

Rapport de stage pour l'obtention de la seconde année de Master

# ÉTUDE DES DÉPLACEMENTS MIGRATOIRES POST-REPRODUCTION CHEZ L'OMBRE COMMUN (*THYMALLUS THYMALLUS* L. 1758) PAR RADIOPISTAGE SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ARVE

---



Romain GADAIS

Mars – Août 2012

Avec la participation financière de :

Maîtres de stage :

Laure VIGIER – FDPPMA 74

Arnaud CAUDRON – INRA UMR Carrtel



h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie  
et d'architecture de Genève



## **REMERCIEMENTS**

Je remercie la Fédération Départementale de Pêche de Haute-Savoie de m'avoir accueilli durant ce stage de fin d'études.

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>3</b>
2.1	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....	3
2.2	CARACTÉRISTIQUES DU SITE D'ÉTUDE .....	4
2.3	OBSTACLES À LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE .....	8
2.4	BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE DE L'OMBRE COMMUN .....	9
2.5	PROTECTION ET GESTION DE L'OMBRE EN FRANCE ET EN SUISSE .....	10
<b>3</b>	<b>MATÉRIELS ET MÉTHODES .....</b>	<b>13</b>
3.1	PÉRIODE D'ÉCHANTILLONNAGE .....	13
3.2	CAPTURE, MARQUAGE, BIOMÉTRIE ET PRÉLÈVEMENTS .....	14
3.1	MESURES DE PARAMÈTRES ENVIRONNEMENTAUX .....	17
3.2	LOCALISATION PAR RADIODÉLÉMENTRIE .....	19
3.3	ESTIMATION DE LA PRÉCISION DE LOCALISATION .....	22
3.4	MÉTRIQUES ET INDICES DE LOCALISATION EMPLOYÉES .....	23
3.5	TESTS STATISTIQUES ET INDICES UTILISÉS .....	25
<b>4</b>	<b>RÉSULTATS .....</b>	<b>28</b>
4.1	CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DU SUIVI .....	28
4.2	BILAN DES MARQUAGES ET SUIVIS .....	29
4.3	CARACTÉRISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUÉS .....	31
4.4	ANALYSE DES BIAIS MÉTHODOLOGIQUES .....	33
4.5	DESCRIPTION GÉNÉRALE DES COMPORTEMENTS MIGRATOIRES .....	35
4.6	SEGMENTS HYDROMORPHOLOGIQUES PRÉFÉRENTIELS .....	39
4.7	INFLUENCE DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES SUR LES DÉPLACEMENTS .....	41
<b>5</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>43</b>
5.1	APPORTS DE L'ÉTUDE SUR LES CONNAISSANCES DE L'ÉCOLOGIE DE L'OMBRE .....	43
5.2	ANALYSE DE LA MÉTHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE .....	44
5.3	PROPOSITIONS DE GESTION .....	46
<b>6</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>48</b>

# **1 INTRODUCTION**

L'Ombre commun (*Thymallus thymallus* L. 1758) est une espèce de *Salmonidae* autochtone en Europe, emblématique (zone à Ombre de Huet) et patrimoniale qui a vu son aire de répartition fortement régresser et se réduire à une mosaïque de populations isolées à la fin des années soixante-dix (Bruslé & Quignard, 2001). Différentes pressions anthropiques sont à l'origine de cette dégradation de l'espèce.

Aux atteintes au biotope (perturbations de la dynamique hydraulique et sédimentaire, pollutions chroniques et accidentelles, ...) se sont ajoutées des actions impactant directement l'espèce (pression de pêche inadaptée, pollution génétique par repeuplement allochtone) entraînant aujourd'hui le classement de l'espèce comme « vulnérable » en France et en Suisse (Freyhof, 2011; Ovidio, Parkinson, Sonny, & Philippart, 2004). De plus, dans le contexte actuel de changements climatiques global, l'Ombre commun serait « une des espèces les plus menacées » (Persat, 2011).

En Europe de l'Ouest, la répartition de l'Ombre tend à se fractionner en une mosaïque de populations isolées et différentes génétiquement (Persat, 1966 in Bruslé & Quignard, 2001; Persat & Eppe, 1997). En Haute-Savoie, le peuplement s'est réduit et morcelé à partir des années 1970 suite au développement économique grandissant de la région qui a entraîné de nombreuses altérations des cours d'eau (pollution physico-chimique, chenalisation, endiguement, création de seuils, de barrages, extraction de granulats... (Persat & Eppe, 1997)).

Au vu de la condition actuelle de l'espèce, il apparaît urgent de mettre en place une gestion et des mesures de protection adaptées et concertées pour chaque bassin de population. Ces actions de préservation de l'espèce devront se baser sur une connaissance des traits d'histoire de vie de l'espèce appliqués aux particularités du territoire.

Depuis une dizaine d'années, la Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de Haute-Savoie s'attache à mieux connaître la biologie et l'écologie des espèces présentes sur son territoire et leurs relations avec le milieu avec pour but final d'appliquer une gestion adaptée.

La technologie de radiotélémétrie, actuellement en plein développement, permet de répondre à certaines interrogations persistantes sur de nombreux aspects de la biologie et de l'écologie de l'Ombre appliquées au contexte environnemental local.

Après une présentation du contexte général et local du projet ainsi que du protocole adopté, cette étude analysera les données de radiopistage acquises en 2011 et 2012 et s'attachera à les mettre en relation avec les paramètres environnementaux suivis simultanément. Des pistes de recherches complémentaires et des recommandations de gestion pourront alors être dégagées des résultats obtenus.



## 2 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

### 2.1 Objectifs de l'étude

Dans un passé encore récent, une population abondante d'Ombres communs vivait sur la basse vallée de l'Arve. Les nombreuses atteintes au milieu (physiques et chimiques) ont modifiées, bien souvent de manière irréversible, l'habitat dans sa globalité (Anonyme 2000).

Le statut d'espèce « en voie de disparition » dans le département a été constaté dès 1985 dans le Schéma Départemental à Vocation Piscicole (Wojtenka, 1985) puis confirmé en 1994.

Face à ce déclin, à partir de la fin des années 1990, des enquêtes ponctuelles (pêches électriques sur les affluents, observations de reproduction) ont été progressivement mises en place afin de recueillir des indices de présence sur le bassin versant de l'Arve. Récemment, l'ensemble de ces observations a été synthétisé dans le cadre d'un projet d'étude transfrontalier franco-suisse (Figure 1).

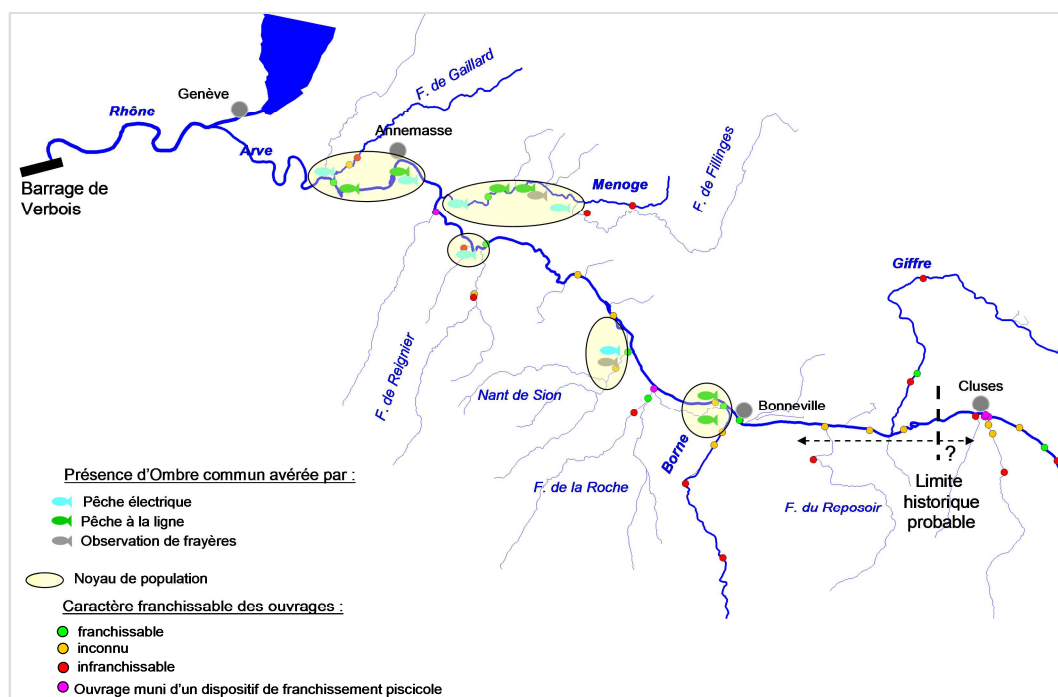


Figure 1 : répartition des indices de présence et noyaux de population d'Ombres sur le bassin versant de l'Arve - source : VIGIER, L. FDP-74

Suite à deux études récentes : une locale concernant l'évaluation des travaux de restauration d'un affluent-frayère d'Ombres, le Nant de Sion et une plus globale portant sur la génétique des populations suisses et haut savoyarde (projet *Thymallus*), différents éléments de connaissance ont pu être apportés.

Premièrement, les mouvements pré-reproduction des géniteurs et la dévalaison des juvéniles ont été étudiés (Vigier, Gil, Grimardias, Cattaneo, & Caudron, 2012) et deuxièmement, deux noyaux de population présentant des différences génétiques notables et sans rapport avec les souches utilisées lors des opérations de repeuplement ont été identifiés à l'amont et à l'aval du barrage d'Arthaz (S. Weiss, Institut for Zoology, University of Graz - Austria, *comm. pers.*).

Cependant, une grande zone d'inconnu demeure en ce qui concerne la biologie et l'écologie de l'Ombre dans le cours principal de l'Arve en raison de son accessibilité et de diverses difficultés d'étude (rivière large, puissante, à turbidité élevée empêchant la capture par pêche électrique).

De plus, les particularités génétiques soulevées lors des précédentes études amènent des interrogations quant aux liens entre les deux noyaux de population observés, à la fragmentation de ces populations et à leurs aires de fonctionnalité. Des éléments de réponses à ces questions sont essentiels pour la mise en place d'un plan de gestion à une échelle adaptée et pour assurer le maintien voire le développement de cette espèce.

L'utilisation de la technique de radiotélémétrie permet de pallier les problèmes d'inaccessibilité de l'Arve et d'étudier un échantillon d'Ombres sur un territoire étendu. Les réponses principales attendues par cette étude de nature prospective sont :

- Évaluer l'aire de fonctionnalité des différents noyaux de population identifiés génétiquement.
- Caractériser les liens entre ces noyaux.
- Étudier les relations individu – habitat dans différents contextes environnementaux.
- Caractériser l'impact des ouvrages sur les déplacements.

## 2.2 Caractéristiques du site d'étude

### 2.2.1 Caractéristiques générales du bassin versant

Le bassin versant de l'Arve, d'une superficie de 2083 km<sup>2</sup>, est situé à 99% sur le territoire Français et représente 1/3 du département de la Haute-Savoie (Figure 2) (Sandre-Eaufrance, 2011).

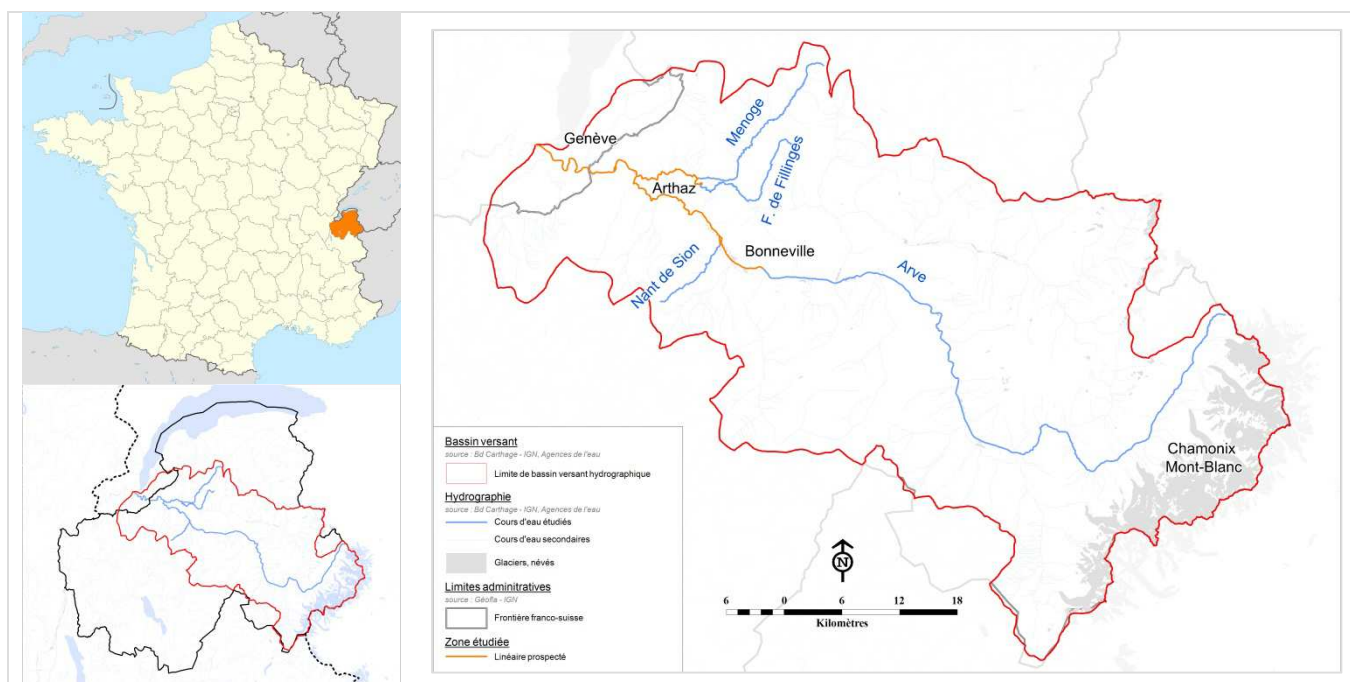


Figure 2 : carte de situation générale du bassin versant de l'Arve et de la zone étudiée

Il est caractérisé par une importante densité de population (147 hab. / km<sup>2</sup>) généralement concentrée dans les fonds de vallée, aux abords du cours d'eau. Ces vallées sont donc fortement urbanisées alors que les versants accueillent les activités agricoles et les forêts. La partie Est du bassin versant, situé à plus de 1000 m d'altitude, est occupée par des glaciers (120 km<sup>2</sup>) dont la « mer de glace » alimentant l'Arve lors de la fonte (Anonymes, 2012a). Les grands secteurs d'activité économique présent sur le bassin versant sont le tourisme, l'industrie (métal, bois) et l'élevage.

Sur ce bassin versant, 4 cours d'eau sont concernés par cette étude : l'Arve, la Menoge, le Foron de Fillinges et le Nant de Sion. La zone d'étude retenue correspond à la zone de répartition historique de l'Ombre sur l'Arve (d'après les travaux de Kreitmann, 1931) et aux zones occupées sur les affluents (d'après différentes sources de données cf. Figure 1). Cette zone est située en secteur de piedmont à une altitude comprise entre 375 et 560 m NGF (Figure 3).

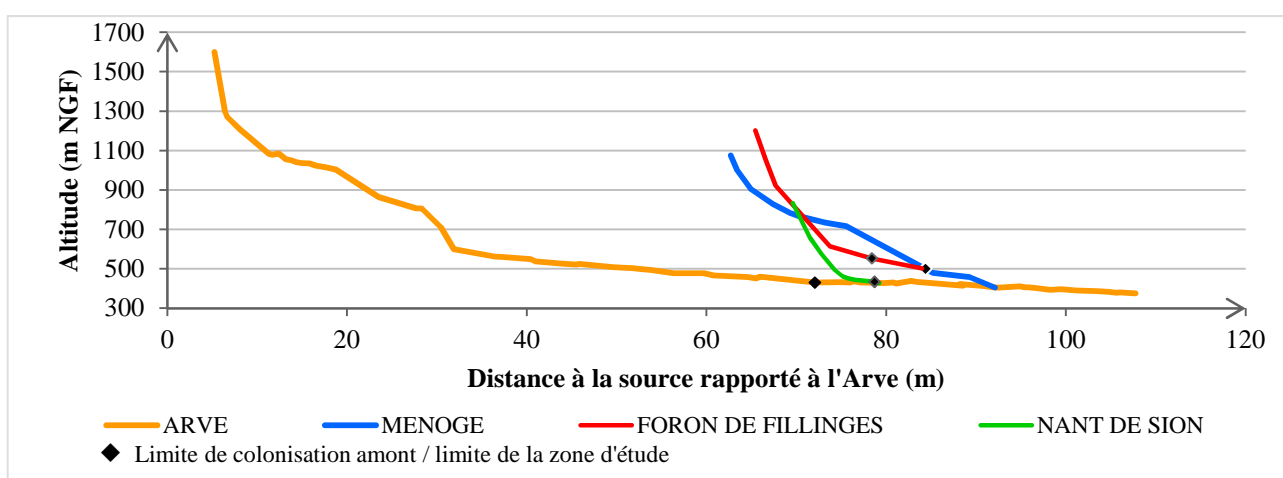


Figure 3 : profils en long des 4 cours d'eau concernés par l'étude

## 2.2.2 L'Arve

L'Arve est un des principaux cours d'eau de Haute-Savoie d'une longueur de 107,8 km. C'est le premier affluent du Rhône après sa sortie du lac Léman. Il prend sa source dans le massif du Mont-Blanc à Chamonix et se jette dans le Rhône à Genève (la portion Suisse représentant 9 km). La majorité des affluents sont de petits cours d'eau torrentiels ou des rivières plus conséquentes telles que : le Giffre, le Borne et la Menoge.

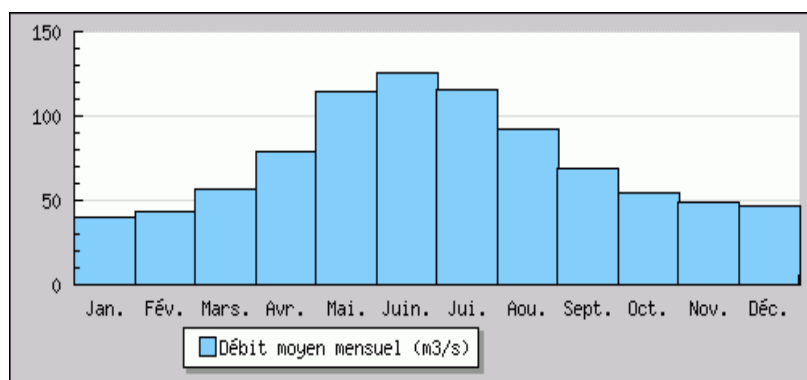


Figure 4 : hydrogramme de l'Arve à Arthaz Pont Notre Dame (1961-2009) – source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>

Le régime hydrologique de l'Arve est de type nivo-glaciaire avec des influences nivo-pluviales dans la partie aval. Les étiages ont lieu en hiver et les hautes eaux plutôt en été lors de la fonte des neiges et des glaciers. (Figure 4) (Wojtenka, 1985). L'Arve a un module de 77,7 m<sup>3</sup>/s et

une crue biennale de 487 m<sup>3</sup>/s

Le transport solide est particulièrement important sur l'Arve grâce à la production externe assurée par la nature morainique de la tête de bassin, la forte pente et les pics de crues brutaux et élevés (Anonymes, 2012a) (Figure 5).

L'Arve a été fortement artificialisée au fil du temps par différents travaux et activités : extraction de granulats, production hydroélectrique, endiguement, ... (Lecuret, 1994).



*Figure 5 : vue générale de l'Arve amont*

Ces activités ont des répercussions sur la dynamique sédimentaire de l'Arve et des affluents. Les disfonctionnement sédimentaires sont, en effet multiples :

- Déficit en sédiment provoquant une incision de l'Arve et de ses affluents (de 1 à 4 m voir 12 m) ce qui a conduit à construire plusieurs seuils de stabilisation en enrochement.
- Réduction de la largeur (de 500 m en 1930 à 50 m aujourd'hui à Sallanches) et de l'espace de divagation de l'Arve.
- Disparition des annexes hydrauliques (bras secondaire, tressage).
- Banalisation des faciès hydro-sédimentaires.

La qualité des eaux est également perturbée par les rejets domestiques (matières azotées et phosphorées), dus en partie, à l'augmentation régulière de la population notamment à proximité de la frontière franco-suisse, et par les rejets industriels surtout métalliques (Anonymes, 2012a; Lecuret, 1994). Aucune donnée récente de répartition de l'Ombre n'est disponible sur l'Arve ; les derniers éléments datant des travaux de Kreitmann en 1931 qui situait sa limite amont au niveau de la confluence avec le Giffre (Figure 1).

### 2.2.3 Le Nant de Sion

Le Nant de Sion est un petit affluent temporaire de l'Arve aval d'une longueur de 9,25 km et drainant un bassin de 14 km<sup>2</sup> (Figure 6). Cet « affluent frayère » est fréquenté, sur ses 2 kilomètres aval, par l'Ombre commun lors de la période de reproduction (Lecuret, 1994).



Figure 6 : vue du Nant de Sion aval

### 2.2.4 La Menoge

La Menoge est un affluent important de l'Arve de 29,5 km de long pour un bassin versant de 162 km<sup>2</sup> (Figure 7). Elle possède un régime hydrologique pluvial et est caractérisée par des étiages relativement sévères (Figure 8) (Anonymes, 2012a). La Menoge a un module de 3,58 m<sup>3</sup>/s et une crue biennale de 25 m<sup>3</sup>/s



Figure 7 : vue de la Menoge à Vétraz-Monthoux

Comme l'Arve, le lit majeur et mineur de la Menoge a subi une incision due aux extractions abusives de granulats pratiquées dans les années 1970 (Lecuret, 1994).

La qualité de l'eau est globalement moyenne et dégradée par de fortes concentrations en matières azotées et phosphorées (Anonymes, 2012a).

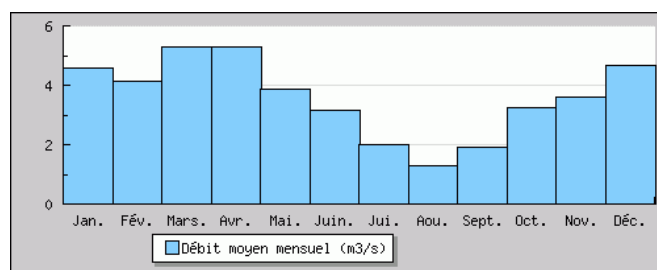


Figure 8 : hydrogramme de la Menoge à Bonne (1979 - 2012) - source : <http://www.hydro.eaufrance.fr>

La répartition actuelle de l'Ombre s'étend sur les 8 km aval soit jusqu'à la confluence avec le Foron de Fillinges. Ceci correspond à la limite historique définie par Kreitmann en 1931.

### 2.2.5 Le Foron de Fillinges

Le Foron de Fillinges est un affluent de la Menoge d'un linéaire de 17 km et d'une superficie de bassin versant de 55 km<sup>2</sup>. L'Ombre y est présent sur les 1,5 km aval.



## 2.3 Obstacles à la continuité écologique



Figure 9 : carte des ouvrages transversaux situés sur la zone d'étude -  
source : Chasserieau, C. 2010

Le secteur d'étude est séparé par un ouvrage jugé structurant en raison de ses caractéristiques : le barrage de production hydroélectrique d'Arthaz (Figure 9, Figure 10, Figure 11).

Situé à l'amont immédiat de la confluence avec la Menoge, il délimite deux secteurs dans la zone d'étude : le secteur aval (Arve aval en connexion avec la Menoge et Foron de Fillinges) et le secteur amont (Arve amont en connexion avec le Nant de Sion).

Ces deux secteurs accueillent deux noyaux de population d'Ombres génétiquement différents (S. Weiss, Institut for Zoology, University of Graz – Austria, *comm. pers.*).

Sur la portion Suisse, l'Arve est également barrée par le seuil de Vessy, ancienne station de pompage aujourd'hui dédiée à la production hydroélectrique (Anonymes, 2012b). Ces deux ouvrages sont équipés de passes à poissons à bassins successifs à fentes verticales construites en 2000 pour Arthaz et en 2005 et 2007 pour Vessy (2 passes). Ce dernier est également muni d'une barrière à répulsion électrique empêchant les poissons de se diriger vers le canal de fuite de l'usine (Anonymes, 2009). Ces deux usines fonctionnent « au fil de l'eau ».



Figure 10 : vue amont du seuil d'Arthaz



Figure 11 : vue aval du seuil d'Arthaz - source : Chasserieau, C. 2009

Les autres ouvrages situés sur l'Arve sont des seuils en enrochements libres construits afin de limiter localement l'incision et de stabiliser son profil (Chasserieau 2010). La Menoge comporte un seuil infranchissable situé à l'amont de la zone d'étude, au-delà de la limite actuelle et historique de répartition. Enfin, les deux affluents-frayères (Foron de Fillinges et Nant de Sion) possèdent une bonne accessibilité dans leur partie aval.

## 2.4 Biologie et écologie de l'Ombre commun

L'Ombre commun (*Thymallus thymallus* LINNAEUS, 1758) est un poisson de la famille des *Salmonidae* caractéristiques des rivières de basse montagne aux eaux fraîches (température estivale ne dépassant pas 24°C), bien oxygénées (concentration proche de la saturation) et de relativement bonne qualité chimique (Bruslé & Quignard, 2001; Persat, 1977, 2011).

C'est une espèce rhéophile (vitesses de courant comprises entre 70 et 110 cm/s) fréquentant généralement les faciès de radiers et de plats courants (Bruslé & Quignard, 2001). La migration et la reproduction sont déclenchées par une augmentation de la température de l'eau au-dessus de 8°C (Persat, 1988 in Bruslé & Quignard, 2001; Paquet, 2002).



Figure 12 : frayère d'Ombre et ses caractéristiques observée sur le Nant de Sion en Mars 2012

Les géniteurs remontent alors leur cours d'eau de croissance et/ou colonisent des « affluents-frayères » en Mars-Avril. Ils recherchent des zones au substrat gravelo-sableux, courantes (40-70 cm/s) et peu profondes (20-50 cm), généralement situées en tête de radier (Bruslé & Quignard, 2001) (Figure 12).

L'espèce enfouit 3000 à 6000 œufs par kg de femelle, de 3 mm de diamètre, dans le substrat (caractère lithophile) (Bruslé & Quignard, 2001).

Le cycle de vie de l'Ombre est relativement court sur le haut-Rhône français et ses affluents. En effet, l'espérance de vie est, en moyenne, de 4 ans et les géniteurs ne se reproduisent qu'une à deux fois (Persat, 1988 in Bruslé & Quignard, 2001). Les Ombres atteignent leur maturité sexuelle dès l'âge de 2 ans (Wojtenka, 1985).

## **2.5 Protection et gestion de l'Ombre en France et en Suisse**

### **2.5.1 Réglementation et protection de l'environnement**

#### **Statut de protection**

Sur le plan international, l'Ombre commun est inscrit à l'annexe III de la convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe dite « Convention de Berne » depuis 1979. Il est également classé comme espèce à « préoccupation mineure » (espèce pour laquelle le risque de disparition mondiale est faible) par l'UICN au niveau mondial.

Au niveau communautaire, l'Ombre commun est inscrit à l'annexe V de la directive 92/43/CEE dite directive « habitats-faune-flore ». Cette annexe liste l'ensemble des espèces d'intérêt communautaire susceptible de faire l'objet de mesures de gestion concernant le prélèvement dans la nature et l'exploitation (taille minimale et périodes de capture, zones de réserve, techniques réglementées, ...etc). Conformément à cette directive, l'exploitation de l'Ombre commun doit donc être « compatible avec le maintien dans un état de conservation favorable » de la population.

Cependant, cette institution l'a classé comme espèce vulnérable, en France et en Suisse, en raison de la diminution et de la faiblesse de la taille de la population (critères A2C et A4 abc) (Freyhof, 2011).

En France, l'arrêté du 8 décembre 1988 fixant la liste des espèces de poissons protégées sur l'ensemble du territoire national interdit la destruction des œufs et des frayères d'Ombre désignés par arrêté préfectoral.



En Suisse, l'Ombre est considéré comme une « espèce menacée » (statut 3E selon l'ordonnance relative à la loi fédérale suisse sur la pêche OLFP; RS 923.01).

### Activité pêche

En Haute-Savoie, la pêche de l'Ombre est interdite dans tout le département à l'exception du domaine public et des cours d'eau frontaliers avec la Suisse. La taille minimale de capture est de 30 cm et le nombre maximal de capture journalière est fixé à trois Ombres. Dans le département, seules les captures effectuées dans le Rhône, l'Arve et le Foron de Gaillard peuvent donc être conservées. Afin de ne pas fausser les résultats de cette étude, une campagne de communication auprès des pêcheurs a donc été mise en place sous forme d'affiches (Annexe 1) et d'information en assemblée générale.

En Suisse, l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV.) réglemente l'activité de pêche au niveau national. Les cantons peuvent également prendre des dispositions particulières sur leur territoire (Chancellerie-fédérale, 2005).

La période de fermeture de la pêche pour l'Ombre est de 10 semaines minimum. Les dates de début et de fin sont adaptables par chaque canton afin de correspondre à la période de reproduction locale (Confédération-suisse, 2011). La taille minimale de capture de l'Ombre est de 28 cm au niveau national, mais peut également être augmentée par les cantons (Confédération-suisse, 2011). Le canton de Genève, dans lequel coule l'Arve aval, a notamment augmenté cette taille à 35 cm. Dans ce canton, un seul Ombre peut être capturé par jour et par pêcheur et la prise annuelle est limitée à 5 pièces au maximum (Etat-de-Genève, 2012). Les dates d'ouverture et de fermeture de la pêche, en Suisse et en France, sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : périodes d'ouverture de la pêche en 2012 en France et en Suisse

		Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
France	DP1C*					19				7			
	DP2C*					19						31	
	RF*					19			30				
Suisse						19						25	

\**DP1C* : domaine public de première catégorie, *DP2C* : domaine public de seconde catégorie, *RF* : ruisseaux frontaliers.

## 2.5.2 Actions de gestion

### Repeuplement

En Suisse, aucun repeuplement n'a été effectué sur l'Arve et le Rhône depuis 1994 (Anonymes, 2003).

En France, des opérations de repeuplement ont régulièrement été effectuées sur l'Arve, le Giffre, le Nant de Sion et la Menoge jusqu'en 2009. En moyenne, 6 700 Ombres de 8 à 25 cm étaient déversés chaque année par les AAPPMA du Faucigny et du Chablais-Genevois (Annexe 2).

### Restauration du biotope

En France, des travaux de restauration du Nant de Sion aval (affluent de l'Arve) ont été menés en 2008 dans le but, notamment, de « recréer des zones potentielles de fraie en retrouvant une alternance de faciès d'écoulement radier/mouille » (Chasserieau 2011).

Dans ce cadre, des suivis de la remontée des géniteurs (Vigier *et al.*, 2012) ont été mis en place et une évaluation des effets sur l'habitat physique et la fonctionnalité écologique du milieu est en cours de réalisation.

### 3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

#### 3.1 Période d'échantillonnage

La présente étude a été menée sur deux années consécutives, 2011 étant consacrée à la mise au point et au test du protocole et 2012 à une étude plus approfondie, sur un plus grand nombre d'individus.

Lors de la période de reproduction, l'Ombre se rassemble dans les secteurs de frayères correspondants aux zones peu profondes des bras secondaires ou des affluents (Cf. §2.4). En dehors de cette période, il fréquente plutôt le cours principal des rivières et se situe donc dans des profondeurs trop importantes pour y pratiquer de la pêche électrique (du moins à pied) en particulier sur l'Arve.

De plus, la capture de l'Ombre par pêche électrique est particulièrement délicate et s'apparente plus à de la « chasse » (Persat, H. *comm. pers.*). En effet, les Ombres ont tendance à fuir très rapidement, avant même d'être sous l'influence de l'anode. Ils sont également peu sensibles au courant et adoptent difficilement une électrotaxie positive (nage forcée vers l'anode) mais continuent à dévaler même dans l'aire d'efficacité de l'anode.

Pour ces deux raisons, la fenêtre de capturabilité des Ombres se situant donc pendant la période de reproduction, les pêches de marquage ont dû être menées en période de fraie. Afin de limiter l'impact de l'étude sur la population d'Ombres en place, les pêches ont été menées en fin de période de reproduction comme l'a vérifié l'état physiologique des individus capturés (seulement deux femelles encore ovulantes, les autres étant déjà frayées).

La présente étude porte donc sur la migration post-reproduction des Ombres sur une voire deux périodes de fraie (Figure 13).

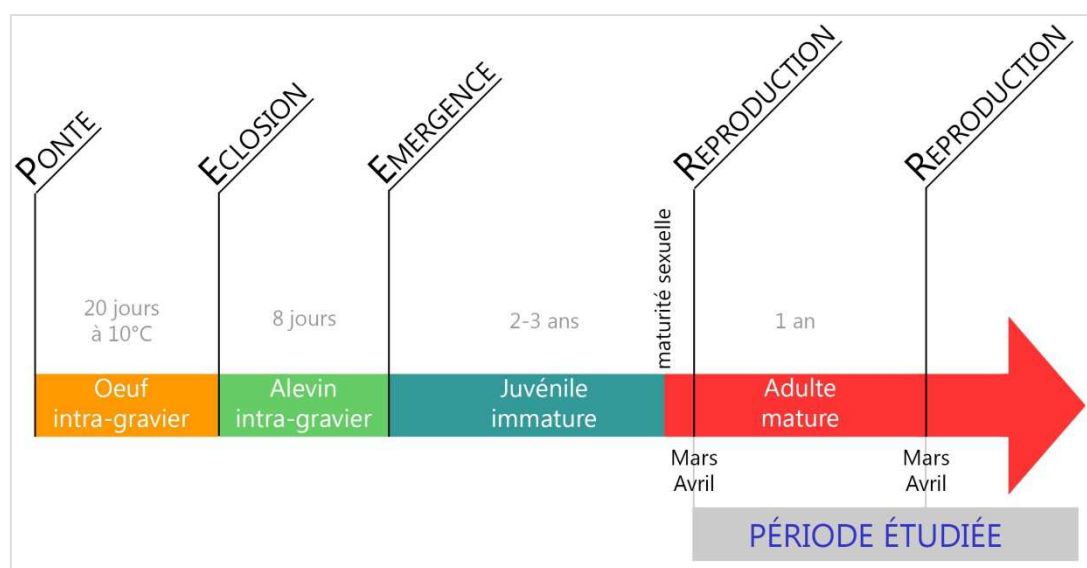


Figure 13 : cycle de vie de l'Ombre commun dans l'aire d'étude et période étudiée

## 3.2 Capture, marquage, biométrie et prélèvements

Le protocole de marquage s'est déroulé en 6 étapes (Figure 14).

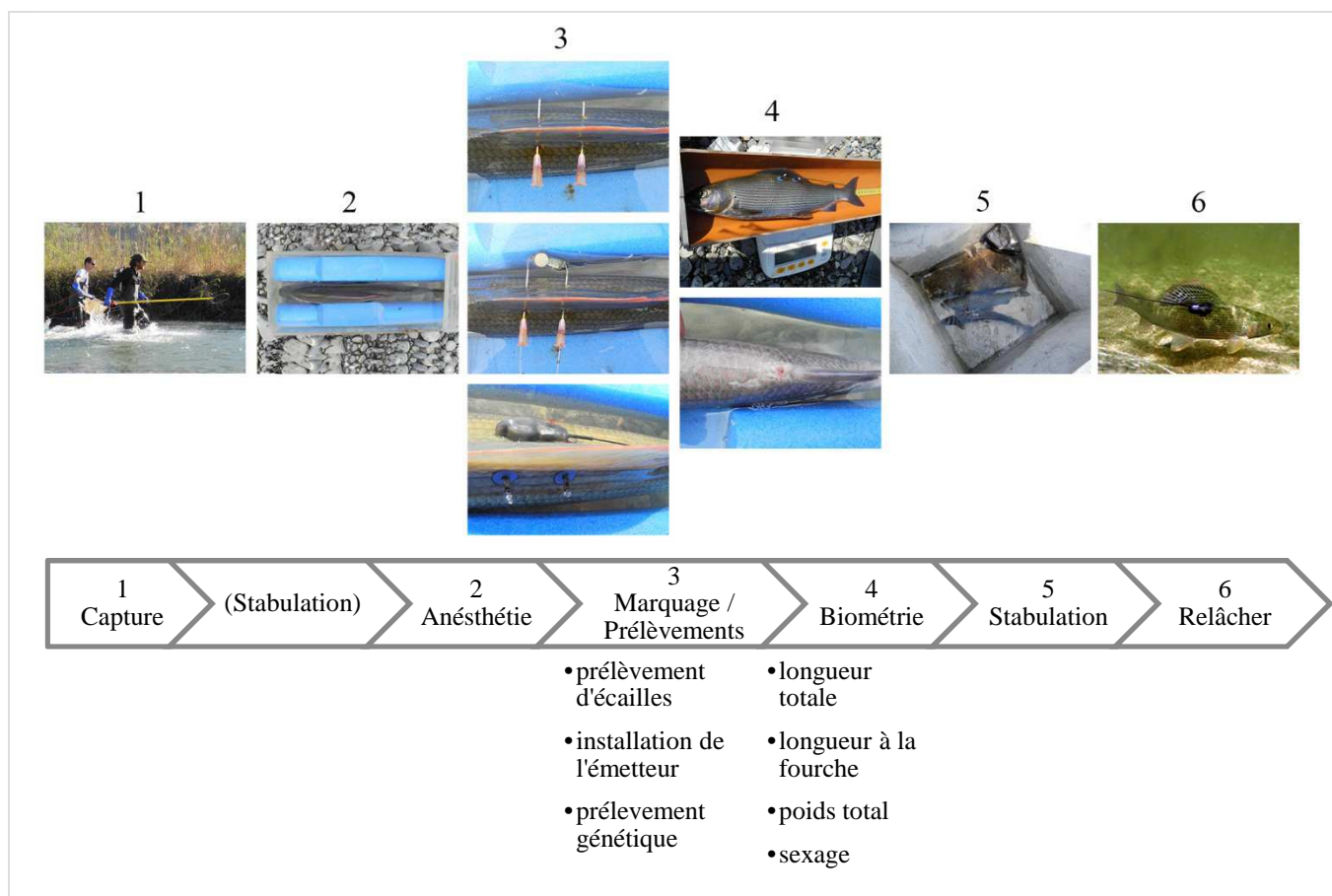


Figure 14 : étapes du protocole de marquage, (...) : étape facultative, .../... : étapes simultanées

La fiche de terrain employée lors des campagnes de marquage est disponible en Annexe 3

### 3.2.1 Capture

En 2011, dix-sept Ombres ont été marqués sur le secteur aval (Menoge et Foron de Fillinges) et en 2012, quarante-trois Ombres ont été marqués sur les deux secteurs.

Ils ont été échantillonnés par pêche à l'électricité par sondage en utilisant un appareil portatif (Hans Grassl GmbH, ELT 60II H<sup>®</sup>, 300 à 500 V., 1,3 kW) ou fixe (Dream Électronique, Héron<sup>®</sup>, 170 à 1000 V., 4 kW.) équipés d'une à cinq anodes. Les captures ont eu lieu sur la totalité de la section en eau pour la Menoge, le Foron de Fillinges et le Nant de Sion, et dans les bras secondaires connectés à l'amont et à l'aval pour l'Arve. Les méthodes de pêche électrique ont été adaptées pour cibler spécifiquement l'Ombre : pêche par projection de l'anode, prospection des habitats favorables à l'espèce...

### 3.2.2 Marquage

Après avoir été capturés, les poissons ont été anesthésiés et tranquilisés par baignade dans une solution de méthane-sulfonate de tricaine (MS-222 à une concentration de  $50 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Ce traitement permet de réduire l'état de stress chez le poisson et entraîne une perte de mouvements corporels globaux, mais la persistance des mouvements operculaires, facilitant ainsi l'intervention de marquage. Le bain a été renouvelé après le marquage de deux poissons maximum. Le temps de retrait vis-à-vis de la consommation humaine de 5 jours, généralement recommandé dans la littérature, a été largement respecté puisque 31 et 39 jours se sont écoulés entre le dernier marquage et l'ouverture de la pêche respectivement en 2011 et 2012.

Deux aiguilles droites permettent ensuite de transpercer les muscles dorsaux afin d'y passer les deux câbles de fixation des émetteurs. Ces câbles reçoivent une contre marque (rondelle plastique) qui est bloquée par le sertissage d'un sleeve et par la réalisation d'un nœud d'arrêt, sécurisé par un collage à la colle ethyl-cyanoacrylate. L'émetteur, ses câbles, les aiguilles ainsi que les plaies engendrées par le marquage ont été désinfectés par une solution antiseptique de povidone iodée (Bétadine® dermique 10%).

Les marques utilisées sont des radio-transmetteurs externes ATS® F1970 émettant un signal radioélectrique de 48 à 49,999 MHz, d'une durée de 15 ms, toutes les 2 secondes et possédant une autonomie de 441 jours (Figure 15).

Ils se composent d'un corps en résine d'environ 3 cm de long renfermant le circuit électronique ainsi que la batterie et d'une antenne filaire souple de 15 cm permettant la transmission des ondes radioélectriques.



Figure 15 : radio transmetteur implanté sur le dos d'un Ombre

Cet équipement a un poids total (émetteur et système de fixation) de 4,3 grammes et une flottabilité légèrement négative (densité = 1,12). La « règle des 2% », généralement employée en télémétrie, recommande que le poids de l'émetteur ne dépasse pas 2% du poids total du poisson. Dans cette étude, un dépassement de 5 grammes a été toléré, comme indiqué par le constructeur des radio-émetteurs (Advanced-Telemetry-System, 2011). Les individus de moins de 210 grammes n'ont donc pas été marqués.

### 3.2.3 Biométrie et prélèvements

#### Sexage

Un sexage des poissons a été effectué en considérant l'aspect de l'orifice uro-génital et en effectuant un *stripping* (massage abdominal modéré) afin d'identifier la nature des gamètes éventuellement expulsés. Les captures de 2011 ayant été effectuées plus tardivement par rapport à la période de reproduction des Ombres, le sexage a été impossible pour 4 individus.

### Biométrie

Après installation de l'émetteur, les individus ont été mesurés (Longueur totale :  $Lt$  en mm à une précision de  $\pm 1$  mm) et pesés (Poids total :  $Pt$  en g à une précision de  $\pm 1$  g) sous anesthésie. Le poids de l'émetteur et de son système de fixation (4,3 g) a été retranché au poids mesuré afin d'obtenir le poids réel du poisson. Des remarques concernant l'état sanitaire et physiologique du poisson ont également été notées (plaies, expulsion de sperme ou d'ovules lors du « stripage », ...).

### Prélèvement d'écailles

Quatre à six écailles ôtées pour l'entrée et la sortie des aiguilles employées pour le passage des câbles ont été collectées. Ces écailles se situaient en 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> rangée sous la nageoire dorsale en fonction de la taille du poisson.

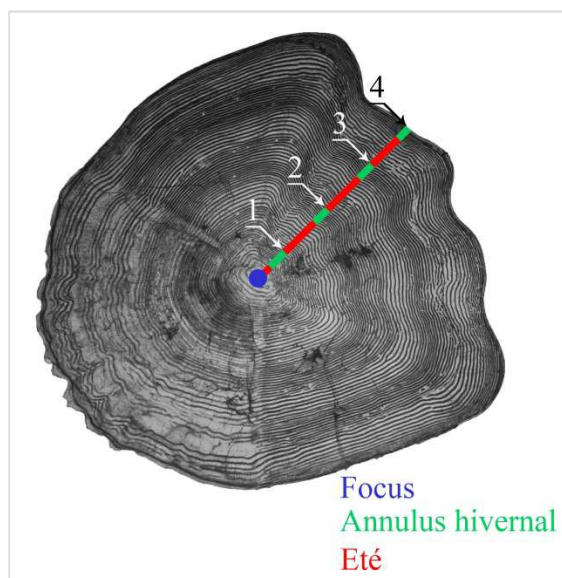


Figure 16 : principe de lecture des écailles d'Ombres

Trois d'entre elles ont été nettoyées environ 10 minutes dans une solution de peroxyde de sodium, rincées à l'eau, montées entre deux lames et lues par différentes personnes sous lecteur de microfiches. Le nombre *d'annuli* a été compté à partir du *focus*. Afin de minimiser les erreurs d'interprétation, ces lectures ont été effectuées par 4 personnes différentes et la moyenne entière a été retenue.

Les poissons étant capturés probablement quelques semaines voire quelques jours avant leur anniversaire, l'âge d'un poisson présentant 4 marques hivernales a été considéré comme étant de 4 ans (noté 4) (Figure 16).

### Prélèvement génétique

Une portion de quelques millimètres de la nageoire pelvienne gauche a été prélevée en vue d'analyses génétiques ultérieures dans le cas où cela s'avérerait utile à l'issue de l'étude par télémetrie. Ce prélèvement a été stocké dans des tubes de type Eppendorf® remplis d'alcool éthylique absolu recouvrant totalement le prélèvement.



### 3.2.4 Relâcher

À la suite des différentes étapes décrites précédemment, les poissons ont été placés dans des viviers disposés dans une zone courante afin de favoriser leur ré-oxygénation. Une fois la phase de récupération terminée (récupération de l'équilibre, nage active), les poissons ont été relâchés à moins de 250 m de leur lieu de capture. Les coordonnées géographiques du lieu de relâcher ont été relevées au GPS à une précision comprise entre 3 et 6 m.

## 3.1 Mesures de paramètres environnementaux

Afin de caractériser les conditions hydrologiques et thermiques pendant la période d'étude et d'étudier les relations entre ces conditions et les déplacements des Ombres, 2 stations de débit et 7 stations de température ont été utilisées (Figure 17).

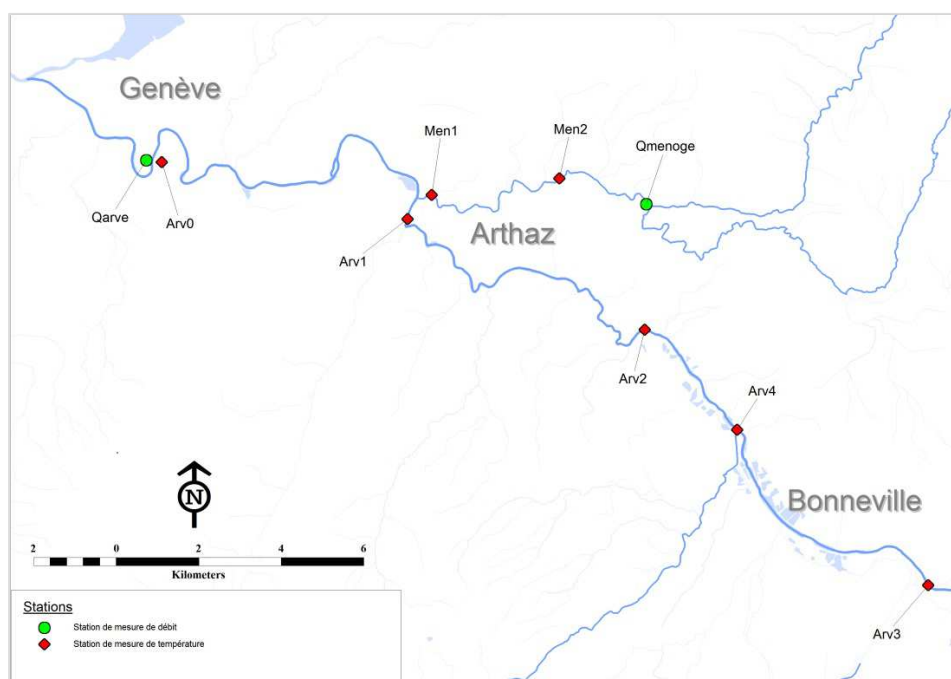


Figure 17 : carte de localisation des stations thermiques et hydrologiques

### 3.1.1 Mesure de débit

Les données issues de deux stations de mesure en continu du débit (niveaux transformés en débits par courbe de tarage) ont été utilisées afin de caractériser les conditions hydrologiques lors de la période d'étude : la Menoge à Bonne et l'Arve à Genève.

La station de l'Arve à Genève est gérée par l'Office Fédérale de l'Environnement (OFEV.) alors que celle de la Menoge à Bonne est gérée par le service hydrométrie de la Direction Régionale de l'Environnement en Rhône-Alpes (DREAL.).

	Arve à Genève	Menoge à Bonne
<b>Code station</b>	2170	V0235010
<b>Surface du bassin versant</b>	1976 km <sup>2</sup>	140 km <sup>2</sup>
<b>Altitude</b>	380 m.s.m	491 m N.G.F.

### 3.1.2 Mesure de la température

Les données de température sont issues de 6 sondes thermiques mises en place par la Fédération de pêche de Haute-Savoie. Les températures ont été enregistrées par sonde HOBO Pendant/temp® à un pas de temps horaire (en °C, précision : 0,47°C, résolution : 0,1°C). De plus, les données thermiques de l'Arve à Genève (Arv0) ont été fournies par l'OFEV. La moyenne des données thermiques par cours d'eau a été retenue pour une présentation globale du contexte environnemental et pour la mise en relation avec les données de déplacement.

### 3.1.3 Sélection des variables testées

Les relations entre les données hydrologiques et thermiques (2 fois 5 variables) ont été testées avec les données de déplacement (6 variables) sur l'Arve et la Menoge. Le pas de temps minimal est le jour mais des moyennes, maximum, minimum et RSD (*relative standard deviation*) ont été calculés sur 7 jours glissants précédents. Ceci correspond, en effet, au délai moyen séparant deux prospections.

Tableau 2 : liste des variables environnementales sélectionnées

QMJ (m3/s) / TMJ	Débit/Température moyen journalier
QM 7j (m3/s) / TM 7j	Débit/Température moyen sur 7 jours glissants précédents
Qmax 7j (m3/s)	Débit/Température maximal sur 7 jours glissants précédents
Qmin 7j (m3/s)	Débit/Température minimal sur 7 jours glissants précédents
Q RSD 7j (%)	RSD. sur 7 jours glissants précédents

Taux dép MONT signif (%)	Taux de déplacements de montaison significatifs
Taux dép AVA signif (%)	Taux de déplacements d'avalaison significatifs
Vmoy (m/j/ind) MONT signif	Vitesse moyenne des déplacements de montaison significatifs
Vmoy (m/j/ind) AVA signif	Vitesse moyenne des déplacements d'avalaison significatifs
Vmoy (m/j/ind) MONT tout	Vitesse moyenne de l'ensemble des déplacements de montaison
Vmoy (m/j/ind) AVA tout	Vitesse moyenne de l'ensemble des déplacements d'avalaison

Les relations ont été étudiées de manière séparée sur la Menoge et sur l'Arve afin d'intégrer la dimension spatiale. Par sécurité, le dernier mouvement de départ de la Menoge ou le premier mouvement d'arrivée dans l'Arve a été conservé dans les deux cas. Ceci permet de ne pas éliminer les premiers déplacements notamment post-marquage.



## 3.2 Localisation par radiotélémétrie

### 3.2.1 Principes généraux de la radiotélémétrie

La radiotélémétrie est une discipline consistant à mesurer différents paramètres biotiques et/ou environnementaux par transmission, à distance, de signaux radioélectriques entre un émetteur et un récepteur (Blanc, 1997).

Le radiopistage est une technique particulière de radiotélémétrie consistant à rechercher activement, à l'aide d'un récepteur mobile, des individus préalablement équipés d'un émetteur (dits « marqués ») puis à noter leur position de manière plus ou moins précise (Cf. *infra*). Ces récepteurs sont chargés de transformer le signal radioélectrique reçu en signal acoustique (« bips ») de volume variable en fonction de l'intensité des ondes reçues. Cette technique permet d'acquérir des données continues spatialement (en prospectant tout un linéaire) mais ponctuelles temporairement (position à un instant  $t$ ).

Deux méthodes de localisation en radiopistage mobile existent : l'angulation et le « homing-in ». La première repose sur le fait, qu'en utilisant une antenne directionnelle, le signal « s'éteint » lorsque celle-ci est orientée dans la direction de l'émetteur (*null-peak*), permettant ainsi de déterminer des angles d'extinction (Figure 18). La seconde méthode, moins précise, repose sur le fait que plus le récepteur et l'antenne se trouvent proches de l'émetteur et plus le signal est puissant et audible (Figure 19).

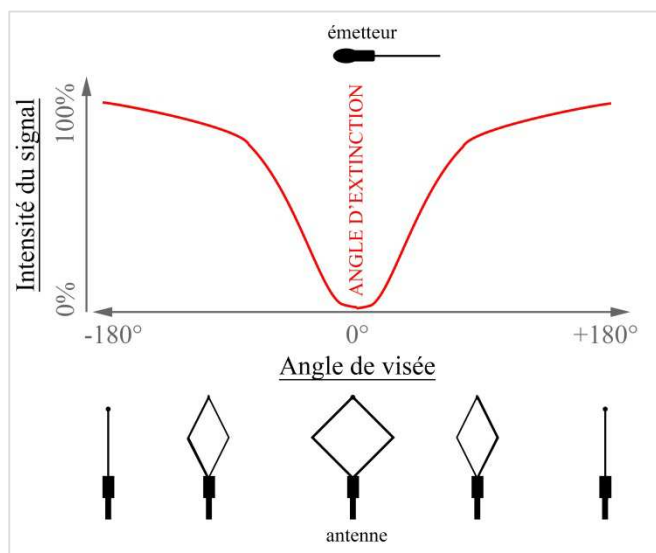


Figure 18 : graphique théorique du signal en angulation

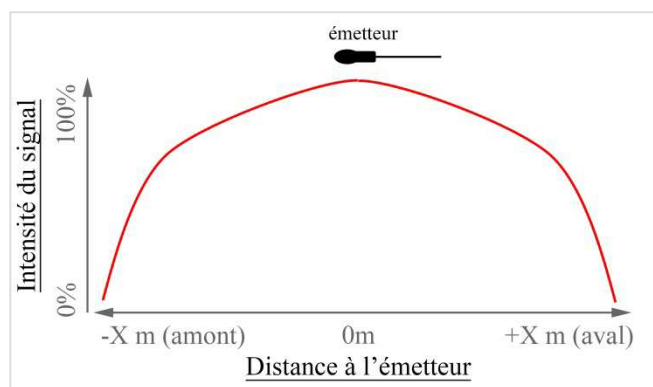


Figure 19 : graphique théorique du signal en homing-in (antenne orientée à 180° par rapport à l'émetteur)

L'emploi d'une station fixe est une autre technique de radiotélémétrie consistant à installer un récepteur fixe chargé d'enregistrer le passage ou le stationnement d'individus marqués dans une certaine aire de détection. A l'inverse du radiopistage, cette technique permet d'acquérir des données ponctuelles spatialement (présence/absence à un endroit donné) mais continues temporairement (suivi permanent).

### 3.2.2 Méthodes de localisation employées

Les deux méthodes de localisation présentées ci-dessus ont été utilisées dans cette étude afin de localiser les Ombres préalablement marqués (Figure 20).

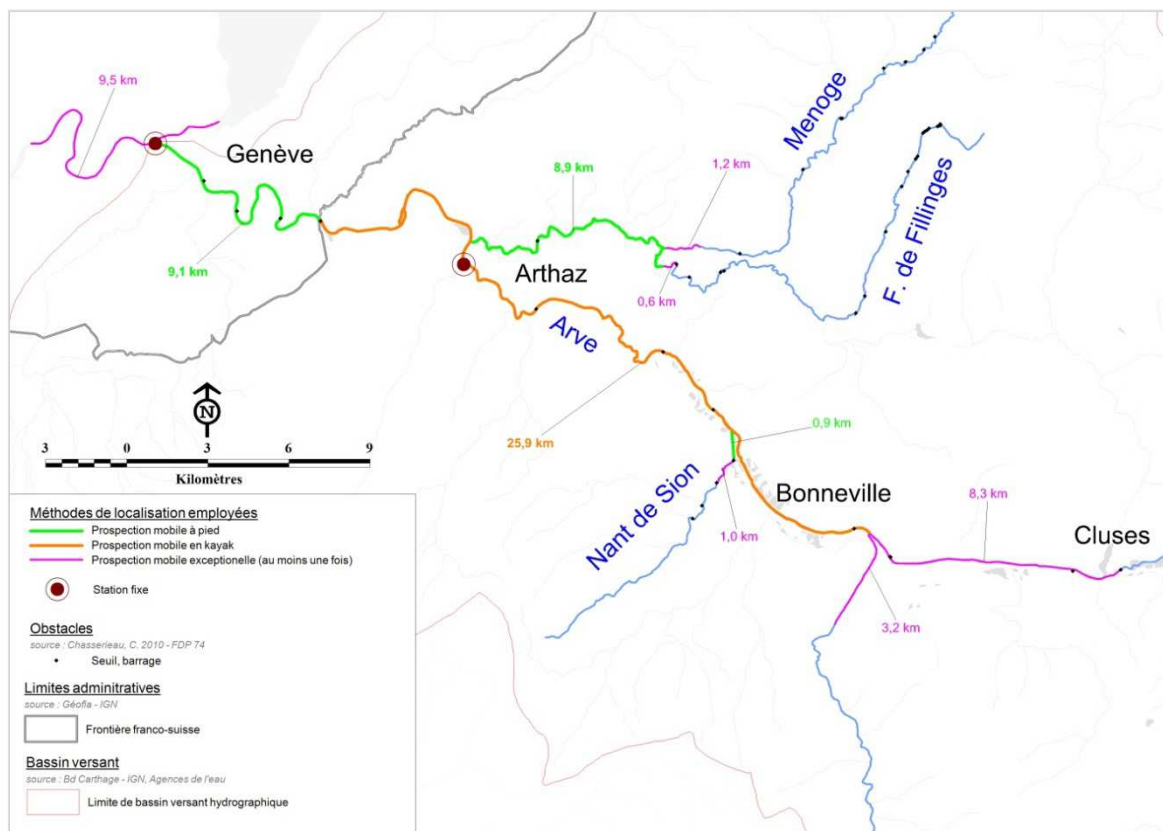


Figure 20 : méthodes de localisation (fixe et mobiles) mises en œuvre lors de l'étude

#### Radiopistage

Le radiopistage mobile a été effectué à l'aide d'un ou deux récepteurs ATS R2000® et d'une antenne directionnelle de type « boucle » au rythme d'au moins une prospection de l'ensemble de la zone d'étude par semaine (Figure 21). Ce suivi a mobilisé, en moyenne, 3 hommes-jour chaque semaine (2 personnes en kayak et une personne à pied).

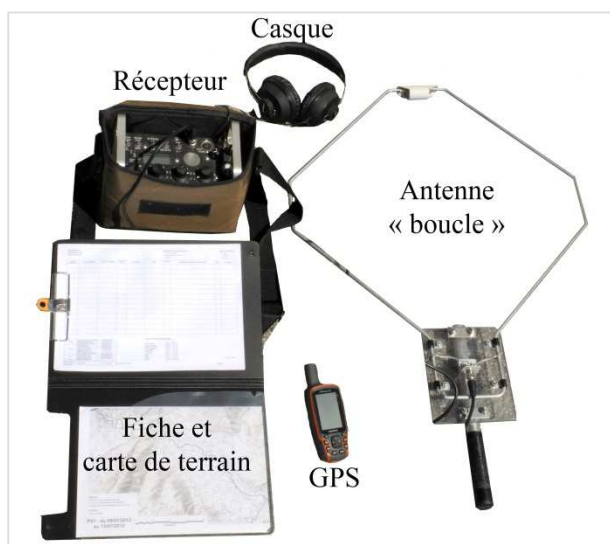


Figure 21 : matériel employé en prospection mobile à pied

Lors du **radiopistage à pied**, la localisation des poissons marqués a été réalisée, au minimum, par bi-angulation en se déplaçant le long du cours d'eau voire d'une rive à l'autre lorsque la traversée à pied était possible. L'opérateur cherche la direction dans laquelle le signal s'annule (angle d'extinction), se déplace puis renouvelle l'opération jusqu'à obtenir un polygone d'erreur le plus restreint possible. Une fois la localisation précise déterminée, les coordonnées et leur précision sont relevées au GPS (Figure 21, Annexe 3).

Ce type de prospection a pu être employé sur l'Arve suisse, la Menoge, le Foron de Fillinges et le Nant de Sion, et a permis une localisation à l'échelle du faciès d'écoulement en utilisant la typologie élaborée par Malavoi & Souchon (2002).



Figure 22 : matériel employé en prospection mobile en kayak

Les prospections sur l'Arve française ont été menées **en kayak**, en descendant le cours d'eau avec deux récepteurs embarqués. Certaines portions pour lesquelles le débarquement était nécessaire ont été prospectées à pied (bras secondaires, abords des seuils et des zones de rapides, ...) (Figure 22).

Au vu des aires de réception constatées sur les émetteurs (Cf. §4.4.1) et le secteur prospecté le

plus large de l'Arve étant d'environ 280 m, les prospections ont été menées en alternant les passages dans les bras secondaires et dans le cours de l'Arve chaque semaine.

En raison des difficultés à se déplacer facilement dans l'Arve à cause du courant (remontée, traversée et arrêt parfois difficiles), la méthode du « homing-in » a dû être employée majoritairement et complétée par la détermination d'un angle d'annulation du signal afin de préciser le faciès d'écoulement dans lequel se trouvait le poisson. Le pointage GPS a été effectué sur la transversale où le signal a été jugé maximal. De ce fait, la précision des localisations a été moins fine et a donc fait l'objet de tests spécifiques (Cf. §3.3.2).

### Station fixe

Deux stations fixes ont été installées à des positions stratégiques de la zone d'étude :

Une première station a été placée sur l'Arve, avant la confluence avec la Menoge, du côté amont du barrage d'Arthaz. L'antenne a été installée de manière à détecter des poissons en déplacement ou en stationnement à l'amont de l'ouvrage. Une seconde station a été installée sur l'Arve en amont immédiat de la confluence avec le Rhône.

Ces deux installations ont été équipées d'une antenne omnidirectionnelle et d'un récepteur ATS R4500s® chargé d'enregistrer le passage ou le stationnement des poissons marqués de manière continue ainsi que la date, l'heure, l'intensité du signal et le nombre de pulsation détectée.

## **3.3 Estimation de la précision de localisation**

Les techniques de localisation par radiopistage nécessitant une certaine expérience, des tests et des entraînements ont été menés *in-situ* en essayant de localiser précisément un émetteur dont la position était connue par une tierce personne. Ces tests ont donc été menés pour les deux méthodes de localisation mobile employées :

- angulation à pied sur les petits cours d'eau (Menoge, Foron de Fillinges, Nant de Sion)
- homing-in en kayak sur un grand cours d'eau tel que l'Arve

### **3.3.1 Précision de la localisation sur petits cours d'eau**

Un radio-émetteur a été disposé à un endroit connu par un opérateur puis localisé par une seconde personne. L'écart de position entre les deux localisations a ensuite été mesuré. Cinq répliquats ont été effectués dans des faciès d'écoulement se rapprochant de ceux fréquentés par les Ombres (plats courants, radiers, mouilles).

Pour des raisons pratiques, ces essais ont été réalisés sur les Usses et le Viéran. Trois tests ont été effectués en autorisant la traversée du cours d'eau et deux en l'interdisant (cas rencontré sur la Menoge en cas de niveau haut et/ou de fosse).

### **3.3.2 Précision de la localisation sur grands cours d'eau**

Cinq radio-émetteurs ont été disposés dans l'Arve amont et aval sur des secteurs variés, tenant compte des zones fréquentées par les Ombres et des particularités du milieu.

En effet, une variété maximale des conditions a été recherchée lors de ces tests en faisant varier de nombreux paramètres (positionnement dans des bras latéraux, proche de seuils, sous des lignes électriques, proche d'installations provoquant des ondes parasites, ... etc).

Les 5 fréquences des émetteurs test ont été rajoutées aux fréquences habituellement recherchées lors de 6 suivis hebdomadaires des Ombres. Différentes conditions de débit et de bruit de fond (due aux ondes parasites) ont ainsi pu être testées.

### 3.4 Métriques et indices de localisation employés

#### 3.4.1 Calcul des distances au point de relâcher

Les distances au point de relâcher ( $D_0$  en km) ont été calculées pour chaque point de localisation en utilisant les points kilométriques hydrographiques de la Bd Carthage® ( $Pk$  en km) suivant la formule suivante :

$$D_{0 \rightarrow x} = Pk_{relâcher} - Pk_{localisation\ x}$$

Cette base de données attribue un  $Pk$  égal à 1000 km à l'embouchure du cours d'eau considéré et des  $Pk$  décroissants vers la source. Des conversions ont donc été effectuées entre les  $Pk$  des différents cours d'eau pour les ramener au tributaire commun : l'Arve.

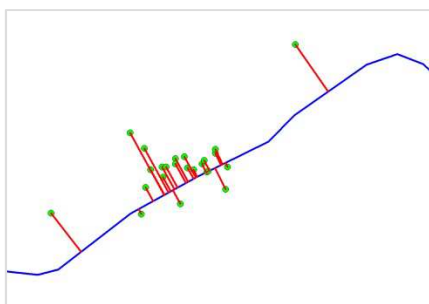


Figure 23 : rattachement des localisations GPS au réseau hydrographique

L'ensemble des localisations pointées au GPS lors des prospections ont d'abord été rattachées au réseau hydrographique de la Bd Carthage® le plus proche afin de pouvoir calculer leur point kilométrique hydrographique (Figure 23).

Le point de relâcher est considéré comme égal à 0, les distances amont à ce point étant positives et les distances aval négatives.

#### 3.4.2 Calcul du domaine vital

Le domaine vital (noté  $Dv$  en km) se définit comme l'aire utilisée par le poisson pour y effectuer toute les phases de sa vie (nourriture, repos, reproduction, ...). Il a été calculé par différence entre les distances extrêmes au relâcher. La durée de suivi est donc très importante. Dans cette optique, les individus perdus rapidement ont été éliminés afin de ne conserver que les poissons suivis pendant une période jugée suffisante. De plus, le domaine vital est défini dans la littérature comme devant inclure 95% des localisations de l'animal afin d'éliminer les localisations exceptionnelles (Blanc, 1997). Le choix a été fait de ne pas appliquer ce niveau de probabilité, la période de suivi étant restreinte par rapport au cycle de vie de l'Ombre.

Malgré ces préalables, les domaines vitaux calculés doivent être examinés avec précaution et considérés comme probablement non-exhaustifs.

$$Dv = D_{0 \rightarrow x}max - D_{0 \rightarrow x}min$$

### 3.4.3 Calcul des distances de déplacement

Grâce aux distances au point de relâcher préalablement calculées ou directement aux Pk, des distances parcourues ( $D_{1 \rightarrow 2}$  en km) entre deux localisations ont été calculées par la formule suivante :

$$D_{1 \rightarrow 2} = D_{0 \rightarrow 1} - D_{0 \rightarrow 2} = Pk_1 - Pk_2$$

Elles sont négatives en dévalaison et positives en montaison.

### 3.4.4 Significativité des distances de déplacement

Grâce aux tests de précision effectués (Cf. §4.4), un « déplacement significatif » correspond à une distance supérieure à deux fois la précision minimale soit environ 510 m (précision appliquée à l'amont et à l'aval). Bien que probablement plus précises, un seuil de signification de 200 m a été appliqué aux localisations recueillies pour les déplacements issus des prospections à pied. Ces seuils permettent également de discerner les mouvements de migration des mouvements d'activité quotidienne.

### 3.4.5 Calcul des vitesses individuelles de déplacement

Bien que les prospections ont été effectuées environ à un pas de temps hebdomadaire, l'écart de temps entre deux localisations d'un même poisson n'est pas toujours constant et ceci pour diverses raisons (poissons non-localisé lors d'une prospection mais non « perdu », prospection à cheval sur deux semaines, ...etc).

L'étude des vitesses de déplacement (en m/j) plutôt que des distances permet de pondérer chaque déplacement par rapport au temps mis par le poisson pour effectuer celui-ci. La formule de calcul suivante a donc été utilisée :

$$V_{t1 \rightarrow t2} = \frac{D_{1 \rightarrow 2}}{t_2 - t_1}$$

Elles sont négatives en dévalaison et positives en montaison. Les vitesses de pointe peuvent être supérieures à ces valeurs, les trajets réellement parcourus pouvant être supérieurs aux distances et au temps séparant deux localisations. En effet, ces vitesses se basent sur un trajet à vitesse constante et continu dans le temps alors que le poisson peut avoir effectué des oscillations indétectables entre deux prospections. Il s'agit donc d'une vitesse minimale de déplacement.

### 3.4.6 Calcul de la vitesse moyenne globale de déplacement

Le nombre de poissons contactés à chaque prospection n'étant pas constant (poissons non localisés car perdus, non recherchés, ...), le calcul d'une vitesse moyenne de déplacement pondéré par le nombre de poissons contactés permet une caractérisation globale des mouvements de la prospection considérée.

Cette vitesse peut être décomposée en fonction de la direction du déplacement (montaison ou avalaison).

Elle est calculée grâce à la formule suivante et s'exprime en m/j/poisson:

$$V_{\bar{x} \text{ prospection } 1} = \frac{V_{t1 \rightarrow t2}}{Nb_{\text{poisson localisé}}}$$

### 3.4.7 Taux de déplacement

Le taux de déplacement peut être défini par le nombre de poissons ayant effectué un déplacement significatif de montaison ou d'avalaison par rapport au nombre total de poissons détectés.

$$T_{\text{dép. MONT}} = \frac{Nb_{\text{déplacement significatif de montaison}}}{Nb_{\text{déplacement total}}}$$

### 3.4.8 Indices de sélection de segment hydromorphologique

Deux notions préalables doivent être définies pour étudier la fréquentation par segment : l'utilisation (pourcentage de localisation dans un segment particulier, noté  $U_t$  en %) et la disponibilité (pourcentage de ce segment dans le linéaire total, noté  $D_i$  en %).

$$U_{ts1} = \frac{Nb_{\text{localisation } s1}}{Nb_{\text{localisation totale}}} \quad \text{et} \quad D_{is1} = \frac{\text{Longueur du segment } 1}{\text{Longueur totale}}$$

Trois indices de préférence de segment ont été calculés à partir de l'ensemble des localisations collectées en 2011 et 2012.

La densité (noté  $D$  en point/km) :

$$D = \frac{\text{Nombre de localisation}}{\text{Longueur totale}}$$

Forte: segment préféré  
Faible : segment évité

L'indice d'Ivlev (noté  $I_v$ ) :

$$I_v = \frac{U_t - D_i}{U_t + D_i}$$

Sup. à 0 : segment préféré  
Inf. à 0 : segment évité

L'indice linéaire de Strauss (noté  $L$ ) :

$$L = U_t - D_i$$

+1 : segment préféré  
-1 : segment évité

## 3.5 Tests statistiques et indices utilisés

### 3.5.1 Moyennes, erreur standard

Les moyennes employées dans cette étude sont des moyennes arithmétiques. Elles sont suivies de  $\pm$  l'erreur standard pour un intervalle de confiance de 95% (noté moyenne  $\pm$  erreur standard (*e.s.* 0,95)). La notion d'erreur standard, ou écart type de la moyenne, dépend du nombre de données dans l'échantillon, plus il est grand et plus l'erreur standard est petite. Elle donne l'estimation de la qualité de la moyenne. L'étendue est la différence entre le maximum et le minimum d'une série considérée.

### 3.5.2 Relative Standard Deviation

Le coefficient de variation est le rapport entre l'écart type et la moyenne sur une période donnée. Il permet de quantifier les variations en mesurant les dispersions relatives à la moyenne. Son expression en valeur absolue et en pourcentage donne le « relative standard déviation ». Plus la valeur du RSD est élevée, plus la dispersion autour de la moyenne est grande.

### 3.5.3 Coefficient de condition de Fulton

Le coefficient de condition de Fulton (K) permet de caractériser l'état d'embonpoint des individus en intégrant à la fois la Longueur totale (Lt en mm) et le Poids total (Pt en g). Ce coefficient subit généralement des modifications saisonnières sous l'influence des facteurs abiotiques (milieu) ou biotiques (physiologie). Ce coefficient a déjà été employé dans la littérature sur des données biométriques d'Ombres communes, notamment par Paquet (2002).

Il se calcule par la formule suivante :

$$K = \frac{10^5 \times Pt}{Lt^3}$$

### 3.5.4 Test U de Mann-Whitney

Le test de Mann-Whitney est un test de comparaison non-paramétrique basé sur les rangs des observations. Le niveau de signification employé ( $\alpha$ ) est de 0,05 ou 5% et le test est employé en bilatéral (différence dans le sens inférieur et supérieur). En fonction de la *p-value* obtenue, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Si *p-value* > *alpha* : l'hypothèse nulle  $H_0$  est retenue : « les populations dont ces échantillons sont tirés ont la même moyenne ».
- Si *p value* < *alpha* : l'hypothèse alternative  $H_a$  est retenue : « les populations dont ces échantillons sont tirés n'ont pas la même moyenne ».

Autrement dit, à partir du moment où *p-value* est inférieur à 0,05, les populations dont les échantillons sont tirés sont significativement différentes et plus cette valeur est faible plus le risque de se tromper est faible (ex : si *p-value* = 0,013, les populations dont les échantillons sont tirés sont significativement différentes sur la variable testée et le risque de rejeter l'hypothèse nulle  $H_0$  alors qu'elle est vraie est inférieur à 1,30%).

### 3.5.5 Test de H de Kruskal & Wallis et comparaisons multiples

Le test H de Kruskal & Wallis est un test de comparaison de plus de deux échantillons, non paramétriques, indépendants et présentant des effectifs inférieurs à 30. Comme précédemment, le



niveau de signification choisi ( $\alpha$ ) est de 0,05 ou 5% et le test est employé en bilatéral (différence dans le sens inférieur et supérieur).

En fonction de la  $p$ -value obtenue, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Si  $p\text{-value} < \alpha$  : l'hypothèse nulle  $H_0$  est retenue : « les échantillons proviennent de la même population ».
- Si  $p\text{-value} > \alpha$  : l'hypothèse alternative  $H_a$  est retenue : « les échantillons proviennent de populations différentes ».

En cas de différence significative entre les échantillons, une comparaison multiple par paires peut être effectuée afin d'identifier quels échantillons sont responsables du rejet de  $H_0$ .

### **3.5.6 Test de corrélation de Spearman**

Le test de corrélation de Spearman permet d'analyser les corrélations entre plusieurs variables qualitatives ou quantitatives non paramétriques en se basant sur leurs rangs et non pas sur leurs valeurs propres. Il permet ainsi de déceler une éventuelle relation monotone (positive (corrélation) ou négative (anti-corrélation)) entre les données. Ce test a été utilisé pour tester les relations entre les variables environnementales (débit et température) et les variables de déplacement via différentes métriques. Il fournit un coefficient de corrélation qui traduit l'intensité de la corrélation (-1 : anti-corrélation parfaite, 1 : corrélation parfaite, 0 : aucune corrélation) ainsi qu'un  $p$ -value pour chaque test de corrélation.

Si  $p$ -value est inférieure à 0,05, la corrélation ou l'anti-corrélation est significative et elle l'est d'autant plus que la  $p$ -value est faible.

## 4 RÉSULTATS

### 4.1 Contexte environnemental du suivi

Les contextes environnementaux sont différents sur l'Arve et sur la Menoge en raison de leurs régimes thermo-hydrologiques propres (Figure 24, Figure 25). L'Arve est une rivière à régime nivo-glaciaire alors que la Menoge est de type pluvial. Par conséquent, les températures sont plus tamponnées sur l'Arve que sur la Menoge (amplitude journalière de 5,4 contre 8,4 °C). Elles sont également plus fraîches sur l'Arve que sur la Menoge (TMJ max de 13 contre 21°C).

Après le marquage (quelle que soit l'année), les débits de la Menoge ont tendance à rester bas voire à diminuer alors qu'ils ont tendance à augmenter sur l'Arve.

Pour la Menoge, une différence importante peut être remarquée entre les deux années : en 2011, les débits sont restés bas longtemps après la période de marquage avec deux pics modérés en juin et juillet alors qu'en 2012, l'hydrologie était plus soutenue pendant le marquage et de forts débits sont survenus début juin.

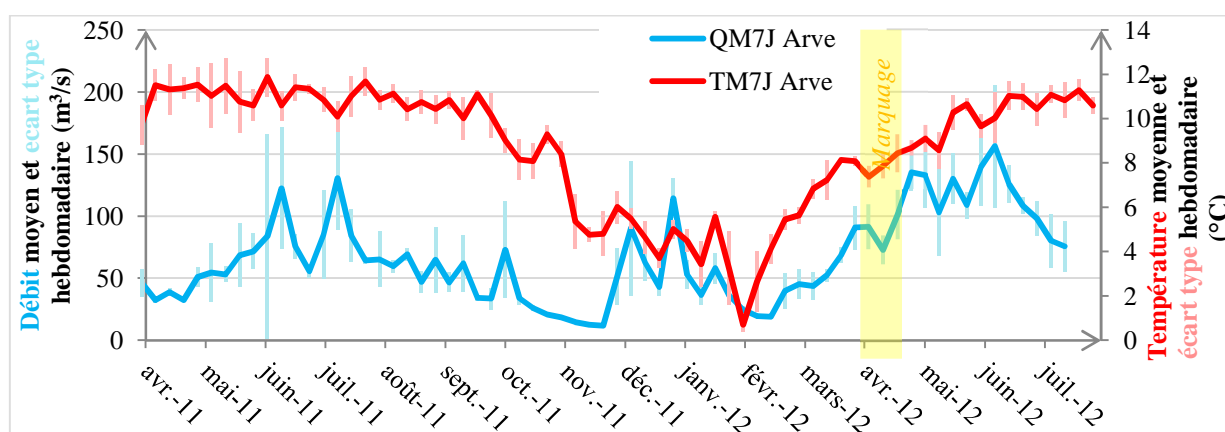


Figure 24 : débit et température moyenne hebdomadaire de l'Arve pendant la période d'étude

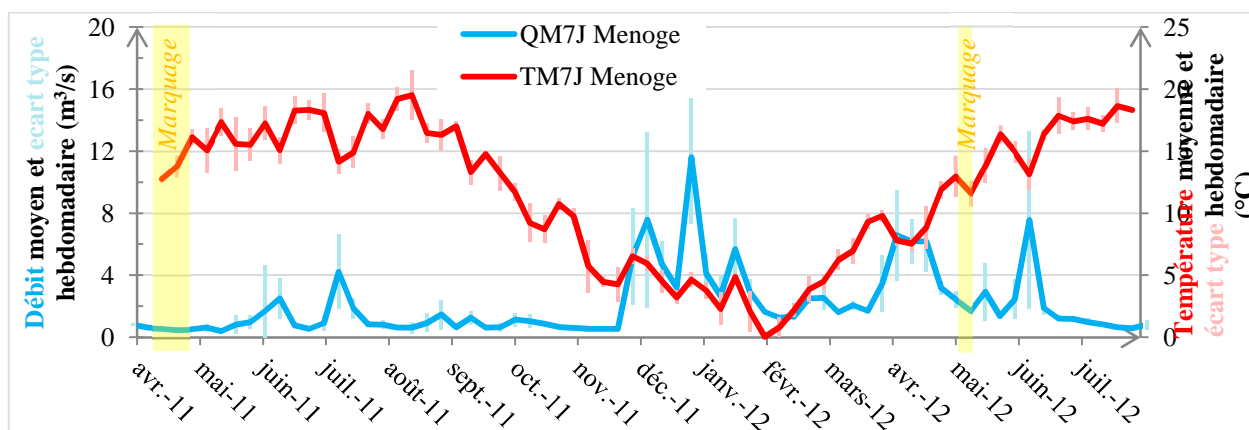


Figure 25 : débit et température moyenne hebdomadaire de la Menoge pendant la période d'étude

## 4.2 Bilan des marquages et suivis

### 4.2.1 Marquage et suivi mobile

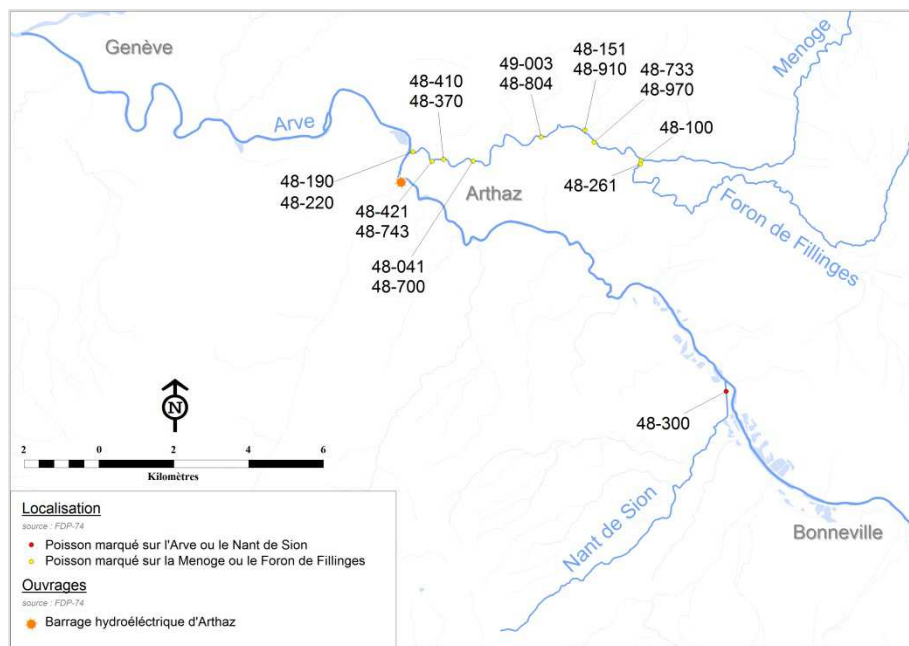


Figure 26 : localisation des marquages d'Ombres en 2011

Trois poissons ont été exclus des analyses en raison de leur mort ou de leur perte rapide : le 48-300, seul poisson marqué sur le secteur amont, détecté sur la berge une semaine après le marquage, le 48-261, poisson marqué sur le Foron de Fillings, retrouvé mort 97 m à l'aval de son lieu de marquage 8 jours après et présentant des traces de bec d'oiseau, et enfin le 48-733, poisson marqué sur la Menoge et détecté seulement une fois, 30 m à l'aval de son lieu de marquage après 8 jours puis plus jamais détecté.

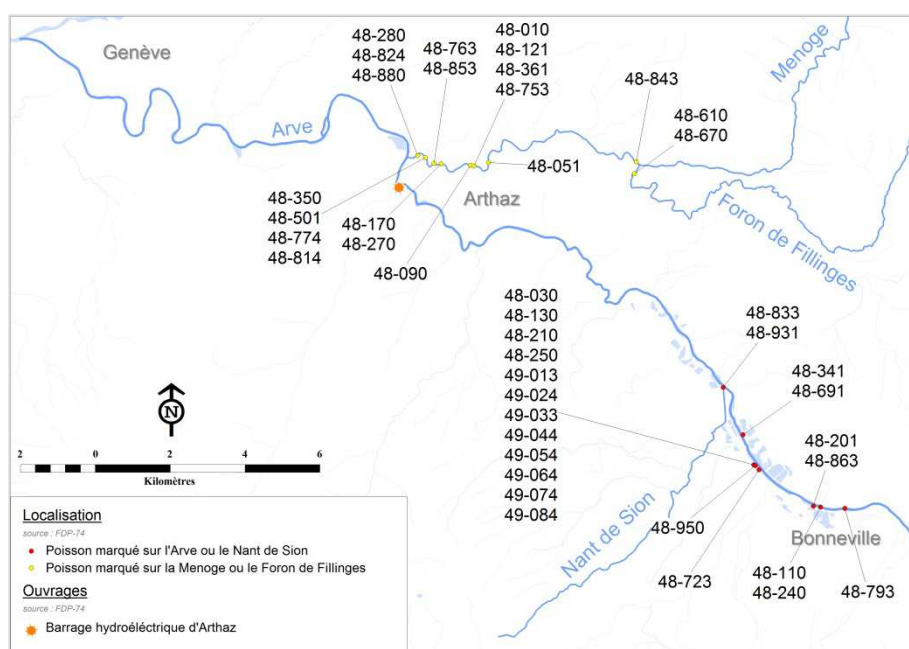


Figure 27 : localisation des marquages d'Ombres en 2012

En 2011, 17 poissons ont été marqués entre le 12 et le 20 avril et suivis jusqu'au 21 mars 2012 (Figure 26).

À l'aval du barrage d'Arthaz, les Ombres ont été marqués sur la Menoge (14 individus) ou sur son affluent, le Foron de Fillings (2 individus).

En 2012, 43 poissons ont été marqués entre le 27 mars et le 10 avril (Figure 27).

23 poissons ont été marqués en amont du barrage d'Arthaz dont 21 sur l'Arve et 2 sur le Nant de Sion. 20 poissons ont été marqués à l'aval de cet ouvrage avec 18 individus sur la Menoge et 2 sur le Foron de Fillings.

Pour cette année, une analyse plus poussée des pertes de poissons est nécessaire.

$$\text{Taux de détection} = \frac{\text{Nb de poissons détectés}}{\text{Nb de poissons détectables}} \times 100$$

avec  $\text{Nb de poissons détectables} = \text{Nb de marqués} - \text{Nb de perdus}$

Les poissons non détectés lors d'une prospection et n'ayant plus été détectés ultérieurement sont dénommés « poissons perdus ». Différentes hypothèses pourraient expliquer cette perte de poissons (Cf. §5.2).

Le nombre de poissons non-détectés et le nombre de poissons perdus ayant augmenté conjointement avec le temps, le taux de détection est resté globalement stable et s'est même amélioré à partir de la prospection n°43 probablement grâce à une meilleure expérience (Figure 28).

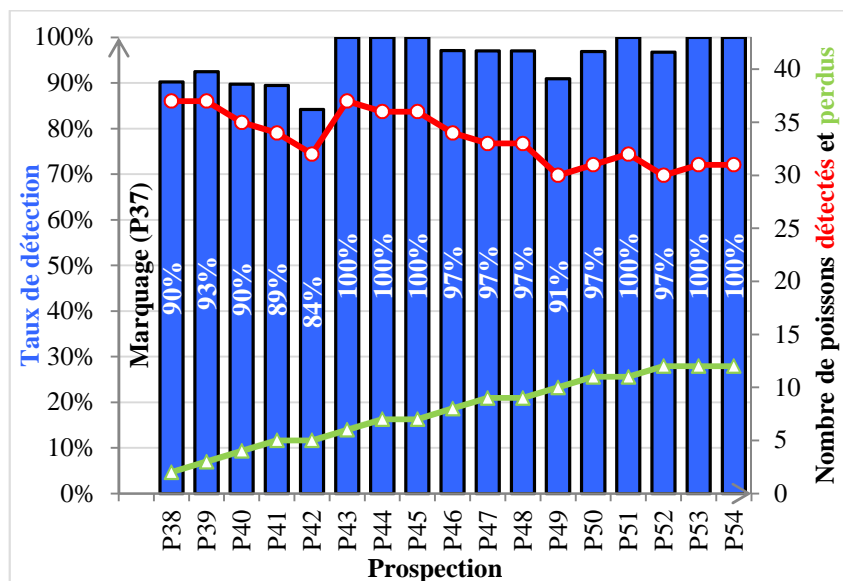


Figure 28 : évolution du taux de détection, du nombre de poissons détectés et perdus en fonction du temps

Certains poissons ont pu être non-détectés pendant 3 semaines puis retrouvés les semaines suivantes (Annexe 5), ils ne sont donc pas considérés comme « perdus ». En revanche, deux poissons ont disparus immédiatement après leur marquage (48-033 et 48-064) et n'ont donc livré aucune donnée.

#### 4.2.2 Stations fixes

Malgré les différents essais effectués les stations fixes mises en place (changement de type d'antenne, déplacement de l'antenne, modifications des réglages du récepteur, ...) aucune détection pertinente n'a pu être obtenue par ces deux stations fixes. Une période de test a été menée pendant 16 jours, sur la station d'Arthaz, en fixant un émetteur dans l'aire de détection de la station. Cet émetteur a été détecté seulement deux fois alors que 39 autres fréquences correspondant à des poissons effectivement marqués mais très éloignés de la station ont été également détectées. La station de Vessy a présenté les mêmes symptômes et n'a permis aucune détection pertinente.

## 4.3 Caractéristiques des individus marqués

### 4.3.1 Sex-ratio

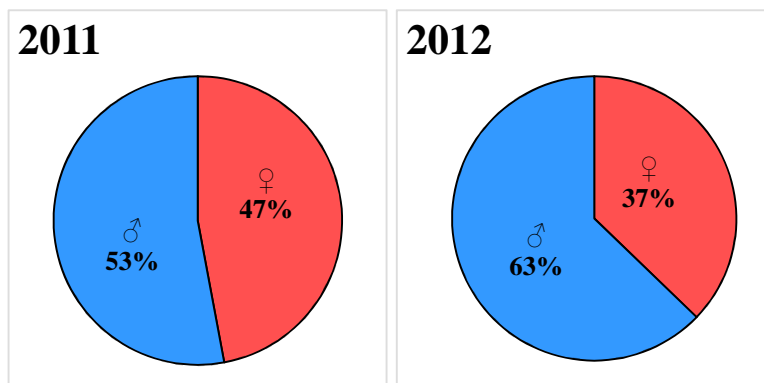


Figure 29 : sex-ratio des Ombres marqués en 2011 et 2012

Afin de disposer d'un nombre représentatif d'individus marqués dans chaque sexe, un sex-ratio de 1/1 a été recherché lors des captures.

Pour les deux années, le sex-ratio global est de 40% de femelles et 60% de mâles avec une plus forte prédominance des mâles en 2012 (Figure 29).

Le sex-ratio constaté lors des sessions de capture était de 3 mâles pour 1 femelle.

### 4.3.2 Caractéristiques biométriques

Sur les 60 ombres marqués en 2011 et 2012 (Figure 30, Figure 31 et Figure 32), la longueur totale moyenne est de  $385 \pm 7,35$  mm (*e.s.* 0,95) et le poids total moyen de  $515 \pm 28,26$  g (*e.s.* 0,95). Ce dernier paramètre est relativement étendu puisque l'amplitude est de 956 g.

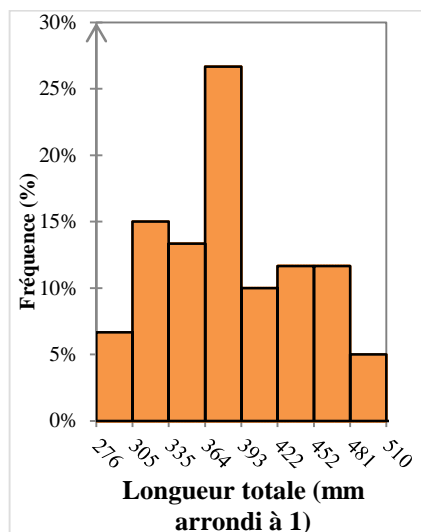
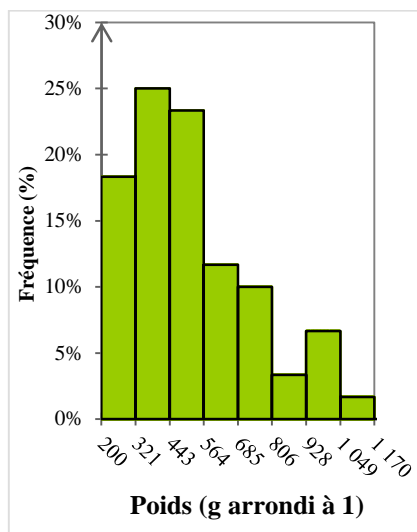
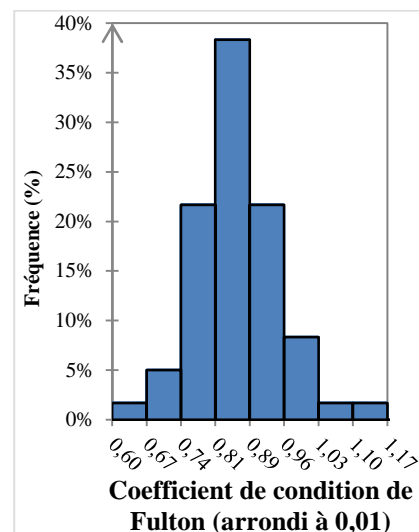
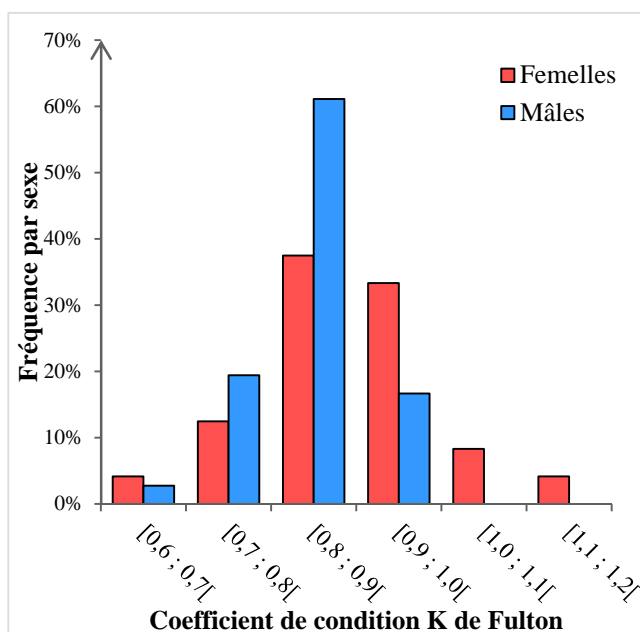
Figure 30: histogramme des fréquences de taille ( $L_t$ )Figure 31: histogramme des fréquences de poids ( $P_t$ )Figure 32: histogramme des fréquences des coefficients de condition ( $K$ )

Figure 33: histogramme des fréquences de coefficient de condition par sexe

Une série de tests de comparaison de Mann-Whitney a été effectuée sur les trois variables biométriques : Longueur totale ( $L_t$ ), Poids total ( $P_t$ ) et coefficient de condition de Fulton ( $K$ ) en utilisant les trois modalités d'échantillon : sexe (mâle ou femelle), année (2011 ou 2012) et secteur d'origine (amont ou aval du barrage d'Arthaz).

Des différences significatives de coefficient de condition existent entre les années ( $p$ -value = 0,0002) et entre les sexes ( $p$ -value = 0,03). Cette dernière différence se constate d'ailleurs graphiquement (Figure 33).

Les différences interannuelles de coefficient de condition sont particulièrement marquées chez les mâles ( $p$ -value bilatérale = 0,013) et non significative mais tout de même présente chez les femelles ( $p$ -value bilatérale = 0,08). En effet, les mâles de 2011 ont un coefficient condition moyen de  $0,94 \pm 0,02$  (*e.s.* 0,95) contre  $0,87 \pm 0,02$  (*e.s.* 0,95) en 2012.

### 4.3.3 Age

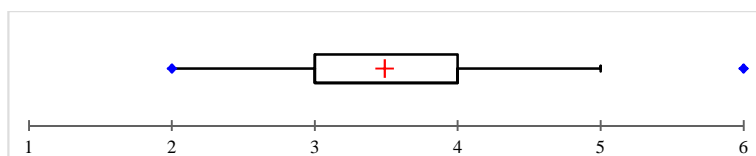


Figure 34 : représentation boxplot des âges

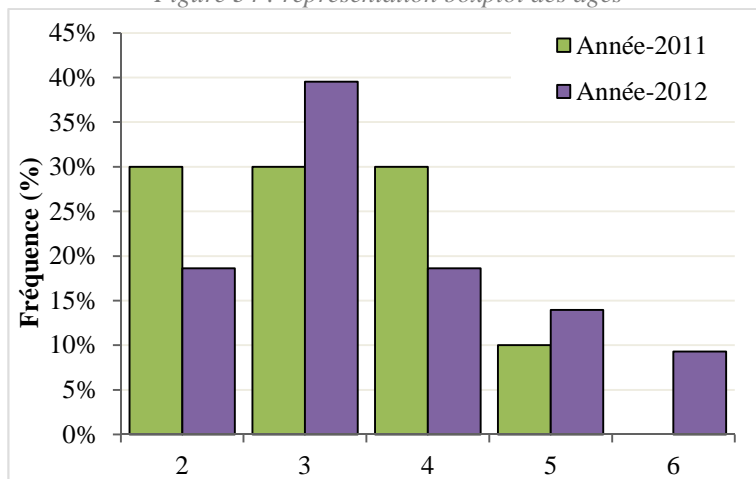


Figure 35 : histogramme des fréquences d'âge

Les différences de taille ne présentant aucune différence significative (Test de Mann & Whitney,  $p$ -value sexe = 0,22, année = 0,17 et secteur d'origine = 0,34), une courbe taille-âge peut être construite tous sexes, années et secteurs d'origine confondus (Figure 36).

L'amplitude des tailles pour un même âge est en moyenne de 88 mm avec 111 et 120 mm d'amplitude à 4 et 5 ans.

L'âge a pu être déterminé sur 53 des 60 Ombres marqués par comptage des *annuli* hivernaux.

L'âge moyen est de 3 ans ( $3,5 \pm 0,16$  e.s. 0,95) et varie de 2 ( $n=11$ ) à 6 ans ( $n=4$ ) (Figure 34 et Figure 35).

D'après le test de Kruskal & Wallis effectué sur ces données, il n'existe aucune différence significative d'âge en fonction des années ou du secteur d'origine ( $p$ -value bilatérale = 0,534).

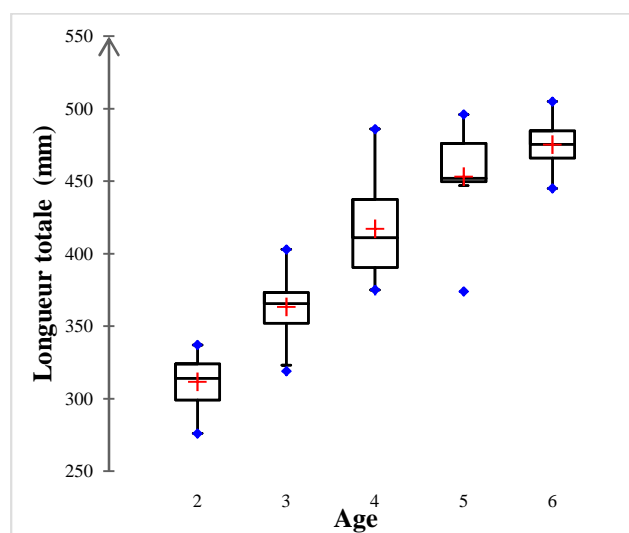


Figure 36 : courbe taille-âge des individus marqués

## 4.4 Analyse des biais méthodologiques

### 4.4.1 Test de portée des émetteurs

Le rayon de l'aire de détection annoncé par le constructeur est d'environ 800 m. Des essais complémentaires menés *in-situ* (émetteur dans l'eau, terrain dégagé) ont donné un rayon optimal d'environ 80 m dans lequel le signal était fort et facilement audible et un rayon maximal d'environ 200 m avec un signal faible et séparé du précédent par un affaiblissement net.

Ces essais ont été menés avec une orientation de l'antenne la plus favorable à la réception c'est-à-dire perpendiculaire à l'angle d'extinction (Cf. § 3.2.1). Ces résultats sont d'ailleurs confirmés par la

distance maximale relevée lors des tests de précision (Cf. *infra*). Cependant, des distances maximales de détection très variables ont été constatées lors des prospections (jusqu'à 800 m).

#### **4.4.2 Précision de la localisation sur petit cours d'eau**

Pour rappel, ces essais ont été faits à pied en utilisant la technique de l'angulation. Sur cinq essais, 3 ont pu être localisés à un rayon de précision inférieur à un mètre, lorsque la traversée du cours d'eau était autorisée. Les deux autres essais, lors desquels la traversée était interdite, ont pu être localisés à un rayon de précision d'environ 5 mètres.

#### **4.4.3 Précision de la localisation sur grand cours d'eau**

Ces essais ont été faits en kayak en utilisant la technique du homing-in. La distance moyenne entre localisation de la pose et localisation lors des différentes prospections (dénommée ensuite *précision*) a été calculée à vol d'oiseau. L'imprécision du GPS au moment de la pose et de la localisation a été retranchée. Les imprécisions dues aux conversions de système de coordonnées ont été négligées (de WGS 84 vers Lambert II carto).

Le taux de détection des émetteurs test a été de 80% (24 détections sur 30 détectables). Les absences de détection ont eu lieu sur des émetteurs-test disposés dans des « configurations extrêmes », c'est à dire dans un bras ou un affluent séparé du chenal principal par des berges hautes. En enlevant ces cas particuliers, un taux de 100% est obtenu.



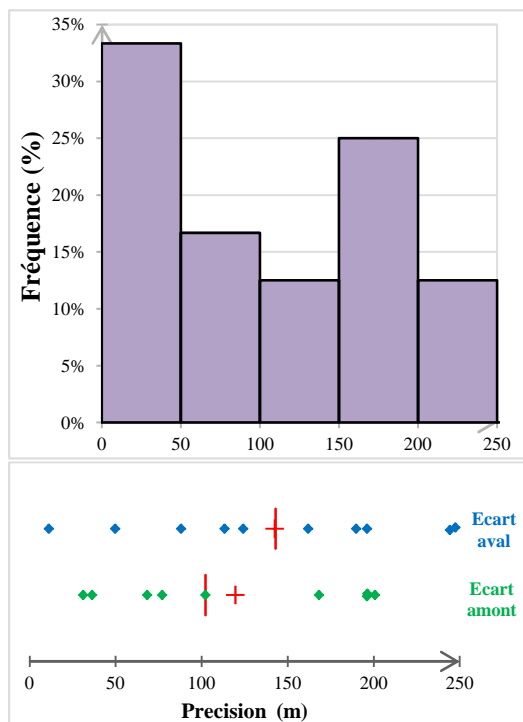


Figure 37 : histogramme et scattergram des fréquences de précision

La précision moyenne mesurée sur  $ni=24$  détections est de  $112 \pm 16$  m (*e.s.* 0,95). La localisation la plus précise a été pointée à 11 m de l'émetteur test et la moins précise à 248 m (Figure 37).

Les écarts de localisation se font identiquement vers l'amont (38% des cas) ou vers l'aval (42%) et plus rarement au même niveau mais sur la rive opposée (20%). La précision n'est pas différente significativement (Mann & Whitney, *p-value* bilatérale = 0,619) que l'écart soit dirigé vers l'amont ou vers l'aval.

La précision de localisation ne dépend pas de l'émetteur considéré ce qui écarte l'hypothèse de différence de puissance d'émission par émetteur (Kruskall & Wallis, *p-value* bilatérale = 0,611).

La proximité de lignes électriques ne semble pas influencer sur la précision de la localisation (Mann & Whitney, *p-value* bilatérale = 0,389). Bien que l'intensité des ondes parasites varie dans l'espace (secteurs plus « bruyants » que d'autres notamment à proximité des lignes électriques et des installations) et dans le temps (sessions de prospection plus « bruyantes » que d'autres), celles-ci ne semblent pas influencer sur la précision de la localisation mais seulement sur le confort d'écoute.

La vitesse moyenne de déplacement lors des prospections calculée sur  $ni=14$  descentes est de  $7,0 \pm 0,2$  km/h (*e.s.* 0,95) soit 1,9 m/s. La vitesse maximale est de 18,5 km/h soit 5,1 m/s. Le nombre maximal de fréquences balayées par un récepteur étant de 14, la durée d'un cycle total est de 28 secondes soit au maximum 144 m.

## 4.5 Description générale des comportements migratoires

### 4.5.1 Déplacements globaux

#### Année 2011

Sept Ombres ont migré de la Menoge vers l'Arve quelques semaines après leur marquage (Figure 38 et Annexe 5). Parmi ces sept individus migrants, 6 ont gagné l'Arve par dévalaison (48-151, 48-190, 48-370, 48-410, 48-743 et 48-970) et un seul par montaison en franchissant le barrage d'Arthaz au bout de 47 jours passés à son aval (48-220). Cet individu a, de plus, franchi le seuil en enrochement du Pont Neuf (*Cf.* carte des obstacles Figure 9). Les autres individus sont restés résidents dans la Menoge ou son affluent le Foron de Fillinges (48-100).

Trois poissons (48-151, 48-190 et 48-410) ont marqué une stabilisation au niveau de la confluence Menoge-Arve avant de dévaler plus bas dans l'Arve.

La dernière montaison significative a eu lieu le 4 août 2011 (48-220) soit environ 3 mois et demi après le marquage (106 jours). En appliquant une période de sécurité, les mouvements survenus après le 31 août 2011 n'ont donc pas été considérés par la suite. Il s'agissait, en effet, de mouvements très faibles et largement inférieurs au seuil de significativité (stabilisation des courbes de déplacement).

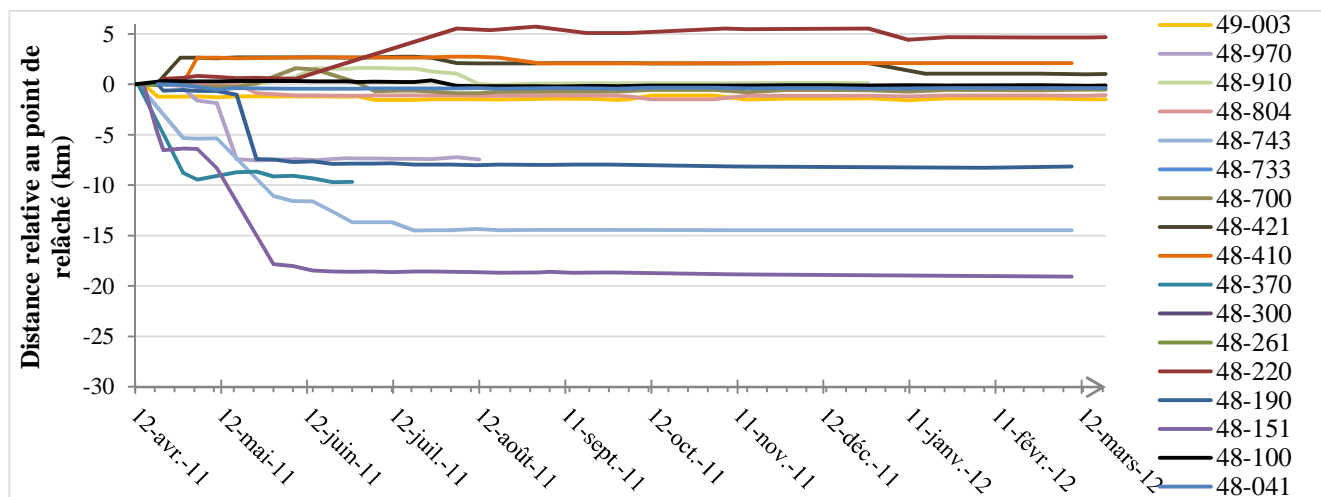


Figure 38 : courbes de déplacements des Ombres marqués en 2011

### Année 2012

Contrairement à 2011, aucun des 23 poissons marqués sur la Menoge n'est resté résident (Figure 39, Figure 40). Tous les Ombres ont, en effet, gagné l'Arve au plus tard le 5 juin 2012, soit au maximum, 69 jours après le marquage (49-090). Cette migration a été effectuée pour l'ensemble de ces poissons, par dévalaison. Aucun Ombre n'a franchi le barrage d'Arthaz cette année en montaison.

La dernière montaison significative a eu lieu le 4 juillet 2012 (48-270) soit 98 jours après le marquage. Les mouvements des prospections antérieures au 2 août 2012 n'ont pas été intégrés par la suite, les poissons étant stabilisés.

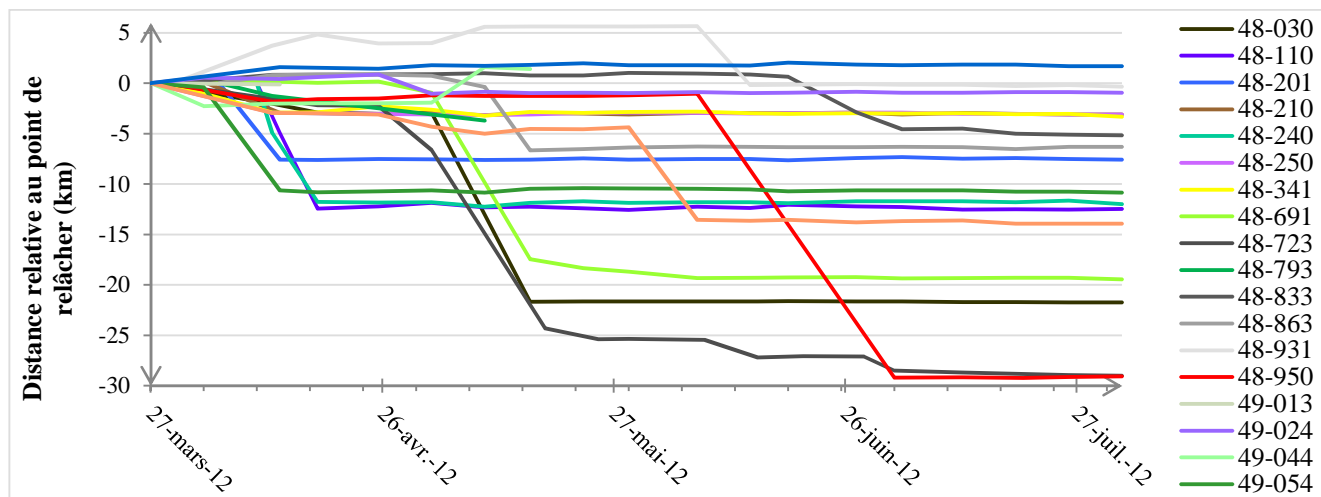


Figure 39 : courbes de déplacement des Ombres marqués en 2012 sur le secteur amont

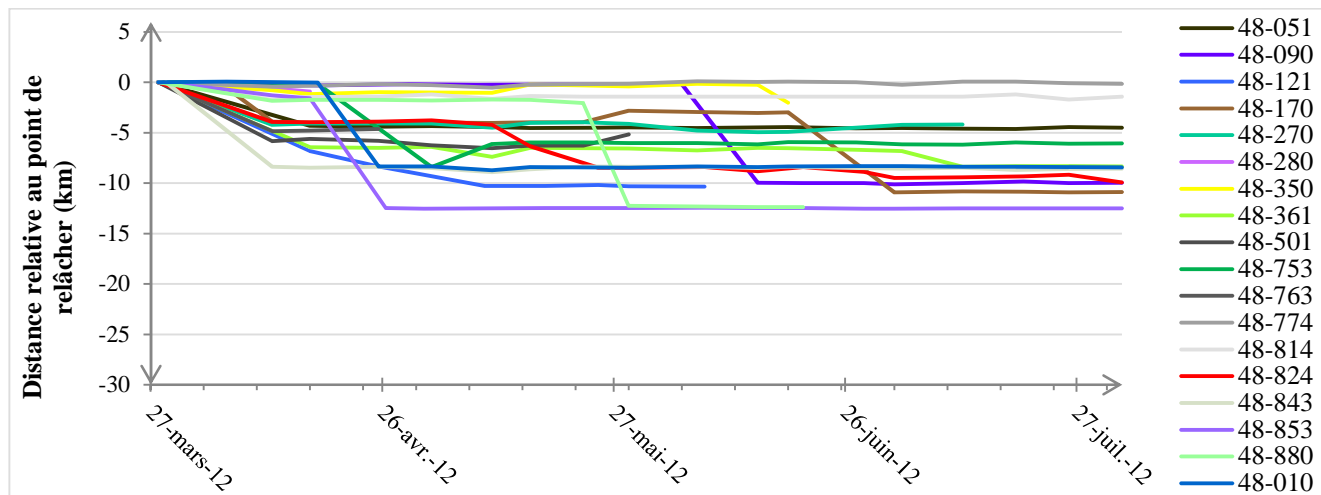


Figure 40 : courbes de déplacement des Ombres marqués en 2012 sur le secteur aval

## 4.5.2 Vitesses de déplacement

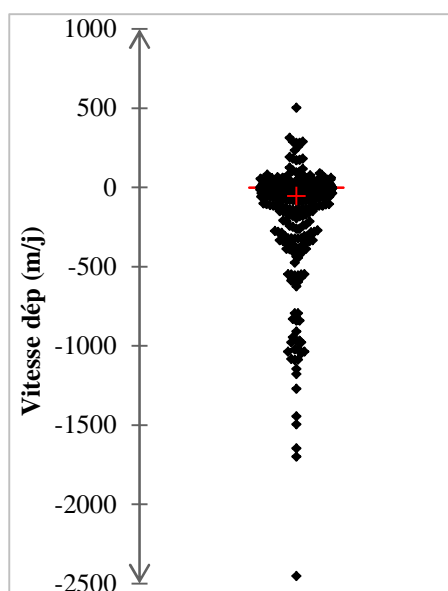


Figure 41 : scattergram des vitesses de déplacement d'avalaison (négatives) et de montaison (positives)

Pour rappel, les vitesses annoncées ci-dessous sont des vitesses moyennes en raison du mode de suivi non continu (Cf. §3.4.5).

La vitesse moyenne de déplacement est de  $23 \pm 3$  m/j en montaison et  $118 \pm 12$  m/j en dévalaison. La vitesse maximale atteinte en dévalaison est de 2452 m/j (calculé sur 4,9 km et 2 jours) et de 503 m/j en montaison (calculé sur 3,52 km et 7 jours). Ces vitesses correspondent respectivement à 0,076 fois et 0,017 fois la longueur totale du poisson par seconde (Figure 41).

75 % des 986 vitesses calculées sont inférieures à 29 m/j. Ce sont donc des vitesses très faibles et peu significatives. Sur la base du seuil de significativité préalablement décrit, les vitesses significatives représentent 19% des vitesses totales.

## 4.5.3 Domaines vitaux et distances de déplacement

Dix-neuf individus ont effectué au moins une montaison au-dessus de leur lieu de marquage même si pour 7 d'entre eux, cette distance n'était pas significative. La distance maximale atteinte par rapport au lieu de marquage est de 5,7 km vers l'amont (48-220) et 29,2 km vers l'aval (48-950).

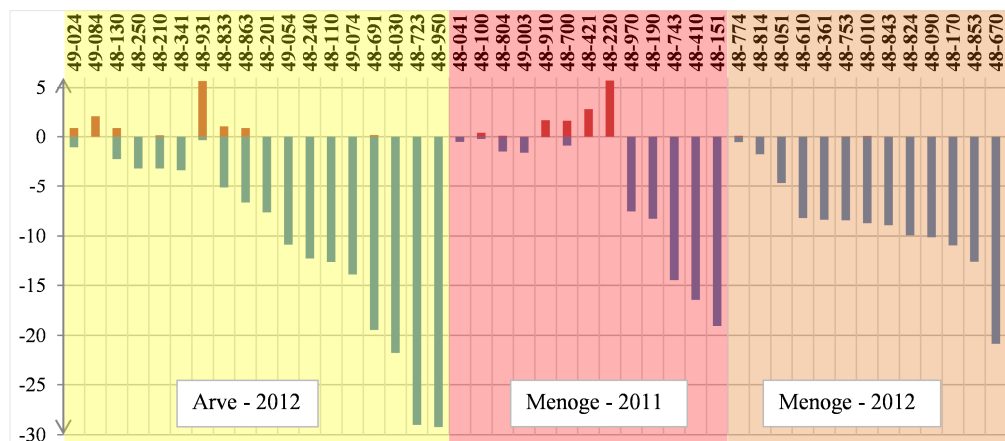


Figure 42 : domaines vitaux calculs sur 44 individus

Après élimination des individus perdus rapidement, le calcul du domaine vital a été effectué sur  $ni = 44$  individus (Annexe 5, Figure 42).

Sur l'ensemble des poissons suivis, le domaine vital maximum est de 29,2 km (48-950, également la plus grande montaison *cf. supra*) et le domaine vital moyen est de  $8,9 \pm 1,1$  km (*es. 0,95*).

Certains individus ont des domaines vitaux plus restreints (48-041, 48-100, 49-003, 49-024, 49-084).

La variabilité de taille et de direction (amont aval) des domaines vitaux en fonction des individus est très grande. Elle ne présente pas de différence significative en fonction de l'origine (lieu et année de marquage) tant en terme d'amplitude (Kruskall & Wallis sur Arve-2012, Menoge-2011 et Menoge-2012,  $p\text{-value} = 0,136$ ), de direction amont (Kruskall & Wallis,  $p\text{-value} = 0,162$ ) et aval (Kruskall & Wallis,  $p\text{-value} = 0,109$ ).

Quatorze individus ont un domaine vital transfrontalier dont 2 proviennent de l'Arve amont (48-723 et 48-950) et un du Foron de Fillinges (48-670). Les autres provenant de la Menoge. De plus, cinq individus ont un domaine vital recouvrant les deux secteurs séparés par le barrage d'Arthaz dont un seul a franchi cet ouvrage par montaison, les autres ayant été marqués sur l'Arve amont et ayant dévalés dans le secteur aval.

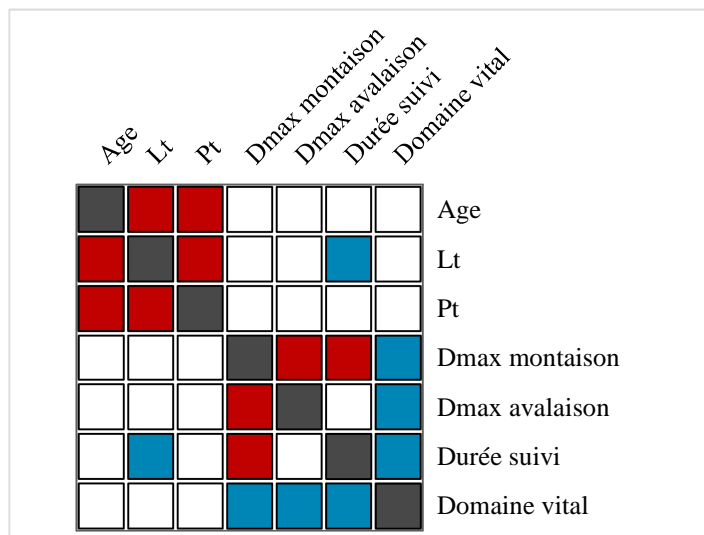


Figure 43 : carte des *corrélations* et *anti-corrélations* domaine vitaux/biométrie

Aucune relation n'a pu être effectuée entre les caractéristiques biométriques des individus (Age, Longueur totale, Poids total) et la taille et direction de leur domaine vital (respectivement traduit par Domaine vital, Dmax montaison et avalaison) par test de Spearman.

Autrement dit, les individus présentent des domaines vitaux de taille et de direction variées quels que soient leur âge, leur taille ou leur poids (Figure 43).

## 4.6 Segments hydromorphologiques préférentiels

Au cours des prospections, certaines zones sont apparues plus occupées par les Ombres suivis alors que d'autres accueilleraient rarement voire jamais de poissons marqués (Figure 44).

L'étude des préférences habitationnelles des Ombres marqués était initialement prévue à l'échelle du faciès d'écoulement qui a été relevé lors de chaque prospection (selon la typologie élaborée par Malavoi & Souchon (2002)). Cependant, les tests effectués ont révélé une distance de précision supérieure à la longueur moyenne d'un type de faciès. De plus, la description des faciès est particulièrement difficile dans le cas de l'Arve, la turbidité élevée empêchant souvent d'évaluer la profondeur par manque de visibilité.

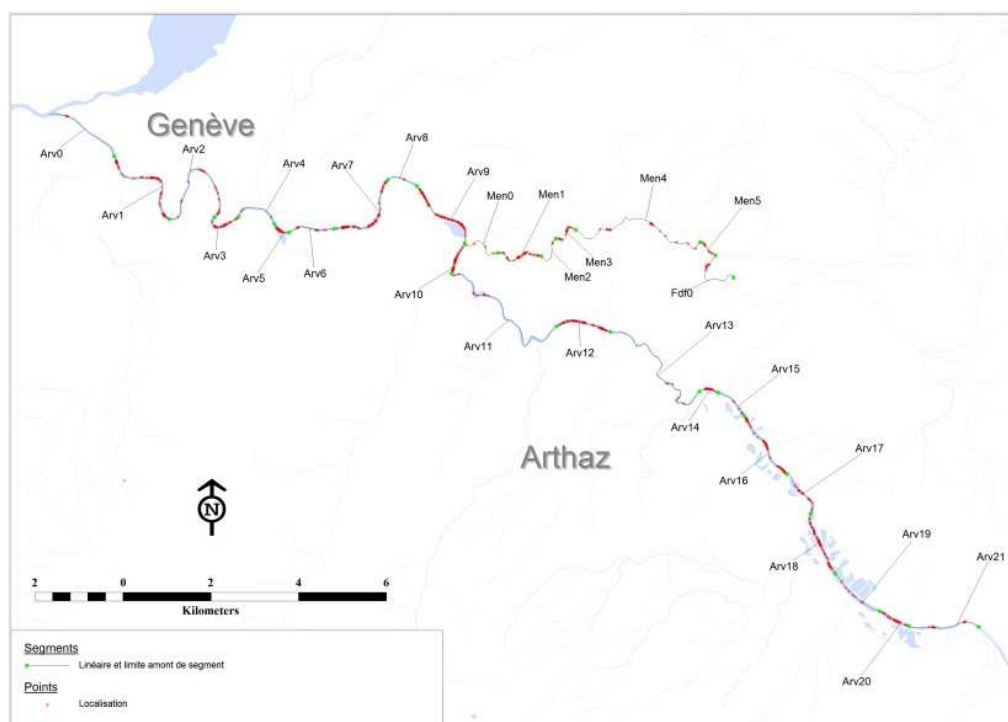


Figure 44 : carte des localisations et tronçons hydromorphologiques



Pour ces deux raisons, une échelle hydromorphologique plus étendue a donc été choisie. Afin d'étudier les variations d'affinité des Ombres vis-à-vis des différentes conditions habitationnelles rencontrées sur l'Arve des segments de densité de fréquentation et d'hydromorphologie homogènes ont donc été délimités (nombre de localisations au kilomètre).

En rapport avec les tests de précision effectués, les segments sont d'au moins 500 m sur l'Arve et 200 m sur la Menoge.

Différents indicateurs de fréquentation de ces segments (densité, indice d'Ivlev et de Strauss) ont été comparés avec les caractéristiques morphologiques relevées visuellement sur le terrain au cours des prospections hebdomadaires et par photo aérienne (Annexe 7).

Bien qu'aucune liaison entre les variables hydromorphologiques et les variables de préférences des segments ne soit significative, certaines tendances peuvent être observées graphiquement (Annexe 8) et se retrouvent par observation des photos aériennes (Figure 45).



Figure 45 : photos aériennes des segments préférés et évités – source : Bd Ortho ® IGN

## 4.7 Influence des variables environnementales sur les déplacements

### 4.7.1 Déplacements sur la Menoge

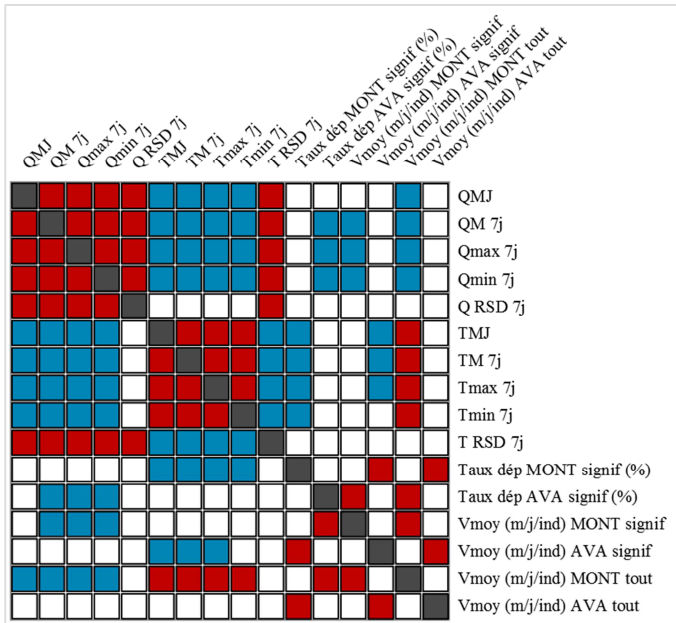


Figure 46 : carte des **corrélations** et **anti-corrélations** déplacements/hydrologie/thermie sur la Menoge

D'après les différents tests de corrélation de Spearman effectués (résultats complets en Annexe 6), l'hydrologie semble influencer davantage que la thermie les déplacements sur la Menoge. En effet, la majorité des variables hydrologiques sont anti-corrélées avec la vitesse moyenne des mouvements de montaison et d'avalaison (Figure 46).

Concernant la thermie, une augmentation des variables thermiques semble induire une augmentation des mouvements de montaison (Vmoy MONT tout) mais une diminution des mouvements d'avalaison (Vmoy AVA signif). Parmi ces relations, les anti-corrélations entre hydrologie et vitesse moyenne de montaison sont les plus significatives ( $p$ -value moyenne = 0,001).



## 4.7.2 Déplacements sur l'Arve

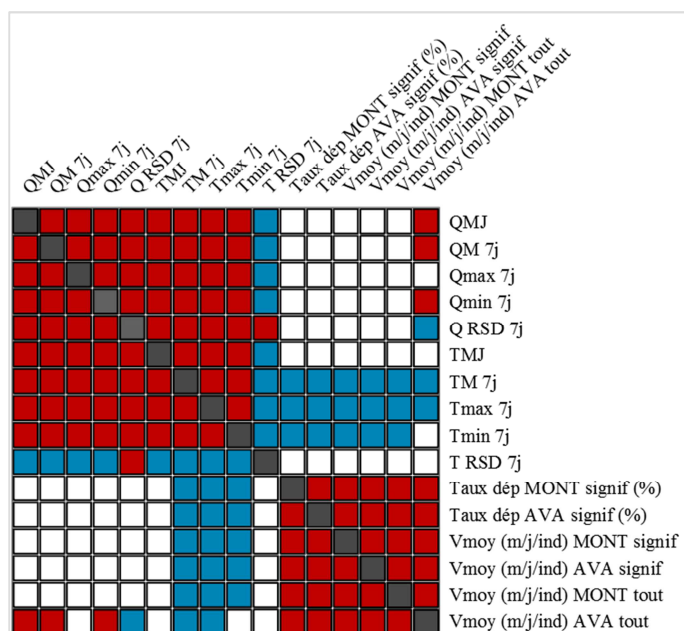


Figure 47 : carte des **corrélations** et **anti-corrélations** déplacements/hydrologie/thermie sur l'Arve

Les significativités de ces liaisons sont très variables et les *p-value* de chaque test doivent être observés spécifiquement (résultats complets en Annexe 6).

Contrairement à la Menoge, la thermie sur l'Arve semble avoir plus d'impact sur les déplacements que l'hydrologie. En effet, toutes les métriques de déplacement sont anti-corrélées avec les températures moyennes, maximales et minimales des 7 jours précédents (Figure 47). Concernant l'hydrologie, seule la vitesse moyenne calculée sur l'ensemble des avalaisons est corrélée avec le débit moyen instantané et le débit moyen et minimum sur 7 jours précédents.

## 5 DISCUSSION

### 5.1 Apports de l'étude sur les connaissances de l'écologie de l'Ombre

Le marquage des Ombres communs et leur suivi par radiopistage a permis de recueillir des connaissances sur leur biologie et leur écologie à différents niveaux.

Dès la phase de capture pour marquage, des notions empiriques ont pu être recueillies :

Premièrement, sur le cours principal de l'Arve, les géniteurs ont été capturés en période voire en acte de fraie sur des sites bien particuliers : en tête de radier/plat courant, dans des vitesses de courant élevées. Ces faciès, semblables à ceux décrits dans la littérature ont cependant la particularité de se trouver généralement aux extrémités ou dans les bras latéraux de l'Arve. Ces sites rassemblent toutes les caractéristiques requises des frayères d'Ombres décrites dans la bibliographie (Anonymes, 2011; Freyhof, 2011; Nykänen, Huusko, & Lahti, 2004; Nykänen, Huusko, & Mäki-Petäys, 2001; Sempeski & Gaudin, 1995).

Le sex-ratio relevé lors des captures était de 3 males/femelle (sex-ratio marqué d'1,5 males/femelle) et la taille moyenne de reproduction de  $385 \pm 7,35$  mm (*e.s.* 0,95) soit un âge moyen de  $3,5 \pm 0,16$  ans (*e.s.* 0,95). Ces données se situent dans la moyenne des observations faites dans la littérature (Linløkken, 1993; Parkinson, Philippart, & Baras, 1999).

Ensuite, durant la phase du suivi, d'autres éléments de connaissance ont été apportés :

La taille des domaines vitaux est apparue très variable en fonction des individus sans pour autant que des liens avec les caractéristiques biométriques (taille, poids, âge) n'aient pu être mis en évidence. Le domaine vital maximum a été de 29,2 km et le domaine vital moyen de  $8,9 \pm 1,1$  km (*es.* 0,95). Ces domaines sont plus étendus que ceux relevés par Paquet (2002) dans l'Orbe en Suisse ou par Lucas & Bubb (2005) dans la Rye en Angleterre et sont certainement en rapport avec les particularités du milieu (densité d'habitats favorables, démographie, ...). Ils s'étendent très majoritairement à l'aval du lieu de capture ce qui confirme bien que les secteurs de frayère sont généralement situés en amont du domaine vital. Leur accès nécessite donc d'effectuer une migration de montaison pré-reproduction telle que décrite dans la littérature (Lucas & Bubb, 2005; Nykänen *et al.*, 2004; Ovidio, Parkinson, *et al.*, 2004). Le comportement de *homing* étant adopté par l'espèce chez 57 à 100% des individus, il est très probable que la migration pré-reproduction représente au moins les mêmes distances (Lucas & Bubb, 2005; Meyer, 2001; Ovidio, Paquer, *et al.*, 2004; Parkinson *et al.*, 1999)

Globalement, les domaines vitaux des individus marqués sur le secteur amont et le secteur aval ne se chevauchent pas. En effet, seulement 5 individus sont passés d'un secteur à l'autre en franchissant le

barrage d'Arthaz dont un seul par montaison. Ce faible échange entre les deux noyaux de population, déjà constaté par analyses génétiques a été confirmé par radiotélémétrie.

Le faible nombre de poissons marqués sur le secteur aval ayant entamé une migration vers l'amont est très faible (probablement 3 individus). En outre un seul a franchi, par la passe, le barrage d'Arthaz après un long stationnement de 13 semaines à son aval.

Ces résultats tendent à confirmer l'isolement de ces deux noyaux de population mais ne permet pas de trancher sur son origine naturelle (comportements des populations) ou artificielle lié à l'obstacle infranchissable qu'a constitué Arthaz pendant des décennies avant d'être équipé pour le franchissement depuis 12 ans.

Au sein de ces domaines vitaux, certains segments sont apparus plus ou moins fréquentés. Ces différences d'affinités ont pu être mises en relation avec des caractéristiques hydromorphologiques principales et quelques tendances (non-significatives statistiquement) ont pu être observées graphiquement. Les Ombres semblent fréquenter préférentiellement les segments présentant de nombreux bras latéraux. Ces segments correspondent également aux portions caractérisées par une largeur importante permettant la divagation latérale et une profondeur plutôt faible due à l'étalement de la lame d'eau. A l'inverse, les segments fortement anthropisés ne permettent généralement pas cette divagation (stabilisation des berges) et sont donc évités. De plus, les segments préférés sont caractérisés par une forte diversité des faciès d'écoulement alors que les secteurs évités sont homogènes. Les segments situés en fond de vallée étroite et présentant une profondeur importante et des écoulements turbulents ne sont quasiment pas fréquentés. De plus, un phénomène de répulsion chimique peut être suspecté car peu d'Ombres ont été localisés sur les zones recevant de nombreux rejets.

L'ensemble de ces constations ne reflète que des tendances de fréquentation préférentielle mais doivent être considérées avec comme biais de départ que la distance aux zones de marquages puisse interférer grandement dans ces résultats.

Les mouvements, majoritairement de dévalaison, sont apparus comme influencés par les conditions thermiques et hydrologiques, elles même très liées entre-elles. Il a donc été difficile de tirer de nettes tendances entre ces conditions environnementales et les mouvements post-reproduction détectés. L'aspect purement physiologique de ce comportement (« homing » inversé post-reproduction) pourrait être fortement impliqué et faire l'objet d'études spécifiques.

## **5.2 Analyse de la méthodologie mise en œuvre**

Sur le plan méthodologique, cette étude de radiotélémétrie a permis de caractériser les comportements post-reproduction d'un échantillon important de 60 géniteurs d'Ombre commun sur un grand système

présentant des caractéristiques de travail particulière (linéaire prospecté de 70 km, rivière glaciaire, ...). L'échelle temporelle utilisée a été également importante comparativement aux autres études menées (suivi sur 478 jours répartis en deux années).

L'utilisation du kayak comme mode de déplacement principal lors des prospections a permis de couvrir un grand linéaire et de localiser les individus marqués à une précision moyenne de  $112 \pm 16$  m (*e.s.* 0,95). Ce mode de prospection est apparu être le meilleur compromis entre le temps, le coût et l'exactitude de la localisation. Il apparaît particulièrement recommandé pour couvrir un grand linéaire de rivière large et peu accessible. La vitesse de prospection est adaptée au suivi d'une vingtaine de poissons équipés d'émetteurs pulsés à 30 ppm et n'induit pas de décalages de localisation orientés plus vers l'aval que vers l'amont.

La prospection à pied a été faite à une précision de quelques mètres carrés sur les affluents de l'Arve. Ce niveau de précision est semblable à ceux relevés dans la bibliographie (Baras & Lagardère, 1995; Lucas & Bubb, 2005).

L'utilisation de stations fixes s'est avérée infructueuse aussi bien au niveau de l'usine hydroélectrique d'Arthaz qu'à la confluence Arve-Rhône. Différentes hypothèses pourraient expliquer ces dysfonctionnements : ondes parasites trop importantes, type d'antenne non adapté, nombre de récepteurs et d'antennes trop faible, émetteurs non-codés plus sensibles aux ondes parasites, ...

La question de la mortalité post-marquage reste la principale interrogation. L'émetteur continuant à diffuser son signal même si le poisson est mort, il est impossible de discerner les mouvements de dévalaison active (notamment de faible amplitude) des mouvements dus à l'entraînement par le courant. Les tentatives de recapture à l'électricité sur les poissons marqués en 2011 ainsi que leur immobilité durant plusieurs mois laissent, tout de même, à penser que la durée de vie des individus marqués n'excède certainement pas 5 mois.

Bien que les éléments bibliographiques traitants de l'impact du marquage soient rares, cette zone de flou aurait pu être évitée par l'emploi de marques comportant une fonctionnalité « *activity-switch* ». Cette fonction a pour effet d'augmenter le taux de pulsation (ex : un bip par seconde au lieu d'un bip toutes les deux secondes) lorsque le poisson est en mouvement. S'il ne permet pas d'avoir la certitude qu'un poisson est effectivement mort (cas de poisson immobile mais bien vivant), il permet cependant d'avoir des doutes quant à sa survie, le poisson pouvant continuer à être suivi ou non (Baras, Benech, & Marmulla, 2001).

Comme dans la majorité des études de radiotélémétrie, au maximum 15 poissons ont été perdus durant le suivi (Baras *et al.*, 2001). Un survol en avion de la zone en recherchant spécifiquement les fréquences « perdus » pourrait permettre d'en retrouver un certain nombre.

En éliminant ces individus perdus, l'efficacité des détections paraît tout à fait satisfaisante et augmente avec le temps probablement grâce au cumul de différents facteurs (meilleure expérience des opérateurs, stabilisation des poissons, changements dans les itinéraires de prospection, ...).

Le radio-émetteur implanté continuant à émettre des signaux même si le poisson est mort, ces individus sont donc sortis de la zone prospectée ou situés dans une zone ou une configuration dans laquelle la réception est impossible. Différentes causes pourraient être à l'origine de ces poissons perdus :

- L'atténuation et la perte du signal dans le cas d'un poisson mort, tombé au fond et progressivement recouvert par les sédiments transportés dans la charge solide de fond paraît peu probable car les signaux radio sont capables de traverser des couches importantes de sédiments. Ceci ayant été confirmé par test *in-situ* et par le constructeur (Garin, T. Advanced Telemetry System, *comm. pers.*).
- L'intrusion dans des affluents non-prospectés paraît également peu probable et des prospections étendues à ces zones ont été effectuées pour infirmer cette hypothèse.
- Le blocage de poissons marqués dans les usines hydroélectriques notamment celle d'Arthaz présentant un tunnel de rejet de 140 m de long et une grille à espacement de 60 mm semble également possible pour les 6 individus perdus provenant du secteur amont.
- La prédation aviaire d'Ombres marqués vivants, agonisants ou morts puis le rejet de l'émetteur en dehors de la zone prospectée pourrait être suspectée. En effet, différentes espèces d'oiseaux piscivores ont pu être observées fréquemment lors des prospections dont notamment le Héron cendré (*Ardea cinerea* Linnaeus, 1758) qui possède un territoire étendu (2 à 38 km) et peut adopter un mode de vie erratique hors période de reproduction (Marion, 1989). D'autres espèces pourraient également être impliquées au vu des données de régime alimentaire collectées dans la bibliographie (grand Cormoran (*Phalacrocorax carbo* Linnaeus, 1758), Goéland leucophaea (*Larus michahellis* Naumann, 1840) et Milan noir (*Milvus migrans* Boddaert, 1783)).

### 5.3 Propositions de gestion

Les résultats de cette étude permettent de formuler quelques propositions de gestion de la population d'Ombres communs.

Premièrement, l'aire de gestion se doit d'être transfrontalière puisque les domaines vitaux de nombreux poissons s'étendent également en Suisse. En effet, une grande partie de la population d'Ombres suisses utilise des sites de frayère situés en France, les affluents-frayères de bonne qualité étant probablement très rares voire inexistantes en Suisse. L'étude des déplacements post-reproduction

a, de plus, permis de mettre en évidence l'importance prépondérante de la Menoge qui accueille les frayères des Ombres résidents en Suisse.

Si cette étude de radiotélémétrie a permis de décrire un volet du fonctionnement de la population d'Ombres sur le plan qualitatif, aucune donnée quantitative de démographie n'est actuellement connue. Connaître la taille du stock d'Ombres et son évolution serait cependant très informatif et pourrait être mis en relation avec les comportements observés dans cette étude.

La question de la franchissabilité des obstacles situés sur le secteur d'étude n'a pas pu être étudiée profondément car chaque obstacle n'a été franchi à la montaison que par un individu. Cependant, les nombreux individus marqués restés en stationnement à l'aval immédiat des ouvrages permettent d'émettre des doutes quant à la franchissabilité vis-à-vis de l'Ombre. Une étude spécifique de ces ouvrages (marquage et suivi continu grâce à des stations fixes) permettrait d'approfondir cette question persistante. Une attention particulière devra être accordée à l'étude du franchissement des ouvrages.

D'après la courbe taille-âge réalisée sur l'ensemble des poissons capturés et en considérant que l'ensemble des individus capturés se soit reproduit au moins une fois (ou étaient en train de se reproduire), la taille légale de capture de 30 cm en France et 35 cm en Suisse apparaît très insuffisante pour protéger efficacement la population. En l'appliquant aux captures effectuées pour les marquages, respectivement 4 et 17 individus auraient été épargnés sur 60. Ce problème a été soulevé depuis longtemps dans la littérature (Lecuret, 1994; Paquet, 2002; Persat, 1977, 2011; Persat & Eppe, 1997). Des analyses plus poussées de croissance et d'âge, notamment par retro-calcul, devraient permettre de fixer une maille plus adaptée mais la taille de 40 cm paraîtrait plus pertinente et aurait permis d'épargner 39 individus sur 60.

De plus, l'Arve étant une rivière difficile à pêcher (turbidité élevée, régime thermo-hydrologique particulier, ...), l'effort de pêche amateur est ciblé sur certains sites particulièrement fréquentés par les pêcheurs (Confluence Arve-Borne, Foron de Fillinges, Nant de Sion, ...) mais n'a pas été quantifié. Une estimation des quantités prélevées, par exemple, par enquête auprès des pêcheurs permettrait de répondre à certaines interrogations à ce sujet.

L'arrêt des opérations de repeuplement à partir de souches allochtones semble également être une priorité. En effet, l'introduction de souches allochtones provoque une « pollution » génétique par introgression de gènes étrangers dans le génotype de la population locale (Persat, 2011). Ce génotype originel est très probablement mieux adapté aux conditions habitationnelles que le génotype des individus déversés.

Si les opérations de repeuplement sont tout de même maintenues, une traçabilité rigoureuse de ces déversements devra être mise en place et rassembler un maximum d'informations (date et lieu précis, quantité introduite, caractéristiques biométriques, provenance, ...).

## **6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

L'étude par radiotélémétrie d'une espèce réputée sédentaire tel que l'Ombre a révélé qu'elle devrait plutôt être considérée comme espèce migratrice potamodrome capable d'effectuer des migrations post-reproduction et probablement pré-reproduction d'une trentaine de kilomètres.

Les segments caractérisés par une dynamique hydrosédimentaire intense, peu entravée par les interventions et les aménagements humains sont apparus plus fréquentés alors que les zones homogènes et moins dynamiques naturellement (secteur de gorges) ou à la suite d'actions anthropiques (stabilisation de berges, endiguement, extraction, ...) ont été évitées. Cet élément pourrait permettre de prioriser certains secteurs par rapport à d'autres dans le cadre d'opérations de restauration ciblées pour l'Ombre. Une restauration de l'espace de liberté permettrait notamment d'accroître les secteurs favorables à la fraie et à la croissance.

Plus globalement, l'échelle de gestion devant être confondue avec l'échelle de fonctionnalité de la population, une gestion concertée de l'espèce au niveau franco-suisse apparaît indispensable et l'harmonisation, la mutualisation et la coopération sont nécessaires pour une conservation efficace de l'espèce.

Si cette étude de radiotélémétrie a permis d'acquérir un grand nombre d'éléments de connaissances prospectives sur l'écologie de l'Ombre appliquée à un territoire particulier, de nombreux champs de recherche restent à étudier. Le lancement d'un projet Interreg franco-suisse en 2013, intégrant un volet « radiotélémétrie », devrait notamment permettre d'étudier un plus grand nombre d'espèces, sur un territoire plus vaste et sous différents aspects (en particulier le franchissement des obstacles).



## **BIBLIOGRAPHIE**

- Advanced-Telemetry-System. (2011). Choosing Transmitters. Repéré le 04/06/2012à <http://www.atstrack.com/Generic-59-How-to-Choose.aspx>
- Anonymes. (2003). Inventaire piscicole des cours d'eau du canton de Genève constats et plan d'actions envisagés pour une politique cantonale ciblée. Genève: République et canton de Genève, Département de l'intérieur, de l'agriculture et de l'environnement, Service des forêts, de la protection de la nature et du paysage.
- Anonymes. (2009). Centrale hydroélectrique de Vessy - suivi du franchissement des passes à poissons (suivi de mise en service) (p. 1-31). Genève: Services Industriels de Genève.
- Anonymes. (2011). L'Ombre commun (*Thymallus thymallus* L., 1758) *Fiche frayère ONEMA* (p. 2): Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- Anonymes. (2012a). *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin versant de l'Arve - état initial*. Communication présenté Comité de suivi 2010, Bonneville.
- Anonymes. (2012b). Site de Vessy. Repéré le 16/07/2012à <http://www.sig-ge.ch/corporate/l-entreprise-sig/notre-patrimoine/site-de-vessy/index.lbl>
- Baras, E., Benech, V., & Marmulla, G. (2001). Manuel de biotélémétrie aquatique (p. 1-163). Sélingué: FAO.
- Baras, E., & Lagardère, J.-P. (1995). Fish telemetry in aquaculture: review and perspectives. *Aquaculture International*, 3(2), 77-102. doi: 10.1007/bf00117876
- Blanc, L. (1997). Analyse des données de radiopistage ADE-4 / *Fiche thématique 7.2 / 97-07* (p. 84).
- Bruslé, J., & Quignard, J. P. (2001). *Biologie des poissons d'eau douce européens*. (Tec & Doc<sup>e</sup> éd.). Paris.
- Chancellerie-fédérale. (2005). Chasse et pêche. Repéré le 25/06/2012à <http://www.ch.ch/private/00029/00043/00340/00365/index.html?lang=fr>
- Chasserieu, C. (2010). Recensement des ouvrages transversaux sur le réseau hydrographique de Haute-Savoie et continuité piscicole, rapport final 2009-2010 (p. 1-44). Saint-Martin Bellevue: FDP74.
- Chasserieu, C. (2011). Evaluation des travaux de restauration réalisés en fin d'année 2008 sur le Nant de Sion aval, comparaison des états des lieux réalisés avant travaux (2008) et un an après travaux (2010), rapport intermédiaire. (p. 1-21): FDP74.
- Ordonnance relative à la loi fédérale sur la pêche, section 1 Protection et utilisation des poissons et écrevisses, art. 2 Longueurs minimales, RS 923.01 C.F.R. (2011).
- Recueil systématique genevois, loi pêche et réglementation d'application, M 4 06 C.F.R. (2012).
- Freyhof, J. (2011). *Thymallus thymallus*. *IUCN Red List of Threatened Species Version 2011.2*. Repéré le 14/03/2012à <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/21875/0>
- Lecuret, C. (1994). Schéma Départemental à Vocation Piscicole de Haute-Savoie, mise à jour de 1994 (p. 497). Annecy: Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de la Haute-Savoie, Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.
- Linløkken, A. (1993). Efficiency of fishways and impact of dams on the migration of grayling and brown trout in the Glomma river system, south-eastern Norway. *Regulated Rivers: Research & Management*, 8(1-2), 145-153. doi: 10.1002/rrr.3450080117
- Lucas, M. C., & Bubb, D. H. (2005). Seasonal movements and habitat use of grayling in the UK. Dans E. Agency (dir.), *Using science to create a better place* (p. 1-104). Bristol: Environment Agency.

- Malavoi, J., R., & Souchon, Y. (2002). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*(365-366), 357-372.
- Marion, L. (1989). Territorial Feeding and Colonial Breeding are Not Mutually Exclusive: The Case of the Grey Heron (*Ardea cinerea*). *Journal of Animal Ecology*, 58(2), 693-710.
- Meyer, L. (2001). Spawning migration of grayling *Thymallus thymallus* (L., 1758) in a Northern German lowland river. *Arch. Hydrobiol.*, 152(1), 99-117.
- Nykänen, M., Huusko, A., & Lahti, M. (2004). Movements and habitats preferences of adult grayling (*Thymallus thymallus* L.) from late winter to summer in a boreal river. *Arch. Hydrobiol.*, 161(3), 417-432.
- Nykänen, M., Huusko, A., & Mäki-Petäys, A. (2001). Seasonal changes in the habitat use and movements of adult European grayling in a large subarctic river. *Journal of Fish Biology*, 58(2), 506-519. doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02269.x
- Ovidio, M., Paquer, F., Capra, H., Lambot, F., Gérard, P., Dupont, E., & Philippart, J. C. (2004, 12-17/09/2004). *Effects of a micro hydroelectric power plant upon population abundance, mobility and reproduction behaviour of European grayling T. thymallus and brown trout S. trutta in a salmonid river*. Communication présentée International Symposium on Ecohydraulics, Madrid.
- Ovidio, M., Parkinson, D., Sonny, D., & Philippart, J. C. (2004). Spawning movements of European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne (Belgium). *Folia Zoologica*, 53(1), 87-98.
- Paquet, G. (2002). *Biologie et écologie de l'ombre commun (Thymallus thymallus L.) dans l'Orbe à la Vallée de Joux, canton de Vaud, Suisse*. (Thèse de doctorat, Université de Lausanne, Lausanne). Repéré à <http://thymallus.ch/index.html>
- Parkinson, D., Philippart, J. C., & Baras, E. (1999). A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology*, 55(1), 172-182. doi: 10.1111/j.1095-8649.1999.tb00666.x
- Persat, H. (1977). Ecologie de l'ombre commun. *Bull. Fr. Piscic.*(266), 11-20.
- Persat, H. (2011). *Les poissons d'eau douce de France, l'Ombre commun*. (Biotope<sup>e</sup> éd.). Mèze: Muséum National d'Histoire Naturelle (paris).
- Persat, H., & Eppe, 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. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*(344-345), 287-299.
- Sandre-Eaufrance. (2011, 26/07/2011). Sandre Portail National d'Accès aux Référentiels sur l'Eau, fiche cours d'eau. Repéré le 26/03/2012à [http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche\\_courdo.php?CdSandre=V0--0200](http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche_courdo.php?CdSandre=V0--0200)
- Sempeski, P., & Gaudin, P. (1995). Sélection et utilisation de l'habitat par les jeunes stades de poissons d'eau courante : le modèle Ombre commun (*Thymallus thymallus*, L.). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*(337-338-339), 215-220.
- Vigier, L., Gil, J., Grimardias, D., Cattaneo, F., & Caudron, A. (2012). Suivi de la migration de reproduction des Ombres communs (*Thymallus thymallus*) de l'Arve dans un petit affluent temporaire, le Nant de Sion (p. 1-22). Saint-Martin Bellevue: Fédération de Haute-Savoie pour le Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.
- Wojtenka, J. (1985). Schéma Départemental à Vocation Piscicole de Haute-Savoie (p. 497). Annecy: Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de la Haute-Savoie, Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique.

## LISTE DES FIGURES

La source des figures, lors qu'elle était extérieure, a été précisée en légende de chaque figure.

Figure 1 : répartition des indices de présence et noyaux de population d'Ombre sur le bassin versant de l'Arve - source : VIGIER, L. FDP-74 .....	3
Figure 2 : carte de situation générale du bassin versant de l'Arve et de la zone étudiée .....	4
Figure 3 : profils en long des 4 cours d'eau concernés par l'étude .....	5
Figure 4 : hydrogramme de l'Arve à Arthaz Pont Notre Dame (1961-2009) – source : <a href="http://www.hydro.eaufrance.fr">http://www.hydro.eaufrance.fr</a> .....	5
Figure 5 : vue générale de l'Arve amont .....	6
Figure 6 : vue du Nant de Sion aval .....	7
Figure 7 : vue de la Menoge à Vétraz-Monthoux .....	7
Figure 8 : hydrogramme de la Menoge à Bonne (1979 - 2012) - source : <a href="http://www.hydro.eaufrance.fr">http://www.hydro.eaufrance.fr</a> .....	7
Figure 9 : carte des ouvrages transversaux situés sur la zone d'étude - source : Chasserieau, C. 2010 .....	8
Figure 10 : vue amont du seuil d'Arthaz .....	9
Figure 11 : vue aval du seuil d'Arthaz - source : Chasserieau, C. 2009 .....	9
Figure 12 : frayère d'Ombre et ses caractéristiques observée sur le Nant de Sion en Mars 2012 .....	10
Figure 13 : cycle de vie de l'Ombre commun dans l'aire d'étude et période étudiée .....	13
Figure 14 : étapes du protocole de marquage, (...) : étape facultative, .../... : étapes simultanées .....	14
Figure 15 : radio transmetteur implanté sur le dos d'un Ombre .....	15
Figure 16 : principe de lecture des écailles d'Ombres .....	16
Figure 17 : carte de localisation des stations thermiques et hydrologiques .....	17
Figure 18 : graphique théorique du signal en angulation .....	19
Figure 19 : graphique théorique du signal en homing-in (antenne orientée à 180° par rapport à l'émetteur) .....	19
Figure 20 : méthodes de localisation (fixe et mobiles) mises en œuvre lors de l'étude .....	20
Figure 21 : matériel employé en prospection mobile à pied .....	21
Figure 22 : matériel employé en prospection mobile en kayak .....	21
Figure 23 : rattachement des localisations GPS au réseau hydrographique .....	23
Figure 24 : débit et température moyenne hebdomadaire de l'Arve pendant la période d'étude .....	28
Figure 25 : débit et température moyenne hebdomadaire de la Menoge pendant la période d'étude .....	28
Figure 26 : localisation des marquages d'Ombres en 2011 .....	29
Figure 27 : localisation des marquages d'Ombres en 2012 .....	29
Figure 28 : évolution du taux de détection, du nombre de poissons détectés et perdus en fonction du temps .....	30
Figure 29 : sex-ratio des Ombres marqués en 2011 et 2012 .....	31
Figure 30 : histogramme des fréquences de taille (Lt) .....	32
Figure 31 : histogramme des fréquences de poids (Pt) .....	32
Figure 32 : histogramme des fréquences des coefficients de condition (K) .....	32
Figure 33 : histogramme des fréquences de coefficient de condition par sexe .....	32
Figure 34 : représentation boxplot des âges .....	33
Figure 35 : histogramme des fréquences d'âge .....	33
Figure 36 : courbe taille-âge des individus marqués .....	33
Figure 37 : histogramme et scattergram des fréquences de précision .....	35
Figure 38 : courbes de déplacements des Ombres marqués en 2011 .....	36
Figure 39 : courbes des déplacements des Ombres marqués en 2012 sur le secteur amont .....	36
Figure 40 : courbes des déplacements des Ombres marqués en 2012 sur le secteur aval .....	37
Figure 41 : scattergram des vitesses de déplacement d'avalaison (négatives) et de montaison (positives) .....	37
Figure 42 : domaines vitaux calculs sur 44 individus .....	38
Figure 43 : carte des corrélations et anti-corrélations domaine vitaux/biométrie .....	39
Figure 44 : carte des localisations et tronçons hydromorphologiques .....	39
Figure 45 : photos aériennes des segments préférés et évités .....	40
Figure 46 : carte des corrélations et anti-corrélations déplacements/hydrologie/thermie sur la Menoge .....	41
Figure 47 : carte des corrélations et anti-corrélations déplacements/hydrologie/thermie sur l'Arve .....	42

# ANNEXES

## Annexe 1

### Affiche d'information auprès des pêcheurs mise en place chez les détaillants d'articles de pêche

**ETUDE DES POPULATIONS D'OMBRE COMMUN (*Thymallus thymallus*) DU BASSIN DE L'ARVE**



**Amis pêcheurs,**

Une étude sur les populations d'ombre commun du bassin de l'Arve est en cours. Pour l'année 2012, des géniteurs (50 individus au maximum) seront équipés d'émetteurs (PHOTO 1) après la reproduction sur la Menoge, le Foron de Fillinges et le Nant de Sion (CARTE 1: linéaire vert).

Des pêches électriques de sondage seront régulièrement réalisées sur la Menoge et le Foron de Fillinges de mi-mars à fin avril.

Les déplacements de poissons seront ensuite suivis chaque semaine par radio-télémetrie (PHOTO 2) jusqu'au mois de septembre 2012 (CARTE 1 : aire jaune).

**PHOTO 1 : poisson équipé d'un émetteur**



**PHOTO 2 : Equipement de radio-télémetrie pour la recherche des poissons équipés d'un émetteur**



**Antenne**

**recepteur**

**CARTE 1 : secteur concerné par l'étude**



**Ce travail a pour objectif d'acquérir des connaissances sur cette espèce afin d'améliorer sa gestion**

**Nous sollicitons votre contribution :**

Concernant les individus équipés d'un émetteur :

- merci de les relâcher vivants,
- dans la cas où vous trouvez un poisson mort, merci de nous faire parvenir l'émetteur.

(CONTACT : 04 50 46 87 55, secrétariat de la fédération de pêche de Haute-Savoie)

**Merci de votre collaboration et de votre compréhension**

**Rappel de la réglementation sur la pêche de l'ombre commun en Haute-Savoie :**

- Taille légale de capture : 30 cm,
- Sa pêche est interdite dans tout le département à l'exception des cours d'eau et plans d'eau du domaine public (sauf le Lac Léman) et des ruisseaux frontaliers avec la Suisse.

Partenaires techniques et financiers :



## Annexe 2

## Recensement des opérations de repeuplement en Ombres menées sur le site d'étude

Année	Cours d'eau	Limite amont	Limite aval	AAPPMA	Quantité	Stade	Origine (Dép.)	Source
1973	Giffre	Marignier	Marignier	Faucigny	5000	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1973	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	3250	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1973	Giffre	Taninges	Taninges	Faucigny	3250	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1973	Nant de Sion	Inc.	Inc.	Faucigny	1500	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1978	Arve	Conf. Arve-Brachouet, la Roche sur Foron		Faucigny	6500	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1979	Arve	Conf. Arve-Foron, la Roche sur Foron		Faucigny	5000	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1979	Giffre	Amont du pont de Morillon	Aval du pont de Morillon	Faucigny	5000	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1982	Arve	Conf. Arve-Foron, la Roche sur Foron		Faucigny	2000	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1982	Giffre	Amont du pont de Morillon	Aval du pont de Morillon	Faucigny	2000	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1983	Arve	Conf Foron et Nant de Sion	Conf Foron et Nant de Sion	Faucigny	3500	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1983	Giffre	Samoëns, plaine de Vallon	Samoëns, plaine de Vallon	Faucigny	3500	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1984	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	153	10-14 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1984	Clesson	Samoëns	Samoëns	Faucigny	3700	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1984	Nant de Sion	Inc.	Inc.	Faucigny	4000	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1985	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	1400	8-10 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1985	Arve	La Roche sur Foron	La Roche sur Foron	Faucigny	500	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1985	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	6000	Inc.	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1985	Nant de Sion	Puy de Dôme	Puy de Dôme	Faucigny	6500	Inc	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1986	Arve	Cluses	La Roche sur Foron	Faucigny	17000	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1986	Giffre	Taninges	Marignier	Faucigny	11500	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1987	Arve	Conf Foron de la Roche	Conf Foron de la Roche	Faucigny	3000	Inc	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1987	Arve	Conf Arve-Borne	Conf Arve-Borne	Faucigny	3000	Inc	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1987	Giffre	Mieussy, "sous maillet"	Mieussy, "sous maillet"	Faucigny	3000	Inc	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1987	Giffre	Morillon	Morillon	Faucigny	3000	Inc	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1989	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	1000	8-10 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1990	Arve	Arenthon	Arenthon	Faucigny	1000	10-15 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1990	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	1000	10-15 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1991	Arve	Arenthon	Arenthon	Faucigny	1000	10-15 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1991	Giffre	Taninges	Taninges	Faucigny	1000	10-15 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1992	Giffre	Samoëns	Morillon	Faucigny	1000	8-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1993	Giffre	Samoëns	Morillon	Faucigny	2000	8-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA

1997	Arve	Aval de Bonneville	Aval de Bonneville	Faucigny	3000	12-14 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1997	Giffre	Samoëns	Samoëns	Faucigny	2000	12-14 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1999	Giffre	Samoëns, Seuil des Vernets	Samoëns, Seuil des Vernets	Faucigny	1500	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1999	Giffre	Morillon, Drague Lanovaz	Morillon, Drague Lanovaz	Faucigny	1000	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1999	Giffre	La Rivière Enverse, Drague Montessuit		Faucigny	500	10-12 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1999	Arve	Bonneville, pont de l'Europe		Faucigny	50	16-18 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
1999	Arve	Marignier, "Chez Millet"	Marignier, "Chez Millet"	Faucigny	50	16-18 cm	Chazey-Bons (dép. 01)	AAPPMA
2001	Menoge	Conf. Arve-Menoge		Chablais-Genevois	350	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2001	Foron de Reigner	Conf. Arve-Foron de Reigner		Chablais-Genevois	200	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2001	Moiron	Conf. Arve-Moiron		Chablais-Genevois	50	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2001	Viaison	Conf. Arve-Viaison		Chablais-Genevois	200	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2001	Arve	Amont du pont neuf		Chablais-Genevois	600	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2001	Foron de Gaillard	Conf. Arve-Foron de Gaillard		Chablais-Genevois	200	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2002	Menoge	Conf. Arve-Menoge		Chablais-Genevois	300	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2002	Foron de Reigner	Conf. Arve-Foron de Reigner		Chablais-Genevois	200	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2002	Arve	Amont du pont neuf		Chablais-Genevois	1000	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2003	Menoge	Conf. Arve-Menoge		Chablais-Genevois	300	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2003	Foron de Reigner	Conf. Arve-Foron de Reigner		Chablais-Genevois	200	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2004	Arve	Amont du pont neuf		Chablais-Genevois	2000	Stade 3	La Puya (dép. 74)	AAPPMA
2005	Arve	Amont du pont neuf		Chablais-Genevois	500	Stade 3	La Puya (dép. 74)	AAPPMA
2006	Arve	Amont du pont neuf		Chablais-Genevois	1500	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2007	Arve	Amont du pont neuf		Chablais-Genevois	500	Stade 3	Augerolles (dép. 63)	AAPPMA
2007	Giffre	Pont de Boche	Pont du diable	Faucigny	400	15-25 cm	Augerolles (dép. 63)	Bd Repeuplement
2007	Giffre	Pont du Giffre	Conf. Giffre-Arve	Faucigny	450	15-25 cm	Augerolles (dép. 63)	Bd Repeuplement
2009	Giffre	Ecole du giffre	Vieux pont Marignier	Faucigny	800	15-25 cm	Augerolles (dép. 63)	Bd Repeuplement
2009	Giffre	Pont de Boche	Pont du diable	Faucigny	100	15-25 cm	Augerolles (dép. 63)	Bd Repeuplement

## Annexe 3

## Modèle de fiche de terrain employé lors des marquages et des prospections

Fiche de marquage

Date	Cours d'eau	Numéro émetteur	Coord X	Coord Y	Précision (m)	LT (mm)	LF (mm)	Poids (g)	Sexe	Opérateur marquage	Observations
		-									
		-									
		-									

Fiche de prospection

Date prospection : Opérateurs pistage : Secteur prospecté :						Système de coordonnées (GPS) : <input type="checkbox"/> Lambert II étendu <input type="checkbox"/> WGS84 hddd°mm.mmm' <input type="checkbox"/> SWISS1			Mode de prospection : <input type="checkbox"/> à pied <input type="checkbox"/> en kayak <input type="checkbox"/> en voiture	
numéro émetteurs	coord X / latitude	coord Y / longitude	précision (m)	cours d'eau	faciès	RD, RG, C	localisation particulière, observations	loc° (/5)	N° photo(s)	
1	-									
2	-									
3	-									
4	-									
5	-									
6	-									
7	-									
8	-									
9	-									
10	-									
11	-									
12	-									
13	-									
14	-									

**Liste des faciès d'écoulement (Malavoi, 2002) :**

	Prof	Vitesse
Chenal lentique	+ de 60 cm	- de 30 cm/s
Fosse de dissipation	+ de 60 cm	- de 30 cm/s
Mouille de concavité	+ de 60 cm	- de 30 cm/s
Fosse d'affouillement	+ de 60 cm	- de 30 cm/s
Chenal lotique	+ de 60 cm	+ de 30 cm/s
Plant lentique	- de 60 cm	- de 30 cm/s
Plant courant	- de 60 cm	+ de 30 cm/s
Radier	- de 60 cm	+ de 30 cm/s
Rapide	- de 60 cm	+ de 30 cm/s
Cascade	- de 60 cm	+ de 30 cm/s
Chute	- de 60 cm	+ de 30 cm/s

V moy globale = \_\_\_\_\_ km/h

V moy déplacements = \_\_\_\_\_ km/h

V max = \_\_\_\_\_ km/h

Conductivité = \_\_\_\_\_ µS/cm

**P n° = \_\_\_\_\_**

**Page \_\_\_\_ / \_\_\_\_**



## Annexe 4

### Données de détection/non détection obtenues lors des prospections de 2012

	Marquage	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49	P50	P51	P52	P53	P54
48-010																		
48-030																		
48-051																		
48-090																		
48-110																		
48-121																		
48-130																		
48-170																		
48-201																		
48-210																		
48-240																		
48-250																		
48-270																		
48-280																		
48-341																		
48-350																		
48-361																		
48-501																		
48-610																		
48-670																		
48-691																		
48-723																		
48-753																		
48-763																		
48-774																		
48-793																		
48-814																		
48-824																		
48-833																		
48-843																		
48-853																		
48-863																		
48-880																		
48-931																		
48-950																		
49-013																		
49-024																		
49-033																		
49-044																		
49-054																		
49-064																		
49-074																		
49-084																		

#### Légende

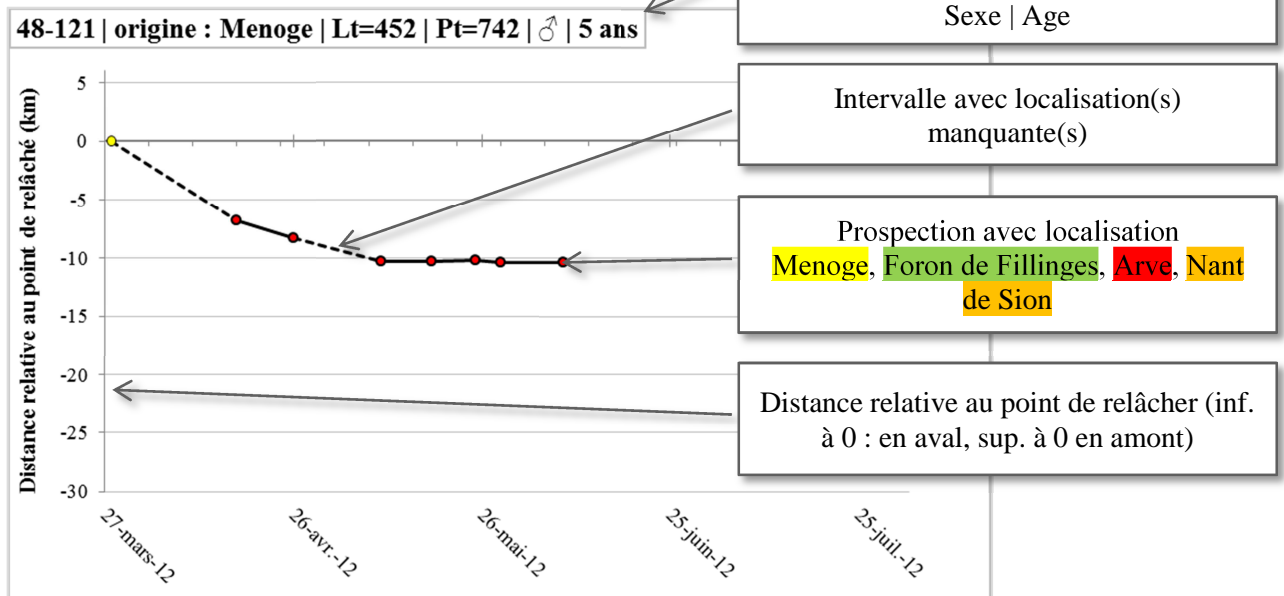
- poisson recherché et détecté
- poisson recherché mais non-détecté

## Annexe 5

### Graphiques individuels de déplacement et domaines vitaux

#### Légende commune

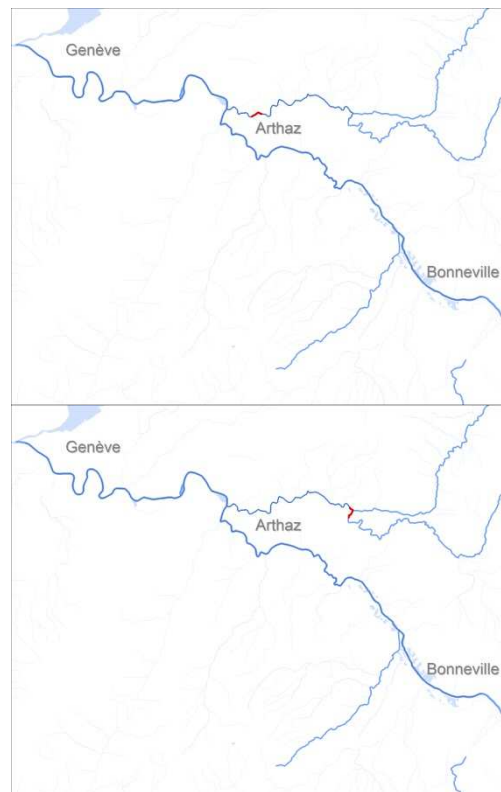
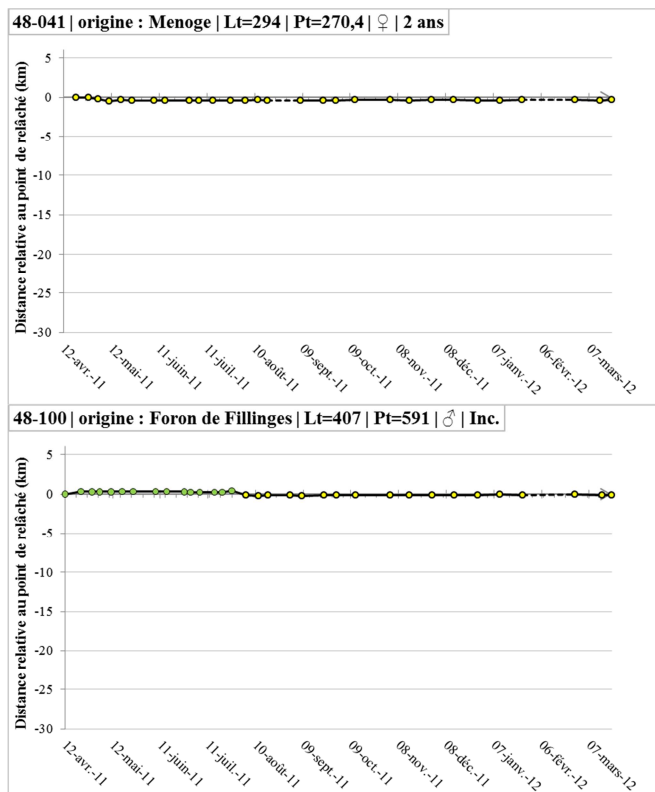
#### Graphiques individuels :

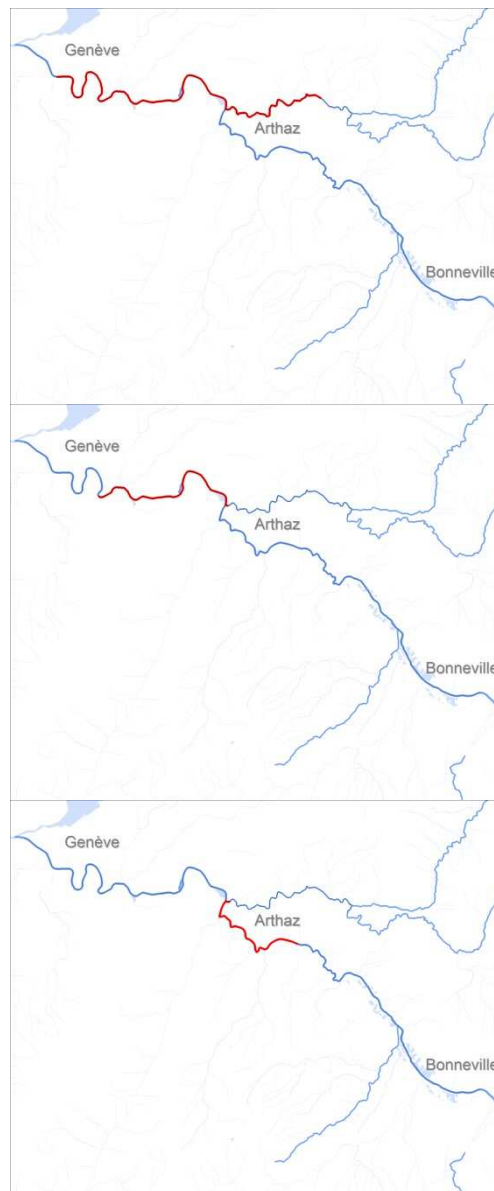
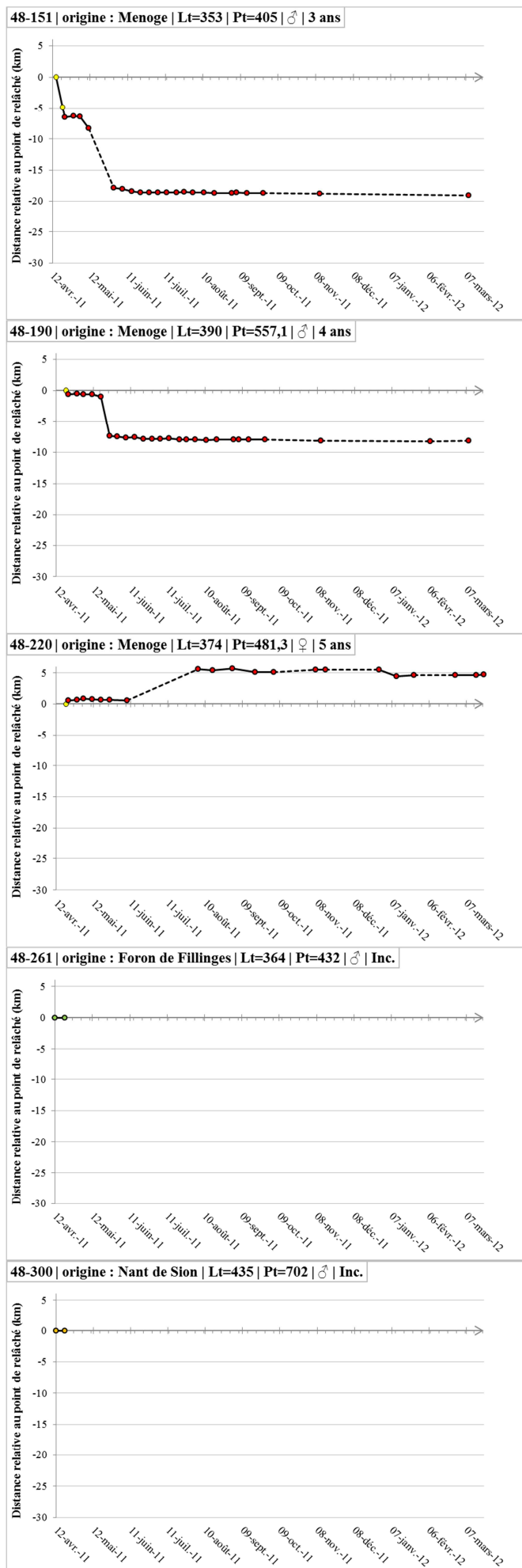


#### Domaines vitaux :

— Linéaire fréquenté.

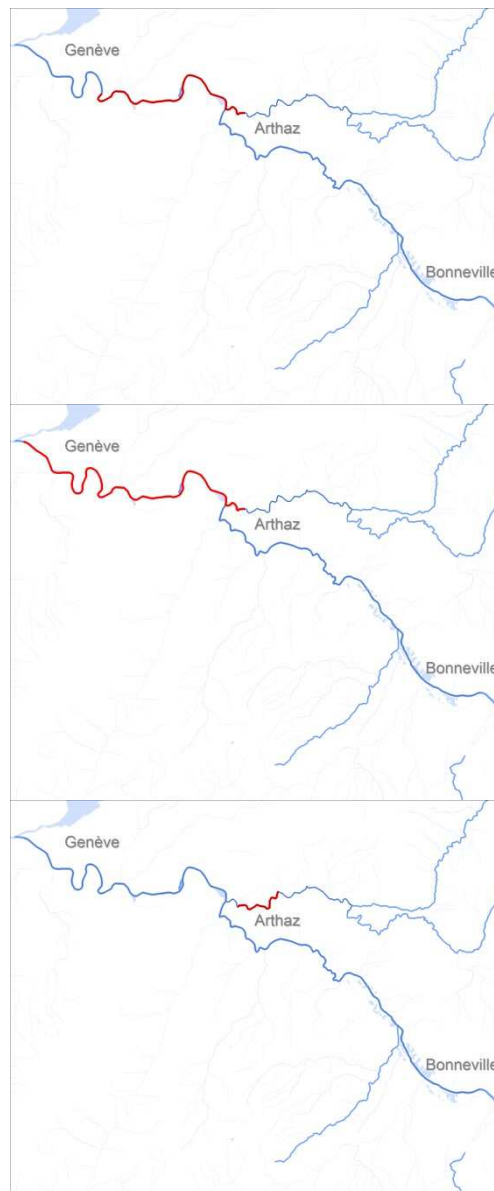
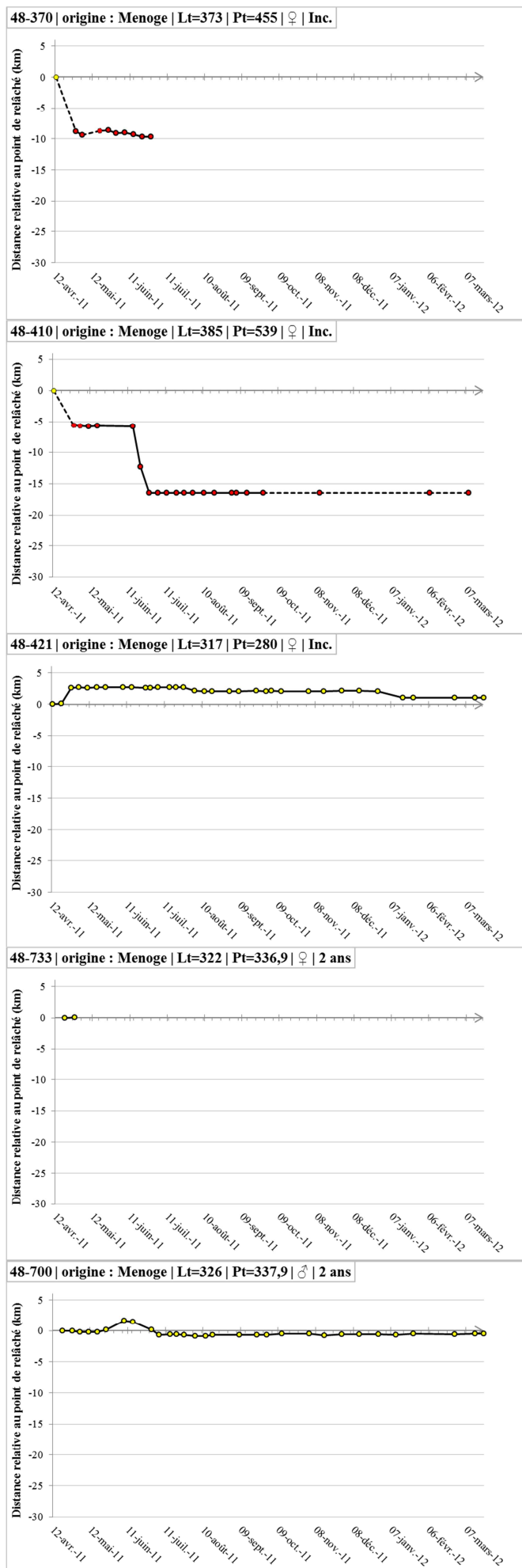
### Année 2011





*Non considéré*

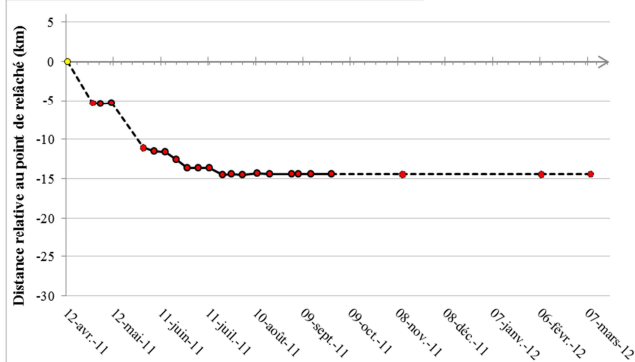
*Non considéré*



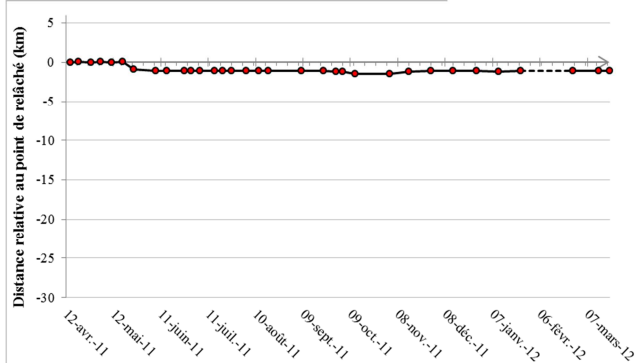
*Non considéré*



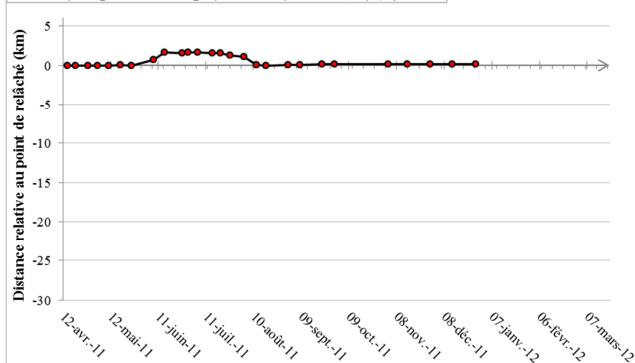
48-743 | origine : Menoge | Lt=435 | Pt=702 | ♂ | Inc.



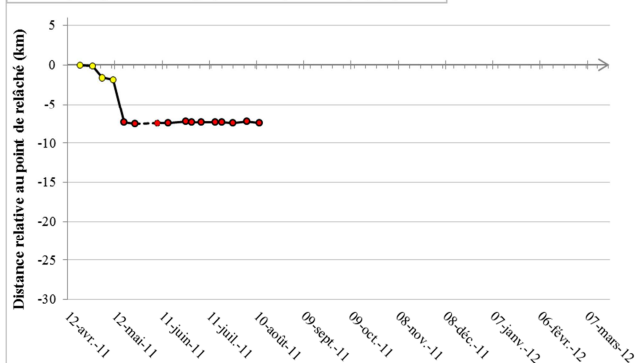
48-804 | origine : Menoge | Lt=365 | Pt=478,5 | ♀ | 3 ans



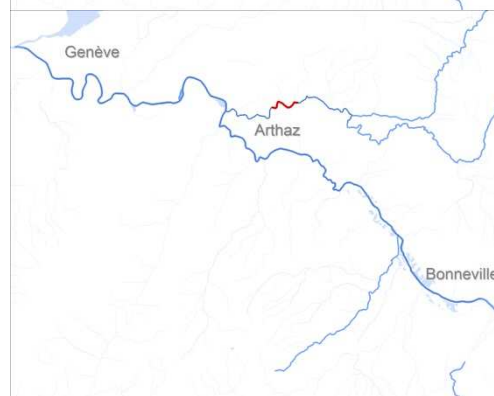
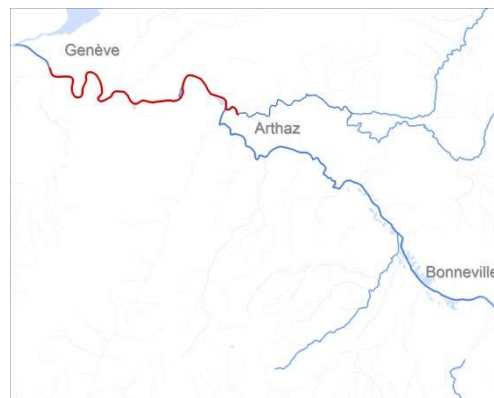
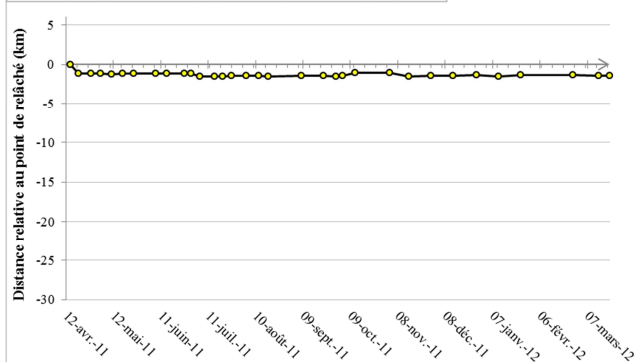
48-910 | origine : Menoge | Lt=391 | Pt=543,6 | ♀ | 4 ans



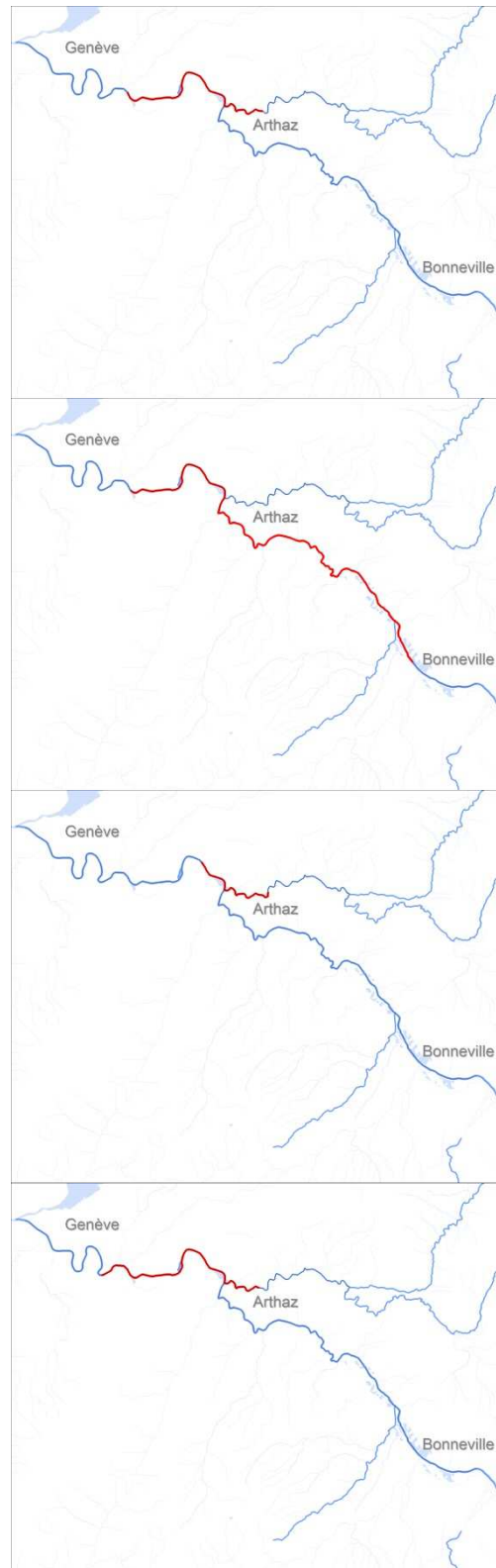
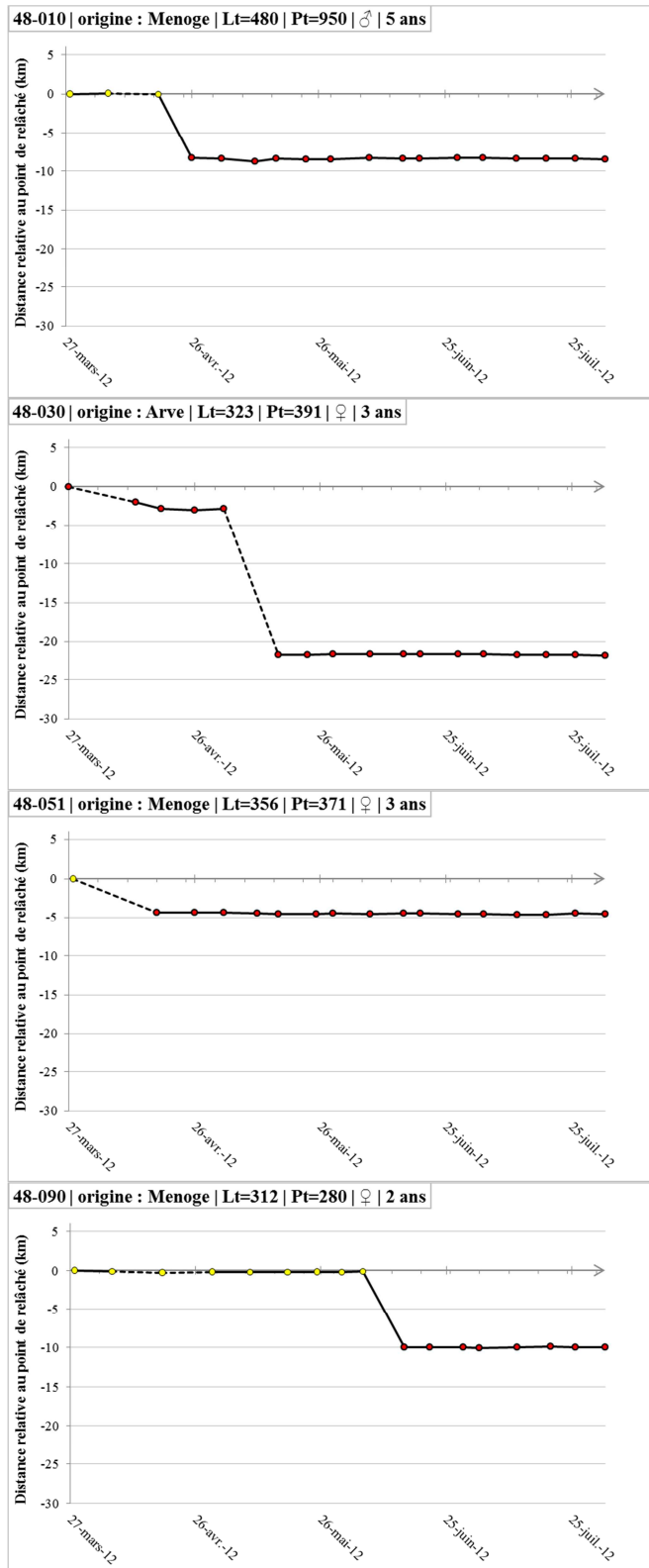
48-970 | origine : Menoge | Lt=375 | Pt=489,7 | ♂ | 4 ans



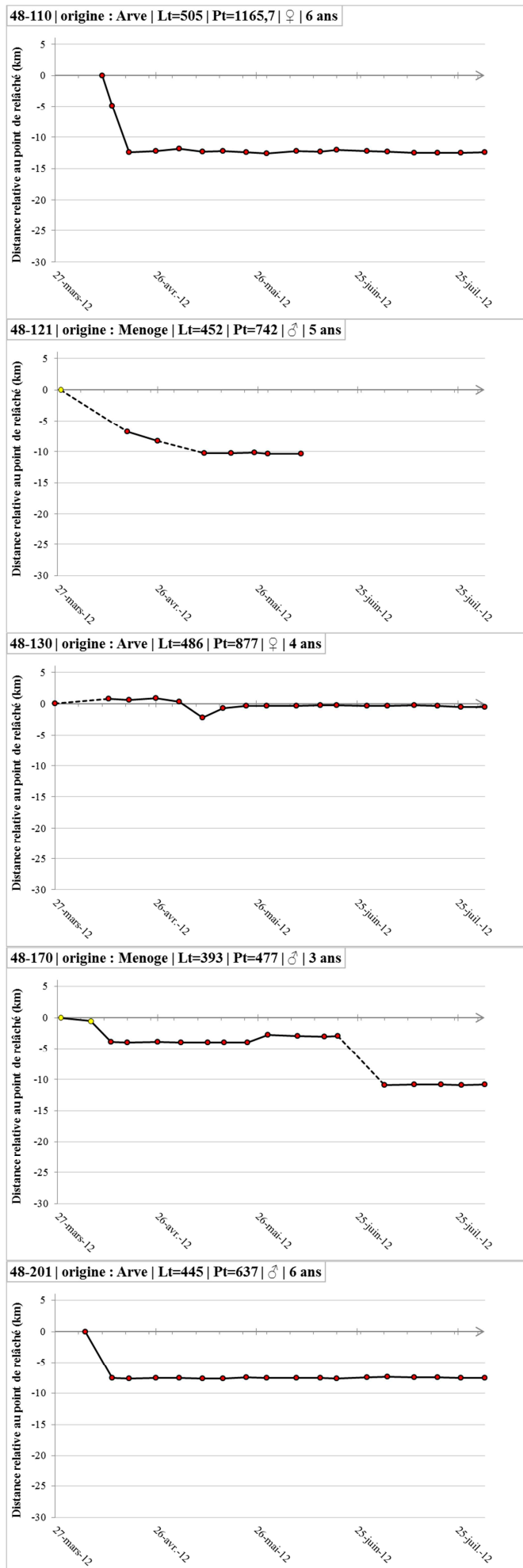
49-003 | origine : Menoge | Lt=319 | Pt=259,4 | ♂ | 3 ans



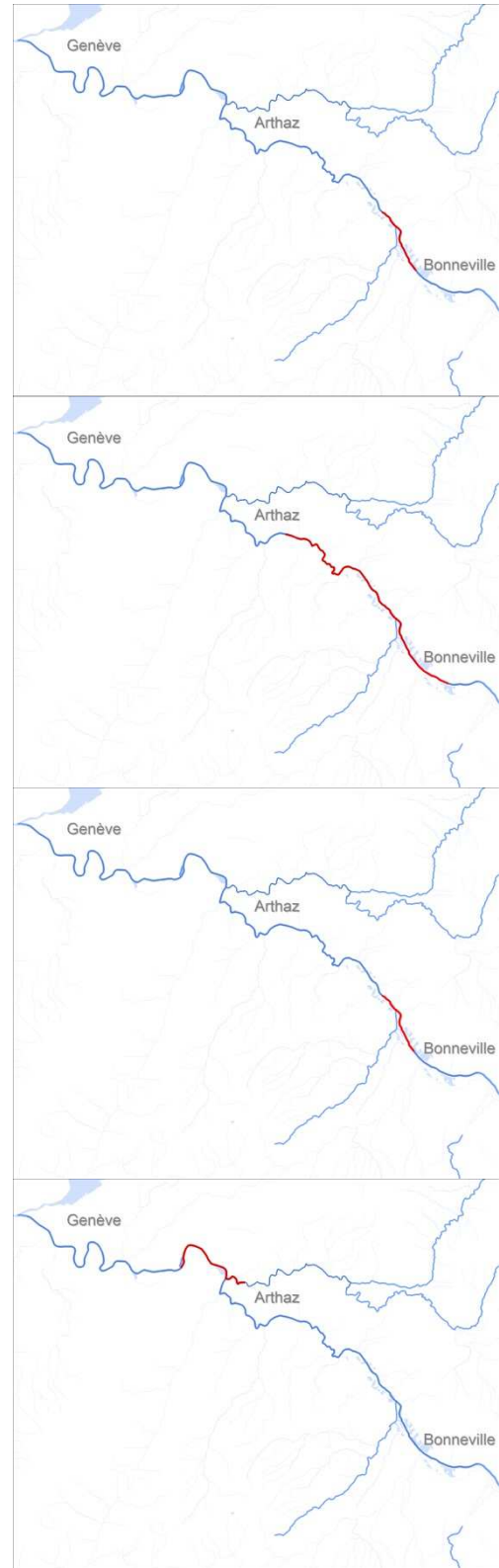
## Année 2012



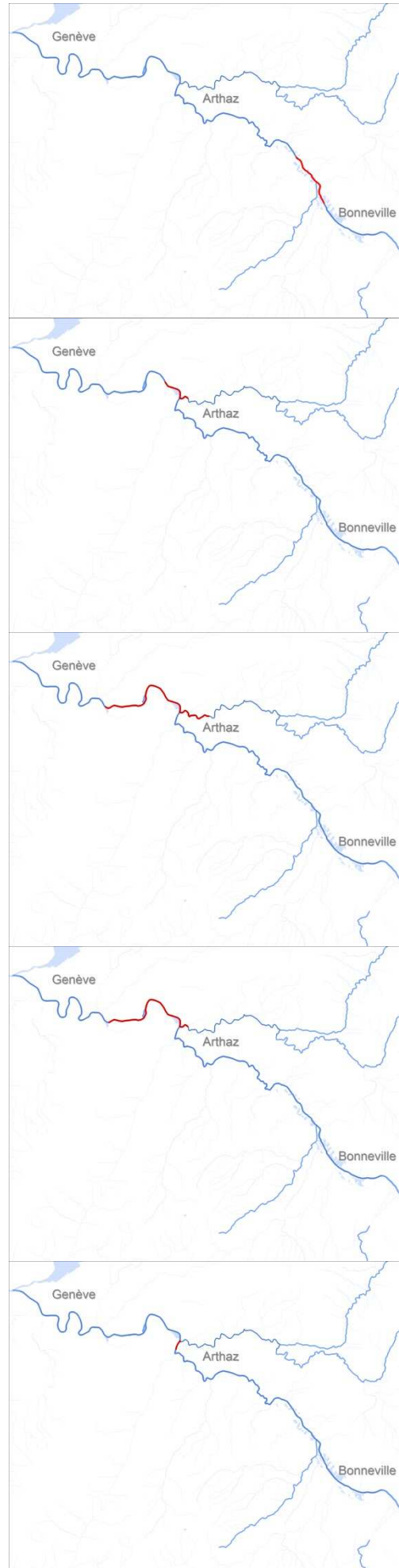


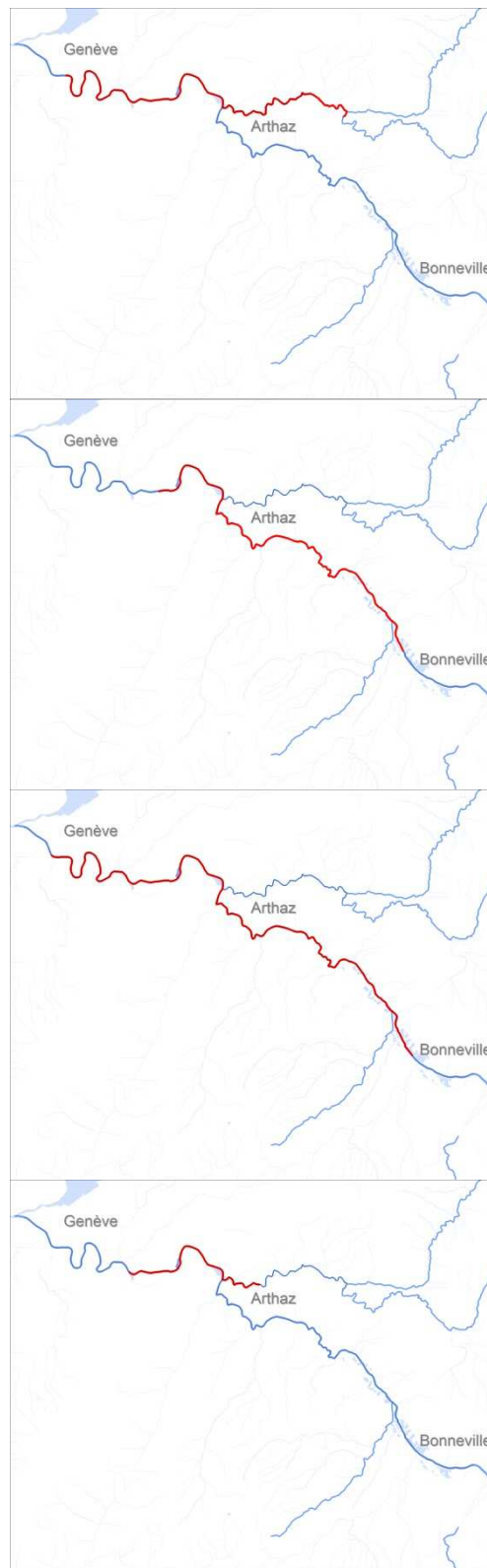
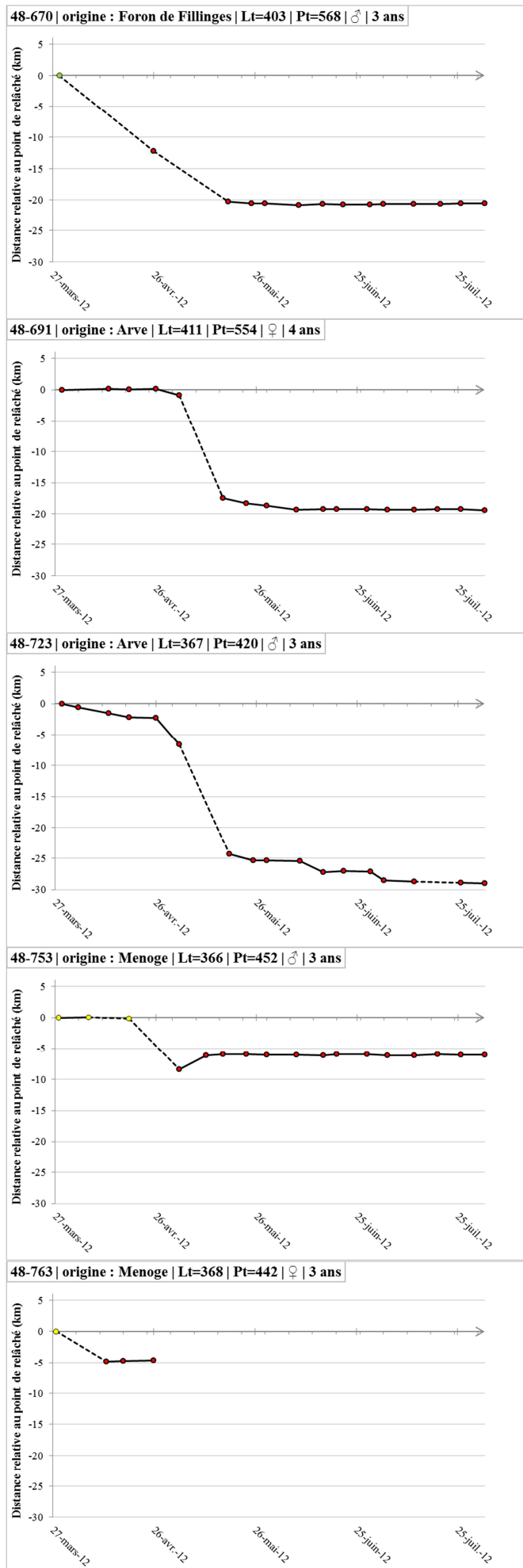




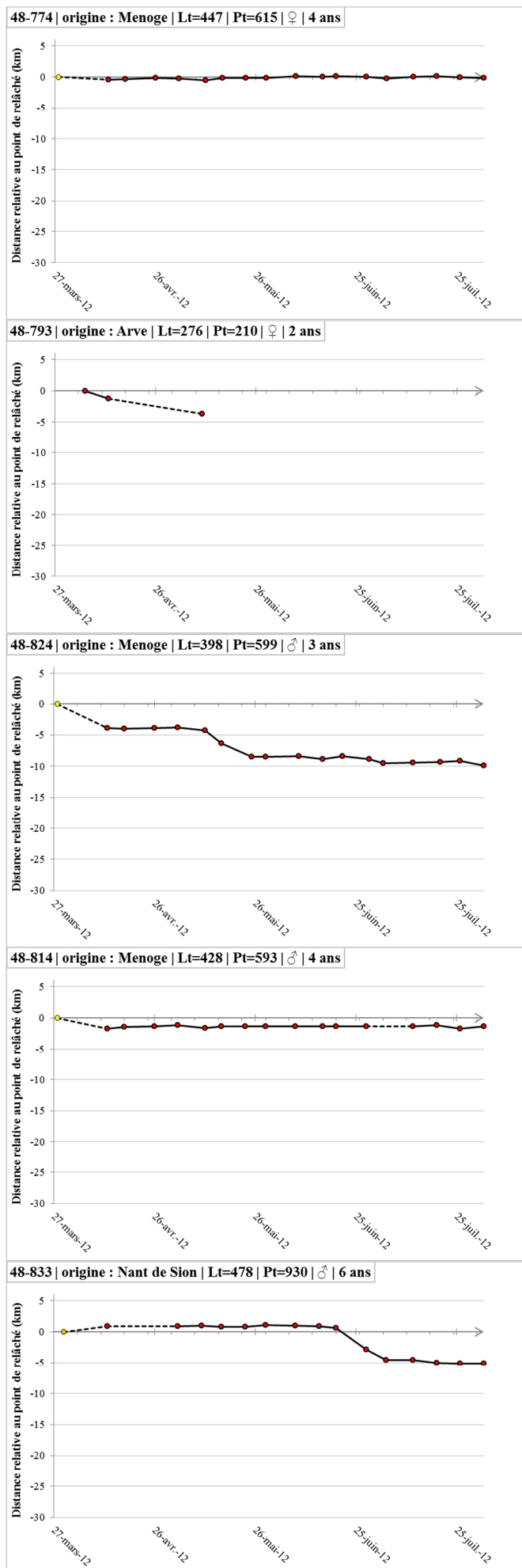


Page 63

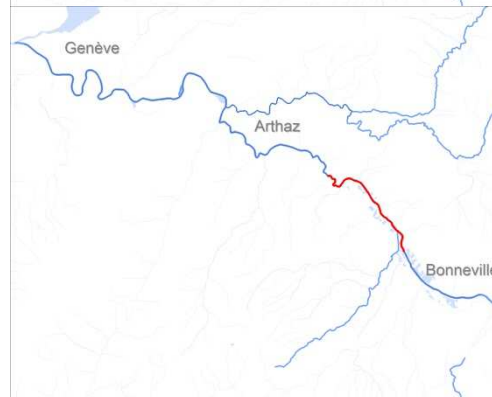


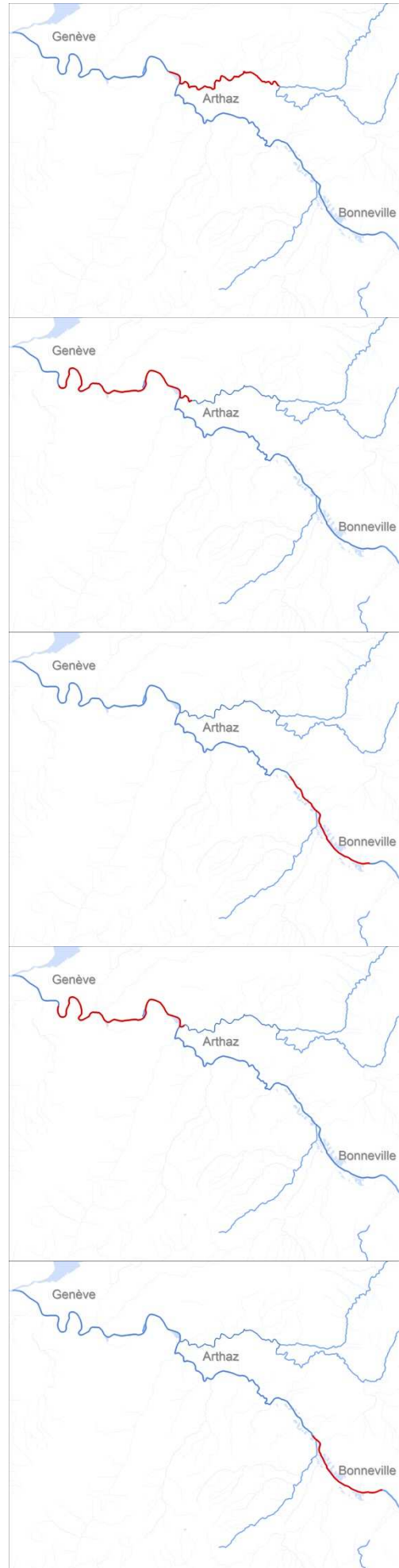


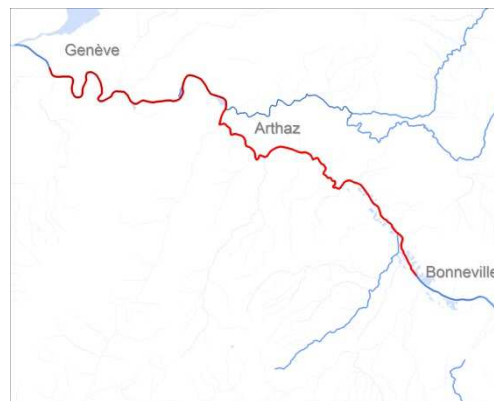
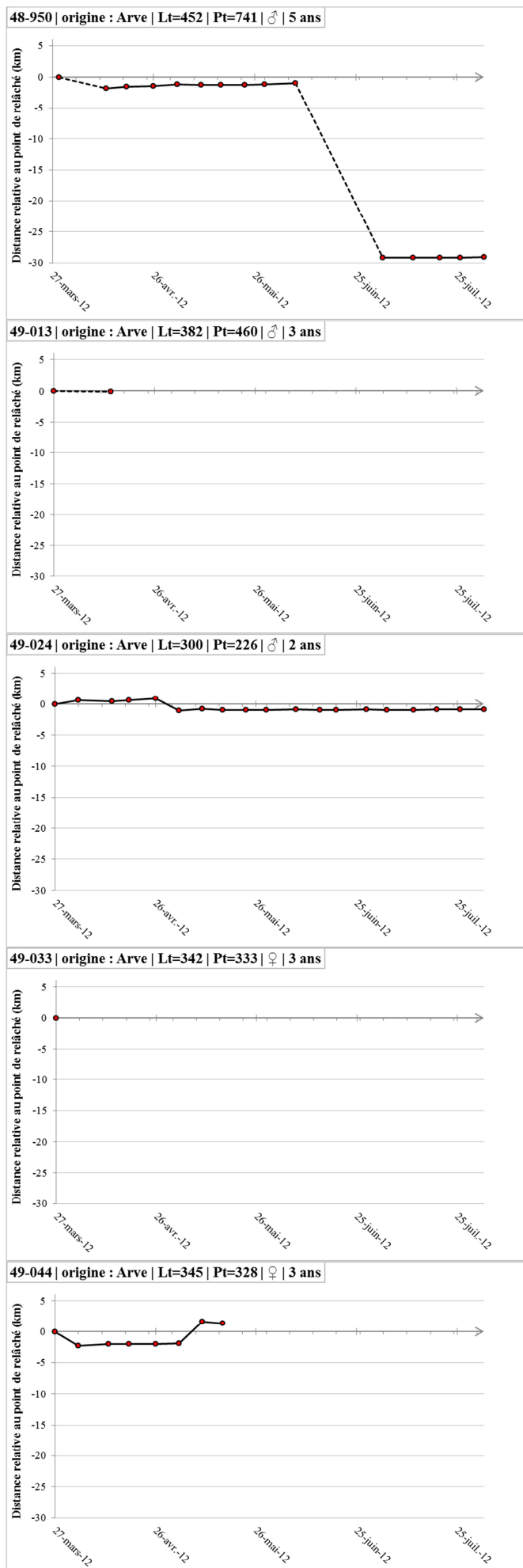
*Non considéré*



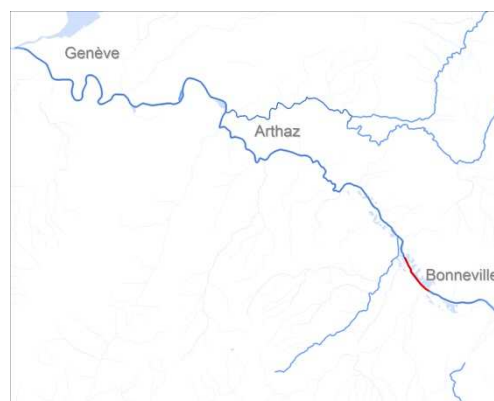
*Non considéré*



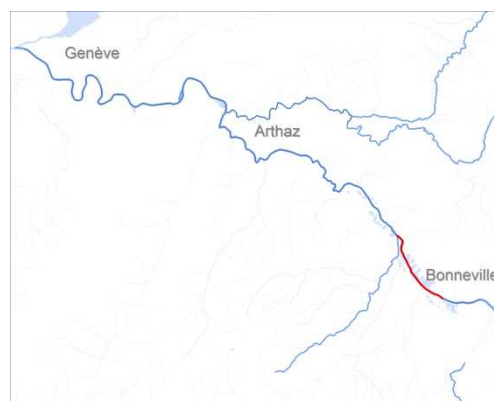




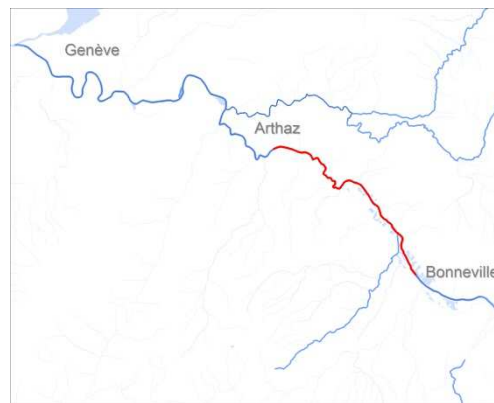
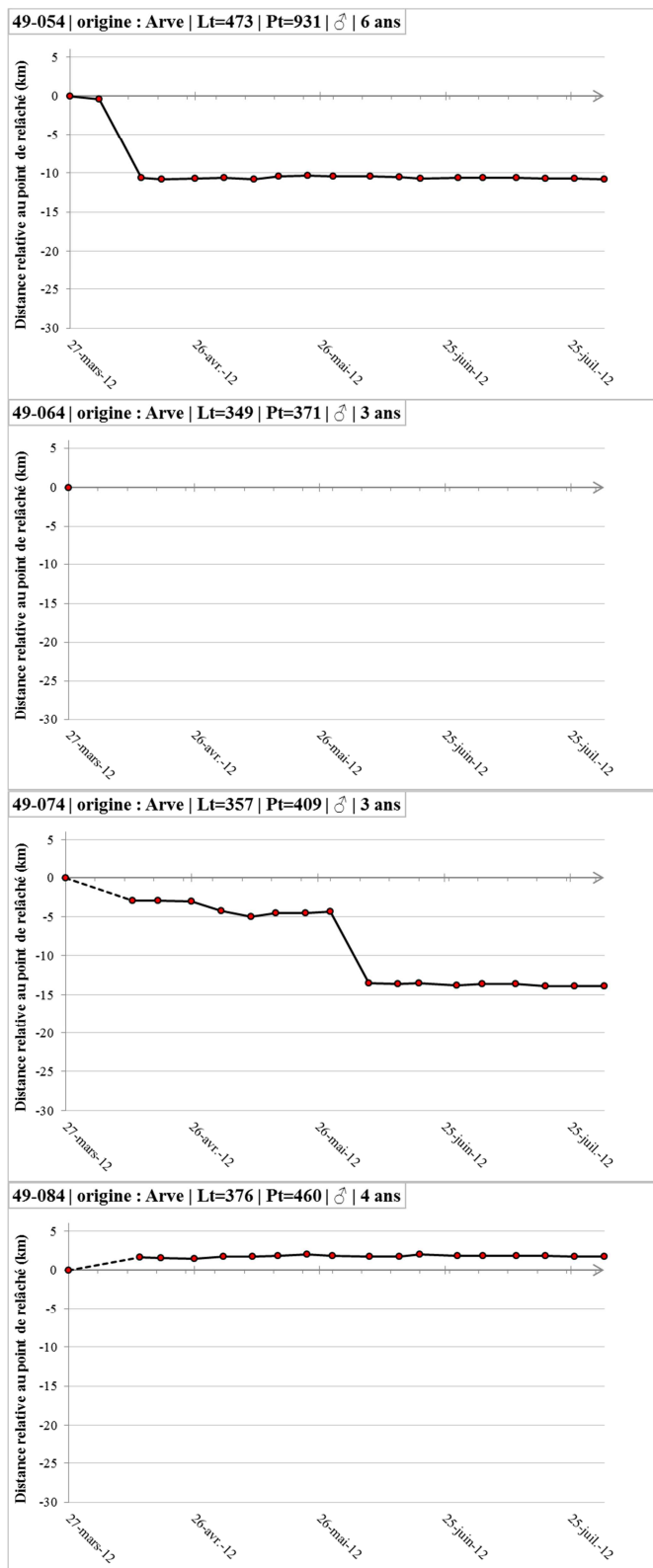
*Non considéré*



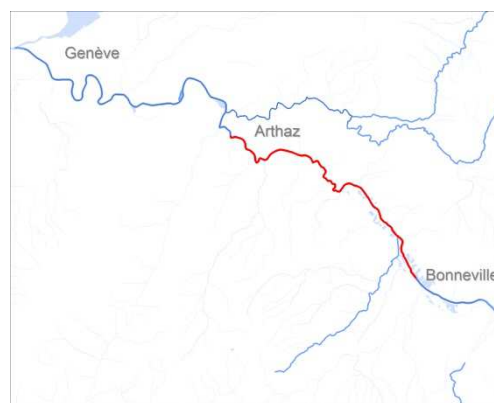
*Non considéré*







*Non considéré*



## Annexe 6

### Résultats complets des tests de corrélation de Spearman

#### *Déplacements sur la Menoge*

#### Statistiques descriptives

Variables	ni	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
<b>QMJ</b>	590	0,36	19,70	2,02	2,43
<b>QM 7j</b>	584	0,38	11,61	2,03	1,98
<b>Qmax 7j</b>	584	0,43	19,70	3,53	4,20
<b>Qmin 7j</b>	584	0,36	6,17	1,25	1,00
<b>Q RSD 7j</b>	584	0,02	1,74	0,30	0,26
<b>TMJ</b>	460	0,01	20,74	11,48	5,69
<b>TM 7j</b>	460	0,03	20,37	11,52	5,62
<b>Tmax 7j</b>	460	0,07	20,74	12,80	5,79
<b>Tmin 7j</b>	460	0,01	20,09	10,16	5,48
<b>T RSD 7j</b>	459	0,01	2,12	0,15	0,21
<b>Taux dép MONT signif (%)</b>	32	0%	100%	29%	35%
<b>Taux dép AVA signif (%)</b>	32	0%	50%	4%	11%
<b>Vmoy (m/j/ind) MONT signif</b>	32	0,00	313,25	22,59	64,91
<b>Vmoy (m/j/ind) AVA signif</b>	20	15,57	978,00	309,85	292,88
<b>Vmoy (m/j/ind) MONT tout</b>	32	0,00	157,30	15,88	33,08
<b>Vmoy (m/j/ind) AVA tout</b>	32	0,00	978,00	156,16	245,25



**Matrice de corrélation de Spearman**

Variables	QMJ	QM 7j	Qmax 7j	Qmin 7j	Q RSD 7j	TMJ	TM 7j	Tmax 7j	Tmin 7j	T RSD 7j	Taux dép MONT signif (%)	Taux dép AVA signif (%)	Vmoy (m/j/ind) MONT signif	Vmoy (m/j/ind) AVA signif	Vmoy (m/j/ind) MONT tout	Vmoy (m/j/ind) AVA tout
QMJ	<b>1</b>	<b>0,918</b>	<b>0,899</b>	<b>0,788</b>	<b>0,511</b>	<b>-0,500</b>	<b>-0,494</b>	<b>-0,475</b>	<b>-0,501</b>	<b>0,347</b>	0,264	-0,339	-0,346	0,176	<b>-0,570</b>	-0,018
QM 7j		<b>1</b>	<b>0,955</b>	<b>0,884</b>	<b>0,512</b>	<b>-0,458</b>	<b>-0,499</b>	<b>-0,474</b>	<b>-0,497</b>	<b>0,356</b>	0,212	<b>-0,424</b>	<b>-0,431</b>	0,244	<b>-0,567</b>	-0,018
Qmax 7j			<b>1</b>	<b>0,747</b>	<b>0,723</b>	<b>-0,373</b>	<b>-0,407</b>	<b>-0,370</b>	<b>-0,423</b>	<b>0,356</b>	0,152	<b>-0,412</b>	<b>-0,420</b>	0,229	<b>-0,555</b>	-0,071
Qmin 7j				<b>1</b>	<b>0,159</b>	<b>-0,500</b>	<b>-0,555</b>	<b>-0,556</b>	<b>-0,527</b>	<b>0,281</b>	0,263	<b>-0,382</b>	<b>-0,383</b>	0,239	<b>-0,535</b>	0,028
Q RSD 7j					<b>1</b>	0,033	0,032	0,083	-0,019	<b>0,200</b>	-0,190	-0,090	-0,121	-0,185	-0,060	-0,270
TMJ						<b>1</b>	<b>0,956</b>	<b>0,949</b>	<b>0,959</b>	<b>-0,687</b>	<b>-0,391</b>	0,220	0,202	<b>-0,498</b>	<b>0,377</b>	-0,255
TM 7j							<b>1</b>	<b>0,989</b>	<b>0,986</b>	<b>-0,701</b>	<b>-0,436</b>	0,274	0,275	<b>-0,527</b>	<b>0,472</b>	-0,296
Tmax 7j								<b>1</b>	<b>0,962</b>	<b>-0,621</b>	<b>-0,442</b>	0,304	0,308	<b>-0,537</b>	<b>0,488</b>	-0,329
Tmin 7j									<b>1</b>	<b>-0,780</b>	<b>-0,376</b>	0,197	0,198	-0,486	<b>0,400</b>	-0,240
T RSD 7j										<b>1</b>	-0,238	0,101	0,115	0,093	0,053	-0,243
Taux dép MONT signif (%)											<b>1</b>	-0,089	-0,120	<b>0,508</b>	-0,298	<b>0,884</b>
Taux dép AVA signif (%)												<b>1</b>	<b>0,989</b>	-0,116	<b>0,643</b>	0,050
Vmoy (m/j/ind) MONT signif													<b>1</b>	-0,116	<b>0,641</b>	0,034
Vmoy (m/j/ind) AVA signif														<b>1</b>	-0,286	<b>0,952</b>
Vmoy (m/j/ind) MONT tout															<b>1</b>	-0,105
Vmoy (m/j/ind) AVA tout																<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$*

**P-values**

Variables	QMJ	QM 7j	Qmax 7j	Qmin 7j	Q RSD 7j	TMJ	TM 7j	Tmax 7j	Tmin 7j	T RSD 7j	Taux dép MONT signif (%)	Taux dép AVA signif (%)	Vmoy (m/j/ind) MONT signif	Vmoy (m/j/ind) AVA signif	Vmoy (m/j/ind) MONT tout	Vmoy (m/j/ind) AVA tout
QMJ	<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,143	0,058	0,053	0,454	<b>0,001</b>	0,924
QM 7j		<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,243	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>	0,298	<b>0,001</b>	0,921
Qmax 7j			<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,404	<b>0,020</b>	<b>0,017</b>	0,328	<b>0,001</b>	0,698
Qmin 7j				<b>0</b>	<b>0,000</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,145	<b>0,032</b>	<b>0,031</b>	0,307	<b>0,002</b>	0,878
Q RSD 7j					<b>0</b>	0,483	0,497	0,075	0,677	<b>&lt; 0,0001</b>	0,297	0,624	0,509	0,433	0,743	0,135
TMJ						<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,033</b>	0,241	0,282	<b>0,037</b>	<b>0,041</b>	0,174
TM 7j							<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,021</b>	0,158	0,156	<b>0,032</b>	<b>0,012</b>	0,126
Tmax 7j								<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,019</b>	0,115	0,111	<b>0,028</b>	<b>0,009</b>	0,088
Tmin 7j									<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,050</b>	0,312	0,311	0,050	<b>0,036</b>	0,217
T RSD 7j										<b>0</b>	0,221	0,607	0,557	0,719	0,787	0,212
Taux dép MONT signif (%)											<b>0</b>	0,626	0,510	<b>0,024</b>	0,098	<b>&lt; 0,0001</b>
Taux dép AVA signif (%)												<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,625	<b>0,000</b>	0,783
Vmoy (m/j/ind) MONT signif													<b>0</b>	0,625	<b>0,000</b>	0,851
Vmoy (m/j/ind) AVA signif														<b>0</b>	0,221	<b>&lt; 0,0001</b>
Vmoy (m/j/ind) MONT tout															<b>0</b>	0,565
Vmoy (m/j/ind) AVA tout																<b>0</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05*

## *Déplacements sur l'Arve*

### Statistiques descriptives

Variables	ni	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
<b>QMJ</b>	566	10,30	269,00	60,00	40,22
<b>QM 7j</b>	560	11,21	166,86	60,12	35,71
<b>Qmax 7j</b>	560	12,10	269,00	83,47	55,72
<b>Qmin 7j</b>	560	10,30	122,00	45,59	26,59
<b>Q RSD 7j</b>	560	0,02	1,16	0,21	0,16
<b>TMJ</b>	577	0,26	12,97	8,19	2,98
<b>TM 7j</b>	571	0,03	20,37	10,49	5,47
<b>Tmax 7j</b>	571	0,07	20,74	11,69	5,68
<b>Tmin 7j</b>	571	0,01	20,09	9,20	5,28
<b>T RSD 7j</b>	571	0,01	2,12	0,14	0,19
<b>Taux dép MONT signif (%)</b>	66	0%	50%	3%	8%
<b>Taux dép AVA signif (%)</b>	66	0%	100%	18%	26%
<b>Vmoy (m/j/ind) MONT signif</b>	66	0,00	368,64	31,41	77,59
<b>Vmoy (m/j/ind) AVA signif</b>	66	0,00	1699,50	266,51	362,91
<b>Vmoy (m/j/ind) MONT tout</b>	66	0,00	1090,10	136,33	224,18
<b>Vmoy (m/j/ind) AVA tout</b>	66	0,00	280,50	23,15	46,84

**Matrice de corrélation de Spearman**

Variables	QMJ	QM 7j	Qmax 7j	Qmin 7j	Q RSD 7j	TMJ	TM 7j	Tmax 7j	Tmin 7j	T RSD 7j	Taux dép MONT signif (%)	Taux dép AVA signif (%)	Vmoy (m/j/ind) MONT signif	Vmoy (m/j/ind) AVA signif	Vmoy (m/j/ind) MONT tout	Vmoy (m/j/ind) AVA tout
QMJ	<b>1</b>	<b>0,911</b>	<b>0,904</b>	<b>0,860</b>	<b>0,493</b>	<b>0,419</b>	<b>0,519</b>	<b>0,531</b>	<b>0,497</b>	<b>-0,226</b>	0,079	0,121	0,126	0,186	0,120	<b>0,252</b>
QM 7j		<b>1</b>	<b>0,965</b>	<b>0,951</b>	<b>0,487</b>	<b>0,432</b>	<b>0,543</b>	<b>0,557</b>	<b>0,528</b>	<b>-0,238</b>	0,049	0,080	0,100	0,237	0,135	<b>0,249</b>
Qmax 7j			<b>1</b>	<b>0,864</b>	<b>0,656</b>	<b>0,389</b>	<b>0,497</b>	<b>0,518</b>	<b>0,475</b>	<b>-0,161</b>	-0,055	0,028	-0,015	0,173	0,082	0,154
Qmin 7j				<b>1</b>	<b>0,288</b>	<b>0,506</b>	<b>0,604</b>	<b>0,610</b>	<b>0,600</b>	<b>-0,339</b>	0,068	0,036	0,117	0,180	0,100	<b>0,332</b>
Q RSD 7j					<b>1</b>	<b>0,092</b>	<b>0,124</b>	<b>0,161</b>	<b>0,088</b>	<b>0,172</b>	-0,242	-0,132	-0,247	-0,093	-0,121	<b>-0,250</b>
TMJ						<b>1</b>	<b>0,877</b>	<b>0,874</b>	<b>0,884</b>	<b>-0,606</b>	-0,187	-0,220	-0,218	-0,171	-0,138	-0,189
TM 7j							<b>1</b>	<b>0,992</b>	<b>0,990</b>	<b>-0,655</b>	<b>-0,287</b>	<b>-0,425</b>	<b>-0,306</b>	<b>-0,359</b>	<b>-0,344</b>	<b>-0,249</b>
Tmax 7j								<b>1</b>	<b>0,974</b>	<b>-0,584</b>	<b>-0,276</b>	<b>-0,415</b>	<b>-0,294</b>	<b>-0,357</b>	<b>-0,323</b>	<b>-0,277</b>
Tmin 7j									<b>1</b>	<b>-0,725</b>	<b>-0,309</b>	<b>-0,441</b>	<b>-0,328</b>	<b>-0,379</b>	<b>-0,357</b>	-0,227
T RSD 7j										<b>1</b>	0,111	0,210	0,129	0,234	0,234	-0,045
Taux dép MONT signif (%)											<b>1</b>	<b>0,338</b>	<b>0,985</b>	<b>0,388</b>	<b>0,349</b>	<b>0,660</b>
Taux dép AVA signif (%)												<b>1</b>	<b>0,339</b>	<b>0,850</b>	<b>0,894</b>	<b>0,303</b>
Vmoy (m/j/ind) MONT signif													<b>1</b>	<b>0,402</b>	<b>0,359</b>	<b>0,664</b>
Vmoy (m/j/ind) AVA signif														<b>1</b>	<b>0,894</b>	<b>0,390</b>
Vmoy (m/j/ind) MONT tout															<b>1</b>	<b>0,354</b>
Vmoy (m/j/ind) AVA tout																<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$*

**P-values**

Variables	QMJ	QM 7j	Qmax 7j	Qmin 7j	Q RSD 7j	TMJ	TM 7j	Tmax 7j	Tmin 7j	T RSD 7j	Taux dép MONT signif (%)	Taux dép AVA signif (%)	Vmoy (m/j/ind) MONT signif	Vmoy (m/j/ind) AVA signif	Vmoy (m/j/ind) MONT tout	Vmoy (m/j/ind) AVA tout
QMJ	<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,535	0,343	0,325	0,145	0,346	<b>0,047</b>
QM 7j		<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,701	0,531	0,433	0,062	0,289	<b>0,049</b>
Qmax 7j			<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	0,670	0,828	0,908	0,176	0,522	0,226
Qmin 7j				<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,598	0,780	0,362	0,157	0,435	<b>0,008</b>
Q RSD 7j					<b>0</b>	<b>0,030</b>	<b>0,003</b>	<b>0,000</b>	<b>0,037</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,057	0,303	0,052	0,469	0,343	<b>0,048</b>
TMJ						<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,136	0,078	0,081	0,172	0,273	0,131
TM 7j							<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,021</b>	<b>0,000</b>	<b>0,014</b>	<b>0,004</b>	<b>0,005</b>	<b>0,046</b>
Tmax 7j								<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,026</b>	<b>0,001</b>	<b>0,018</b>	<b>0,004</b>	<b>0,009</b>	<b>0,026</b>
Tmin 7j									<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,012</b>	<b>0,000</b>	<b>0,008</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	0,070
T RSD 7j										<b>0</b>	0,377	0,094	0,304	0,061	0,060	0,723
Taux dép MONT signif (%)											<b>0</b>	<b>0,006</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,004</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Taux dép AVA signif (%)												<b>0</b>	<b>0,006</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,014</b>
Vmoy (m/j/ind) MONT signif													<b>0</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Vmoy (m/j/ind) AVA signif														<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,001</b>
Vmoy (m/j/ind) MONT tout															<b>0</b>	<b>0,004</b>
Vmoy (m/j/ind) AVA tout																<b>0</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05*

## Annexe 7

### Liste des indicateurs d'hydromorphologie employés

	Description	Notation
<b>Bras</b>	Densité de bras latéraux	De 0 : aucun bras latéraux à 2 : nombreux bras latéraux connectés
<b>Larg/Prof</b>	Rapport largeur/profondeur	De 0 : segment très profond et étroit à 3 : segment très large et peu profond
<b>Anthropisation</b>	Indice d'anthropisation des berges (aménagements, rejets, ...)	De 0 : segment très peu anthropisé à 2 : segment très anthropisé
<b>Diversité</b>	Diversité des faciès d'écoulement	De 0 : segment homogène, un à deux faciès représentés à 4 : segment très diversifié, nombreux les faciès représentés

## Annexe 8

### Analyses statistiques puis graphiques des relations hydromorphologie / fréquentation des segments

#### Statistiques descriptives

Variable	ni	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Densité (nb localisation /km)	30	1,3	78,6	22,9	20,3
Indice d'Ivlev	29	-0,9	0,6	-0,1	0,5
Indice de Strauss	29	-0,7	0,7	0,0	0,3
Bras	29	1,0	3,0	1,4	0,7
Larg/Prof	29	1,0	4,0	2,2	1,0
Anthropisation	29	1,0	4,0	1,9	1,0
Div.Facies	29	1,0	5,0	2,9	1,4

#### Matrice de corrélation de Spearman

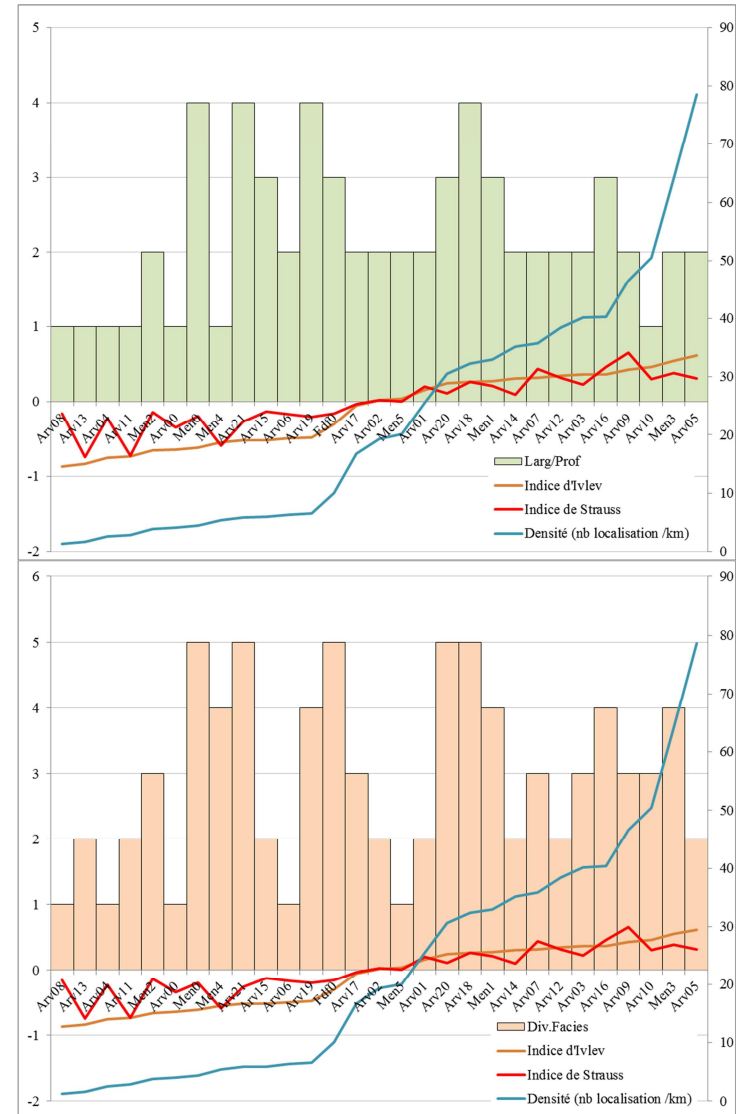
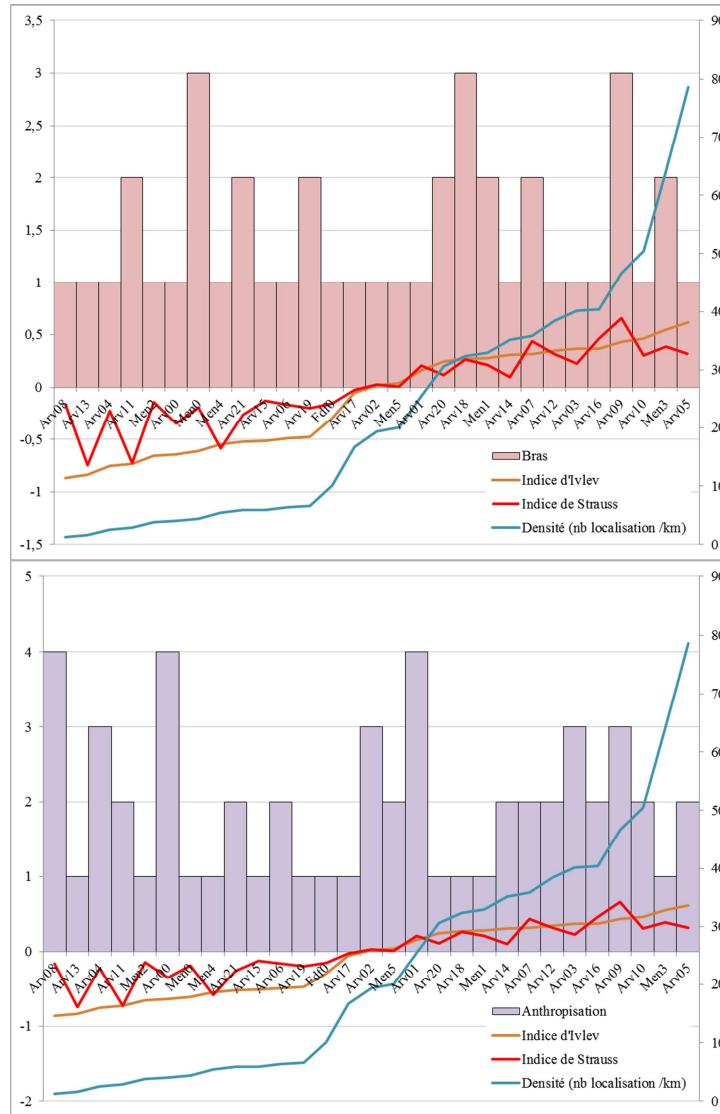
Variables	Densité (nb localisation /km)	Indice d'Ivlev	Indice de Strauss	Bras	Larg/Prof	Anthropisation	Div.Facies
Densité (nb localisation /km)	<b>1</b>	<b>1,000</b>	<b>0,910</b>	0,135	0,242	0,052	0,257
Indice d'Ivlev	<b>1,000</b>	<b>1</b>	<b>0,910</b>	0,135	0,242	0,052	0,257
Indice de Strauss	<b>0,910</b>	<b>0,910</b>	<b>1</b>	0,148	0,236	0,122	0,188
Bras	0,135	0,135	0,148	<b>1</b>	<b>0,495</b>	-0,299	<b>0,596</b>
Larg/Prof	0,242	0,242	0,236	<b>0,495</b>	<b>1</b>	<b>-0,460</b>	<b>0,672</b>
Anthropisation	0,052	0,052	0,122	-0,299	<b>-0,460</b>	<b>1</b>	<b>-0,621</b>
Div.Facies	0,257	0,257	0,188	<b>0,596</b>	<b>0,672</b>	<b>-0,621</b>	<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05*

#### P-values

Variables	Densité (nb localisation /km)	Indice d'Ivlev	Indice de Strauss	Bras	Larg/Prof	Anthropisation	Div.Facies
Densité (nb localisation /km)	<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,483	0,204	0,787	0,177
Indice d'Ivlev	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,483	0,204	0,787	0,177
Indice de Strauss	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0</b>	0,441	0,216	0,526	0,326
Bras	0,483	0,483	0,441	<b>0</b>	<b>0,007</b>	0,115	<b>0,001</b>
Larg/Prof	0,204	0,204	0,216	<b>0,007</b>	<b>0</b>	<b>0,013</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Anthropisation	0,787	0,787	0,526	0,115	<b>0,013</b>	<b>0</b>	<b>0,000</b>
Div.Facies	0,177	0,177	0,326	<b>0,001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,000</b>	<b>0</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05*





## ***Annexe 9***

---

### **Liste des pistes d'étude envisageables grâce au jeu de données récolté**

- Analyse des effets du marquage
  - o Nombre de jours post-marquage comparé à la dévalaison
  - o Nombre de jours post-marquage comparé au dernier mouvement de montaison
- Analyses des relations entre lieu de marquage et taille et orientation du domaine vital
- Analyse des centres d'activités (zones les plus occupées dans le domaine vital)
- Analyse des relations entre physico-chimie (notamment rejets) et fréquentation
- Comparaison des données de débit et température lors des mouvements de dévalaison et de montaison
- Prise en compte d'autres variables (photopériode, lune, ...)
- Comparaison des courbes de croissance entre Arve et Menoge par scalimétrie et rétro calcul
- Analyse plus fine de l'occupation des faciès d'écoulement (par saison, par mois, par cours d'eau, par âge, par sexe...)
- Analyse plus fine des relations hydromorphologie-occupation par la mesure de métriques sous SIG ou sur le terrain (section en travers sous MNT, vitesses d'écoulement, largeur, profondeur, ...)
- Prise en compte plus précise de la date d'arrêt de suivi (X jours après la dernière montaison significative), à voire en fonction de la bibliographie
- ...