

Lors des pêches nous avons réalisé l'analyse de certains paramètres permettant d'avoir une idée de la qualité d'eau.

Ces analyses sont menées directement sur le terrain à l'aide d'une sonde multi paramètre et d'un spectrophotomètre portatif Hach® SL1000 (Fig. 12). Les résultats sont disponibles en quelques minutes et nécessitent peu de manipulations (utilisation de sondes ou de Chemkeys en fonction du paramètre analysé). Ceci permet une grande fiabilité des résultats (pas d'altération des échantillons ou de biais liés aux manipulations de réactifs).



Figure 12: Appareil de mesure Hach® SL1000 et Chemkey

Les paramètres mesurés sont illustrés dans le tableau ci-dessous

Paramètre	Plage d'utilisation	Facteur de conversion
Température de l'eau (°C)		
Le pH		
La Conductivité (µs/cm)		
L'azote ammoniacal NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,05 à 1,5 mg/L NH <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N × 1,3 = NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Les nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,005 à 0,6 mg/L NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N × 3,3 = NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Les nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0.1 mg - 14 g/L NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N × 4,4 = NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Les orthophosphates PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)	gamme basse : 0,2 - 4,0 mg/L PO <sub>4</sub>	
	gamme haute : 2,0 - 30,0 mg/L PO <sub>4</sub>	
La Dureté totale en CaCO <sub>3</sub>	gamme basse : 90 - 750 mg/L CaCO <sub>3</sub>	
	gamme haute : 3 - 100 mg/L CaCO <sub>3</sub>	

Tableau 2: Liste des paramètres analysés et gammes d'utilisations associées.

## Prélèvements des poissons et de leurs écailles

La plupart des poissons ont été prélevés de Juillet à Septembre 2019 lors de pêches électriques spécifiques (Fig.13). 29 poissons qui ont été capturés sur l'Alagnon, 30 sur l'Ance du Nord, 20 sur la Dore et enfin 35 sur la Sioule. On a donc un total de 120 ombres de juvéniles à adultes.

A cela s'ajoute les 80 individus pris à la pisciculture de Besse, issus de cohortes différentes. Ce groupe sera utilisé pour comparer le développement de l'ombre sauvage à ceux élevés en captivité et ils serviront également pour l'analyse génétique afin de déterminer si les poissons, capturés en rivière, sont d'origine sauvage ou sont issus de la salmoniculture de Besse.

Après avoir été capturé, chaque individu est pesé et mesuré. Deux prélèvements de tissus sont ensuite réalisés :

- un morceau de nageoire est prélevé. Il servira à extraire l'ADN des individus pour pouvoir lire leur génome. On pourra alors les comparer génétiquement entre individus d'une même station, d'une même rivière ou encore entre rivières et bassins versants. Ce travail est actuellement en cours et ce rapport sera complété par les résultats obtenus.

- afin d'accéder à l'âge des individus, des écailles sont prélevées sur chaque ombre. Ce prélèvement est effectué sur une zone standardisée du corps des poissons (Baglinière et Le Louarn 1987, Ombredane et Baglinière 1991). En effet, seules certaines zones du corps permettent d'obtenir des résultats fiables, elles correspondent au secteur de mise en place des premières écailles et permettent une meilleure estimation de la croissance individuelle. Pour *Thymallus thymallus*, les écailles doivent être prélevées à l'intersection de l'axe ligne latérale et de l'axe fin de nageoire dorsale/début de nageoire anale.



Figure 13 : Pêche électrique sur la Sioule à Menat, 03/07/2019 (Photo Christophe Monier)

## Lecture des écailles et rétrocalculs des tailles

D'après Grassé (1958), les écailles sont des phanères exclusivement dermiques. Vestiges des cuirasses osseuses des poissons les plus archaïques, elles sont propres aux ostéichthyens. Dans cette classe, l'évolution de l'écaille est inverse de celle de l'endosquelette : plus celui-ci se renforce et plus l'écaillage se restreint et s'amincit. La formation des écailles élasmoïdes entièrement osseuses des téléostéens, groupe le plus tardif des ostéichthyens, a entraîné la mise en place d'un revêtement écailléux léger et solide qui gêne très peu les mouvements du poisson. Ceci a permis un développement des adaptations les plus variées des caractères défensifs, cryptiques et hydrodynamiques liés à ce revêtement.

Les premières études fondamentales sur la morphologie et la classification des écailles de poissons furent effectuées au 19<sup>ème</sup> siècle. L'importance des écailles dans la systématique des poissons a permis à Maitland (1972) de mettre au point une clé d'identification des familles à partir des écailles.

Caractéristiques des poissons les plus évolués, les écailles élasmoïdes sont des structures minces, transparentes et lamelleuses. Leur forme varie mais reste toujours plus ou moins ovale, avec un léger bombement sur la face supérieure. La surface peut-être uniforme ou divisée en champs. Dans ce dernier cas, on peut distinguer un champ antérieur, deux champs latéraux et un champ postérieur qui est la partie la

plus visible de l'écaille en place dans son repli épidermique. Sur toute la surface, mais avec des aspects différents suivant le champ, on distingue deux types de reliefs superficiels ayant un rôle important dans la fonction hydrodynamique de l'écaille :

- les crêtes circulaires ou (circuli), plus ou moins concentriques autour du focus et disposées parallèlement au bord de l'écaille. Sur sa partie découverte (champ postérieur), elles sont toujours disposées suivant une direction généralement perpendiculaire à celle de la friction de l'eau
- les reliefs rayonnants se présentant sous forme de crêtes ou de sillons radiaires avec dans certains cas des sections transverses plus ou moins régulières.

Chez les salmonidés, l'écaille a une forme caractéristique circulaire à ovale nette ne permettant de distinguer que des champs latéraux. Cette forme peut varier avec l'âge et la taille des individus en liaisons avec le taux de croissance. Le focus reste relativement centré. Le champ postérieur est presque dépourvu de circuli. Ceux-ci sont déposés d'une manière concentrique et régulière autour du centre de l'écaille en épousant sa forme. Les anneaux hivernaux (annuli) se présentent sous forme d'une bande de circuli resserrés.

Pour chaque poisson, les écailles ont été choisies une à une afin d'éliminer celles qui sont dites de « remplacement ». En effet, une écaille apparue à la suite d'une perte de la précédente ne montre pas la croissance depuis la naissance du poisson, elle est générée afin de boucher le plus rapidement possible le trou laissé par la perte de l'écaille d'origine. Elle n'a donc aucune utilité pour notre étude.

Les écailles conservées (au minimum 6 par poisson) sont ensuite montées à sec entre lame et lamelle, puis observées sous grossissement (x42) (Fig.14). Il est à noter que par rapport à la truite, la lecture des écailles d'un ombre est plus accessible. La croissance étant plus rapide, chaque circulus (strie) est plus espacée ce qui rend l'interprétation plus aisée.

Avant lecture, il faut choisir les écailles les plus symétriques et représentatives du lot à notre disposition pour chaque poisson.

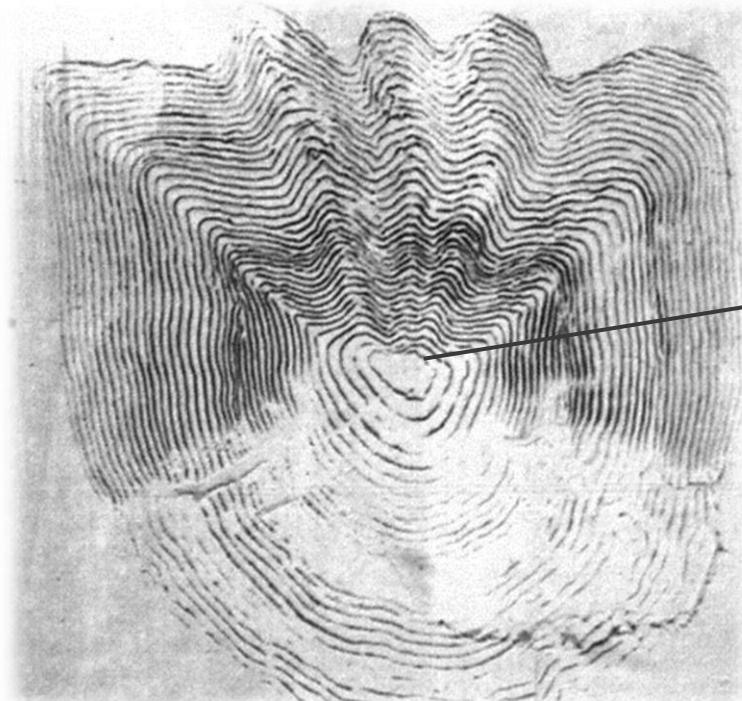


Figure 14 : Ecaille d'ombre commun (Baglinière et Le Louarn 1987)

La croissance de l'écaille n'est pas continue car les poissons, vertébrés poïkilothermes, ont un métabolisme modulé en grande partie par la température. La croissance de l'écaille est liée à celle du corps

par une relation mathématique (Dahl, 1909). Dans les régions à hivers marqués, les rythmes saisonniers de croissance se distinguent dans le tissu osseux par des zones caractéristiques, il est donc possible de donner l'âge d'un poisson grâce aux écailles.

Une croissance rapide se traduit par des circuli espacés et une zone claire. Lorsqu'elle se ralentit, les circuli sont rapprochés et forment un anneau plus ou moins foncé. L'ensemble zone claire et foncée est appelé annulus puisqu'il se forme sur une année complète de la reprise de croissance à la fin de croissance annuelle. Le nombre de ces annuli donne l'âge du poisson. La présence d'une reprise de croissance indépendamment du nombre de circuli formés est conventionnellement notée plus (+).

Lors de la lecture, on reporte le rayon total (du centre de l'écaille au bord extrême) de l'écaille ; il faut également reporter le bord externe de tous les annuli présents. Ce travail doit se réaliser de façon précise, ce qui constitue un impératif pour toute étude de croissance basée sur une méthodologie scalimétrique. On détermine ensuite la position de l'axe de lecture. Sur la figure 14, il correspond au trait gris. Il est placé sur un côté. Le haut comportant des replis liés à l'implémentation de l'écaille dans le derme et le bas, la partie non recouverte, présentant une pigmentation, on considère qu'il y aura moins d'erreur de lecture sur les côtés de l'écaille. Une fois la position de l'axe définie, toutes les écailles sont lues dans la même configuration. À la suite de la lecture, on détermine le R de l'écaille, c'est-à-dire son rayon du centre, appelé focus, à l'extrémité. Ce paramètre R est directement corrélé à la longueur L du poisson. Une droite de régression linéaire est donc réalisée pour chaque station de pêche de l'étude. Pour savoir si des écailles comportent des erreurs de lecture, la distance de Cook et l'influence de chaque point sur la régression ont été calculés sous le logiciel RStudio. Des relectures ont d'ailleurs permis d'améliorer la qualité des régressions et donc globalement la lecture des écailles.

**Le premier travail consiste**, par cours d'eau et site de prélèvement à calculer la relation entre la longueur du corps mesurée (L) et le rayon total (Rt) de l'écaille. Cette relation est établie par régression linéaire afin de déterminer le meilleur ajustement (Jearld, 1983, Beall et al 1991).

Si le meilleur ajustement est de type :

$$L = a + c \cdot Rt$$

La relation est de type allométrique. Le modèle de rétrocalcul retenu est celui de Fraser Lee (Lee, 1920 in Lamotte & Bourlière, 1975) car il suit une méthode dite proportionnelle qui prend en compte les déviations de la relation  $L = f(Rt)$ .

Ce modèle de rétrocalcul est de la forme générique:

$$L_n = a + (L - a) \cdot (R_n / R_t)$$

Où :

- $L_n$  : longueur du poisson à l'âge n considéré
- L : longueur du poisson lors de la capture
- $R_n$  : rayon de l'écaille à l'âge n considéré
- $R_t$  : rayon total de l'écaille
- a : longueur théorique du poisson lors de la mise en place de sa première écaille

**Puis nous reportons le rayon** pour chaque reprise de croissance après l'hiver. Ces paramètres notés R1, R2, R3... correspondent à la mesure du rayon de l'écaille à la fin de l'hiver de la première, deuxième, troisième... année de l'ombre. A l'aide des mesures du R et des R1, R2... ainsi que de la taille du poisson lors de sa capture, notée L, il est possible de rétrocalculer c'est-à-dire de retrouver la taille du poisson à un an, deux ans et etc...

$$L1 = ((a + b * R1)/(a + b * R)) * L$$

Où a et b sont les paramètres de la droite de régression entre R et L (7).

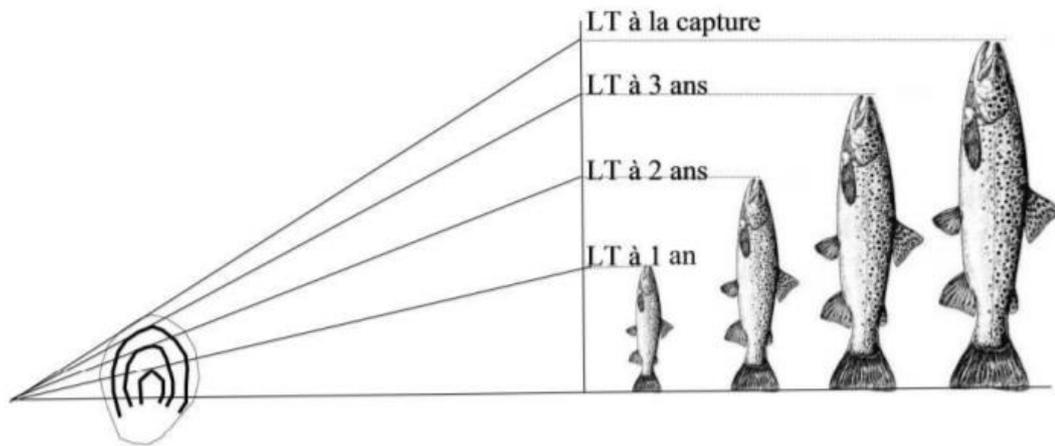


Figure 15: Principe des rétrocalculs, d'après Arrignon in ECOGEEA 2016

Ces rétrocalculs permettent notamment d'obtenir des valeurs de taille du poisson en fin d'hiver permettant de mieux saisir les alternances entre période de croissance et d'arrêts hivernaux.

## Choix des paramètres du modèle de Von Bertalanffy

Afin de modéliser la croissance des ombres, nous avons choisi d'utiliser une méthode utilisée pour de multiples groupes d'animaux, le modèle de Von Bertalanffy (Von Bertalanffy Growth Model VBGF. Ce dernier ne date pas d'hier et depuis sa publication, s'est vu optimiser à de nombreuses reprises pour mieux s'adapter à chaque espèce et aux spécificités des études où il a été utilisé. Le choix de l'équation pour le présent rapport a été basé sur l'article de Derek Ogle (2013), « FishR Vignette - Von Bertalanffy Growth Models ». Différents modèles paramétriques utilisables sous R y sont introduits et expliqués, chacun ayant été créé pour un cas d'utilisation particulier.

La paramétrisation de Francis (1974) aurait pu être choisie car elle permet d'utiliser des paramètres moins corrélés entre eux puisqu'elle s'appuie sur trois âges références. Cependant, la nature des données sur lesquelles nous travaillons ne nous permet pas de l'utiliser. Nous n'avons effectivement que trois années différentes, voire deux seulement sur nos ombres échantillonnés.

Galucci and Quinn (1979) ont, quant à eux, proposé un nouveau paramètre  $\omega = K \times L_{\infty}$  pour comparer des populations celui-ci est réputé comme statistiquement robuste. Notre étude proposant de comparer la croissance de l'ombre entre stations et rivières cette robustesse est essentielle. De plus, Mooij et al. proposent d'utiliser le paramètre  $\omega$  dans l'équation :

$$E(Lt) = L_{\infty} - (L_{\infty} - L_0)e^{-\frac{\omega}{L_{\infty}}t}$$

avec,  $L_0 = L_{\infty}(1 - e^{kt_0})$

Cette équation et l'utilisation du paramètre de Galucci and Quinn (1979) permet également de mieux estimer la croissance aux alentours de  $L_0$ . C'est cette configuration qui a été retenue pour traiter les données de la présente étude.

## Données utilisées dans caractérisation des stations

Chaque station a été caractérisée suivant 5 critères : thermique, hydrodynamique (caractéristique de la station), physico-chimique, granulométrique et faciès d'écoulement.

- Les données thermiques sont issues d'enregistreurs (Hobo Tidbit 64 K) pendant une période minimale d'un an. Nous avons recherché les enregistrements les plus proches de nos stations

dans la base de données de la Fédération. Malheureusement, toutes les valeurs ne correspondent pas à l'année de notre étude, les zones de captures des ombres n'étant à priori pas connues et ceci aurait nécessité un très grand nombre d'enregistreurs thermiques. A partir des données journalières brutes (un enregistrement par heure), 8 paramètres ont été utilisés : T° moyenne de l'année, T° journalière minimale, T° journalière maximale, T° des 30 jours consécutifs les plus chauds, % de jours de T° optimale pour la croissance, % de jours de T° optimale pour la vie des poissons, % de jours où T° < 4,5°C et le % de jours où T° > 21°C. Pour mieux comprendre ces paramètres, il faut préciser qu'en dessous de 4.5°C et au-dessus de 21°C, la croissance de l'ombre est stoppée (Mallet et al 1999). Le pourcentage de jours de vie optimale correspond donc au pourcentage de jours où la température est comprise entre ces deux bornes. De même, l'optimum de croissance a été défini entre 16 et 18°C.

- Les données hydrauliques sont issues du site Hydroreel (Module, Lame d'eau), de Géoportail (Altitude), de logiciel de SIG (Distance à la source, Pente) et de relevés terrain (Largeur, Profondeur).
- Les mesures physicochimiques ont été réalisées sur le lieu de pêche mais ne sont qu'une image ponctuelle de la station. Les paramètres pH, O<sub>2</sub> (mg/L), Conductivité, Dureté, PO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> et NH<sub>4</sub> ont été acquis.
- Enfin, les données granulométriques et des faciès d'écoulement proviennent de relevés morphologiques effectués sur le terrain.

# Résultats

## Analyses de la Température

Aucun enregistreur n'a été posé pendant la période d'étude. Si l'on excepte l'Ance et la Dore pour lesquels les stations pêchées avaient déjà été équipées d'enregistreurs, sur la Sioule et l'Alagnon nous avons choisi d'utiliser l'enregistreur le plus proche des deux stations.

Les données du tableau ci-dessous (Tab.3) correspondent à un choix de données, en effet le grand nombre de valeurs et de paramètres exploitables sur une année impose de choisir des paramètres qui nous semblent essentiels dans la croissance et la répartition des Ombres communs.

Lieux		Caractéristiques de température										
Rivières	Stations	T° moy. Année	T° moy. J. min	T° moy. J. max	30j T° max	% J. T° growth	% J. 16<T<18°C	% J. T° < 4,5°C	% J. T° > 21°C	Ponte théo	J. incubation	Ecllosion théo
Ance	Pontempeyrat	8,67	-0,11	17,55	15,19	72,6	2,17	27,4	0	26-avr	21	16-mai
Ance	Raffiny	8,09	0,65	15,03	13,16	74,8	0	25,2	0	12-mai	22	02-juin
Dore	Marsac	9,19	0,01	20,58	17,83	76,4	6,8	23,6	0	02-mai	19	20-mai
Dore	Job/Marat	9,82	0,2	21,58	18,91	77,6	9,6	21,9	0,5	04-avr	26	29-avr
Sioule	Menat	11	2,99	20,41	18,36	90,4	4,9	9,6	0	22-avr	20	11-mai
Sioule	Châteauneuf	11	2,99	20,41	18,36	90,4	4,9	9,6	0	22-avr	20	11-mai
Alagnon	Stade	10,82	0,25	23,32	20,69	74,8	8,5	20,3	4,9	17-avr	16	02-mai
Alagnon	Château	10,82	0,25	23,32	20,69	74,8	8,5	20,3	4,9	17-avr	16	02-mai

Tableau 3 : caractéristiques thermiques utilisées pour les analyses.

## Analyses physicochimiques

De façon générale, la qualité physico chimique des stations sont bonnes (Tab.4). Les orthophosphates correspondent au paramètre déclassant sur toutes les stations, c'est une constante sur nos analyses réalisées lors des pêches électriques.

Lieux		Caractéristiques physico-chimiques							
Rivières	Stations	pH	O2 (mg/L)	Conducti. µS	Dureté	PO4	NO2	NO3	NH4
Ance	Pontempeyrat	7,04	9,43	50,3	11	0,39	0,02	3,17	0,00
Ance	Raffiny	7,04	9,43	50,3	11	0,39	0,02	3,17	0,04
Dore	Marsac	7,17	8,44	84,5	20	0,29	0	3,33	0,03
Dore	Job/Marat	7,53	8,61	79,9	21	0,26	0,01	4,09	0,02
Sioule	Menat	7,63	9,18	125,8	35	0,33	0,01	3,4	0,08
Sioule	Châteauneuf	7,74	10,42	122	35	0,33	0,01	3,4	0,08
Alagnon	Stade	7,73	8,6	167	52	0,19	0,01	3,84	0,06
Alagnon	Château	7,87	8,48	159,7	55	0,22	0,01	4,26	0,59

Tableau 4 : Caractéristiques physico chimiques des stations échantillonnées

La station alagnon « Château » au niveau de Charbonnier les Mines se situe en aval du rejet de la STEP ce qui explique la valeur de NH4 qui est dégradante et classe la qualité physico chimiques en médiocre.

## Embonpoint par rivière.

Par cours d'eau, nous avons calculé les rapports taille poids des ombres communs. La représentation graphique de ce dernier nous permet de définir une équation de type puissance

$$W = a * L^b. \text{ (W poids, L longueur, a valeur d'ajustement, b coefficient d'allométrie)}$$

Ce coefficient b informe sur l'état d'embonpoint des poissons. Pour la plupart des salmonidés ce coefficient est :

- proche de 3 pour une croissance harmonieuse
- >3 allométrie majorante, croissance pondérale > à la croissance en longueur
- <3 allométrie minorante, croissance pondérale < à la croissance en longueur

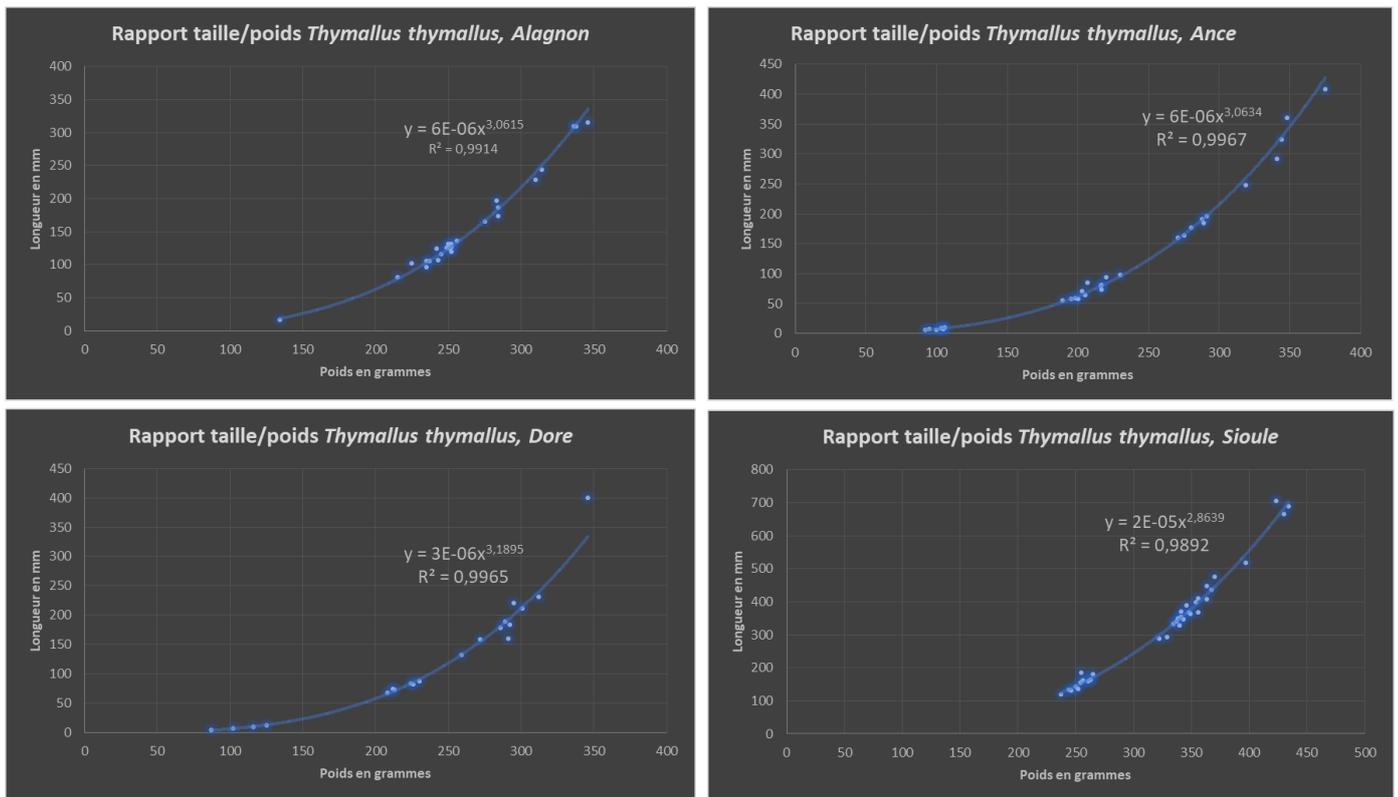


Figure 16: ajustement des rapports taille/poids.

A l'exception de la Sioule (Fig 16), Pour la plupart des stations le coefficient est supérieur à 3 (3.06 Alagnon, 3.06 Ance du Nord, 3.19 Dore). Pour la Sioule, aucun juvénile n'a été capturé ce qui fausse la courbe d'ajustement et donc le coefficient d'allométrie (2.86). Les conditions de nutrition des poissons capturés sur ces rivières sont satisfaisantes.

## Croissance en longueur par cours d'eau

A la suite des lectures d'écaillés nous avons établi des courbes de croissance par station sur chaque cours d'eau. Pour la rivière Allier, la plupart des poissons ayant été capturés par le moyen de la pêche à la ligne il ne nous est pas possible de proposer une courbe de croissance.

### Alagnon

Les deux stations sont distantes de 4.5 km l'une de l'autre, la Station stade est située en aval 11 poissons ont été analysés, la station Château a fourni 14 individus. Les autres poissons proviennent de pêcheurs à la ligne.

Nous analyserons plus loin les différents paramètres qui ont pu influencer sur la croissance, mais il est intéressant de constater que la croissance est plus rapide en amont qu'en aval (Fig 16).

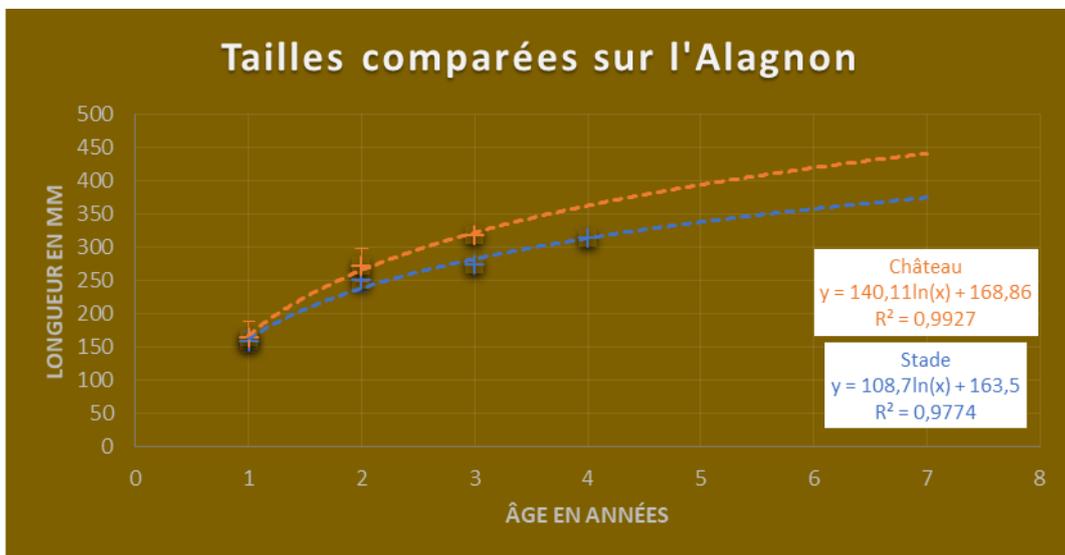


Figure 17 Courbe de croissance des ombres communs sur les deux stations de l'Alagnon

### Ance du Nord

La station de Pontempeyrat est située 23 km en aval de celle de Raffiny. Malgré cette distance, les deux courbes de croissances sont assez proches l'une de l'autre et la croissance de Raffiny (situé en amont) semble meilleure qu'à Pontempeyrat. Il faut toutefois rester être vigilant, l'absence d'individus de 5+ sur Raffiny qui peut avoir comme effet de sur estimer la croissance des individus au-delà de 4 ans.

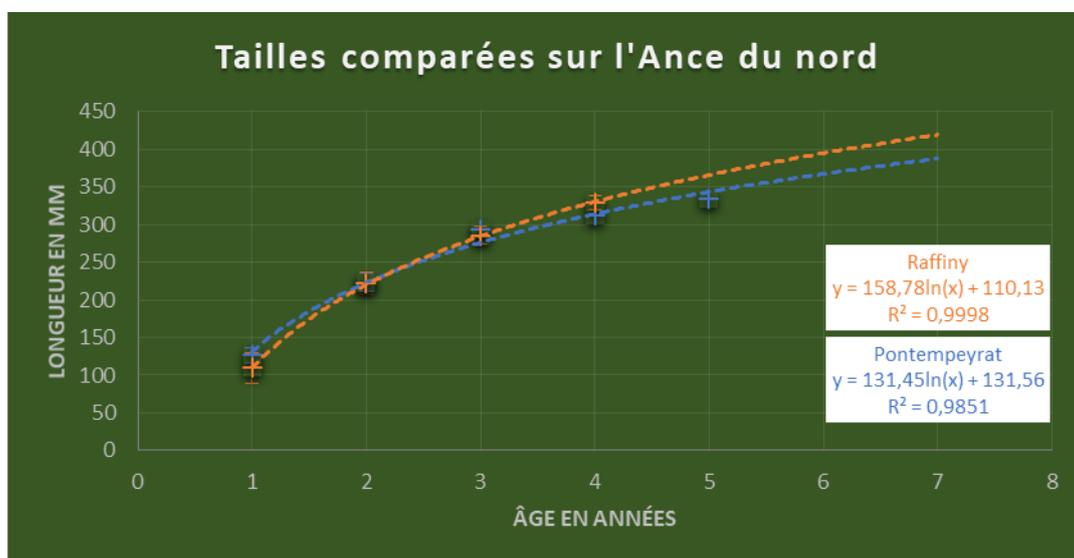


Figure 18: Courbe de croissance des ombres communs sur les deux stations de l'Ance du Nord

### Dore

Comme le montre la carte de répartition des captures sur la Dore (Fig.6) les individus ont été capturés sur un nombre de station assez important. Toutefois nous avons choisi de dégager deux secteurs qui ont fourni un nombre significatif d'individus :

- La Dore sur le secteur de Job et Marat (11)
- La Dore sur la partie amont vers Marsac en Livradois (9)

Malgré 22 km de distance entre les deux stations, les courbes de croissance sont très proches les unes des autres. La tendance à une meilleure croissance en amont (Marsac) qu'en aval (Job) (fig. 18) peut encore une fois être liée à l'absence d'individus de 4 ans sur la station de Marsac.

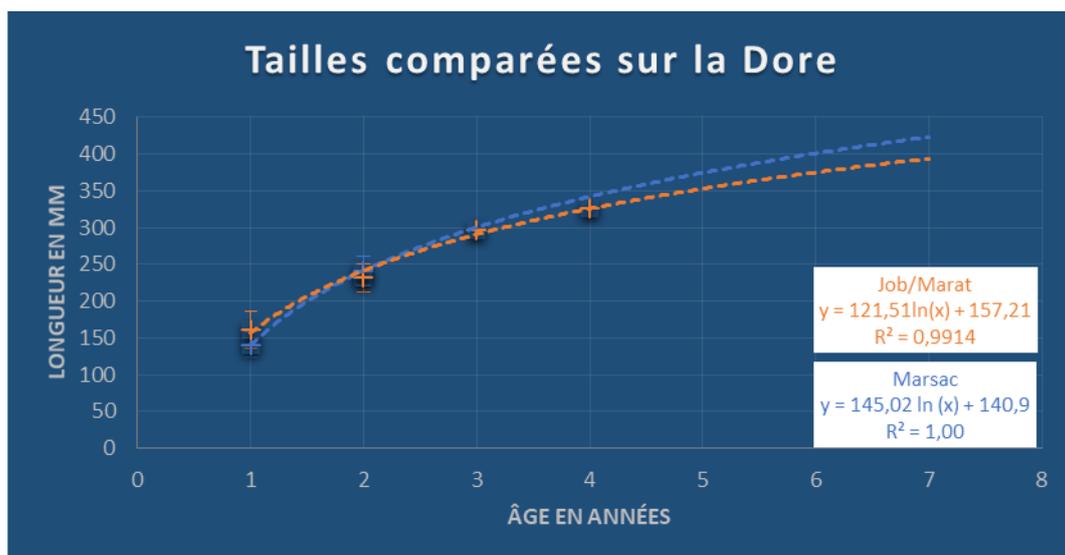


Figure 19: Courbe de croissance des ombres communs sur les stations de la Dore

## Sioule

Deux stations ont été choisies pour prélever et analyser des individus sur la Sioule, cette espèce est présente sur toute la Sioule de l'aval du barrage de Queuille à Menat et tous les habitats favorables permettent la capture d'individus. Toutefois l'accès à la rivière n'est pas possible sur la totalité du linéaire, c'est pour cette raison que nous avons axés les prélèvements d'individus sur deux stations assez distante (14 km) et facile d'accès. Pour les prélèvements génétiques des individus ont été prélevés sur d'autres secteurs, mais pas en nombre suffisant pour une analyse scalimétrique.

La station la plus amont (Châteauneuf les bains) montre une croissance de l'ombre commun supérieure comparée à la station de Menat située en aval (Fig.19). Nous avons analysés 23 individus sur la station de Menat et 14 individus sur Châteauneuf les bains.

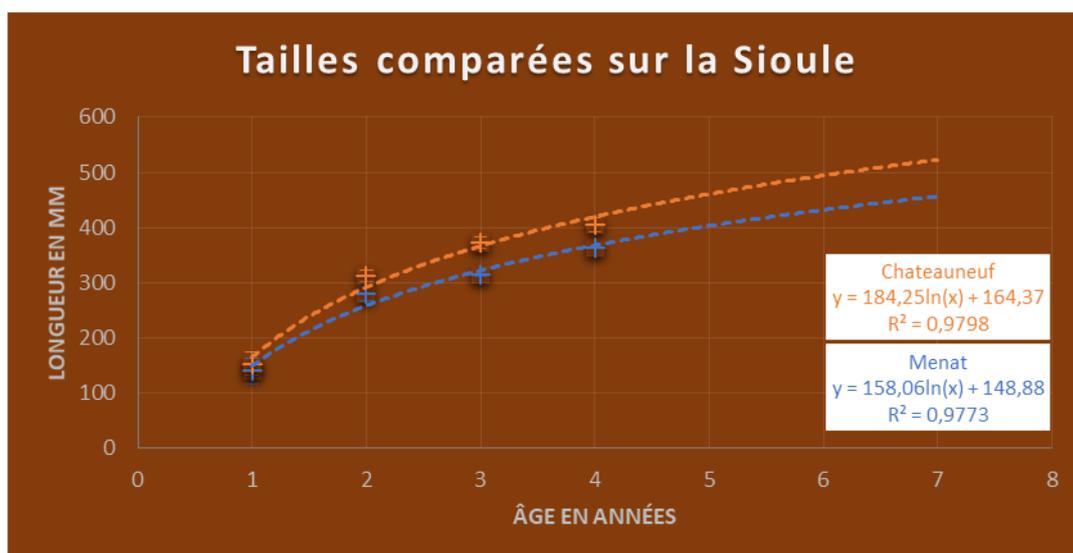


Figure 20: Courbe de croissance des ombres communs sur les deux stations de la Sioule

## Comparaison des courbes de croissance de tous les cours d'eau

Si l'on regroupe tous les individus par rivières et que l'on intègre les poissons de la salmoniculture de Besse, nous obtenons une comparaison de la croissance suivant les différents sites. On distingue très nettement une forte croissance sur la rivière Sioule, les autres cours d'eau connaissent des croissances assez proches (même la pisciculture). Il est intéressant de noter qu'à 1 an la croissance moyenne des individus est très hétérogène, cette différence se lisse au cours du temps sauf pour la Sioule.

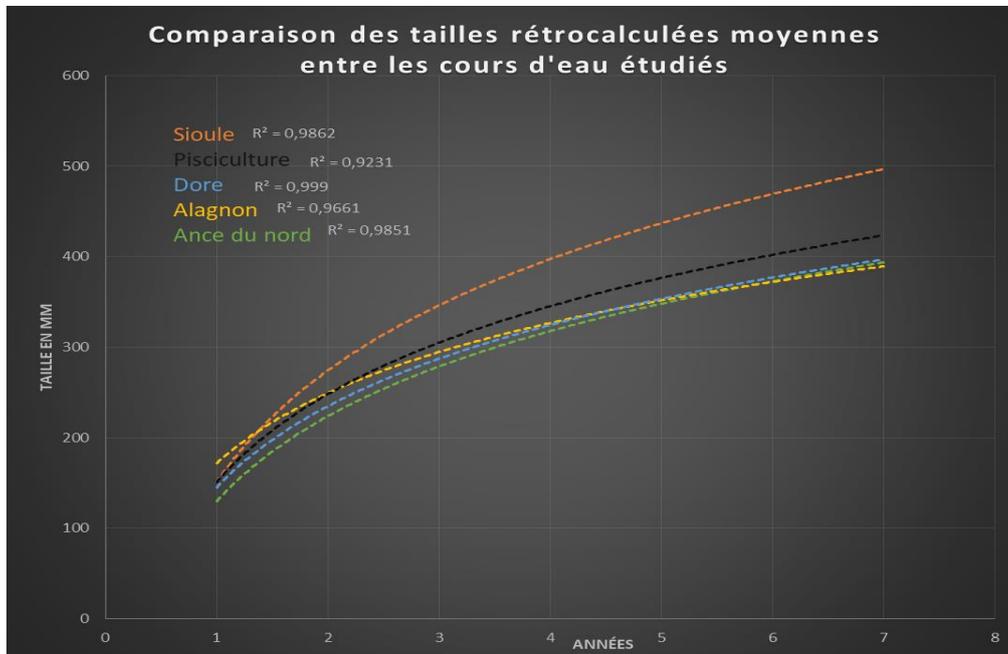


Figure 21: Croissance comparée sur les différentes rivières

## Modèle de croissance

Afin de déterminer les paramètres qui influent le plus sur la croissance, nous avons préalablement modélisé celle-ci à l'aide du modèle de Von Bertalanffy adapté par Derek Ogle (2013).

Cette modélisation nous permet d'objectiver les paramètres caractéristiques de croissance des poissons,  $L_0$ ,  $L_\infty$ ,  $K$  (vitesse de croissance),  $\phi$ ,  $\omega$ . Ces paramètres, comparés avec les facteurs d'habitats d'hydrologie de thermie ont été statistiquement traités via une Analyse en Composante Principale (ACP). Ceci permet d'analyser les facteurs environnementaux les plus influents et de voir les caractéristiques principales de celles-ci.

Dans un premier temps nous avons calé les courbes de croissance des ombres afin de s'approcher au plus près de la courbe de croissance réelle. Pour ce faire il faudrait pouvoir suivre l'évolution de la croissance à plusieurs périodes et sur plusieurs années. Ces données n'étant pas disponibles et difficiles à récupérer en milieu naturel, nous avons donc comparé les tailles rétrocalculées et les valeurs observées qui correspondent à la taille et à l'âge des poissons le jour des captures (Fig.22). Il existe donc un décalage entre les valeurs issues de rétrocalculs qui correspondent à l'arrêt hivernal et les valeurs observées lors des pêches (printemps et été) comme on peut le voir sur la Figure 22. Le manque de données dans les classes d'âges supérieures à Pontempeyrat rend plus floues les observations sur la fin des courbes.

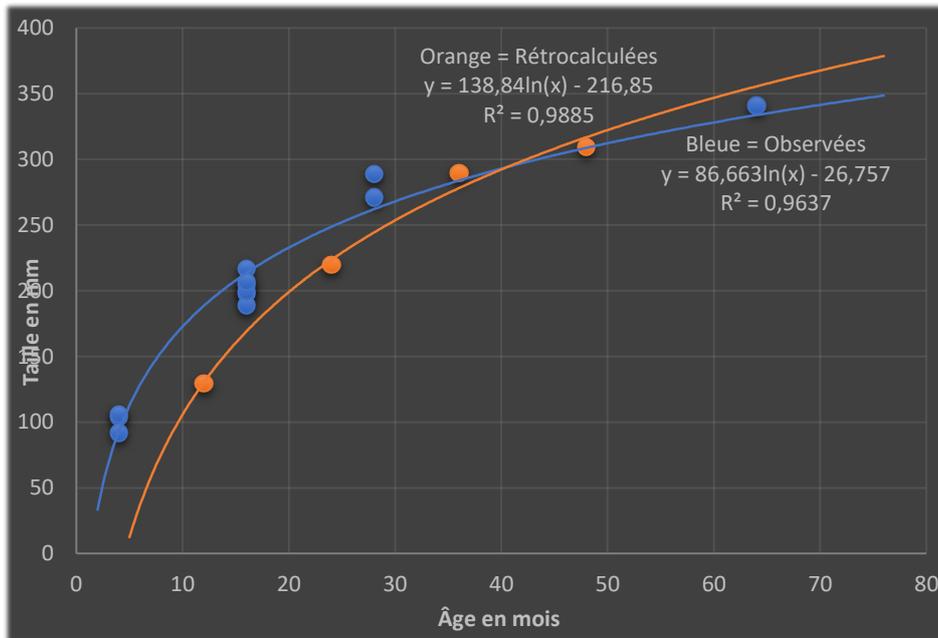


Figure 22 : Comparaison des tailles observées et rétrocalculées - Ance du Nord à Pontempeyrat

En combinant ces deux jeux de données, on peut créer un modèle réaliste (Figure 23) de la croissance des ombres. Les accélérations de croissance (printemps été automne) et les ralentissements hivernaux sont rendus visibles.

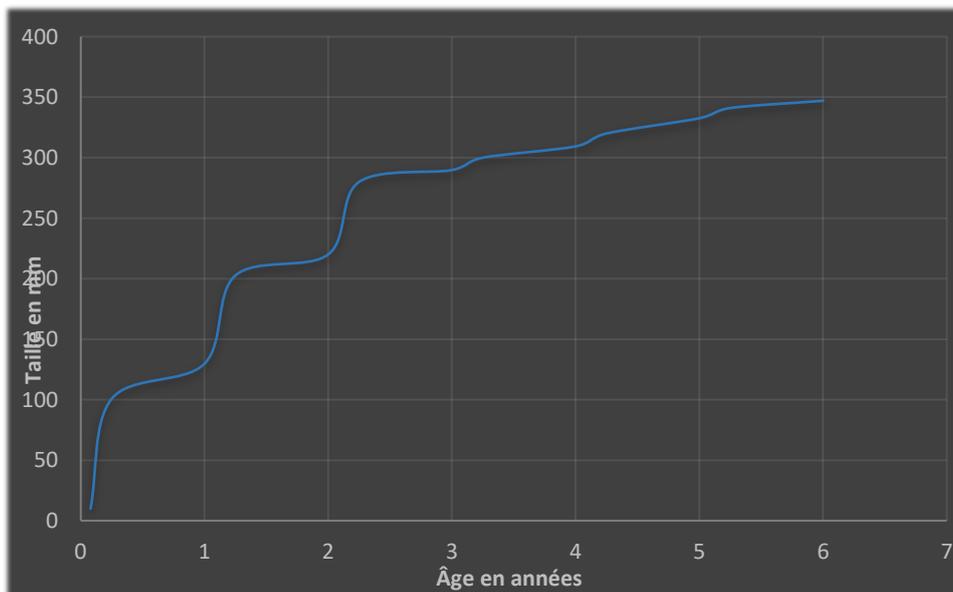


Figure 23 : Modèle réaliste de la croissance des Ombres (ici, à Pontempeyrat)

Comme il est impossible de comparer les croissances des différentes stations à l'aide de ces courbes réalistes et de réaliser des analyses statistiques, nous avons donc utilisé un modèle qui permet d'avoir des paramètres comparables. Le modèle VBG, pour Von Bertalanffy Growth Model, va nous permettre de comparer trois paramètres essentiels : K (vitesse de croissance), Linf (taille théorique maximum) et L0 (longueur théorique à l'âge 0). Ils seront les descripteurs d'une courbe de type logarithmique qui viendra épouser au mieux notre modèle réaliste (Fig.24).

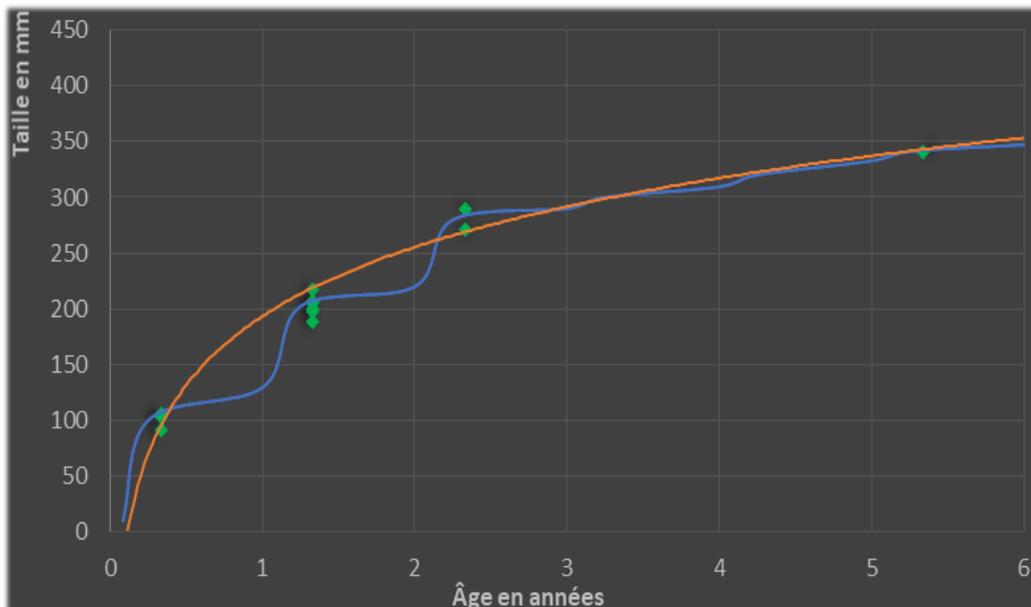


Figure 24 : Comparatif des deux modèles pour la station Pontempeyrat,

losanges verts pour les tailles observées ; courbe bleue du modèle réaliste ; courbe orange du modèle VBGM

Comme on peut le voir sur la Figure 24, l'information accélération/arrêt de croissance est perdue sur le modèle VBGM. En revanche, on note que l'efficacité est toujours présente, chaque point réel reste placé de manière cohérente sur la courbe orange tout comme c'était le cas pour notre modèle réaliste. On obtient donc un modèle qui lisse la croissance et lui donne un aspect continu, mais qui va permettre une comparaison via des paramètres entre stations et rivières. Ce dernier point est très important pour la suite et pour comprendre comment est impactée la croissance.

## Description des paramètres du modèle de VBGM

Les paramètres suivants correspondent à :

- $L^\infty$  correspond à la valeur de taille pour laquelle le taux d'accroissement est nul. C'est donc la taille moyenne de plein potentiel atteignable pour l'organisme si les conditions de vie le permettent (vie assez longue, nourriture et espace suffisants, ...). Pour l'ombre, cette taille  $L^\infty$  de plein potentiel est pertinente puisque que des individus de 4 à 5 ans atteignent ces tailles moyennes maximales. Pour exemple,  $L^\infty$  a pour valeur 398 mm pour la station de Menat sur la Sioule et un individu de 397 mm à l'âge de 4 ans et 3 mois y a été pêché. De même, sur l'Alagnon au niveau du Stade d'Auzat-la-Combelle, on obtient une valeur pour  $L^\infty$  de 351 mm et un ombre de 4 ans et 4 mois mesurait 338 mm. En prenant en compte l'espérance de vie qui est estimée à 6 ans pour l'espèce, on peut dire que l'ombre possède une croissance lui permettant d'atteindre la  $L^\infty$  donnée par le VBGM.
- Le paramètre  $K$  est lui décrit comme étant une constante caractéristique de la croissance indiquant la vitesse à laquelle la taille se rapproche de la  $L^\infty$ . Ce n'est pas un taux de croissance puisque la nature de la formule fait que son unité est de type  $\text{temps}^{-1}$  ; or, un taux de croissance possède une unité du type  $\text{mètre}.\text{temps}^{-1}$  par exemple. Le  $K$  définit plutôt la vitesse d'approche de la taille maximale,  $L_{\text{inf}}$ . Plus sa valeur est élevée, plus la phase asymptotique de la courbe du VBGM est atteinte rapidement.
- Enfin, la  $L_0$  correspond à la taille hypothétique de l'organisme à  $t_0$ . Dans notre cas, le  $t_0$  serait plutôt défini par l'éclosion puisque l'âge défini via lecture des écailles a été calculé à partir de la date d'éclosion théorique fixée à l'aide des données de température des stations.

Rivières	Stations	K -	K	K +	Linf -	Linf	Linf +	L0 -	L0	L0 +
Alagnon	Château	-2,09	1,13	2,77	240,91	357,00	473,09	-1562,38	-116,17	1330,05
Alagnon	Stade	0,58	0,77	0,92	306,25	351,74	397,22	6,16	68,42	130,67
Ance	Raffiny	0,41	0,45	0,47	369,54	412,86	456,18	31,39	50,90	70,42
Ance	Pontempeyrat	0,47	0,51	0,55	328,72	366,37	404,02	26,37	49,03	71,69
Dore	Marsac	0,40	0,46	0,49	245,65	422,57	599,49	12,09	49,20	86,31
Dore	Job/Marat	0,47	0,55	0,61	318,91	373,09	427,28	9,46	47,89	86,32
Sioule	Châteauneuf	0,42	0,66	0,85	406,49	463,12	519,76	-211,99	-20,00	171,99
Sioule	Menat	0,70	0,94	1,16	369,37	398,03	426,70	-228,95	-70,75	87,45
Alagnon	Toutes	0,56	0,74	0,87	322,68	365,45	408,23	-4,32	63,02	130,37
Ance	Toutes	0,45	0,47	0,50	365,27	394,91	424,54	32,68	48,27	63,85
Dore	Toutes	0,51	0,56	0,60	335,84	377,55	419,27	22,84	44,53	66,22
Sioule	Toutes	0,53	0,66	0,78	408,78	444,78	480,78	-82,89	6,55	95,99

Tableau 5 : Paramètres de croissance du VBGM, les colonnes (-) correspondent aux bornes à 2.5% et les colonnes (+) correspondent aux bornes à 97.5% pour un risque total  $\alpha$  de 5%, les colonnes du milieu sont donc les valeurs moyennes de chaque paramètre.

Pour la suite du rapport et notamment pour les comparaisons de valeur des paramètres, la station au niveau du **Château** de Charbonnier-les-mines a été retirée du jeu de données. Comme on peut le voir, l'intervalle de confiance est trop important dû à la mauvaise répartition des classes d'âge des poissons prélevés (11 d'âge 1+, 2 d'âge 2+ et un seul 3+) (Tab.5).

## Comparaison du paramètre L0

### Entre Rivières

Un ajustement a été réalisé par cours d'eau (Fig.26), Ce sont les rivières Alagnon et Sioule qui ont la plus forte dispersion des valeurs, ceci est lié à de grandes différences de taille pour les classes d'âge les plus jeunes. Les valeurs moyenne de L0 sont assez proches sur la DORE, l'Ance du Nord et l'Alagnon et très nettement plus faible pour la Sioule.

### Entre Stations

Cette forte dispersion constatée sur la Sioule se confirme lorsque l'on analyse le paramètre L0 (Fig.27) par station, les box plots les plus étendues et les plus faibles sont respectivement la Sioule à Menat (aval et la Sioule à Châteauneuf les bains.

Pour toutes les autres stations les valeurs moyennes de L sont très proches alors que les stations ont des caractéristiques différentes (altitudes, pk...).

Valeur de L0 pour les différentes rivières

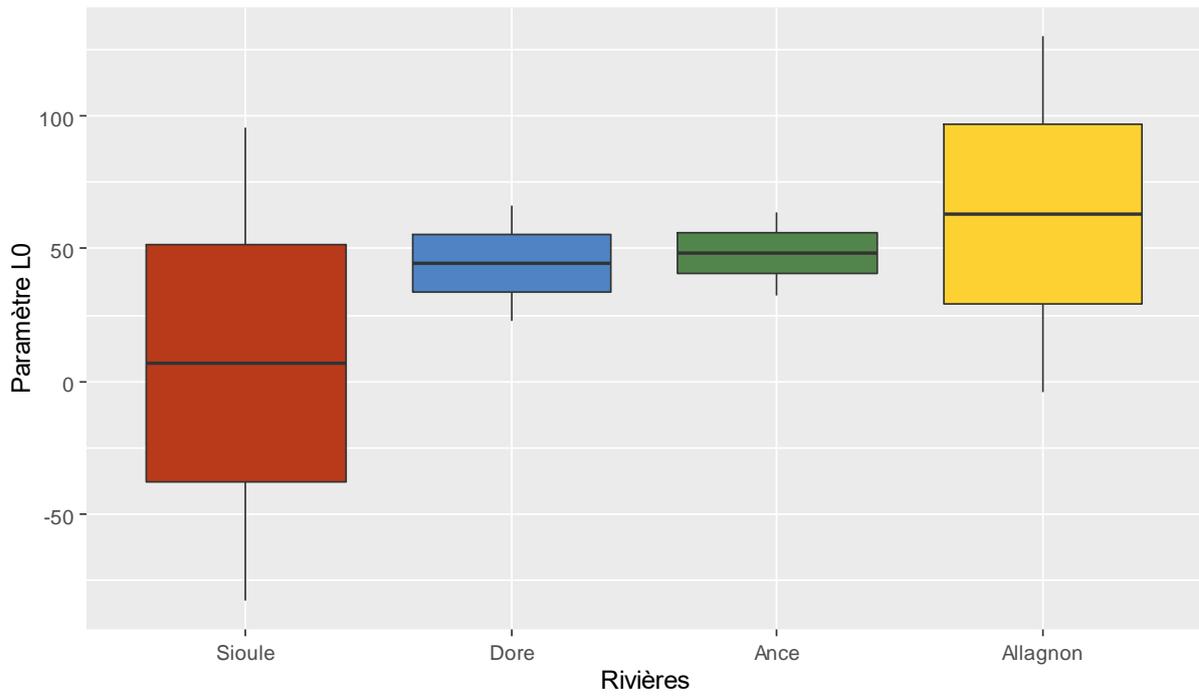


Figure 25 : Evolution du paramètre L0 sur les rivières de l'étude

Valeur de L0 pour les différentes stations

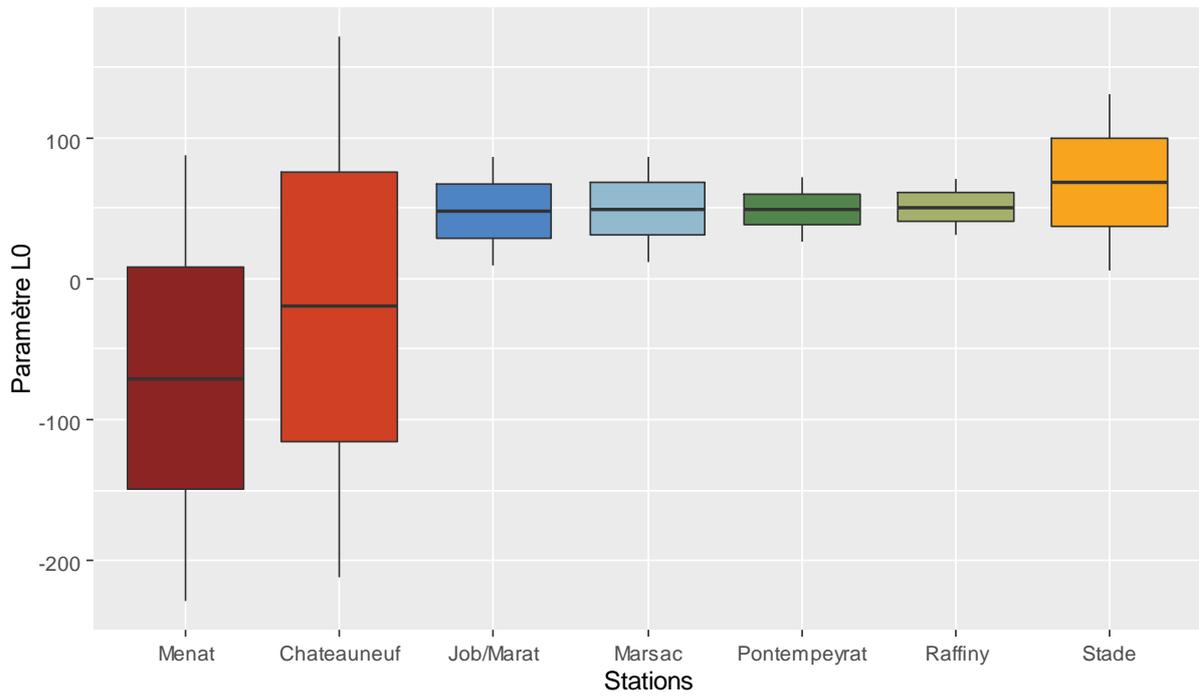


Figure 26 : Evolution du paramètre L0 sur les stations de l'étude

## Comparaison du paramètre K

Comme nous l'avons dit précédemment, ce paramètre K correspond à une vitesse de croissance.

### Entre Rivières

Ce paramètre est très différent suivant les cours d'eau (Fig.28), il est le plus faible sur l'Ance du Nord et le plus fort sur l'Alagnon. De même les valeurs extrêmes (min et max) augmentent comme le paramètre K. La vitesse de croissance augmente la disparité de taille entre les plus grands et les plus petits d'une même classe d'âge.

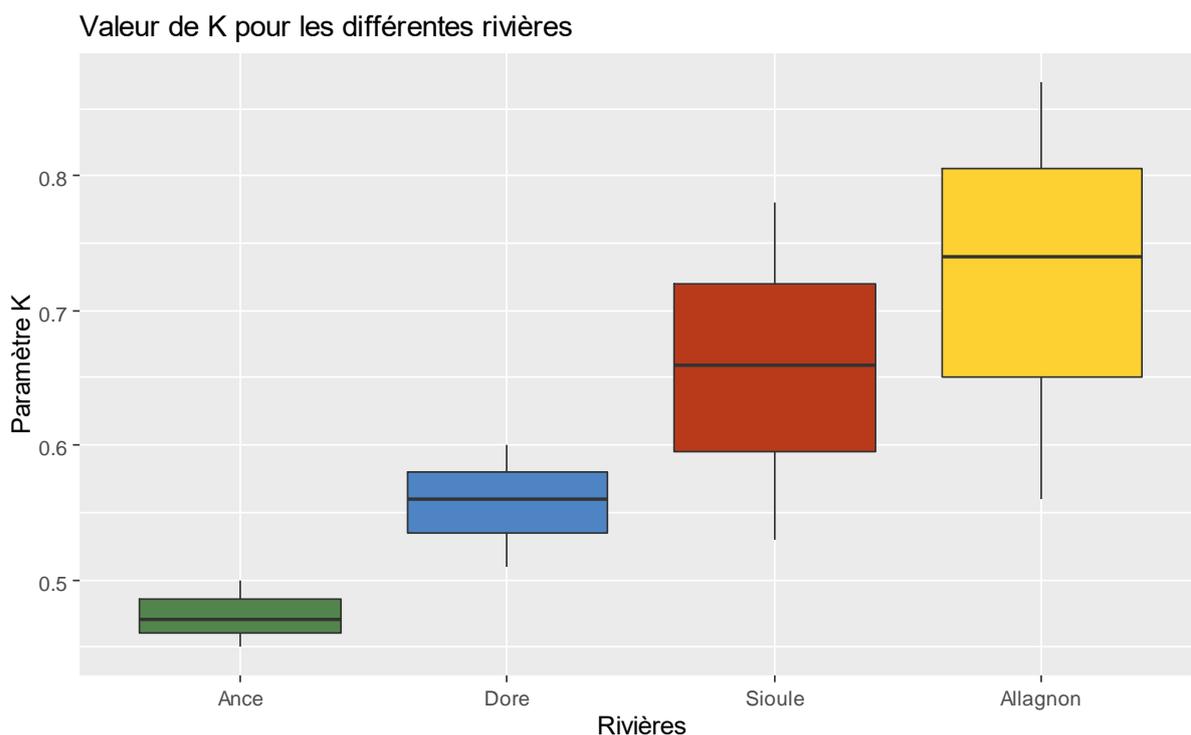


Figure 27 : Evolution du paramètre K sur les rivières de l'étude

### Entre Stations

Entre station (Fig.29) les valeurs de K sont sensiblement modifiées. La plus faible vitesse de croissance correspond à la station de Raffiny sur la Rivière Ance du Nord, la plus forte à Menat sur la Rivière Sioule. Les rivières avec la plus grande vitesse de croissance sont l'Alagnon et la Sioule.

La dispersion des tailles sur les stations à fort K se confirme également sur les stations, respectivement faible dispersion pour les stations à faible K, forte dispersion pour les K importants.

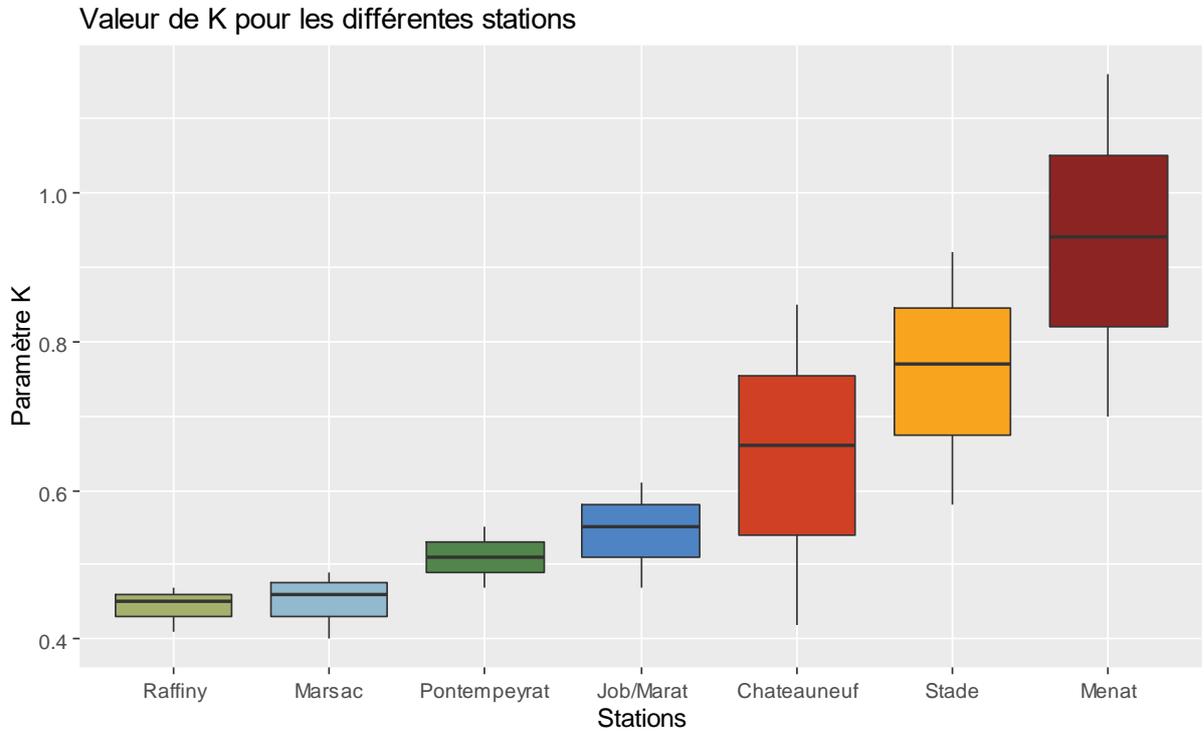


Figure 28 : Evolution du paramètre K sur les stations de l'étude

## Comparaison du paramètre L infini ( $L^\infty$ )

Outre le potentiel d'atteinte de la croissance maximale, les valeurs obtenues peuvent être très influencées par la représentativité des classes de tailles capturées et également par la valeur de K. Ainsi le faible nombre d'individus âgés sur les stations Allagnon et Dore incite à considérer les valeurs obtenues avec prudence.

### Entre Rivières

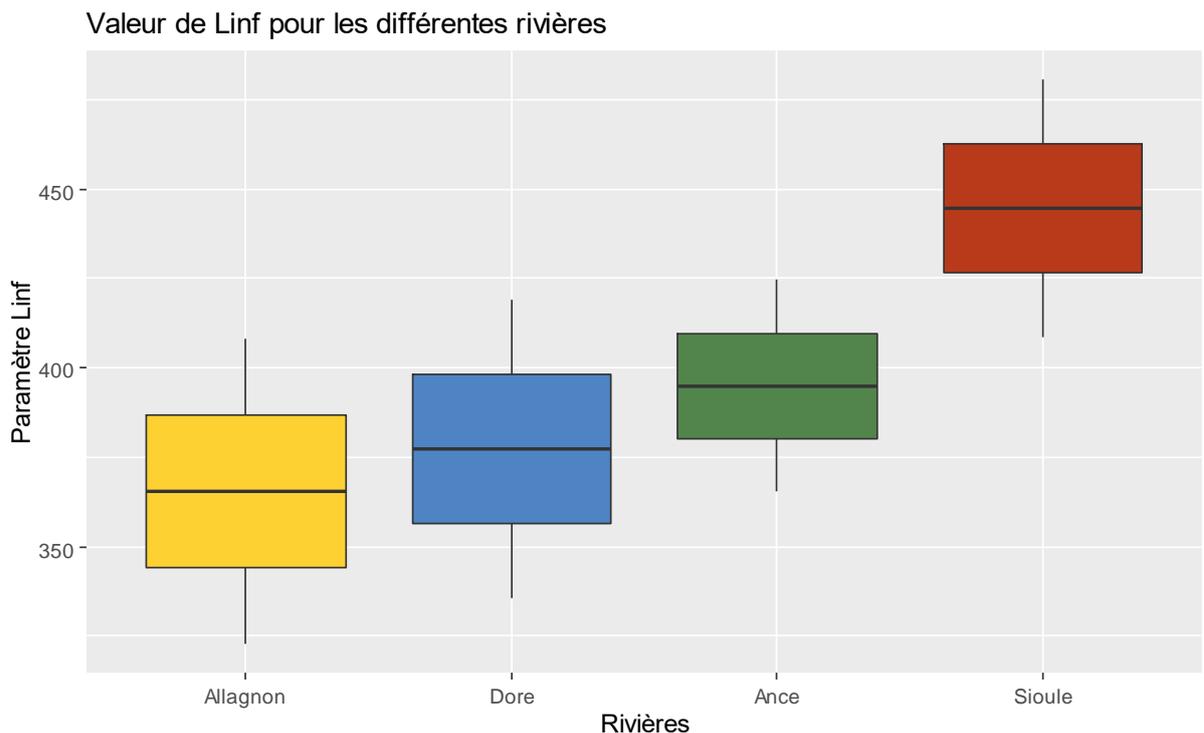


Figure 29 : Evolution du paramètre  $L^\infty$  sur les rivières de l'étude

Dore et Ance du Nord atteignent des  $L^\infty$  assez importantes malgré un K assez faible (Fig.30). Ceci est théorique car il faudrait que des individus vivent assez vieux pour atteindre des tailles importantes. Même si l'âge maximum rapporté est de 14 ans (Muus et Dahlström 1968) la plupart des individus dépassent rarement l'âge de 6 ans.

Sur l'Alagnon, malgré un K important la longueur infinie théorique demeure assez faible, ceci est vraisemblablement lié à l'absence d'individus âgés dans les individus capturés.

## Entre Stations

Pour trois stations les valeurs de  $L^\infty$  sont assez faibles (Fig.31), il s'agit de l'Alagnon, l'Ance à Pontempeyrat et la Dore à Job. Les deux stations de la Sioule ainsi que l'Ance du Nord à Raffiny permettent en théorie d'atteindre des valeurs de  $L^\infty$  assez importantes. Pour la Dore à Marsac la dispersion des valeurs est telle qu'il est difficile d'interpréter les résultats.

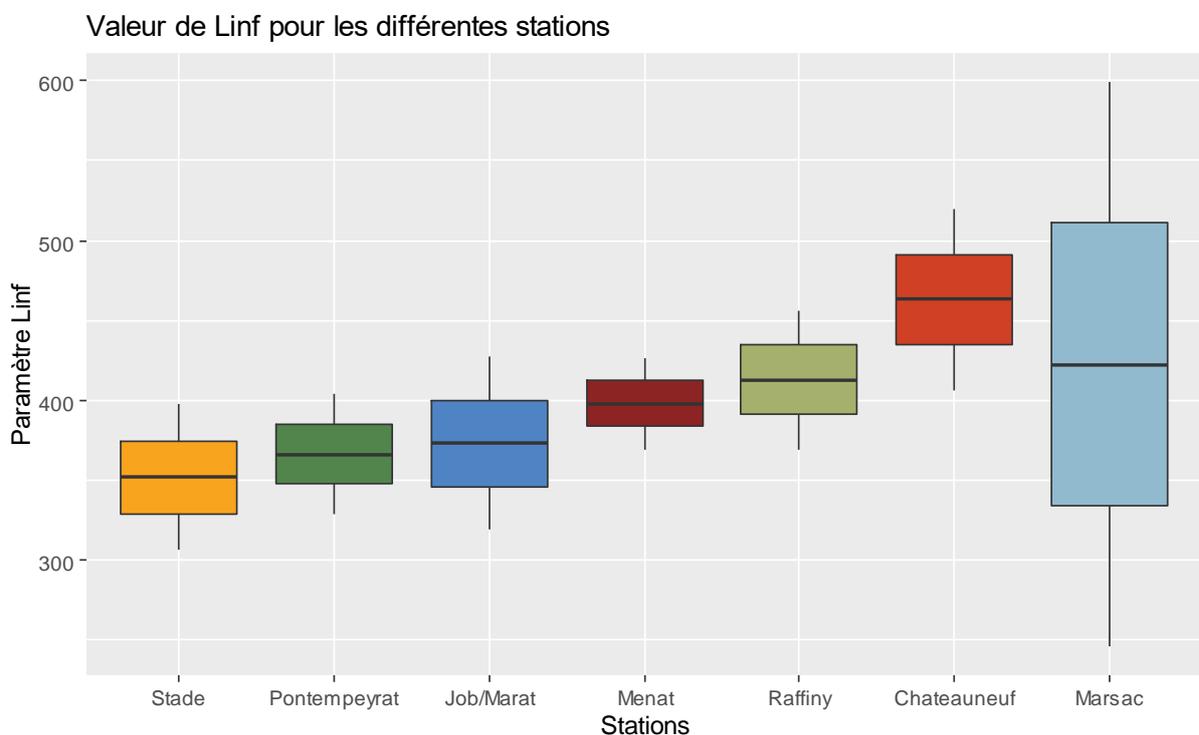


Figure 30 : Evolution du paramètre  $L^\infty$  sur les stations de l'étude

La figure suivante (Fig.31) permet de visualiser les courbes de croissances, issues des différentes rivières, obtenues par l'application du VBGF. L'ensemble des commentaires précédents se trouvent résumé dans ces courbes.

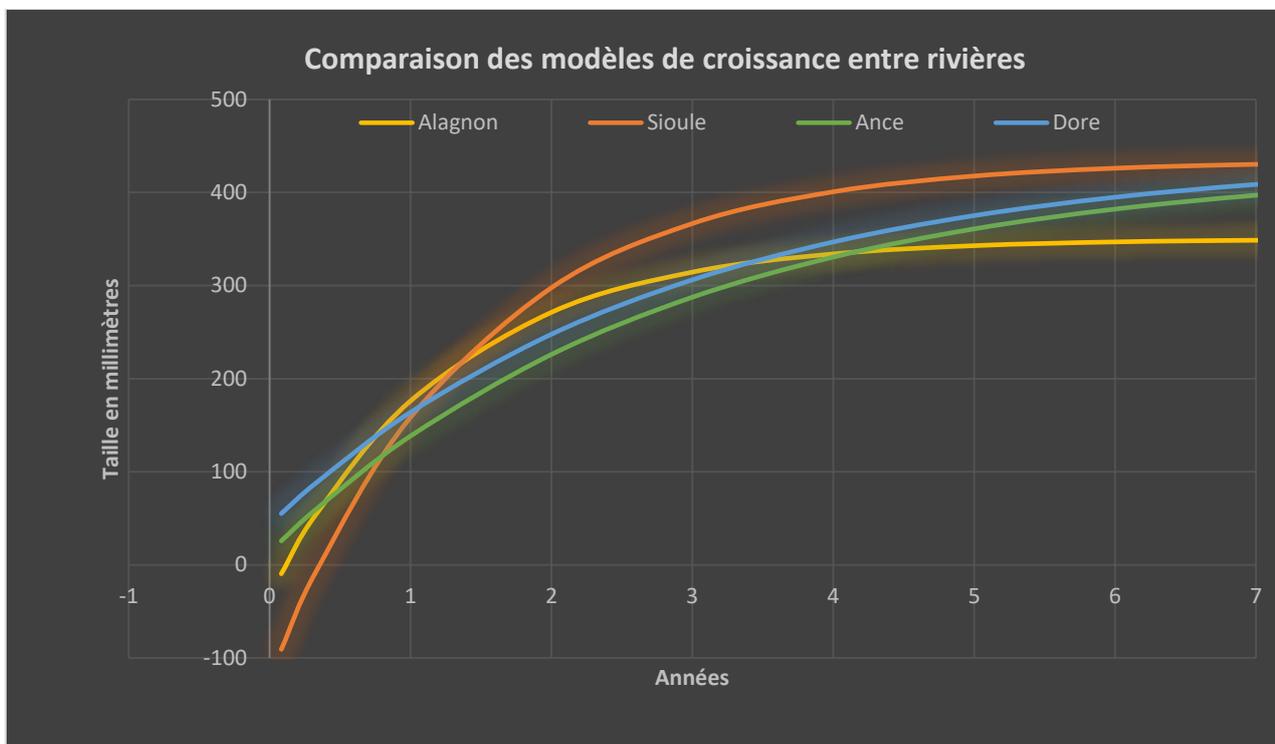


Figure 31 : Comparaison des modèles de croissance entre rivières

## Analyse des relations croissance et caractéristiques environnementales

Comme nous l'avons vu, il existe une grande disparité dans les paramètres permettant d'objectiver la croissance, nous avons cherché à savoir quels étaient les paramètres environnementaux qui influent le plus ceux-ci. Nous avons donc analysés des paramètres de faciès, de granulométrie, d'hydrologie, de physico chimie et de thermie.

Synthèse de critères utilisés pour l'ACP					
Croissance	Thermie	Physico chimie	Caract du BV	Faciès	Granulométrie
K	T° moy. Année	pH	Module	Fosse de dissip.	D
Linf	T° moy. J. min	O2 (mg/L)	Lame d'eau	Mouille conca.	R
Lo	T° moy. J. max	Conducti. µS	Dist. Source	Fosse d'aff.	B
	30j T°max	Dureté	Pente %	Chenal Lot.	PG
	% J. T° growth	PO4	Largeur (m)	Plat courant	PF
	% J. 16<T<18°C	NO2	Profondeur (m)	Plat Lentique	CG
	% J. T° < 4,5°C	NO3	Altitude (m)	Radier	CF
	% J. T° > 21°C	NH4		Rapide	GG
	Ponte théo				GF
	J. incubation				SG
	Eclosion théo				SF
					L

Tableau 6 : Elément analysés pour l'Analyse en Correspondance Principale

La croissance des poissons est un élément essentiel pour caractériser leur optimum vital, l'intérêt est donc de connaître les stations où l'ombre commun est dans son optimum et quels sont les paramètres les plus influents.

## Influence des faciès

Les deux premiers axes expliquent 58.7 % de la variance. Le premier axe correspond à une discrimination faciès lotiques et faciès lentiques (32.2%), le second est tiré par des différences de profondeur associés à une dynamique de courant (Fig.32). Ces différences de faciès permettent de montrer les principales caractéristiques d'habitat des différentes stations qui nous ont permis de capturer des échantillons :

- La Dore (Job et Marat) faibles profondeurs et faciès lotiques
- La Sioule caractérisé par des courants
- Pontempeyrat faciès lentiques
- Raffiny caractérisée par des mouilles
- L'alagnon faciès de faible profondeur pour la station Château et zones profondes et lentiques pour la station stade

### PCA – Biplot

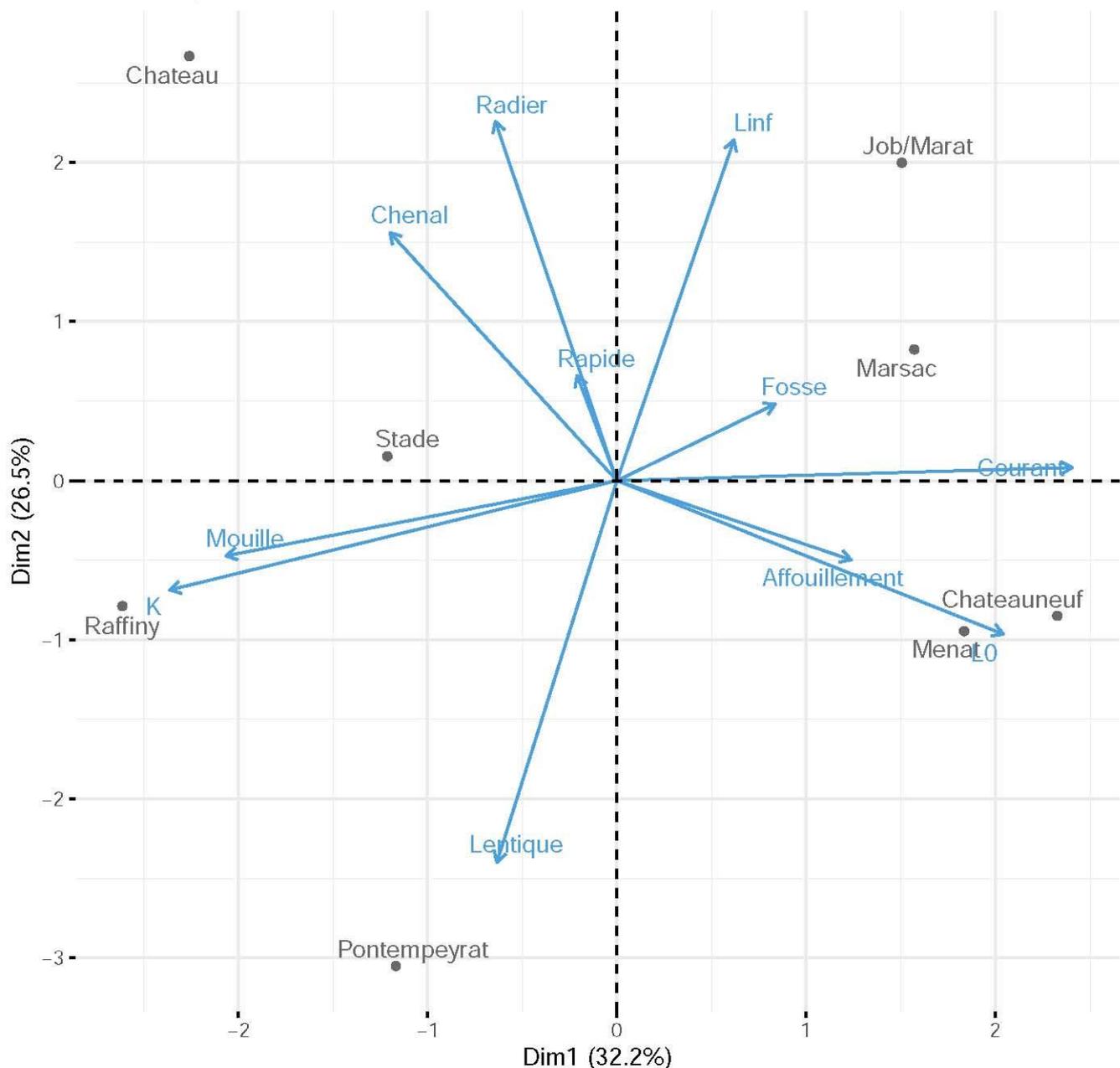


Figure 32 Représentation biplot de l'ACP faciès.

Ceci ne permet que de caractériser les tendances des stations et non les zones de capture des ombres communs. L'important est d'avoir des stations avec une diversité d'habitat et surtout une succession de faciès rapides et de zones plus profonde.

Il est par contre certainement délicat d'associer des habitats préférentiels sur les paramètres de croissance. En effet ce ne sont que des tendances d'habitats, mais l'ombre n'est présent que parce que la station présente une diversité de faciès.

### Influence de la granulométrie

Les deux premiers axes expliquent 54.4 % de la variance (Fig.33), cette valeur assez faible signifie que ce paramètre n'est pas très discriminant. En effet la granulométrie est influencée par des paramètres physiques (pente, vitesse de courant) ils sont donc accessoire dans l'explication de la croissance. De plus, comme les faciès il est essentiel que cette granulométrie soit diversifiée pour permettre le cycle de vie des poissons (notamment la reproduction), certaines stations, influencées par les faciès et la pente, tendront vers une classe granulométrique sans pour cela influencer sur le potentiel de croissance.

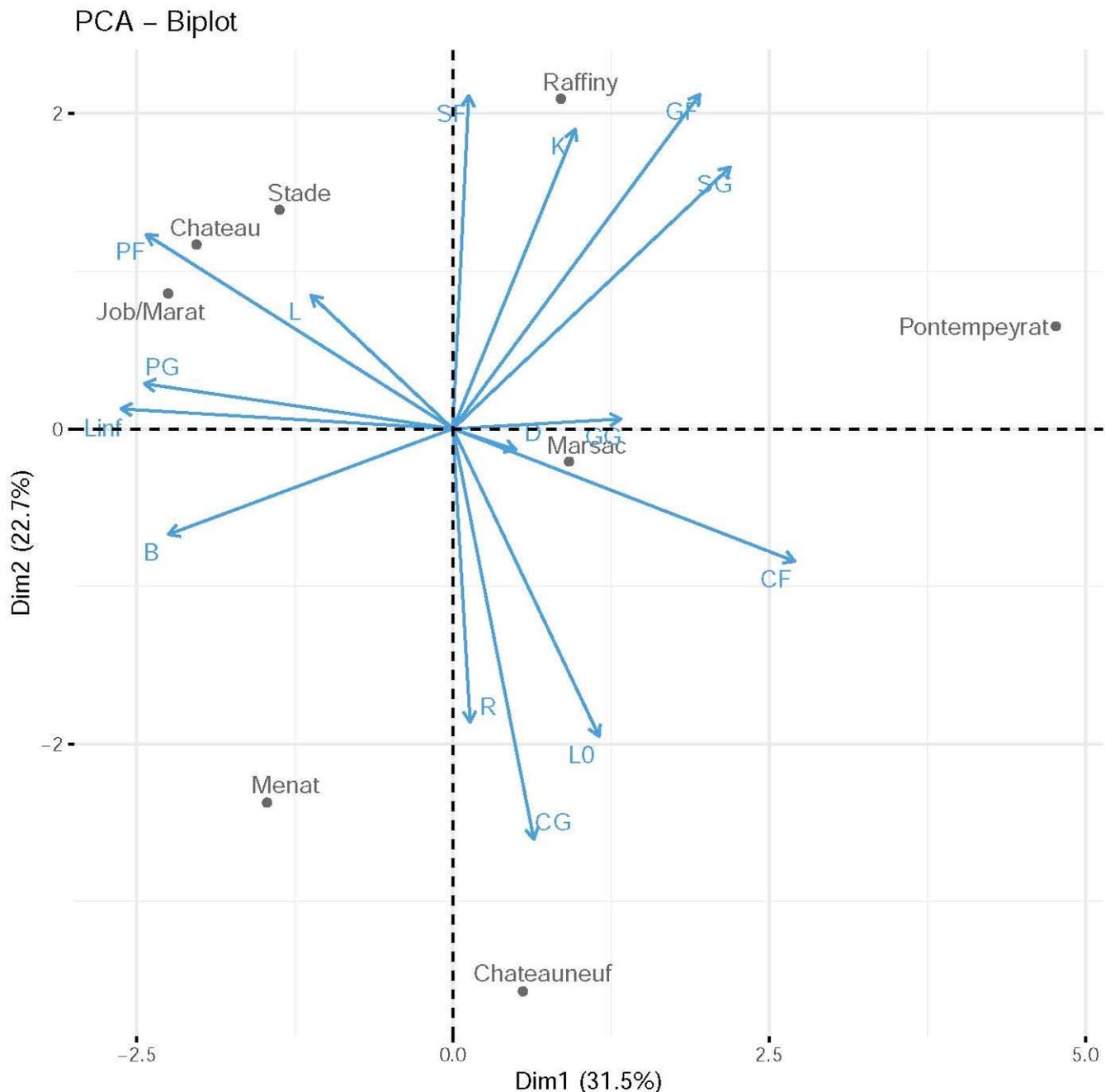


Figure 33 : Représentation biplot de l'ACP granulométrie.

Nous allons donc uniquement caractériser la granulométrie de la station et non des caractéristiques essentielles pour la croissance. Les morphologiques pourront par contre avoir une influence sur la densité

et ou la structure de la population. Mais nos pêches n'ayant pas toutes été effectuées selon des protocoles permettant de calculer des densités nous ne pourrions faire aucune relation statistique.

### Influence des caractéristiques du bassin versant. (Hydro)

Les deux premiers axes expliquent 81.7 % de la variance, ces paramètres sont très discriminants et expliquent statistiquement de nombreux paramètres de croissance (Fig.34)

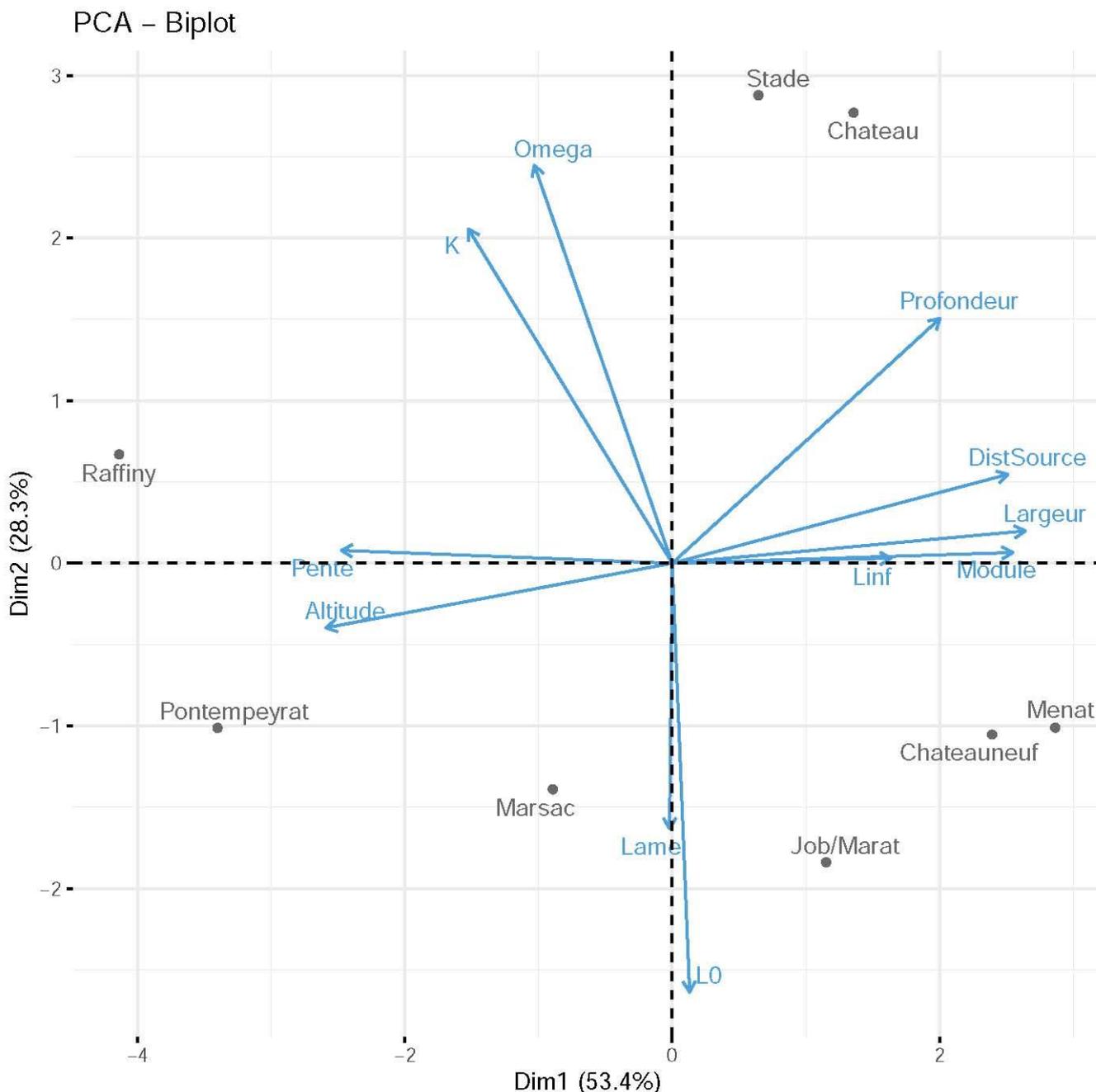


Figure 34 : Représentation biplot de l'ACP caractéristiques du BV

L'axe 1 explique 53.4 % de la variance et tire les stations de la Dore par le paramètre lame d'eau mais peu de stations ni de paramètre de croissance sont tirés sur cet axe si ce n'est la longueur théorique à T0. Les stations de l'Ance du Nord sont définies par une pente forte et une altitude forte, alors que les stations de la Sioule sont définies par une grande distance à la source et donc une forte largeur une forte profondeur et un module important. Les deux stations de l'Alagnon sont caractérisées par une faible lame d'eau et une profondeur assez importante.

L'impact sur les paramètres de croissance oppose L0 aux stations situées sur l'Alagnon, K est tiré par l'axe 1 comme l'Alagnon et le paramètre L $\infty$  par la Sioule. Ce paramètre semble être en concordance avec une forte largeur, un module important une faible pente et une faible altitude.

### Influence de la Physico chimie.

Si les deux axes expliquent 79.1 % de la variance (Fig.35), ils opposent surtout K et L0 sans que des paramètres physico-chimiques ne tirent ces deux paramètres.

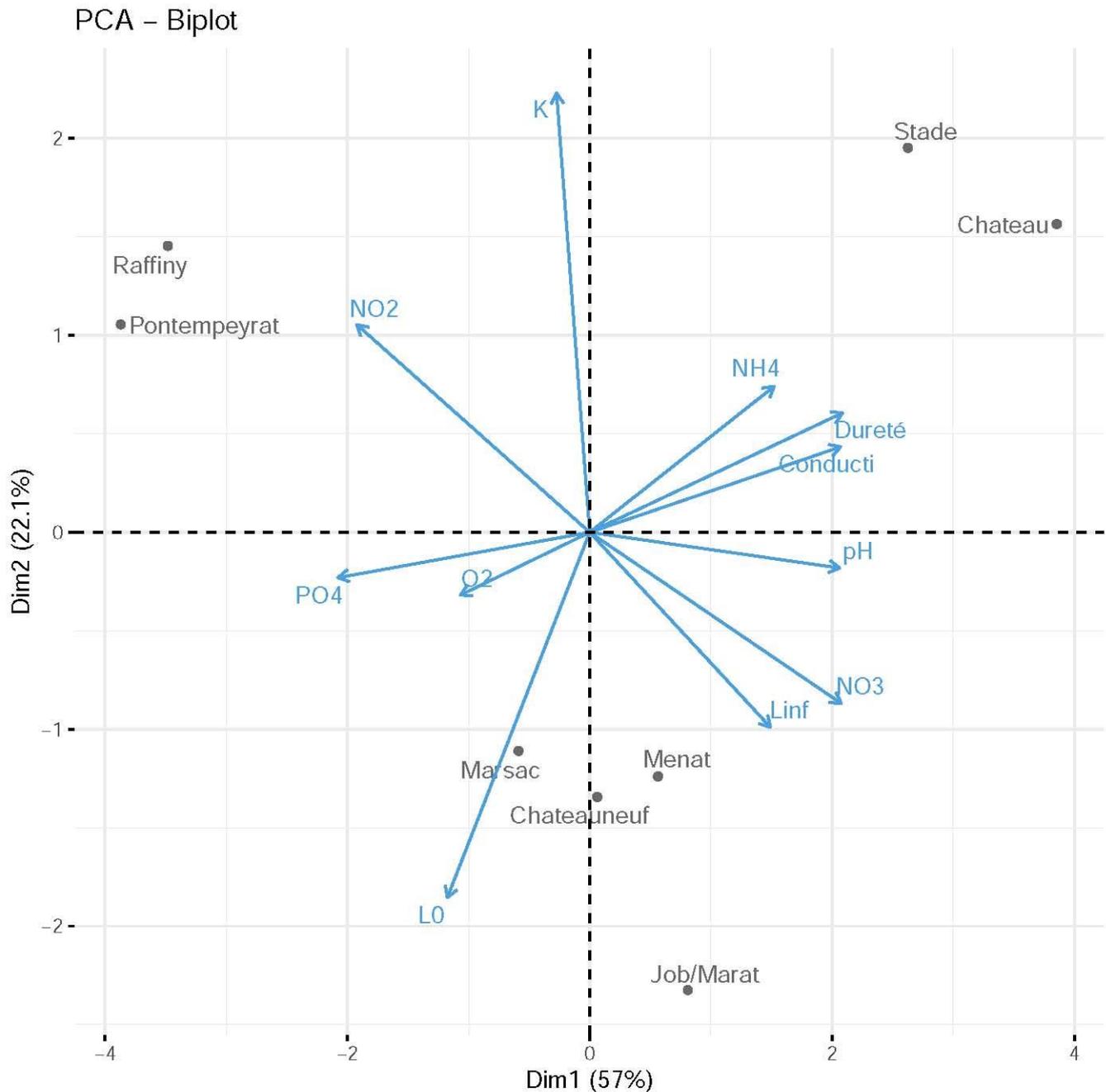


Figure 35 : Représentation biplot de l'ACP de la Physico chimie.

En ce qui concerne les stations l'explication de la variance est de faible significativité on peut définir quelques tendances :

- NO2 définit les stations de l'Ance du Nord
- NH4 et une forte minéralisation les stations de l'Alagnon
- Sioule et Dore ne sont pas particulièrement discriminées par des paramètres physico chimiques

## Influence de la thermie

Les deux axes principaux expliquent 81.2 % de la variance et tirent clairement les stations vers des tendances :

- L'Alagnon est défini par le % de jour où la T° est supérieure à 21 °c , c'est-à-dire le nombre de jour de température limitante et à l'inverse du % de T° favorable à la croissance, c'est une station en souffrance et l'ombre commun est en limite de son seuil de survie.
- L'Ance du Nord et dans une moindre mesure la Dore à Marsac sont caractérisées par des températures plutôt fraîches (% jours <4.5 °c).
- La station de la Dore à Marat est définie par un réchauffement de eaux et la tendance vers un optimum thermique
- Les stations de la Sioule sont caractérisées par des minima de température plus élevés que les autres stations et donc un nombre de jours de croissance optimale maximum.

### PCA – Biplot

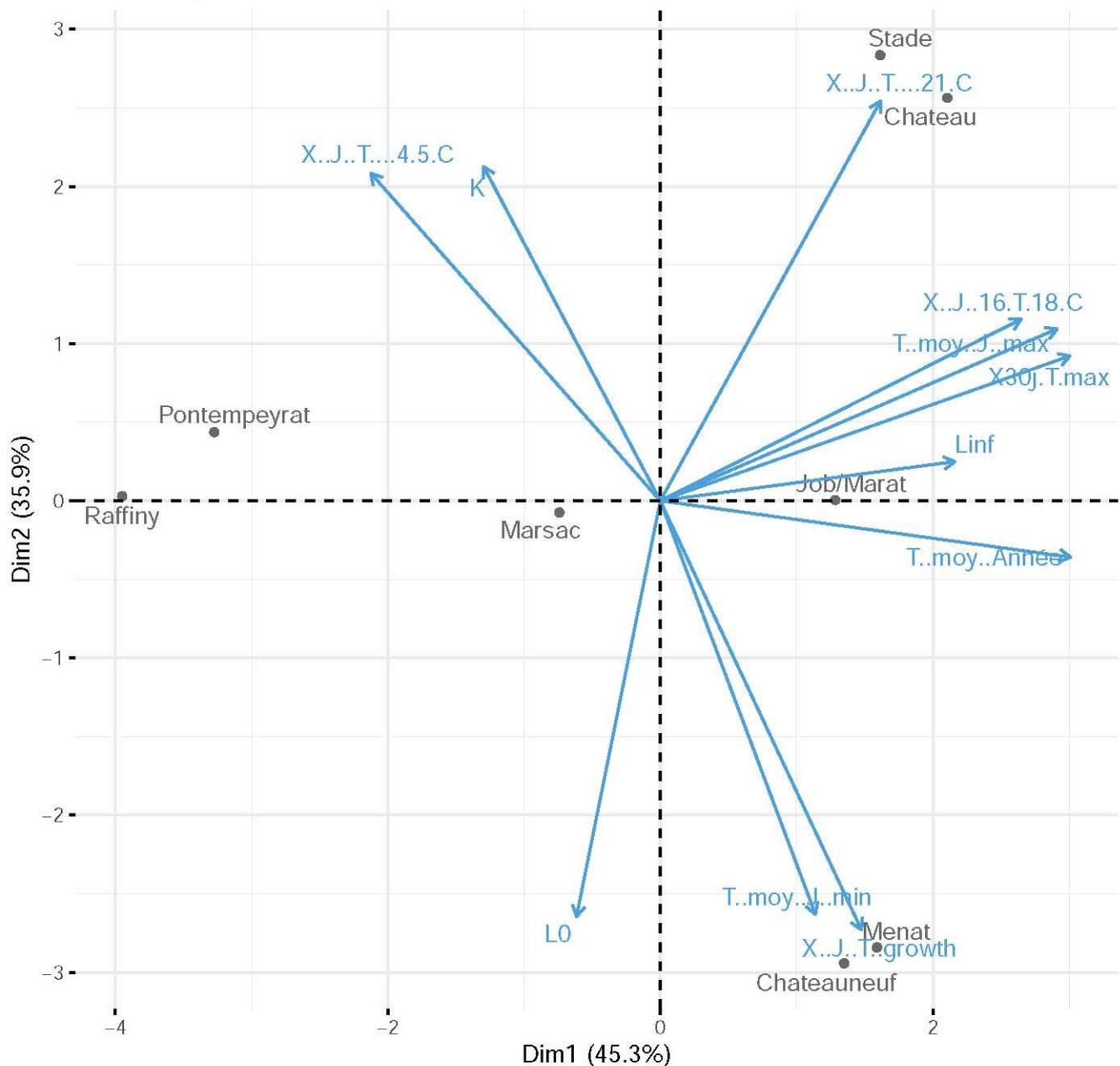


Figure 36 : Représentation biplot de l'ACP thermie

## Identification génétique des populations d'ombre d'Auvergne (*Thymallus ligericus*) du Puy-de-Dôme comparativement aux autres populations ligériennes

Qualité patrimoniale de la lignée élevée à la pisciculture fédérale de Besse-en-Chandesse et impact des repeuplements passés en ombres communs (*T. thymallus*).

Henri PERSAT \*, David Fröhlich \*\* & Steven WEISS \*\*

\* Société Française d'Ichtyologie, 1 rue des Epis 69500 Bron, France

\*\* Université Karl-Franzens, Institut de Zoologie, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz, Autriche



2021

L'analyse génétique fait l'objet d'un rapport spécifique placé à la suite de cette étude.

# Bibliographie

---

- Baglinière J.L., Le Louarn H. (1987) : Caractéristiques Scalimétriques Des Principales Espèces de Poissons d'eau Douce de France. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. 306-39 pp.
- Beaudou D (1988) : Etude de La croissance de La Truite commune dans les départements de l'Auvergne et du Limousin et de ses relations avec les caractéristiques des divers cours d'eau. C.S.P Auvergne Limousin. Rapport 98 p et annexes
- Ogle D. (2013): FishR Vignette - Von Bertalanffy Growth Models.
- Beall E., Davaine P., Bazin d., Blanc J-M. (1992) : Détermination d'un modèle de rétrocalcul pour l'estimation de La croissance de La Truite de Mer (*Salmo Trutta*) à Kerguelen'. 199-210. In *Tissus Durs et Âge Individuel Des Vertébrés*, 459 pp.
- Fédération de pêche 42 (2000) : 'Rapport marquages et recaptures d'ombrets : Aix, Ance Du Nord, Lignon Du Forez. 2000. Rapport 19 p, annexes 5p
- Mallet J.P., Charles S., Persat H., Auger P. (1999): Growth modelling in accordance with daily water temperature in European grayling (*Thymallus Thymallus* L.). 56: 994–1000.
- Meunier F.J. (2002) : Ecailles. 54-64. In *Manuel de Sclérochronologie Des Poissons*. 463 pp.
- Ombredane, D., Baglinière J.L. (1992). Les Écailles et leurs utilisations en écologie halieutique. 151-192. In *Tissus durs et âge individuel des vertébrés*, 459 pp.
- Pauly D. (1984). Fish Growth. In *Fish Population Dynamics in Tropical Waters : A Manual for Use with Programmable Calculators*, 325 pp.
- Persat H (2011) : 'L'ombre Commun, *Thymallus Thymallus*'. 413-415 In *Les Poissons d'eau Douce de France*. Inventaires et Biodiversité, 552 pp.
- Persat H., Grimm J., Weiss S. (2018): Qualité génétique des populations d'ombre commun (*Thymallus Thymallus*) de l'Alagnon (Bassin Loire-Allier)', 2018.
- Persat H., Mattersdorfer K., Charlat S. (2016): Genetic integrity of the european grayling (*Thymallus Thymallus*) populations within the Vienne river drainage basin after five decades of stockings. *Cybium* (40 (1): 7-20.
- Persat H., Weiss S., Froufe E., Secci-Petretto G., Denys G.P.J. (2019): A third European species of grayling (*Actinopterygii*, *Salmonidae*), endemic to the Loire river basin (France), *Thymallus Ligericus* n. Sp. *Cybium*, 43 (3), 233-238.
- Persat H., Winkler K., Schenekar T., Mattersdorfer K., Weiss S. (2013). Diversité génétique des populations d'ombre commun du département de la Haute-Loire. Rapport 28 pp.
- Ricker W.E. (1975): Chapter. 9. Growth in Length and in Weight'. In *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*. 382 pp.
- Sempeski P (1994): 'Sélection et utilisation de l'habitat par les jeunes stades de Poissons d'eau Courante : Le Modèle Ombre Commun (*Thymallus Thymallus* L.). Lyon 1, Thèse 171 pp.
- Francis, R.I.C.C. (1990): Back-calculation of fish length : a critical review. *J.Fish Biol.*, 36 :883-902.
- Gallucci, V.F., Quinn II T. (1979) : Reparameterizing, fitting, and testing a simple growth model. *Trans.of the Am. Fisheries Soc.* 108: 14-25.
- Muus, B.J., P. Dahlström (1968): Süßwasserfische. BLV Verlagsgesellschaft, München. 224 p.

# Annexes 1

## Liste des stations échantillonnées et des poissons capturés

Rivière	N° tube	Taille	Poids	Lieu de prélèvement	coordonnée X station aval	coordonnée Y station aval	coordonnées X station amont	coordonnées Y station amont	Date
Sioule	S1	246	132	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S2	254	155	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S3	252	136	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S4	343	348	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S5	397	518	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S6	349	364	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S7	261	160	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S8	250	144	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S9	263	163	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S10	237	120	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S11	334	332	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S12	341	354	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S13	322	288	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S14	338	350	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S15	255	185	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S16	363	409	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S17	256	162	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S18	346	388	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S19	265	180	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S20	356	368	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S21	337	339	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S22	363	448	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S23	340	328	aval ancien seuil Menat	694612.11749363	6556028.50792906	694580.4308208	6555762.37801601	03/07/2019
Sioule	S24	423	706	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S25	434	689	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S26	341	370	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S27	244	133	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S28	430	665	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S29	263	163	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S30	370	477	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S31	354	398	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S32	356	411	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S33	367	436	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S34	329	293	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
35 o	S35	348	369	aval camping	692269.05938704	6547518.93609843	692244.87013659	6547397.30091114	03/07/2019
Sioule	S36	445		St Cyr			692,64	6547,16	13/06/2017
Sioule	S37	320		St Cyr			692,64	6547,16	13/06/2017
Sioule	S38	350		Servant amont Beau site			696,77	6557,42	26/06/2017
Sioule	S39	430		Mise à l'eau canoë			692,31	6547,59	25/06/2017
Sioule	S40	400		Gaby			693,44	6550,46	24/06/2017
Sioule	S41	360		Champeaux			695,66	6556,48	28/06/2017
Sioule	S42	illisible		Champeaux			695,66	6556,48	24/06/2017
Sioule	S43	420		Champeaux			695,66	6556,48	25/06/2017
Sioule	S44			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017
Sioule	S45			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017
Sioule	S46			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017
Sioule	S47			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017

Sioule	S48			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017
Sioule	S49			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017
Sioule	S50			Mérétiens	693014,28	6547488,05	692660,41	6547499,29	06/09/2017
Dore	D51	87	4,5	job chez Ballut	756057.56580579	6500292.12703605	756070.92190981	6500019.19118775	30/07/2019
Dore	D52	289	189	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D53	272	159	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D54	346	40	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D55	213	72,5	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D56	224	84	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D57	212	74,5	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D58	259	133	job la Chaux	756672.22075629	6499226.01932502	756624.72770592	6499064.71478188	30/07/2019
Dore	D59	208	67,5	pont david amont	752914.45091565	6505491.94805998	753317.69272899	6505353.20930967	27/08/2019
Dore	D60	292	184	pont david amont	752914.45091565	6505491.94805998	753317.69272899	6505353.20930967	27/08/2019
Dore	D61	286	178,5	pont david amont	752914.45091565	6505491.94805998	753317.69272899	6505353.20930967	27/08/2019
Dore	D62	295	220,5	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D63	102	7	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D64	301	211	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D65	291	160	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D66	230	88	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D67	226	82	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D68	125	12	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D69	312	232	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D70	116	9,5	Amont Stade Marsac en Liv	757132.33039001	6487240.27053326	757243.65439134	6487014.58357989	24/09/2019
Dore	D71								
Dore	D72								
Dore	D73								
Dore	D74	250	138	Pont de Suargues ava Masselèbre	757195.4	6484652.2	757196.4	6484365.9	17/09/2020
Dore	D75	296	186	Les Prairies Ambert	757024.2	6494511.3	757151.3	6494386.8	17/09/2020
Dore	D76	299	193	Les Prairies Ambert	757024.3	6494511.4	757151.4	6494386.9	17/09/2020
Dore	D77	331	246	Les Prairies Ambert	757024.4	6494511.5	757151.5	6494386.10	17/09/2020
Dore	D78	306	205,5	Les Prairies Ambert	757024.5	6494511.6	757151.6	6494386.11	17/09/2020
Dore	D79	101	8	Les Prairies Ambert	757024.6	6494511.7	757151.7	6494386.12	17/09/2020
Durolle	D80	176	38	Fellet	738656,38	6528001,96			10/08/2020
Alagnon	Al81	235	105,5	Derrière Stade la Combelle	723288.49758726	6483231.2868935	723438.55291045	6482636.23110437	17/09/2019
Alagnon	Al82	243	106,5	Derrière Stade la Combelle	723288.49758727	6483231.2868936	723438.55291046	6482636.23110438	17/09/2019
Alagnon	Al83	284	174	Derrière Stade la Combelle	723288.49758728	6483231.2868937	723438.55291047	6482636.23110439	17/09/2019
Alagnon	Al84	252	127	Derrière Stade la Combelle	723288.49758729	6483231.2868938	723438.55291048	6482636.23110440	17/09/2019
Alagnon	Al85	235	96	Derrière Stade la Combelle	723288.49758730	6483231.2868939	723438.55291049	6482636.23110441	17/09/2019
Alagnon	Al86	245	116	Derrière Stade la Combelle	723288.49758731	6483231.2868940	723438.55291050	6482636.23110442	17/09/2019
Alagnon	Al87	249	126	Derrière Stade la Combelle	723288.49758732	6483231.2868941	723438.55291051	6482636.23110443	17/09/2019
Alagnon	Al88	314	244	Derrière Stade la Combelle	723288.49758733	6483231.2868942	723438.55291052	6482636.23110444	17/09/2019
Alagnon	Al89	134	17	Derrière Stade la Combelle	723288.49758734	6483231.2868943	723438.55291053	6482636.23110445	17/09/2019
Alagnon	Al90	338	309,5	Derrière Stade la Combelle	723288.49758735	6483231.2868944	723438.55291054	6482636.23110446	17/09/2019
Alagnon	Al91	251	124	Derrière Stade la Combelle	723288.49758736	6483231.2868945	723438.55291055	6482636.23110447	17/09/2019
Alagnon	Al92	336	310	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700853	6479188.74329736	17/09/2019
Alagnon	Al93	284	186	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700854	6479188.74329737	17/09/2019
Alagnon	Al94	237	105,5	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700855	6479188.74329738	17/09/2019
Alagnon	Al95	310	229	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700856	6479188.74329739	17/09/2019
Alagnon	Al96	225	102	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700857	6479188.74329740	17/09/2019

Alagnon	AI97	242	124	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700858	6479188.74329741	17/09/2019
Alagnon	AI98	256	136	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700859	6479188.74329742	17/09/2019
Alagnon	AI99	215	81	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700860	6479188.74329743	17/09/2019
Alagnon	AI100	252	119,5	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700861	6479188.74329744	17/09/2019
Alagnon	AI101	346	315	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700862	6479188.74329745	17/09/2019
Alagnon	AI102	275	165	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700863	6479188.74329746	17/09/2019
Alagnon	AI103	283	197	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700864	6479188.74329747	17/09/2019
Alagnon	AI104	252	131,5	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700865	6479188.74329748	17/09/2019
Alagnon	AI105	250	131,5	Amont Château	722584.25021154	6479381.04323437	722619.43700866	6479188.74329749	17/09/2019
Alagnon	AI106	270		Pont D76	722,73	6479,66	722,74	6479,87	05/10/2019
Alagnon	AI107	278		Pont D76	722,73	6479,66	722,74	6479,87	05/10/2019
Alagnon	AI108	234		Pont D76	722,73	6479,66	722,74	6479,87	05/10/2019
Alagnon	AI109	305		Pont D76	722,73	6479,66	722,74	6479,87	05/10/2019
Ance du Nord	AN110	205	64	Dans village Pontempeyrat	770616.27384114	6472333.65969156	770536.48982472	6472573.01174083	12/09/2019
Ance du Nord	AN111	104	8,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384115	6472333.65969157	770536.48982473	6472573.01174084	12/09/2019
Ance du Nord	AN112	198	58,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384116	6472333.65969158	770536.48982474	6472573.01174085	12/09/2019
Ance du Nord	AN113	289	184,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384117	6472333.65969159	770536.48982475	6472573.01174086	12/09/2019
Ance du Nord	AN114	189	55	Dans village Pontempeyrat	770616.27384118	6472333.65969160	770536.48982476	6472573.01174087	12/09/2019
Ance du Nord	AN115	217	73,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384119	6472333.65969161	770536.48982477	6472573.01174088	12/09/2019
Ance du Nord	AN116	200	57,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384120	6472333.65969162	770536.48982478	6472573.01174089	12/09/2019
Ance du Nord	AN117	106	9,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384121	6472333.65969163	770536.48982479	6472573.01174090	12/09/2019
Ance du Nord	AN118	92	5,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384122	6472333.65969164	770536.48982480	6472573.01174091	12/09/2019
Ance du Nord	AN119	341	292	Dans village Pontempeyrat	770616.27384123	6472333.65969165	770536.48982481	6472573.01174092	12/09/2019
Ance du Nord	AN120	271	159,5	Dans village Pontempeyrat	770616.27384124	6472333.65969166	770536.48982482	6472573.01174093	12/09/2019
Ance du Nord	AN121	207	85	Dans village Pontempeyrat	770616.27384125	6472333.65969167	770536.48982483	6472573.01174094	12/09/2019
Ance du Nord	AN122	103	8	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901154	6488594.66511022	771162.48749203	6488579.11745574	12/09/2019
Ance du Nord	AN123	291	196,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901155	6488594.66511023	771162.48749204	6488579.11745575	12/09/2019
Ance du Nord	AN124	105	7,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901156	6488594.66511024	771162.48749205	6488579.11745576	12/09/2019
Ance du Nord	AN125	217	81,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901157	6488594.66511025	771162.48749206	6488579.11745577	12/09/2019
Ance du Nord	AN126	375	408	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901158	6488594.66511026	771162.48749207	6488579.11745578	12/09/2019
Ance du Nord	AN127	216	80	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901159	6488594.66511027	771162.48749208	6488579.11745579	12/09/2019
Ance du Nord	AN128	348	360,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901160	6488594.66511028	771162.48749209	6488579.11745580	12/09/2019
Ance du Nord	AN129	288	191	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901161	6488594.66511029	771162.48749210	6488579.11745581	12/09/2019
Ance du Nord	AN130	275	164	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901162	6488594.66511030	771162.48749211	6488579.11745582	12/09/2019
Ance du Nord	AN131	319	248,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901163	6488594.66511031	771162.48749212	6488579.11745583	12/09/2019
Ance du Nord	AN132	230	98	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901164	6488594.66511032	771162.48749213	6488579.11745584	12/09/2019
Ance du Nord	AN133	195	57,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901165	6488594.66511033	771162.48749214	6488579.11745585	12/09/2019
Ance du Nord	AN134	95	7,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901166	6488594.66511034	771162.48749215	6488579.11745586	12/09/2019
Ance du Nord	AN135	220	93,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901167	6488594.66511035	771162.48749216	6488579.11745587	12/09/2019
Ance du Nord	AN136	280	177	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901168	6488594.66511036	771162.48749217	6488579.11745588	12/09/2019
Ance du Nord	AN137	344	324	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901169	6488594.66511037	771162.48749218	6488579.11745589	12/09/2019
Ance du Nord	AN138	203	71	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901170	6488594.66511038	771162.48749219	6488579.11745590	12/09/2019
Ance du Nord	AN139	100	6,5	Raffiny Bout du chemin le Soleillant	771070.42901171	6488594.66511039	771162.48749220	6488579.11745591	12/09/2019
Allier	A140	310	/	av PT Pakowsky	721,7	6485,41			09/10/2016
Allier	A141	325	/	av PT Pakowsky	721,7	6485,41			09/10/2016
Allier	A142	240	/	Alcan	721,17	6495,46			01/10/2015
Allier	A143	235	/	Alcan	721,17	6495,46			01/10/2015
Allier	A144	400	/	Alcan	721,17	6495,46			01/10/2015
Allier	A145	240	/	Alcan	721,17	6495,46			01/10/2015

Allier	A146	260	/	Alcan	721,17	6495,46		01/10/2015
Allier	A147	270	/	Alcan	721,17	6495,46		01/10/2015
Allier	A148	277	/	Amont Pt Parentignat	721583,32	6493439,88		oct-17
Allier	A149	270	/	Amont Pt Parentignat	721583,32	6493439,88		oct-17
Allier	A150	370	/	Amont Pt Parentignat	721583,32	6493439,88		oct-17
Allier	A151	288	/	Amont Pt Parentignat	721583,32	6493439,88		oct-17
Allier	A152	306	/	Coudes Perrache	717584,94	6501141,33		nov-18
Allier	A153	261	/	Coudes Perrache	717584,94	6501141,33		nov-18
Allier	A154	285	/	Coudes Perrache	717584,94	6501141,33		nov-18
Allier	A155	312	/	Coudes Perrache	717584,94	6501141,33		nov-18
Allier	A156	370	/	Saut du Loup	723624,37	6483888,8		24/08/2019
Allier	A157	365	/	Saut du Loup	723624,37	6483888,8		24/06/2019
Pisciculture	170	64	1,8					23/10/2019
Pisciculture	171	68	2,2					23/10/2019
Pisciculture	172	57	1,5					23/10/2019
Pisciculture	173	56	1,4					23/10/2019
Pisciculture	174	55	1,2					23/10/2019
Pisciculture	175	63	2,5					23/10/2019
Pisciculture	176	80	4,8					23/10/2019
Pisciculture	177	68	2,1					23/10/2019
Pisciculture	178	55	1,1					23/10/2019
Pisciculture	179	58	1,3					23/10/2019
Pisciculture	180	52	0,9					23/10/2019
Pisciculture	181	76	2,9					23/10/2019
Pisciculture	182	53	1,3					23/10/2019
Pisciculture	183	74	3					23/10/2019
Pisciculture	184	71	2,5					23/10/2019
Pisciculture	185	74	2,5					23/10/2019
Pisciculture	186	75	2,9					23/10/2019
Pisciculture	187	56	1,5					23/10/2019
Pisciculture	188	65	2,1					23/10/2019
Pisciculture	189	85	4,3					23/10/2019
Pisciculture	190	72	2,5					23/10/2019
Pisciculture	191	70	2,2					23/10/2019
Pisciculture	192	78	3,7					23/10/2019
Pisciculture	193	70	2,5					23/10/2019
Pisciculture	194	80	3,6					23/10/2019
Pisciculture	195	65	2,1					23/10/2019
Pisciculture	196	77	3					23/10/2019
Pisciculture	197	70	2,2					23/10/2019
Pisciculture	198	73	2,6					23/10/2019
Pisciculture	199	50	0,9					23/10/2019
Pisciculture	200	87	4,9					23/10/2019
Pisciculture	201	75	2,8					23/10/2019
Pisciculture	202	89	4,7					23/10/2019
Pisciculture	203	70	2,3					23/10/2019
Pisciculture	204	77	3,2					23/10/2019
Pisciculture	205	62	1,6					23/10/2019
Pisciculture	206	54	1,2					23/10/2019
Pisciculture	207	66	1,9					23/10/2019

Pisciculture	208	72	2,4						23/10/2019
Pisciculture	209	70	2,6						23/10/2019
Pisciculture	210	215	93,3						23/10/2019
Pisciculture	211	264	173,4						23/10/2019
Pisciculture	212	249	176,7						23/10/2019
Pisciculture	213	222	108,7						23/10/2019
Pisciculture	214	243	129,9						23/10/2019
Pisciculture	215	224	70						23/10/2019
Pisciculture	216	254	149						23/10/2019
Pisciculture	217	217	102						23/10/2019
Pisciculture	218	200	53,7						23/10/2019
Pisciculture	219	232	114,5						23/10/2019
Pisciculture	220	234	120						23/10/2019
Pisciculture	221	202	57,4						23/10/2019
Pisciculture	222	257	110						23/10/2019
Pisciculture	223	223	91,4						23/10/2019
Pisciculture	224	215	99,4						23/10/2019
Pisciculture	225	265	138,4						23/10/2019
Pisciculture	226	205	65,3						23/10/2019
Pisciculture	227	223	107						23/10/2019
Pisciculture	228	233	135,2						23/10/2019
Pisciculture	229	222	106,6						23/10/2019
Pisciculture	230	376	452,5						23/10/2019
Pisciculture	231	339	376,2						23/10/2019
Pisciculture	232	359	426,7						23/10/2019
Pisciculture	233	360	472,1						23/10/2019
Pisciculture	234	356	405,2						23/10/2019
Pisciculture	235	345	410						23/10/2019
Pisciculture	236	335	388,4						23/10/2019
Pisciculture	237	388	426,1						23/10/2019
Pisciculture	238	366	394,3						23/10/2019
Pisciculture	239	433	797						23/10/2019
Pisciculture	240	378	401,2						23/10/2019
Pisciculture	241	345	324,9						23/10/2019
Pisciculture	242	291	283,5						23/10/2019
Pisciculture	243	380	506						23/10/2019
Pisciculture	244	342	358,6						23/10/2019
Pisciculture	245	297	343,8						24/10/2019
Pisciculture	246	310	376,8						23/10/2019
Pisciculture	247	352	481						23/10/2019
Pisciculture	248	315	350,3						23/10/2019
Pisciculture	249	319	272,6						23/10/2019

## Annexe 2

### Alagnon

#### Château

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	357.00	52.75	6.768	3.08e-05 ***
L0	-116.17	657.08	-0.177	0.863
omega	402.86	411.64	0.979	0.349

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 21.94 on 11 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 0

Achieved convergence tolerance: 1.852e-14

-----

Residual sum of squares: 5290

-----

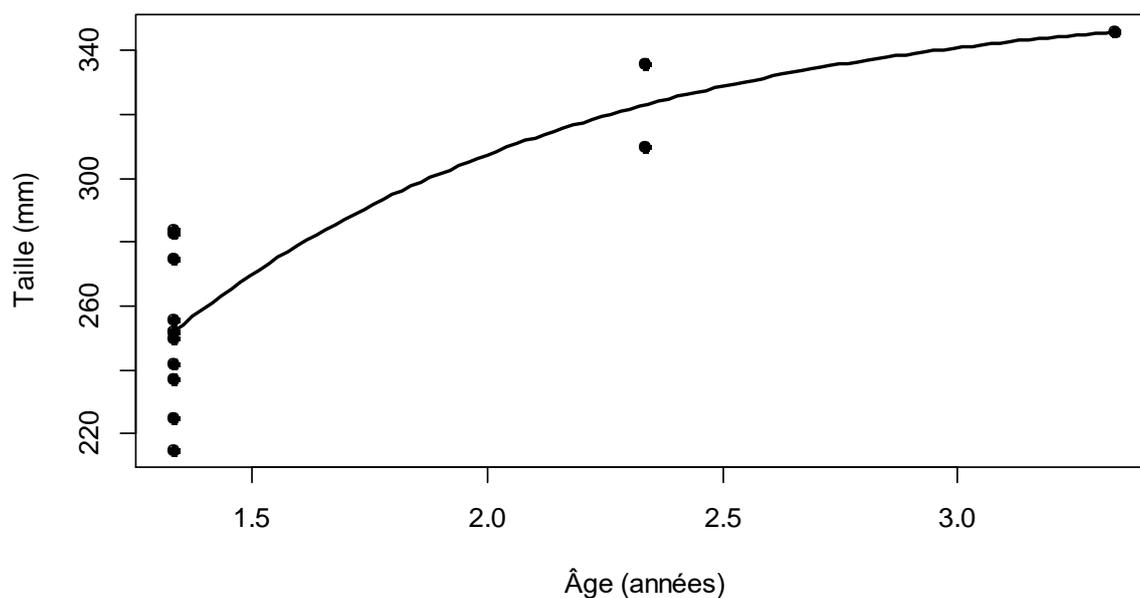
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	240.9071	473.0929
L0	-1562.3801	1330.0483
omega	-503.1569	1308.8811

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.9116973	-0.9316807
L0	0.9116973	1.0000000	-0.9977750
omega	-0.9316807	-0.9977750	1.0000000



## Stade

-----  
Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	351.74	19.72	17.832	1e-07 ***
L0	68.42	27.00	2.534	0.035019 *
omega	270.57	40.89	6.618	0.000166 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.96 on 8 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 4  
Achieved convergence tolerance: 4.49e-07

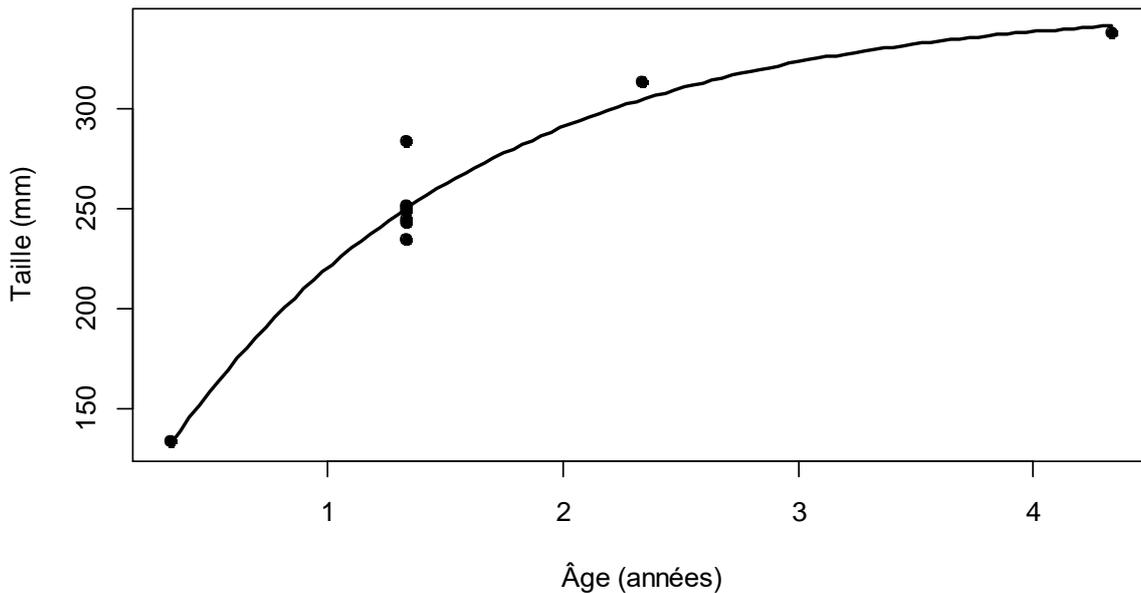
-----  
Residual sum of squares: 1790

-----  
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	306.251987	397.2219
L0	6.163802	130.6687
omega	176.288643	364.8608

-----  
Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.3671392	-0.7312335
L0	0.3671392	1.0000000	-0.8308661
omega	-0.7312335	-0.8308661	1.0000000



# Alagnon Totale

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	365.45	20.63	17.718	1.65e-14 ***
L0	63.02	32.47	1.941	0.0652 .
omega	268.80	42.45	6.332	2.26e-06 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 18.62 on 22 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 5

Achieved convergence tolerance: 3.043e-06

-----

Residual sum of squares: 7630

-----

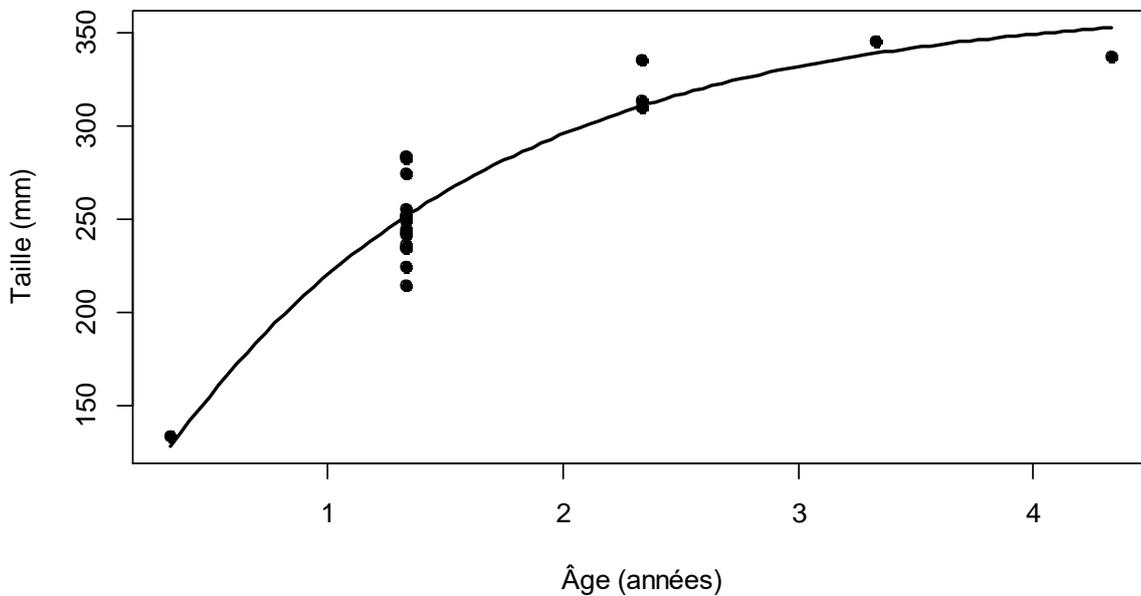
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	322.678355	408.2314
L0	-4.322654	130.3671
omega	180.762811	356.8464

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.4730096	-0.7669475
L0	0.4730096	1.0000000	-0.8916814
omega	-0.7669475	-0.8916814	1.0000000



# Ance du Nord

## Raffiny

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	412.863	20.324	20.31	2.52e-12 ***
L0	50.904	9.155	5.56	5.45e-05 ***
omega	183.984	14.734	12.49	2.50e-09 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11.34 on 15 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 2

Achieved convergence tolerance: 1.202e-08

-----

Residual sum of squares: 1930

-----

t-based confidence interval:

2.5% 97.5%

Linf 369.54367 456.18314

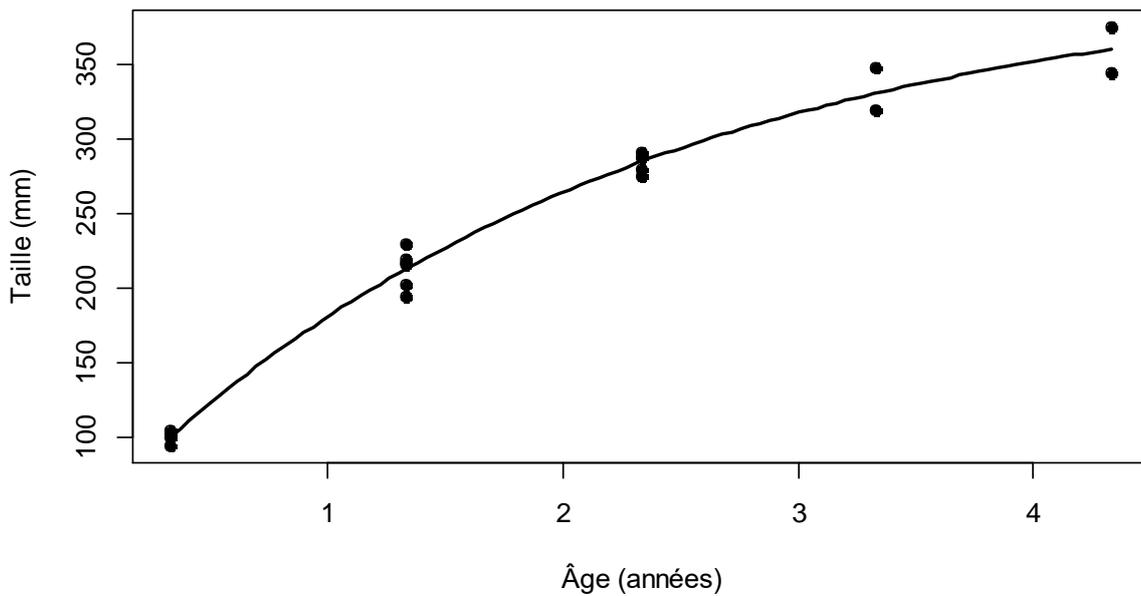
L0 31.39124 70.41739

omega 152.57967 215.38815

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.5672056	-0.8801295
L0	0.5672056	1.0000000	-0.7981722
omega	-0.8801295	-0.7981722	1.0000000



# Pontempeyrat

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	366.37	16.64	22.015	3.89e-09 ***
L0	49.03	10.02	4.894	0.000854 ***
omega	187.60	15.32	12.247	6.47e-07 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 10.6 on 9 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 5

Achieved convergence tolerance: 2.838e-06

-----

Residual sum of squares: 1010

-----

t-based confidence interval:

2.5% 97.5%

Linf 328.72385 404.0179

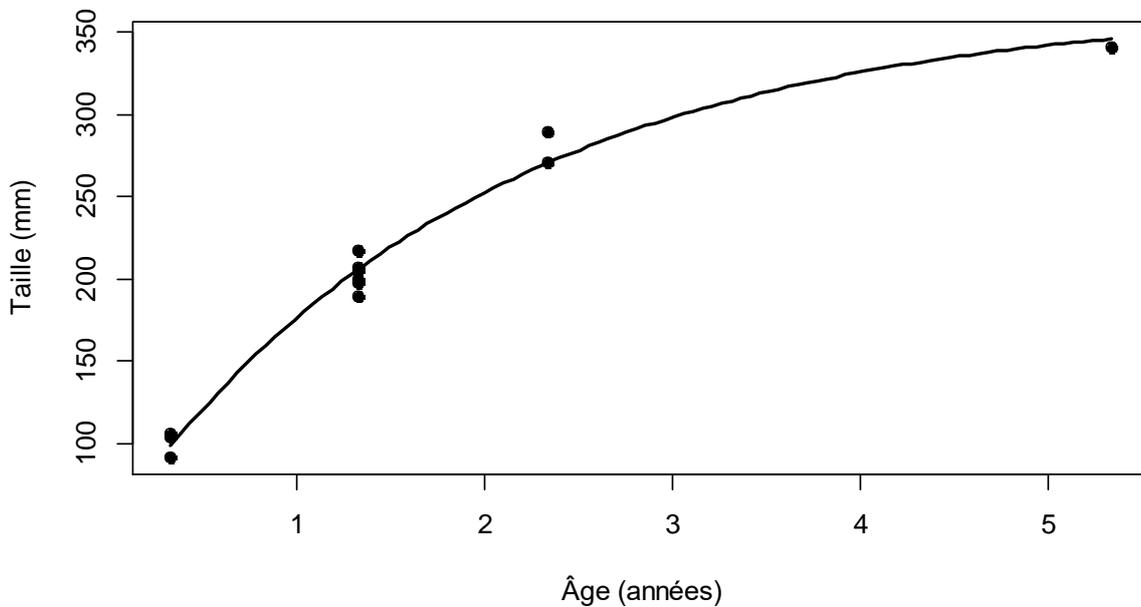
L0 26.36971 71.6929

omega 152.94989 222.2537

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.4023970	-0.7408417
L0	0.4023970	1.0000000	-0.7950802
omega	-0.7408417	-0.7950802	1.0000000



## Ance du Nord Totale

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	394.905	14.442	27.344	< 2e-16 ***
L0	48.265	7.598	6.353	8.40e-07 ***
omega	187.578	11.792	15.907	3.08e-15 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 12.43 on 27 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 5

Achieved convergence tolerance: 1.333e-06

-----

Residual sum of squares: 4170

-----

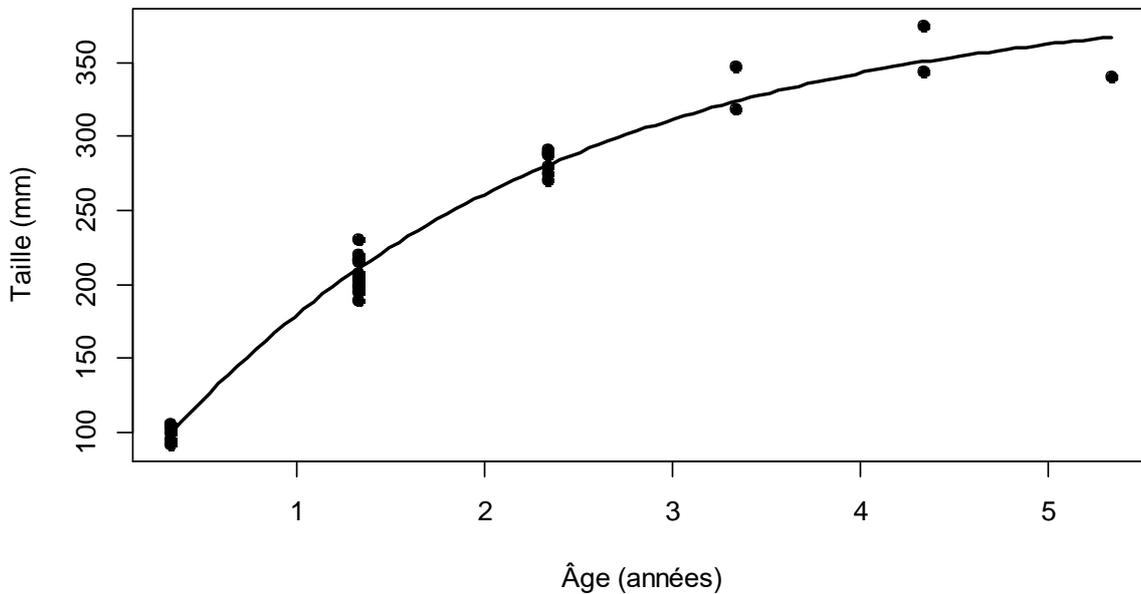
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	365.2722	424.53803
L0	32.6764	63.85414
omega	163.3819	211.77395

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.5071923	-0.8293263
L0	0.5071923	1.0000000	-0.7969124
omega	-0.8293263	-0.7969124	1.0000000



## Dore

### Marsac

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	422.57	72.30	5.844	0.00111 **
L0	49.20	15.17	3.244	0.01759 *
omega	194.42	39.42	4.932	0.00263 **

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.376 on 6 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 0

Achieved convergence tolerance: 5.665e-15

-----

Residual sum of squares: 527

-----

t-based confidence interval:

2.5% 97.5%

Linf 245.64742 599.48578

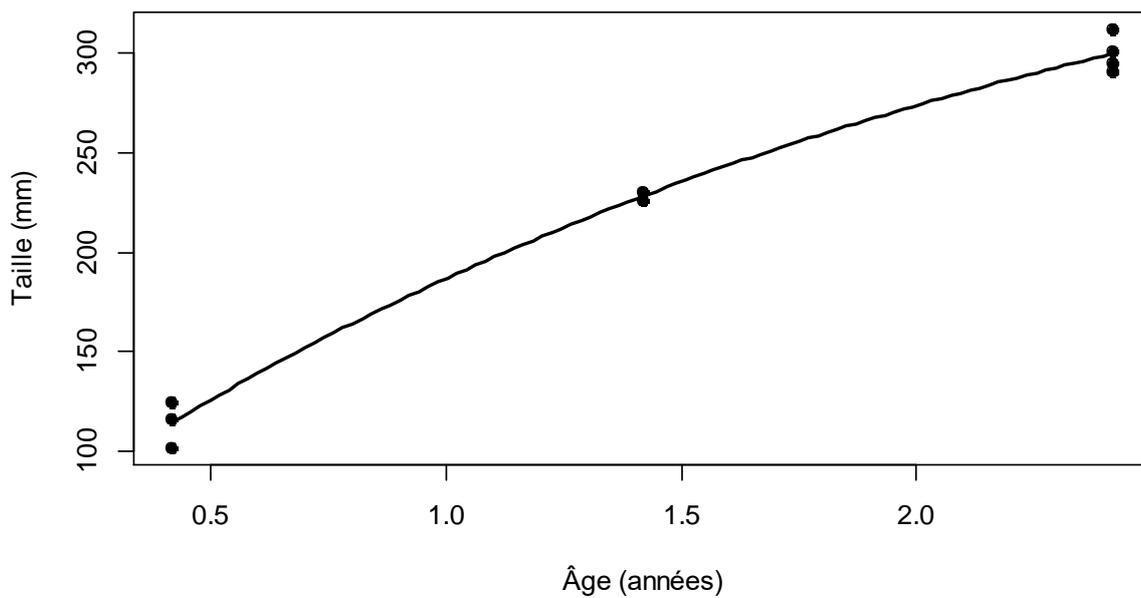
L0 12.09177 86.31043

omega 97.95916 290.87170

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.8301850	-0.9773426
L0	0.8301850	1.0000000	-0.9022341
omega	-0.9773426	-0.9022341	1.0000000



# Job - Marat

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	373.09	23.50	15.878	2.48e-07 ***
L0	47.89	16.67	2.874	0.0207 *
omega	206.03	23.94	8.605	2.58e-05 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11.96 on 8 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 4

Achieved convergence tolerance: 8.876e-07

-----

Residual sum of squares: 1140

-----

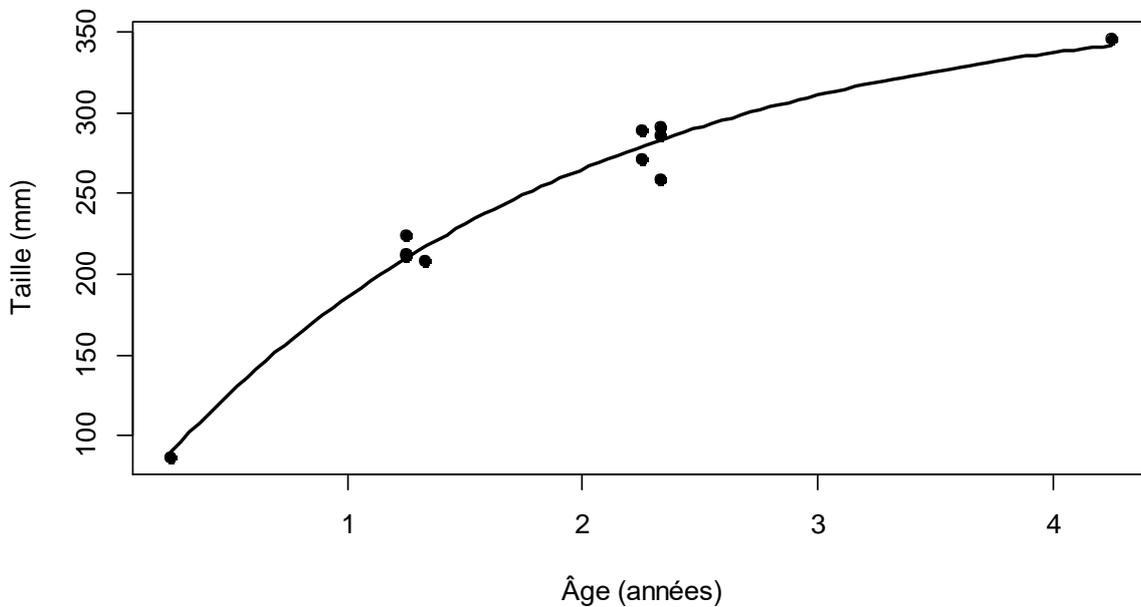
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	318.906485	427.27841
L0	9.458526	86.32083
omega	150.815225	261.24552

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.4952709	-0.8567894
L0	0.4952709	1.0000000	-0.7942799
omega	-0.8567894	-0.7942799	1.0000000



## Dore Totale

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	377.55	19.77	19.095	6.37e-13 ***
L0	44.53	10.28	4.332	0.000453 ***
omega	211.97	18.63	11.377	2.26e-09 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11.03 on 17 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 5

Achieved convergence tolerance: 2.906e-08

-----

Residual sum of squares: 2070

-----

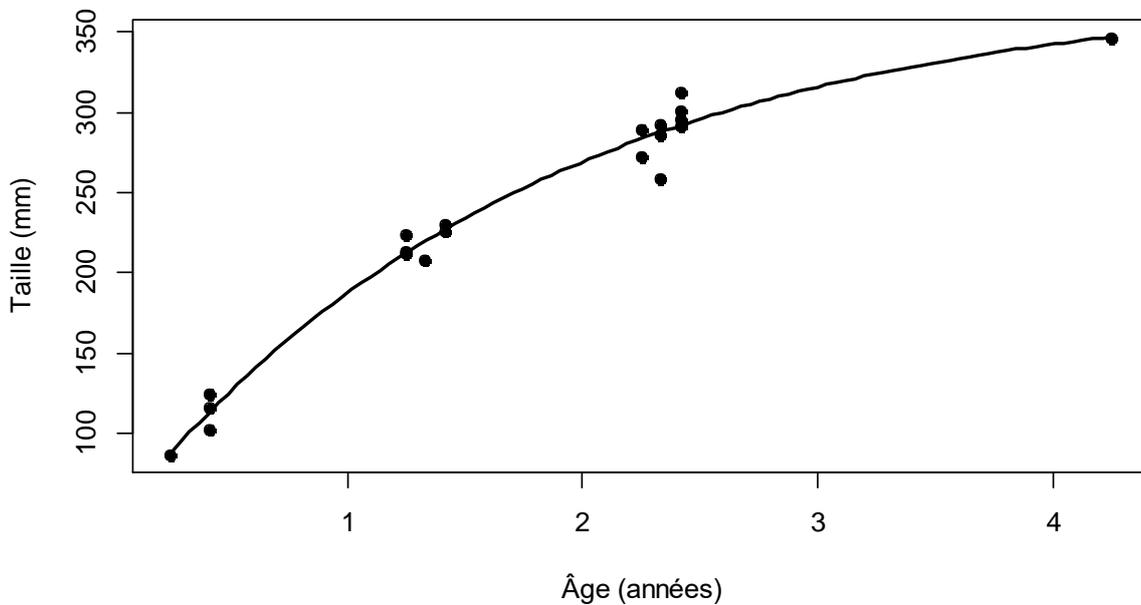
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	335.83612	419.26950
L0	22.84167	66.22401
omega	172.65915	251.27273

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.5896246	-0.9030401
L0	0.5896246	1.0000000	-0.8058705
omega	-0.9030401	-0.8058705	1.0000000



# Sioule

## Chateauneuf

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	463.12	25.04	18.497	1.81e-08 ***
L0	-20.00	84.87	-0.236	0.818999
omega	306.69	59.25	5.176	0.000582 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.3 on 9 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 5

Achieved convergence tolerance: 9.958e-07

-----

Residual sum of squares: 2110

-----

t-based confidence interval:

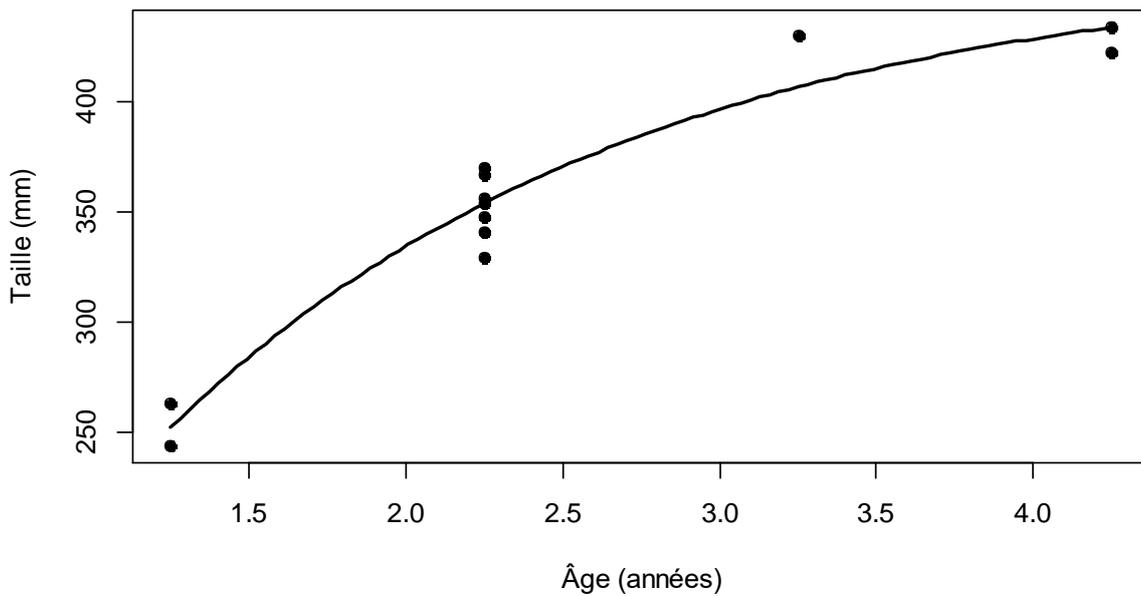
2.5% 97.5%

Linf	406.4854	519.7620
L0	-211.9879	171.9930
omega	172.6612	440.7288

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.7471457	-0.8737273
L0	0.7471457	1.0000000	-0.9600271
omega	-0.8737273	-0.9600271	1.0000000



# Menat

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	398.03	13.74	28.963	< 2e-16 ***
L0	-70.75	75.84	-0.933	0.362
omega	375.80	56.77	6.619	1.91e-06 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 10.18 on 20 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 4

Achieved convergence tolerance: 1.197e-06

-----

Residual sum of squares: 2070

-----

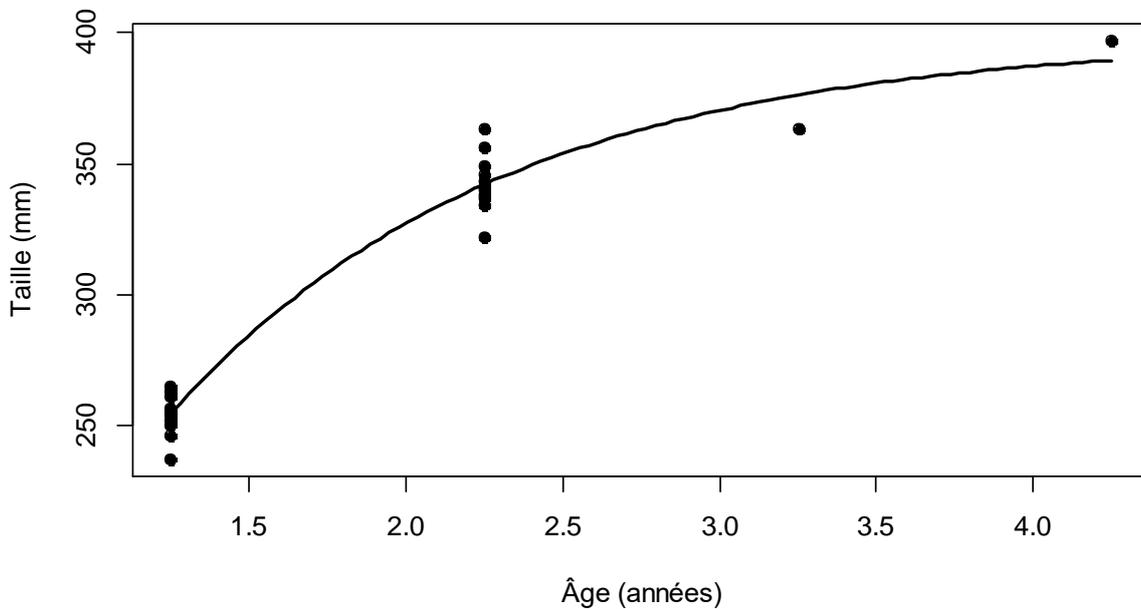
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	369.3655	426.70038
L0	-228.9454	87.44985
omega	257.3744	494.22712

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.8606758	-0.9164725
L0	0.8606758	1.0000000	-0.9859770
omega	-0.9164725	-0.9859770	1.0000000



# Sioule Totale

-----

Formula: taille ~ (Linf - (Linf - L0) \* (exp((-omega/Linf) \* mois)))

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Linf	444.779	17.675	25.165	< 2e-16 ***
L0	6.547	43.908	0.149	0.882
omega	295.511	37.943	7.788	6.98e-09 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.38 on 32 degrees of freedom

Number of iterations to convergence: 2

Achieved convergence tolerance: 1.063e-06

-----

Residual sum of squares: 6620

-----

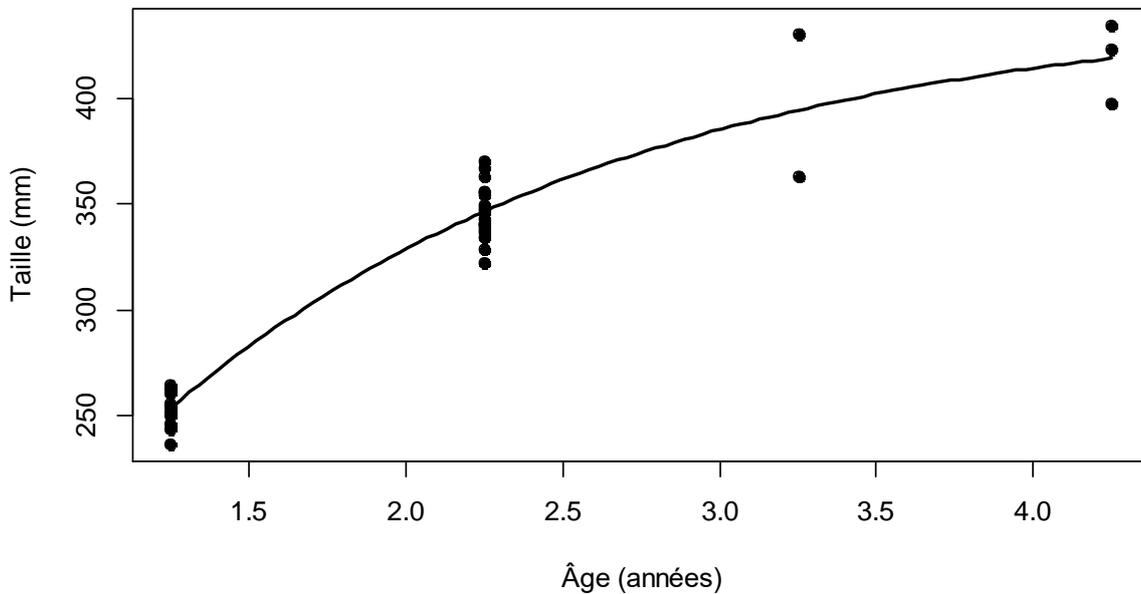
t-based confidence interval:

	2.5%	97.5%
Linf	408.77724	480.78100
L0	-82.89189	95.98523
omega	218.22435	372.79705

-----

Correlation matrix:

	Linf	L0	omega
Linf	1.0000000	0.8015805	-0.9031184
L0	0.8015805	1.0000000	-0.9684004
omega	-0.9031184	-0.9684004	1.0000000



## Identification génétique des populations d'ombre d'Auvergne (*Thymallus ligericus*) du Puy-de-Dôme comparativement aux autres populations ligériennes

Qualité patrimoniale de la lignée élevée à la pisciculture fédérale de Besse-en-Chandesse et impact des repeuplements passés en ombres communs (*T. thymallus*).

Henri PERSAT \*, David Fröhlich \*\* & Steven WEISS \*\*

\* Société Française d'Ichtyologie, 1 rue des Epis 69500 Bron, France

\*\* Université Karl-Franzens, Institut de Zoologie, Universitätplatz 2, A-8010 Graz, Autriche



2021

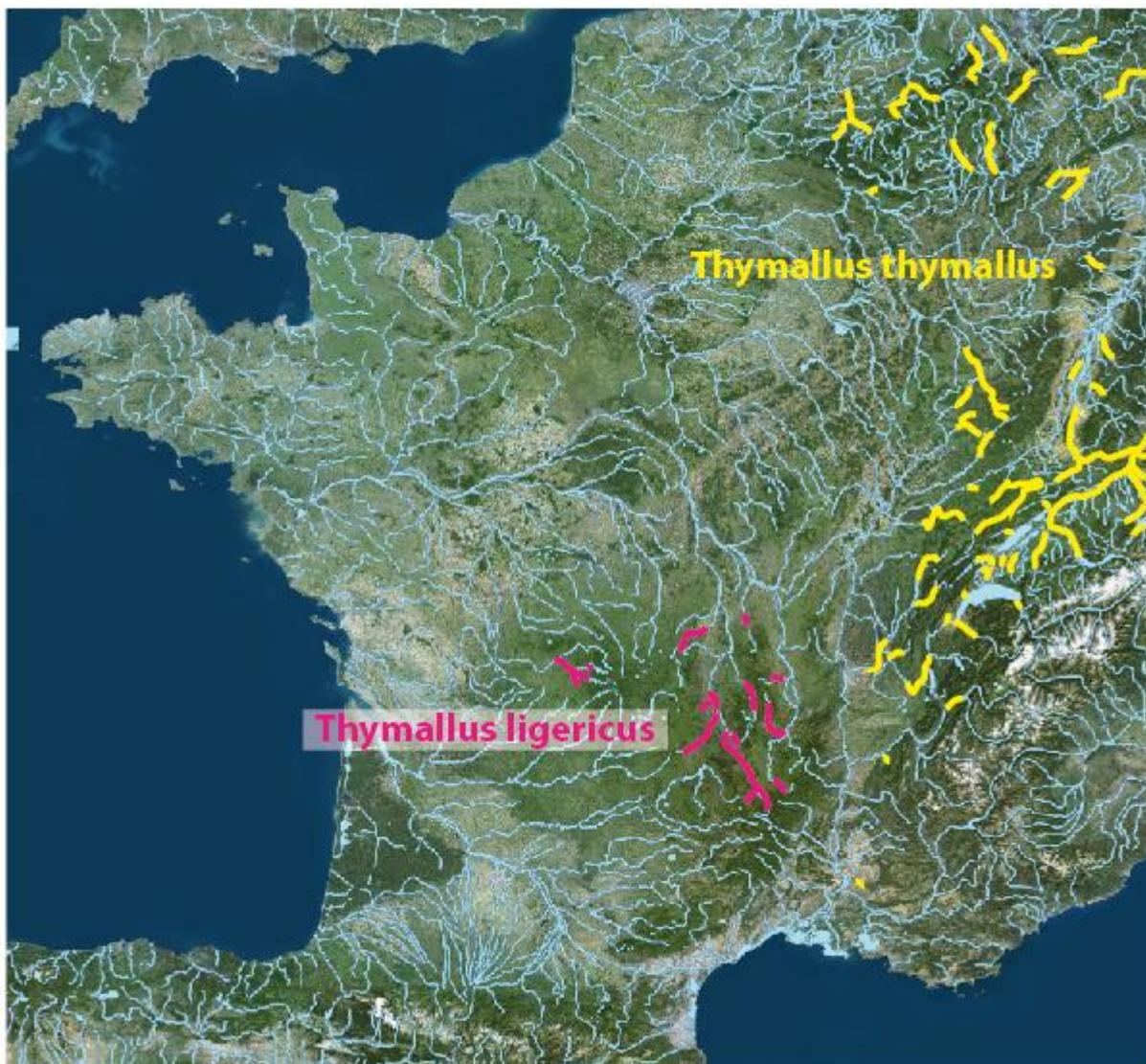


Figure 1 : Répartitions géographiques des populations naturelles\* d'ombre commun *Thymallus thymallus* en jaune et d'ombre d'Auvergne, *Thymallus ligericus*, en rouge.

\* Il existe de nombreuses autres populations d'ombres d'espèces à préciser implantées sur d'autres rivières en France.

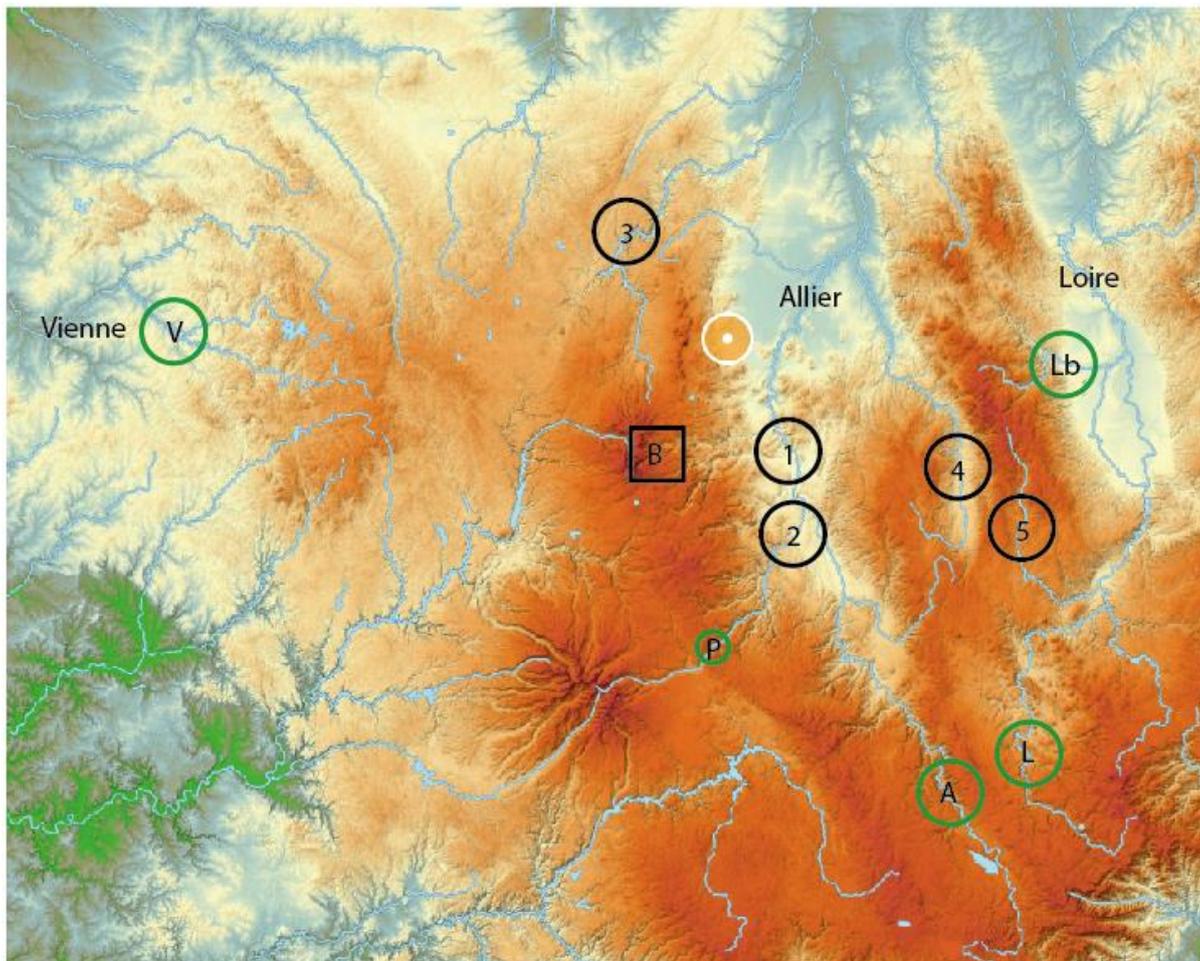


Figure 2 : Localisation des 5 populations naturelles du Puy-de-Dôme prises en compte dans la présente analyse, 1 Allier, 2 Alagnon, 3 Sioule, 4 Dore, 5 Ance du Nord, de la pisciculture de Besse-en-Chandesse, B, et des populations voisines incluses dans l'analyse à titre de comparaison, A haut Allier, L haute Loire, V Vienne, et P et Lb paratypes de *Thymallus ligericus* du haut Alagnon et du Lignon du Forez.



## Introduction

L'ombre d'Auvergne (fig. 1), jusqu'à récemment confondu avec l'ombre commun européen *Thymallus thymallus* (Linnaeus 1758) a été régularisé au rang d'espèce à part entière *Thymallus ligericus* (Persat & coll 2019) en raison de ses caractéristiques, notamment génétiques, particulières.

C'est une espèce autochtone patrimoniale rare et endémique du bassin de la Loire, mais à fort intérêt halieutique. Comme son cousin l'ombre commun, il subit une nette régression de ses populations, historiquement du fait de l'aménagement et de la pollution des cours d'eau, et plus récemment du fait du réchauffement climatique heureusement partiellement compensé par la réduction des pollutions et la suppression des ouvrages hydrauliques superflus, mais également par l'instauration de règles halieutiques beaucoup plus protectionnistes. Ainsi, l'espèce est inscrite à l'annexe III de la convention de Berne, mais est classée comme LC (peu menacée) par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) à l'échelle de l'Europe. Cependant, à l'échelle de la France, elle est classée VU (vulnérable) et est mentionnée à l'annexe V de la directive habitat faune / flore de 1992, alors qu'en Suisse, elle est considérée comme menacée par l'ordonnance relative à la loi sur la pêche (OLFP RS. 923.01).

La conservation de cette espèce nécessite des plans de gestion adaptés, prenant en compte ses exigences écologiques très étroites, mais également ses caractéristiques génétiques, synonymes de « potentiel d'adaptabilité ». Or les nombreux repeuplements auxquels l'espèce a été soumise, ainsi que les obstacles aux libres déplacements des individus, peuvent avoir généré des perturbations de la structure génétique des populations, compromettant leur persistance à long terme.

Dans ce contexte, il apparaît important de connaître la structure génétique de nos populations indigènes, mais aussi de celles conservées en élevage pour le repeuplement. Les études sur l'écologie des ombres ont mis en évidence une distribution très fragmentée, morcelée (Persat 1996), et qui, depuis, a encore beaucoup évoluée (Persat 2011). L'analyse des allozymes avait révélé chez l'ombre commun un fort effet de la fragmentation de l'habitat et des repeuplements sur la structure et la diversité génétiques des populations du Rhône savoyard (Persat and Eppe 1997). Avec l'évolution des méthodes d'analyse moléculaire, nous disposons aujourd'hui d'outils plus performants nous permettant d'appréhender des disfonctionnements au sein des populations à des échelles de temps et d'espace relativement réduites (Grès et al. 2006).

Dans ce contexte, le présent travail vise à :

- ***Estimer la "valeur patrimoniale" des populations du département du Puy-de-Dôme sur la base des taux d'introgression de gènes exotiques ;***
- ***Evaluer les éventuels impacts de la fragmentation potentielle du continuum aquatique sur la structure génétique des populations ;***
- ***Proposer, si nécessaire, des mesures de gestion adaptées aux caractéristiques génétiques des populations en place.***

## Contexte local :

Dans le bassin de l'Allier, les populations d'ombre d'Auvergne occupent principalement le haut Allier et son affluent le Chapeauroux jusqu'aux portes de Brioude où on le retrouve sur le bas de la Sénouire. Rare dans la plaine de Brioude, on le retrouve sur tout le cours de l'Alagnon sauf dans la partie la plus apicale en amont de Murat (fig. 1). Il réapparaît plus en aval dans l'Allier dans les gorges à l'aval d'Issoire et dans les bas cours des Couzes Pavin et Chambon. Plus en aval, on ne retrouvait guère qu'une toute petite population dans le Sichon dans la traversée de Vichy, mais aux dernières nouvelles il ne s'en prendrait plus, et il faut aller sur les cours moyens de la Sioule et de la Dore, loin en amont de leurs confluences avec l'Allier pour en retrouver deux populations complètement isolées des autres. Hormis le bassin de l'Allier, le département du Puy-de-Dôme émerge un peu sur la branche orientale du bassin de la Loire avec l'Ance du Nord, affluent de la Loire du Velay : cette population a naturellement été incluse dans l'analyse.

## Echantillonnage :

Pour établir les profils génétiques des populations d'ombre du Puy-de-Dôme, le protocole prévoyait l'analyse de 250 individus collectés dans les 5 populations historiques encore représentées dans le département (Allier, Alagnon, Sioule, Dore et Ance du Nord) ainsi que dans la population maintenue en élevage à la pisciculture fédérale de Besse-en-Chandesse qui sert aux repeuplements dans toute la région et au-delà. Pour cette dernière, des cohortes différentes (juvéniles de l'année et parents) ont été considérées pour rechercher d'éventuelles différences inter générationnelles.

Les échantillons sont constitués de prélèvements de nageoires récupérés lors de prospections par pêches électriques effectuées par la Fédération de Pêche du Puy-de-Dôme ainsi que par les pêcheurs amateurs essentiellement en 2019. Les spécimens capturés (et relâchés sur place) étaient pour la plupart des sub-adultes ou des adultes (1+ à 3+), avec toutefois aussi des juvéniles de l'année lors des pêches électriques.

Le tableau A en annexe fournit la liste des échantillons. 230 échantillons Puy-de-Dôme sensu stricto ont été traités par analyses microsatellites auxquels ont été rajoutés 9 échantillons témoins en provenance de populations périphériques (Combade-Vienne, Lignon du Forez, haute Loire et haut Alagnon).

## Analyses génétiques

Nos analyses génétiques des ombres sont effectuées depuis l'origine par l'équipe du Professeur Steven WEISS à l'Institut de Zoologie de l'Université de Graz, en Autriche, et plus spécialement par David Grimm pour la présente étude. Ce laboratoire possède une longue expérience en termes d'analyses génétiques sur le genre *Thymallus* (cf Grès et al. 2006), le Pr WEISS étant spécialiste en phylogéographie des poissons et plus spécialement en conservation des populations de salmonidés.

Les analyses génétiques portent sur deux types de matériels différents :

- d'une part, l'ADN mitochondrial pour identifier la ou les lignées évolutives présentes dans la population : le séquençage de la région de contrôle de l'ADN mitochondrial étant une opération assez onéreuse et ne permettant pas de détecter les individus hétérozygotes susceptibles de marquer des hybridations entre populations, il n'a été pratiqué que sur un sous échantillon de 128 individus;

- d'autre part, les microsatellites de l'ADN nucléaire pour mettre en évidence des différenciations génétiques à des échelles de temps et d'espace beaucoup plus fines, pouvant résulter d'une fragmentation récente de l'habitat, ou des alevinages. L'analyse a porté sur 10 microsatellites relevés sur l'ensemble des individus.

Pour ce qui est des techniques employées, celles-ci sont explicitées en annexe et actualisées dans notre article sur les ombres de Haute-Vienne auquel les spécialistes pourront se reporter (Persat *et al.* 2016).

L'origine et les effectifs des poissons analysés spécialement pour cette étude, ainsi que ceux analysés dans des études antérieures et utilisés ici à fin de comparaison, sont indiqués dans le tableau I.

Tableau I : Origines des échantillons collectés et nombres d'individus analysés avec succès pour les microsatellites et l'ADN mitochondrial.

#### Echantillons traités

	Population	Bassin	Pop Code	N msats	N mtDNA
Puy-de-Dôme	Allier	Loire	ALI	18	14
	Alagnon	Loire	ALN	29	24
	Ance du Nord	Loire	ANN	30	19
	Dore	Loire	DOR	30	26
	Sioule	Loire	SIO	43	27
	Besse 2019	Piscicult.	BES	80	18
Total				230	128

#### Echantillons de référence

	Population	Bassin	Pop Code	N msats	N mtDNA
Article Cybium	Vienne	Loire	1	88	37
	Allier 43	Loire	2	41	10
	Loire 43	Loire	3	43	19
	Ance du Nord 43	Loire	4	-	7
	Ain 01	Rhone	5	42	17
	Kohlenbach (Autriche)	Danube	6	25	15
	Besse 2011	Piscicult.	7	29	11
	Obenheim 67	Piscicult.	8	40	11
	Appenans 25 (Chauvey)	Piscicult.	9	33	7
	Chazey-Bons 01	Piscicult.	10	43	10
Total				384	144



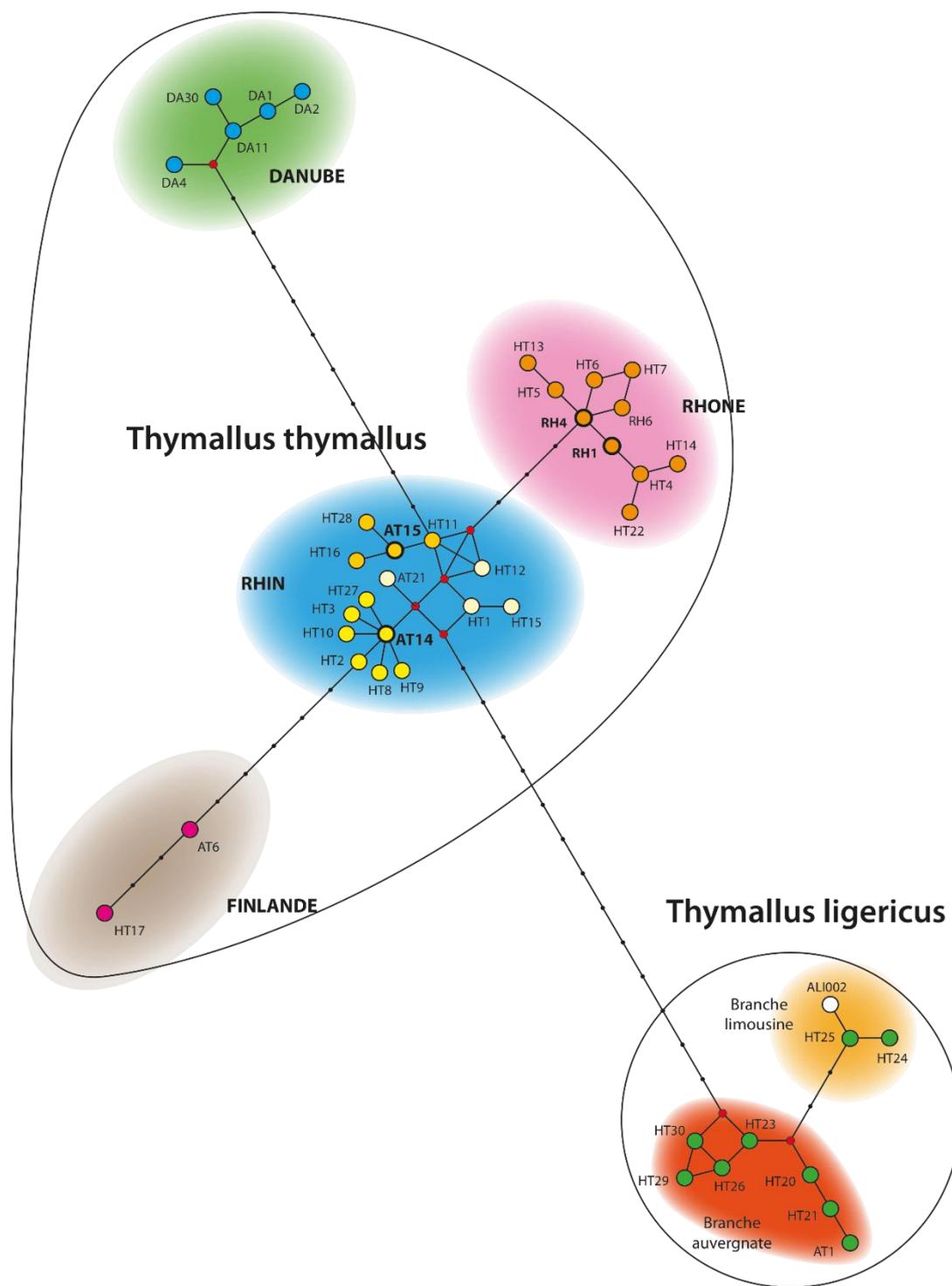


Figure 3 : ADN mitochondrial — Distances relatives entre haplotypes ligériens et vis-à-vis des grands types européens les plus proches. Chaque segment correspond à une mutation (un changement de paire de bases dans la séquence d'ADN)(le codage des haplotypes est hérité des études antérieures et est largement arbitraire).

La souche de pisciculture de Besse-en-Chandesse s'est avérée porteuse de trois haplotypes, le Da11 danubien, dominant comme lors de nos analyses précédentes, et les deux haplotypes Allier les plus fréquents Ht26 et Ht21. A noter toutefois qu'ils n'y avaient pas été observés autrefois, tandis qu'à l'inverse on n'a pas retrouvé l'haplotype Ht23 observé précédemment à Besse et toujours très présent dans les populations naturelles d'ombres du haut Allier (48) et du haut Alagnon (15) (cf Persat *et al.* 2018).

Ce marqueur génétique permet de conclure que les populations "naturelles" du Puy de Dôme sont bien constituées d'ombres ligériens même si certaines d'entre elles sont sans doute légèrement contaminées par de l'ADN mitochondrial danubien propagé depuis longtemps, mais sans trop d'impact, par la pisciculture de Besse en Chandesse. L'haplotype Allier Ht26 dans l'Ance du Nord pourrait être le résultat d'introductions anciennes à partir de Besse ou de sa souche ancestrale élevée à l'époque à la pisciculture domaniale d'Augerolles. "L'apparition" d'un haplotype rhénan dans l'Alagnon pose toutefois question.

Pour ce qui est de la souche de Besse plus précisément, il n'apparaît pas de différences entre les 3 cohortes 2019, 2017, 2016 : (8 Da1, 1 Ht 21 et 1 Ht 26 parmi les dix 0+ séquencés, 2 Da1 et 1 Ht1 parmi les trois 2+ séquencés et 3 Da1, 1 Ht21 et 1 Ht26 parmi les six 3+ séquencés). Il semble toutefois que les efforts d'amélioration de la rusticité de la souche d'élevage entre 2011 et 2019 aient permis l'implantation d'haplotypes de l'Allier moyen, mais peut-être aux dépens de l'haplotype plus apical Ht23, et ce donc avant 2016 puisqu'ils sont déjà là en 2016.

La faible diversité haplotypique (à l'échelle de la séquence génétique explorée) au sein des populations du Puy-de-Dôme ne fait que refléter une situation classique pour toutes les populations françaises d'ombre commun. La plus diversifiée connue à ce jour de nous-mêmes est la grosse population de la basse rivière d'Ain dans laquelle nous n'avons cependant répertorié que 4 haplotypes indigènes.

### **Microsatellites**

Les résultats des analyses microsatellites sont compilés par sites ou piscicultures dans le tableau IV.

Le nombre d'allèles observés dans les populations sauvages va de 40 pour la Sioule à 69 pour l'Alagnon, mais rapporté au nombre d'individus examinés c'est bien dans l'Allier que l'on trouve la plus grande diversité allélique (3,5). A noter qu'elle était nettement plus faible dans le secteur de l'Allier située en amont de Poutès dans l'étude de 2011 (1,33). Parmi les populations naturelles précédemment étudiées on n'approche de telles valeurs que dans la grosse population de la basse rivière d'Ain (2,72). La population la moins diversifiée apparaît être la Sioule (0,93).

Dans ce paysage, la population d'élevage de Besse présente une diversité assez standard (1,43), ce qui n'était pas le cas en 2011 où elle s'élevait à 3,00. La population semble donc s'être "simplifiée" entre temps.

Tableau III : Résumé des résultats statistiques sur 12 microsattélites dans chaque population. Nombres d'individus (N), nombres d'allèles (AN), richesses alléliques (AR), amplitudes alléliques (R), hétérozygosités observées ( $H_o$ ) et théoriques ( $H_e$ ), et valeurs de  $F_{is}$  values pour chaque population. Un astérisque \* signale une déviation significative par rapport à l'équilibre d'Hardy-Weinberg calculé sur 10 000 permutations. NA (non applicable) : données manquantes ou insuffisantes.

		N	Tar101	Tar106	Thy1	Thy62	Tth305	Tth447	Tar104	Thy54	Tth414	Tth446	Total
Cybium 2016	Vienne	37	7 262-338 0,737 0,748 0,042	8 189-305 0,583 0,682 <b>0,159*</b>	1 107-107 NA NA	5 200-254 0,568 0,562 0,003	6 272-314 0,546 0,632 0,160	4 170-180 0,541 0,613 0,132	9 172-240 0,733 0,668 -0,080	3 193-201 0,629 0,613 -0,011	7 425-501 0,565 0,686 <b>0,198*</b>	5 227-251 0,639 0,745 <b>0,156*</b>	55 0,554 0,595 <b>0,087*</b>
	Vienne	88	7 262-338 0,574 0,672	9 189-305 0,667 0,754	1 107-107 NA NA	6 200-254 0,636 0,647	7 272-314 0,561 0,632	4 170-180 0,602 0,649	11 172-240 0,718 0,737	4 193-201 0,600 0,644	13 369-513 0,610 0,816	5 227-251 0,690 0,767	67 0,566 0,632
	Loire	43	5 258-350 0,615 0,649 0,065	8 189-309 0,698 0,643 -0,074	3 107-123 0,372 0,391 0,059	4 202-262 0,762 0,717 -0,051	5 272-314 0,769 0,726 -0,046	4 170-186 0,767 0,617 -0,232	4 184-224 0,707 0,583 -0,202	3 193-199 0,721 0,546 -0,310	5 350-477 0,442 0,371 -0,180	4 235-251 0,721 0,623 -0,146	45 0,658 0,587 -0,109
	Allier	42	7 254-298 0,600 0,618 0,042	7 189-297 0,825 0,793 -0,027	3 107-127 0,683 0,558 -0,213	5 228-258 0,725 0,710 -0,009	5 282-314 0,775 0,738 -0,037	4 170-182 0,590 0,530 -0,101	6 168-240 0,564 0,599 0,071	4 191-201 0,100 0,120 0,177	11 429-513 0,821 0,818 0,010	4 227-243 0,575 0,575 0,013	56 0,626 0,606 -0,020
	Ain	43	16 210-326 0,850 0,882 0,049	10 237-281 0,714 0,765 0,079	10 111-155 0,781 0,795 0,031	4 186-206 0,325 0,326 0,016	14 280-348 0,825 0,777 -0,049	7 161-191 0,275 0,251 -0,083	19 156-284 0,805 0,891 <b>0,109*</b>	11 191-213 0,905 0,845 -0,058	18 365-557 0,691 0,757 <b>0,100*</b>	8 215-259 0,738 0,801 0,091	117 0,691 0,709 <b>0,038*</b>
	Besse	29	7 206-326 0,593 0,723 <b>0,198*</b>	12 173-289 0,966 0,858 -0,108	7 107-134 0,828 0,823 0,012	9 186-232 0,857 0,760 -0,110	7 282-380 0,546 0,778 <b>0,320*</b>	8 157-177 0,655 0,725 0,113	10 148-264 0,552 0,878 <b>0,386**</b>	13 179-233 1,000 0,885 -0,112	8 369-493 0,375 0,730 <b>0,502**</b>	6 219-279 0,370 0,630 <b>0,428**</b>	87 0,674 0,779 <b>0,153**</b>
	Chauvey	33	12 266-354 0,833 0,840 0,025	6 185-213 0,781 0,709 -0,086	5 108-132 0,697 0,702 0,022	7 212-246 0,656 0,585 -0,105	NA NA NA	3 153-179 0,424 0,574 <b>0,276*</b>	7 148-238 0,394 0,346 -0,124	11 177-237 0,844 0,828 -0,004	3 346-354 0,548 0,505 -0,069	NA NA NA	54 0,647 0,636 -0,002
	Obenheim	40	3 210-322 0,28 0,25 -0,10	10 213-289 0,95 0,85 -0,11	4 111-143 0,28 0,25 -0,10	5 200-212 0,58 0,66 0,14	8 364-412 0,89 0,80 -0,09	7 153-197 0,83 0,76 -0,07	12 148-284 0,92 0,80 -0,14	10 183-237 0,79 0,71 -0,10	12 437-525 0,53 0,81 <b>0,364**</b>	9 207-275 0,87 0,84 -0,02	80 0,690 0,673 -0,012
	Chazzev-Bons	43	10 198-318 0,564 0,823 <b>0,326*</b>	13 193-289 0,875 0,864 0,000	10 108-155 0,585 0,806 <b>0,285**</b>	8 186-228 0,595 0,620 0,051	NA NA NA	8 157-189 0,605 0,644 0,073	14 148-272 0,884 0,868 -0,007	10 179-233 0,814 0,770 0,159*	13 369-537 0,707 0,829 <b>0,512**</b>	6 227-279 0,368 0,741 <b>0,151**</b>	92 0,666 0,774 <b>0,151**</b>
	Kohlenbach	25	14 210-354 0,960 0,894 -0,054	8 173-213 0,840 0,825 0,002	5 108-138 0,708 0,626 -0,111	6 200-222 0,625 0,705 0,134	NA NA NA	4 153-171 0,667 0,565 -0,159	8 148-254 0,739 0,682 -0,063	8 177-231 0,826 0,771 -0,049	4 346-385 0,636 0,656 0,053	NA NA NA	57 0,750 0,715 -0,027

		N	Tar101	Tar106	Thy1	Thy62	Tth305	Tth447	Tar104	Thy54	Tth414	Tth446	Total	
Bye-de-Dome	ALI	18	A <sub>N</sub>	9	10	5	6	4	4	10	3	8	4	63
		A <sub>e</sub>	254-338	181-293	107-129	218-246	282-310	170-182	164-240	193-199	353-553	227-251		
		H <sub>0</sub>	0,667	0,889	0,778	0,611	0,500	0,778	0,889	0,500	0,471	0,222		0,630
		H <sub>e</sub>	0,761	0,857	0,636	0,614	0,477	0,668	0,843	0,568	0,727	0,411		0,656
		F <sub>IS</sub>	0,152	-0,009	-0,196	0,034	-0,020	-0,136	-0,026	0,148	<b>0,379*</b>	<b>0,481*</b>		<b>0,068*</b>
	ALN	29	A <sub>N</sub>	9	10	5	6	6	7	9	6	5	6	69
		A <sub>e</sub>	210-338	181-293	107-127	186-246	282-394	170-187	168-240	185-228	353-489	215-243		
		H <sub>0</sub>	0,750	0,966	0,414	0,571	0,250	0,586	0,552	0,483	0,400	0,517		0,549
		H <sub>e</sub>	0,790	0,851	0,376	0,583	0,346	0,638	0,691	0,662	0,734	0,442		0,611
		F <sub>IS</sub>	0,068	-0,117	-0,082	0,038	<b>0,293*</b>	0,098	<b>0,218*</b>	<b>0,287*</b>	<b>0,471**</b>	-0,152		<b>0,120*</b>
	SIO	43	A <sub>N</sub>	5	5	3	2	2	3	7	4	5	4	40
		A <sub>e</sub>	210-338	181-281	107-127	222-228	282-298	174-182	168-228	193-201	353-557	227-251		
		H <sub>0</sub>	0,306	0,698	0,163	0,342	0,100	0,535	0,667	0,698	0,529	0,535		0,457
		H <sub>e</sub>	0,381	0,732	0,152	0,393	0,139	0,508	0,697	0,658	0,662	0,498		0,482
		F <sub>IS</sub>	<b>0,212*</b>	0,058	-0,058	0,142	0,291	-0,041	0,056	-0,049	<b>0,215*</b>	-0,063		<b>0,064*</b>
	DOR	30	A <sub>N</sub>	7	9	4	5	3	4	5	6	6	6	55
		A <sub>e</sub>	206-334	181-293	107-127	204-232	282-386	158-182	148-224	183-230	345-557	227-307		
		H <sub>0</sub>	0,560	0,700	0,433	0,643	0,250	0,467	0,517	0,533	0,250	0,600		0,495
		H <sub>e</sub>	0,695	0,762	0,401	0,617	0,284	0,497	0,555	0,644	0,625	0,504		0,559
		F <sub>IS</sub>	<b>0,214*</b>	0,098	-0,063	-0,023	0,140	0,078	0,086	<b>0,189*</b>	<b>0,616**</b>	-0,173		<b>0,132*</b>
	ANN	30	A <sub>N</sub>	7	7	4	3	4	3	3	3	4	3	41
		A <sub>e</sub>	250-342	181-285	107-127	202-228	282-314	174-186	196-216	193-201	353-553	227-251		
		H <sub>0</sub>	0,690	0,900	0,567	0,167	0,621	0,414	0,233	0,433	0,133	0,333		0,449
		H <sub>e</sub>	0,733	0,768	0,565	0,156	0,590	0,538	0,240	0,485	0,157	0,352		0,458
F <sub>IS</sub>		0,077	-0,156	0,014	-0,051	-0,034	<b>0,247*</b>	0,045	0,123	0,165	0,069		0,037	
BES 2019	80	A <sub>N</sub>	13	16	7	9	6	9	12	18	10	14	114	
	A <sub>e</sub>	206-334	173-281	107-133	200-240	282-382	158-183	148-232	177-232	345-557	219-315			
	H <sub>0</sub>	0,551	0,863	0,688	0,769	0,351	0,700	0,641	0,886	0,633	0,560		0,664	
	H <sub>e</sub>	0,716	0,894	0,701	0,813	0,694	0,713	0,718	0,853	0,652	0,826		0,758	
	F <sub>IS</sub>	<b>0,237*</b>	0,041	0,026	0,060	<b>0,501**</b>	0,025	<b>0,114*</b>	-0,033	0,036	<b>0,328**</b>		<b>0,13**</b>	

\* sig-level 0,1

\*\* sig-level Bonferroni-correction 0,00021

Au niveau des équilibres Hardy-Weinberg (rapport entre le nombre d'individus homozygotes et hétérozygotes pour chaque microsatellite dans chaque population), on constate que c'est sur l'Ance du Nord qu'ils sont le mieux respectés (un seul microsatellite, Tth447, présente un taux d'hétérozygotie observé H<sub>0</sub> inférieur à celui attendu H<sub>e</sub>). Pour les autres populations, cela va de deux à quatre microsatellites s'éloignant de l'équilibre, et à chaque fois en raison d'un H<sub>0</sub> inférieur H<sub>e</sub>. Les déséquilibres sont donc toujours dus à un déficit en hétérozygotes. Celui-ci est marqué pour les populations de l'Alagnon et de la Dore mais aussi pour celle de Besse. Pour cette dernière, c'était déjà le cas en 2011. A l'époque, il n'avait guère d'équivalent qu'avec celui observé dans la population de la pisciculture de Chazey-Bons, apparenté à celle de Besse. Le déséquilibre à Besse semble s'être un peu réduit entre 2011 et 2019 puisque passant de 0,153 à 0,130, mais il porte sur les mêmes microsatellites, sauf le Tth414 qui est revenu à l'équilibre.

La population de l'Allier en amont de la retenue de Poutès était, elle, en équilibre en 2011 (Persat *et al.* 2013), alors qu'elle est en léger déséquilibre dans le Puy-de-Dôme. Celle de l'Alagnon l'est nettement plus alors que ce n'était pas le cas en 2016 pour les populations situées plus en amont dans le Cantal (Persat *et al.* 2018). Il semble y avoir un facteur d'hétérogénéité touchant localement à la fois le bas Alagnon et le moyen Allier dans le 63. La Sioule est au même niveau de déséquilibre que l'Allier tandis que la Dore s'avère

légèrement plus en déséquilibre que l'Alagnon. La possible influence de déversements en provenance de la lignée hétérogène de Besse-en-Chandesse est l'explication la plus simple venant à l'esprit.

L'analyse factorielle des correspondances permet de visualiser la structuration de la variabilité génétique générale : la dispersion du nuage de points (individus) donne une indication de leur diversité au sein de chaque lot (au même titre que la richesse allélique) (figure 4). Ici, le premier axe factoriel sur le plan F1xF2, le plus discriminant, sépare l'ensemble des populations du bassin de la Loire, paratypes compris, en positif, (à droite sur l'axe horizontal rouge) de toutes les autres, Besse compris, en négatif (à gauche). Le second axe factoriel, vertical en bleu, ne concerne pas directement les populations ligériennes, mais les autres, celles appartenant à l'espèce *Thymallus thymallus*, en classant en haut les populations de l'Ain, du Rhin et de Chazey-Bons (souche de pisciculture mixte Ain-Augerolles), et en bas celle du Danube autrichien et de la pisciculture Chauvey qui donc se fournit par là-bas.

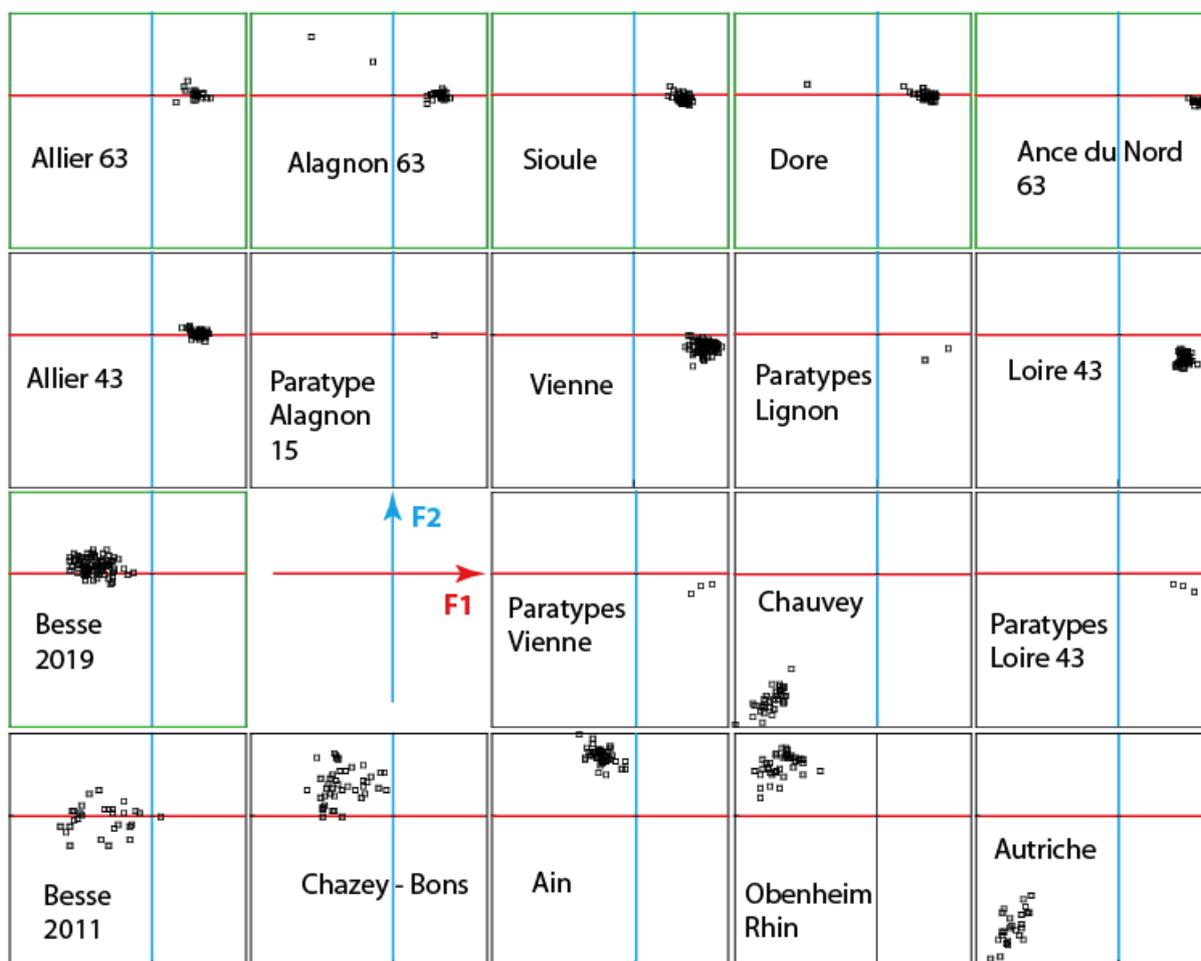


Figure 4 : Analyse factorielle des correspondances des profils génétiques microsatellites de 660 ombres de différentes origines. Plan factoriel F1xF2 détaillé par lots. Chaque point correspond à un individu.

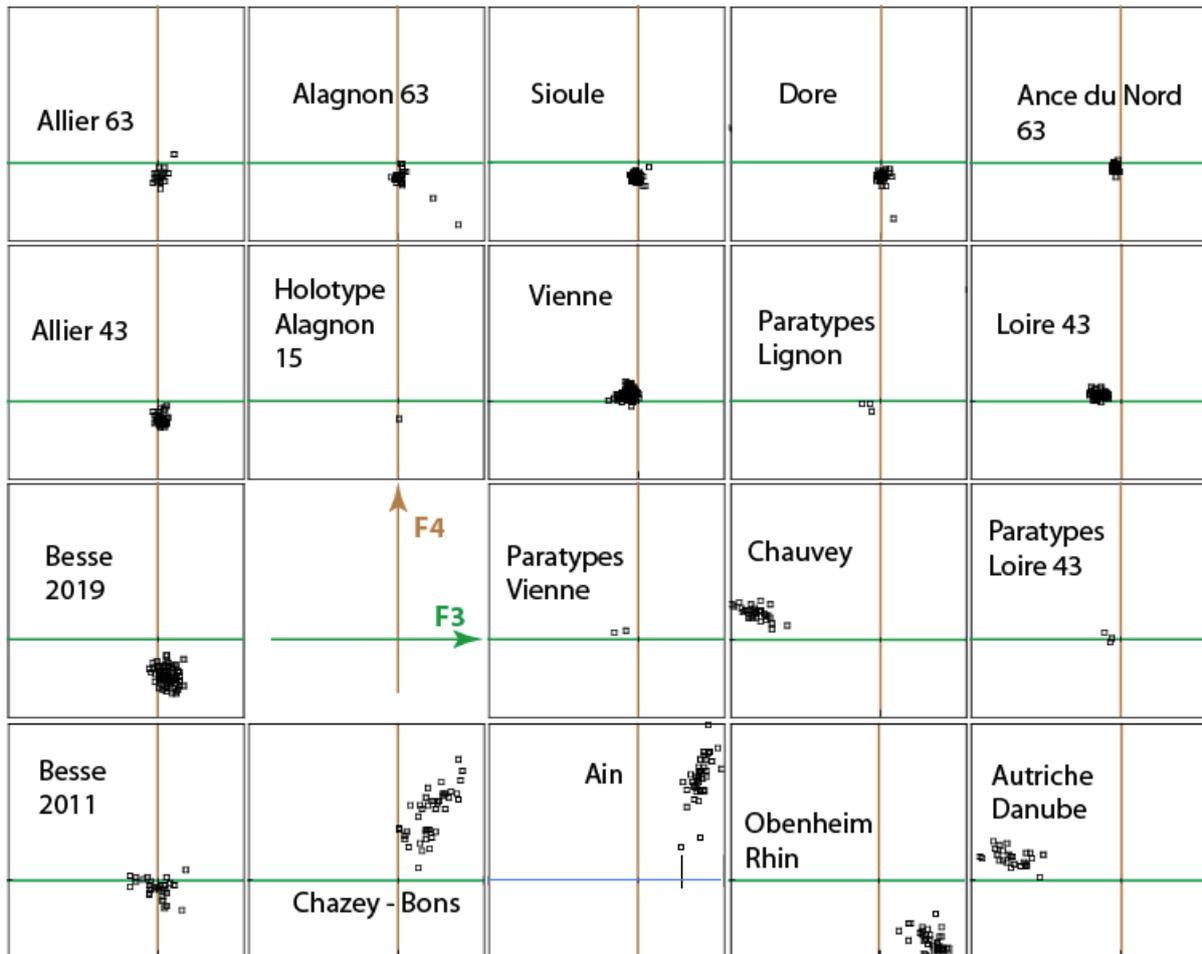


Figure 5 : Analyse factorielle des correspondances des profils génétiques microsatellites de 660 ombres de différentes origines : Plan factoriel F3x4 détaillé par lots.

Maintenant, la forme des nuages de points (individus) à l'intérieur de chaque population apporte des informations supplémentaires. Les individus des populations ligériennes sont très regroupés, traduisant leur forte homogénéité. Dès lors, cela met en évidence la présence de quelques individus "exotiques" qui se séparent nettement de la troupe : 2 dans l'Alagnon et un dans la Dore. De par sa position celui de la Dore semble pouvoir être assimilé au groupe de Besse, tandis que les deux de l'Alagnon s'apparentent très fortement au type rhénan élevé à la pisciculture d'Obenheim. Il s'agit en l'occurrence des deux individus qui s'étaient déjà distingués dans l'analyse mitochondriale par le port de l'haplotype rhénan Ht27. Ces poissons sont visiblement le résultat d'une introduction récente. Celui de la Dore (un 1+ pris dans la Durolle) portait l'haplotype danubien Da11 et est donc issu de la pisciculture de Besse. On constate par ailleurs que les individus des lots de pisciculture sont nettement plus dispersés ce qui traduit une mixité certaine. Dans ce contexte, on constate toutefois que la population de Besse s'est très sensiblement regroupée, ce qui indique que le stock s'est homogénéisé en deux ou trois générations.

Le plan factoriel F3x4 (figure 5) porte surtout sur les populations de *Thymallus thymallus* en séparant les "rhodaniennes" (Ain, Chazey-Bons) à droite sur l'axe 3 (horizontal en vert) des autrichiennes (Danube et Chauvey) à gauche sur cet axe, et l'ensemble de la population rhénane en négatif sur l'axe 4 (vertical en marron). Ce dernier axe sépare aussi assez nettement Besse 2019 de Besse 2011 et des autres populations ligériennes. Là encore on peut voir que les 2 exotiques de l'Allier suivent leur affiliation au Rhin. Par contre, celui de la Dore, bien que porteur de l'allèle danubien ne montre pas au niveau de son ADN nucléaire d'affinité avec le groupe danubien.

L'efficacité avec laquelle l'analyse des microsatellites sépare les individus des différents ensembles populationnels souligne que si toutes les populations ligériennes appartiennent bien à un seul et même

ensemble original désormais clairement identifié en tant que *Thymallus ligericus*, des différences persistent entre chacune des populations de la haute Loire, de l'Ance du Nord et de la Vienne et celles du sous bassin Allier (Allier, Alagnon, Sioule, Dore).

## Conclusions :

L'analyse génétique des populations d'ombre d'Auvergne du département du Puy-de-Dôme selon deux types de marqueurs congruents (ADN nucléaire et ADN mitochondrial) montre qu'elles présentent un profil typique de *Thymallus ligericus*, tout en se différenciant de celles des autres branches principales, Vienne et Loire, cette dernière étant représentée dans le 63 par la population de l'Ance du Nord qui ne se confond pas aux autres. Le sous bassin Allier (Allier, Alagnon, Sioule, Dore) apparaît assez homogène mais dans la mesure où la lignée en élevage à la pisciculture de Besse en est largement issue, il est difficile de certifier que les populations de la Sioule et de la Dore, actuellement complètement isolées de celles de l'Allier, sont bien natives et non le fruit d'un repeuplement réussi à partir de Besse (ou plus anciennement à partir d'Augerolles). Des différences existent mais essentiellement en raison de la persistance d'une composante danubienne au sein de la souche de Besse et on n'a pas trouvé d'haplotype spécifique à la Sioule ou à la Dore.

L'ensemble Allier-Alagnon semble lui bien natif mais on y constate la présence, a priori d'introduction récente dans l'Alagnon, de deux individus d'affinité rhénane qui ne sauraient provenir de Besse. Leur site de capture étant en limite départementale du Cantal et de la Haute-Loire, il conviendrait de vérifier auprès de ces fédérations qu'il n'y ait pas eu d'introduction de poissons de ce type.

L'ensemble Allier-Alagnon apparaît homogène au sein du département du Puy-de-Dôme, mais les études antérieures sur l'Allier de Haute-Loire et l'Alagnon du Cantal montrent qu'il existe quand même des différences amont-aval sur de plus longues distances. Celles-ci pourraient être le résultat de conditions environnementales différentes ayant sélectionné des profils génétiques quelque peu différents, mais aussi de l'existence de barrières physiques telles que le barrage de Poutès-Monistrol sur l'Allier, ou sur l'Alagnon les nombreux anciens seuils de moulin pour la plupart démantelés que récemment.

En ce qui concerne la souche de pisciculture de Besse, on peut dire qu'elle s'est homogénéisée au cours des dernières générations mais elle véhicule toujours par ses femelles des haplotypes danubiens de *Thymallus thymallus* qui ne semblent heureusement pas s'implanter dans les populations sauvages de *Thymallus ligericus*. Les génotypes locaux semblent donc supérieurs aux introduits qui semblent avoir bien du mal à faire souche, ce que l'on avait déjà constaté en haute Vienne (Persat et al., 2013). Il serait souhaitable qu'à l'avenir, si on veut conserver cette capacité de repeuplement, l'effort soit porté sur l'obtention de femelles de l'Allier.

L'étude permet donc d'affirmer que les populations d'ombres d'Auvergne du département du Puy-de-Dôme sont restées globalement pures même si la souche en élevage à Besse ne l'est pas vraiment. Il conviendrait toutefois de ne pas mélanger celles du versant Allier avec celles du versant Loire (notamment celle de l'Ance du Nord dans le 63) et du versant Vienne qui ont un profil génétique légèrement différent.

Bien évidemment, toute introduction d'une autre espèce d'ombre est à prohiber complètement.

La protection de ce patrimoine tant biologique qu'halieutique doit s'orienter préférentiellement sur la protection de l'habitat avec libération déjà bien amorcée du lit des rivières par suppression des enrochements de berges là où ils ne sont pas indispensables, et élimination des derniers infranchissables. La préservation de la qualité des eaux reste un préalable incontournable, notamment dans le contexte du changement climatique avec réduction des débits et augmentation des températures. Une attention particulière devrait être portée aux géniteurs, en pleine reproduction au moment de l'ouverture de la truite.

## Références utiles

- Belkhir, K., Borsa, P., Chikhi, L., Raufaste, N., and Bonhomme F. 1996–2004. GENETIX 4.05, logiciel sous Windows TM pour la génétique des populations', Laboratoire Génome, Populations, Interactions, CNRS UMR 5171, Université de Montpellier II, Montpellier, France.
- Bernatchez, L and Danzmann G. 1993. Congruence in control-region sequence and restriction-site variation in mitochondrial DNA of brook charr (*Salvelinus fontinalis* Mitchill). *Molecular Biology and Evolution*, 10: 1002-1014.
- Froufe, E., Knizhin, I., and Weiss, S. 2005. Phylogenetic analysis of the genus *Thymallus* (grayling) based on mtDNA control region and ATPase 6 genes, with inferences on control region constraints and broad-scale Eurasian phylogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 34: 106-117.
- Goudet, J. M. 2001. FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3), <http://www.unil.ch/izea/software/fstat.html> (updated from Goudet 1995).
- Grès P., Persat H., Weiss S., Kopun T., 2006. Etude des populations d'Ombre commun du Forez, sur l'Ance du Nord, le Lignon du Forez et l'Aix. Caractérisation Génétique et Dynamique des Populations. Rapport Fédération de Pêche de la Loire, 102p. + annexes.
- Gum, B., Gross, R., and Kuehn, R. 2005. Mitochondrial and nuclear DNA phylogeography of European grayling (*Thymallus thymallus*): evidence for secondary contact zones in central Europe. *Molecular Ecology*, 14: 1707-1725.
- Peakall, R., and Smouse, P.E. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, 6: 288-295.
- Persat, H. 1996. Threatened populations and conservation of the European grayling *Thymallus thymallus* (L., 1758). *In* Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe. *Edited by* A. Kirchhofer and D. Hefti. Birkhäuser Verlag, Basel. pp. 233-247.
- Persat H., 2011 : L'ombre commun. *In* Keith *et al.* 2011, *Les poissons d'eau douce de France*. MNHN, Collection Inventaires @ Biodiversité, Biotope Editions, p.413-415.
- Persat, H., and Epe, R. 1997. Alevinage, pollution et cloisonnement de l'espace fluvial dans les structures génétiques des populations de poisson: l'ombre commun, *Thymallus thymallus*, dans le Rhône au niveau de la Savoie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **70**(344-45): 287-299.
- Persat, H., Grimm J. Weiss S., 2018. Qualité génétique des populations d'ombre commun (*Thymallus thymallus*) de l'Alagnon (bassin Loire-Allier). Rapport Fédération de Pêche du Cantal, 30p.
- Persat H., Mattersdorfer K, Charlat S., Schenekar T., Weiss S., 2016. Genetic integrity of the European grayling (*Thymallus thymallus*) populations within the Vienne River drainage basin after five decades of stockings. *Cybium*, 2016, 40(1): 7-20.
- Persat H., Weiss S., Froufe E. , Secci-Petretto G. & Denys G. P. J. , 2019. A third European species of grayling (Actinopterygii, Salmonidae), endemic to the Loire River basin (France), *Thymallus ligericus* n. sp. . *Cybium*, 43(3): 233-238.
- Persat H., Weiss S., Froufe E. , Secci-Petretto G. & Denys G. P. J. , 2020. Erratum - A third European species of grayling (Actinopterygii, Salmonidae), endemic to the Loire River basin (France), *Thymallus ligericus* n. sp. . *Cybium*, 44(1): 81.

- Persat H., Winkler K., Schenekar T., Mattersdorfer K., Weiss S., 2013 : Diversité génétique des populations d'ombre commun du département de la Haute-Vienne. Rapport technique, UMR 5023 Université Lyon 1 et Institut de Zoologie de l'Université de Graz : 29p.
- Persat H., Winkler K., Schenekar T., Mattersdorfer K., Weiss S., 2016 : Genetic integrity of the European grayling (*Thymallus thymallus*) populations within the Vienne River drainage basin after five decades of stockings. *Cybium*, 40(1): 7-20.
- Pritchard, J.K., Stephens, M., and Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, **155**: 945-959.
- She, J.X., Autem, M., Kotulas, N., Pasteur, N., and Bonhomme, F. 1987. Multivariate analysis of genetic exchanges between *Solea aegyptiaca* and *Solea senegalensis* (Teleosts, Soleidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, **32**: 357-371.
- Stamatakis, A. 2006. RAxML-VI-HPC: maximum likelihood-based phylogenetic analyses with thousands of taxa and mixed models. *Bioinformatics*, **22**: 2688-2690.
- Takezaki, N, and Nei, M. 1996, Genetic distances and reconstruction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. *Genetics*, **144**: 389-399.
- Tamura, K., Dudley, J., Nei, M., and Kumar, S. 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) Software Version 4.0. *Molecular Biology and Evolution* **24**: 1596-1599.
- Uiblein, F., Jagsch, A., Honsig-Erlenburg, W., and Weiss, S. 2001. Status, habitat use, and vulnerability of the European grayling in Austrian waters. *Journal of Fish Biology* **59**(sA): 223-247.
- Van Oosterhout, C., Hutchinson, W.F., Wills, D.P.M., and Shipley P. 2004. Micro-Checker: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes*, **4**: 535-538.
- Weiss S., Persat H., Eppe R., Schlötterer C., F., 2002. Complex pattern of colonization and refugia revealed for European grayling *Thymallus thymallus*, based on complete sequencing of the mitochondrial DNA control region. *Molecular Ecology*, 11: 1393-1407.



## ANNEXE TECHNIQUE\*

### Analyse de l'ADN mitochondrial (ADN<sub>mt</sub>)

La région de contrôle de l'ADN mitochondrial (ADN<sub>mt</sub>) a été amplifiée par PCR avec les amorces LRBT-25 et LRBT-1195, initialement publiées par Uiblein *et al.* (2001), avec les conditions décrites dans Froufe *et al.* (2005). Alors que la totalité de la région de contrôle avait initialement été ciblée (soit environ 1082 paires de bases), nous avons rencontré des difficultés d'amplification dans la deuxième partie (côté 3') à cause d'une séquence répétée impliquant 82 paires de bases. Afin d'outrepasser ce problème, nous avons adapté la stratégie d'amplification utilisée en démarrant la réaction par la première moitié (côté 5') de la région de contrôle avec les amorces LRBT-25 et INT-5' (5'-ATA TAA GAG AAC GCC CGG CT - 3'), puis amplifié la seconde moitié (côté 3') avec une amorce nouvellement conçue (CRint3F; 5' - GAA ACC ACT CAC TGA AAG CCG - 3') et HN20 (5'- GTG TTA TGC TTT AGT TAA GC - 3') (Bernatchez & Danzmann 1993).

Les fragments d'ADN ont été purifiés à l'aide d'ExoSAP-IT et séquencés (BigDye, ABI PRISM 3130xl capillary genotyper). Les séquences d'ADN<sub>mt</sub> ont été éditées, combinées, et alignées avec 62 haplotypes publiés (Weiss *et al.* 2002, Gum *et al.* 2005) à l'aide de MEGA 5.6.1 (Tamura *et al.* 2007). La liaison potentielle entre les allèles microsatellites et l'ADN<sub>mt</sub> a été testée en utilisant FSTAT, en opérant un recodage des haplotypes uniques en variables muettes. Les relations phylogénétiques entre haplotypes ont été évaluées par le maximum de vraisemblance tel qu'implémenté dans RAxML 7.0.4 (Stamatakis *et al.* 2006). La pertinence des noeuds de la topologie ainsi construite a été évaluée par *bootstrap* (1000 répliqués).

### Extraction de l'ADN et analyses des microsatellites

L'ADN génomique des individus a été extrait à l'acétate d'ammonium concentré selon le protocole de Miller *et al.* (1988) modifié. La variation allélique a été recherchée pour 12 loci microsatellites (*Thy1*, *Thy54*, *Thy62*, *Tth447*, *Tar101*, *Tar104*, *Tar106*, *Tth213*, *Tth305*, *Tth446*, *Tth414*, *Tth445*). Quatre loci di-nucléotides et 8 loci tétra-nucléotides ont été combinés dans deux réactions PCR de 6 loci chacune. Chaque mélange de 10 µl était constitué de 10-100 ng d'ADN, de 0.2 µM de chaque amorce, de 5 µl 2x Type-it Multiplex PCR Master Mix (QUIAGEN) et d'eau. Les procédures pour la PCR étaient conformes aux recommandations du constructeur, et sont disponibles auprès des auteurs sur demande.

Le nombre d'allèles par locus ( $AN$ ), et les taux d'hétérozygotie observée ( $H_o$ ) et attendue ( $H_e$ ) ont été calculés à l'aide du logiciel GENETIX 4.05 (Belkhir *et al.* 1996-2004). La richesse allélique par locus ( $AR$ ) et les écarts à l'équilibre de Hardy-Weinberg ( $F_{IS}$  par population) ont été calculés en utilisant FSSTAT version 2.9.3.2 (Goudet 2001). Le logiciel MicroChecker (van Oosterhout *et al.* 2004) a été utilisé pour vérifier la présence potentielle d'allèles nuls. Le déséquilibre de liaison ( $LD$ ) à l'échelle de la population a été testé en utilisant FSSTAT avec 12 000 permutations. La signification statistique des tests a été évaluée après correction des probabilités par la méthode de Bonferroni.

La structure génétique des populations a été analysée à différents niveaux afin de mettre en évidence la variabilité de la façon la plus optimale.

## Analyses statistiques

Le degré de différenciation entre les populations a été quantifié par  $F_{ST}$  et  $R_{ST}$ , calculés par FSSTAT GenAEx 6.4 (Peakall & Smouse 2006).

Une analyse factorielle des correspondances (AFC ; selon les recommandations de She *et al.* (1987) dans GENETIX 4.05) a été réalisée afin de représenter graphiquement les relations génétiques entre individus. Les quatre premiers axes ont été conservés. Un code population permet de visualiser l'appartenance de chaque individu à sa population d'origine.

La structure génétique des populations a également été explorée par une approche Bayésienne de classification, réalisée à l'aide de "STRUCTURE ver. 2.3.3" (Pritchard *et al.* 2000). Cette approche définit «  $K$  » sous-ensembles (« clusters », classes), en assignant les individus à des groupes en équilibre de Hardy-Weinberg, sans information *a priori* sur leur appartenance à une population, et permet de sélectionner le nombre d'ensembles  $K$  décrivant le mieux la variabilité générale au sein du jeu de données.

\* Informations complémentaires actualisées disponibles dans Persat *et al.* 2016

## ANNEXES



Tableau A : Liste des échantillons traités pour l'ADN mitochondrial (CR) et l'ADN nucléaire (microsatellites).

Rivière	N° tube	Taille	Poids	Sexe	âge	Lieu de prélèvement	Date	Collecteur	Code	extraction	CR	msat
Sioule	1	246	132	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO001	x	x	x
Sioule	2	254	155	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO002	x	x	x
Sioule	3	252	136	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO003	x	x	x
Sioule	4	343	348	mâle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO004	x	x	x
Sioule	5	397	518	mâle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO005	x	x	x
Sioule	6	349	364	mâle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO006	x	x	x
Sioule	7	261	160	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO007	x	x	x
Sioule	8	250	144	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO008	x	x	x
Sioule	9	263	163	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO009	x	x	x
Sioule	10	237	120	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO010	x	x	x
Sioule	11	334	332	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO011	x		x
Sioule	12	341	354	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO012	x		x
Sioule	13	322	288	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO013	x		x
Sioule	14	338	350	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO014	x		x
Sioule	15	255	185	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO015	x		x
Sioule	16	363	409	mâle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO016	x		x
Sioule	17	256	162	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO017	x		x
Sioule	18	346	388	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO018	x		x
Sioule	19	265	180	juv	1+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO019	x		x
Sioule	20	356	368	mâle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO020	x		x
Sioule	21	337	339	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO021	x		x
Sioule	22	363	448	mâle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO022	x		x
Sioule	23	340	328	femelle	≥ 2+	aval ancien seuil Menat	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO023	x		x
Sioule	24	423	706	femelle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO024	x	x	x
Sioule	25	434	689	mâle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO025	x	x	x
Sioule	26	341	370	femelle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO026	x	x	x
Sioule	27	244	133	juv	1+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO027	x	x	x
Sioule	28	430	665	mâle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO028	x	x	x
Sioule	29	263	163	juv	1+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO029	x	x	x
Sioule	30	370	477	mâle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO030	x	x	x
Sioule	31	354	398	mâle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO031	x	x	x
Sioule	32	356	411	femelle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO032	x	x	x
Sioule	33	367	436	femelle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO033	x	x	x
Sioule	34	329	293	femelle	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO034	x		x
Sioule	35	348	369	indeter	≥ 2+	aval camping	03/07/19	Persat/FDDPMA63	SIO035	x		x
Sioule	36	445		indeter	≥ 2+	St Cyr	13/06/17	FDPPMA63	SIO036	x		x
Sioule	37	320		indeter	≥ 2+	St Cyr	13/06/17	FDPPMA63	SIO037	x	x	x
Sioule	38	350		indeter	≥ 2+	Servant amont Beau site	26/06/17	FDPPMA63	SIO038	x	x	x
Sioule	39	430		indeter	≥ 2+	Mise à l'eau canoë	25/06/17	FDPPMA63	SIO039	x	x	x
Sioule	40	400		indeter	≥ 2+	Gaby	24/06/17	FDPPMA63	SIO040	x	x	x
Sioule	41	360		indeter	≥ 2+	Champeaux	28/06/17	FDPPMA63	SIO041	x	x	x
Sioule	42	illisible		indeter	≥ 2+	Champeaux	24/06/17	FDPPMA63	SIO042	x	x	x
Sioule	43	420		indeter	≥ 2+	Champeaux	25/06/17	FDPPMA63	SIO043	x	x	x
Dore	51	87	4,5	indeter	0+	job chez Ballut	30/07/19	FDPPMA63	DOR001	x	x	x
Dore	52	289	189	indeter		job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR002	x	x	x
Dore	53	272	159	indeter		job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR003	x	x	x
Dore	54	346	40	indeter	≥ 2+	job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR004	x	x	x
Dore	55	213	72,5	indeter		job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR005	x	x	x
Dore	56	224	84	indeter		job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR006	x	x	x
Dore	57	212	74,5	indeter		job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR007	x	x	x
Dore	58	259	133	indeter		job la Chaux	30/07/19	FDPPMA63	DOR008	x	x	x
Dore	59	208	67,5	indeter		pont david amont	27/08/19	FDPPMA63	DOR009	x	x	x
Dore	60	292	184	indeter		pont david amont	27/08/19	FDPPMA63	DOR010	x	x	x
Dore	61	286	178,5	indeter		pont david amont	27/08/19	FDPPMA63	DOR011	x	x	x
Dore	62	295	220,5	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR012	x	x	x
Dore	63	102	7	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR013	x		x
Dore	64	301	211	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR014	x	x	x
Dore	65	291	160	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR015	x	x	x
Dore	66	230	88	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR016	x	x	x
Dore	67	226	82	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR017	x	x	x
Dore	68	125	12	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR018	x	x	x
Dore	69	312	232	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR019	x	x	x
Dore	70	116	9,5	indeter		Amont Stade Marsac en Liv	24/09/19	FDPPMA63	DOR020	x	x	x
Dore	71 (1)	299	224	femelle ?		Vertolaye La Prade		Persat-Pêcheurs	DOR021	x		x
Dore	72 (2)	350	326	mâle ?		Vertolaye La Prade		Persat-Pêcheurs	DOR022	x		x
Dore	73 (3)	361	354	mâle ?		Vertolaye La Prade		Persat-Pêcheurs	DOR023	x		x
Dore	74	250	138	indeter		Pont de Suargues, Masselèbre	17/09/20	FDPPMA63	DOR024	x	x	x
Dore	75	296	186	indeter		Les Prairies Ambert	17/09/20	FDPPMA63	DOR025	x	x	x

Dore	76	299	193	indeter		Les Prairies Ambert	17/09/20	FDPPMA63	DOR026	x	x	x
Dore	77	331	246	indeter	≥ 2+	Les Prairies Ambert	17/09/20	FDPPMA63	DOR027	x	x	x
Dore	78	306	205,5	indeter		Les Prairies Ambert	17/09/20	FDPPMA63	DOR028	x	x	x
Dore	79	101	8	indeter	0+	Les Prairies Ambert	17/09/20	FDPPMA63	DOR029	x	x	x
Durolle	80	176	38	indeter	1+	Fellet	10/08/20	FDPPMA63	DOR030	x	x	x
Alagnon	81	235	105,5	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN001	x	x	x
Alagnon	82	243	106,5	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN002	x	x	x
Alagnon	83	284	174	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN003	x	x	x
Alagnon	84	252	127	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN004	x	x	x
Alagnon	85	235	96	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN005	x	x	x
Alagnon	86	245	116	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN006	x	x	x
Alagnon	87	249	126	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN007	x	x	x
Alagnon	88	314	244	indeter	≥ 2+	Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN008	x	x	x
Alagnon	89	134	17	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN009	x	x	x
Alagnon	90	338	309,5	indeter	≥ 2+	Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN010	x	x	x
Alagnon	91	251	124	indeter		Derrière Stade la Combelle	17/09/19	FDPPMA63	ALN011	x		x
Alagnon	92	336	310	indeter	≥ 2+	Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN012	x	x	x
Alagnon	93	284	186	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN013	x	x	x
Alagnon	94	237	105,5	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN014	x	x	x
Alagnon	95	310	229	indeter	≥ 2+	Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN015	x	x	x
Alagnon	96	225	102	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN016	x	x	x
Alagnon	97	242	124	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN017	x	x	x
Alagnon	98	256	136	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN018	x	x	x
Alagnon	99	215	81	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN019	x	x	x
Alagnon	100	252	119,5	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN020	x	x	x
Alagnon	101	346	315	indeter	≥ 2+	Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN021	x	x	x
Alagnon	102	275	165	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN022	x		x
Alagnon	103	283	197	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN023	x		x
Alagnon	104	252	131,5	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN024	x		x
Alagnon	105	250	131,5	indeter		Amont Château	17/09/19	FDPPMA63	ALN025	x		x
Alagnon	106	270		indeter		Pont D76	05/10/19	FDPPMA63	ALN026	x	x	x
Alagnon	107	278		indeter		Pont D76	05/10/19	FDPPMA63	ALN027	x	x	x
Alagnon	108	234		indeter		Pont D76	05/10/19	FDPPMA63	ALN028	x	x	x
Alagnon	109	305		indeter		Pont D76	05/10/19	FDPPMA63	ALN029	x	x	x
Ance du Nord	110	205	64	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN001	x	x	x
Ance du Nord	111	104	8,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN002	x	x	x
Ance du Nord	112	198	58,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN003	x	x	x
Ance du Nord	113	289	184,5	Male		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN004	x	x	x
Ance du Nord	114	189	55	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN005	x	x	x
Ance du Nord	115	217	73,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN006	x	x	x
Ance du Nord	116	200	57,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN007	x	x	x
Ance du Nord	117	106	9,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN008	x	x	x
Ance du Nord	118	92	5,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN009	x	x	x
Ance du Nord	119	341	292	Femelle		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN010	x	x	x
Ance du Nord	120	271	159,5	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN011	x		x
Ance du Nord	121	207	85	indeter		Dans village Pontempeyrat	12/09/19	FDPPMA63	ANN012	x		x
Ance du Nord	122	103	8	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN013	x	x	x
Ance du Nord	123	291	196,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN014	x	x	x
Ance du Nord	124	105	7,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN015	x	x	x
Ance du Nord	125	217	81,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN016	x	x	x
Ance du Nord	126	375	408	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN017	x	x	x
Ance du Nord	127	216	80	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN018	x	x	x
Ance du Nord	128	348	360,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN019	x		x
Ance du Nord	129	288	191	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN020	x	x	x
Ance du Nord	130	275	164	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN021	x	x	x
Ance du Nord	131	319	248,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN022	x	x	x
Ance du Nord	132	230	98	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN023	x		x
Ance du Nord	133	195	57,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN024	x		x
Ance du Nord	134	95	7,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN025	x		x
Ance du Nord	135	220	93,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN026	x	x	x
Ance du Nord	136	280	177	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN027	x		x
Ance du Nord	137	344	324	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN028	x		x
Ance du Nord	138	203	71	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN029	x		x
Ance du Nord	139	100	6,5	indeter		Raffiny le Soleillant	12/09/19	FDPPMA63	ANN030	x		x
Allier	140	310	/	indeter		av PT Pakowsky	09/10/16	FDPPMA63	ALI001	x		x
Allier	141	325	/	indeter		av PT Pakowsky	09/10/16	FDPPMA63	ALI002	x	x	x
Allier	142	240	/	indeter		Alcan	01/10/15	FDPPMA63	ALI003	x	x	x

Allier	143	235	/	indeter		Alcan	01/10/15	FDPPMA63	ALI004	x	x	x
Allier	144	400	/	indeter		Alcan	01/10/15	FDPPMA63	ALI005	x	x	x
Allier	145	240	/	indeter		Alcan	01/10/15	FDPPMA63	ALI006	x	x	x
Allier	146	260	/	indeter		Alcan	01/10/15	FDPPMA63	ALI007	x		x
Allier	147	270	/	indeter		Alcan	01/10/15	FDPPMA63	ALI008	x		x
Allier	148	277	/	indeter		Amont Pt Parentignat	oct-17	FDPPMA63	ALI009	x	x	x
Allier	149	270	/	indeter		Amont Pt Parentignat	oct-17	FDPPMA63	ALI010	x	x	x
Allier	150	370	/	indeter		Amont Pt Parentignat	oct-17	FDPPMA63	ALI011	x	x	x
Allier	151	288	/	indeter		Amont Pt Parentignat	oct-17	FDPPMA63	ALI012	x	x	x
Allier	152	306	/	indeter		Coudes Perrache	nov-18	FDPPMA63	ALI013	x	x	x
Allier	153	261	/	indeter		Coudes Perrache	nov-18	FDPPMA63	ALI014	x	x	x
Allier	154	285	/	indeter		Coudes Perrache	nov-18	FDPPMA63	ALI015	x		x
Allier	155	312	/	indeter		Coudes Perrache	nov-18	FDPPMA63	ALI016	x	x	x
Allier	156	370	/	indeter		Saut du Loup	24/08/19	FDPPMA63	ALI017	x	x	x
Allier	157	365	/	indeter		Saut du Loup	24/06/19	FDPPMA63	ALI018	x	x	x
Besse	170	64	1,8	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES031	x	x	x
Besse	171	68	2,2	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES032	x	x	x
Besse	172	57	1,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES033	x	x	x
Besse	173	56	1,4	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES034	x	x	x
Besse	174	55	1,2	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES035	x	x	x
Besse	175	63	2,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES036	x	x	x
Besse	176	80	4,8	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES037	x	x	x
Besse	177	68	2,1	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES038	x	x	x
Besse	178	55	1,1	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES039	x	x	x
Besse	179	58	1,3	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES040	x	x	x
Besse	180	52	0,9	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES041	x		x
Besse	181	76	2,9	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES042	x		x
Besse	182	53	1,3	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES043	x		x
Besse	183	74	3	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES044	x		x
Besse	184	71	2,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES045	x		x
Besse	185	74	2,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES046	x		x
Besse	186	75	2,9	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES047	x		x
Besse	187	56	1,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES048	x		x
Besse	188	65	2,1	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES049	x		x
Besse	189	85	4,3	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES050	x		x
Besse	190	72	2,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES051	x		x
Besse	191	70	2,2	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES052	x		x
Besse	192	78	3,7	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES053	x		x
Besse	193	70	2,5	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES054	x		x
Besse	194	80	3,6	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES055	x		x
Besse	195	65	2,1	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES056	x		x
Besse	196	77	3	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES057	x		x
Besse	197	70	2,2	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES058	x		x
Besse	198	73	2,6	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES059	x		x
Besse	199	50	0,9	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES060	x		x
Besse	200	87	4,9	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES061	x		x
Besse	201	75	2,8	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES062	x		x
Besse	202	89	4,7	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES063	x		x
Besse	203	70	2,3	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES064	x		x
Besse	204	77	3,2	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES065	x		x
Besse	205	62	1,6	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES066	x		x
Besse	206	54	1,2	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES067	x		x
Besse	207	66	1,9	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES068	x		x
Besse	208	72	2,4	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES069	x		x
Besse	209	70	2,6	indéter	0+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES070	x		x
Besse	210	215	93,3	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES071	x		x
Besse	211	264	173,4	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES072	x		x
Besse	212	249	176,7	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES073	x	x	x
Besse	213	222	108,7	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES074	x	x	x
Besse	214	243	129,9	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES075	x		x
Besse	215	224	70	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES076	x	x	x
Besse	216	254	149	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES077	x		x
Besse	217	217	102	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES078	x		x
Besse	218	200	53,7	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES079	x		x
Besse	219	232	114,5	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES080	x		x
Besse	220	234	120	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES081	x		x
Besse	221	202	57,4	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES082	x		x
Besse	222	257	110	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES083	x		x
Besse	223	223	91,4	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES084	x		x

Besse	224	215	99,4	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES085	x		x
Besse	225	265	138,4	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES086	x		x
Besse	226	205	65,3	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES087	x		x
Besse	227	223	107	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES088	x		x
Besse	228	233	135,2	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES089	x		x
Besse	229	222	106,6	indéter	2+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES090	x		x
Besse	230	376	452,5	indéter	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES091	x		x
Besse	231	339	376,2	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES092	x		x
Besse	232	359	426,7	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES093	x		x
Besse	233	360	472,1	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES094	x		x
Besse	234	356	405,2	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES095	x		x
Besse	235	345	410	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES096	x		x
Besse	236	335	388,4	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES097	x		x
Besse	237	388	426,1	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES098	x		x
Besse	238	366	394,3	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES099	x		x
Besse	239	433	797	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES100	x		x
Besse	240	378	401,2	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES101	x		x
Besse	241	345	324,9	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES102	x		x
Besse	242	291	283,5	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES103	x		x
Besse	243	380	506	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES104	x		x
Besse	244	342	358,6	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES105	x	x	x
Besse	245	297	343,8	/	>3+	Pisciculture	24/10/19	FDPPMA63	BES106	x	x	x
Besse	246	310	376,8	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES107	x	x	x
Besse	247	352	481	1	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES108	x	x	x
Besse	248	315	350,3	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES109	x		x
Besse	249	319	272,6	0	>3+	Pisciculture	23/10/19	FDPPMA63	BES110	x	x	x
Echantillons périphériques												
Combade	1	320	271	female ?	3+	Pont de Masléon	28/05/15	Persat-FDPPMA83	D63COM001	x		x
Combade	2	322	246	male ?	3+	Pont de Masléon	28/05/15	Persat-FDPPMA83	D63COM002	x		x
Lignon	1	361	353	male ?	3+	Boën	29/05/15	Persat-Pêcheurs	D63LIG001	x		x
Lignon	2	350	326	male ?	3+	Boën	29/05/15	Persat-Pêcheurs	D63LIG002	x		x
Lignon	3	183	—		1+	Boën	29/05/15	Persat-Pêcheurs	D63LIG003	x		x
Loire	1	267	143		3+	Pont de Chadron	28/05/15	Persat-OFB	D63LOI001	x	x	x
Loire	2	264	140		3+	Pont de Chadron	28/05/15	Persat-OFB	D63LOI002	x		x
Loire	3	329	278		3+	Pont de Chadron	28/05/15	Persat-OFB	D63LOI003	x	x	x
Alagnon	1	474		female ?	≥ 4+	Ferrières Saint Mary	27/06/16	Persat-Pêcheurs	D63ALA001	x		x

Tableau B : Profils génétiques des haplotypes : sites informatifs sur la séquence d'ADN mitochondrial examinée en prenant comme référence l'haplotype H124.

	12	68	70	74	99	105	136	151	153	193	206	233	261	278	284	298	310	336	355	428	452	553	591	596	613	615	654	656	667	671	688	699	730	743	800	803	815	920	924	1005	1010	1012	1013	1020	1021										
H124	G	C	G	-	C	A	A	C	G	A	T	G	T	T	T	A	C	C	A	A	T	C	G	G	T	A	-	T	A	G	T	A	A	A	T	A	C	C	C	C	G	-	C	G	-	C	G	-							
H125	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
H126	.	T	A	-	.	.	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
H129	.	T	A	-	.	.	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
H130	.	T	A	-	.	.	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
H123	.	T	A	-	.	.	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
H120	.	T	A	A	-	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.				
H121	.	T	A	A	-	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
At1	.	T	A	A	-	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
Da1	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	.	G	G	C	.	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	G	G	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			
Da4	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	T	G	G	C	.	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	G	G	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
Da11	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	T	G	G	C	.	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	G	G	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Da30	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	T	G	G	C	.	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	G	G	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Rh1	A	T	A	-	.	.	G	G	T	A	C	C	A	C	.	T	T	T	C	.	C	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Rh4	A	T	A	-	.	.	G	T	A	C	C	A	C	C	.	T	T	T	C	.	C	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Ht4	A	T	A	-	.	.	G	G	T	A	C	C	A	C	.	T	T	T	C	.	C	.	.	.	A	C	G	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
H114	A	T	A	-	.	.	G	G	T	A	C	C	A	C	.	C	T	T	T	C	.	C	.	.	.	A	C	G	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
Ht3	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	T	G	.	C	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
H127	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	T	C	.	C	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
OEN33	A	T	A	-	.	.	G	T	A	.	C	A	C	C	.	T	T	T	C	.	C	.	.	.	C	G	C	-	G	A	.	A	C	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
AL1002	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.			

Mutations majeures de transversions

Base identique à la base de la séquence de référence

Base manquante (insertions/délétions)