FEVRIER 2021

Actions en faveur des poissons grands migrateurs du bassin Loire

LOGRAMI Loire Grands Migrateurs

Suivi de la migration du saumon sur l'Allier par radiopistage entre Vichy et les zones de frayères en 2019

MARCON Quentin, LEON Cédric, PAROUTY Timothé & BAISEZ Aurore

agence de l'eau Loire-Bretagne

La Région Auvergne-Rhône-Alpes

FÉDÉRATION NATIONALE PÊCHE

Association Loire Grands Migrateurs

Antenne Allier
8 rue de la Ronde
03500 Saint-Pourçain-sur-Sioule
logrami.allier@logrami.fr

Citation

Association LOGRAMI, 2021. SUIVI DE LA MIGRATION DU SAUMON SUR L'ALLIER PAR RADIOPISTAGE ENTRE VICHY ET LES ZONES DE FRAYÈRES EN 2019. Rapport d'étude, 211 p.

Résumé

La Loire est considérée comme le dernier grand fleuve sauvage d'Europe, son principal affluent, la rivière Allier, est l'axe majeur du bassin Loire accueillant une population de saumon atlantique. Malgré cela, de nombreux seuils jalonnent encore le parcours des poissons migrateurs. Des aménagements et arasements sont alors effectués pour améliorer la continuité écologique sur cet axe.

Afin de vérifier l'efficacité de ces dispositifs, les études de radiopistage permettent de comprendre le comportement des poissons et évaluer la franchissabilité des ouvrages.

Cette présente étude de radiopistage menée en 2019 est la troisième réalisée par LOGRAMI depuis les années 2000 sur la rivière Allier et la deuxième spécifiquement en amont de Vichy. Cette nouvelle étude permet de confronter les résultats à ceux obtenus en 2006 et 2009 et de mieux appréhender le comportement des poissons sur cet axe migratoire majeur. A travers les résultats, nous avons des données complémentaires sur la migration printanière, sur l'arrêt estival et la mortalité des poissons durant cette période, sur la migration automnale ainsi que sur la dévalaison après la reproduction.

Cette troisième étude sur cet axe a été effectuée de façon partenariale avec le marquage et une première zone d'étude suivie par SCIMABIO Interface. Cet organisme a marqué 24 saumons dans le but d'évaluer la franchissabilité du seuil de l'A89 pour répondre aux obligations de validation de l'aménagement par Vinci Autoroute. Lograrmi a alors suivi les poissons depuis l'aval du seuil de Pont du Château jusqu'aux frayères les plus amont.

En 2019, le suivi des saumons équipés d'émetteur radio a été effectué grâce à des enregistreurs installés sur 10 seuils et ouvrages. L'axe Alagnon, affluent de l'Allier, a été également été suivi par 2 enregistreurs afin de garantir le bornage de la zone d'étude. De plus, ces postes enregistreurs permettent d'obtenir des informations sur cet affluent géré de façon patrimonial depuis 2017 et sur lequel des saumons avaient été observés en migration génésique lors du suivi radiopistage de 2009. La Dore, affluent de l'Allier, a également été équipée d'un poste enregistreur dans l'éventualité d'un passage des saumons sur cet axe.

Cette étude a été effectuée dans des conditions environnementales particulières. En effet, Le début d'année 2019 est caractérisé par une **absence de crue hivernale et printanière**. Sur l'ensemble des stations hydrologiques du bassin, les débits moyens mensuels sont très inférieurs aux débits de référence. Ce déficit en pluviométrie en 2019 s'est poursuivi jusqu'en octobre et a, de fait, engendré l'apparition **d'un étiage précoce et des situations d'assec sur certains sous affluents.** Ainsi, le printemps 2019 (le plus sec enregistré depuis 1997) et un été très chaud ont rendu la migration difficile et réduit considérablement la survie estivale des saumons. De plus, la précocité de la canicule en 2019 a causé une grave mortalité estivale des géniteurs des saumons.

A contrario, l'automne 2019 a été pluvieux, facilitant la migration des saumons survivants.

Les trois années de suivis montrent généralement des migrations printanières plus rapides qu'à l'automne. Ainsi, les moyennes journalières printanières parcourues par les saumons oscillent entre 5 et 7 km. A l'automne, des vitesses de l'ordre de 2 à 3 km par jour sont plus souvent observées.

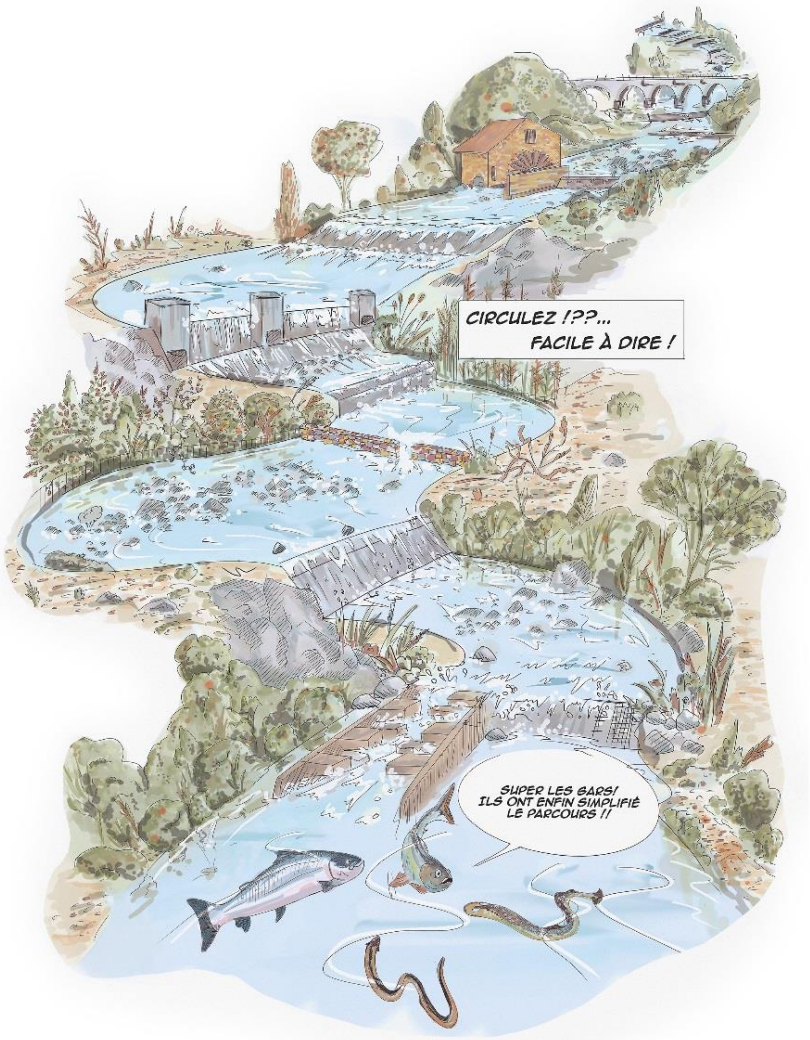
À la fin de l'été, seuls 9 saumons, soit 37,5 % des poissons marqués, ont pu entamer la migration automnale pour rejoindre les zones de frayères. Par extrapolation à la population, seulement 142 géniteurs se seraient reproduits en amont de Vichy dont 16 sur l'Alagnon contre plus d'une centaine en 2009.

Mots clés : saumon atlantique, géniteurs, migration, Allier, franchissabilité

Remerciements

Nous remercions :

- Les financeurs qui ont permis la mise en œuvre de cette étude complémentaire
- VINCI Autoroutes, SCIMABIO Interface et la Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques du Puys de Dôme pour le partage de données,
- Les propriétaires d'ouvrages qui ont consenti à la mise en place de stations fixes de réceptions,
- La Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques de l'Ardèche pour la recherche de 2 poissons marqués qui ont migré jusqu'à Langogne.



© LOGRAMI

Tables des illustrations

Figure 1 : Cartographie du secteur d'étude en 2019 15
Figure 2 : Cycle biologique du saumon atlantique 17
Figure 3 : Photo montrant les différences entre un tacon (en haut) et un smolt (en bas) 18
Figure 4 : Répartition des effectifs de saumon aux stations de comptage du bassin de la Loire en 2019 19
Figure 5 : Cours d'eau du bassin de la Loire colonisés par le saumon atlantique sur le bassin de la Loire en 2019 20
Figure 6 : Relation entre l'indice hydrologique (Saint-Yorre) pendant la période de dévalaison des smolts et les effectifs de géniteurs de retour à Vichy 21
Figure 7 : Le bassin versant de l'Allier et ses sectorisations 23
Figure 8 : Le bassin versant de l'Alagnon 25
Figure 9 : Le bassin versant de la Dore 27
Figure 10 : Franchissabilité des ouvrages sur l'Allier en 2005 (STEINBACH, 2005) et ouvrages étudiés en 2019 30
Figure 11 : Répartition moyenne des frayères de saumon atlantique sur les 5 secteurs de l'Allier sur 5 grandes périodes significatives (continuité migratoire et gestion) depuis 1938 31
Figure 12 : Répartition et franchissabilité des ouvrages sur l'Alagnon 34
Figure 13 : Période de piégeage réalisé en 2019 et sur la dynamique migratoire moyenne à Vichy sur l'Allier pour la période 1997 – 2018 35
Figure 14 : Piège mis en place à la sortie de la passe à poissons en rive droite du barrage de Vichy ... 36
Figure 15 : Mesure du maxillaire supérieur (à gauche) et introduction de l'émetteur (à droite) 37
Figure 16 : Émetteur ATS® 37
Figure 17 : Récepteur 2100 (à gauche) et récepteur-enregistreur 4500S (à droite) 38
Figure 18 : Les différentes antennes 39
Figure 19 : Localisations de saumons radiomarqués par biangulation dans le Haut-Allier 40
Figure 20 : Débits de l'Allier à Saint-Yorre en 2006, 2009 et 2019 42
Figure 21 : Débits de l'Allier à Prades en 2006, 2009 et 2019 43
Figure 22 : Débits de l'Alagnon à Lempdes sur Alagnon en 2006, 2009 et 2019 44
Figure 23 : Débits de la Dore à Dorat en 2006, 2009 et 2019 45
Figure 24 : Indices hydrologiques pendant la période de migration des saumons (janvier à juin) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE) 46
Figure 25 : Indices hydrologiques pendant l'arrêt estival des saumons (juillet à août) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE) 47
Figure 26 : Indices hydrologiques pendant la montaison automnales des saumons (septembre à décembre) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE) 47
Figure 27 : Indices hydrologiques pendant la dévalaison des ravalés (décembre année N à mars années N+1) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE) 48
Figure 28 : Localisation des sondes enregistreuses de la température de l'eau utilisées pour caractériser les conditions de migration des géniteurs radiopistés en 2019 sur le bassin de l'Allier en amont de Vichy 51
Figure 29 : Températures à Limons (Allier des plaines), Orbeil (Allier moyen) et Langeac (Haut-Allier) en 2019 (Sources LOGRAMI) 53
Figure 30 : Températures à Vichy en 2006, 2009 et 2019 54
Figure 31 : Températures à Vielle Brioude en 2006, 2009 et 2019 56
Figure 32 : Piégeage sur l'ensemble de la migration du saumon atlantique observé à Vichy en 2019 .. 57
Figure 33 : Comparaison du rythme migratoire et des captures des saumons marqués à Vichy (Données : SCIMABIO Interface pour les captures) 59

Figure 34 : Droite de régression captures/migration des saumons à Vichy par semaine (Données : SCIMABIO Interface pour les captures) 60
Figure 35 : Comparaison de la répartition des classes de tailles des saumons migrants observés à Vichy en 2019 (avec et sans estimation) avec celle des individus marqués (Données : SCIMABIO Interface pour Piégeage) 61
Figure 36 : Âge de mer des poissons comptabilisés aux stations et capturés et marqués en 2006, 2009 et 2019 (Données : SCIMABIO Interface pour 2019) 62
Figure 37 : Saumon marqué sans adipeuse en 2019 63
Figure 38 : Sexe des poissons en fonction de la longueur de la mâchoire et de la taille ; 170 individus sexés entre 2010 et 2019 (Données : CNSS) 64
Figure 39 : Saumon femelle (à gauche) et mâle (à droite) à Langeac lors de la migration automnale de 2019 65
Figure 40 : Etat sanitaire des poissons capturés et marqués en 2006, 2009 et 2019 (Données : SCIMABIO Interface pour 2019) 67
Figure 41 : État sanitaire des poissons capturés en 1ère et 2ème session en 2019 (Données : SCIMABIO Interface) 68
Figure 42 : Saumon marqué le 7 mai classé en classe sanitaire C 68
Figure 43 : Amplitude migratoire de la population et de l'échantillon de saumons à Langeac en 2019 70
Figure 44 : Vitesse de migration printanière des saumons marqués en 2019 en fonction de l'âge de mer 71
Figure 45 : Vitesse de migration des saumons marqués au printemps en 2006, 2009 et 2019 72
Figure 46 : Vitesse de migration des saumons marqués à l'automne en 2006, 2009 et 2019 73
Figure 47 : Vitesse de migration à l'automne des saumons sur l'Allier 74
Figure 48 : Vitesse de migration à l'automne des saumons sur l'Alagnon 75
Figure 49 : Vitesse de migration au printemps des saumons morts pendant l'été et ceux qui ont repris leurs migrations 76
Figure 50 : Date d'arrêt estival des saumons marqués en 2006 et 2009 (pourcentage cumulé) 77
Figure 51 : Parcours des 6 saumons marqués en 2019 qui ont passés l'été dans l'Allier moyen 78
Figure 52 : Parcours des 5 saumons marqués en 2019 qui ont passés l'été dans le Haut-Allier 79
Figure 53 : Différences de températures au printemps et à l'été entre les différents secteurs en 2019 80
Figure 54 : Taux de mortalité des poissons marqués lors de la 2ème session de marquage en fonction de la température moyenne en juillet à Vichy 83
Figure 55 : Mortalités estivales des saumons marqués par secteur en 2019 comparées à celles de 2006 et 2009 85
Figure 56 : Saumon mâle de 3 ans de mer spermiant non marqué retrouvé sur la Desges le 14 novembre 86
Figure 57 : Distance de migration des saumons reproducteurs sur l'Allier depuis Vichy en 2006, 2009 et 2019 (hors Alagnon) 88
Figure 58 : Distance de migration en fonction de la taille, de la session de marquage, de l'âge de mer et de la classe sanitaire des saumons marqués et reproducteurs sur l'Allier en 2019 89
Figure 59 : Date de dévalaison des 4 ravalés à Vichy 91
Figure 60 : Répartition par mois des effectifs des ravalés observés aux stations de Poutès, Vichy et St Pourçain sur Sioule 92
Figure 61 : Représentation cartographique de la localisation des saumons marqués pendant la reproduction 96
Figure 62 : Succès de franchissement de chaque ouvrage équipé d'un enregistreur en 2019 en fonction du nombre de poisson se présentant à l'aval 98
Figure 63 : Succès de franchissement de chaque ouvrage en 2006, 2009 et 2019 99
Figure 64 : Retards engendrés pour chaque ouvrage équipé d'un récepteur en 2019 durant la migration printanière (Données : SCIMABIO Interface pour Joze, A89 et les Madeleines) 101

Figure 65 : Temps de retard durant la migration automnale pour chaque ouvrage équipé d'un récepteur en 2019 103
Figure 66 : Temps de retard cumulé (pour rejoindre le Haut-Allier) par seuil/barrage équipé par saumon en 2019 (Données : SCIMABIO Interface pour Joze, A89 et les Madeleines) 104
Figure 67 : Évaluation de la franchissabilité des ouvrages équipés d'un enregistreur en 2019 105
Figure 68 : Vitesse de migration dans l'Allier des plaines et l'Allier moyen sur parcours normal et parcours libre au printemps 2019 106
Figure 69 : Schéma de la retenue de Vichy 108
Figure 70 : Temps de franchissement de la retenue de Vichy par les saumons radiopistés en 2019 (n=23) 109
Figure 71 : Saumon marqué N°49134 retrouvé mort an aval du barrage de Vichy le 2 juillet 110
Figure 72 : Comportement des saumons marqués au niveau de la retenue de Vichy en 2019 111
Figure 73 : Comportement de dévalaison des quatre ravalés suivi par radio pistage en 2019 au barrage de Vichy en fonction du débit 114
Figure 74 : Schéma du seuil de Joze 115
Figure 75 : Seuil de Joze selon deux valeurs de débit en 2009 (Source : Banque Hydro pour les débits) 115
Figure 76 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil de Joze en 2019 (n=14) 117
Figure 77 : Temps de franchissement des saumons radiopistés en fonction du débit au seuil de Joze en 2019 118
Figure 78 : Schéma du seuil de l'A89 119
Figure 79 : Seuil de l'A89 avant (à gauche en 2009) et après (à droite en 2019) les travaux (Source : Banque Hydro pour les débits) 120
Figure 80 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil de l'A89 en 2019 (n=13) 121
Figure 81 : Temps de franchissement en fonction du débit au seuil de l'A89 en 2019 122
Figure 82 : Schéma du seuil des Madeleines 123
Figure 83 : Seuil des Madeleines en 2009 (Source : Banque Hydro pour les débits) 124
Figure 84 : Phase de chantier en 2016 sur le seuil des Madeleines 124
Figure 85 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil des Madeleines en 2019 (n=13) 125
Figure 86 : Temps de franchissement en fonction du débit au seuil des Madeleines en 2019 126
Figure 87 : Schéma du seuil de Pont du Château 127
Figure 88 : Seuil de Pont du château (Source : Banque Hydro pour les débits) 128
Figure 89 : Passe à macro-rugosité colmatée en rive gauche de Pont du Château 128
Figure 90 : Comportement des saumons marqués sur les seuils de Joze, A89, les Madeleines et Pont du Château en 2019 130
Figure 91 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil de Pont du Château en 2019 (n=11) 131
Figure 92 : Temps de franchissement en fonction du débit au seuil de Pont du Château en 2019 132
Figure 93 : Comportement du saumon marqué N°49154 133
Figure 94 : Comportement de dévalaison des quatre saumons radiomarqués « ravalés » au seuil de Pont du Château en fonction du débit en 2019 134
Figure 95 : Schéma du barrage de la Bageasse 135
Figure 96 : Barrage de la Bageasse selon trois conditions de débit (Source : Banque Hydro pour les débits) 136
Figure 97 : Entrée de la rivière de contournement du barrage de la Bageasse selon trois conditions de débit (Source : Banque Hydro pour les débits) 136
Figure 98 : Passe à bassins du barrage de la Bageasse selon trois conditions de débit (Source : Banque Hydro pour les débits) 137
Figure 99 : Comportement des saumons marqués au barrage de La Bageasse en fonction du débit à Vieille Brioude au printemps 2019 138

Figure 100 : Comportement des saumons marqués au barrage de La Bageasse en fonction du débit à Vieille Brioude à l'automne 2019 139
Figure 101 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au barrage de la Bageasse au printemps et en automne en 2019 140
Figure 102 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de la Bageasse en 2019..... 141
Figure 103 : Comportement de dévalaison des saumons radiomarqués « ravalés » au barrage de la Bageasse en fonction du débit en 2019 143
Figure 104 : Schéma du barrage de Vieille Brioude 144
Figure 105 : Barrage de Vieille Brioude (Source : Banque Hydro pour les débits)..... 145
Figure 106 : Phase de travaux pendant l'été 2019 au barrage de Vieille Brioude 145
Figure 107 : Temps de franchissement du barrage de Vieille Brioude au printemps et en automne en 2006, 2009 et 2019..... 146
Figure 108 : Comportement des saumons marqués au barrage de Vieille Brioude en fonction du débit à Vieille Brioude au printemps 2019..... 147
Figure 109 : Comportement du poisson marqué N°49055 en 2019..... 148
Figure 110 : Émetteur N°49055 retrouvé avec des restes d'écailles..... 148
Figure 111 : Comportement des saumons marqués au barrage de Vieille Brioude en fonction du débit à Vieille Brioude à l'automne 2019 150
Figure 112 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de Vieille Brioude en 2019 .. 151
Figure 113 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de Vieille Brioude en 2009 et 2019..... 152
Figure 114 : Comportement de dévalaison des saumons radiomarqués « ravalés » au barrage de Vieille Brioude en fonction du débit en 2019 154
Figure 115 : Schéma du complexe de Langeac..... 155
Figure 116 : Passe à poissons à l'usine de Langeac (Source : Banque Hydro pour les débits)..... 156
Figure 117 : Barrage de Langeac (Source : Banque Hydro pour les débits)..... 156
Figure 118 : Comportement du saumon marqué N°49044 au barrage de Langeac au printemps en fonction du débit à Langeac en 2019..... 158
Figure 119 : Canal de fuite de l'usine avec l'entrée de la passe à poisson en rive droite et le rejet de la goulotte de dévalaison en rive gauche..... 159
Figure 120 : Saumon marqué N°49044..... 159
Figure 121 : Saumons marqués passant devant la vitre de comptage du barrage de Langeac à l'automne 160
Figure 122 : Comportement des saumons marqués au barrage de Langeac à l'automne en fonction du débit à Langeac en 2019 161
Figure 123 : Temps de franchissement du barrage de Langeac au printemps et en automne en 2009 et 2019..... 162
Figure 124 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de Langeac en 2019..... 163
Figure 125 : Temps de dévalaison au barrage de Langeac en fonction du débit 165
Figure 126 : Schéma de l'usine de Monistrol-d'Allier 167
Figure 127 : Usine de Monistrol d'Allier 167
Figure 128 : Rejet des turbines de l'usine 168
Figure 129 Entrée de la passe à poissons de Monistrol d'Allier (turbines arrêtées) 169
Figure 130 : Comportement des saumons marqués au seuil de Monistrol d'Allier et du barrage de Poutès en fonction du débit à Saint-Haon et Saint-Bonnet-de-Montauroux 170
Figure 131 : Aval de la vanne de fond du barrage de Poutès (intégralité du débit transitant dans le Veil-Allier) (Source : Banque Hydro pour les débits)..... 173
Figure 132 : Entrée de la passe à poisson en rive droite (gauche) et l'ascenseur (droite)..... 173
Figure 133 : Saumon mâle franchissant l'ouvrage par l'ascenseur de Poutès le 28 novembre 2019.. 174
Figure 134 : Amont immédiat du barrage de Poutès avec le plan d'eau vidangé et l'intégralité du débit passant par la vanne de fond en rive gauche (7 juin)..... 175
Figure 135 : Retenue de Poutès vidangée (7 juin) 175

Figure 136 : Schéma du barrage de Poutès 176
Figure 137 : Saumon N°49024 dans l'ascenseur de Poutès 177
Figure 138 : Débit à la station hydrologique de Saint-Haon et de Saint-Bonnet-de-Montauroux (Sources : Banque Hydro) 179
Figure 139 : Saumon issu de la migration 2020 reconnaissable à ses nageoires à Vichy (à gauche) et à Langeac (à droite) 184

Table des tableaux

Tableau 1 : Période de piégeage des saumons en durant les 3 années de suivis 35
Tableau 2 : Préférendum de températures pour la migration du saumon atlantique (AEAG, 2018) 49
Tableau 3 : Ecarts de températures (°C) entre les valeurs moyennes mensuelles et par saison en 2006, 2009 et 2019 et les valeurs de référence par mois et saisons à Vichy (1998 à 2019 (Sources LOGRAMI) 54
Tableau 4 : Effectifs de saumons capturés et de saumons passés à Vichy par semaine de migration.. 58
Tableau 5 : Proportion de saumons capturés en fonction du pourcentage total de saumons passés à Vichy par semaine de piégeage et pour l'ensemble de la population 58
Tableau 6 : Comparaison des effectifs des saumons migrants observés à Vichy en 2019 par classes de tailles avec les individus piégés (Données : SCIMABIO Interface pour Piégeage) 60
Tableau 7 : Comparaison des effectifs par classes de tailles des saumons sans adipeuse observés à Vichy en 2019 avec les individus piégés (Données : SCIMABIO Interface pour Piégeage) 63
Tableau 8 : Relation entre la longueur totale (LF) et la longueur de la mâchoire supérieure (LM) en fonction du sexe des individus 64
Tableau 9 : Sexe des poissons marqués selon l'abaque 65
Tableau 10 : Mortalité estivale des saumons de 2 et 3 ans de mer 81
Tableau 11 : Mortalité estivale des saumons en fonction de leurs états sanitaires 81
Tableau 12 : Mortalité estivale des saumons en fonction de la présence ou non d'adipeuse 81
Tableau 13 : Mortalité estivale des saumons marqués en fonction de la session de marquage 82
Tableau 14 : Mortalité des saumons marqués en fonction de leurs endroits d'arrêt estival 82
Tableau 15 : Nombre de saumons morts issus du 2ème contingent de migration en 2009 et 2019 (calculé avec le taux de mortalité issus des saumons marqués de la 2ème session de marquage) 83
Tableau 16 : Vitesse de dévalaison des ravalés jusqu'à Vichy des saumons radiospistés en 2019 90
Tableau 17 : Récapitulatif du temps de dévalaison des ravalés 91
Tableau 18 : Extrapolation du nombre de saumons entre les différentes zones de survie 93
Tableau 19 : Taux de transfert de la population et de l'échantillon entre Vichy et Langeac/Poutès en 2019 94
Tableau 20 : Répartition des reproducteurs entre les différents secteurs 95
Tableau 21 : Extrapolation du nombre de ravalés détectés à Vichy après la reproduction de 2019 97
Tableau 22 : Nombre de saumons se présentant en aval de chaque ouvrage en 2006, 2009 et 2019 99
Tableau 23 : Nombre de barrages/seuils franchis par saumon (survivants à l'été) à l'arrêt estival et avant reproduction 100
Tableau 24 : Temps de retard moyen engendré par les barrages équipés d'un poste fixe au cours de la migration printanière et automnale (blocage non pris en compte) en 2006, 2009 et 2019 103
Tableau 25 : Temps de dévalaison au barrage de Vichy 113
Tableau 26 : Temps de dévalaison au seuil de Pont du Château 134
Tableau 27 : Temps de dévalaison au barrage de la Bageasse 142
Tableau 28 : Temps de dévalaison au barrage de Vieille Brioude 153
Tableau 29 : Temps de dévalaison au barrage de Langeac 164
Tableau 30 : Temps de dévalaison au seuil de Monistrol-d'Allier 171

Table des matières

Résumé 1

Remerciements 2

Tables des illustrations 3

Table des tableaux 8

Table des matières 9

1. Introduction 13

2. Matériels et méthodes 16

2.1. Le saumon atlantique 16

2.1.1. Cycle de vie 16

2.1.2. Situation de l'espèce sur le bassin de la Loire 19

2.2. Secteur d'étude 21

2.2.1. Allier 21

2.2.2. Alagnon 24

2.2.3. Dore 26

2.3. Contexte migratoire 28

2.3.1. Allier 28

2.3.1.1 Franchissabilité des ouvrages et suivis 28

2.3.1.2 Evolution historique du front de colonisation du saumon sur l'Allier 31

2.3.2. Alagnon 33

2.4. Échantillonnage de la population 34

2.4.1. Période de piégeage 34

2.4.2. Piégeage des saumons 36

2.4.3. Marquage des saumons 36

2.4.4. Matériels pour suivre la migration 37

2.4.4.1 Les émetteurs 37

2.4.4.2 Les récepteurs 37

2.4.4.3 Les antennes 38

2.4.4.4 Suivis des déplacements des poissons 39

3. Les conditions environnementales de 2019 41

3.1. Les débits 41

3.1.1. L'Allier à Saint-Yorre 41

3.1.2. L'Allier à Prades 42

3.1.3. L'Alagnon à Lempdes sur Alagnon 43

3.1.4. La Dore à Dorat 44

3.1.5. Indices hydrologiques de l'Allier à Saint-Yorre 45
3.1.5.1 Pendant la migration printanière 45
3.1.5.2 Pendant l'arrêt estival (étiage) 46
3.1.5.3 Pendant la migration automnale de montaison 47
3.1.5.4 Pendant la dévalaison des ravalés 48
3.2. La température de l'eau 49
3.2.1. Températures de l'Allier selon les secteurs morphologiques 52
3.2.2. Température de l'Allier à Vichy 53
3.2.2.1 Pendant la migration printanière 54
3.2.2.2 Fin de migration printanière-arrêt estival et risque de mortalité 55
3.2.3. Température de l'Allier à Vieille Brioude 55
3.2.3.1 Pendant la migration printanière 56
3.2.3.2 Fin de migration printanière-arrêt estival et risque de mortalité 56
4. Caractéristiques de l'échantillon de saumons marqués 57
4.1. Captures et marquages 57
4.1.1. Respect de la dynamique migratoire de l'échantillon 59
4.2. Caractéristiques biométriques 60
4.2.1. Âge des saumons 60
4.2.2. Poissons sans nageoire adipeuse 62
4.2.3. Sexe des saumons 63
4.2.4. Etat sanitaire des poissons marqués 66
5. Dynamiques migratoires et succès reproducteur 69
5.1. Processus migratoire sur l'axe Allier-Alagnon 69
5.1.1. Amplitude migratoire dans le Haut-Allier 69
5.1.2. Vitesse de migration 70
5.1.2.1 Vitesse de migration printanière 70
5.1.2.2 Vitesse de migration automnale 72
5.1.2.3 Comparaison des vitesses de migrations au printemps et à l'automne 75
5.1.3. Arrêt estival 77
5.1.4. Mortalité des saumons 80
5.1.4.1 Mortalité en fonction des critères morphologiques des saumons et de la temporalité de leur migration à Vichy 80
5.1.4.2 Relation entre la mortalité estivale et le secteur d'estivation 84
5.1.4.3 Mortalité après-reproduction 86
5.1.5. Distance de migration 87
5.1.6. Dévalaison des ravalés 90
5.2. Extrapolation à la population 92

5.2.1. Répartition des poissons par secteur 92
5.2.1.1 Répartition pendant la période d'estive 92
5.2.1.2 Répartition selon les stations de comptages 93
5.2.2. Nombre de reproducteurs 94
5.2.3. Effectif de ravalés 97
5.3. Franchissement des obstacles 97
5.3.1. Succès de franchissement 97
5.3.2. Nombre de barrage par saumon 100
5.4. Retards au franchissement 100
5.4.1. Retards lors de la migration printanière 100
5.4.2. Retards lors de la migration automnale 102
5.5. Vitesse de migration entre les ouvrages suivis en 2019 105
6. Evaluation des franchissements des obstacles 107
6.1. Les ouvrages suivis en 2019 107
6.1.1. Retenue de Vichy 107
6.1.1.1 Montaison 107
6.1.1.2 Dévalaison post reproduction 112
6.1.2. Joze 114
6.1.2.1 Montaison 116
6.1.2.2 Dévalaison post reproduction 118
6.1.3. A89 119
6.1.3.1 Montaison 120
6.1.3.2 Dévalaison post reproduction 122
6.1.4. Les Madeleines 123
6.1.4.1 Montaison 125
6.1.4.2 Dévalaison post reproduction 126
6.1.5. Pont du Château 127
6.1.5.1 Montaison 128
6.1.5.2 Dévalaison post reproduction 133
6.1.6. La Bageasse 135
6.1.6.1 Montaison 135
6.1.6.2 Dévalaison post reproduction 142
6.1.7. Vieille-Brioude 144
6.1.7.1 Montaison 144
6.1.7.2 Dévalaison post reproduction 152
6.1.8. Langeac 155

6.1.8.1 Montaison 155
6.1.8.2 Dévalaison post reproduction 163
6.1.9. Monistrol d'Allier 166
6.1.9.1 Montaison 166
6.1.9.2 Dévalaison post reproduction 171
6.1.10. Poutès 172
6.1.10.1 Montaison 172
6.1.10.2 Dévalaison post reproduction 178
6.1.11. Bilan des dispositifs de franchissement suivis 180
7. Discussion 181
7.1. Paramètres environnementaux 181
7.2. Caractéristiques des saumons marqués 182
7.3. Vitesse de migration 183
7.4. Arrêt estival 185
7.5. Mortalité 186
7.6. Distance de migration 188
7.7. Franchissabilité 188
8. Conclusion 191
9. Perspectives 193
Bibliographie 194
Annexes 198

1. Introduction

Les rivières françaises abritent des espèces amphihalines dont le cycle de vie nécessite des migrations entre les eaux douces et marines. Or, la satisfaction des besoins vitaux et notamment la libre circulation de ces poissons, ont été rendues difficiles depuis le 19ème siècle avec la fragmentation et la dégradation des rivières par les activités anthropiques (LAFFAILLE ET BROSSE, 2011).

Le saumon atlantique (*Salmo salar*) est l'une de ces espèces amphihalines qui parcourt plusieurs centaines de kilomètres pour se reproduire en amont des cours d'eau après avoir grandi généralement 1, 2, ou 3 ans en mer (COHENDET, 1993). Cette espèce présente un ensemble d'intérêts socio-économiques, scientifiques, écologiques et patrimoniaux. Toutefois, les effectifs continentaux de cette espèce sont en régression dans de nombreux bassins versants européens et plus particulièrement français (HENDRY *et al.*, 2007). Cette réduction des effectifs de populations est due à de nombreux facteurs dont certains, comme l'exploitation par les pêcheries marines (PARRISH *el al.*, 1998) ou la perte des zones de reproductions naturelles (NORTHCOTE, 1998), ont clairement été identifiés. Mais, comme pour toutes les autres espèces amphihalines, les barrages ne sont certainement pas à négliger (LAFFAILLE ET BROSSE, 2011) et l'optimisation de leur aménagement afin de faciliter l'accessibilité des habitats préférentiels est une des solutions de restauration des populations amphihalines (LAFFAILLE *et al.*, 2009).

La Loire est de nos jours considérée comme le dernier grand fleuve sauvage d'Europe (LASNE *et al.*, 2007). En effet, le premier obstacle sur le cours principal n'apparait que 328,5 km après l'estuaire (barrage de Saint Laurent des Eaux). Certains de ces affluents abritent encore des populations naturelles de saumons atlantiques. Cette présente étude s'est déroulée sur l'Allier, le plus important affluent de la Loire (410 km), à partir de Vichy (situé à 123 km de la confluence avec la Loire). Les saumons doivent encore parcourir 120 km avant d'atteindre les premières zones de frayères (au niveau de la confluence entre l'Allier et l'Alagnon).

Cette étude fait suite à deux suivis de la migration anadrome du saumon atlantique par radiopistage.

Celui mené en 2006 qui caractérise l'état migratoire de l'axe Loire-Allier depuis la Loire moyenne jusqu'aux zones de frayères en amont (BACH *et al.*, 2008) et qui évalue les mesures entreprises dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature (1994-2006) pour la restauration de la libre circulation des espèces amphihalines. Cette précédente étude, préconisée par les experts du GRISAM (Groupement d'Intérêt Scientifique pour les poissons Amphihalins) à l'issue du Programme Life "Sauvegarde du Grand Saumon de Loire", avait été mise en place par l'association LOGRAMI (Loire Grands Migrateurs), à la demande de l'ensemble des partenaires du bassin. Elle a principalement mis en évidence que la libre circulation en Loire moyenne est désormais rétablie ainsi que sur la plupart du linéaire de l'Allier. Cependant, dans des conditions hydroclimatiques défavorables, des mortalités non négligeables entre la Loire moyenne et l'Allier jusqu'à Vichy mais aussi entre Vichy et les zones de reproduction, peuvent être observées notamment pour les individus de fin de migration. Toutefois, ces conclusions ne sont valables que pour une gamme de débits très faible (particulière à l'année 2006) pour conclure de manière globale d'autant que les poissons suivis furent marqués tardivement (contingent de fin de migration).

En 2009, dans le cadre du nouveau Plan Loire (2007-2013), pour enrichir et renforcer la représentativité des données recueillies en 2006, une étude radiopistage a de nouveau été confiée à l'association

LOGRAMI (BACH et al., 2011). L'étude de 2009 diffère de celle de 2006 principalement sur 2 points. Elle se focalise sur la partie de l'axe Allier située en amont de Vichy puisque la mortalité entre la partie aval et Vichy doit être évaluée grâce à une autre étude, moins lourde à mettre en œuvre, basée sur le principe de détection de marques passives (TIRIS) au niveau de certaines passes à poissons. Cette restriction de la zone d'étude permet de piéger en un seul point (Vichy) et donc de répartir l'échantillonnage sur l'ensemble de la période de migration pour, au final, être le plus représentatif possible du contingent migrant à Vichy (principale limite de l'étude 2006). Les principaux objectifs de cette étude reprenaient globalement ceux de 2006. A noter qu'en 2009, le suivi des saumons était initialement prévu uniquement sur la rivière Allier mais les saumons radiomarqués en ont décidé autrement en empruntant également l'Alagnon (principal affluent de l'Allier) et y ont été suivis.

Pour finir, un suivi de la migration de saumons adultes a été réalisé en 2019 sur l'Allier en amont de Vichy afin d'évaluer, à la demande de l'Etat, l'efficacité des travaux de rétablissement de la continuité écologique effectués par Vinci Autoroutes sur le seuil de l'A89 (Martres d'Artière, 63) en 2017.

Ce suivi a été effectué par le bureau d'études SCIMABIO Interface, en partenariat avec l'association LOGRAMI. Il consistait à capturer des saumons (objectif de 30 individus) au niveau du pont barrage de Vichy (03) et à les équiper d'émetteurs radio afin d'enregistrer leurs déplacements et comportements au droit de différentes stations. SCIMABIO Interface a suivi la migration des saumons entre Vichy et Pont du Château (80 km de cours d'eau) (Figure 1). Afin d'optimiser le marquage de ces poissons pour en tirer le plus d'informations possible, LOGRAMI a proposé de porter un suivi complémentaire et d'étendre le suivi des déplacements des saumons au-delà de la zone étudiée par le bureau d'études. LOGRAMI a ainsi poursuivi l'étude jusqu'aux zones de frayères (270 km). Des enregistreurs ont été placés sur les principaux affluents (Alagnon et Dore) pour borner ces entrées d'axes. Ainsi, 13 ans et 10 ans après le suivi réalisé en 2006 et 2009 par LOGRAMI, de nouvelles données ont été collectées sur l'Allier et ses affluents.

Cette nouvelle étude permet de confronter les résultats à ceux obtenus en 2006 et 2009 et de mieux appréhender le comportement des poissons sur cet axe migratoire majeur. A travers les résultats, nous avons des données complémentaires sur la migration printanière, sur l'arrêt estival et la mortalité des poissons durant cette période, sur la migration automnale ainsi que sur la dévalaison après la reproduction.

Pour répondre aux objectifs initiaux, dans la mesure du possible, le comportement des saumons radiomarqués au droit de chaque ouvrage rencontré, a été analysé en fonction des caractéristiques des individus lors de leur capture, de la date de capture et des facteurs hydroclimatiques. De plus, le comportement global lors de la migration (vitesse de déplacement, arrêt, axe emprunté, mortalité) a aussi été analysé en fonction des mêmes paramètres.

Il est très important de noter qu'à la différence de 2006 et 2009, en raison de restriction budgétaire, les saumons ont été beaucoup moins « traqués ». Les jours de prospections pour retrouver les saumons ont donc été plus espacés dans le temps. LOGRAMI n'avait pas non plus le budget pour suivre les saumons au sein du secteur de SCIMABIO Interface.

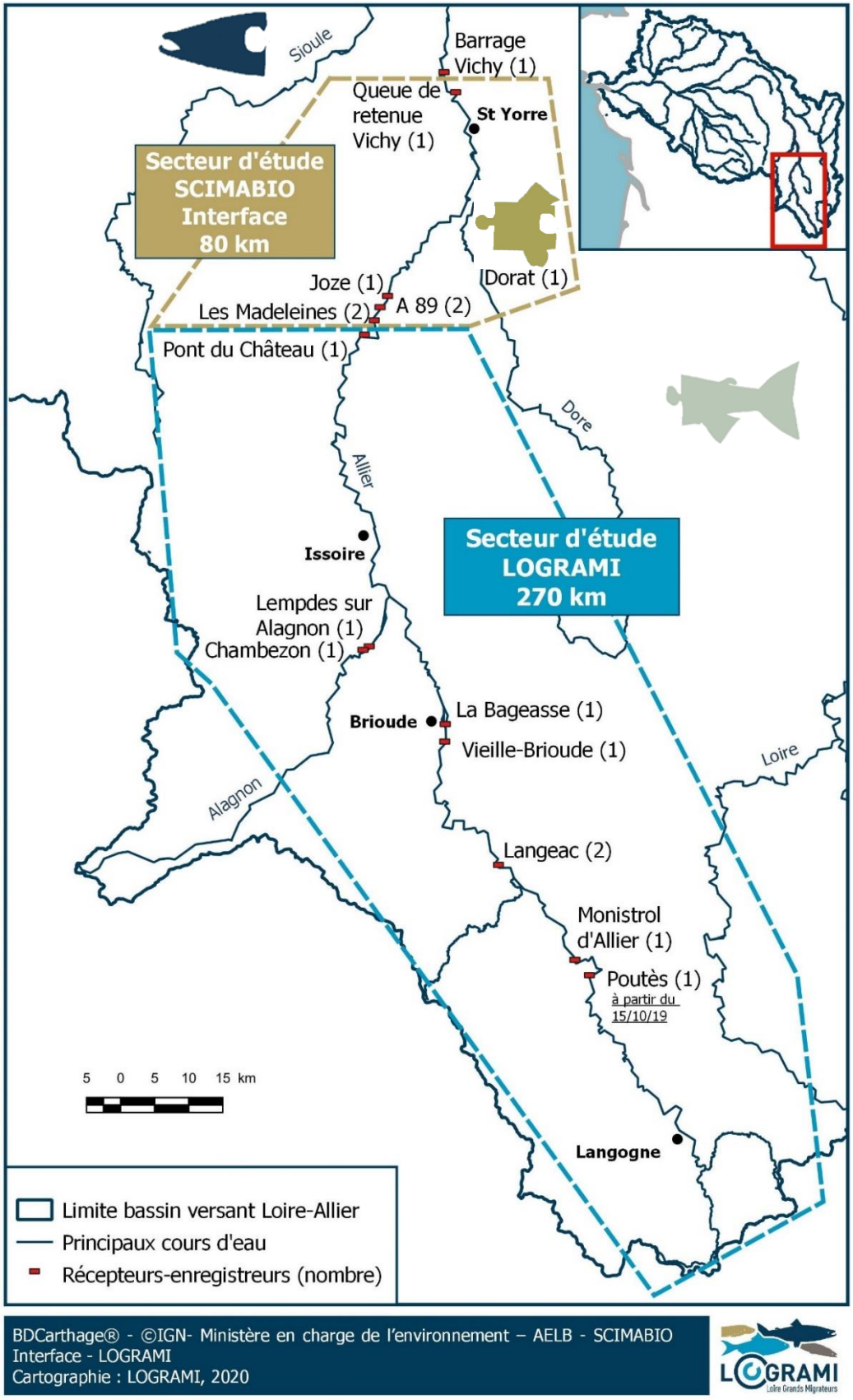


Figure 1 : Cartographie du secteur d'étude en 2019

2. Matériels et méthodes

2.1. Le saumon atlantique

2.1.1. Cycle de vie

Salmo Salar (Linnaeus, 1758) ou saumon atlantique est une espèce appartenant à la famille des salmonidae. Ces poissons se caractérisent notamment par la présence d'une nageoire adipeuse sans rayons.

Le saumon atlantique est l'espèce migratrice par excellence, il est qualifié de poisson amphihalin de type potamotoque. En d'autres mots, cela signifie que son cycle de vie (Figure 2) se décompose en deux phases, une marine au stade adulte et une autre en eau douce au stade juvénile et adulte reproducteur.

Après la ponte, les œufs enfouis dans le sédiment éclosent après 440 degrés jours. Les individus y séjournent jusqu'à la résorption de leur vésicule vitelline, à ce stade, il est question de larve. L'alevin émerge du nid, vers avril de l'année de ponte, cette phase d'émergence est qualifiée de « critique ». Au cours de cette étape les alevins doivent acquérir leurs capacités d'orientation, de nage, de choix d'habitats et d'alimentation.

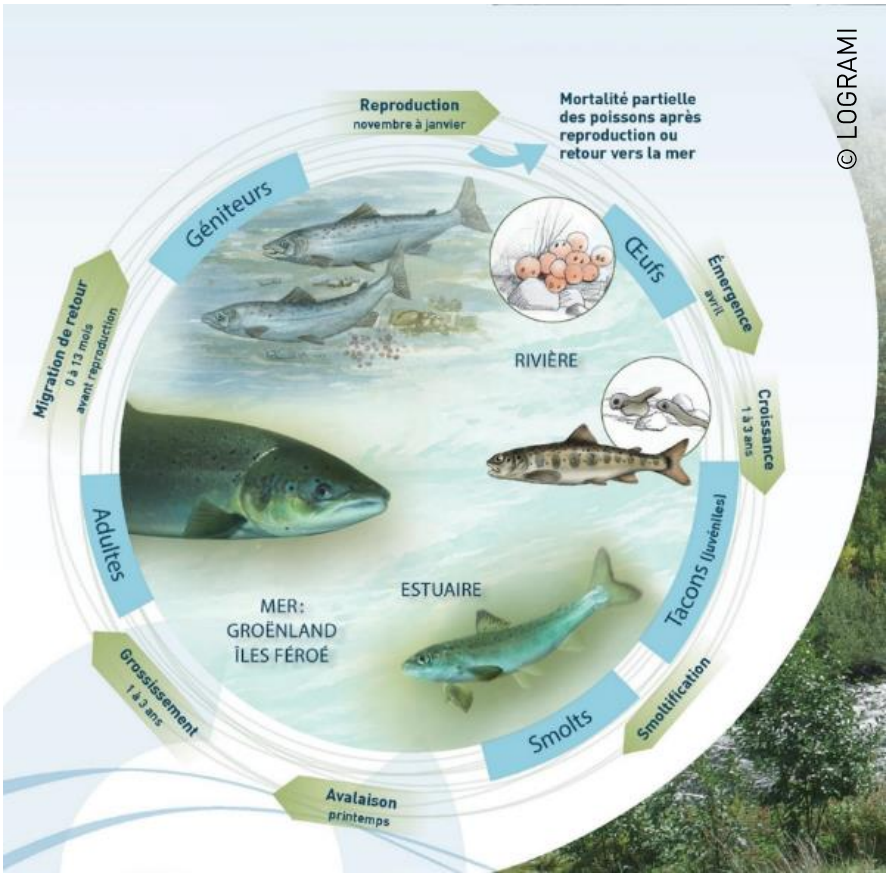


Figure 2 : Cycle biologique du saumon atlantique

La phase « tacon » est le stade le plus long de la période juvénile. Elle dure de 1 à 2 ans en France en fonction des rivières. Ses habitats favoris se composent de zones courantes de l'ordre de 50 à 70 cm par seconde avec une forte diversité granulométrique (graviers, cailloux et ou blocs), correspondant à des zones de type radiers. Les tacons acquièrent un comportement territorial impliquant une mise en compétition inter et intra spécifique pour occuper les micro-habitats les plus propices. Ils se nourrissent de manière opportuniste en profitant de la dérive d'invertébrés.

Pour passer à la phase « smolt », les tacons vont subir un bouleversement physio morphologique (Figure 3) pour être capable de passer du milieu d'eau douce à l'eau salée de l'océan atlantique, appeler la smoltification. Ces changements entraînent la migration des individus vers les eaux marines. En France le pic migratoire a lieu au printemps d'avril à mai.

Figure 3 : Photo montrant les différences entre un tacon (en haut) et un smolt (en bas)

La phase « adulte » commence à la sortie de l'estuaire, les poissons sont totalement smoltifiés et capables de vivre dans des eaux à fortes teneurs en sel. Les saumons atlantiques sont les salmonidés qui parcourent la plus grande distance en milieu marin, certains peuvent effectuer jusqu'à 14 000 km. Tous les individus ont le même objectif, rejoindre les aires d'engraissement en mer du Labrador à l'ouest du Groenland. Dans l'océan, les ressources alimentaires étant plus abondantes, la croissance y est plus rapide. Le temps de séjour en mer est variable et influe sur la taille des géniteurs. Comme le montrent KEITH et al. (2011), dans leur livre « Les poissons d'eau douce de France », trois types de poissons se distinguent en fonction de leur temps de séjour en mer.

L'analyse des écailles d'un saumon de « 1 an de mer » montre que cette classe d'âge présente une taille inférieure à 68 centimètres. Les saumons de « 2 ans de mer » ont une taille comprise entre 68 et 87 centimètres et les saumons de « 3 ans de mer » ont une taille supérieure à 87 centimètres (BAGLINIERE et LE LOUARN, 1987). Ainsi, en fonction de sa taille, il est possible de déterminer l'âge d'un saumon atlantique.

La migration génésique du saumon atlantique est marquée par un phénomène appelé « homing ». Grâce à son sens de l'orientation et ses capacités olfactives, il parvient à retrouver son bassin versant et sa rivière de naissance. Cette particularité a pour conséquence que chaque bassin versant ou sous-bassin possède sa propre population de saumons atlantiques. Cependant il existe une part non négligeable de divagation dans la migration, ce qui permet de maintenir une certaine diversité génétique des populations.

Lors de son arrivée dans l'estuaire, l'osmorégulation du saumon s'inverse à nouveau afin de pouvoir supporter les eaux douces. Les géniteurs changent de livrée, avec l'apparition de taches noires et rouges chez les femelles et de vermillons rouges ainsi qu'une bande verte et jaune sur les flancs pour les mâles. Le maxillaire inférieur de ces derniers se déforme pour devenir pointu et recourbé, à ce moment-là il est nommé « bécard ». Les saumons en montaison ne se nourrissant plus, les réserves lipidiques acquises lors du séjour en mer sont très importantes. Les saumons de Loire sont ceux réalisant la période de jeûne la plus longue de France avec près d'un an de migration et parfois plus, pour atteindre les zones de fraie en amont des cours d'eau ligériens.

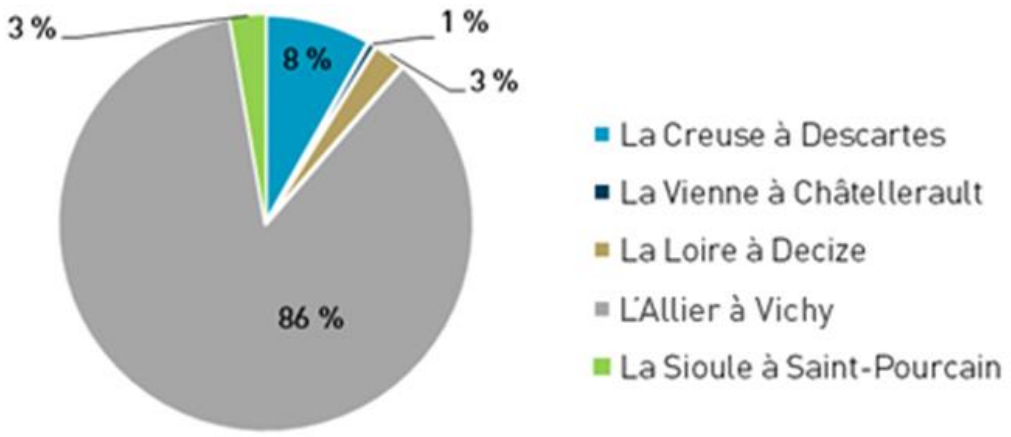
Sur cet axe particulier, il n'est pas question d'hiver de mer, mais d'été. Les poissons se présentant à l'estuaire dès le mois de décembre, ils ne passent donc pas trois hivers en mer mais trois étés. La reproduction a lieu chaque année de novembre à décembre quel que soit le nombre d'hivers passés en

mer. Les frayères ou nids sont construits par les femelles sur des zones courantes à des profondeurs variables (quelques dizaines de centimètres à plus d'un mètre), en tête de radiers ou dans des plats courants. Les gammes de vitesses préférentielles se trouvent aux alentours de 0,5 $m.s^{-1}$ avec une granulométrie constituée de pierres et de cailloux avec une profondeur comprise entre 20 et 50 cm. Le mâle vient ensuite défendre la position de la femelle et émet des vibrations pour la courtiser et se reproduire. Une fois les œufs fécondés, ils sont recouverts de sédiment par la femelle.

La plupart des géniteurs ne survivent pas après la reproduction. Cependant, certains individus parviennent à retrouver une livrée argentée et regagner les estuaires après quelques mois pour se remettre de la reproduction. Ils sont appelés « ravalés ». Ne gardant pas le nid contrairement aux mâles ce sont plus souvent les femelles qui y parviennent. Ainsi, les ravalés sont **majoritairement des femelles** : 50 % sur l'Allier en 2009 (BACH et al., 2011), 84 % sur la Sioule en 2012 (BACH et al., 2015).

2.1.2. Situation de l'espèce sur le bassin de la Loire

La répartition des géniteurs de saumons de retour dans le bassin Loire en 2019 selon les axes migratoires est de 8 % sur l'axe Creuse, 3 % sur la Loire, 3 % sur la Sioule et 86 % sur l'axe Allier (Figure 4 et Figure 5).



© LOGRAMI

Figure 4 : Répartition des effectifs de saumon aux stations de comptage du bassin de la Loire en 2019

Figure 5 : Cours d'eau du bassin de la Loire colonisés par le saumon atlantique sur le bassin de la Loire en 2019

L'année 2019 n'a pas été favorable à la migration printanière des saumons et s'est traduite par un effectif total de 473 saumons aux entrées d'axes en deçà des moyennes de la série chronologique et une répartition très en aval des axes sur une courte période de migration. En outre, l'année 2019 se particularise par une absence ou une rareté selon les axes des saumons de 1 an de mer. Cette observation a également été soulignée en 2017 et 2018 en lien avec des conditions thermiques et hydrologiques atteignant les seuils de tolérance très précocement en juin. De même, la proportion plus élevée de 3 ans de mer en 2019 observée sur l'ensemble des stations de comptages cache en fait un déficit des 2 ans de mer en raison de conditions de dévalaison défavorables des smolts en 2017 et des conditions de montaison rapidement limitantes pour cette classe d'âge.

Nous avons observé que lorsque les conditions de dévalaison étaient favorables (passage par surverse et conjointement plus souvent hors turbines des smolts au niveau des ouvrages hydro-électriques) comme en 2001, 2004, 2009, 2010, 2012 et 2013 les effectifs de géniteurs de retour étaient intéressants (Figure 6). L'indice hydrologique pendant la période de dévalaison n'est pas le seul facteur influençant les effectifs de géniteurs de retour. Malgré des bonnes conditions de dévalaison pour les années 1998, 2005, 2008 et 2016, les effectifs de retour ont été faibles.

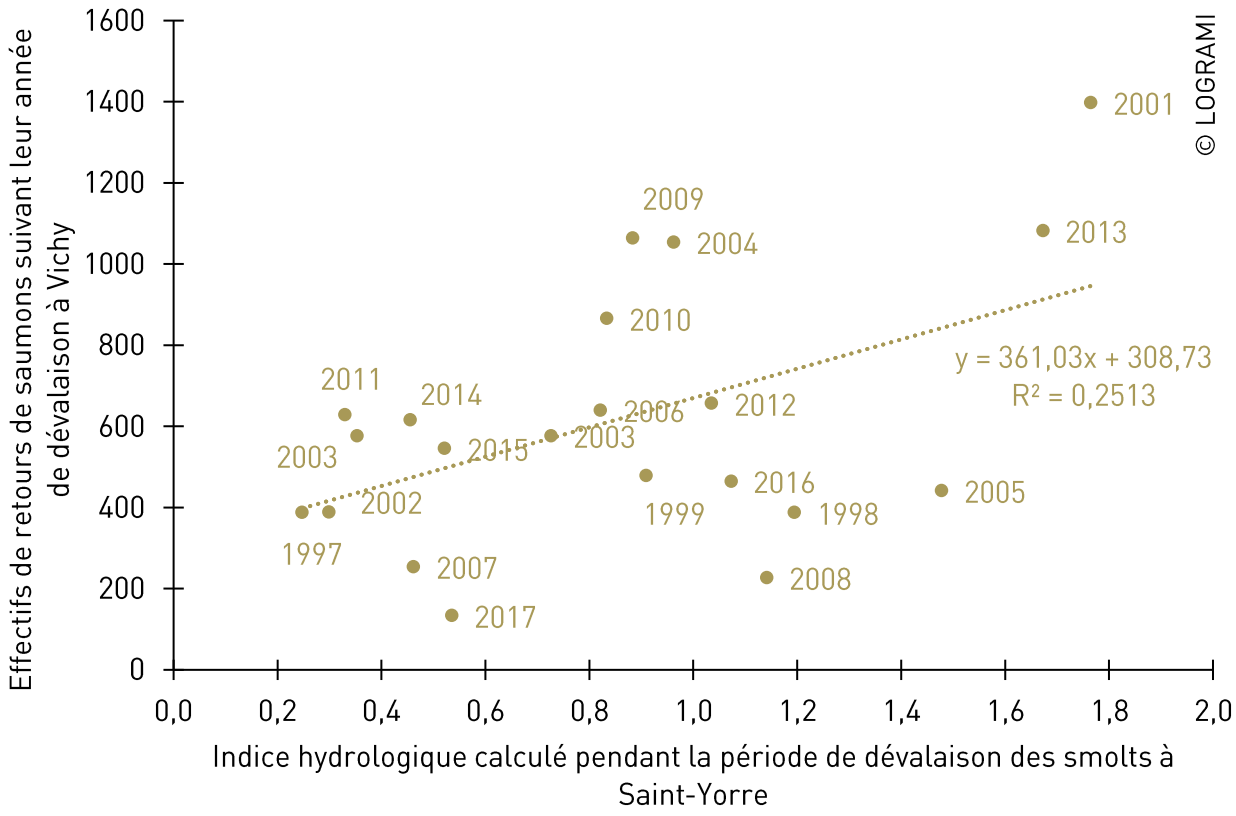


Figure 6 : Relation entre l'indice hydrologique (Saint-Yorre) pendant la période de dévalaison des smolts et les effectifs de géniteurs de retour à Vichy

2.2. Secteur d'étude

2.2.1. Allier

La rivière Allier prend sa source à 1485 m d'altitude, au pied du Moure de la Gardille (1503 m) en Lozère, au sud-est du Massif central. Ses principaux affluents (Figure 7) sont, de l'amont vers l'aval : le Chapeauroux (à 900 km de l'estuaire et à 359,4 km de la confluence Loire-Allier), l'Alagnon (à 780 km de l'estuaire et à 239,7 km de la confluence Loire-Allier), la Dore (à 683,4 km de l'estuaire et à 143,1 km de la confluence Loire-Allier) et la Sioule (à 628,1 km de l'estuaire et à 87,8 km de la confluence Loire-Allier). Chacun d'entre eux présente des zones de reproductions potentielles pour le saumon atlantique, mais, néanmoins, elles sont limitées par la présence d'ouvrages qui bloquent la migration (exemple de la Sioule avec le barrage de Queuille totalement infranchissable).

Après avoir drainé un bassin versant de 14 310 km², l'Allier rejoint la Loire au bec d'Allier à environ 421 km de sa source.

L'Allier présente un régime hydrologique de type pluvial avec des hautes eaux hivernales et des étiages importants l'été. Néanmoins, des crues automnales très brutales peuvent se produire, dues aux influences cévenoles et à la faible perméabilité des terrains traversés. La partie aval du bassin peut être affectée par des crues océaniques, hivernales ou printanières, engendrées par des pluies du même

nom. Ainsi, les crues de l'Allier peuvent jouer un rôle très important sur celles de la Loire moyenne et ont par conséquent un effet majeur sur la migration génésique du saumon et le déroulement de son cycle biologique.

Le débit moyen annuel en amont du bec d'Allier (pont canal du Guétin) est de 140 m^3/s (données issues de la Banque Hydro calculées de 1955 à 2020). Le mois de février, avec une moyenne de 229 m^3/s, représente les plus hautes eaux en opposition avec le mois d'août (mois d'étiage) avec 47,7 m^3/s. Le débit journalier maximal récent fut atteint le 6 décembre 2003 avec 1540 m^3/s enregistré à Vichy.

En 2019, à Vichy, les températures ont variés de 2,2 °C à 28,9 °C. Entre 1998 et 2018, la température moyenne journalière du mois de juillet et celle du mois d'août est respectivement de 22,3 °C et 22,0 °C. En 2019, la température moyenne journalière en juillet a atteint 25,6 °C, soit quasiment 3 °C de plus que la moyenne 1998-2018.

L'Allier se décompose selon trois secteurs hydro-morphologiques principaux depuis l'aval jusqu'à l'amont ayant pour conséquence des différences de qualité des frayères des saumons (Figure 7) :

L'Allier des plaines débutant aux alentours de Pont du Château avec une plaine alluviale étendue (2 à 3 km) et très peu pentue (0,07 %). Sa largeur est d'environ 100 m, le sable est peu à peu remplacé par du substrat de galets. Dans cette zone, la température estivale atteint régulièrement 22 °C et dépasse 26 °C en moyenne 10 jours par an (CUINAT, 1988).

L'**Allier moyen** où la rivière se rétrécie peu à peu, de 80 à 40 m. La température estivale atteint 21 °C en moyenne et dépasse quelques fois les 25 °C. L'Allier moyen peut être divisé en deux secteurs.

D'une part, une zone de transition de Pont du Château à Issoire, l'Allier correspondant au bassin d'effondrement de la Grande Limagne avec une plaine limitée, une pente variant de 0,15 à 0,1 % et un tracé très sinueux où la rivière redevient encaissée sur 17 km au niveau du horst granitique de Saint-Yvoine. D'une part, le secteur amont du val d'Allier Brivadois, caractérisé par des secteurs de plaines où cultures et pâtures alternent avec les forêts. Cette zone, d'environ 70 km (entre Issoire et Vieille Brioude) pour une pente de 0,15 %, constitue le premier bassin d'effondrement de l'Allier.

Le Haut Allier caractérisé par une vallée très encaissée (les gorges de l'Allier) entre le plateau basaltique du Devès à l'est et le massif granitique de la Margeride à l'ouest. Sa largeur varie de 10 à 30 m pour une pente de 0,7 %. La température moyenne de l'eau est comprise entre 0 et 5 °C l'hiver et elle atteint 20 °C l'été.

A des fins d'analyses spatiales, la zone historique de reproduction des saumons et de développement de leurs juvéniles sur l'Allier est également fragmentée en 5 secteurs notamment définis par des différences morphologiques et/ou hydrologiques mais aussi par la présence d'ouvrages transversaux significatifs (Vieille-Brioude, Langeac, Poutès, Naussac). Le secteur S5, le plus aval, compris entre Pont du Château et Brioude, correspond globalement à l'Allier Moyen. Les secteurs S4 à S1 se succèdent dans le Haut-Allier.

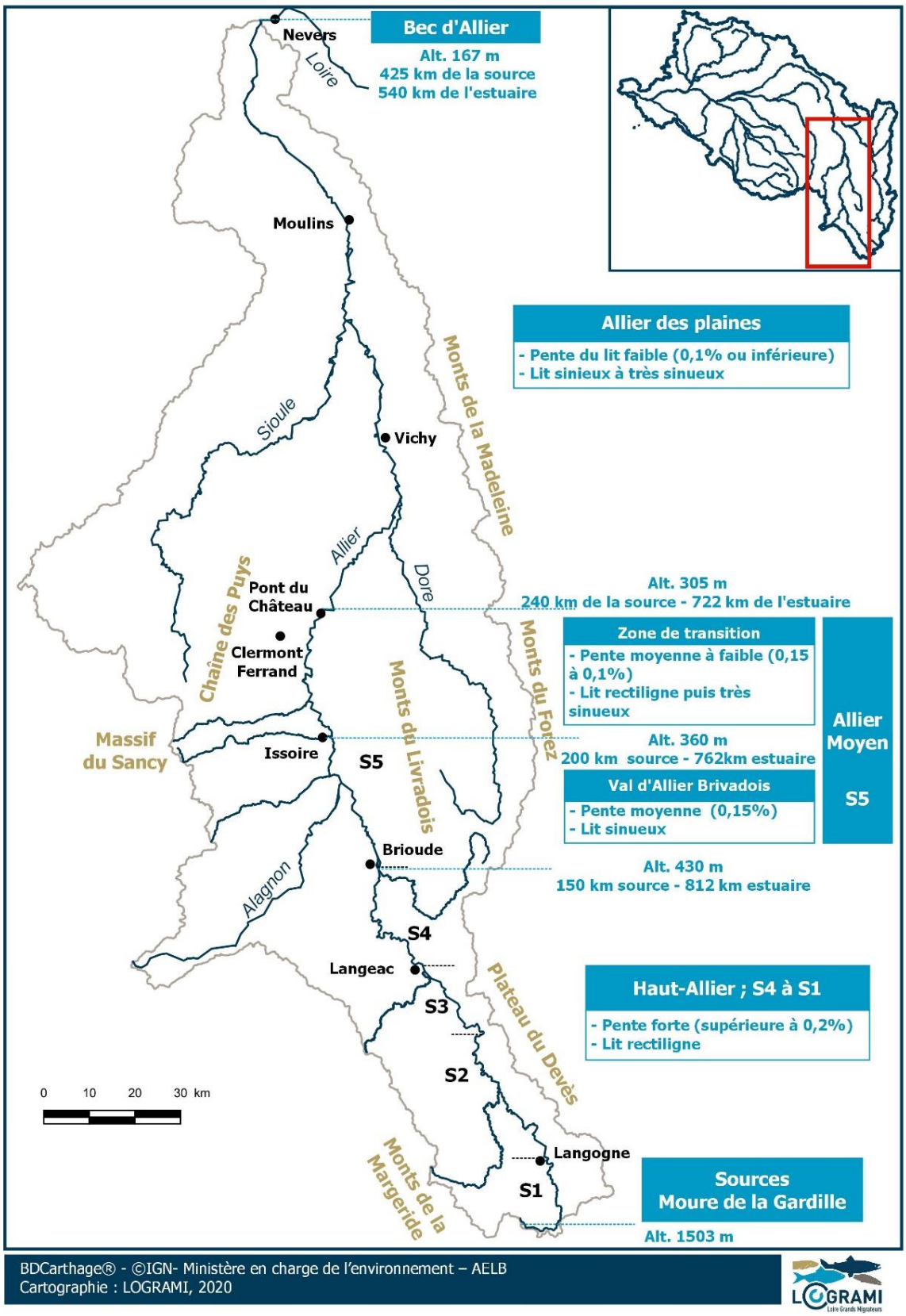


Figure 7 : Le bassin versant de l'Allier et ses sectorisations

2.2.2. Alagnon

L'Alagnon prend sa source au pied du Puy de Bataillouse dans les monts du Cantal, à une altitude de 1350 m et se jette dans l'Allier au Saut du Loup à une altitude de 390 m (Puy de-Dôme), après avoir parcouru une distance de 86 km. L'Alagnon présente une pente moyenne de 11,1 %, ce qui avoisine des pentes de certains cours d'eau de haute montagne. L'Alagnon draine un bassin de 1 033 km² et se caractérise par un réseau hydrographique très ramifié.

Ses principaux affluents sont (Figure 8) :

- En rive gauche (d'amont en aval) : L'Allanche (30 km), la Sianne (33 km), la Voireuze (12 km), le Bave (22 km) et l'Auze (17 km) ;
- En rive droite (d'amont en aval) : Le Lagnon (14 km), l'Arcueil (38 km), l'Alagnonnette (23 km) et la Violette (15 km).

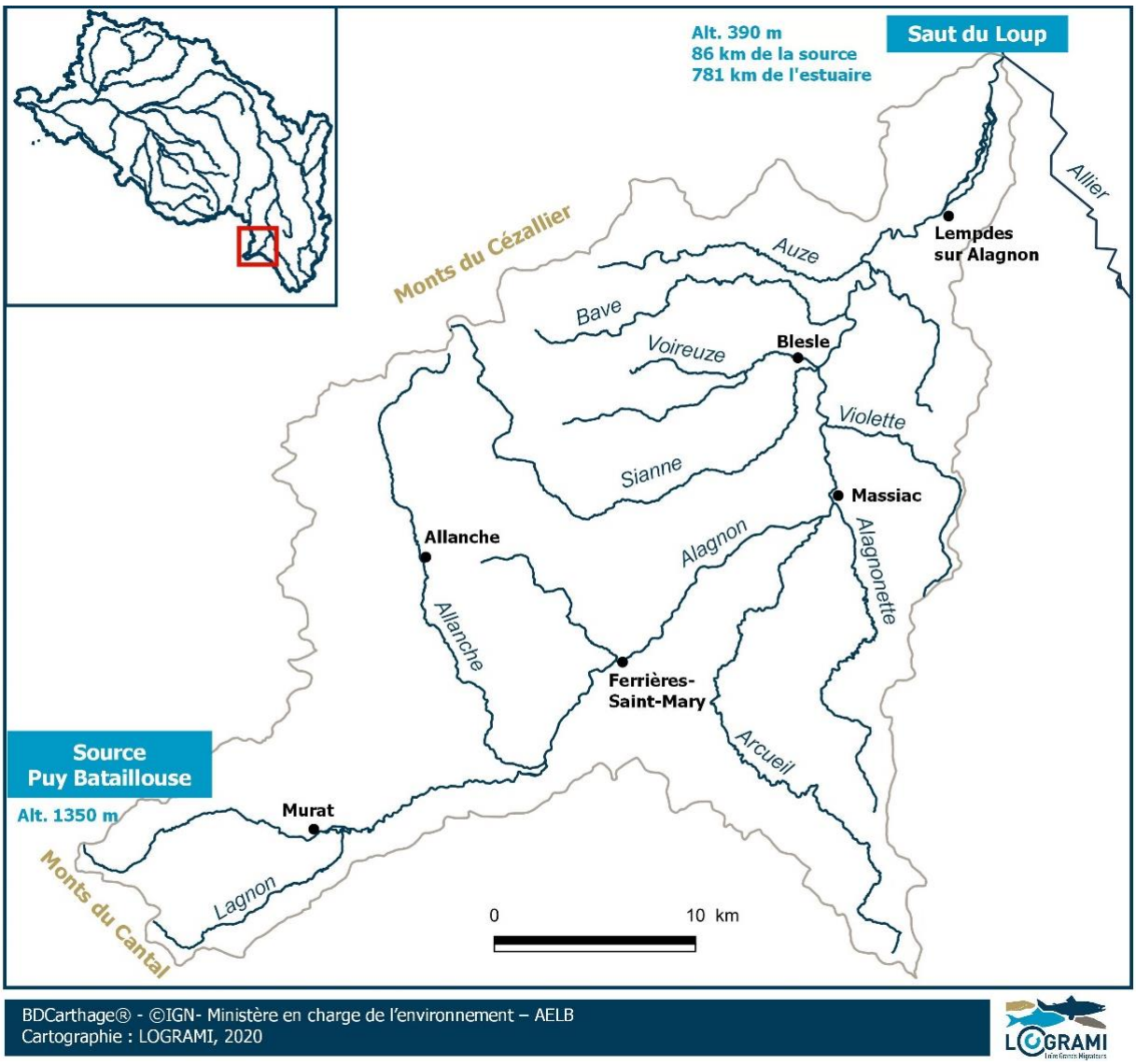


Figure 8 : Le bassin versant de l'Alagnon

Le climat de tête de bassin est de type montagnard, sous influence atlantique. L'aval du bassin, quant à lui, est dominé par un climat subcontinental sec. En termes de précipitations, le bassin se caractérise par une forte opposition Est/Ouest, liée à la barrière du massif cantalien pour les pluies océaniques (2 000 mm en tête de bassin à 600 mm en aval). Le régime hydrologique de l'Alagnon peut être assimilé à un régime pluvio-nival, avec deux maxima dus aux précipitations d'hiver et à la fonte des neiges du printemps et un minimum en été. Les roches de l'Alagnon, imperméables, engendrent un transfert des précipitations au cours d'eau très rapide. Le débit de l'Alagnon peut donc varier dans de grandes proportions en fonction de l'intensité des précipitations.

Le débit moyen annuel en amont de la confluence entre Allier et l'Alagnon (à Lempdes sur Alagnon) est de 11,7 m^3/s (données issues de la Banque Hydro calculées sur 54 ans). Le mois de février, avec une moyenne de 19 m^3/s, représente les plus hautes eaux en opposition avec le mois d'août (mois d'étiage) avec 2,7 m^3/s.

Avec une température moyenne journalière du mois de juillet et du mois d'août respectivement de 19,4 °C et 19,3 °C sur la période 2011-2018, l'Alagnon à Lempdes-sur-Alagnon présente des températures estivales plus favorables à la survie des saumons comparativement à l'Allier Moyen (moyenne). Cette différence s'est d'ailleurs observée lors du suivi de radiopistage mené en 2009 (BACH *et al.*, 2011).

En 2019, à Lempdes sur Alagnon (situé moins de 10 km en amont de la confluence avec l'Allier) les températures de l'Alagnon ont variés de 0,9 °C à 24,7 °C. La température moyenne journalière a atteint 22,1 °C en juillet (soit quasiment 3 °C de plus que la moyenne 2011-2018) et 20 °C en août.

2.2.3. Dore

La majeure partie du bassin de la Dore est située dans le département du Puy-de-Dôme. Longue d'environ 140 km, elle est l'un des trois principaux affluents de l'Allier (avec la Sioule et l'Alagnon). Elle prend sa source dans les monts du Livradois et se jette dans l'Allier en rive droite à la hauteur de Ris en amont de Saint-Yorre et en aval de Puy-Guillaume (Figure 9).

Le bassin de 1523 km² suit un régime pluvio-nival. Le débit moyen à Dorat est de 18,9 m^3/s.

Depuis 1991, le débit moyen en juillet et août est de respectivement de 6,5 m^3/s et 4,2 m^3/s. Le débit instantané maximal a été enregistré le 23 mai 2012 avec 308 m^3/s. Le débit journalier maximal a été atteint le 3 décembre 2003 avec 258 m^3/s.

En 2019 (jusqu'au 12 août), à Puy-Guillaume (situé à 8 km en amont de la confluence avec l'Allier) les températures ont variés de 2,3 °C à 23,9 °C. Entre 2011 et 2018, la température moyenne journalière du mois de juillet et celle du mois d'août est respectivement de 17,3 °C et 17,8 °C. En 2019, a atteint 21,2 °C, soit quasiment 3 °C de plus que la moyenne 2011-2018. Malgré cette augmentation de température en 2019 par rapport à la moyenne, la survie des saumons doit être plus importante sur cet axe comparativement à l'Allier des Plaines.

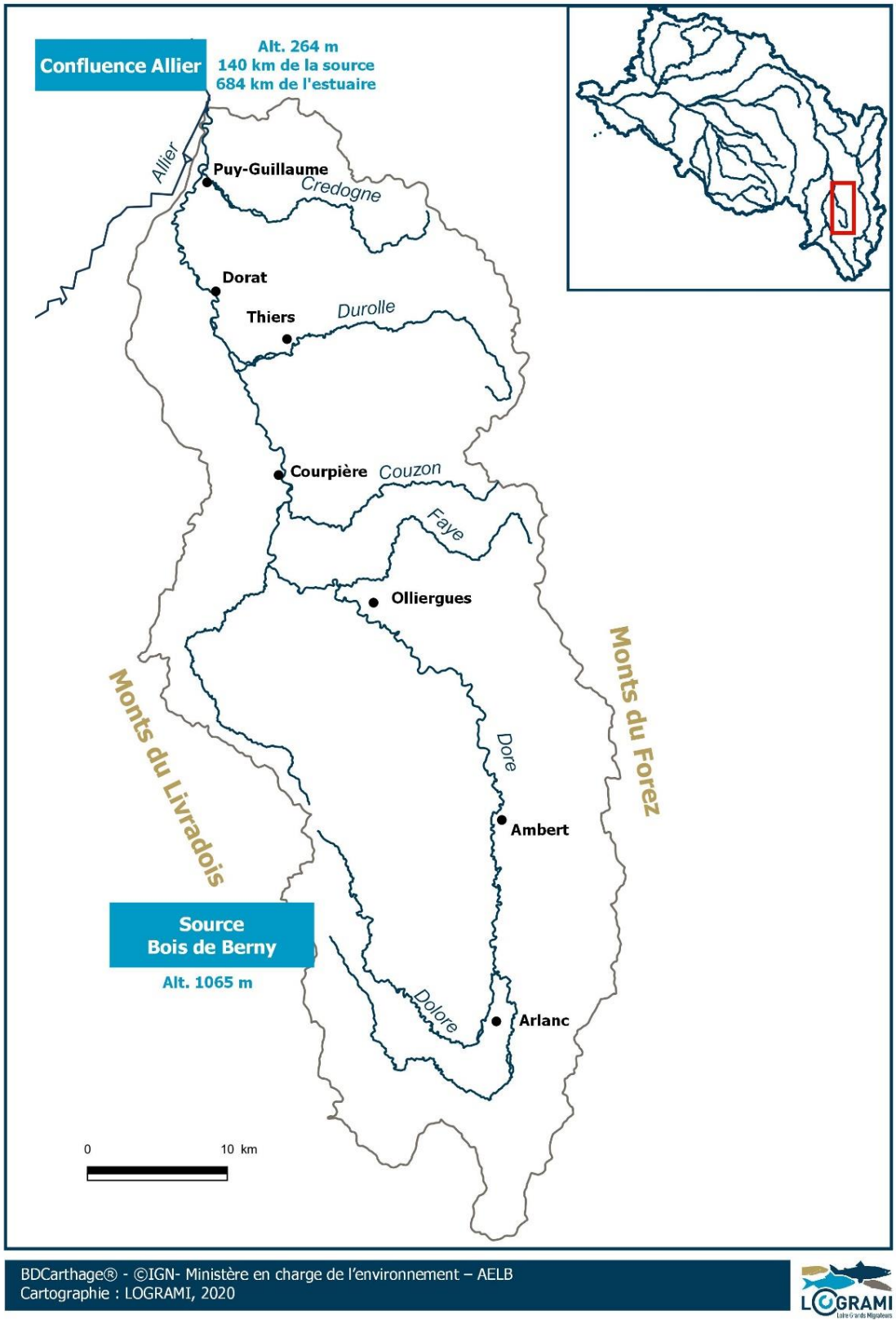


Figure 9 : Le bassin versant de la Dore

2.3. Contexte migratoire

D'après les données issues de la mise à jour de 2019 du Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement (ROE) réalisé par l'AFB, plus de 23 700 obstacles à l'écoulement ont été recensés sur le bassin de la Loire. Parmi eux, 1022 ouvrages étaient équipés de 1 ou plusieurs dispositif(s) de franchissement pisciaires.

Le pourcentage d'ouvrages équipés sur le bassin Loire est donc, à la date de mise à jour, d'environ 4 %. Une partie d'entre eux se situe sur les cours d'eau à migrateurs.

2.3.1. Allier

2.3.1.1 Franchissabilité des ouvrages et suivis

Après une lente dégradation de la transparence migratoire de l'axe principal du réseau ligérien entre 1970 et 1995, nous assistons aujourd'hui à un rétablissement très significatif des conditions de libre circulation pisciaire en Loire Moyenne. La restauration de l'axe central du réseau s'est améliorée en 2004 avec l'abaissement du barrage de Blois, premier ouvrage bloquant depuis la mer et situé à l'aval de St Laurent des Eaux. (STEINBACH, 2005). Avec un linéaire de près de 1000 km accessible au saumon depuis la mer, l'axe Loire-Allier est l'un des systèmes fluviaux le plus long pour une migration de reproduction.

Pour atteindre les zones potentielles de fraie, le saumon atlantique doit parcourir au minimum **765 km** (amont d'Issoire) et franchir 18 ouvrages (recensés et expertisés en 2005) dont 9 sur la Loire et 9 sur l'Allier (Annexe 2).

Pour atteindre l'amont de Langeac où se situent les frayères les plus productives de l'Allier, les poissons doivent parcourir 80 km de plus (soit 845 km) et franchir 10 barrages ou obstacles supplémentaires (dont 4 seuils de moins de 30 cm de chute, présents dans le Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement mais non expertisés en 2005) (soit 28 au total) (Figure 10).

Parmi les 23 obstacles depuis Vichy dans l'Allier jusqu'au seuil Rogleton en Lozère, 7 n'ont pas été expertisés en 2005 (Annexe 3), probablement en raison de leur très faible hauteur de chute. Aussi il convient de rajouter à cette liste, le seuil en enrochement de la centrale de Monistrol d'Allier absent de ce recensement et pourtant équipé d'un dispositif de franchissement, ce qui porte à 24 le nombre d'ouvrages sur l'Allier entre Vichy et la limite amont historique de colonisation du saumon. Ces ouvrages sont des barrages ou seuils, équipés pour la plupart de dispositifs de franchissement. Il s'agit principalement de seuils de prises d'eau pour des centrales hydroélectriques, de barrages de loisirs et de seuils de ponts apparus par creusement du lit ou réalisés pour la protection d'ouvrage. Tous les obstacles ont une chute à l'étiage inférieure à 4m excepté le barrage de Poutès.

En 2005, la majeures parties de ces ouvrages présentaient des classe de franchissabilité « favorables », puisque seuls 2 de ces ouvrages présentaient des classes de franchissabilité « franchissable mais avec risque de retard » (La Bageasse et St Etienne du Vigan) et 2 présentaient des classes « difficilement franchissable » (Vieille-Brioude et Poutès) (Figure 10).

Malgré tout, lors des opérations de radiopistages de géniteurs de saumons menées en 2006 (BACH *et al.*, 2008) et 2009 (BACH *et al.*, 2011), des difficultés ont été mise en évidence sur certains ouvrages. Individuellement les ouvrages de la Bageasse, Vielle-Brioude, Langeac et Poutès se sont révélés les plus retardant et / ou bloquant. Par ailleurs, l'accumulation d'ouvrages même expertisés comme « franchissables sans difficulté apparente » en 2005 sur le linéaire restreint de « Joze-Pont du Château » s'est révélée pénalisante.

Ainsi, depuis l'expertise de leur franchissabilité en 2005 et l'étude de 2009 jusqu'à la réalisation de cette étude en 2019, des aménagements en faveur de la restauration de la continuité écologique ont été réalisés sur certains de ces ouvrages sans pour autant que l'expertise de leur franchissabilité n'ait été mise à jour. Ainsi, la franchissabilité à la montaison des ouvrages suivants s'est très probablement améliorée depuis 2005 :

- seuil de l'A 89, arasement complet du seuil en 2017, dont l'évaluation est objet de l'étude initiale de VINCI Autoroute réalisée par SCIMABIO INTERFACE
- seuil des Madeleines, construction de bassins rustiques en 2016
- seuil de Pont du Château, arasement partiel et construction d'une rampe à macro-rugosité en 2013
- seuil de Vezezoux, arasement en 2013
- Complexe de Poutès –Monistrol augmentation du débit dans le tronçon court-circuité en 2012 (passage de 2,5 m^3/s à 4 ou 5 m^3/s)

Le suivi mis en place en 2019 porte sur 9 de ces ouvrages identifiés comme problématiques. Il devrait permettre de mettre à jour l'évaluation de leur franchissabilité.

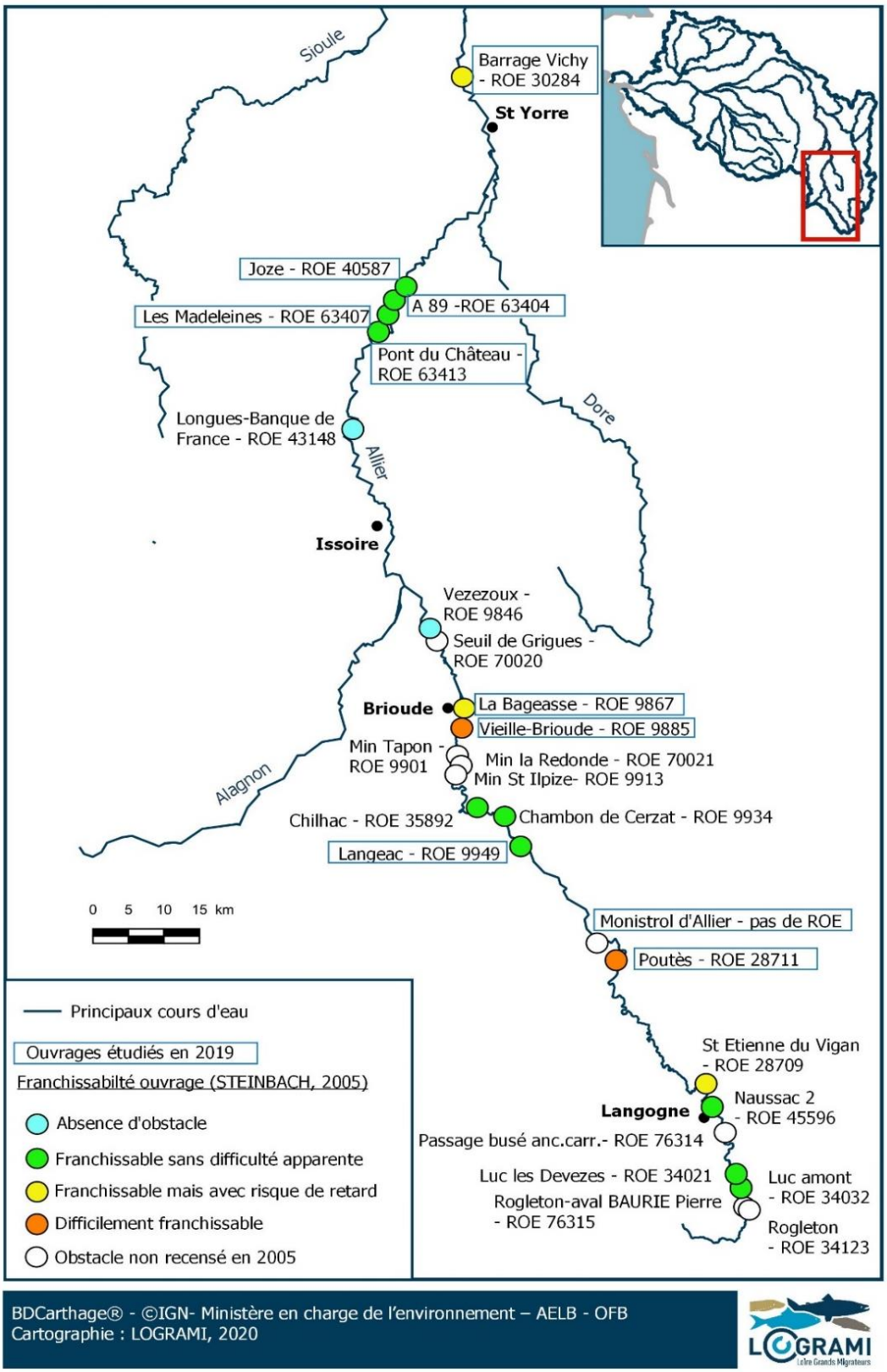


Figure 10 : Franchissabilité des ouvrages sur l'Allier en 2005 (STEINBACH, 2005) et ouvrages étudiés en 2019

2.3.1.2 Evolution historique du front de colonisation du saumon sur l'Allier

Une analyse de la répartition des frayères de saumon atlantique sur les 5 secteurs de l'Allier et sur 5 grandes périodes significatives (continuité migratoire et gestion) depuis 1938 a été réalisée à partir de l'ensemble des données « frayères saumons » mobilisables et exploitables (comptages à tendance exhaustive) (Figure 11).

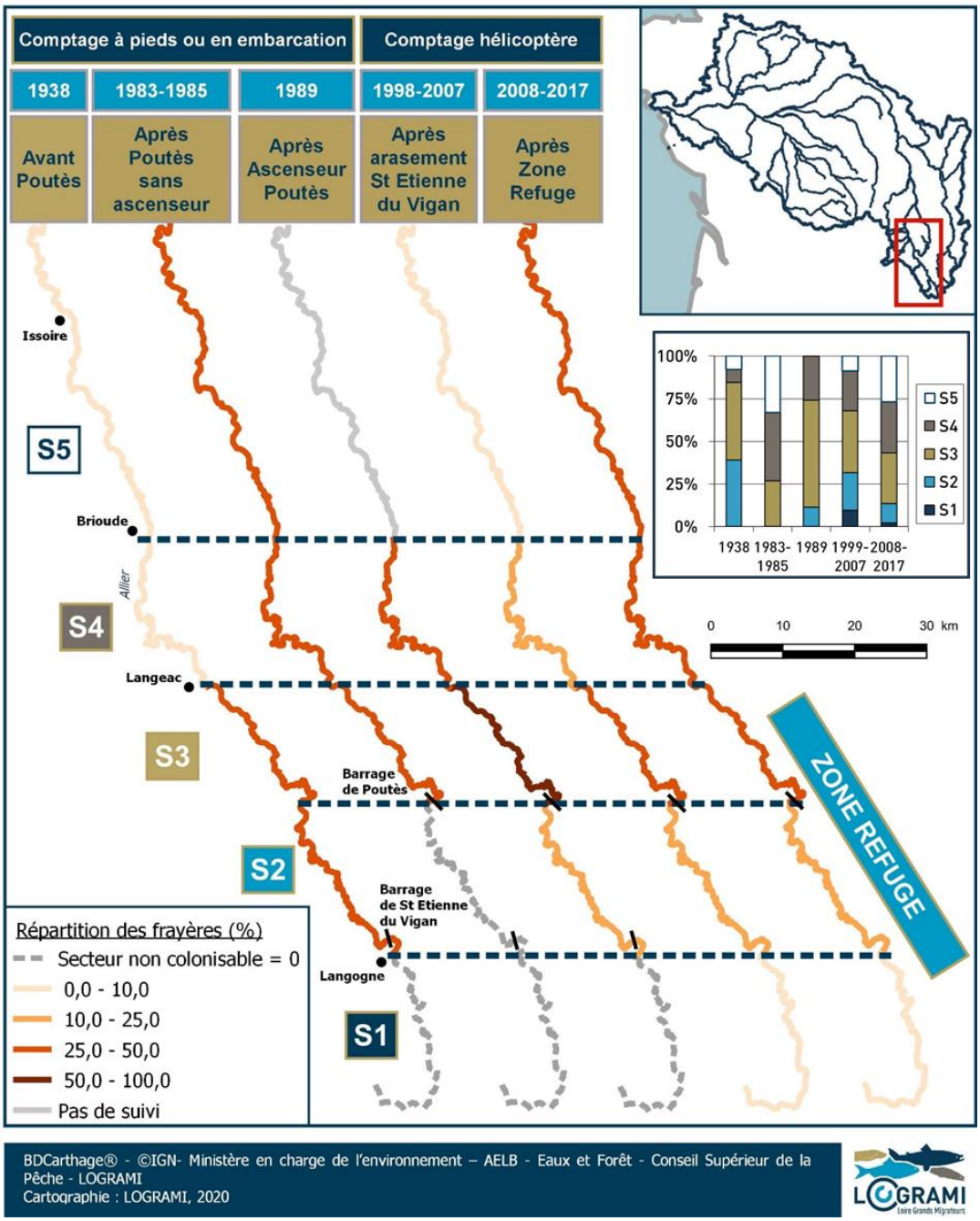


Figure 11 : Répartition moyenne des frayères de saumon atlantique sur les 5 secteurs de l'Allier sur 5 grandes périodes significatives (continuité migratoire et gestion) depuis 1938

Cinq grandes périodes ont été définies selon l'évolution de la continuité migratoire de l'axe Allier ainsi que de celle de la stratégie d'alevinage :

- **Avant 1941** et la construction du barrage de Poutès ;
- **Entre 1941 et 1985**, avant la construction et la mise en service de l'ascenseur à poissons du barrage de Poutès en 1986 ;
- **Entre 1986 et 1997**, après la mise en service de l'ascenseur de Poutès mais avant le démantèlement du barrage de St Etienne du Vigan en 1998 ;
- **Entre 1998 et 2007**, après le démantèlement du barrage de St Etienne du Vigan et période durant laquelle 66% des alevinages sont réalisés en amont de Langeac ;
- **Après 2008** et l'instauration de la « Zone Refuge » en amont de Langeac (secteurs S3, S2 et S1) sur laquelle les déversements d'alevins de pisciculture jusqu'alors pratiqués ont été proscrits.

La difficulté de l'exercice repose sur la rareté des comptages suffisamment exhaustifs afin d'en disposer d'au moins un pour une année de chaque période définie. Aussi quand plusieurs années de comptage sont disponibles, une moyenne interannuelle de la part de chaque secteur a alors été calculée.

Ainsi pour ces 5 grandes périodes, les comptages suivants ont été sélectionnés :

- **Avant 1941** = « comptage- enquête » des EAUX ET FORETS de **1938** et repris dans COHENDET (1993) ;
- **Entre 1941 et 1985** = moyenne des comptages du CONSEIL SUPERIEUR DE LA PECHE **1983 et 1985 ;**
- **Entre 1986 et 1997**, = comptage du CONSEIL SUPERIEUR DE LA PECHE **1989,** le seul comptage exhaustif de la période sur les secteurs S2, S3 et S4 mais malheureusement pas de suivi sur le secteur S5 ;
- **Entre 1998 et 2007** = moyenne par secteur calculée à partir des premiers comptages par hélicoptère réalisés par le CSP et LOGRAMI (1999-2001-2004-2005-2006-2007) ;
- **Après 2008** = moyenne par secteur calculée à partir des comptages par hélicoptère réalisés par LOGRAMI et l'ONEMA (2009-2012-2013-2015-2017).

L'analyse de la répartition des frayères de saumon atlantique sur les 5 secteurs de l'Allier et sur 5 grandes périodes significatives révèle que :

- **Avant 1941** et la construction du barrage de Poutès, l'enquête des EAUX ET FORETS de 1938 localise l'intégralité des frayères de saumons de l'Allier entre l'aval du barrage infranchissable de Saint Etienne du Vigan (amont du secteur S2), construit en 1898, et la limite départementale Haute-Loire/ Puy de Dôme (Milieu du secteur S5 = Brassac les Mines) mais que **la grande majorité de ces dernières était située sur les secteurs S3 et S2**.

- **Entre 1941 et 1985**, après la construction du barrage de Poutès et avant la construction et la mise en service de son ascenseur à poissons en 1986, les frayères étaient logiquement cantonnées à l'aval de cet ouvrage sur les secteurs S5, S4 et S3. Les contributions des secteurs aval S5 et S4 sont en augmentation par rapport à la période précédente. L'hydrologie très faible des automnes 1983 et 1985 durant lesquels les comptages caractérisant cette période ont été

réalisés sont très probablement à l'origine de cette importante contribution des secteurs aval S4 et S5.

- **Entre 1986 et 1997**, après la mise en service de l'ascenseur de Poutès mais avant le démantèlement du barrage de St Etienne du Vigan en 1998, le secteur S2 retrouve des frayères de saumons. Cependant, les deux secteurs en aval de l'ouvrage mais surtout celui immédiatement en aval (S3) présentent la majorité des frayères. L'absence de comptage en S5 pourrait toutefois augmenter artificiellement les contributions de ces deux secteurs.

- **Entre 1998 et 2007**, après le démantèlement du barrage de Saint Etienne du Vigan, des frayères de saumons sont observées en amont de Langogne (Secteur S1) après 100 ans d'absence ! Durant cette période, comme durant la précédente, le secteur S3 représente toujours la part la plus importante des frayères comptées. L'impact du barrage de Poutès sur l'accès à l'amont de l'axe Allier est indéniable malgré la construction de l'ascenseur. Durant cette période, la reproduction des saumons semble se répartir graduellement autour du secteur S3 puisque les contributions des secteurs S2 et S4 apparaissent comme secondaires et celles de S1 et S5 marginales.

- **Enfin, après 2008** et l'instauration de la « Zone Refuge » en amont de Langeac qui proscrit les déversements d'alevins de pisciculture en amont de Langeac au profit des secteurs plus aval S4 et S5, les contributions des secteurs aval S4 et S5 augmentent.

Comme le reflète la progression vers l'amont de leur front de colonisation depuis 34 ans, les saumons ont réagi positivement à toutes les mesures d'amélioration de la continuité migratoire de l'axe Allier entreprises à partir de 1986. L'ascenseur aménagé à Poutès en 1986 a montré qu'il était insuffisant pour garantir une colonisation conséquente vers l'amont. Aussi, l'aménagement de l'ouvrage de Poutès à venir réalisé notamment par une ouverture de 91 jours de l'ouvrage est susceptible de modifier la répartition des frayères vers l'amont par ce processus de colonisation naturelle déjà constaté.

Nous pourrions hâtivement penser que le changement dans la stratégie de gestion des déversements opérée en 2008 pourrait être à l'origine d'une plus ample exploitation, par les géniteurs de retour, des secteurs S4 et S5 au détriment des secteurs S3, S2 et S1 par effet de homing (Figure 11) mais il semblerait que ce soit plutôt lié à des conditions hydrologiques annuelles plus pénalisantes pour la migration des géniteurs lors de ces années de comptage sur cette période par rapport à celles observées sur la période 1998-2007. Cette relation « débit automnal/localisation des frayères » n'est pas un phénomène récent puisque lors des automnes secs de 1983 et 1985, 25 et 23 ans avant la définition de la « Zone Refuge », d'importantes proportions de frayères étaient déjà constatées sur le secteur S5.

2.3.2. Alagnon

Sur l'Alagnon, 28 obstacles pénalisants (Figure 12 et Annexe 4), barrages ou seuils, jalonnent actuellement l'axe de migration des saumons depuis la confluence avec l'Allier (Saut du Loup) jusqu'à Laveissière (un obstacle tous les 3 km en moyenne). Il s'agit principalement de seuils de prises d'eau pour des centrales hydroélectriques, de barrages de loisirs et de seuils de ponts apparus par creusement du lit ou réalisés pour la protection de l'ouvrage. Tous les obstacles ont une chute à l'étiage inférieure à 3 m, excepté le barrage de Chambezon (4,5 m). Les conditions de migration se sont

grandement améliorées ces dernières années avec l'équipement ou l'arasement de certains ouvrages situés sur la partie aval de l'axe dans le cadre du contrat de rivière Alagnon (radier du pont SNCF du Saut du Loup, Beaulieu, Grand Pont, Chambezon, Notre-Dame...).

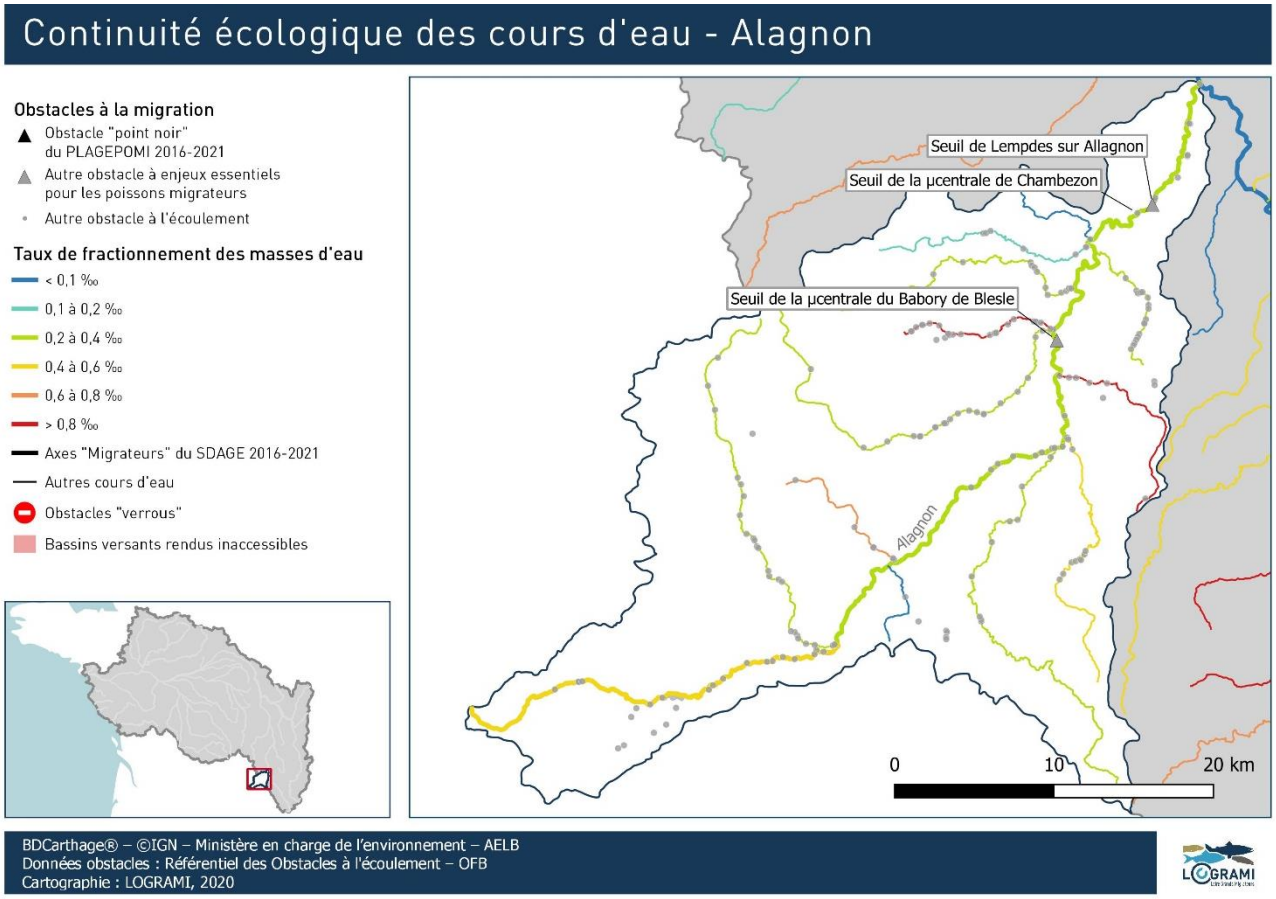


Figure 12 : Répartition et franchissabilité des ouvrages sur l'Alagnon

2.4. Échantillonnage de la population

2.4.1. Période de piégeage

En 2006, deux campagnes de piégeages ont été réalisées : l'une en Loire Moyenne aux environs d'Amboise et Saumur et l'autre sur l'Allier à Vichy. Les premiers piégeages et suivis de poissons radiomarqués ont donc débuté sur la Loire à partir du 27 avril 2006. La campagne de piégeage à Vichy a été réalisée du 3 au 17 mai 2006 (15 jours) (Tableau 1). À cette période, plus de 50 % de l'effectif annuel de saumons avaient déjà été comptabilisés à Vichy.

En 2009, la période de capture s'est échelonnée sur 39 jours, du 27 mars au 5 mai. À noter, qu'une alternance des semaines de captures a été réalisée avec le CNSS pour le piégeage de géniteurs destinés à la production d'alevins en pisciculture (semaine paire : LOGRAMI / semaine impaire : CNSS).

Tableau 1 : Période de piégeage des saumons en durant les 3 années de suivis

	Date	Durée de la période
2006	3 au 17 mai	15 jours
2009	27 mars au 5 mai	39 jours
2019	26 mars au 29 mai	65 jours

En 2019, le piégeage a été possible à partir de la semaine 13 (26 mars), après la vidange du plan d'eau (marron sur la Figure 13) car les passes à poissons (PAP) étaient fermées. A cette date, les effectifs en migration issus de la série chronologique à Vichy, montrent que 8 % de la population est déjà passée, soit l'estimation de 32 saumons (Figure 13) qui seraient passés durant l'abaissement des vannes.

Les captures ont été réalisées au maximum 2 jours par semaine. Le mercredi à partir de 18h (après la journée de piégeage du CNSS) et le jeudi.

La campagne de marquage s'est étendue du 26 mars au 29 mai, soit de la semaine 13 à la semaine 22. Après le 29 mai, une dernière semaine de piégeage était prévue, mais les températures étant supérieures à 18°C, valeur seuil définie par le comité d'éthique à partir de laquelle il n'était plus possible de marquer des poissons, SCIMABIO Interface n'a pas piégé.

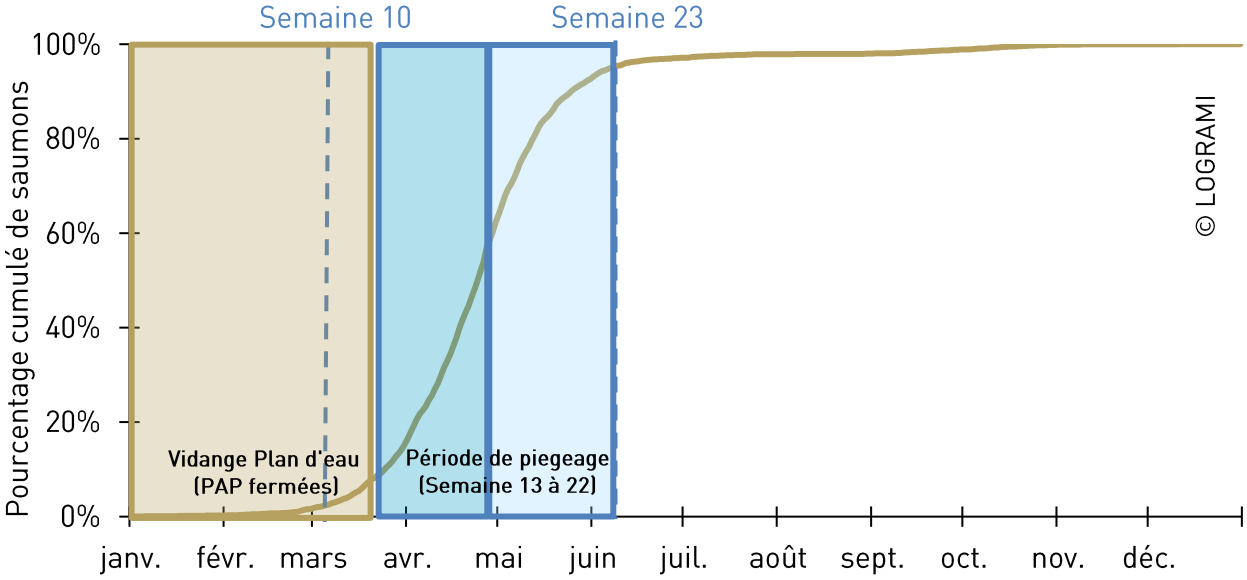


Figure 13 : Période de piégeage réalisé en 2019 et sur la dynamique migratoire moyenne à Vichy sur l'Allier pour la période 1997 – 2018

Pour les analyses comparatives, 2 sessions de marquage peuvent être différenciées par la L50. La première session (bleu foncé sur la Figure 13) correspond au début de la migration (entre 0 et 50 % de la migration). Cette période s'échelonne du 3 avril au 24 avril inclus. La deuxième session

de marquage (de 50 à 100 %, bleu clair sur la Figure 13) correspond aux poissons marqués à partir du 26 avril.

2.4.2. Piégeage des saumons

Les saumons ont été piégés de la même manière qu'en 2006 et 2009. Le principe consiste à utiliser un piège installé à la sortie de la passe à poissons située en rive droite du pont barrage (Figure 14). Les migrateurs, qui sont obligés d'emprunter la passe pour pouvoir franchir l'obstacle, se retrouvent ainsi piégés dans la cage, qui peut ensuite être soulevée à l'aide d'un palan électrique, puis manœuvrée manuellement par les opérateurs grâce à une potence.

Figure 14 : Piège mis en place à la sortie de la passe à poissons en rive droite du barrage de Vichy

Après la capture, les saumons sont transférés vers le bac de « stabulation » afin d'être marqués.

2.4.3. Marquage des saumons

Les techniciens de SCIMABIO Interface ont marqué les saumons selon le même protocole que celui suivi en 2006 et 2009 après avoir été formés par LOGRAMI en début de campagne de piégeage.

Avant le marquage, le saumon est préalablement endormi. Diverses mesures sont prises (longueur totale, longueur à la fourche et la longueur du maxillaire supérieur) et l'état général du saumon est également relevé (Annexe 5).

L'émetteur est ensuite introduit par voie intra-gastrique (Figure 15). Cette méthode reste à ce jour la moins traumatisante pour ce type de suivi (STASKO et PINCOCK, 1977). Puisque le saumon en migration génésique cesse en effet de s'alimenter.

Une fois le marquage terminé, le poisson est relâché de façon à ce qu'il reprenne volontairement sa migration après un court séjour dans une structure de réveil (cage immergée).

Figure 15 : Mesure du maxillaire supérieur (à gauche) et introduction de l'émetteur (à droite)

2.4.4. Matériels pour suivre la migration

2.4.4.1 Les émetteurs

Les émetteurs utilisés en 2019 sont de marque ATS® (même modèle qu'en 2006 et 2009) (Figure 16). La gamme de fréquence est comprise entre 49 MHz et 49,4 MHz. L'autonomie permet de couvrir toute la durée de l'étude (autour de 430 jours). L'option mortalité a, une nouvelle fois, été choisie : lorsque l'émetteur reste immobile pendant plus de 6 heures, le rythme d'émission se met à doubler, passant de 55 signaux par minute (ppm : pulsations par minute) à 110 ppm.

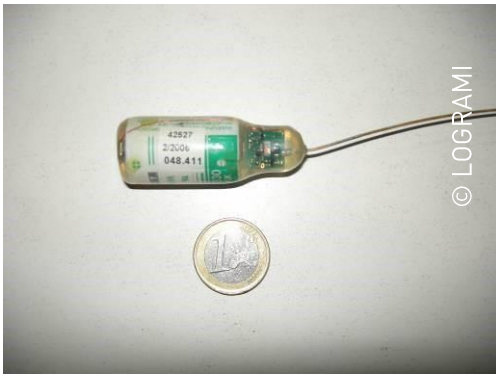


Figure 16 : Émetteur ATS®

Les émetteurs mesurent 50 mm de long pour un diamètre de 19 mm et un poids de 24 g soit moins d' 1 % du poids du poisson. D'après BARAS et PHILIPPART (1989), ce pourcentage est tout à fait acceptable car aucune réduction significative de flottabilité n'est observée lorsque le poids du dispositif de marquage ne dépasse pas 2 % du poids de l'animal. L'antenne de 30 cm de long est recouverte d'une gaine plastique.

2.4.4.2 Les récepteurs

Comme en 2006 et 2009, les récepteurs sont de marque ATS®. Les modèles 4500S, à la fois récepteurs et enregistreurs, sont principalement utilisés pour les suivis fixes au niveau des ouvrages alors que les récepteurs 2100 plus anciens sont utilisés pour le suivi mobile (Figure 17).

Figure 17 : Récepteur 2100 (à gauche) et récepteur-enregistreur 4500S (à droite)

2.4.4.3 Les antennes

Les antennes utilisées pour la localisation des poissons **sont les mêmes que celles des études 2006 et 2009**. L'antenne fouet ou toit (Figure 18 A) se fixe sur la voiture (portée de 500 m à 1 km en fonction de la topographie du milieu). L'antenne boucle est utilisée sur tous les postes fixes mais aussi pour les localisations précises à pied (Figure 18 B). L'antenne dite boucle immergée, permet de localiser précisément les émetteurs, notamment lors de la recherche des poissons morts (Figure 18 C).

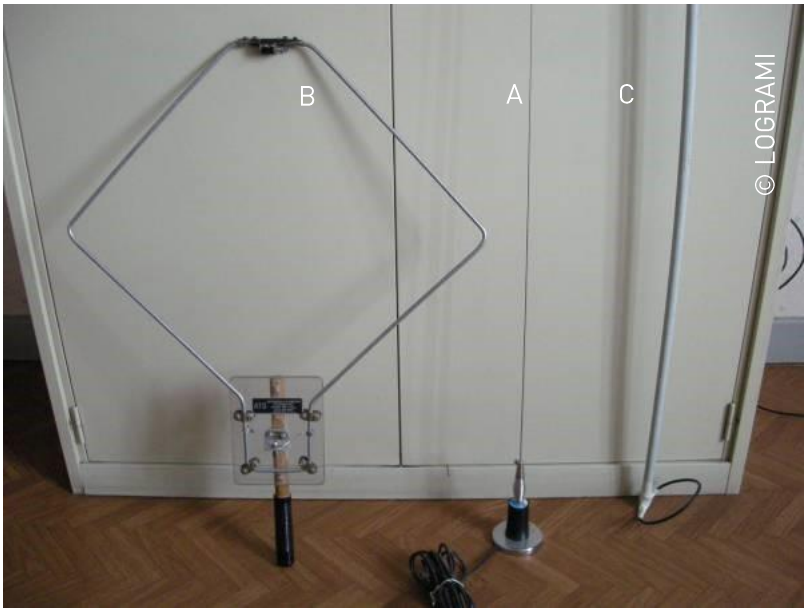


Figure 18 : Les différentes antennes

2.4.4.4 Suivis des déplacements des poissons

Dans un premier temps, le suivi se réalise en voiture avec un récepteur relié à une antenne fouet. Il permet une recherche rapide des poissons en parcourant en voiture les bords du cours d'eau dans lequel le poisson est recherché. Puis, si nécessaire ou quand cela est possible, la recherche est affinée à pied, en utilisant la méthode de biangulation (Figure 19) avec une antenne boucle reliée au récepteur ou avec une antenne boucle immergée pour une localisation plus précise (cas de recherche d'individu mort ou d'émetteur en double bip).

Figure 19 : Localisations de saumons radiomarqués par biangulation dans le Haut-Allier

3. Les conditions environnementales de 2019

La migration anadrome des saumons vers les frayères est influencée par plusieurs paramètres environnementaux. Parmi ceux-ci, les facteurs température de l'eau et débit de la rivière jouent un rôle important. Ces deux paramètres ont donc été mesurés, à différents points du bassin, afin de définir les conditions de migrations des géniteurs lors de leurs déplacements vers les zones de reproduction.

3.1. Les débits

Les débits peuvent avoir une influence sur le franchissement de certains ouvrages. Ils peuvent rendre plus ou moins attractifs les bras court-circuités et ils peuvent influer sur l'attractivité des dispositifs de franchissements, notamment les passes à ralentisseurs, en limitant leur débit d'alimentation ou en masquant leur entrée lors de déversements importants à proximité de la passe (CHANSEAU et LARINIER, 1999). **Ces débits peuvent également influer sur les vitesses de progression des poissons en amont de Vichy.**

Les débits moyens journaliers du bassin de la Loire sont fournis par la banque nationale de données sur l'hydrométrie et l'hydrologie (www.hydro.eaufrance.fr).

3.1.1. L'Allier à Saint-Yorre

Durant la migration printanière, en 2006, 4 pics de débit supérieurs à 200 m^3/s avaient été enregistrés entre mars et mai avec un maximum le 11 avril de 428 m^3/s (Figure 20).

En 2009, au cours de cette période, deux épisodes de crue étaient à signaler. La première est survenue fin janvier (25 janvier 2009) et a atteint un débit moyen journalier maximal de 348 m^3/s. Suite à cet épisode qui s'était terminé fin février, les débits avait chuté progressivement jusqu'à des valeurs avoisinant le module de la rivière. A partir du 13 avril, les débits avaient ré-augmenté et étaient restés supérieurs aux moyennes mensuelles de référence (sauf pendant une courte période de baisse des débits). Un pic de crue avait été enregistré le 27 avril pour un débit de 391 m^3/s.

Les conditions hydrologiques migratoires ont été très différentes en 2019 puisqu'aucun pic de débit n'a en effet dépassé les 200 m^3/s (un seul pic avec près de 150 m^3/s fin avril).

Les conditions de débits en automne sont radicalement différentes, voire quasiment opposées à celles du printemps. En 2006 et 2009, 1 seul pic de débit avait été enregistré fin octobre, alors qu'en 2019, 3 crues sont enregistrées. La première crue est la plus importante de l'année. Elle a eu lieu entre le 24 novembre et le 7 décembre avec un pic de crue journalier atteignant 495 m^3/s le 25 novembre. **Cette crue sur l'Allier est principalement due aux fortes pluies sur la tête de bassin de l'Allier (épisode Cévenol), les affluents ont peu participé à cette forte et rapide augmentation de débit** (Dore 26 m^3/s et Alagnon 44 m^3/s). La deuxième crue, de moindre intensité, survient entre le 13 et le 18 décembre. Le débit moyen journalier maximal est atteint le 15 décembre avec 315 m^3/s. La troisième crue a eu lieu entre le 20 et le 31 décembre avec un pic journalier atteignant 430 m^3/s le 24 décembre.

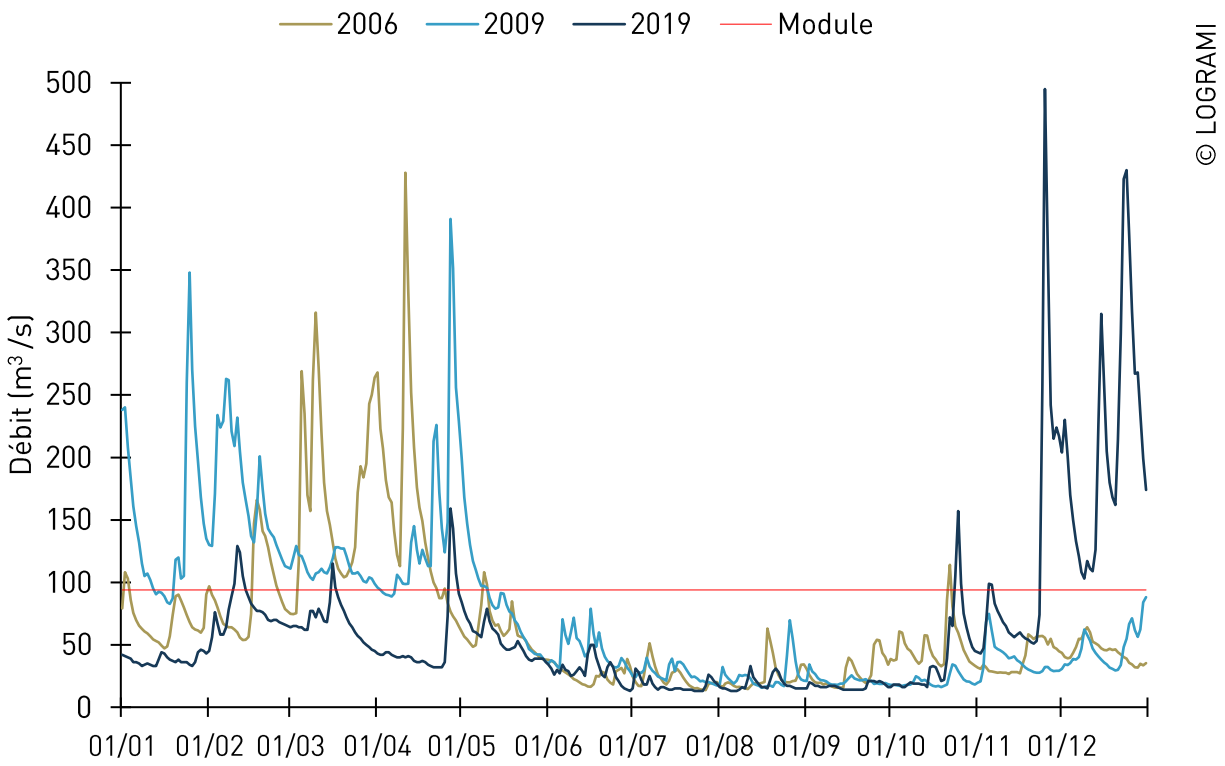


Figure 20 : Débits de l'Allier à Saint-Yorre en 2006, 2009 et 2019

3.1.2. L'Allier à Prades

Sur le haut du bassin, au printemps, sur les 3 années de suivis, aucune crue ne dépassait les 110 m³/s. En 2019, un pic de 104 m³/s avait cependant été enregistré fin avril (Figure 21).

En 2019, avec seulement deux épisodes d'augmentation de débit dont un seul significatif (104 m³/s le 26 avril) les conditions hydrologiques de migration au printemps ont été moins favorables qu'en 2006 et 2009.

Les conditions de migration à l'automne sont quasiment identiques à celle de Saint-Yorre. En 2006 et 2009, un unique pic de débit fin octobre. En 2019, trois pics de crues principales supérieures au module (27 m³/s) sont distinguables, le 24 octobre (90 m³/s), le 23 novembre (331 m³/s) (cette augmentation de forte intensité correspond à une crue biennale) et le 22 décembre (114 m³/s).

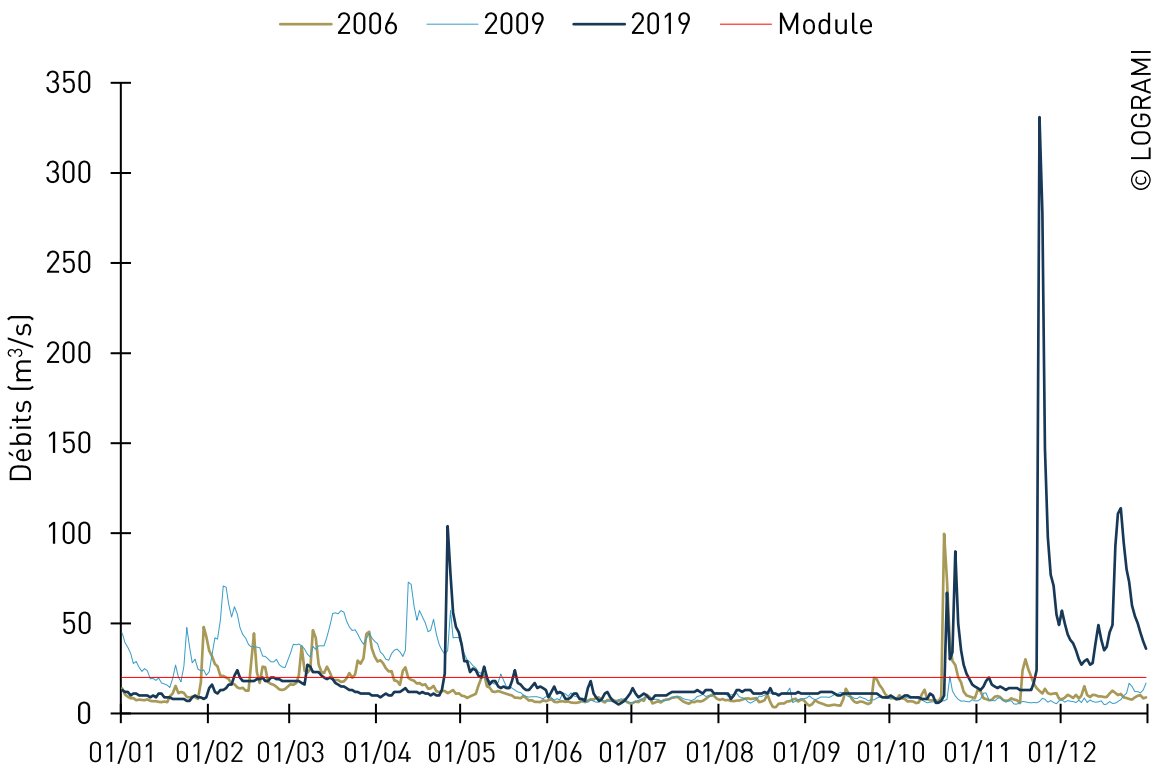


Figure 21 : Débits de l'Allier à Prades en 2006, 2009 et 2019

3.1.3. L'Alagnon à Lempdes sur Alagnon

Contrairement aux suivis de 2006 et 2009 où l'Alagnon avait été attractif pour les saumons avec des débits importants, notamment au printemps, il semblerait qu'en 2019, les conditions de débit soient plus défavorables (Figure 22).

À l'automne 2019, les premières augmentations significatives pouvant avoir un effet attractifs sur les géniteurs de saumon interviennent début et fin novembre. Plus tardivement, comme pour l'Allier, nous enregistrons des pics de crues en fin d'année 2019 qui dépassent les 100 m³/s. En 2006 et 2009, les débits automnaux n'avaient pas dépassé les 30 m³/s.

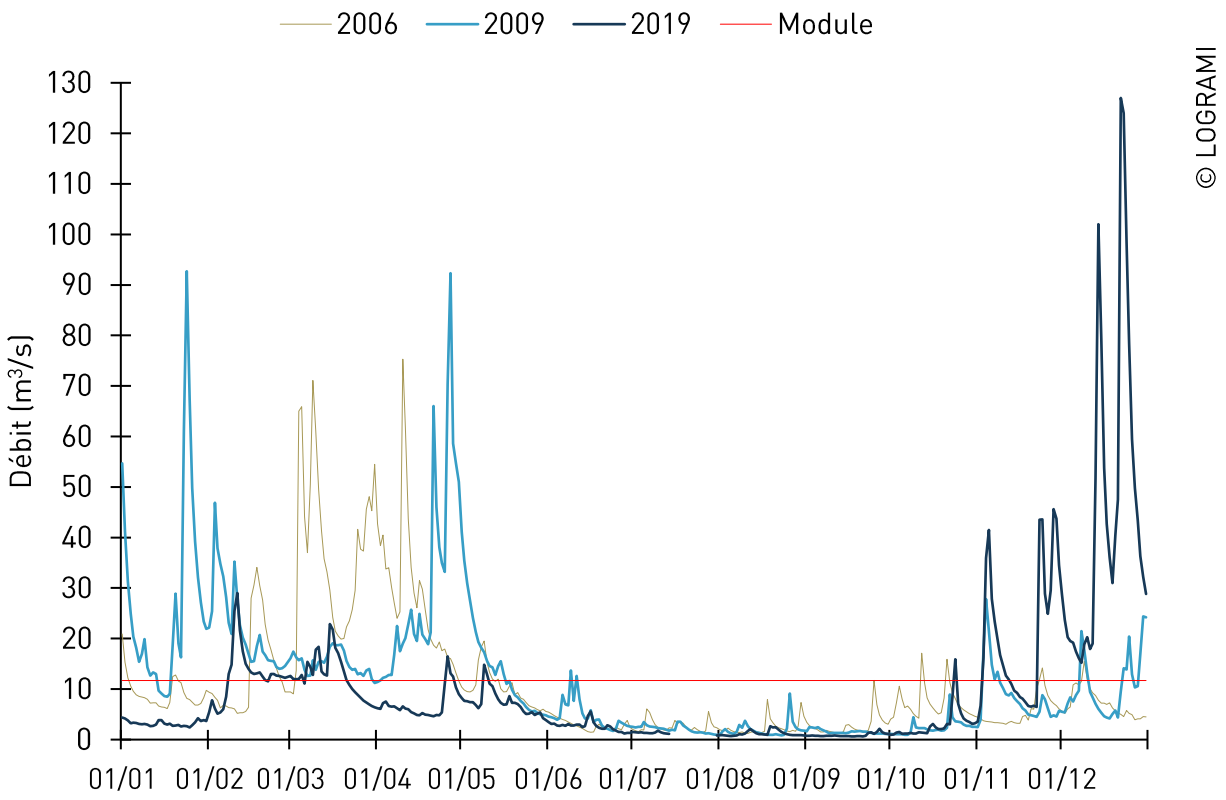


Figure 22 : Débits de l'Alagnon à Lempdes sur Alagnon en 2006, 2009 et 2019

3.1.4. La Dore à Dorat

Sur la Dore à Dorat, au printemps, sur les 3 années de suivis, la majorité des augmentations de débit ne dépassaient pas les 60 m³/s, excepté en 2006 avec 110 m³/s début avril (Figure 23).

En 2019, avec seulement deux épisodes d'augmentation de débit (37 m³/s le 15 mars et 32,5 m³/s le 26 avril) les conditions hydrologiques de migration au printemps ont été moins favorables qu'en 2006 et 2009.

À l'automne 2019, les premières augmentations significatives pouvant avoir un effet attractifs sur les géniteurs de saumon interviennent début et fin octobre. Plus tardivement, comme pour l'Allier, nous enregistrons des pics de crues en fin d'année 2019 dont un qui dépassé les 60 m³/s. En 2006 et 2009, les débits automnaux n'avaient pas dépassé les 25 m³/s.

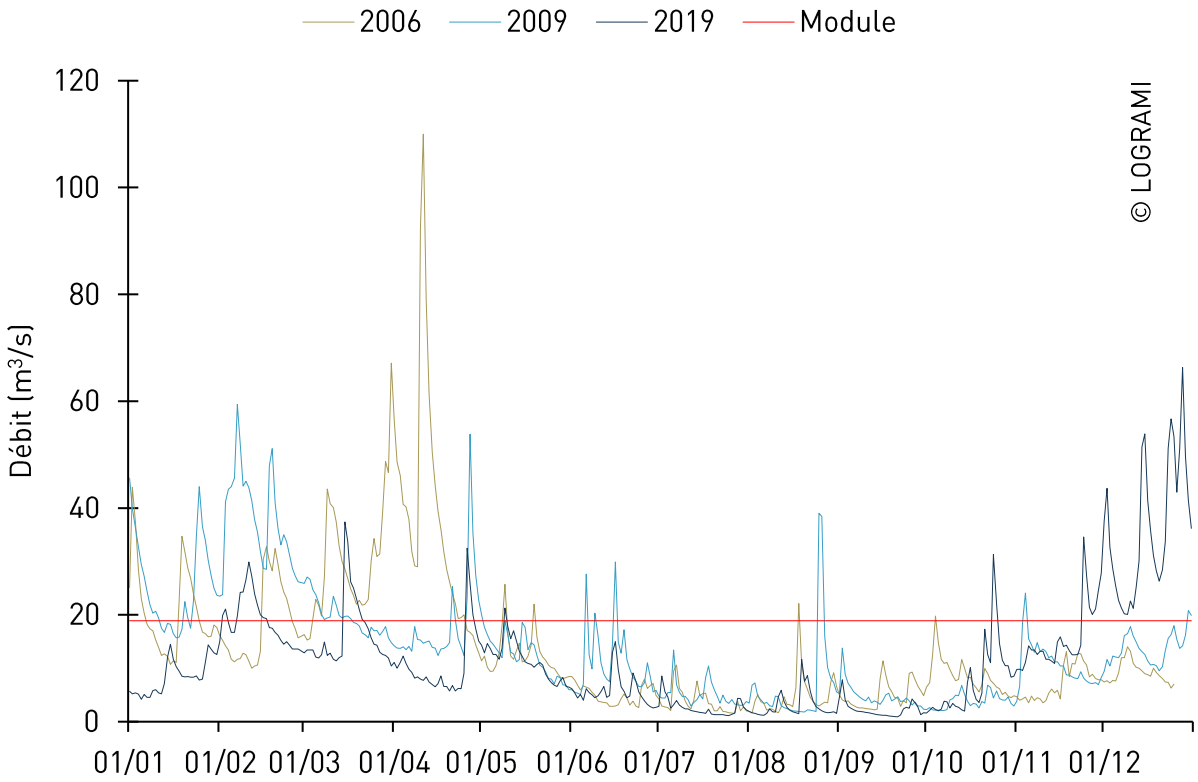


Figure 23 : Débits de la Dore à Dorat en 2006, 2009 et 2019

3.1.5. Indices hydrologiques de l'Allier à Saint-Yorre

La période de migration printanière s'étale de janvier à juin, l'indice hydrologique a donc été calculé sur cette période de 6 mois. L'arrêt estival a été calculé sur une période de 2 mois, juillet et août. L'indice hydrologique pour la période de dévalaison a été calculé sur les 3 derniers mois de l'année. La période de dévalaison des ravalés a été calculé de décembre jusqu'au mois de mars l'année suivante.

3.1.5.1 Pendant la migration printanière

En 2006, le printemps a été sec, mais dans des proportions moindres qu'en 2019. En 2009, le printemps a été dans la moyenne avec un léger déficit en eau comparé à la moyenne historique (Figure 24).

Les conditions de migrations au printemps ont été très défavorables pour les saumons de 2019. **Le printemps de 2019 a été très sec avec peu d'eau dans la rivière. Ce printemps est le plus sec depuis 1997 avec celui de 2002 et 2011.**

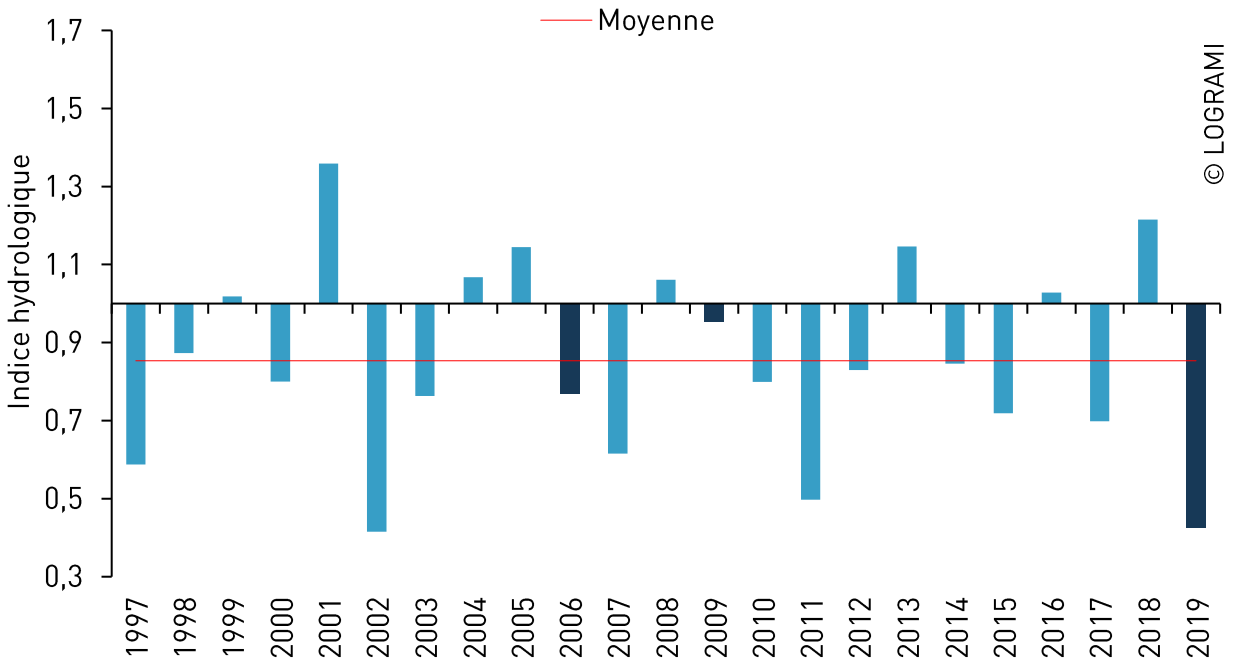


Figure 24 : Indices hydrologiques pendant la période de migration des saumons (janvier à juin) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE)

3.1.5.2 Pendant l'arrêt estival (étiage)

Pendant l'arrêt estival des saumons, l'étiage 2019 a été l'étiage le plus sévère enregistré depuis 1997.

En 2006 et 2009, les étés avaient aussi été secs mais dans des proportions moindres que 2019 (Figure 25).

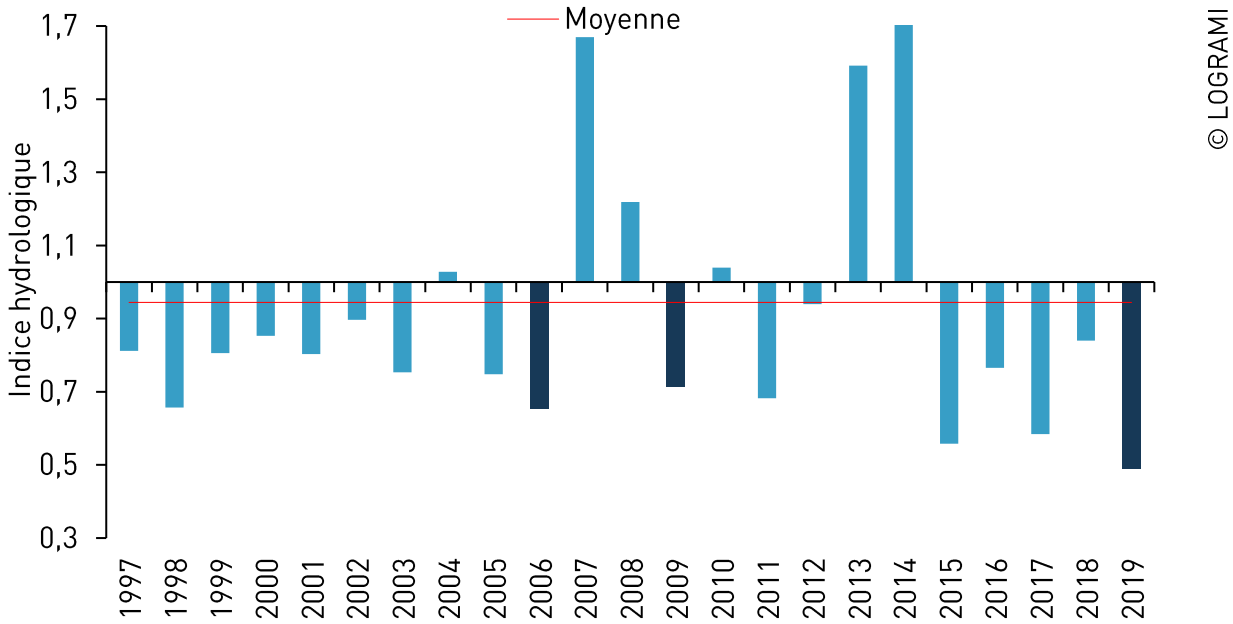


Figure 25 : Indices hydrologiques pendant l'arrêt estival des saumons (juillet à août) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE)

3.1.5.3 Pendant la migration automnale de montaison

L'automne 2019 a été pluvieux avec 2 crues majeures en fin d'année. En 2006 et 2009, l'automne avait été plutôt sec et même très sec pour 2009 (Figure 26).

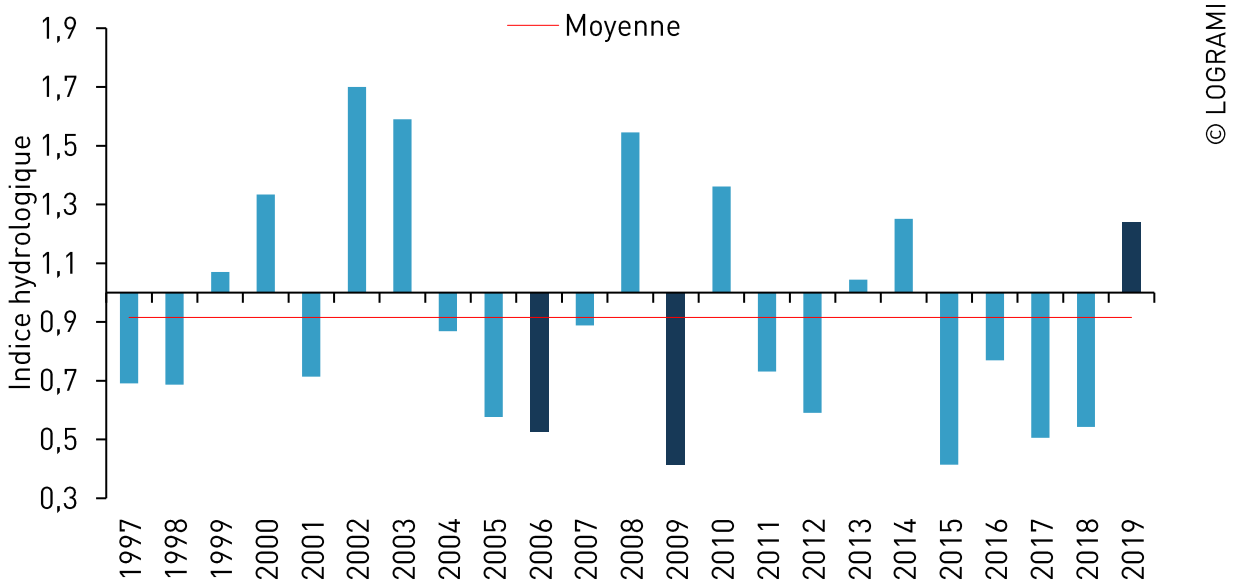


Figure 26 : Indices hydrologiques pendant la montaison automnales des saumons (septembre à décembre) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE)

En 2006 et 2009, les conditions de migrations ont été plutôt défavorables pour les saumons que ce soit au printemps et à l'automne.

3.1.5.4 Pendant la dévalaison des ravalés

La période 2019-2020 se situe proche de la moyenne (IH = 0,93), avec un hiver plutôt sec. (Figure 27). **Cependant, de décembre à janvier, l'indice hydrologique était de 1,29 traduisant un début d'hiver plutôt humide** (Annexe 6) contrairement à la fin de la période (février à mars) plutôt sèche avec un indice hydrologique de 0,57.

En 2006 et 2009, les hivers avaient été plus secs.

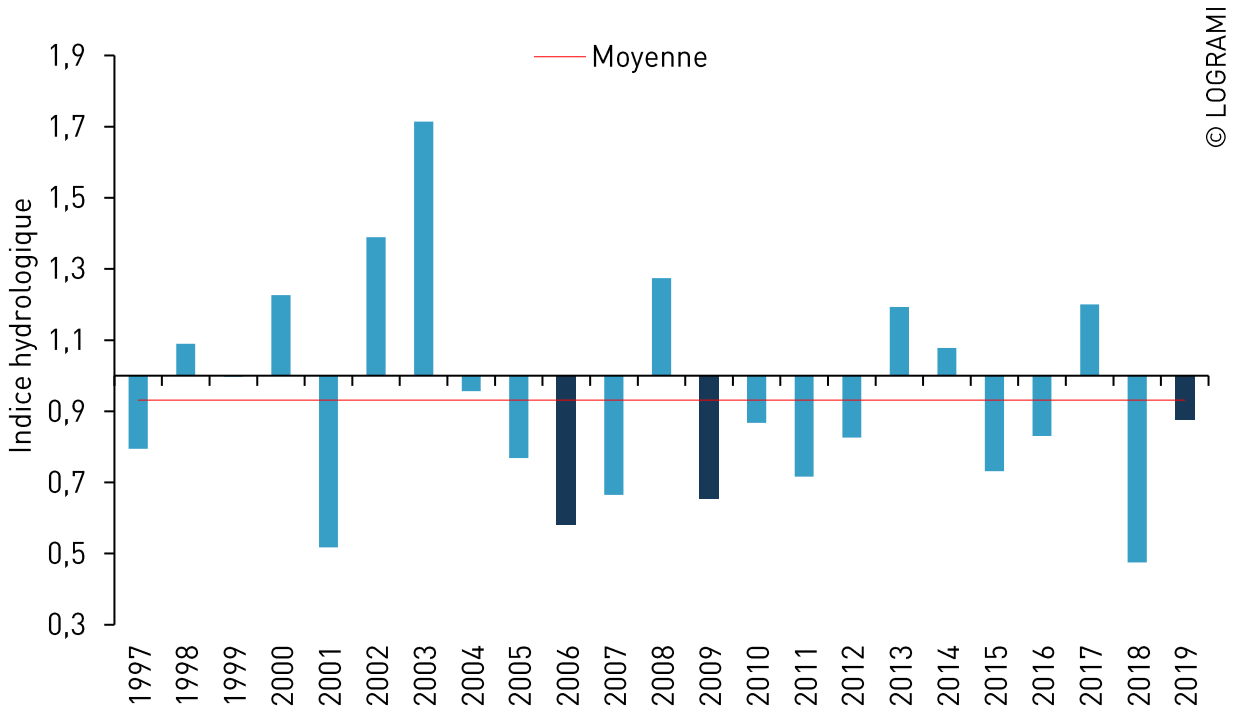


Figure 27 : Indices hydrologiques pendant la dévalaison des ravalés (décembre année N à mars années N+1) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE)

En conclusion, l'année 2019 a été très atypique. Depuis 1997, ce fut le printemps et l'été les plus secs jamais enregistrés. A l'inverse l'automne a été plutôt humide. Les conditions de migrations au printemps ont donc été très défavorables pour le saumon mais le début de la période de dévalaison pour les ravalés été favorisé par une hydrologie nettement au-dessus de la moyenne.

3.2. La température de l'eau

La température de l'eau influence de nombreux mécanismes biotiques chez le saumon atlantique tels que la migration et la reproduction. Tout comme le débit, elle influence donc l'activité migratoire (THIOULOUSE, 1972 et AGENCE DE L'EAU ADOUR GARONNE, 2018) (Tableau 2) mais elle peut aussi à partir de 25° C, en lien avec la diminution de la concentration en oxygène dissous, provoquer la mort des saumons (MILLS, 1991 ; COHENDET, 1993 ; CRISP, 1993). La température de l'eau pendant la période d'étiage peut ainsi être une cause de mortalités des saumons.

Tableau 2 : Préférendum de températures pour la migration du saumon atlantique (AEAG, 2018)

Activité migratoire selon THIOULOUSE, 1972	Température en °C	Activité migratoire et mortalité selon AEAG, 2018
	0	Pas d'activité migratoire
	1	
Pas ou peu de remontée	2	
	3	
Montées lentes, capacités de déplacement limitées	4	Migration limitée
	5	
	6	
	7	
	8	
Activité migratoire intense	9	
	10	Préférendum migration
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	
	17	
Montées hésitantes	18	
	19	
Pas de montées	20	
	21	Migration limitée
	22	
	23	
	24	
	25	Risque de mortalité
	26	
	27	
	28	
	29	
	30	

Sur le bassin de la Loire, la température de l'eau est enregistrée toutes les heures à différents endroits du bassin grâce à un réseau d'enregistreurs thermiques de LOGRAMI (Hobo® Pendant UA-001). Ce réseau est mis en place depuis plusieurs années avec une répartition des sondes le long des axes afin

d'obtenir des références thermiques stratifiées par grand secteur de répartition des saumons. L'emplacement des enregistreurs est également choisi pour ses propriétés indicatrices (zone toujours en eau) et pratiques pour la récolte des données (profondeur inférieure à 1,5 mètre, site facile à retrouver…).

7 sondes de ce réseau, 5 sur l'Allier, une sur la Dore et une sur l'Alagnon ont été utilisées pour caractériser les conditions de migration des géniteurs radiopistés en 2019 sur le bassin de l'Allier en amont de Vichy (Figure 28)

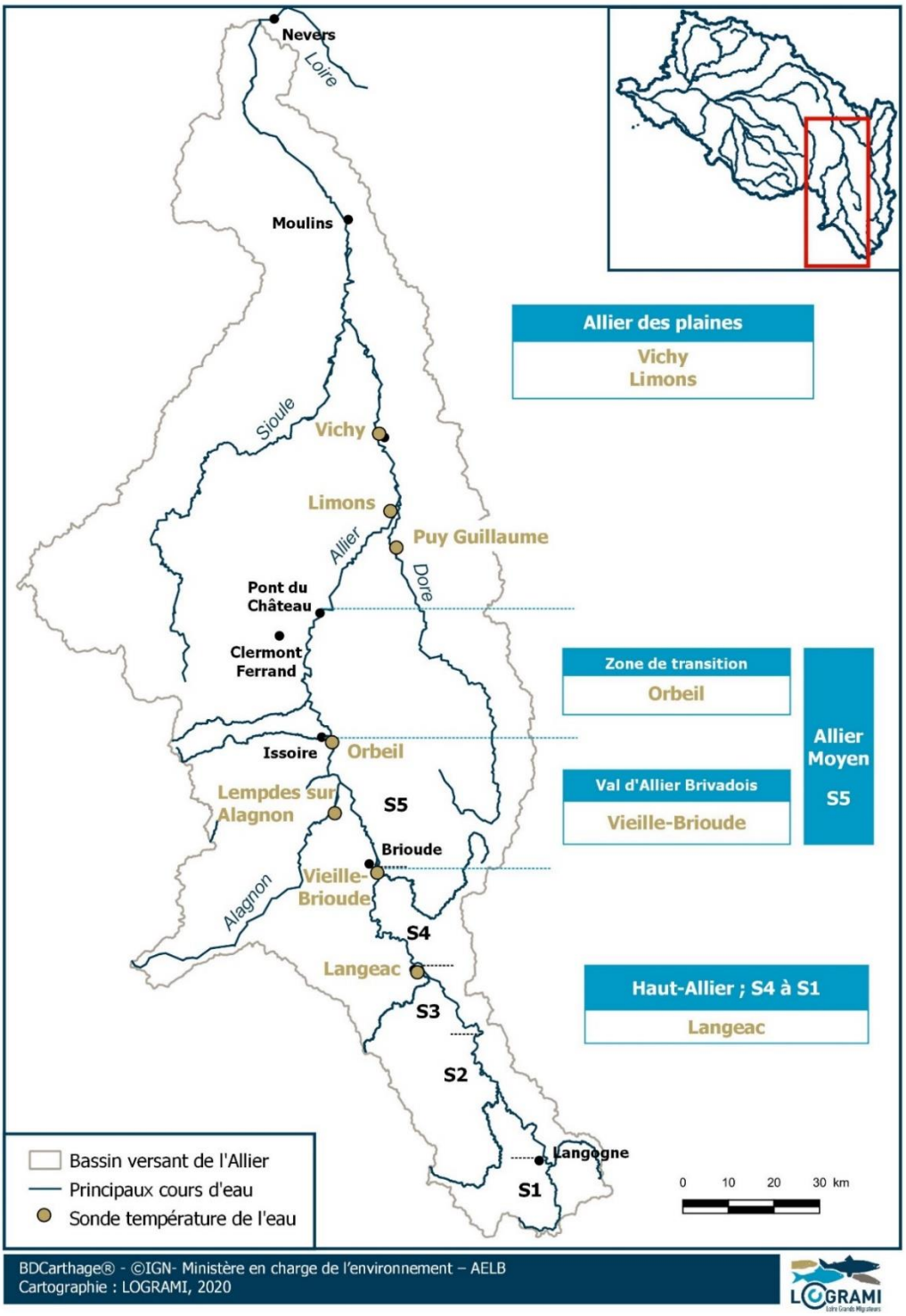


Figure 28 : Localisation des sondes enregistreuses de la température de l'eau utilisées pour caractériser les conditions de migration des géniteurs radiopistés en 2019 sur le bassin de l'Allier en amont de Vichy

3.2.1. Températures de l'Allier selon les secteurs morphologiques

Les conditions thermiques de l'Allier des plaines, de l'Allier moyen et du Haut-Allier peuvent être caractérisées grâce à 3 sondes températures localisées respectivement à Limons (63), Orbeil (63) et Langeac (43). La comparaison avec 2006 et 2009 n'est pas possible sur ces sites car ils ne disposaient pas de sonde lors de ces deux études.

A Limons, dans l'Allier des plaines, la témpérature journalière en 2019 a dépassé le seuil létal de 25 °C pendant 25 jours (30 jours à Vichy) avec 2 principales périodes, une de 14 jours consécutifs du 26 juin au 9 juillet avec un maximum de 28,65 °C le 30 juin et une seconde de 6 jours mi-juillet (Figure 29).

Ce seuil a été dépassé durant 8 jours sur l'Allier moyen à Orbeil, du 28 juin au 1er juillet, le 5 juillet et du 23 au 25 juillet.

Ce seuil n'a pas été atteint sur le Haut-Allier (Langeac).

Au mois de juillet 2019, la température moyenne a été de 25,2 °C dans l'Allier des plaines, 23,2 °C dans l'Allier moyen et de 19,8 °C dans le Haut-Allier (Figure 29).

Le « classique » gradient de diminution de la température de l'eau depuis l'aval vers l'amont et le différentiel de survie estivale des saumons qu'il implique est donc observé en 2019.

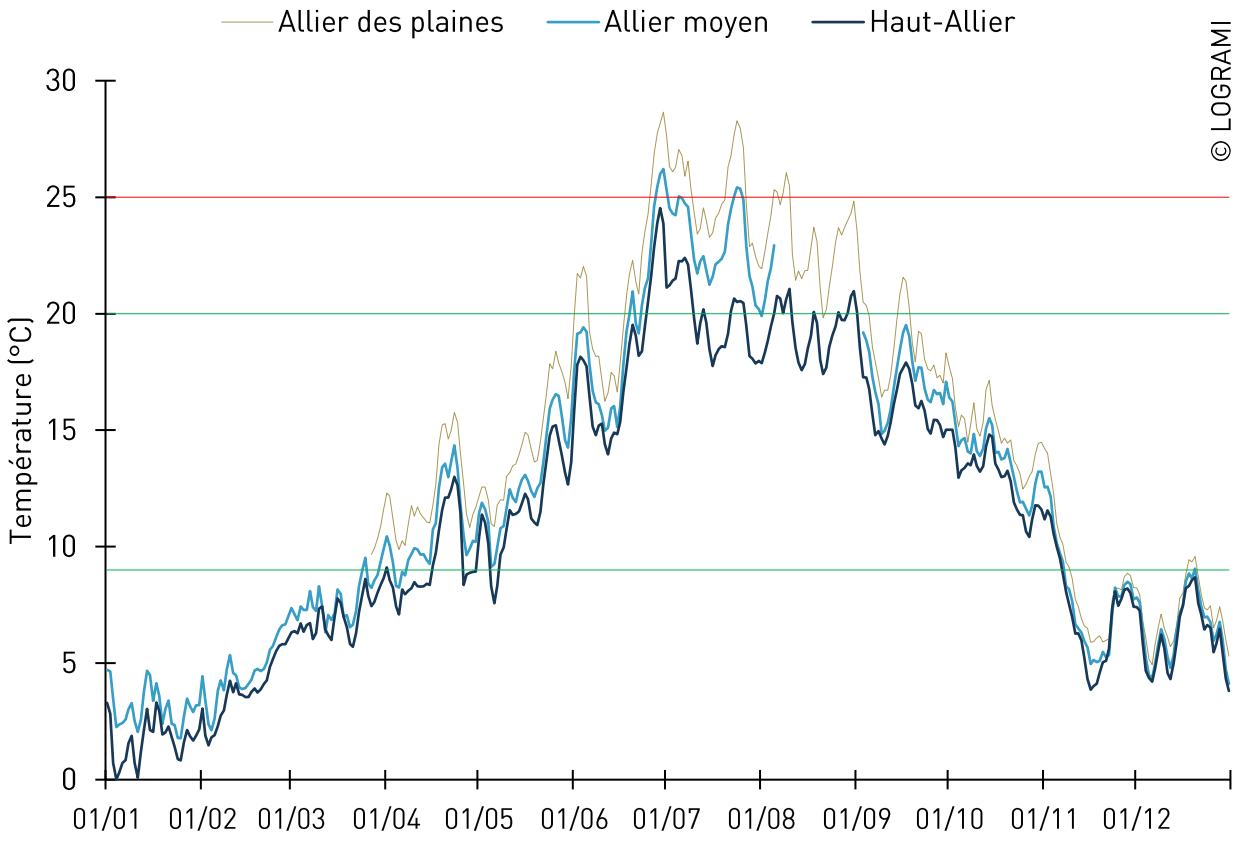


Figure 29 : Températures à Limons (Allier des plaines), Orbeil (Allier moyen) et Langeac (Haut-Allier) en 2019 (Sources LOGRAMI)

3.2.2. Température de l'Allier à Vichy

Une sonde température est implantée à Vichy depuis 1998. La caractérisation des années de suivi radiopistage 2006, 2009 et 2019 par rapport aux moyennes historiques ainsi que la comparaison entre les années de suivi sont donc possibles.

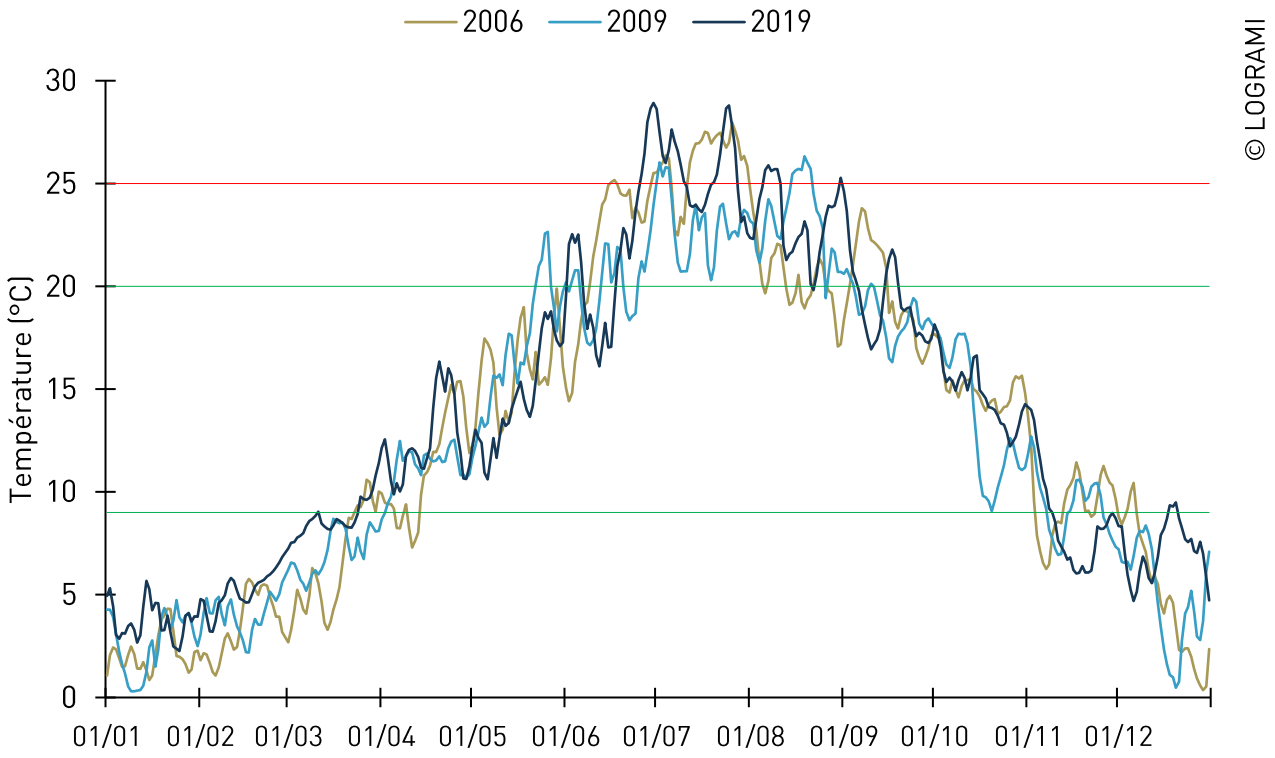


Figure 30 : Températures à Vichy en 2006, 2009 et 2019

Tableau 3 : Ecarts de températures (°C) entre les valeurs moyennes mensuelles et par saison en 2006, 2009 et 2019 et les valeurs de référence par mois et saisons à Vichy (1998 à 2019 (Sources LOGRAMI)

	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
2006	-2,2	-1,1	-1,3	-0,7	0,3	1,9	3,7	-1,7	1,5	1,7	1,3	-0,1
2009	-1,7	-0,6	-0,7	-0,6	1,4	0,0	0,5	1,3	0,5	0,4	1,1	-0,2
2019	-0,7	0,5	0,9	0,6	-1,0	1,3	3,2	1,2	1,0	1,3	0,5	2,1

<-2		Température nettement inférieure
-2<Δt<-1		Température inférieure
<-1<Δt<1		Température similaire
<1<Δt<2		Température supérieure
Δt>2		Température nettement supérieure

3.2.2.1 Pendant la migration printanière

D'un point de vue thermique, la durée de la période favorable à la migration printanière a été calculée pour chaque année de suivi radiopistage. Elle correspond à la période durant laquelle la température de l'eau est comprise entre 9 et 20°C (minimum et maximum de la bibliographie).

En 2006, au regard des moyennes historiques, avec un début de printemps plutôt frais et un mois de juin chaud, la période favorable à la migration printanière a duré 72 jours repartis sur 2 périodes, du 22 mars au 5 avril et du 14 avril au 9 juin.

En 2009, avec un début de printemps plutôt moyen-frais et un mois de mai chaud entrainant la précocité de l'atteinte du seuil des 20°C, la période favorable à la migration printanière a seulement duré 50 jours entre le 2 avril et le 22 mai.

En 2019, avec un début de printemps plutôt moyen-chaud, un mois de mai frais et un moins de juin chaud, la période favorable à la migration printanière a duré 71 jours repartis sur 2 périodes, le 11 mars (1 jour) et du 25 mars au 2 juin.

Les conditions thermiques de la migration printanière 2019 à Vichy s'apparentent donc à celles de 2006.

3.2.2.2 Fin de migration printanière-arrêt estival et risque de mortalité

À Vichy, en 2006 et 2009, les températures moyennes du mois de juillet étaient respectivement de 26,1 °C +/-1,5 et de 23 °C +/- 1,6 (Figure 30). En 2019, elle s'est élevée à 25,6 °C +/- 1,7. Le mois de juillet 2006 s'apparente à celui de 2019 mais cette ressemblance n'est pas significative (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,222).

En 2006, le seuil des 25 °C a été atteint le 16 juin encore plus rapidement qu'en 2019.

En 2009, la moyenne journalière de 25 °C n'a été dépassée que durant 12 jours dans l'année contre 28 en 2006 et 30 en 2019.

Depuis 1998, les données sont collectées à Vichy à 123 kilomètres de la confluence de la Loire. Il est possible de comparer les températures pendant les 3 années de suivis à la moyenne mensuelle depuis 1998.

Ainsi, les mois de juillet de 2006 et 2019 ont été de 3,7 °C et 3,2 °C supérieurs à la moyenne mensuelle de référence (de 1998 à 2019). L'année 2009 se trouve quant à elle dans la moyenne (Tableau 3).

En 2006, la canicule avait commencé dès le mois de juin. En août, la température avait fortement chutée pour passer 1,7 °C en dessous de la moyenne de référence.

Les températures caniculaires du mois de juillet 2019 à Vichy, tout comme celles de juillet 2006 et contrairement à celles de juillet 2009, apparaissent comme fortement défavorables à la survie des saumons.

Les températures du mois d'août 2019 à Vichy, tout comme celles d'août 2009 et contrairement à celles d'août 2006, apparaissent comme défavorables à la survie des saumons.

Avec 2 mois particulièrement très chauds par rapport aux moyennes, l'étiage 2019 à Vichy apparaît donc comme fortement défavorable à la survie estivale des saumons.

3.2.3. Température de l'Allier à Vieille Brioude

Une sonde température a été implantée à Vieille-Brioude lors de chaque suivi radiopistage 2006, 2009 et 2019. Il est donc possible de comparer les années de suivis entre elles.

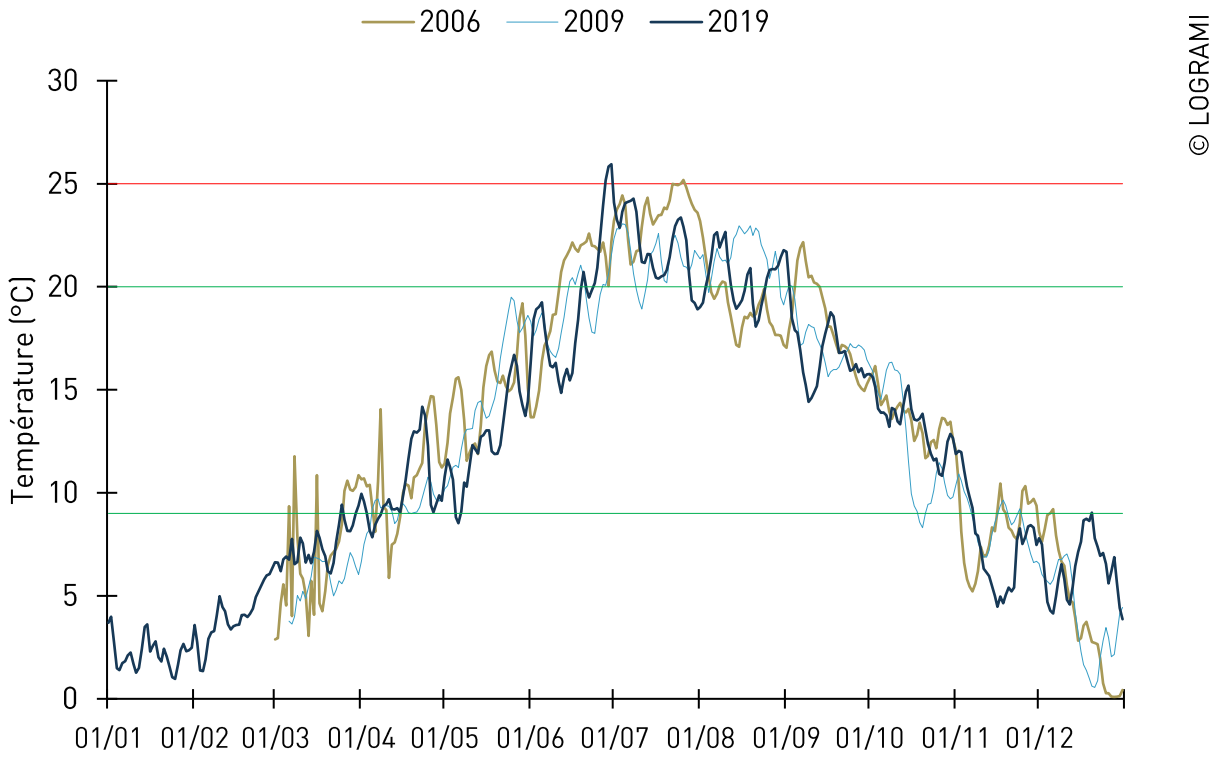


Figure 31 : Températures à Vielle Brioude en 2006, 2009 et 2019

3.2.3.1 Pendant la migration printanière

En 2006, la période favorable à la migration printanière a duré 75 jours repartis sur 5 périodes, dont la principale du 15 avril au 11 juin.

En 2009, la période favorable à la migration printanière a duré 69 jours repartis sur 2 périodes, du 6 au 12 avril et du 14 avril au 14 juin.

En 2019, la période favorable à la migration printanière a duré 75 jours repartis sur 4 périodes, dont 2 principales, du 8 avril au 4 mai et du 7 mai au 20 juin.

Les conditions thermiques de la migration printanière 2019 à Vieille-Brioude semblent s'apparentées à celles de 2006 et 2009.

3.2.3.2 Fin de migration printanière-arrêt estival et risque de mortalité

Le seuil des 25 °C (moyenne journalière) a été dépassé en 2006 et 2019 (Figure 31). En 2006, ce seuil a été dépassé durant 2 jours les 25 et les 26 juillet. En 2019, il a été atteint beaucoup plus tôt et dépassé durant 3 jours du 28 au 30 juin inclus.

4. Caractéristiques de l'échantillon de saumons marqués

4.1. Captures et marquages

Durant les 9 semaines de campagne d'échantillonnage, 24 saumons ont été capturés à la station de piégeage de Vichy. Ces marquages se sont échelonnés dans le temps de façon à avoir un échantillon le plus représentatif possible de la population migrante (Tableau 4 et Figure 32). Pour autant, aucun saumon n'a pu être piégé avant la semaine 13 et après la semaine 22 réduisant nécessairement l'amplitude des migrations des saumons marqués. Pour exprimer la représentativité de l'échantillon, nous évaluons la proportion de poissons capturés lors de chaque semaine au regard de la proportion représentée chaque semaine sur la totalité de la population migrante. Pour cela, le contingent est réparti en neuf périodes de durée identique.

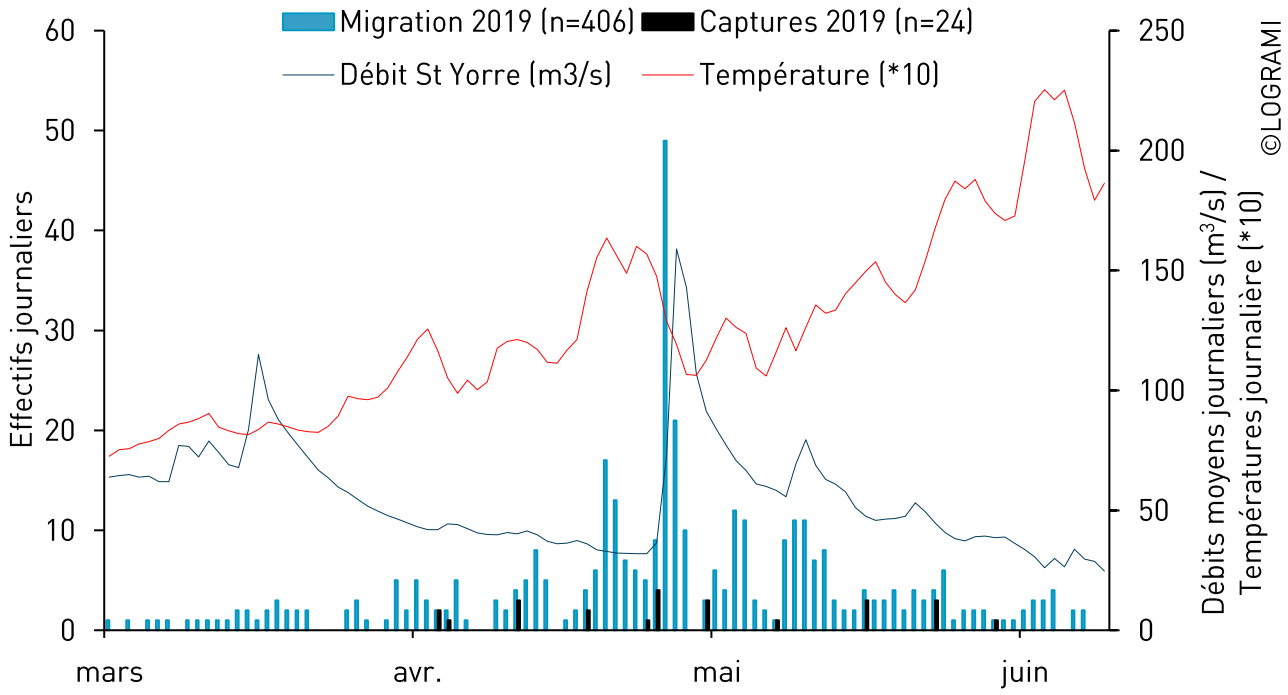


Figure 32 : Piégeage sur l'ensemble de la migration du saumon atlantique observé à Vichy en 2019

Tableau 4 : Effectifs de saumons capturés et de saumons passés à Vichy par semaine de migration

	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S 19	S20	S21	S22 à S26	TOTAL
Nb saumons marqués	3	3	2	5	3	1	3	3	1	0	24
Nb saumons passés à Vichy	14	18	27	43	107	39	49	21	22	34	374

Il apparaît une sur-représentativité du nombre de poissons marqués en début et fin de migration. Durant les semaines 15 à 17, les proportions de saumons marqués et passés à Vichy sont similaires. Ces trois semaines constituent 42 % des poissons marqués pour 47 % des saumons passés à Vichy. A contrario, la semaine 18 montre un déficit de poissons marqués au regard des proportions de poissons migrants à Vichy (Tableau 5).

La population contrôlée à Vichy cette année étant de 374 saumons (sans l'estimation des poissons passés par les vannes abaissées avant la semaine 13), les saumons équipés d'émetteurs représentent globalement 6,4 % de la population migrante arrivant à Vichy. La variation des rapports « poissons marqués/poissons comptés » révèle une certaine inconstance de l'effort d'échantillonnage. Les saumons des premières et dernières semaines de migration sont donc en sous-représentation. Les saumons du début et fin du pic migratoire sont surreprésentés et ceux du pic au final sous représentés. Pour autant, les effectifs capturés et marqués chaque semaine sont assez constants avec environ 3 poissons +/-1 par semaine.

Sur l'ensemble des saumons marqués, aucun d'entre eux n'a recraché l'émetteur quelque temps après le marquage. **Ainsi, 24 saumons ont pu être suivis.**

Tableau 5 : Proportion de saumons capturés en fonction du pourcentage total de saumons passés à Vichy par semaine de piégeage et pour l'ensemble de la population

	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S 19	S20	S21	S22 à S26
Proportion de saumons marqués	13%	13%	8%	21%	13%	4%	13%	13%	4%	0%
Proportion de saumons passés à Vichy	4%	5%	7%	11%	29%	10%	13%	6%	6%	9%
% marqués / saumons passés à Vichy	21%	21%	14%	36%	21%	7%	21%	21%	7%	0%

4.1.1. Respect de la dynamique migratoire de l'échantillon

Compte tenu des migrations différentielles par âge et potentiellement par provenance, les captures, afin d'être les plus représentatives possibles, doivent suivre au mieux la tendance des passages. La comparaison des pourcentages cumulés des passages de saumons (intégrant les estimations de poissons passés par les vannes) avec ceux des captures, permet de juger la qualité de l'échantillon.

Le début de la migration (semaine 8 à 12, 8 % de la population estimé) n'est donc pas représenté dans l'échantillon (Figure 33). Ce léger décalage temporel ne permet pas de représenter cette part de la population.

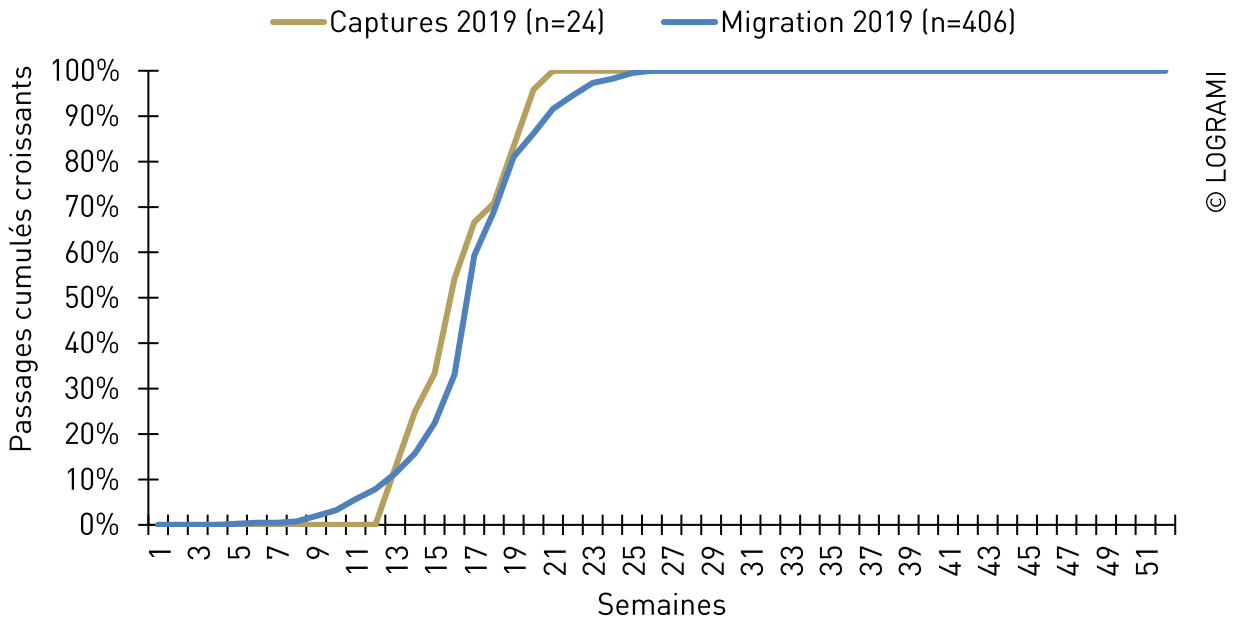


Figure 33 : Comparaison du rythme migratoire et des captures des saumons marqués à Vichy (Données : SCIMABIO Interface pour les captures)

Pour autant, l'échantillonnage mené en 2019 suit significativement la tendance des passages ($R^2 = 0,96$) (Figure 34). Ainsi, il apparaît que l'échantillon prélevé représente de manière satisfaisante le rythme de la migration permettant d'éviter les biais liés aux traits de vie individuels des poissons.

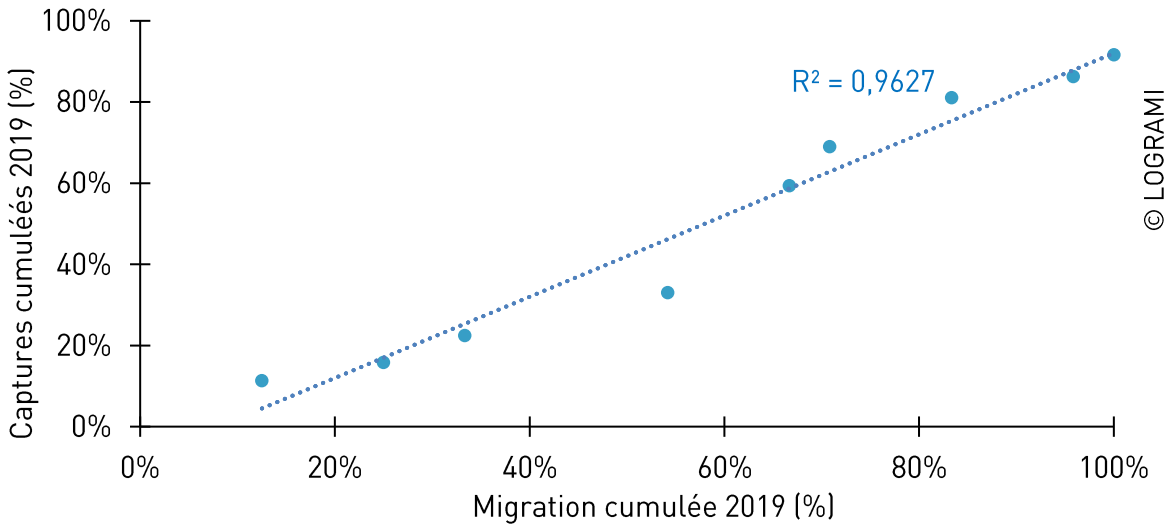


Figure 34 : Droite de régression captures/migration des saumons à Vichy par semaine (Données : SCIMABIO Interface pour les captures)

4.2. Caractéristiques biométriques

4.2.1. Âge des saumons

La détermination de l'âge du poisson se fait essentiellement grâce aux écailles. Cette méthode scalimétrique a fait l'objet d'une standardisation au niveau international et national (BAGLINIERE *et al.*, 1985). Le principe de cette méthode est basé sur le fait que l'écaille est une structure osseuse qui grandit en même temps que le poisson et sur laquelle s'inscrit l'histoire de sa vie. Depuis sa dévalaison au stade smolt, à la fin du printemps, jusqu'à son retour en rivière à la fin de l'hiver, le saumon atlantique de souche Allier suit un ou plusieurs cycles complets suivant les périodes estivales. L'âge d'un saumon de souche Allier est donc défini comme le nombre d'étés passés en mer à se nourrir.

La répartition des saumons capturés en 2019 par âge de mer est la suivante (Tableau 6) :

- 10 saumons de 2 ans de mer (42 %)
- 14 saumons de 3 ans de mer (58 %)

Tableau 6 : Comparaison des effectifs des saumons migrants observés à Vichy en 2019 par classes de tailles avec les individus piégés (Données : SCIMABIO Interface pour Piégeage)

	2 étés	3 étés	Total
Migration	134	240	**374**
Piégeage	10	14	**24**

Si nous comparons la structure d'âge des poissons capturés avec ceux mesurés à la station sur la même période, la répartition annuelle par classe d'âge de mer fait apparaitre une sur-représentation des saumons de 2 étés de mer et une sous-représention des saumons de 3 étés de mer dans l'échantillon des captures (Figure 35).

Cependant, les écarts observés (6 % pour chacune des classes d'âges) entre l'échantillon capturé et la migration, ne représentent qu'un seul poisson pour chacune des classes d'âges.

L'âge de mer des 32 saumons estimés pendant les semaines 8 à 12 a, lui aussi, été estimé (en utilisant les pourcentages cumulés de migration par âge de mer au regard des années précédentes). Aussi, s'ils sont ajoutés aux effectifs de la station et comparés à l'échantillon suivi par radio pistage, alors l'écart observé est de 8 % pour chacun des classes d'âges (Figure). Cette différence ne représente toujours qu'un seul poisson. Au regard de la population estimée, l'échantillon est toujours représentatif.

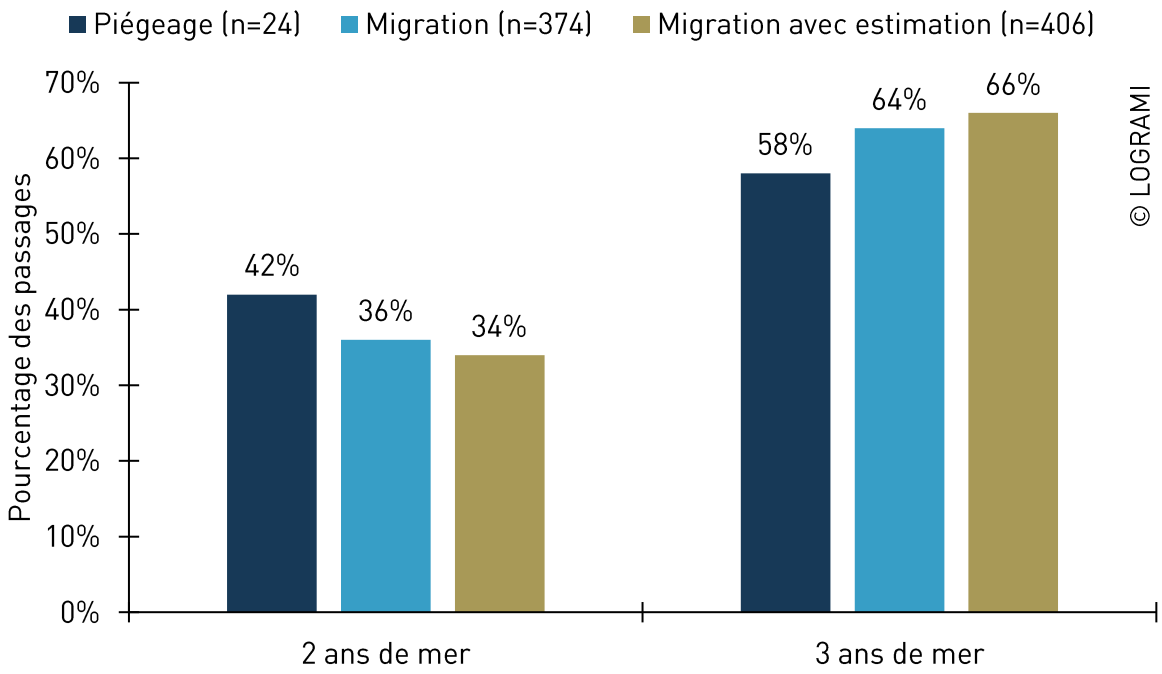


Figure 35 : Comparaison de la répartition des classes de tailles des saumons migrants observés à Vichy en 2019 (avec et sans estimation) avec celle des individus marqués (Données : SCIMABIO Interface pour Piégeage)

En 2006, le marquage avait eu lieu du 3 au 17 mai entrainant une sur-représentation des poissons de 2 ans de mer. Sur les 30 poissons marqués, 28 étaient âgés de 2 ans de mer (93 %) et seulement 2 de 3 ans de mer (7 %). Cependant, au sein des comptages à Vichy les saumons de 2 ans de mer étaient également très représentés avec 81 % de la population (Figure 36).

En 2009, le marquage avait été très représentatif de la population en migration avec 6 saumons de 2 ans de mer soit 20 % et 24 saumons de 3 ans de mer soit 80 % pour 23,2 % de 2 étés de mer et 76,8 % des passages de saumons enregistrés à la station de comptage de Vichy.

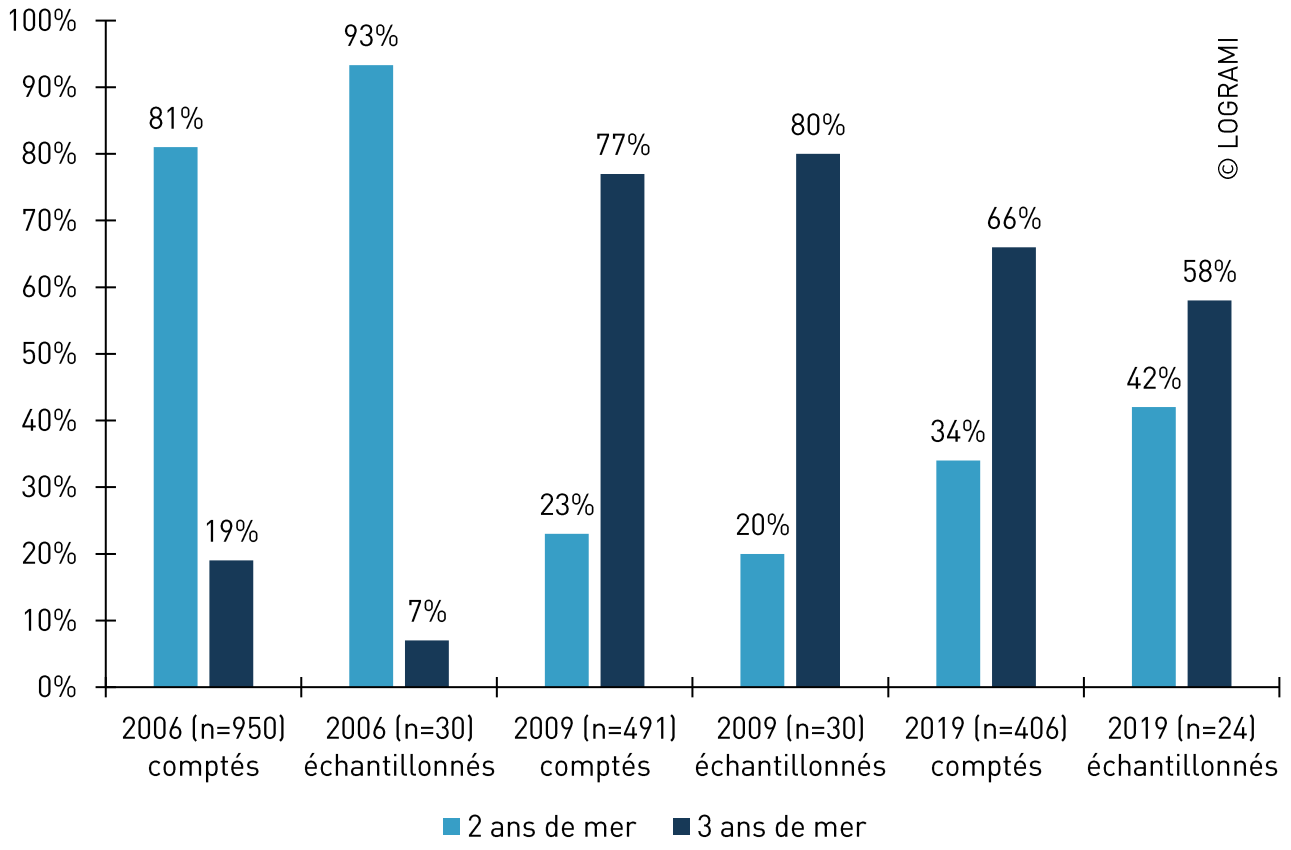


Figure 36 : Âge de mer des poissons comptabilisés aux stations et capturés et marqués en 2006, 2009 et 2019 (Données : SCIMABIO Interface pour 2019)

La répartition des classes d'âge en 2019 est, comme en 2006 et 2009, très liée à la composition de la cohorte contrôlée à la station de comptage de Vichy. Les variations interannuelles de la composante en âge de la population de saumons en migration de montaison devront donc faire l'objet d'analyses différentielles compte tenu de la phénologie particulière liée à l'âge des poissons.

4.2.2. Poissons sans nageoire adipeuse

De 2003 à 2017, la totalité des saumoneaux déversés sur le bassin de l'Allier étaient marqués par ablation de la nageoire adipeuse. Ces marquages spécifiques permettent de distinguer les géniteurs de retour issus des déversements au stade smolt des autres, issus soit de la reproduction naturelle, soit d'alevinages à des stades plus précoces.

Parmi les 24 saumons marqués, 3 soit 12,5 % ne présentaient pas de nageoire adipeuse (Tableau 7). Cette proportion est le double de celle des saumons passés à Vichy, 26/406 (6,4 %). La différence est due à un poisson sans adipeuse supplémentaire marqué. Sur les 3 saumons marqués qui ne présentaient pas de nageoire adipeuse, 2 sont de 3 étés de mer et 1 de 2 étés de mer (Figure 37).

Tableau 7 : Comparaison des effectifs par classes de tailles des saumons sans adipeuse observés à Vichy en 2019 avec les individus piégés (Données : SCIMABIO Interface pour Piégeage)

	2 étés	3 étés	Total
Migration	4	22	**26**
Piégeage	1	2	**3**

En 2006, 6 saumons sur 30 soit 25 % des saumons marqués ne présentaient pas de nageoire adipeuse alors qu'ils représentaient 17 % dans la population en migration. En 2009, 2 saumons sur 30 marqués soit 7 % n'avaient pas d'adipeuse pour la même proportion dans la population.

Figure 37 : Saumon marqué sans adipeuse en 2019

4.2.3. Sexe des saumons

En 2006 et 2009, aucun abaque spécifique au saumon de souche Allier n'était disponible et le sexage des poissons de façon certaine était impossible tant que les caractéristiques morphologiques n'étaient pas visibles ; c'est-à-dire, à l'approche de la période de reproduction. Les captures ayant eu lieu bien avant que ces caractères n'apparaissent, aucune détermination fiable du sexe n'a pu être réalisée lors du marquage.

Depuis 2010, des mesures précises de longueurs de mâchoire supérieure et des longueurs totales sont réalisés par le CNSS sur les individus captifs ayant été sexés. Ainsi, il est possible de produire un abaque spécifique à la rivière Allier (Figure 38).

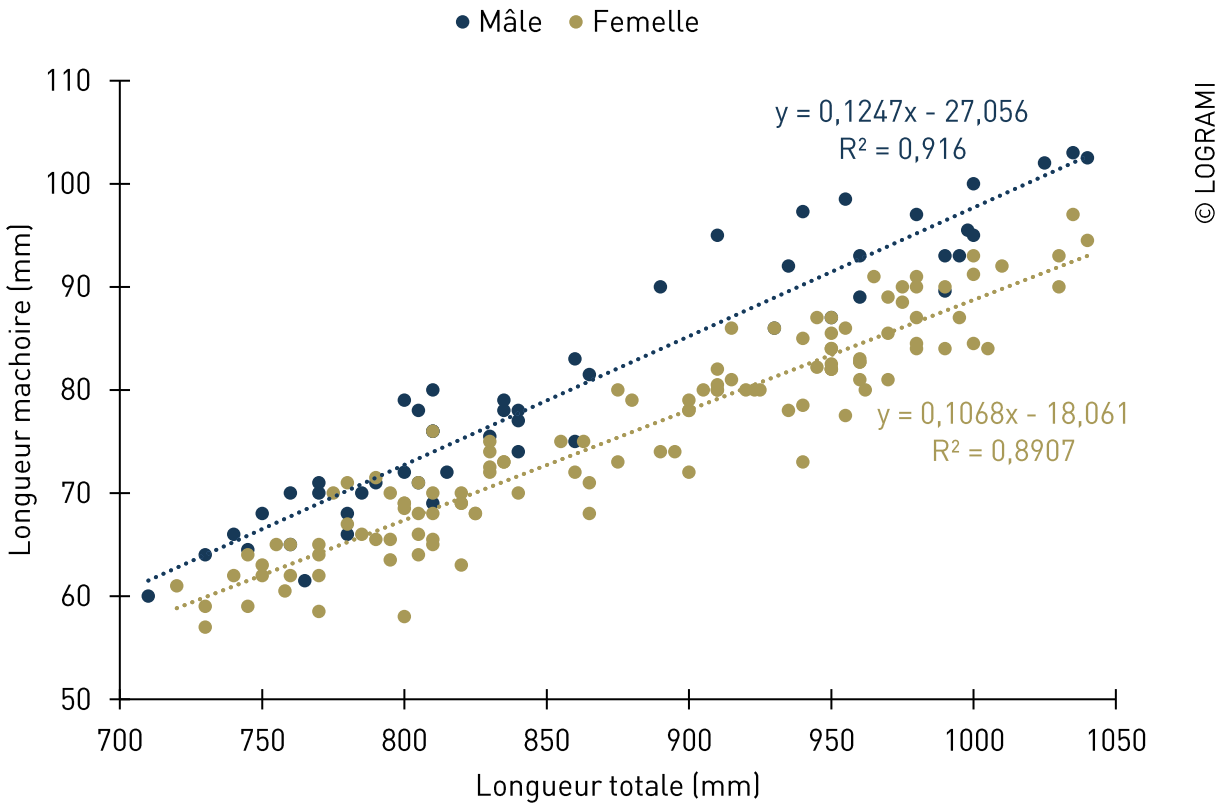


Figure 38 : Sexe des poissons en fonction de la longueur de la mâchoire et de la taille ; 170 individus sexés entre 2010 et 2019 (Données : CNSS)

En utilisant l'équation moyenne (ou droite de régression linéaire) des deux droites de régression (Tableau 8), il est possible, avec la mesure de sa mâchoire supérieure, de déterminer la taille d'un individu (LF) au-dessus ou en-dessous de laquelle un poisson sera classé en mâle ou en femelle.

Tableau 8 : Relation entre la longueur totale (LF) et la longueur de la mâchoire supérieure (LM) en fonction du sexe des individus

Equation droite mâle		Equation droite femelle		Equation droite de séparation	
a	0,1247	a	0,1068	a	0,11575
b	27,056	b	18,061	b	22,5585
y = 0,1247x - 27,056		y = 0,1068x – 18,061		y = 0,11575x - 22,5585	

Selon l'abaque, la répartition du sexe des saumons capturés en 2019 par âge de mer est la suivante (Tableau 9) :

- 7 mâles de 2 ans de mer et 7 de 3 ans de mer
- 3 femelles de 2 ans de mer et 7 de 3 ans de mer

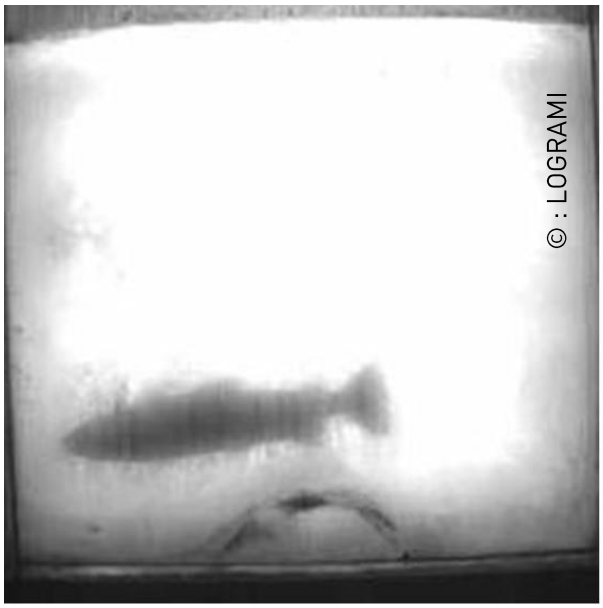
Tableau 9 : Sexe des poissons marqués selon l'abaque

	2 étés	3 étés	Total
Mâle	7	7	**14**
Femelle	3	7	**10**

A l'automne, lorsque les saumons passent à la station de comptage de Langeac, il est possible de distinguer les changements de morphologie. Un bec commence à bien se former sur les mâles et les femelles ont un ventre plus développé (Figure 39).

Ainsi, les 4 saumons marqués passés à la station de Langeac à l'automne seraient des femelles (à dire d'expert). Selon l'abaque, il s'agissait de 2 femelles (2 et 3 ans de mer) et 2 mâles (2 et 3 ans de mer).

En se référant à l'abaque, la différence entre mâle et femelle ne se joue qu'à quelques centimètres pour la taille et quelques millimètres pour la mâchoire. Plus l'individu est petit et plus son sexage est incertain. Une légère erreur de mesure peut biaiser le sexe d'un saumon. **L'abaque créé à partir des données collectées sur l'Allier n'est pas fiable à 100 %, plus particulièrement pour les saumons de 2 ans de mer qui sont plus petits (comme c'est le cas des 4 saumons marqués à Langeac). Même si la majorité des saumons de 2 ans de mer sont des mâles, il semblerait que le ratio mâle / femelle soit légèrement surestimé en faveur des mâles.**



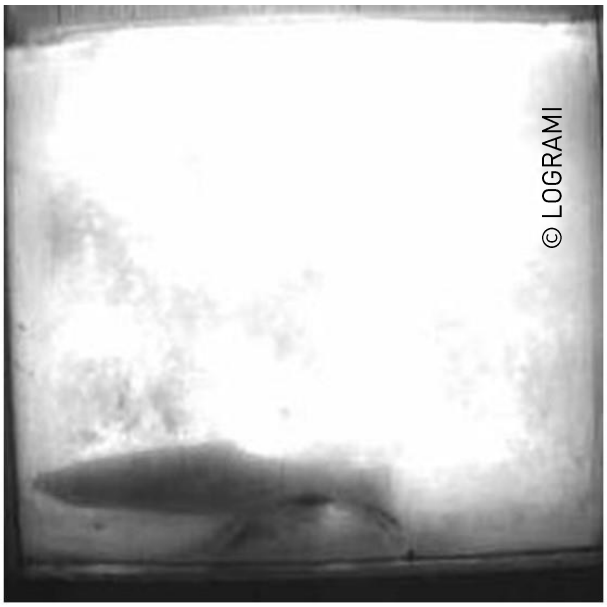


Figure 39 : Saumon femelle (à gauche) et mâle (à droite) à Langeac lors de la migration automnale de 2019

4.2.4. Etat sanitaire des poissons marqués

Chaque poisson a fait l'objet d'un examen précis lors des manipulations de marquage. De plus, des photographies ainsi qu'une description détaillée de son état sanitaire ont été réalisées.

Une grille, a permis de classer les poissons selon leur état sanitaire. Cette grille s'échelonne de A à E selon une dégradation croissante.

- A : Etat très satisfaisant
- B : Etat assez satisfaisant (écaillage partiel, blessures bénignes)
- C : Etat moyen (plaies, rougeurs, écailles manquantes, nageoires abîmées)
- D : Etat préoccupant (blessures importantes parfois graves, écaillage important)
- E : Etat alarmant (blessures graves, état général très dégradé, survie compromise)

La majorité de saumons capturés à Vichy en 2019 présente un état sanitaire moyen (1 saumon sur 2 appartient à la classe C) (Figure 40). En 2019, SCIMABIO Interface était en charge de ce suivi. Même si un biais opérateur n'est pas à écarter entre LOGRAMI, qui a procédé à l'évaluation de l'état sanitaire lors des dernières opérations de radiopistage menées sur l'Allier en 2006 et 2009, et SCIMABIO Interface en 2019, il semblerait que les saumons marqués en 2019 présentent un état sanitaire significativement plus dégradé que ceux marqués en 2009 (Figure 40) (test de exact de Fisher, p-valeur = 0,0001).

La dégradation de l'état sanitaire peut-être due à plusieurs facteurs notamment une période plus tardive des captures en 2019 qu'en 2009, des niveaux d'eau très bas et de fortes températures printanières.

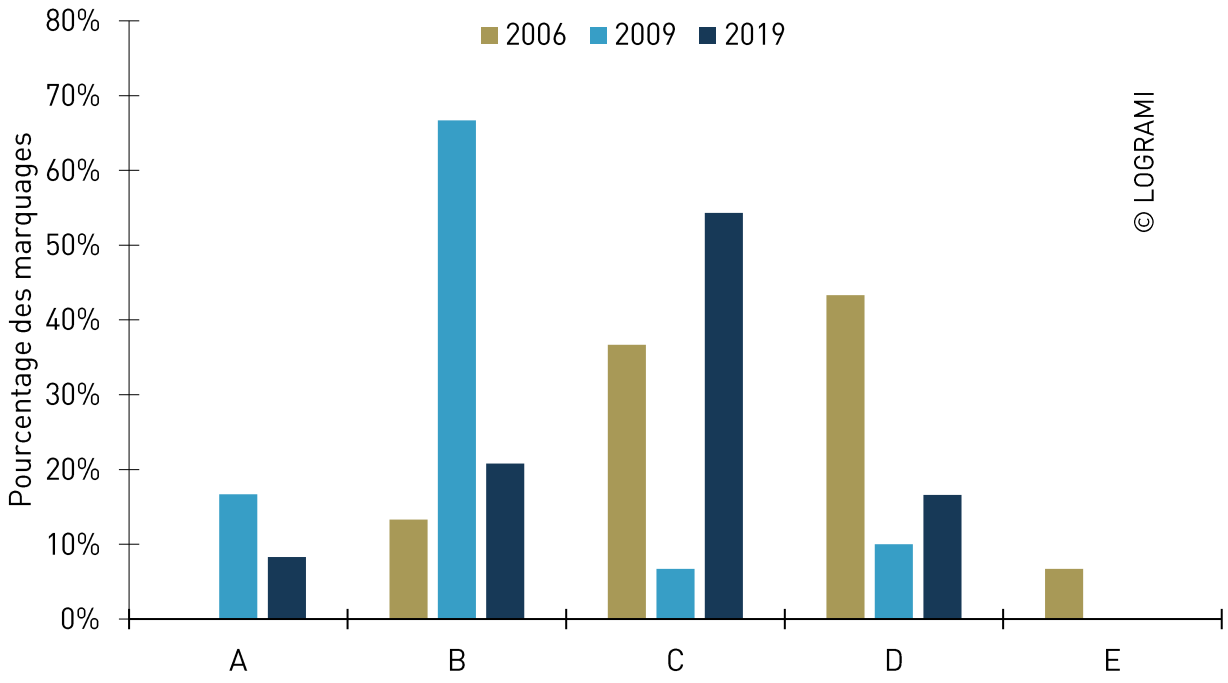


Figure 40 : Etat sanitaire des poissons capturés et marqués en 2006, 2009 et 2019 (Données : SCIMABIO Interface pour 2019)

L'état sanitaire semble refléter une dégradation progressive au fur et à mesure de la migration à Vichy. En effet, sur les 11 saumons marqués en deuxième session ,9 présentaient un état sanitaire jugé moyen (classe C) (Figure 41 et Figure 42). Cependant, il n'existe pas de différence significative entre l'état sanitaire des poissons marqués en 1ère session et ceux marqués pendant la 2ème (test de exact de Fisher, p-valeur = 0,416).

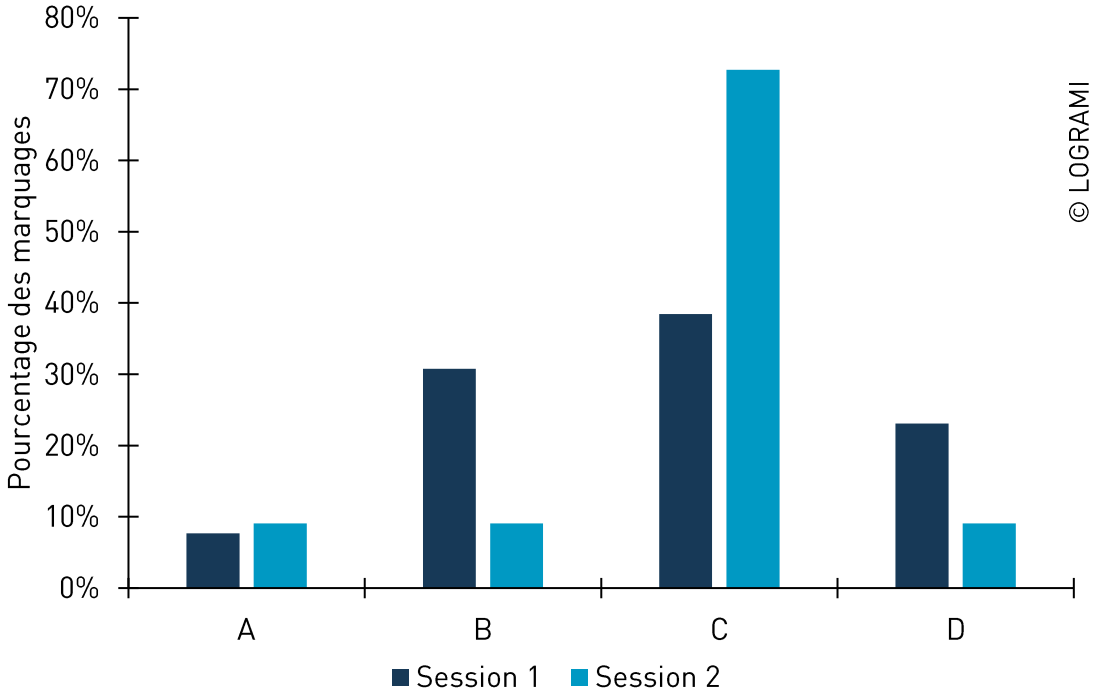


Figure 41 : État sanitaire des poissons capturés en 1ère et 2ème session en 2019 (Données : SCIMABIO Interface)

A noter également, qu'un individu piégé le 23 mai qui présentait un état sanitaire très préoccupant (état sanitaire E) a été relâché sans être marqué, conformément aux engagements du protocole validé par le comité d'éthique.

Figure 42 : Saumon marqué le 7 mai classé en classe sanitaire C

5. Dynamiques migratoires et succès reproducteur

5.1. Processus migratoire sur l'axe Allier-Alagnon

5.1.1. Amplitude migratoire dans le Haut-Allier

À la station de comptage de Langeac, **lors de la migration printanière**, le premier saumon est passé le 29 avril et le dernier le 21 juillet (Figure 43). Au 17 mai, 50 % des saumons étaient déjà en amont. Les 2 saumons marqués sont arrivés entre la mi-mai et début juin. Cette observation confirme que le début de cohorte n'est pas bien représenté par l'échantillon. Cette différence pourrait s'expliquer **par le décalage à Vichy, entre le début de la migration des saumons et les premiers marquages** (selon l'estimation, 32 saumons déjà en amont de Vichy avant le début du marquage qui occasionne une légère sous-représentation des premiers individus migrants).

À l'automne, le premier saumon est passé le 4 septembre et le dernier le 9 novembre (Figure). Au 23 octobre, 50 % des saumons étaient déjà en amont. Les 4 saumons marqués sont arrivés avec la même dynamique migratoire. En moyenne, la population et l'échantillon sont arrivés autour du 20 octobre. **L'amplitude migratoire des saumons marqués à l'automne reflète le comportement de la population.**

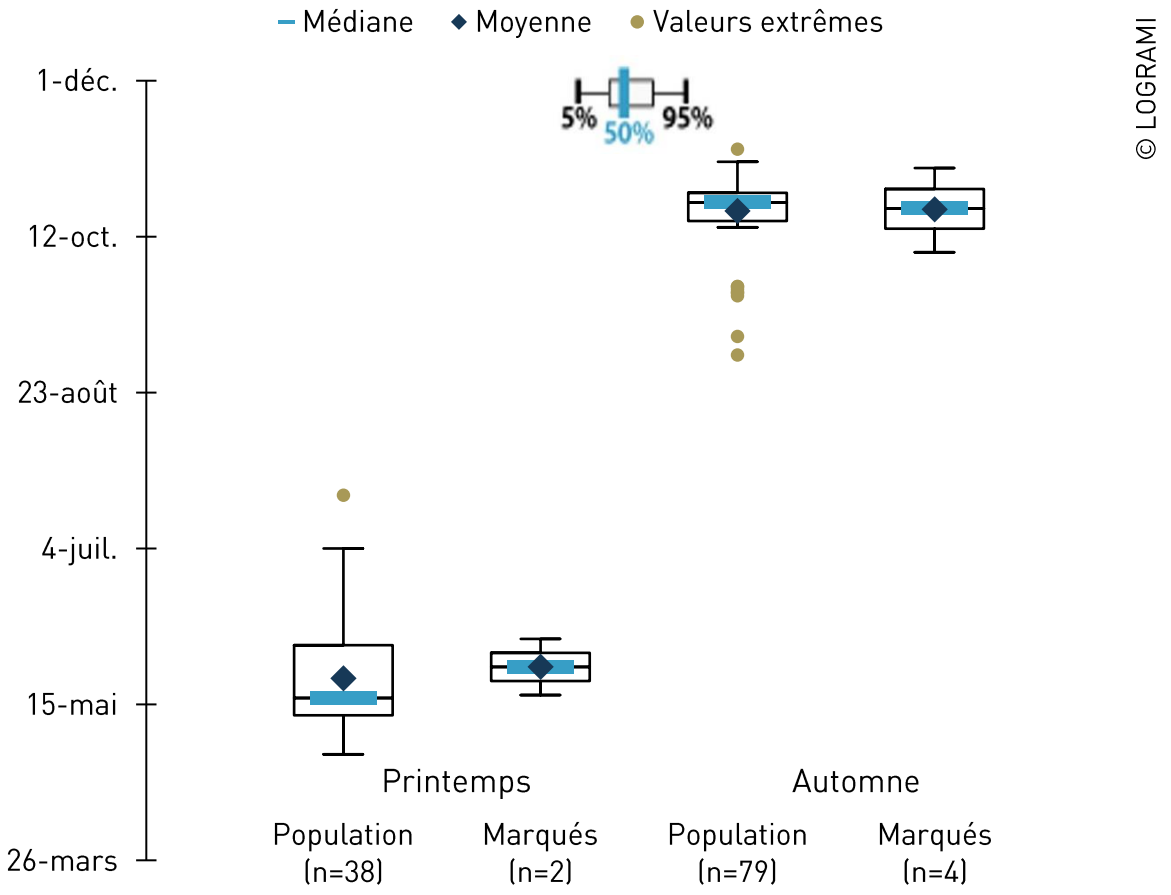


Figure 43 : Amplitude migratoire de la population et de l'échantillon de saumons à Langeac en 2019

À Poutès, après les travaux et la mise en service du système de comptage, 21 saumons sont passés entre le 11 octobre et le 29 octobre. Le saumon marqué est passé le 28 octobre. Un pic de migration de 6 saumons a été enregistré le 26 octobre à la station de comptage.

5.1.2. Vitesse de migration

5.1.2.1 Vitesse de migration printanière

En 2019, la vitesse de migration au printemps a été calculée pour les individus dont il était possible d'estimer la date de l'arrêt estival. Sur les 24 saumons marqués, 13 vitesses de migrations ont pu être calculées (Figure 45). La zone entre Vichy et Pont du Château n'ayant pas été suivie précisément, il est impossible de déterminer les vitesses de migrations printanières de la plupart des saumons. Il n'a pas non plus été possible d'estimer la vitesse de migration d'un saumon qui est arrivé à Poutès en juin, ne possédant pas encore l'autorisation d'installer un poste récepteur-enregistreur fixe.

La vitesse moyenne de migration au printemps 2019 est de 6,0 km/j +/- 3,1 pour une vitesse médiane de 6,0 km/j (Figure 44).

Concernant la vitesse de migration printanière en fonction de la session de marquage, les 8 saumons de la première session ont migré moins rapidement que les 5 de la deuxième session avec respectivement 4,9 km/j +/- 2,1 contre 7,7 km/j +/- 3,8 (test de Student, p-valeur = 0,0003).

Concernant la vitesse de migration printanière en fonction de l'âge de mer, les 6 saumons de 2 étés ont migré plus rapidement que les 7 de 3 étés, 7,0 km/j +/- 3,9 contre 5,0 km/j +/- 2,0 (Figure 44). Cette différence est tout de même non significative (test de Student, p-valeur = 0,26).

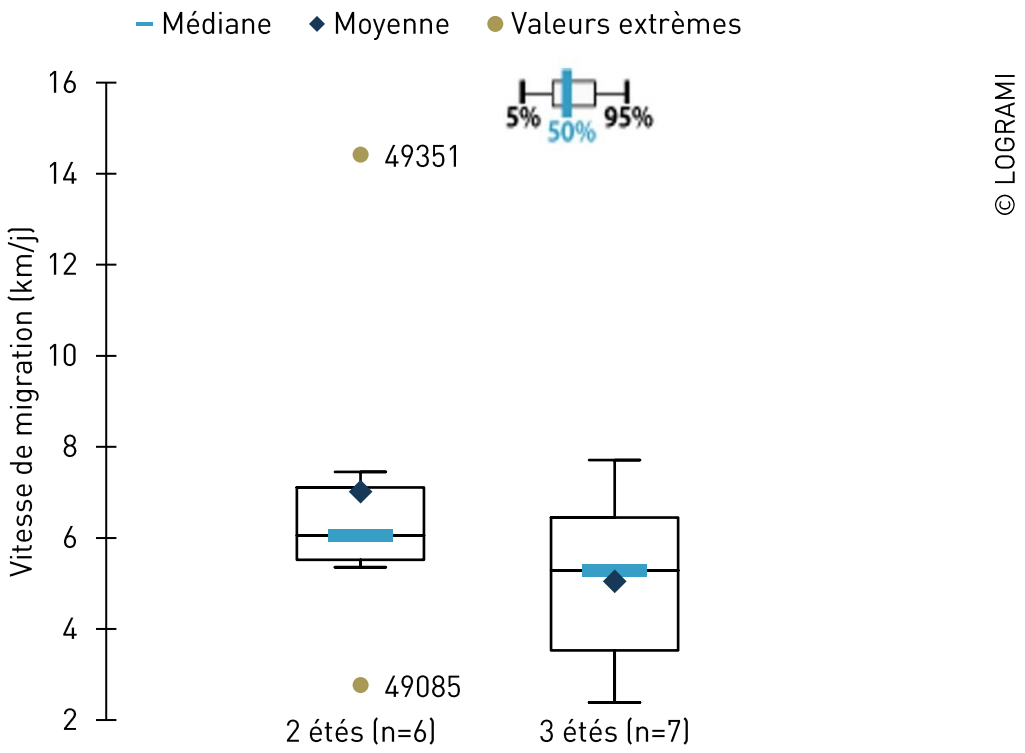


Figure 44 : Vitesse de migration printanière des saumons marqués en 2019 en fonction de l'âge de mer

En 2019, le dernier saumon marqué (N°49351), de deux ans de mer sans adipeuse, le 29 mai, a parcouru 144 kilomètres en 10 jours soit une vitesse moyenne proche de 14 km/j (Figure 44), pour passer l'été en amont de Vieille Brioude dans une zone plus favorable à la survie estivale. Ce saumon est le seul présentant une vitesse de migration extrême.

En 2006, les 27 saumons au printemps avaient fait en moyenne 6,2 km/j +/- 3,6. En 2006, aucun saumon présente des valeurs extrêmes supérieures à 10 km/j. **Il semblerait que les individus de 2006 et 2019 aient migré avec des vitesses quasiment identiques au printemps** (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,955).

En 2009, les 26 saumons avaient migré moins rapidement avec 5,3 km/j +/- 3,4. Les saumons de 2 années de mer avaient migré plus vite (6,6 km/j +/- 4,0 contre 5,2 +/- 3,3 km/j) que ceux de 3 années de mer, mais cette différence n'était pas significative (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,3467). Pour autant, les saumons en 2019 n'ont pas migré significativement plus vite au printemps que ceux ce 2009 (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,110). Durant ce suivi, trois saumons se distinguent avec des valeurs extrêmes de vitesses de migration au printemps de 10, 13 et 15 km/j. Ces trois saumons ont été marqués le 4 mai, soit la dernière semaine du marquage.

Pour rappel en 2009, 4 saumons se sont engagés sur l'Alagnon au printemps, ils ont migré à 2,4 km/j +/- 0,2. Ces saumons orientés sur l'Alagnon arrivent plus rapidement sur des zones favorables à la survie. En comparaison du radio pistage de 2009, les 26 saumons qui se sont restés sur l'Allier ont fait 5,3 km/j +/- 3,7.

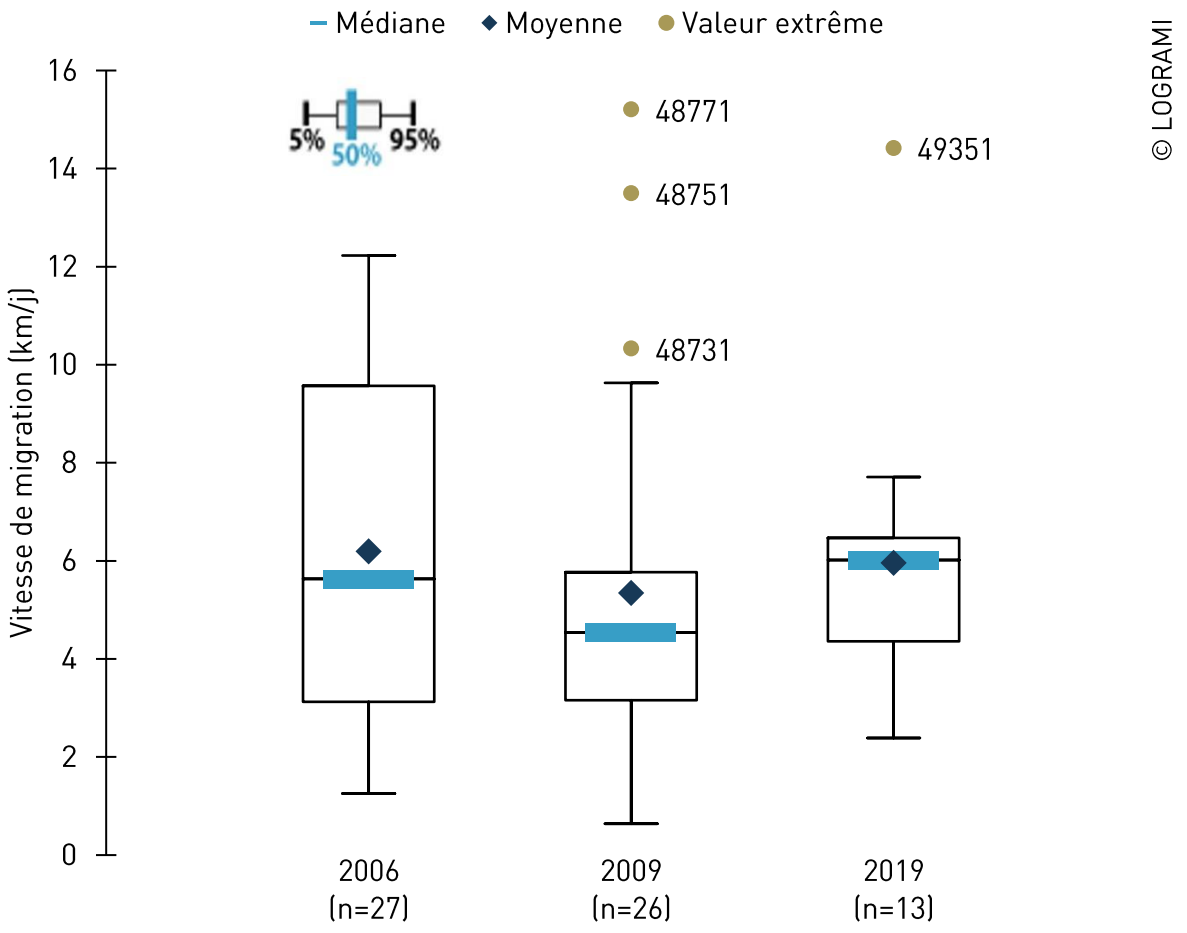


Figure 45 : Vitesse de migration des saumons marqués au printemps en 2006, 2009 et 2019

5.1.2.2 Vitesse de migration automnale

A la fin de l'été 2019, 9 saumons ont survécu. Il n'a pas été possible de calculer une vitesse de migration pour 2 saumons dont un mort précocement entre le 5 et le 14 novembre sans avoir entamer de migration et un autre retrouvé à Langogne dont l'arrêt estival n'était pas connu. La migration à l'automne a donc été calculée pour 7 saumons (Figure 46) tous axes confondus (Allier et Alagnon). **Ils ont parcouru en moyenne 1,9 km/j +/- 1,3 avant de rejoindre leurs zones de reproduction.**

En 2006, les 2 saumons à l'automne avaient fait en moyenne 2,6 km/j +/- 0,6. En 2009, les 13 saumons avaient fait en moyenne 2,9 km/j +/- 2,5 mais un saumon se distingue avec des valeurs extrêmes de 9,4 km/j à l'automne.

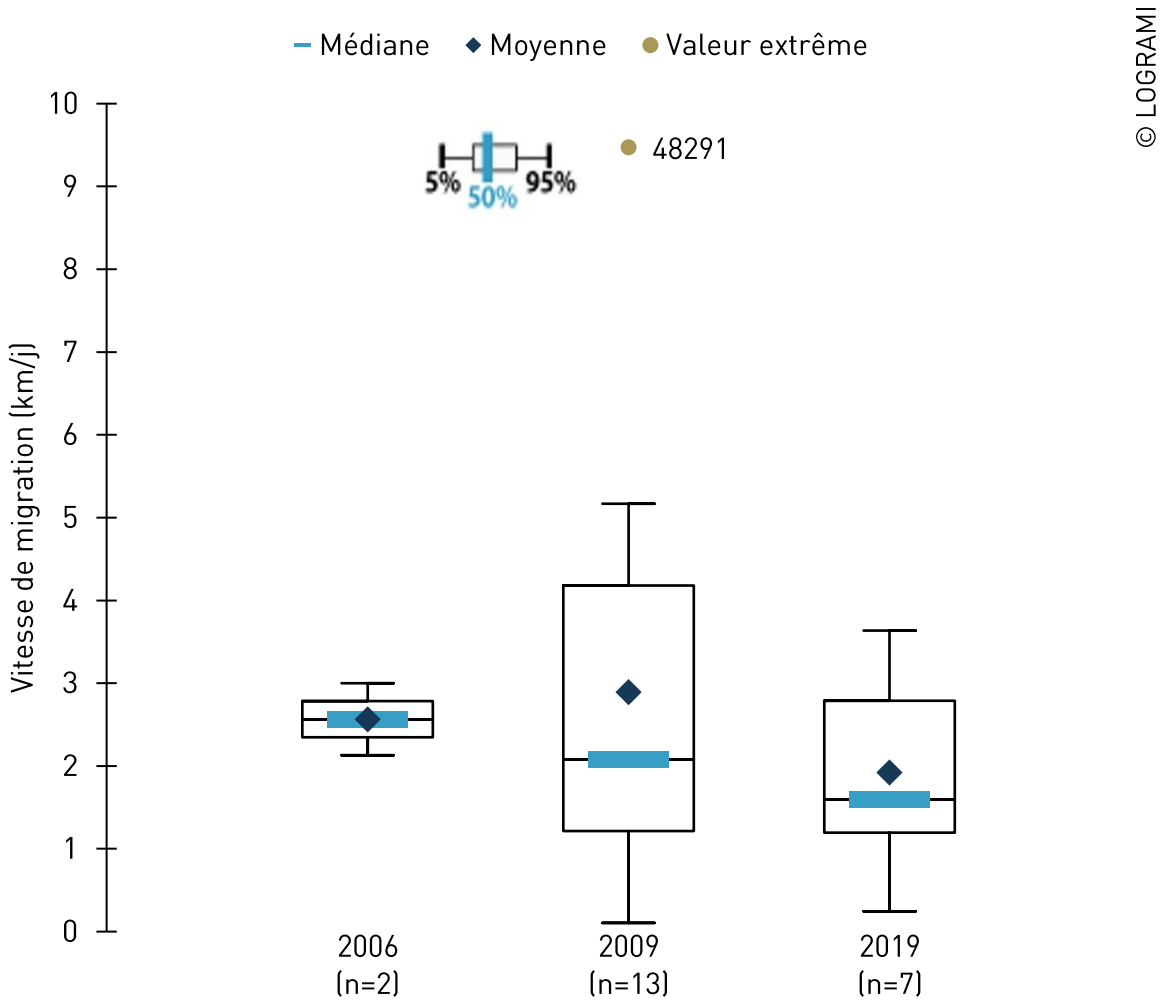


Figure 46 : Vitesse de migration des saumons marqués à l'automne en 2006, 2009 et 2019

Sur l'axe Allier seulement, il n'est pas possible de comparer statistiquement les données de l'automne 2006 avec celles de 2009 et 2019, seulement 2 vitesses de migrations automnales ont pu être calculées. En 2009, 13 vitesses de migrations ont été calculées dont 7 uniquement sur l'Allier. Ces 7 saumons ont progressé en moyenne de 5,6 km/j +/- 1,3 (Figure 47). **En 2019, les 6 saumons de l'Allier ont migré significativement moins vite** avec 2,2 km/j +/- 1,1 (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,001).

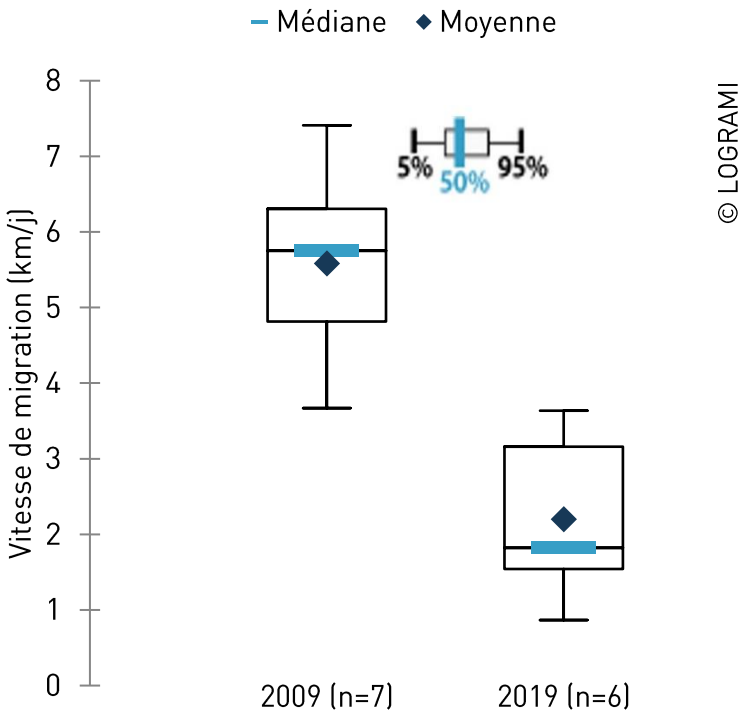


Figure 47 : Vitesse de migration à l'automne des saumons sur l'Allier

En 2009, 6 vitesses de migrations ont été calculées sur l'Alagnon. Ces 6 saumons ont progressé en moyenne de 1,1 km/j +/- 0,9 (Figure 48). **En 2019, le seul saumon de l'Alagnon a migré** à une vitesse moyenne de 0,24 km/j.

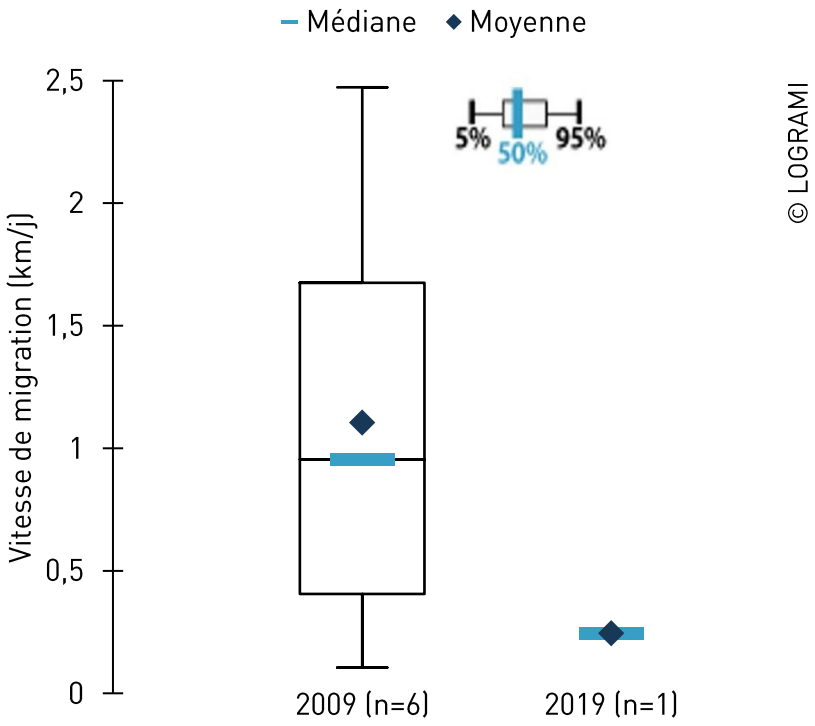


Figure 48 : Vitesse de migration à l'automne des saumons sur l'Alagnon

5.1.2.3 Comparaison des vitesses de migrations au printemps et à l'automne

En 2019, les individus ont migré significativement plus vite au **printemps** (6,0 km/j +/- 3,1) **qu'à l'automne** (1,9 km/j +/- 1,3 (test de Student, p-valeur = 0,004) (Figure 45 et Figure 46).

Les saumons qui ont repris leurs migrations automnales n'ont pas migré plus rapidement au printemps (5,7 km/j +/- 4,0) que ceux qui n'ont pas survécu à l'été (6,3 km/j +/- 1,0) (test de Student, p-valeur = 0,76) (Figure 49).

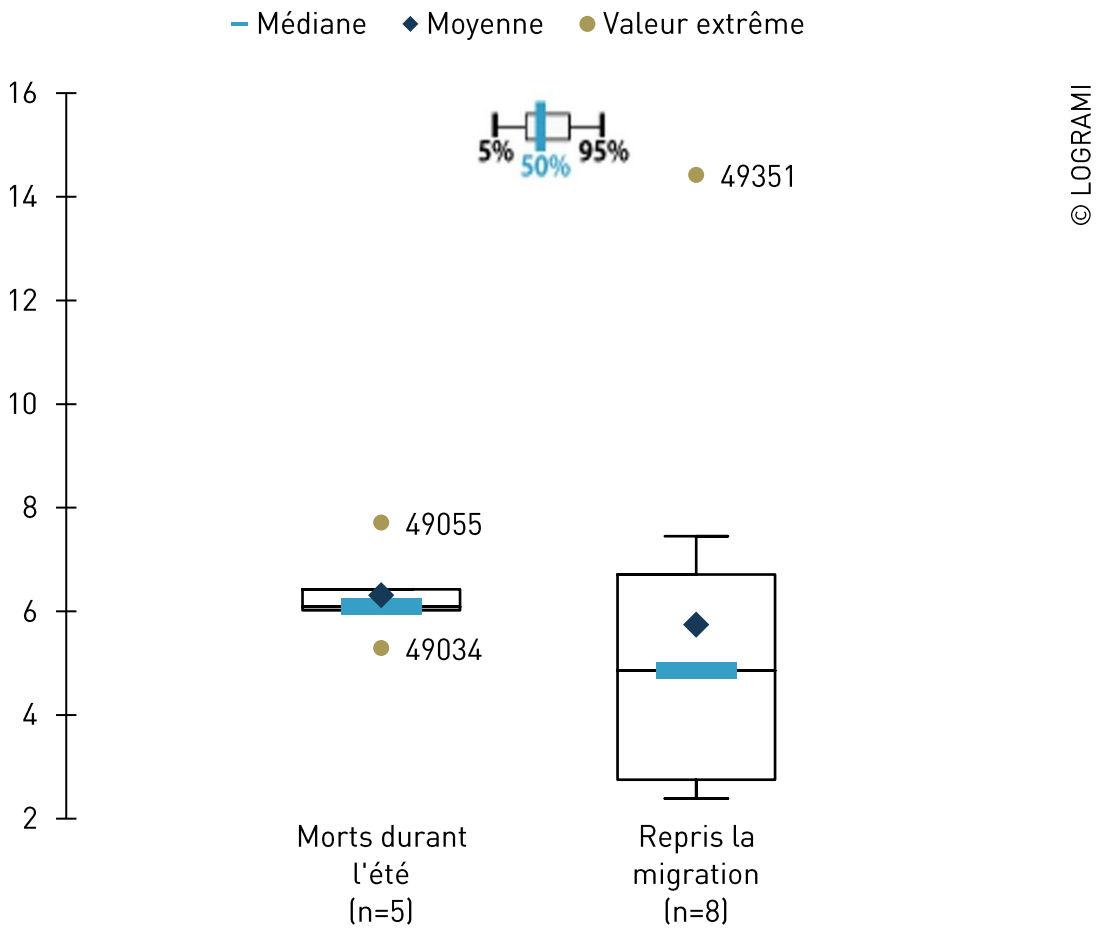


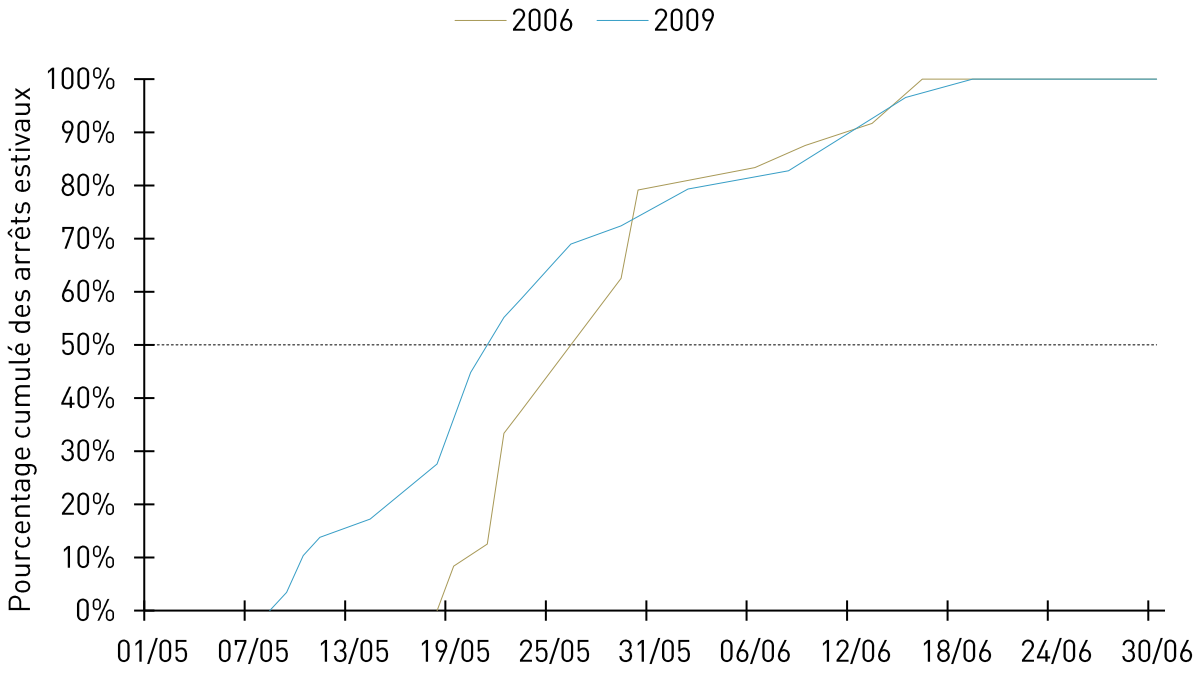
Figure 49 : Vitesse de migration au printemps des saumons morts pendant l'été et ceux qui ont repris leurs migrations

Si nous comparons l'ensemble des suivis, il apparaît nettement que la vitesse de progression printanière des saumons est systématiquement supérieure à la vitesse automnale et cela quelques soient les conditions hydrologiques et de température.

5.1.3. Arrêt estival

En 2006, au 26 mai, 50 % des saumons étudiés étaient entrés en arrêt estival. Le premier arrêt estival a eu lieu le 19 mai et le dernier le 16 juin. La majorité des saumons avaient déclenché leur arrêt estival lorsque la température de l'eau dépassait pour la première fois les 19 °C à Vichy. Cependant, certains individus avaient arrêté leur migration dès que la température avait atteint 16 °C.

En 2009, au 22 mai, 50 % des saumons étudiés étaient entrés en arrêt estival. Le premier arrêt estival a eu lieu le 9 mai et le dernier le 19 juin. La majorité des saumons avaient déclenché leur arrêt estival lorsque la température de l'eau dépassait pour la première fois les 15,5 °C (Figure 50).



© LOGRAMI

Figure 50 : Date d'arrêt estival des saumons marqués en 2006 et 2009 (pourcentage cumulé)

En 2019, le nombre de prospections pour rechercher les poissons a été fortement réduit. Contrairement à 2006 et 2009, la date précise de l'arrêt estival n'est donc pas connue. Il n'est donc pas possible de comparer efficacement les années entres elles et de mettre en avant une relation température / arrêt estival.

Faute de suivi dans le secteur aval, il n'est pas possible d'identifier clairement l'arrêt estival des 13 poissons dans l'Allier des Plaines. Le parcours (point kilométrique en fonction du temps) de ces poissons est tout de même renseigné dans l'Annexe 7. Concernant les 11 saumons qui se sont arrêtés en amont de Pont du Château, 6 se sont arrêtés dans l'Allier moyen (Figure 51) et 5 dans le Haut-Allier (Figure 52).

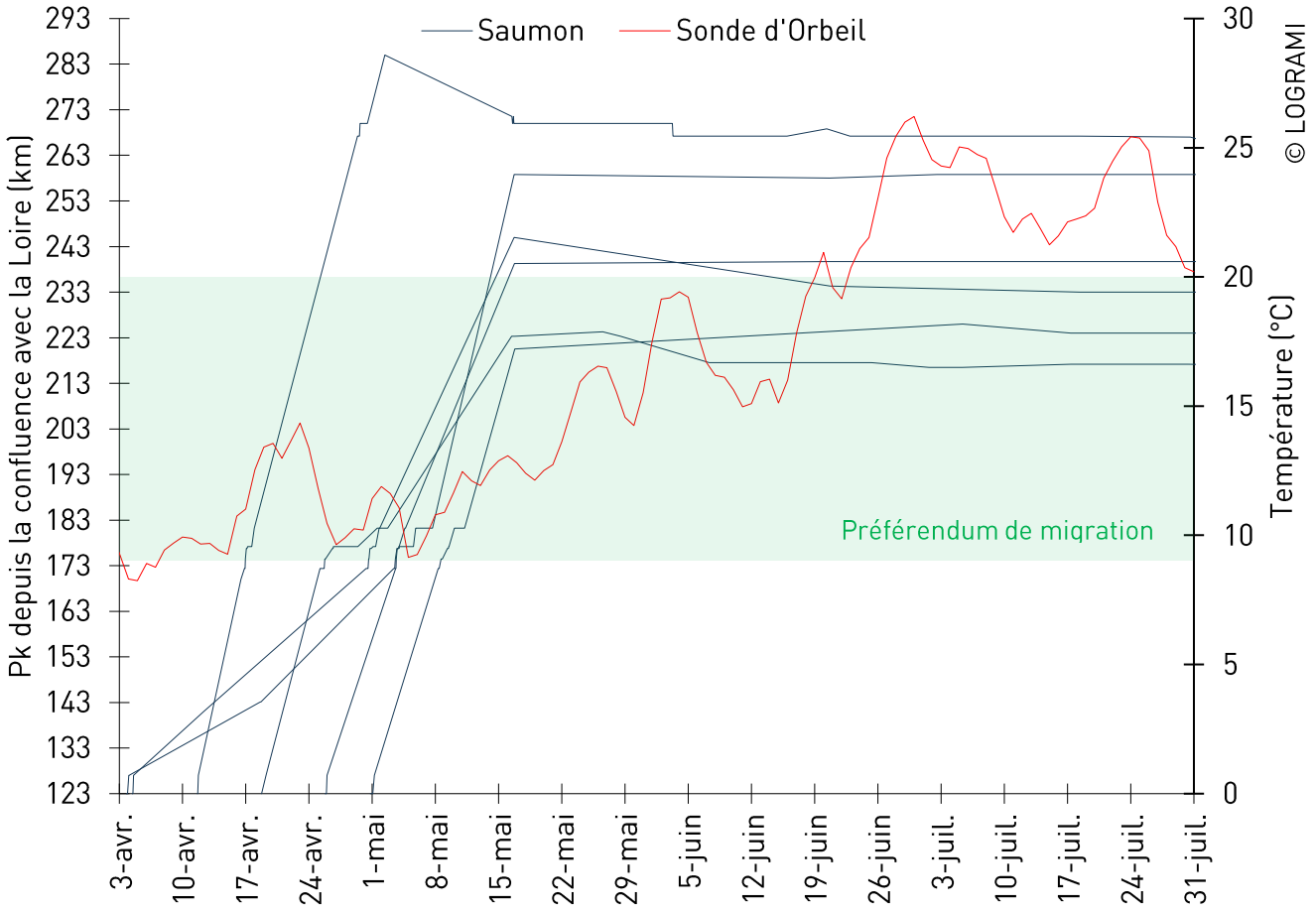


Figure 51 : Parcours des 6 saumons marqués en 2019 qui ont passés l'été dans l'Allier moyen

Au 16 mai, 8 des 11 saumons étaient arrêtés ou ont entamé une légère dévalaison pour trouver un meilleure endroit, à ce moment-là, la température moyenne journalière n'avait pas encore dépassé les 16 °C. Les 2 saumons qui se sont arrêtés en amont de Langeac l'ont fait aux alentours du 20 mai (température moyenne journalière de 11 °C).

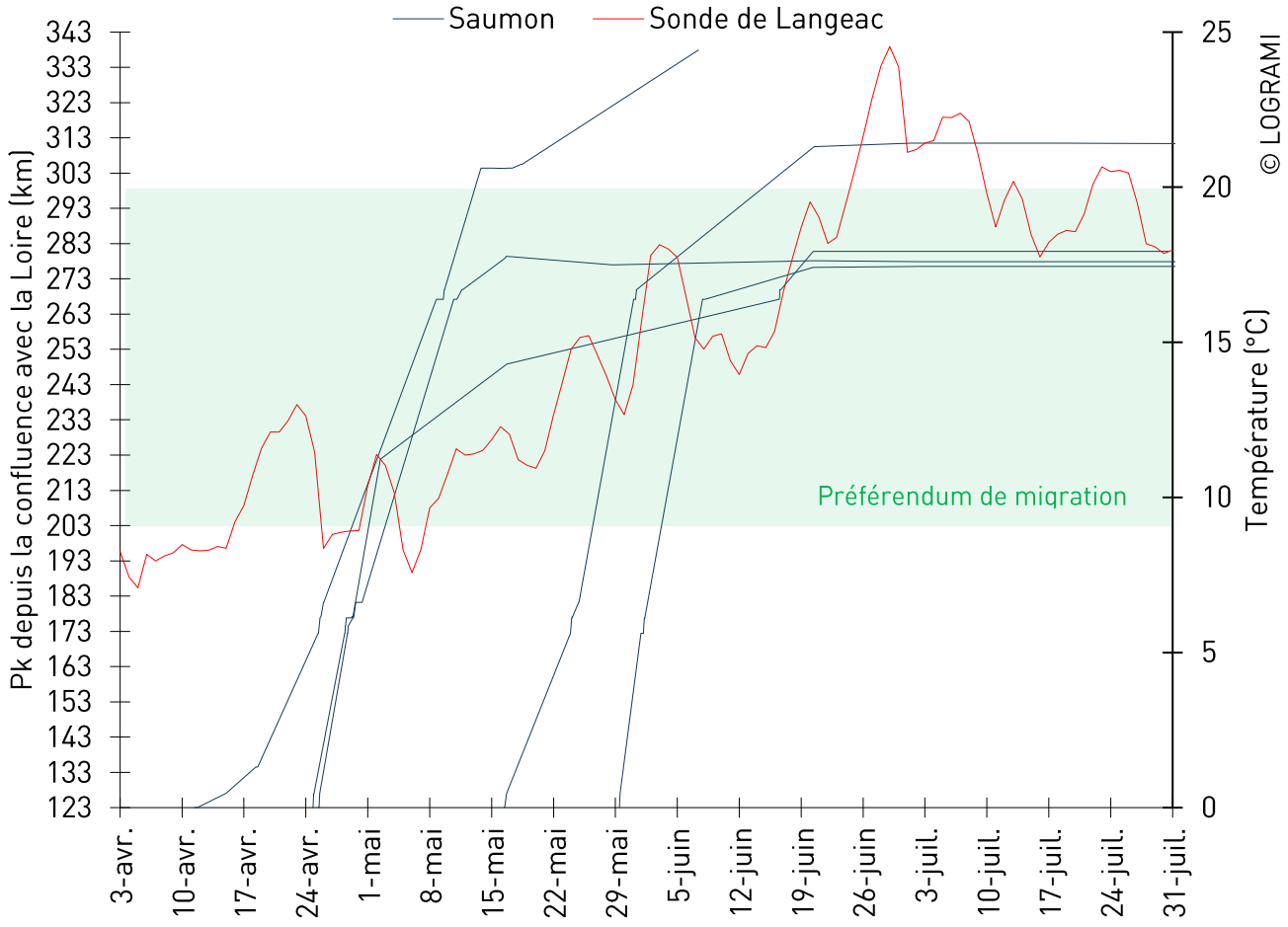


Figure 52 : Parcours des 5 saumons marqués en 2019 qui ont passés l'été dans le Haut-Allier

Il ne semble pas exister de relation exacte entre la température et la date de l'arrêt estival puisque le dernier saumon marqué (le 29 mai) a migré jusqu'en amont de Vielle Brioude lorsque la température de l'eau était proche des 18 °C dans l'Allier des plaines et dans l'Allier moyen.

Il existe un gradient de température entre les différents secteurs (Figure 53). La température moyenne journalière à Limons (Allier des plaines) a dépassé les 16 °C pour la première fois le 23 mai et a dépassé les 20 °C le 2 juin. À Orbeil (Allier moyen), la température de 16 °C a été atteinte le 25 mai mais le seuil des 20 °C n'a été atteint que plus tard dans la saison, aux alentours du 20 juin. Pour finir, à Langeac (Haut-allier), le 2 juin, la température était supérieure à 16 °C et le seuil des 20 °C a été dépassé pour la première fois le 25 juin.

Du 1 avril au 5 août, la température à Limons est en moyenne 1,11 fois plus élevée qu'à Orbeil et 1,24 fois plus élevée qu'à Langeac. La température à Orbeil est 1,11 fois plus élevée qu'à Langeac durant cette période.

Comme observé en 2006, certains individus arrêtent leur migration dès que la température atteint 16 °C. La température agit comme un inhibiteur de la migration du saumon qui ralentit sa migration lorsqu'elle atteint 18 °C. En revanche, au-delà de 20 °C, l'activité migratoire est stoppée et l'ensemble des poissons sont arrêtés quel que soit l'endroit où ils se trouvent.

Il existe cependant des exceptions comme certains saumons qui arrivent tardivement à Vichy lorsque la température est déjà proche des 18 °C et qui ne ralentissent pas dans leurs migrations

et s'arrêtent dans le Haut-Allier comme le montre le saumon N°49184 marqué le 16 mai et le N°49351 marqué le 29 mai avec des températures de 14,2 °C et 17,2 °C.

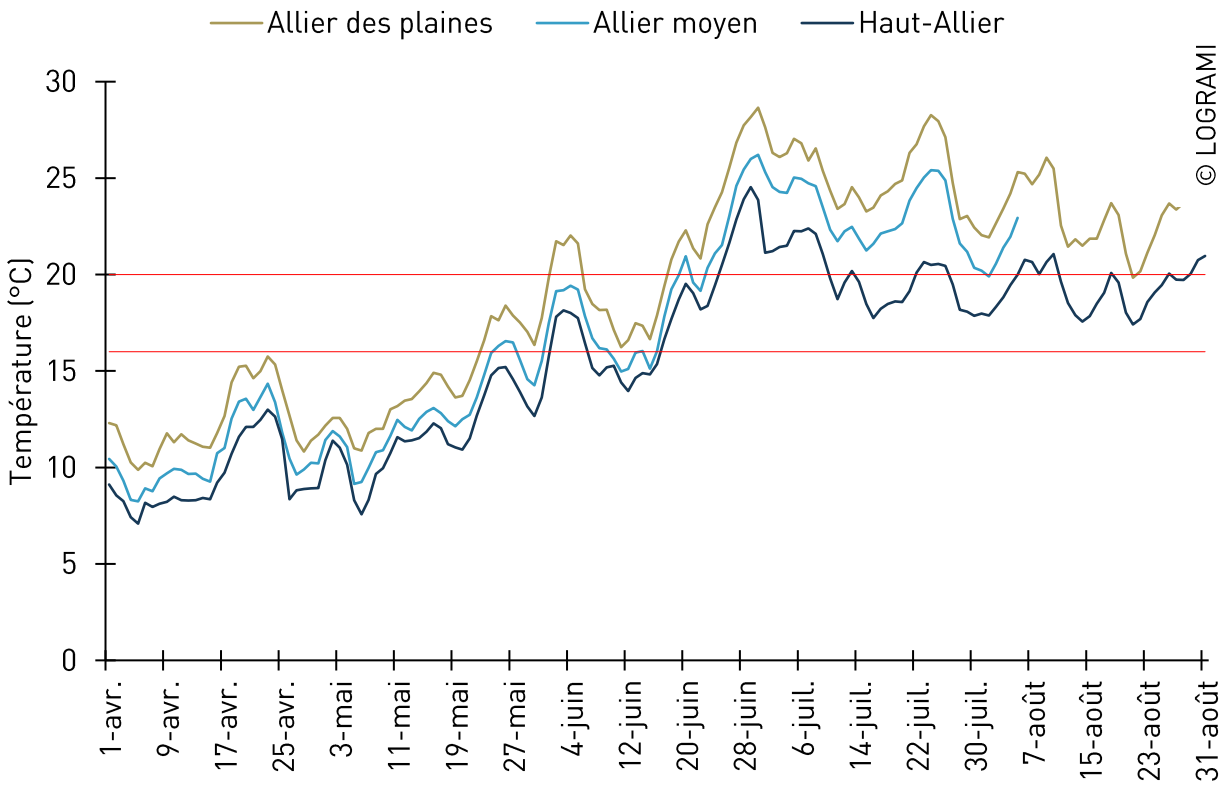


Figure 53 : Différences de températures au printemps et à l'été entre les différents secteurs en 2019

De manière générale, il semblerait que les individus marqués en début de cohorte soient plus soumis à la règle des 16 °C, la plupart des individus marqués au mois d'avril se sont arrêtés dès lors que la température a atteint 16 °C. Les individus marqués de fin de cohorte arrivés plus tardivement à Vichy, semblent continuer de migrer malgré une température supérieure à 16 °C voire proche des 18 °C.

Ainsi, les saumons qui arrivent tardivement à Vichy (après la mi-mai), principalement des 2 ans de mer, ne semblent donc pas complétement condamnés. Certains d'entre eux, continuent leur progression à des vitesses moyennes par jour supérieures à ces congénères et malgré les seuils de températures supérieurs à 16 et 18 °C. Ils rejoignent ainsi l'Allier moyen et le Haut- Allier pour passer l'été dans une eau plus fraiche et propice à la survie.

5.1.4. Mortalité des saumons

5.1.4.1 Mortalité en fonction des critères morphologiques des saumons et de la temporalité de leur migration à Vichy

Sur les 24 saumons marqués, 12 sont morts durant l'été (Tableau 10). Pour la justesse des résultats, 3 saumons ont été retirés de l'analyse sur les 24 poissons. En effet, les saumons N°49065 et N°49104 ont disparu et n'ont pas été retrouvés par le bureau d'étude SCIMABIO peu de temps après leur marquage. Leurs disparations peuvent être dues à plusieurs raisons : un acte de braconnage, un défaut

de l'émetteur ou une dévalaison de l'ouvrage de Vichy (sûrement le cas du N°49065). Le saumon N°49095 qui a été reçu en double bips une première fois le 24 mai a lui aussi été retiré de l'analyse car cette mort survient trop tôt dans la saison pour être associée à une mortalité estivale.

Sur la base de cet échantillon, les saumons de 2 et 3 ans ont eu des taux de mortalités estivales quasiment équivalents (test de Fisher, p-valeur = 0,673).

Tableau 10 : Mortalité estivale des saumons de 2 et 3 ans de mer

	Morts été	Survivants été	Total	Taux de mortalité
2 ans	4	4	8	50 %
3 ans	8	5	13	61 %

La mortalité estival des saumons n'est pas non plus liée à l'état sanitaire des saumons (test de Fisher, p-valeur = 0,511). Cependant, les saumons en bons états sanitaires (B), semblent avoir un taux de mortalité plus faible que les individus classés en état moyen et mauvais (C et D) (Tableau 11).

Tableau 11 : Mortalité estivale des saumons en fonction de leurs états sanitaires

	Morts été	Survivants été	Total	Taux de mortalité
A	1	0	1	100 %
B	1	3	4	25 %
C	7	5	12	58 %
D	3	1	4	75 %

Les saumons issus de déversements au stade smolt ne sont pas plus exposés à une mortalité estivale que les autres saumons (test de Fisher, p-valeur = 1) (Tableau 12).

Tableau 12 : Mortalité estivale des saumons en fonction de la présence ou non d'adipeuse

	Morts été	Survivants été	Total	Taux de mortalité
Sans adipeuse	2	1	3	66 %
Avec adipeuse	10	8	18	55 %

En 2019, les saumons de la deuxième session (marqués entre le 26/04 et le 29/05) n'ont pas aussi bien survécu à l'été que les saumons de la première session (marqués du 03/04 au 25/04). Plus de 80% des saumons marqués après le 26/04 n'ont pas survécu à l'été (Tableau 13). **Le taux de mortalité est significativement plus important pour les saumons de la deuxième session que pour ceux de la première (test de Fisher, p-valeur = 0,029).**

Tableau 13 : Mortalité estivale des saumons marqués en fonction de la session de marquage

	Morts été	Survivants été	Total	Taux de mortalité
Session 1	3	7	10	30 %
Session 2	9	2	11	82 %

Comme le montre le Tableau 14**, plus les saumons migrent loin au printemps et ne s'arrêtent pas dans l'Allier des plaines, meilleure est leur survie (test de Fisher, p-valeur = 0,0001).**

Tableau 14 : Mortalité des saumons marqués en fonction de leurs endroits d'arrêt estival

	Morts été	Survivants été	Total	Taux de mortalité
Allier des plaines	10	0	10	100 %
Allier moyen	2	4	6	33 %
Haut-Allier	0	5	5	0 %

À la fin de l'arrêt estival **10 saumons sur 21 seraient morts, soit 47,6 %.** Cela représente pratiquement 1 saumon sur 2 marqués qui n'auraient pas survécu à la période estivale. Les 3 saumons morts précocement ou disparus ne rentrent pas en compte dans cette analyse

L'âge de mer, l'origine du poisson (déversement au stade smolt ou non) et l'état sanitaire, n'expliquent pas les taux de mortalités estivales en 2019.

En revanche, les poissons appartenant à la deuxième session de marquage (marqués à partir du 26/04) ont moins de probabilités de survivre à la période estivale que leurs congénères arrivés plus tôt. En arrivant plus tard à Vichy, les poissons ont été plus vite confrontés au manque d'eau qui les ralentit dans leur migration. En migrant moins loin, les poissons ne peuvent pas rejoindre les meilleures zones pour passer l'été.

Cependant, tous les poissons appartenant à la deuxième session de marquage ne sont pas tous condamnés. Pour preuve, les saumons N°49184 et N°49351 marqués le 16 et 29 mai ont migré tous deux dans le Haut-Allier et ont survécus à la période estivale.

En 2019, les recherches de poissons pendant l'été n'ont pas été assez soutenues pour établir une relation entre la date de mort des poissons et le point kilométrique de leur arrêt estival.

Il n'est pas possible d'établir de relation entre l'évolution de la mortalité estivale et l'évolution de la température et de l'indice hydrologique. La recherche pendant l'été n'ayant pas été systématique, la date de mort exacte n'est jamais connue.

Afin de comparer les taux de mortalités entre eux et d'observer un lien éventuel avec la température moyenne en juillet, les mortalités issues des secondes sessions de marquage sont retenues pour chacune des trois années d'étude 2006, 2009 et 2019. En effet, l'année 2006 ne permet pas d'établir un taux sur l'ensemble de la saison puisque les saumons ont été capturés tardivement en mai. Bien que cette analyse soit établie sur 3 années d'étude, elle ouvre l'hypothèse d'une relation marquée entre le

taux de mortalité et la température estivale. Cette relation pourra être enrichie dès lors que d'autres études seront entreprises sur cet axe (Figure 54).

Cette information apporte des renseignements sur le devenir des poissons marqués plus tardivement à Vichy. **Ainsi, la température moyenne en juillet (pendant l'arrêt estival) semble conditionner la survie des poissons de la seconde session de marquage.**

Les informations de mortalités sur l'ensemble de la saison pour les années 2009 et 2019 tendent à montrer que respectivement 106 et 127 saumons issus des 2èmes contingents de migration sont morts pendant l'été (Tableau 15).

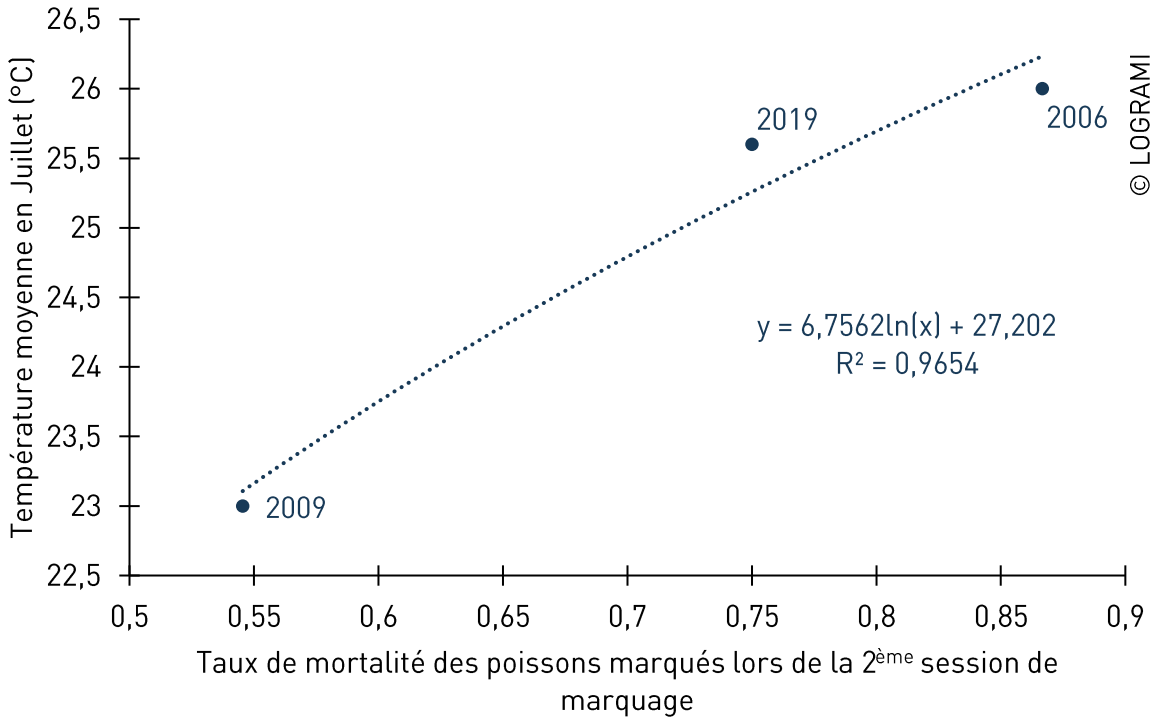


Figure 54 : Taux de mortalité des poissons marqués lors de la 2ème session de marquage en fonction de la température moyenne en juillet à Vichy

Tableau 15 : Nombre de saumons morts issus du 2ème contingent de migration en 2009 et 2019 (calculé avec le taux de mortalité issus des saumons marqués de la 2ème session de marquage)

	Taux de mortalité (échantillon)	Nb de saumons issus du 2ème contingent de migration	Nb de saumons morts issus 2ème contingent de migration
2009	0,55	194	*106
2019	0,75	169	*127

*extrapolation

5.1.4.2 Relation entre la mortalité estivale et le secteur d'estivation

L'ensemble des saumons de 2019, ayant effectué un arrêt estival dans le secteur de l'Allier des plaines meurent durant la période estivale. Les analyses de température nous révèlent en effet que le seuil des 25 degrés, considéré comme létal, est dépassé durant 25 jours (§ 3.2.1) dans ce secteur.

Dans l'Allier moyen, le seuil des 25 degrés a été dépassé 8 fois. La mortalité des saumons est de 33%.

Ce seuil n'a pas été atteint sur le Haut-Allier (Langeac) en 2019 et les risques de dépassement de ces températures létales sont de l'ordre de 3 jours maximum en fonction des années et ne semble pas avoir de conséquence sur la mortalité des poissons puisque la survie est totale quelle que soit l'année d'étude.

En 2006, l'émetteur du seul saumon qui ait fait son arrêt estival dans le Haut-Allier ayant été retrouvé sur une plage de galets à quatre mètres de la rivière en juillet, la mortalité n'était pas attribuable à de fortes températures. Aucun taux de survie n'a donc été calculé pour ce secteur en 2006.

L'estimation des mortalités estivales des poissons sur les trois années d'étude selon les secteurs de répartition des poissons montre une ségrégation spatiale des chances de survie (Figure 55 et Annexe 8).

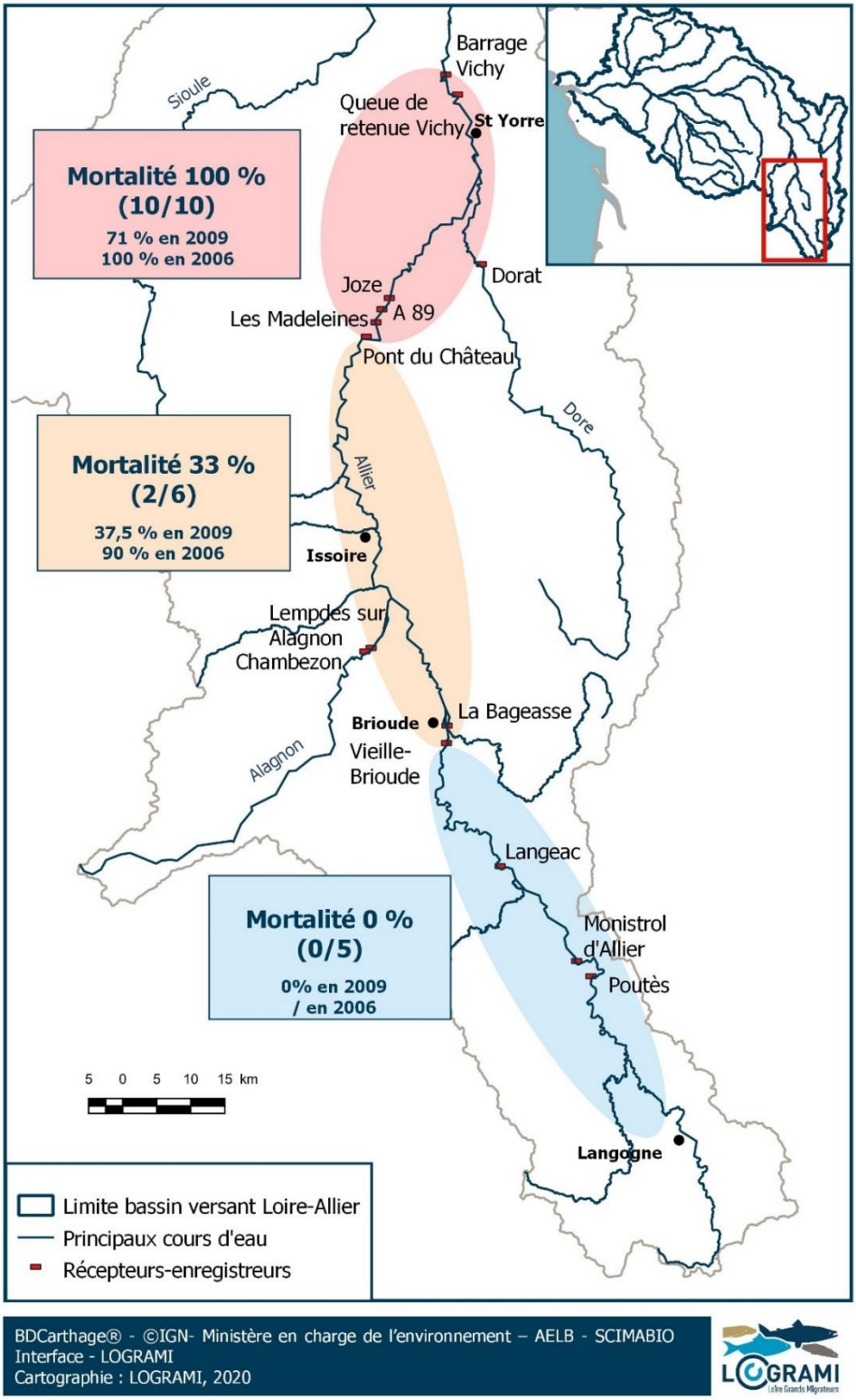


Figure 55 : Mortalités estivales des saumons marqués par secteur en 2019 comparées à celles de 2006 et 2009

5.1.4.3 Mortalité après-reproduction

En 2019, 9 saumons ont survécu à la période estivale. Il existe cependant une interrogation sur la reproduction de 2 saumons :

- N°49104 : Il est mort aux alentours du 14 novembre. A ce moment-là, aucune frayère n'avait été observée sur les sites connus entre Vieille-Brioude et Langeac, mais il n'est pas impossible que ce poisson se soit reproduit.

- N°49351 : L'émetteur de ce poisson a été retrouvé le 14 novembre dans un terrier (prédateur non identifié) sur la Desges. Nous avons la même interrogation que pour le N°49104, à ce moment-là aucune frayère n'avait été vue sur la Desges. À noter qu'à 10 m du terrier, un saumon mâle spermiant non marqué de près de 90 cm a également été retrouvé mort ce même jour (Figure 56).

Figure 56 : Saumon mâle de 3 ans de mer spermiant non marqué retrouvé sur la Desges le 14 novembre

Les premières reproductions ont été vues à Langogne aux alentours du 5 novembre. La reproduction en amont de Langeac a commencé aux alentours du 20 novembre.

Au final 7 saumons se sont reproduits de façon certaine. Parmi eux, 3 saumons sont morts post-reproductions, les 4 autres ont redévalé.

3 saumons sont morts entre Vieille Brioude et Langeac dont 2 qui s'étaient reproduits en amont de Langeac et 1 entre Langeac et Vieille Brioude (probablement un mâle supposé en raison de nombreux mouvements durant la période de reproduction).

5.1.5. Distance de migration

Sur l'Allier les premières frayères se situent à 105,5 km de Vichy vers Issoire (97 km à Saint Yvoine en 2017). En comparaison, elles sont à 119 km sur l'Alagnon, 48 km sur la Dore et 192 km sur la Desges (confluence avec l'Allier). Ce sont les distances minimales que doivent parcourir les saumons pour être considérés comme reproducteurs à l'hiver.

L'analyse de la distance de migration des saumons reproducteurs en 2019 a été effectuée sur les 7 saumons qui ont entamé la migration automnale sur l'Allier (Figure 57**).** Le saumon marqué qui s'est engagé dans l'Alagnon et celui qui est mort à la mi-novembre ont été retirés de cette première analyse. Afin de comparer les années entres elles, les 6 saumons de 2009 qui se sont engagés dans l'Alagnon, ont eux aussi été retirés de l'analyse.

En 2006, seuls 2 saumons ont pu entamer une migration automnale. Ils avaient parcouru 187 et 265 kilomètres depuis Vichy.

En 2009, sur les 7 saumons qui ont migré exclusivement sur l'Allier, la distance minimale est de 139 kilomètres et de 258 pour la maximale. En moyenne, les saumons avaient parcouru 191 km +/- 43.

En 2019, en moyenne, les 7 saumons suivis ont parcouru 213 km +/- 38 avec une distance minimale de 186 km sur l'Allier. Mais un saumon s'est reproduit sur la Desges et n'a donc parcouru que 177 km avant de s'arrêter sur frayère. En retirant ce poisson de l'échantillon les 6 saumons ont parcouru en moyenne 219 km +/- 39.

Parmi les 7 saumons, 2 poissons sont allés jusqu'à Langogne et ont pu être localisés, la distance maximale parcourue est de 269 kilomètres pour l'un et 267 kilomètres pour l'autre.

Il n'y a pas de différence significative entre les années. Les saumons reproducteurs en 2019 n'ont pas migré significativement plus loin que ceux suivis en 2006 (Figure 57) (test de Student, p-valeur = 0,7) et ceux suivis en 2009 (test de Student, p-valeur = 0,34).

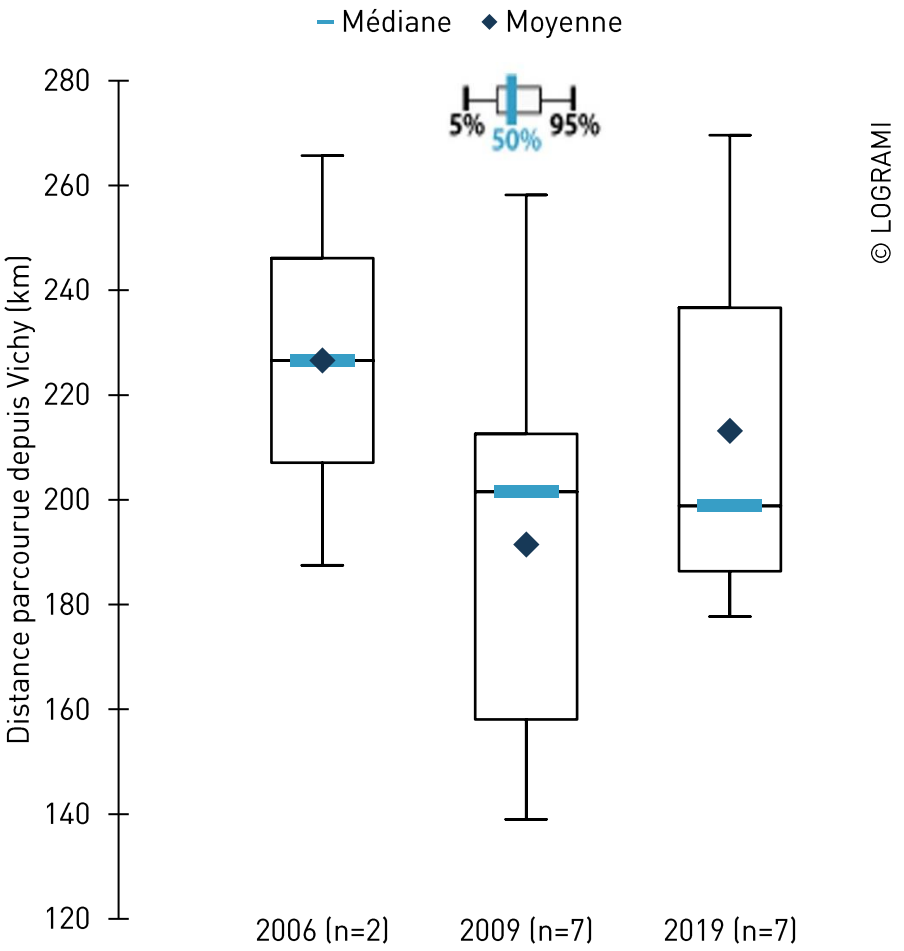


Figure 57 : Distance de migration des saumons reproducteurs sur l'Allier depuis Vichy en 2006, 2009 et 2019 (hors Alagnon)

En 2019, la distance de migration des saumons reproducteurs marqués sur l'Allier ne dépend pas significativement ni de la taille des individus (test de Spearman, p-valeur = 0,256) ; ni de la session de marquage (test de Mann-Whitney, p = 0,571) ; ni de l'âge de mer (test de Mann-Whitney, p = 0,629) et ni de l'état sanitaire (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,381) (Figure 58).

Le seul saumon reproducteur sans adipeuse a parcouru 177 kilomètres avant de s'engager dans la Desges. Sur les 7 saumons, c'est la plus petite distance de migration. Cependant, cette différence ne peut pas être associée au fait que ce poisson soit issu de déversement, mais plutôt au fait qu'il se soit engagé sur un affluent où la migration est rendu difficile à cause du nombre d'ouvrages.

En 2019, 1 seul saumon s'est engagé sur l'Alagnon. Ce poisson ne s'est jamais présenté au seuil de Lempdes sur Alagnon situé à 10 km en amont de la confluence. Sa localisation la plus amont a été au Pont de Lempdes sur Alagnon, environ 8 km en amont de la confluence. Au total, ce poisson a parcouru 125 kilomètres avant de se reproduire, soit 110 kilomètres de moins que la moyenne des saumons sur l'Allier. **Cette différence peut s'expliquer par la présence de bonnes frayères plus en aval sur l'Alagnon que sur l'Allier.**

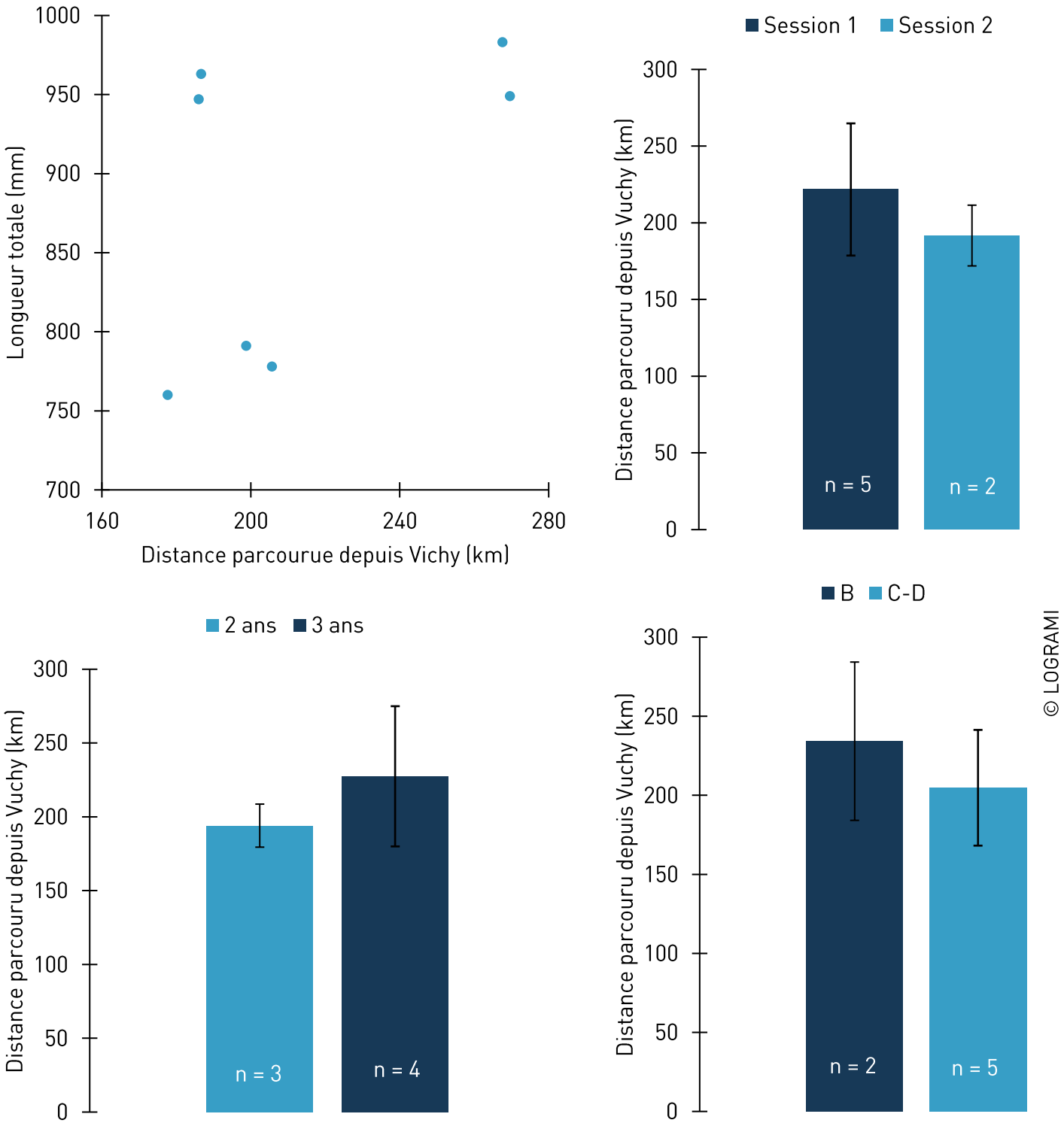


Figure 58 : Distance de migration en fonction de la taille, de la session de marquage, de l'âge de mer et de la classe sanitaire des saumons marqués et reproducteurs sur l'Allier en 2019

5.1.6. Dévalaison des ravalés

Comme chaque année, certains géniteurs nommés ravalés (principalement des femelles) (BACH *et al.*, 2011 ; 2015) dévalent vers la mer après leur reproduction, pour tenter un deuxième cycle.

Sur les 7 reproducteurs 4 ont dévalé (57%). Deux sont arrivés à Vichy en décembre ont profité d'une crue en fin d'année pour dévaler rapidement (8,94 et 10,99 km/j) (voir chapitre conditions hydrologiques de l'Allier aval). Les deux autres sont arrivés plus tard et ont dévalé moins rapidement (1,78 et 2,47 km/j). Entre le premier et le dernier ravalé, quasiment 2 mois se sont écoulés (Tableau 16 et Figure 59).

En 2009, 4 ravalés sur 14 reproducteurs (29 %) étaient arrivés jusqu'à Vichy. Ils avaient pour vitesse moyenne 2,23 et 7,6 km/j. L'hiver 2009 avait été sec et aucun pic de débit n'avait été enregistré. Les débits moyens mensuels de décembre à mars étaient deux à trois fois inférieurs aux débits moyens mensuels de référence.

D'après ces observations, lors de la période de dévalaison, les saumons qui profitent d'une augmentation de débit dévalent plus rapidement que leurs congénères.

Avec 3 femelles sur 4 ravalés en 2019, l'échantillon conforte que le sexe des ravalés est en faveur des femelles (BACH *et al.*, 2011 ; 2015)

Tableau 16 : Vitesse de dévalaison des ravalés jusqu'à Vichy des saumons radiospistés en 2019

	Date d'arrivée à Vichy	Distance de dévalaison jusqu'à Vichy (km)	Vitesse de dévalaison (km/j)
Saumon 49014	20/02/2020	120	1,78
Saumon 49024	28/12/2019	264	10,99
Saumon 49124	03/02/2020	183	2,47
Saumon 49184	21/12/2019	206	8,94

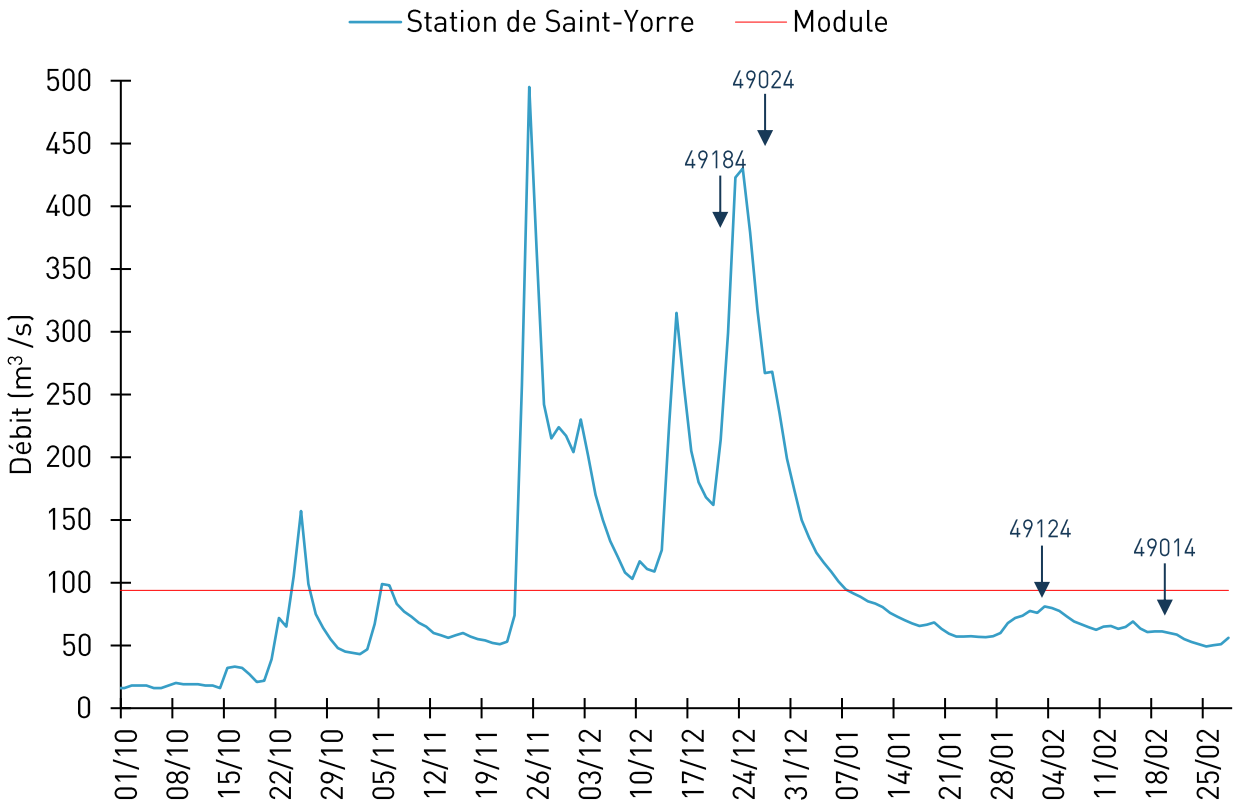


Figure 59 : Date de dévalaison des 4 ravalés à Vichy

Le Tableau 17 récapitule le temps de dévalaison des saumons entre leurs lieux de reproduction et leurs arrivés à Vichy. Il apparaît que selon les conditions de dévalaison (débit favorable et surverse) le temps de passage est modifié entraînant parfois des blocages conséquents.

Tableau 17 : Récapitulatif du temps de dévalaison des ravalés

	Date départ en dévalaison (estimé)	Date d'arrivée à Vichy	Temps de dévalaison Monistrol d'Allier	Temps de dévalaison Langeac	Temps de dévalaison Vieille Brioude	Temps de dévalaison la Bageasse	Temps de dévalaison Pont du Château	Temps de dévalaison Vichy	Temps de dévalaison
Saumon 49014	14/12/2019	20/02/2020	/	/	/	/	2 min	minimum 13 j	68 j
Saumon 49024	10/12/2019	28/12/2019	2 min	5 min	9 min	9 min	9 min	20 min	18 j
Saumon 49124	26/12/2019	03/02/2020	/	5,5 j	19 min	49 min	5 min	18 min	36 j
Saumon 49184	03/12/2019	21/12/2019	/	8,5 j	9 min	23 min	3 min	30 h	18 j

Ces résultats confortent également les observations ponctuelles réalisées lorsque, comme les smolts, ces poissons empruntent les dispositifs de montaison pour effectuer leur dévalaison faute de trouver d'autres alternatives. Des ravalés sont alors observés en dévalaison sur les stations de comptages Vichy et St Pourçain sur Sioule. A Poutès, ils étaient comptabilisés lorsqu'ils utilisaient la goulotte de dévalaison (Figure 60).

Les 55 observations depuis 1997 à Vichy révèlent des dévalaisons entre décembre et mars. Elles sont plus tardives sur la Sioule pour 19 individus et situées entre mars et mai. A Poutès, 59 % des dévalaisons de ravalés sur 133 observations depuis 1986 sont constatés au mois d'avril. Pour rappel, l'exutoire de dévalaison n'était fonctionnel qu'entre le 15 mars et le 15 juin.

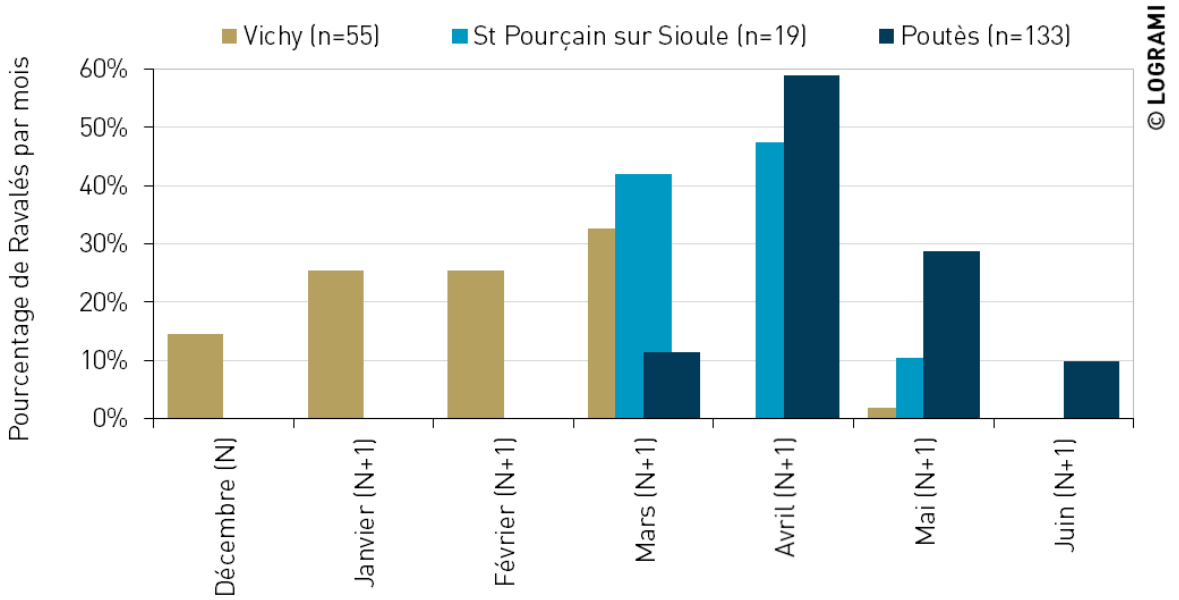


Figure 60 : Répartition par mois des effectifs des ravalés observés aux stations de Poutès, Vichy et St Pourçain sur Sioule

5.2. Extrapolation à la population

Au regard de la représentativité de l'échantillon, les suivis effectués des 24 saumons permet d'extrapoler les résultats à l'ensemble de la population en migration de montaison estimé à 379 saumons **(406 estimés à Vichy moins les 27 capturés par le CNSS) en 2019**. Afin de compléter la représentativité et de la justesse des données, les stations de comptages permettent également de comparer les taux de transfert entre l'échantillon et la population.

5.2.1. Répartition des poissons par secteur

5.2.1.1 Répartition pendant la période d'estive

En extrapolant les données des poissons marqués à la population, nous pouvons estimer la répartition des saumons sur l'axe Allier et ainsi jauger les effectifs survivants après la période estivale.

Ainsi, nous calculons que 205 saumons sont en estivation entre Vichy et Pont du Château (54 %) (16 saumons sur la Dore), 95 entre Pont du Château et la Bageasse (25 %) et 79 en amont de cet ouvrage (21 %) (Tableau 18).

À la fin de l'été, sur les 379 saumons en amont de Vichy, seulement 142 auraient survécu et auraient entamé leur migration automnale. Ainsi 205 saumons seraient morts en aval de Pont du Château et 32 entre Pont du Château et la Bageasse.

Tableau 18 : Extrapolation du nombre de saumons entre les différentes zones de survie

	Échantillon	Survivant Échantillon	Population	Survivant Population
Vichy	24	9	379*	142*
Entre Vichy et Pont du Château	13 (54 %)	0	205* (54 %)	0*
Entre Pont du Château et la Bageasse	6 (25 %)	4	95* (25 %)	63*
En amont de la Bageasse	5 (21 %)	5	79* (21 %)	79*

*406 saumons moins les 27 capturés par le CNSS

*extrapolation

5.2.1.2 Répartition selon les stations de comptages

Sur l'ensemble de la migration 2019, sur les 379 en amont de Vichy, 123 saumons ont été comptabilisés à la station de comptage du barrage de Langeac dont 41 au printemps, soit un taux de transfert de 32,4 % (Tableau 19). Avec 25 % (6 sur 24), cette proportion est plus faible pour les individus marqués (Tableau 19). Un saumon marqué supplémentaire ayant franchi Langeac, aurait permis d'obtenir le même taux de transfert entre l'échantillon et la population. Cette différence pourrait s'expliquer **par le décalage à Vichy, entre le début de la migration des saumons et les premiers marquages** (selon l'estimation, 32 saumons étaient déjà en amont de Vichy avant le début du marquage. Ceci occasionne une légère sous-représentation des premiers individus migrants).

Sur les 142 reproducteurs estimés en 2019, 123 ont franchi le barrage de Langeac. Selon cette estimation, 19 saumons se sont reproduits en aval de ce dernier.

Concernant le barrage de Poutès, le premier des 2 saumons marqués ayant franchi l'ouvrage n'a pas été observé dans l'ascenseur. Par ailleurs, ne disposant alors pas d'autorisation pour installer un enregistreur durant la phase de chantier de l'ouvrage, la date précise de son franchissement est inconnue. Il a néanmoins été localisé le 7 juin à l'aval immédiat du barrage au niveau du rejet de la vanne de fond. N'ayant, par la suite, jamais été relocalisé dans le tronçon court-circuité, il est probable que ce dernier ait franchi l'ouvrage par cette voie. Un franchissement par l'ascenseur durant l'unique journée de fonctionnement de celui-ci sans système de comptage n'est cependant pas à exclure.

Le second saumon marqué a franchi le barrage le 29 octobre et a été observé dans l'ascenseur lors de la remontée de 14h30 TU. Il fait partie des 21 saumons comptabilisés à l'ascenseur en 2019.

L'application de la proportion de géniteurs de notre échantillon ayant franchi le barrage de Poutès à la population permet d'estimer le nombre total de saumons ayant franchis Poutès en 2019 :

- Le taux de transfert de Vichy à Poutès est de 2 sur 24 soit 8,3%
- Le taux de transfert de Langeac à Poutès est de 2 sur 6 soit 33%

Ainsi, entre 31 et 41 saumons auraient franchi l'ouvrage en 2019, **soit 10 à 20 de plus que les comptages réalisés à partir du 10 octobre 2019 avec des franchissements par la vanne de fond ou par l'ascenseur avant l'installation du système de comptage.**

Tableau 19 : Taux de transfert de la population et de l'échantillon entre Vichy et Langeac/Poutès en 2019

	Vichy	Langeac	Taux de transfert Vichy - Langeac	Effectifs à Poutès comptabilisé	Taux de transfert Vichy - Poutès	Taux de transfert Langeac-Poutès
Population	379*	123	32,4 %	21	31* (8,3 %)	41* (33%)
Échantillon	24	6	25 %	2	8,3 %	33 %

*406 saumons moins les 27 capturés par le CNSS
*estimation

Sur le bassin de la Creuse à Descartes, où les comptages ont été exhaustifs, les premiers saumons sont arrivés légèrement plus tôt en 2019 comparativement à la moyenne calculée depuis 2007. Ainsi, 50 % de la migration était déjà arrivée au 24 mars alors que selon la moyenne, ce seuil est atteint le 4 avril. Cette information indique que le chiffre estimé de 32 saumons passés à Vichy avant le début du comptage à partir des séries chronologiques précédentes est probablement à considérer comme un minimum et les valeurs estimées en termes d'effectifs à Vichy potentiellement sous-estimés en début de période de migration. Ces poissons ne font pas partis du contingent suivi et aboutissent probablement à des résultats plus pessimistes en termes d'effectifs de reproducteurs.

5.2.2. Nombre de reproducteurs

Au final, 9 saumons sur 24 se seraient reproduits en amont de Vichy (Figure 61). En extrapolant à la population, nous estimons donc que 142 saumons ont été des reproducteurs en 2019 (Tableau 20) .

Le saumon engagé dans l'Alagnon s'est reproduit sur la partie aval entre Lempdes sur Alagnon (43) et Charbonner les mines (63). Au final, nous pouvons estimer que seulement 16 saumons se seraient engagés sur cet axe pour se reproduire dans la partie basse en aval de Lempdes sur Alagnon. A noter qu'en 2009, les effectifs reproducteurs sur ce même axe ont été estimés à 132 saumons.

Sur les 8 saumons présents sur l'Allier, aucun ne s'est reproduit en aval de Vieille Brioude. Les températures particulièrement chaudes en 2019 durant la période estivale (+ 3,2 °c par rapport à la moyenne de référence) semblent avoir été rédhibitoires. Cette information laisse penser que cette année les poissons marqués et donc la population, ont migré plus en amont et que peu voire aucune reproduction n'a eu lieu sur le secteur S5 en aval de Vieille Brioude.

Entre Vieille Brioude et Langeac, 1 saumon s'est reproduit et une interrogation subsiste autour d'un autre qui est mort précocement mi-novembre (Figure 61). Extrapolé à la population, cette indication représenterait qu'environ 16 saumons seraient reproducteurs sur ce secteur (S4). Cependant ce calcul basé sur 1 saumon est susceptible de surestimer le nombre de reproducteur sur ce secteur. Plusieurs éléments complètent cette information : une partie des migrants en début de période n'est pas pris en compte par le radio pistage mais comptabilisé dans les 123 saumons à Langeac et l'opération de radio

pistage estime 126 reproducteurs (142 moins les 16 estimés sur l'Alagnon) entre Vielle Brioude et l'amont de l'Allier. Ainsi, les estimations varient entre 3 et 16 saumons reproducteurs dans le secteur Vielle Brioude-Langeac.

Les 6 autres poissons se sont reproduits en amont de Langeac. Comme en 2006 (N°49095), un saumon sans adipeuse s'est engagé dans la Desges. Il semblerait que cet individu n'ait pas eu le temps de se reproduire. En amont de Langeac (Secteurs S3 à S1), le nombre de saumons comptabilisés à la station permet d'évaluer exactement les effectifs de reproducteurs à 123 saumons puisqu'aucune mortalité estivale n'est à déplorer sur ce secteur (information des STACOMI). Parmi eux, entre 82 et 92 se seraient reproduits sur le secteur entre Langeac et Poutès, appelé S3.

Deux poissons marqués ont franchi le barrage de Poutès et ont parcouru 50 kilomètres supplémentaires pour se reproduire vers Langogne. Un saumon a été localisé dans l'Espezonnette, un affluent de l'Allier situé en rive droite à 267 km de Vichy. C'est la reproduction la plus apicale observée sur des poissons marqués. Cette information laisse penser que sur les 31 à 41 reproducteurs en amont de Poutès (estimés par les stations de comptages), une grande proportion voire la totalité, ont migré jusqu'à cette zone.
A noter que chaque année, peu de frayères sont observées sur le secteur S2 entre Poutès et Saint-Etienne-du-Vigan, ce qui conforte l'idée que les saumons se reproduisent préférentiellement vers Langogne.

Tableau 20 : Répartition des reproducteurs entre les différents secteurs

	Secteurs		Nb de reproducteurs estimés
Allier des Plaines	/	/	0
Allier Moyen	S5	En aval de Vieille-Brioude	0 (3 à 16 sur l'Alagnon)
Haut-Allier	S4	Entre Vieille Brioude et Langeac	3 à 16
	S3	Entre Langeac et Poutès	82 à 92
	S2 et S1	En amont de Poutès	31 à 41

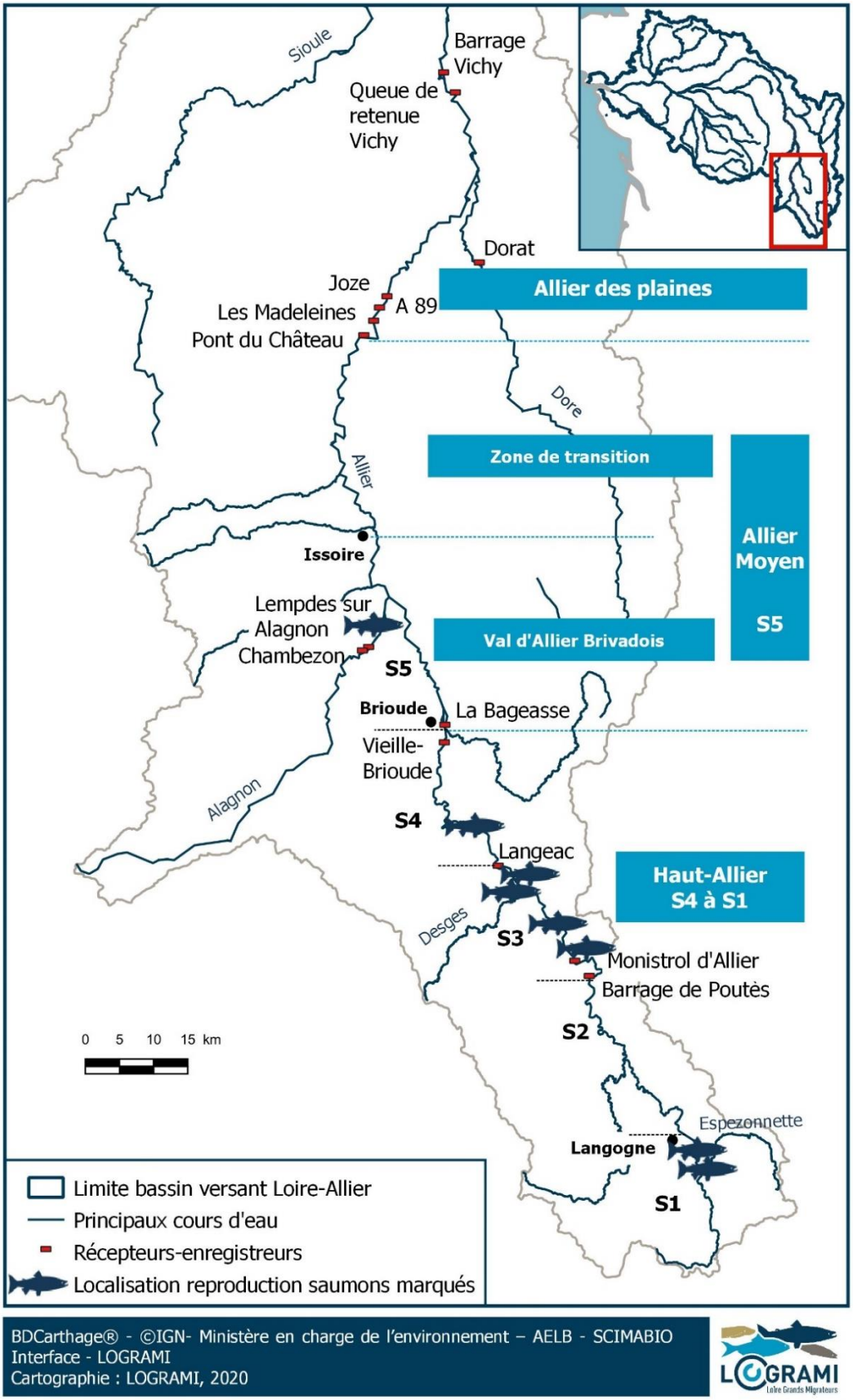


Figure 61 : Représentation cartographique de la localisation des saumons marqués pendant la reproduction

Comparativement à 2009 où les proportions de reproducteurs entre l'Alagnon et l'Allier étaient équilibrées avec respectivement 132 et 142 saumons, l'année 2019 se particularise avec l'essentiel de la reproduction ayant lieu au sein de l'axe Allier avec 126 reproducteurs estimés et seulement 16 reproducteurs sur l'Alagnon.

5.2.3. Effectif de ravalés

Sur les 24 saumons marqués et sur les 7 qui se sont reproduits, 4 ont réussi à dévaler l'Allier jusqu'à Vichy après la reproduction soit 16,6 % des poissons migrants et 57,1 % des reproducteurs. Ces poissons montrent des taux de dévalaison supérieurs aux proportions observées sur d'autres bassins versant Bretons, mais ces contrôles ne sont réalisés qu'à Vichy. Il reste encore 663 kilomètres avant de rejoindre l'estuaire. Parmi ces 4 saumons, une femelle de 3 ans de mer qui avait frayé vers Langogne, a réussi à dévaler 264 kilomètres jusqu'à Vichy.

En appliquant ce taux de dévalaison à la population, nous estimons que 63 ravalés ont dévalé à Vichy en 2019 (Tableau 21). Les observations ne montrent cependant qu'un seul ravalé à la station de comptage, le 3 février 2020 (89,6 cm). Les ravalés utilisent d'autres voies de passages, notamment la surverse du barrage avec un risque de blessure lors de la chute. Dans le futur projet de centrale hydroélectrique à Vichy, il faudra prendre en compte ces individus qui seront attirés par l'attrait des turbines et stagneront devant le plan de grille.

En 2009, 4 saumons sur 30 marqués ont dévalé à Vichy post-reproduction. En appliquant ce taux aux 456 saumons de la population, les effectifs de ravalés sont évalués à 61 poissons à Vichy.

Cette proportion non négligeable, montre bien que certaines années, les ravalés sont nombreux à dévaler à Vichy. Il est possible que certains d'entre eux arrivent à faire un deuxième cycle et reviennent recoloniser l'Allier. Des femelles alors âgées de 4-5 étés de mer seraient plus grosses et possèderaient un nombre d'œufs plus important qu'une femelle de 2 ou 3 étés de mer.

Tableau 21 : Extrapolation du nombre de ravalés détectés à Vichy après la reproduction de 2019

	Vichy (montaison)	Vichy (dévalaison)
Population	379	63*
Échantillon	24	4

*406 saumons moins les 27 capturés par le CNSS

*extrapolation

5.3. Franchissement des obstacles

5.3.1. Succès de franchissement

Sur l'Allier, un seul ouvrage ne présente pas un taux de franchissement de 100 %. Sur les 13 poissons qui ont été détectés au seuil de Pont du Château, 12 sont passés soit 92 % (Figure 62). Un poisson s'est

présenté plusieurs fois sans franchir ce seuil (blocage). Au regard de la population, 16 saumons ont du se retrouver bloqués au niveau de ce seuil.

Sur l'Alagnon, aucun saumon marqué ne s'est présenté au premier seuil équipé d'un enregistreur (Lempdes sur Alagnon). Aucun taux de franchissement n'a été calculé pour les ouvrages de cet affluent.

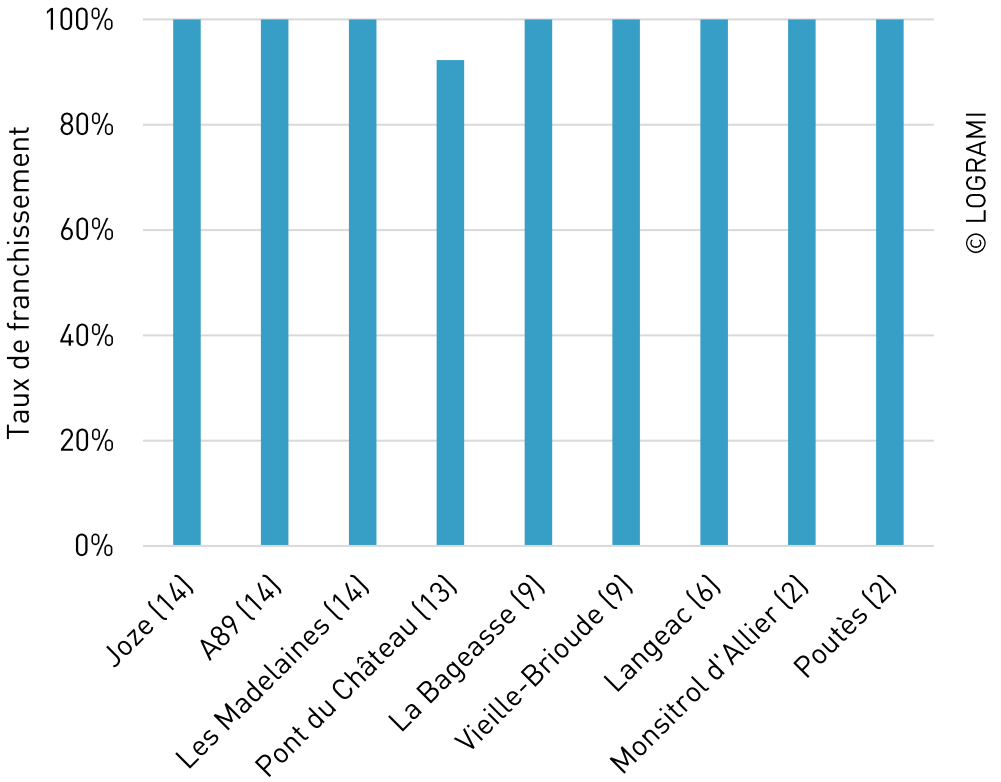


Figure 62 : Succès de franchissement de chaque ouvrage équipé d'un enregistreur en 2019 en fonction du nombre de poisson se présentant à l'aval

En 2006, **le barrage de Vieille Brioude n'avait pas laissé passer la totalité des individus** (3 individus sur 5 soit 60 %). Les 4 premiers seuils en amont de Vichy avaient engendré des retards relativement conséquents pour 12 individus (d'au moins 1 jour) et **le seuil des Madeleines a retenu 1 poisson en aval sur 26**. Le barrage de Poutès avait laissé passer le seul saumon qui s'y était présenté, mais celui-ci avait franchi l'ouvrage après 43 jours de retard (du 6 octobre au 18 novembre 2006).

En 2009, le seuil des Madeleines avait été bloquant pour 3 saumons sur 29. Le barrage de Vieille Brioude avait, cette année-là, encore bloqué un saumon. Sur les 4 saumons qui s'étaient présentés à Langeac, 1 seul n'avait pas franchi l'ouvrage. Le barrage de Poutès avait été beaucoup plus problématique, avec seulement 1 franchissement sur 4.

Au final, le succès de franchissement en 2019 est meilleur qu'en 2006 et 2009. Rappelons que cette année, le barrage de Poutès était en travaux et que les conditions de franchissement étaient différentes de celles de 2006 et 2009 (Figure 63 et Tableau 22).

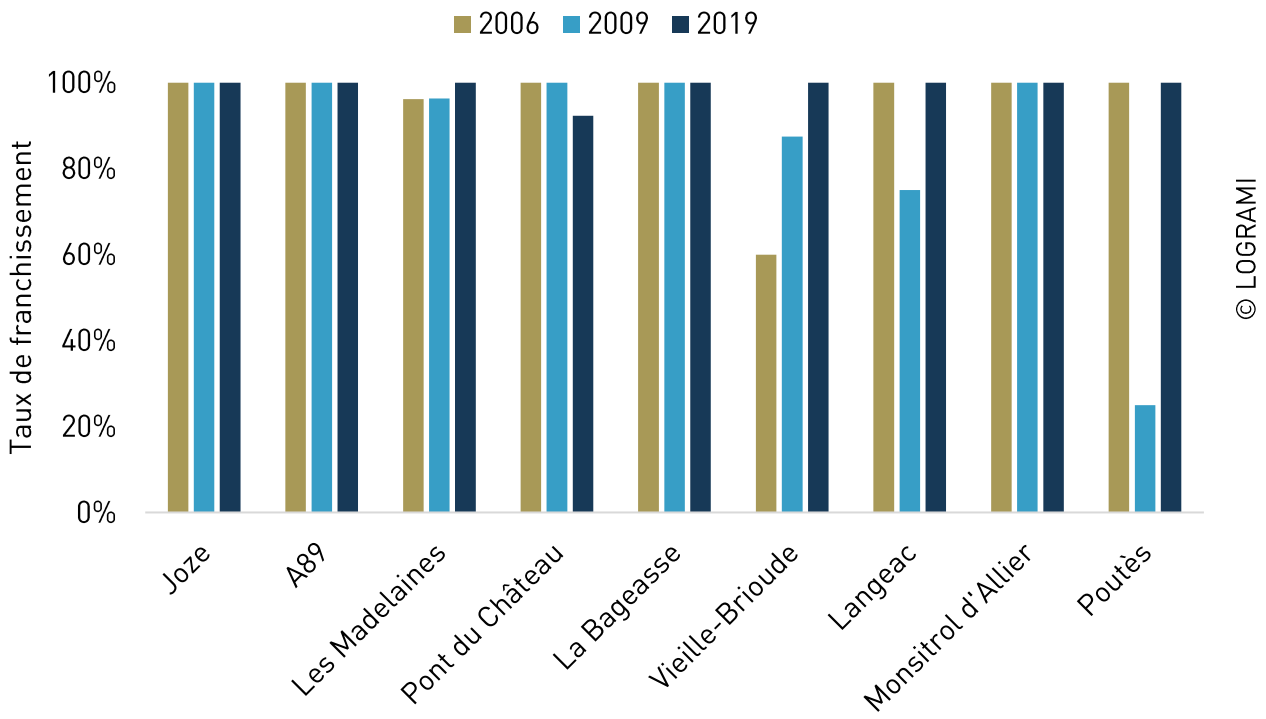


Figure 63 : Succès de franchissement de chaque ouvrage en 2006, 2009 et 2019

Tableau 22 : Nombre de saumons se présentant en aval de chaque ouvrage en 2006, 2009 et 2019

	2006	2009	2019
Joze	26	29	14
A89	26	29	14
Les Madelaines	26	29	14
Pont du Château	25	26	14
La Bageasse	5	9	9
Vieille-Brioude	5	8	9
Langeac	2	4	6
Monistrol d'Allier	1	4	2
Poutès	1	4	2

5.3.2. Nombre de barrage par saumon

Avant l'arrêt estival, les 9 saumons qui ont survécu à l'été, ont franchi en moyenne 8 barrages/seuils +/- 3 avant de s'arrêter. À la reprise de leurs migrations, ils en ont franchi 11 +/- 3 au total soit 3 de plus pour se reproduire (Tableau 23).

Tableau 23 : Nombre de barrages/seuils franchis par saumon (survivants à l'été) à l'arrêt estival et avant reproduction

	A l'arrêt estival	Avant reproduction
49014	5	6 (Alagnon)
49024	5	15
49044	13	15
49075	5	8
49085	8	11
49104	8	8
49124	6	11
49184	11	11
49351	8	11

5.4. Retards au franchissement

5.4.1. Retards lors de la migration printanière

Pour chaque ouvrage équipé d'un récepteur et ayant fait l'objet d'un franchissement printanier, un temps de retard moyen durant la migration printanière a pu être estimé. Pour la plupart des ouvrages, le retard moyen est systématiquement différent du retard médian, révélant que certains poissons ont mis beaucoup plus de temps à franchir les ouvrages alors que la majorité sont passés plus rapidement. Pour cette analyse, nous allons nous intéresser au temps de retard médian et regarder individuellement chaque poisson ayant mis beaucoup plus de temps (Figure 64).

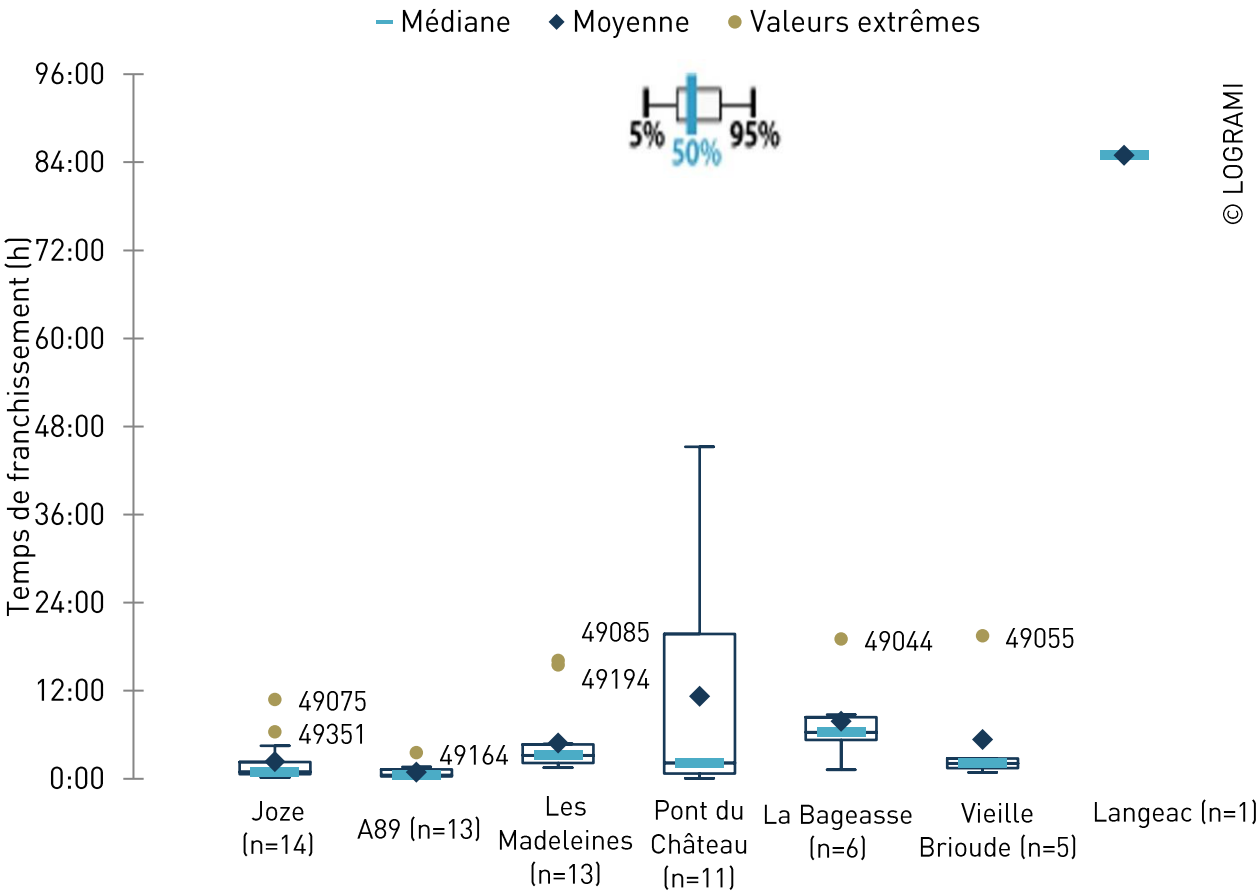


Figure 64 : Retards engendrés pour chaque ouvrage équipé d'un récepteur en 2019 durant la migration printanière (Données : SCIMABIO Interface pour Joze, A89 et les Madeleines)

Le seuil de Joze a été franchi par 14 poissons, le temps de franchissement varie entre 10 minutes et 10h48. En moyenne, un saumon met 2h20 +/- 3h à franchir ce seuil. Le temps médian est de 56 minutes.

Concernant le seuil de l'A89, les 14 saumons ont également franchi ce seuil (le temps de franchissement du N°49044 n'a pas été enregistré suite à un problème technique), l'analyse est effectuée sur 13 saumons. Le temps de franchissement varie entre 11 minutes et 3h33. En moyenne, un saumon met 53 minutes+/- 55 à franchir ce seuil. Le temps médian est de 29 minutes.

Au seuil des Madeleines, l'analyse est réalisée sur 13 saumons alors que 14 ont franchi ce seuil (même problème technique concernant le N°49044). Le temps de franchissement varie entre 1h31 et 16h07. En moyenne, un saumon met 4h51 +/- 4h49 à franchir ce seuil. Le temps médian est de 3h11.

Le seuil de Pont du Château a été franchi par 12 saumons. Le temps de franchissement d'un saumon n'a pas pu être estimé. Le temps de franchissement varie entre 4 minutes et 45h14. En moyenne un saumon met 11h14 +/- 14h57 à franchir ce seuil. Le temps médian est de 2h10. La différence entre la moyenne et la médiane est due à 4 saumons. Ils ont mis respectivement 17h11, 22h19, 27h09 et 45h14 à franchir ce seuil.

Au printemps, 6 saumons sont arrivés jusqu'au barrage de la Bageasse. Le temps de franchissement varie entre 1h14 et 19h01. En moyenne les saumons ont mis 7h49 + /- 6h02 à franchir le barrage par la passe à poisson en rive droite. Le temps médian est de 6h20.

Les 6 saumons qui ont franchi le barrage de la Bageasse ont également franchi celui de Vieille Brioude, 3 kilomètres en amont. L'analyse effectuée sur 5 saumons, suite à un problème technique. Le temps de franchissement varie entre 52 minutes et 19h07. Le temps de franchissement moyen est de 5h19 +/- 7h55, le temps médian est de 2h06. Sur les 5 saumons, 4 ont mis moins de 3h à franchir l'ouvrage.

À Langeac, 2 saumons ont franchi le barrage au printemps. Le temps de franchissement d'un saumon n'a pas pu être estimé. Le premier a, quant à lui, mis environ 85h à franchir l'ouvrage, après s'être engagé dans le canal de fuite de l'usine, il l'a dévalé pour finalement passer par le barrage.

En se référant au temps médian de franchissement de ces 7 ouvrages, il semblerait que le barrage de Langeac (84h) et de la Bageasse (6h20) ont été les plus pénalisants. Le seuil des Madeleines a retardé les poissons de 3h11. Pour le barrage de Vieille Brioude et le seuil de Pont du Château, les saumons ont mis un peu plus de 2h à passer. Les seuils les moins pénalisants sont celui de Joze et de l'A89 avec respectivement 56 minutes et 29 minutes.

En s'intéressant uniquement aux 6 poissons qui franchissent au printemps l'ouvrage de Vieille Brioude situé à 147 km de Vichy, les calculs indiquent qu'un saumon met en moyenne 564 h +/- 375 soit environ 23 jours pour effectuer ce trajet (temps médian de 422 h soit 17 jours et demi) depuis Vichy.

Sur le parcours en 2019, les 6 saumons ont perdu en moyenne 26h47 +/- 23h52 soit un peu plus d'un jour (temps médian de 23h52) uniquement pour franchir les 6 ouvrages suivis.

5.4.2. Retards lors de la migration automnale

Lors de la migration automnale, 3 saumons ont franchi le barrage de la Bageasse et de Vieille Brioude.

Les 3 saumons ont mis en moyenne 40h22 +/- 47h06 pour franchir l'ouvrage de la Bageasse. Le temps de franchissement varie entre 2h07 et 92h59. Le temps médian est de 26h. Même si la comparaison est effectuée sur de petits effectifs, il semblerait que les saumons à l'automne ont mis plus de temps à franchir cet ouvrage.

Concernant le franchissement de l'ouvrage de Vieille Brioude par les 3 saumons, il varie entre 2h18 et 28h45. Le temps de franchissement moyen est de 17h14 +/- 13h33, le temps médian est de 20h39. Comme pour le barrage de la Bageasse, il semblerait que les saumons à l'automne ont mis plus de temps à franchir cet ouvrage.

Concernant l'ouvrage de Langeac, le temps de franchissement des 4 saumons varie entre 2h10 et 42h47. Ils ont mis en moyenne 17h30 +/- 19h (médiane de 12h30) pour franchir l'ouvrage, alors que l'unique franchissement printanier avait été réalisé en plus de 3 jours. Cette différence peut s'expliquer par le fait que ce saumon s'était présenté au printemps au pied des turbines de l'usine hydroélectrique alors que la passe à poissons qui s'y trouve présente un défaut d'attractivité. Le saumon du printemps s'est d'abord engagé dans le canal de fuite de l'usine alors en marche, avant de rebrousser chemin et de s'engager par le tronçon court-circuité du barrage. À l'automne, les 4 saumons ont franchi l'ouvrage en empruntant la passe à poissons du barrage sans incursion préalable dans le canal de fuite.

Un poisson qui avait passé son été entre Pont du Château et la Bageasse, est le seul à avoir franchi Monistrol d'Allier en 1h36 et Poutès en 15h40 à l'automne par l'ascenseur (Figure 65).

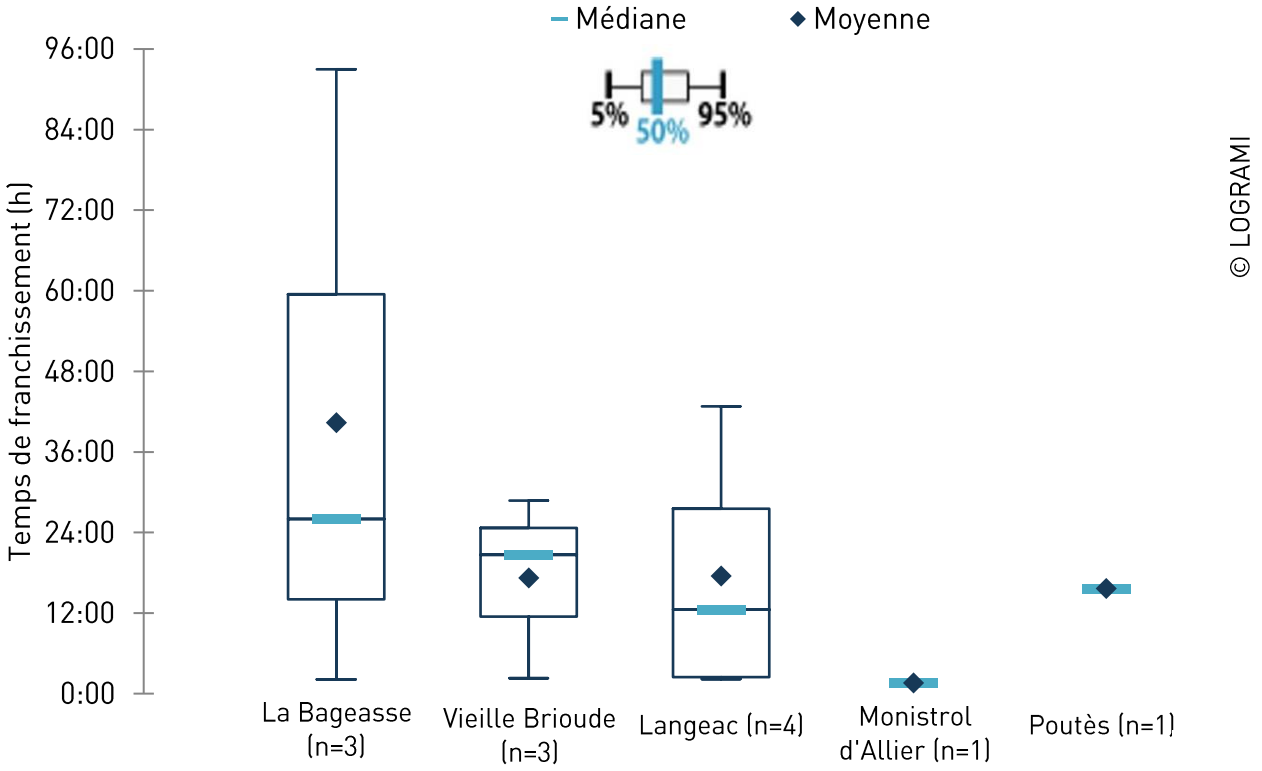


Figure 65 : Temps de retard durant la migration automnale pour chaque ouvrage équipé d'un récepteur en 2019

Seuls les barrages équipés d'un poste fixe peuvent donner une idée précise des temps de retards qu'ils engendrent (Tableau 24) entre les années de suivis.
Le temps de retard estimé chaque année pour chaque ouvrage est détaillé dans la partie franchissement par barrage.

Tableau 24 : Temps de retard moyen engendré par les barrages équipés d'un poste fixe au cours de la migration printanière et automnale (blocage non pris en compte) en 2006, 2009 et 2019

	2006		2009		2019	
	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne
Vielle Brioude	10h30 +/- 6h21 (n=2)	/	1h31 +/- 0h33 (n=3)	64h33 +/- 85h16 (n=3)	5h19 +/- 7h55 (n=5)	17h14 +/- 13h33 (n=3)
Langeac	non suivi	non suivi	24h25 (n=1)	2h12 +/- 1h46 (n=2)	85h (n=1)	17h30 +/- 19h (n=4)
Monistrol	/	7h40 (n=1)	/	2h21 +/- 2h37	/	1h36 (n=1)
Poutès	/	1032h (n=1)	/	160h (n=1)	/	15h14 (n=1)

La Figure 66 rend compte de temps de retard accumulé par saumon sur chaque barrage (en prenant en compte le temps moyen par barrage). **Pour rejoindre l'Allier moyen, un saumon accumule un temps de retard de 19h19 et de 32h28 pour rejoindre le Haut-Allier.**

Il est compliqué de comparer les données avec 2006 et 2009, sachant que la majeure partie des ouvrages de l'Allier des plaines et de l'Allier moyen n'était pas équipée d'enregistreurs.

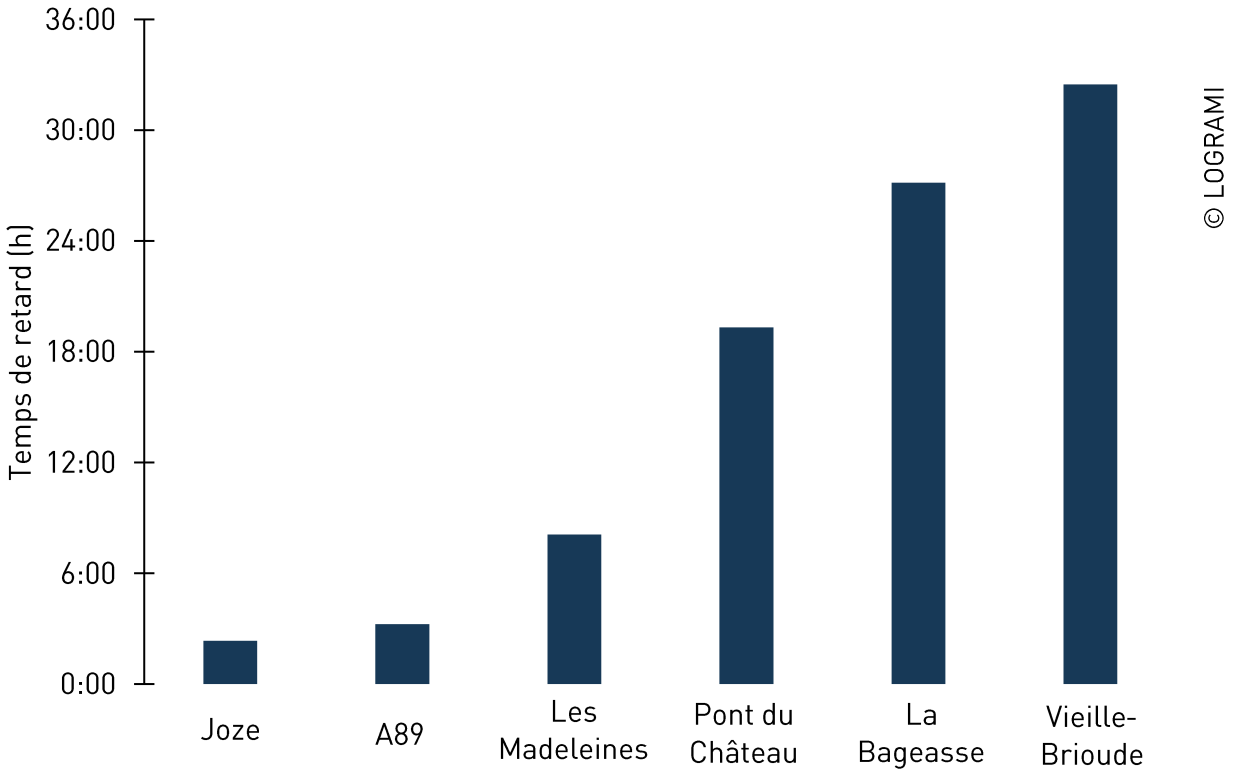


Figure 66 : Temps de retard cumulé (pour rejoindre le Haut-Allier) par seuil/barrage équipé par saumon en 2019 (Données : SCIMABIO Interface pour Joze, A89 et les Madeleines)

Cette année, même si la quasi-totalité des seuils suivis ont engendré des retards inférieurs à une demi-journée, le cumul des retards sur chaque ouvrage n'est pas négligeable (Figure 67). Individuellement, l'ouvrage **de Pont du Château a été problématique pour une partie des saumons, causant des retards importants et un blocage**. Le barrage de Vieille Brioude a aussi engendré un retard supérieur à un jour et celui de Poutès, un unique retard inférieur à une journée. Enfin les 2 barrages les plus pénalisants cette année 2019 sont celui de la Bageasse et de Langeac avec des retards pouvant aller jusqu'à plus de 3 jours pour certains saumons.

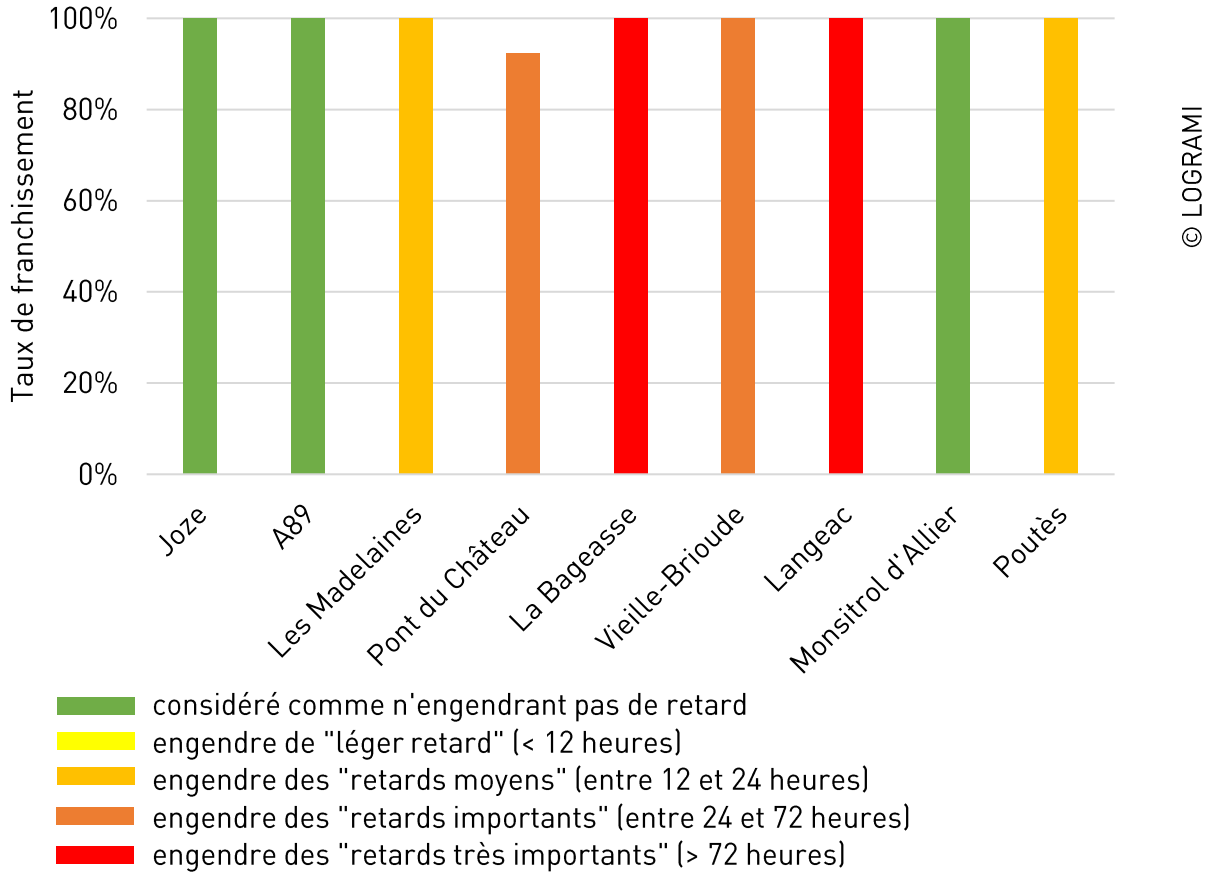


Figure 67 : Évaluation de la franchissabilité des ouvrages équipés d'un enregistreur en 2019

5.5. Vitesse de migration entre les ouvrages suivis en 2019

Afin de calculer l'impact des seuils et des barrages suivis sur le parcours des saumons au printemps, il est possible de calculer la vitesse de migration des saumons sur le parcours actuel et sur un parcours libre (sans le retard des ouvrages).

De ce fait, la vitesse de migration entre l'amont de la retenue de Vichy et l'amont de pont du Château (Allier des plaines) a été calculée ainsi que celle entre Pont du Château et l'amont de Vielle-Brioude (Allier moyen). Cette différence donne des informations sur l'impact des ouvrages sur la vitesse de migration au printemps et donc sur l'arrêt estival (Figure 68).

Il est important de rappeler que sur 24 saumons marqués, 13 sont restés en aval de Pont du Château dont 10 n'ont même pas atteint le premier seuil de Joze.

Une fois la retenue de Vichy traversée, **les 11 saumons ont progressé à une vitesse moyenne de 8,0 km/j +/- 5,3 pour rejoindre l'amont de Pont du Château et entrer dans le secteur de l'Allier des plaines. Sur parcours libre, ces 11 saumons auraient progressé à une vitesse moyenne de 9,0 km/j +/- 6,1**. En absence d'obstacles, les saumons auraient parcouru alors 1 km supplémentaire par jour. Pour autant, cette différence n'est pas significative (test de Student, p-valeur = 0,687). **Sachant que cette année, les saumons ont mis en moyenne 10 jours +/- 1 à effectuer ce parcours, ils auraient fait 10 km supplémentaires sur parcours libre avant de s'arrêter pour l'été.**

Au printemps, parmi les 11 saumons, 6 **ont traversé l'Allier moyen, ils ont donc migré entre Pont du Château et l'amont de Vieille Brioude à une vitesse moyenne de 7,6 km/j +/- 4,9. En absence des barrages de la Bageasse et de Vieille-Brioude, ils auraient nagé 8,0 km/j +/- 5,1, soit 400 m de plus par jour de migration.** Il n'y a pratiquement pas de différence entre ces 2 vitesses de migration (test de Student, p-valeur = 0,901). **Sachant que les 6 saumons ont mis en moyenne 19 j +/- 2 à faire ce parcours, ils auraient fait 7,6 km supplémentaires.**

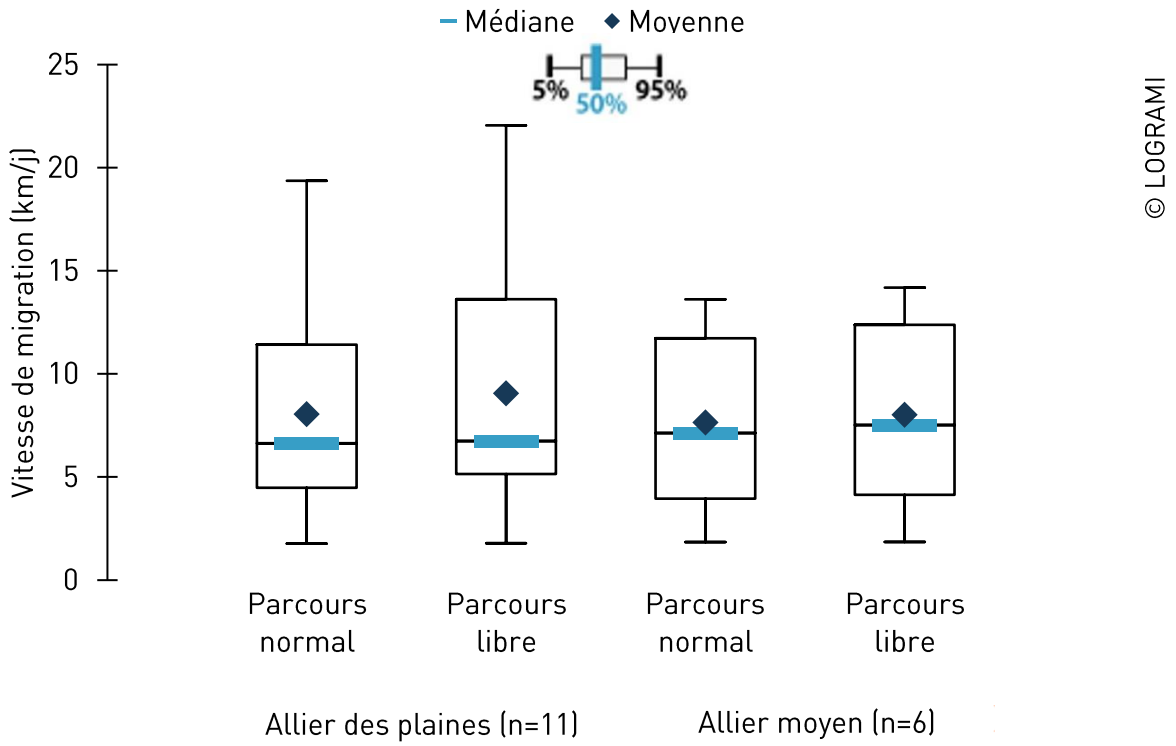


Figure 68 : Vitesse de migration dans l'Allier des plaines et l'Allier moyen sur parcours normal et parcours libre au printemps 2019

Sur le parcours actuel, un saumon qui arrive à Vielle Brioude (limite aval du Haut-Allier) aurait progressé de 17 km supplémentaires sur parcours libre depuis Vichy. Il serait alors proche de Lavoûte-Chilac.

Les résultats de l'année 2019 contrastent avec ceux de l'année 2009 où des retards conséquents avaient été observés. En reprenant la mortalité estivale observée dans les différentes zones et appliquée à l'ensemble de la population, ce sont 173 individus qui meurent l'été. Dans le cas d'un scénario sans retard migratoire les calculs de 2009 avaient révélé que 47 individus de plus auraient pu reprendre leur migration à l'automne vers les zones de reproduction.

Il n'est pas possible de comparer statistiquement le devenir des poissons avec le retard cumulé sur les ouvrages puisque la grande majorité des poissons morts pendant l'été n'ont même pas atteints le premier seuil (10 sur 24).

Avant de rejoindre l'Allier moyen, les 2 saumons mort pendant l'été ont cumulé un retard de 3h30 et 35h. En retirant les saumons 49044 et 49351 dont le temps de retard complet n'est pas connu, en moyenne, les 7 saumons survivants ont été retardés de 18h40 +/- 15h46 pour rejoindre ce secteur. Il n'existe pas de lien entre la mortalité estivale dans l'Allier moyen et le temps de retard aux ouvrages (test de Fisher, p-valeur = 0,412).

6. Evaluation des franchissements des obstacles

6.1. Les ouvrages suivis en 2019

Lors de ce radiopistage, 10 seuils et barrages ont été équipés d'enregistreurs afin de quantifier le retard que les saumons ont accumulés sur leurs parcours. Aucun poisson ne s'étant engagé sur l'Alagnon jusqu'au seuil de Lempdes sur Alagnon et de Chambezon, aucune donnée n'a été collectée. La retenue de Vichy a également été suivie pour observer l'impact de cette dernière sur le comportement des saumons. Le pont de Dorat sur la Dore a, lui aussi, été équipé d'un enregistreur afin notamment de borner la zone d'étude.

Le récapitulatif des franchissements des différents obstacles est présenté dans l'Annexe 1.

6.1.1. Retenue de Vichy

6.1.1.1 Montaison

Cette année, la retenue a été équipée de 2 enregistreurs (Figure 69). Un premier enregistreur placé en amont immédiat du pont barrage de Vichy pour voir si, une fois marqué, les poissons dévalent et se présentent en amont du barrage. Un deuxième enregistreur, sur le secteur du bureau d'étude SCIMABIO Interface, placé 4 km plus haut au niveau du camping « Beau Rivage » (SCIMABIO, 2020). **Ces 2 enregistreurs permettent de calculer le temps que les poissons passent dans la retenue.**

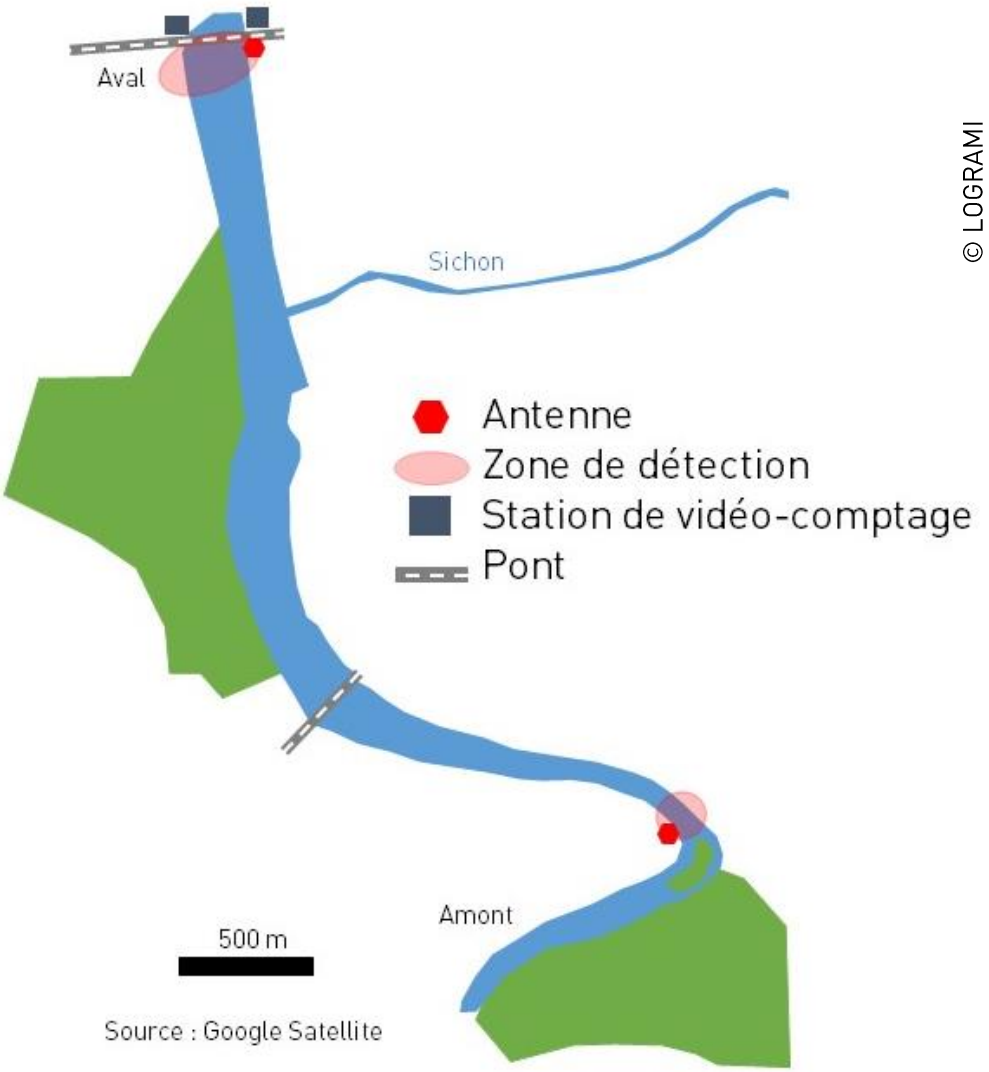


Figure 69 : Schéma de la retenue de Vichy

En 2006 et 2009, la retenue de Vichy n'avait pas été suivie précisément. C'est la première fois qu'un temps de franchissement et vitesse de migration sont calculés sur ce tronçon de l'Allier.

Le franchissement de la retenue (Figure 70) **concerne 23 saumons. Tous les franchissements ont lieu au printemps** entre le 3 avril (1er jour de marquage) et le 29 mai (dernier jour de marquage. Un poisson (N°49065) n'a jamais été détecté par l'enregistreur placé à la fin de la retenue.

Ce poisson de 75 cm a été marqué et relâché le 18 avril en fin de journée et était en parfait état sanitaire (classe sanitaire A). Une fois relâché, le poisson reste environ 1h30 dans la zone de détection de l'enregistreur du pont-barrage avant de disparaitre. Il revient le lendemain vers les 5h et reste jusqu'à 13h18 dans la zone de détection. Après cette date, le poisson n'a plus jamais été détecté par les enregistreurs ni lors de suivi mobile en amont. L'hypothèse la plus probable est que ce poisson ait dévalé le barrage de Vichy par la surverse (mort ou vivant). Aucune prospection n'a été faite par SCIMABIO en aval pour vérifier cette hypothèse. LOGRAMI a tout de même recherché ce poisson (son émetteur) sur 12 km en aval du barrage le 8 août, sans succès.

À noter qu'en 2006, le saumon marqué N°48931 avait dévalé l'ouvrage par-dessus les vannes du barrage moins de 24 h après son marquage. Ce saumon avait ensuite été retrouvé 1 km en aval de la

confluence avec la Sioule mi-juin (suivi par avion). Il s'était même engagé sur la Sioule pendant 1 semaine jusqu'à l'aval du premier obstacle sur cette rivière (Moulin Brelan). Il avait été retrouvé mort sur l'Allier 28 km en amont de la confluence avec la Sioule.

En moyenne, les 23 saumons ont mis 11h42 min +/- 20h17 à traverser la retenue (4 km) soit 8,21 km/j +/- 4,73. Le temps médian est de 4h20, soit une vitesse médiane de 22,15 km/j. La vitesse de migration dans la retenue est très hétérogène.

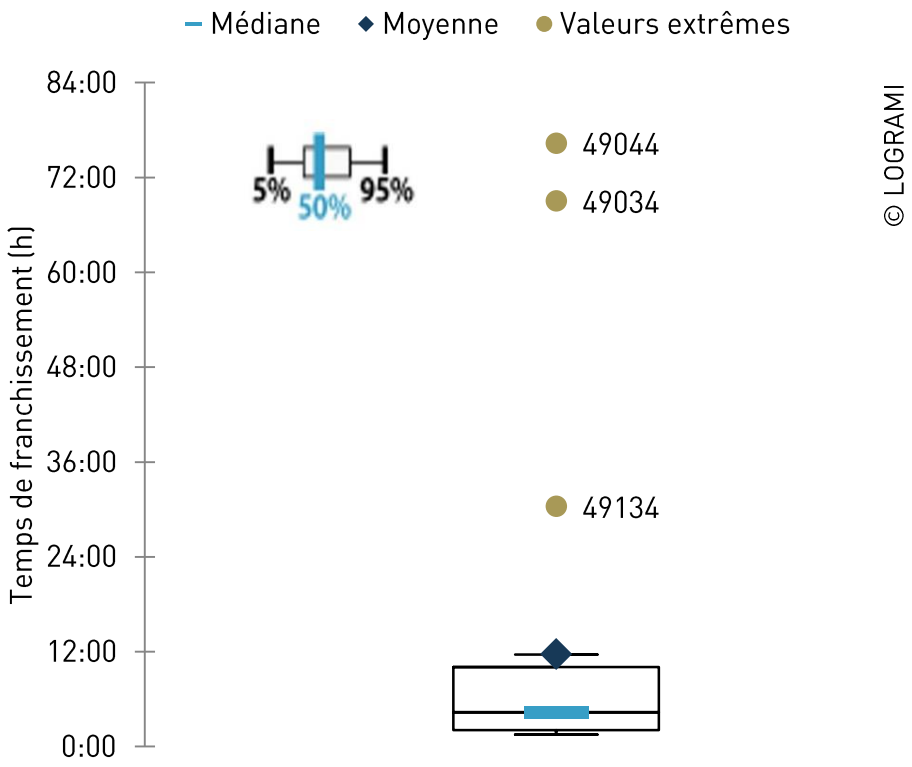


Figure 70 : Temps de franchissement de la retenue de Vichy par les saumons radiopistés en 2019 (n=23)

Sur les 24 saumons marqués (Figure 72) :

- 19 saumons (soit environ 80 %) franchissent la retenue sans faire d'allers et retours entre l'enregistreur du pont barrage et celui de la fin de la retenue. Parmi eux, 12 franchissent la retenue sans difficultés en moins de 4h (50 %), 6 mettent entre 5h et 12h (25 %) et un seul met plus de 3 jours (4,16 %) (N°49044). Il est difficile de savoir si le poisson a eu une vitesse de progression très lente, s'il s'est perdu dans la retenue ou tout simplement s'est arrêté en plein milieu. L'hypothèse la plus probable est qu'il se soit perdu dans la retenue avant d'en sortir.
- 2 saumons (soit environ 8,33 %) franchissent la retenue en ayant fait au moins un aller-retour dans la retenue. Le N°49034 a été marqué le 11 avril, il sera capté en discontinu pendant plus de 2 jours juste en amont du pont barrage. Il sera capté une première fois à l'enregistreur à la fin de la retenue le 14 avril en début de nuit pendant 21 minutes. Il sera capté une deuxième fois 3j et 56 minutes plus tard pendant moins d'une heure. Après cette dernière détection il poursuivra sa migration en amont.
  Le N°49211 a été marqué le 23 mai. Il ne mettra que 3h à traverser la retenue et à être capté par l'enregistreur en amont. Cependant, il fera des allers-retours entre l'enregistreur amont

et la presqu'île de la Croix (1 km en amont). Il est impossible de savoir si le poisson repartait dans la retenue lorsqu'il était capté par l'enregistreur. Le poisson sera retrouvé en double bip au niveau de la presqu'île de la Croix le 16 juillet.

- 2 autres saumons (soit environ 8,33 %) ont été retrouvés morts en aval du barrage de Vichy.

Le N°49134 a été marqué le 30 avril et sera détecté une première fois le 1 mai à l'enregistreur en amont. En tout ce poisson fera 3 allers-retours entre les 2 enregistreurs avant d'être retrouvé mort en aval du barrage de Vichy (Figure 71). Il est très important de noter que ce poisson a été détecté en suivi mobile par LOGRAMI le 26 mai à Mariol (après son deuxième aller-retour) soit 14 km en amont de la retenue. Ce poisson a donc réussi à sortir de la retenue. Cette zone n'ayant pas été suivie assidument, il n'est pas possible de savoir si le poisson était déjà sorti de la retenue après sa première tentative.
Le N°49211 a globalement eut le même comportement que le N°49134 mais il n'a jamais été détecté en suivi mobile hors de la retenue (faute de suivi). Ce poisson mettra 12h à traverser la retenue et à être détecté au poste en amont. Il fera en tout 4 allers-retours entre les 2 enregistreurs entre le 16 mai et le 29 juin. L'émetteur de ce poisson sera retrouvé en double bip le 8 août au Pont Boutiron (1 km en aval du barrage de Vichy).

Figure 71 : Saumon marqué N°49134 retrouvé mort an aval du barrage de Vichy le 2 juillet

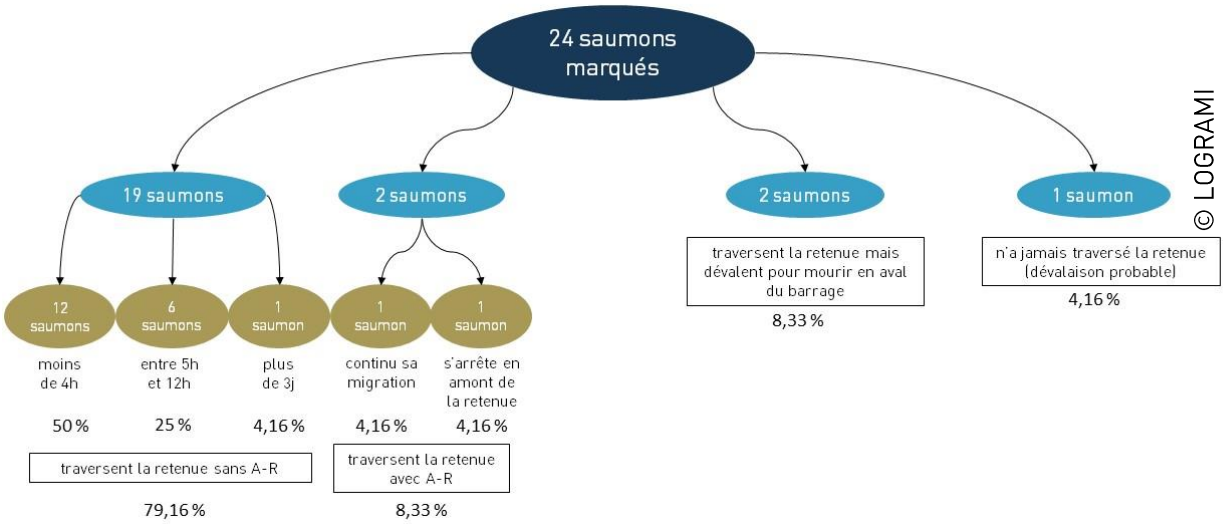


Figure 72 : Comportement des saumons marqués au niveau de la retenue de Vichy en 2019

Parmi les 9 saumons de 2 étés qui ont traversé la retenue, 8 ont mis moins de 5h30. Seul le saumon N°49134 a mis plus de temps avec un temps de franchissement estimé à 30h. Sur les 14 saumons de 3 étés, seulement 6 ont mis moins de 5h30. Il semblerait que les saumons de 2 étés traversent la retenue plus rapidement que les 3 étés. En moyenne, les 2 étés ont mis 5h49 +/- 9h18 (temps médian de 2h13) alors que les 3 étés ont mis 15h29 +/- 24h34 (6h33). Pour autant cette différence est non significative (test de Student, p-valeur = 0,27).

Au final, 1 saumon (N°49065) ne s'est jamais présenté à l'enregistreur en amont. Faute de suivi il n'est pas possible d'expliquer avec précision le comportement du poisson. Il est possible que, comme en 2006, ce poisson ait dévalé l'ouvrage par la surverse du barrage. Ce comportement de dévalaison ne peut pas être dû exclusivement à la retenue.

Plusieurs saumons ont eu des comportements similaires en étant captés à plusieurs reprises à l'enregistreur amont et certains se sont mêmes représentés à l'enregistreur à l'aval. Faute de suivi, il n'est pas possible de savoir si les poissons n'ont jamais quitté la retenue ou s'ils l'ont vraiment quitté et qu'ils sont revenus plus tard.

Il est difficile d'expliquer pourquoi certains saumons ont fait des allers-retours dans la retenue et pourquoi certains ont été détectés plusieurs fois à l'enregistreur amont. **L'hypothèse la plus probable est qu'avec les très faibles débits et les températures élevées (voir conditions hydro Saint-Yorre), les saumons n'ont que très peu progressé en amont de Vichy et faute de trouver un endroit convenable, certains auraient dévalé l'Allier et se seraient retrouvés dans la retenue.**

Sur les 11 saumons issus de la deuxième session, 5 étaient âgés de 3 ans de mers et 6 de 2 ans de mers. Sur les 5 saumons de 3 ans de mer, 3 sont, soit restés à proximité de la retenue et se sont arrêtés juste en amont de la retenue, soit l'ont dévalé pour passer en aval de Vichy. Sur les 6 âgés de 2 ans de mer, 2 ont eu un comportement similaire. Il semblerait que les plus grands individus, avec le manque d'eau, aient eu plus de mal à progresser que les plus petits individus.

Dans la retenue, les 23 saumons ont progressé en moyenne à 1,26 km/j +/- 0,86 (vitesse médiane 0,92 km/j. Cette vitesse est très faible au regard des vitesses moyennes calculés sur les opérations de suivis qui sont de l'ordre de 5 à 7 km/jour.

La luminosité et l'heure à laquelle ont été lâchés les saumons ne semblent pas être la raison de la différence du temps passé dans la retenue. Il n'y a aucune différence entre les saumons relâchés avant et après 18h (test de Mann-Whitney, p-valeur = 0,52).

En 2019, il a été possible de quantifier le temps passé par les poissons dans la retenue de Vichy. Au regard des données, la moitié des saumons marqués ont traversé la retenue en amont en 4h. Un quart des poissons marqués ont mis entre 5h et 12h. Un individu (N°49044) a mis plus de 3 jours à franchir la retenue sans faire d'allers-retours entre les enregistreurs. **La retenue de Vichy semble provoquer une désorientation des poissons avec des allers et retours pour 8% des poissons. In fine 50% des poissons traverse la retenue sans aller et retours en moins de 4 heures. En outre, les 4 km sont parcourus à des vitesses très inférieures à la vitesse moyenne observée sur parcours libre témoignant probablement d'une perte de stimulation de nage vers l'amont.**

Certains poissons étant détectés en amont de la retenue montrent cependant des retours en aval. L'hypothèse probable de ces replis dans la retenue est que le manque d'eau en amont ait bloqué certains saumons et que, voulant s'arrêter dans une zone propice pour passer l'été, ils ont cherchés ce refuge en dévalant.

En 2006 et 2009, les conditions hydrologiques étaient différentes et l'année 2019 a été très particulière avec un manque d'eau pendant la migration printanière (Figure 24**). À l'avenir, lors d'un futur radiopistage, il faudra être vigilent et suivre plus régulièrement le comportement des saumons en amont de la retenue de Vichy si des de telles conditions de débits se représentent.**

6.1.1.2 Dévalaison post reproduction

Après la période de reproduction, 4 saumons ont dévalé et se sont présentés au barrage de Vichy (seul l'enregistreur au barrage était encore installé). L'enregistreur a été démonté le 5 mars 2020 et seuls 3 poissons ont donc été suivis. Les 3 saumons ont réussi à dévaler le barrage par la surverse en moins d'un jour (Tableau 25 et Figure 73), probablement à la faveur d'une hydrologie favorable. Le quatrième poisson n'a pas été suivi mais il est probable qu'il ait également pu passer par surverse. En effet, les deux ravalés qui sont arrivés à Vichy en décembre ont profité d'une crue en fin d'année pour dévaler rapidement (8,94 et 10,99 km/j). Les deux autres sont arrivés plus tard et ont dévalé moins rapidement (1,78 et 2,47 km/j).

En 2006 les ravalés n'ont pas été suivis. En 2009, trois saumons sur 16 reproducteurs 19 % (et 30 en migration génésique, 10 %) avaient dévalé par la surverse.

Le premier poisson (N°49024) dévale le 28 décembre 2019 par la surverse du barrage en moins de 20 minutes, pour un débit de 270 m^3/s.

Le second poisson (N°49184) se présente le 19 décembre en fin de journée lorsque le débit est proche de 160 m^3/s. L'Allier est alors en décrue. Le poisson sera bloqué pendant un peu plus d'un jour avant de passer par la surverse du barrage dans la nuit du 20 décembre lors de la brusque augmentation de débit. Il est surprenant que ce poisson ne soit pas passé directement lors de son arrivée au barrage, alors que le N°49124 était passé avec moitié moins de débit.

Le troisième poisson (N°49124) mettra 18 minutes à dévaler par la surverse du barrage le 3 février 2020. Il se présente et dévale lors d'une augmentation d'environ 10 m^3/s pour un débit total de 83 m^3/s.

Le quatrième poisson (N°49014) est arrivé pour la première fois le 20 février 2020 pendant la journée. **Il est revenu tous les jours qui ont suivi entre 12h et 18h jusqu'au 5 mars** (date de retrait du matériel) **pour prospecter et chercher à dévaler le barrage sans succès.** Au 5 mars le poisson était toujours dans la retenue. Il est probable que le poisson ait réussi à dévaler le barrage les jours suivants puisque le débit est passé à 137 m^3/s (QMJ du 7 mars).

Le barrage de Vichy n'est pas équipé pour la dévalaison des ravalés. Cette année sur les 4 saumons, 1 n'a pas réussi à dévaler le barrage. Les 3 qui ont réussi sont systématiquement passés lors d'une augmentation de débit et lorsque celui si dépasse les 80 m³/s. Le N°49014 a été retardé au minimum 13 jours et n'a pas pu bénéficier des conditions adéquats pour dévaler.

En dessous de 80 m³/s et en absence de coups d'eau, le barrage de Vichy est bloquant pour les saumons en dévalaison post reproduction. Depuis le début des comptages à Vichy, des ravalés sont observés devant la vitre de comptage pour des gammes de débit comprises entre 53 et 160 m³/s. Ces comptages témoignent d'une difficulté qu'ont les ravalés à trouver des voies de dévalaison.

Tableau 25 : Temps de dévalaison au barrage de Vichy

	Temps de dévalaison	Débits lors de la dévalaison
49014	Blocage (minimum 13j)	
49024	20 min	270 m³/s
49124	18 min	83,37 m³/s
49184	29h47	170 m³/s

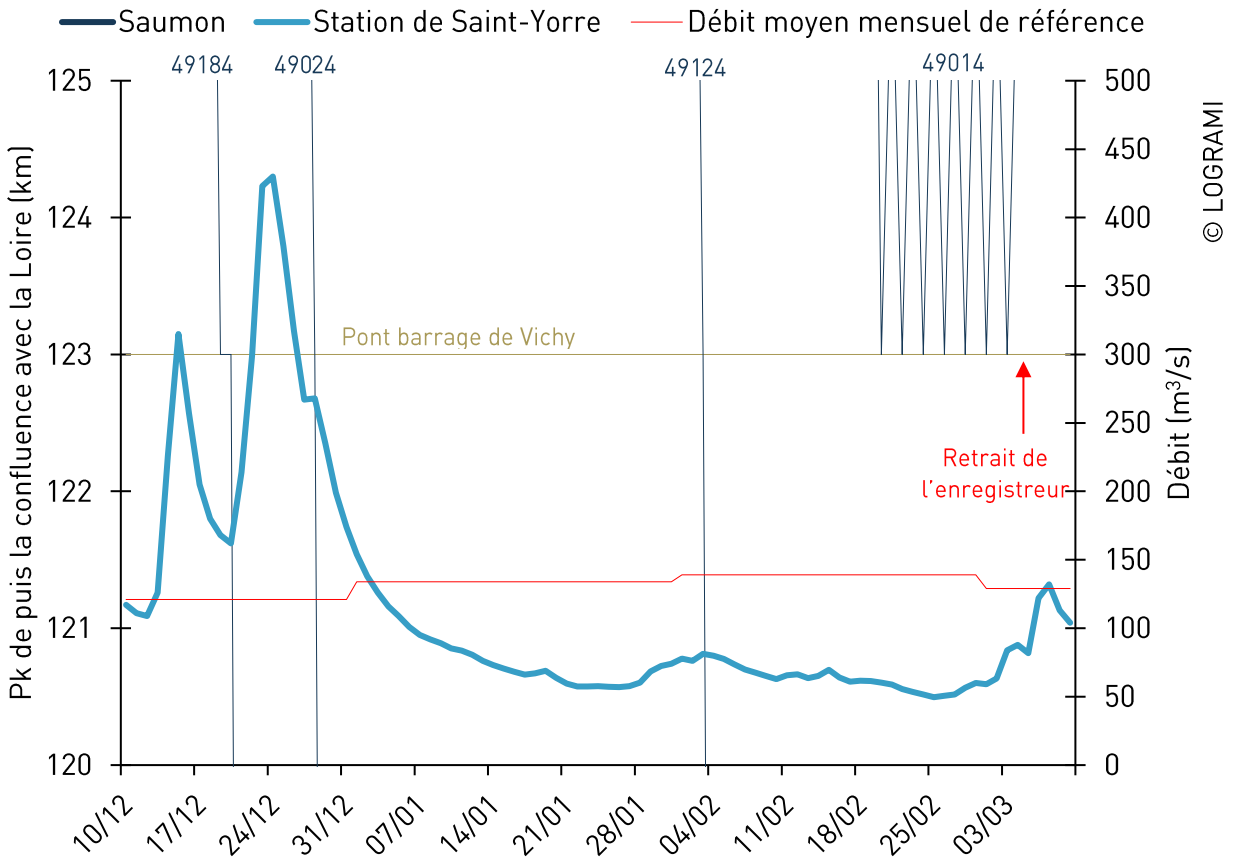


Figure 73 : Comportement de dévalaison des quatre ravalés suivi par radio pistage en 2019 au barrage de Vichy en fonction du débit

6.1.2. Joze

Ce seuil (ROE 40587) est le premier obstacle (Figure 74 et Figure 75) rencontré par les saumons après le barrage de Vichy. Il est situé 50 km en amont du lieu de marquage et présente une chute de 80 cm à l'étiage. Comme pour celui de l'A89 et des Madeleines, les données proviennent du bureau d'étude SCIMABIO INTERFACE.

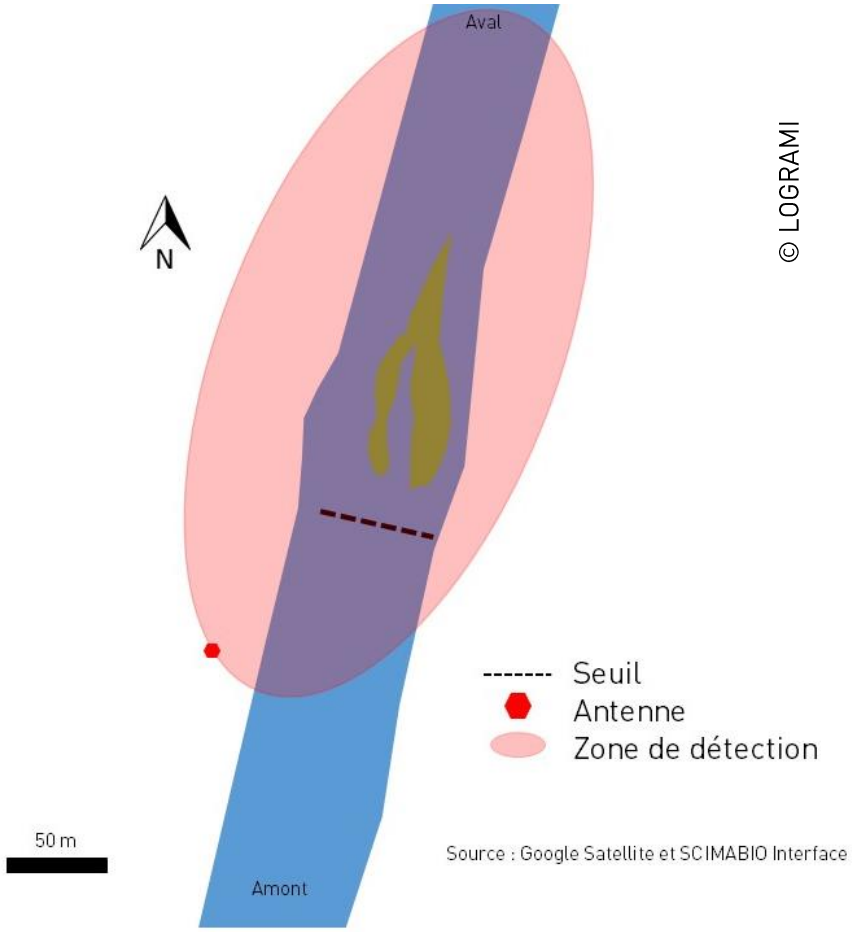


Figure 74 : Schéma du seuil de Joze

Figure 75 : Seuil de Joze selon deux valeurs de débit en 2009 (Source : Banque Hydro pour les débits)

6.1.2.1 Montaison

En 2006 et 2009, ce seuil n'a pas été suivi par un poste fixe, les retards éventuels des saumons ont donc été estimés.

En 2019, le franchissement du seuil de Joze (Figure 76) **concerne 14 saumons. Tous les franchissements ont lieu au printemps** entre le 16 avril et le 1 juin. Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Vic-le-Comte (module de 61,2 m^3/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI à Limons.

En moyenne, les 14 saumons ont mis 2h20 min +/- 3h à franchir ce seuil. Le temps médian est de 56 min.

Le premier saumon est arrivé le 16 avril lorsque le débit était de 24 m^3/s et la température de 12,2 °C et a mis 56 min à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 1 juin lorsque le débit était de 24 m^3/s et la température de 18,1 °C et a mis 6h24 à franchir l'ouvrage.

Du 16 avril au 1 juin, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 24 et 108 m^3/s et les températures entre 11 et 18,1 °C (Figure 90).

Sur les 14 franchissements calculés, **8 sont passés en moins d'une heure**. 3 sont passés entre 1h24 et 4h30. Le saumon N°49351 a mis plus de 6h à franchir le seuil et le N°49075 plus de 10h.

N°49075 :

C'est le poisson qui mettra le plus de temps à franchir l'ouvrage. Son temps de retard est de 10h48. Il arrive le 25 avril à 5h16 et ne passera qu'en fin d'après-midi vers 16h. Le débit entre la première et dernière détection était stable, autour des 32 m^3/s. Ce poisson est resté en aval durant toute la durée de détection (impossible de préciser son comportement). La taille du poisson et la gamme de débit rencontrée ne sont pas la raison de son blocage puisque des saumons de 2 et 3 étés sont passés en moins d'une heure lorsque le débit était compris entre 24 et 28 m^3/s.

N°49351 :

C'est le dernier poisson marqué (29 mai), **il ne met que 2j et 12h pour arriver au seuil de Joze, soit une vitesse de migration de 20,16 km/j**. Ce poisson arrive de nuit le 31 mai et passera le lendemain avant le lever du jour. Il a été freiné dans sa migration puisqu'il mettra plus de 6h à franchir l'ouvrage. Il est passé lorsque le débit était de 24 m^3/s. Cette gamme de débit ne pose vraisemblablement pas de problème puisque d'autres poissons sont passés en moins d'une heure. La taille et l'heure d'arrivée ne sont pas non plus la cause de ce retard.

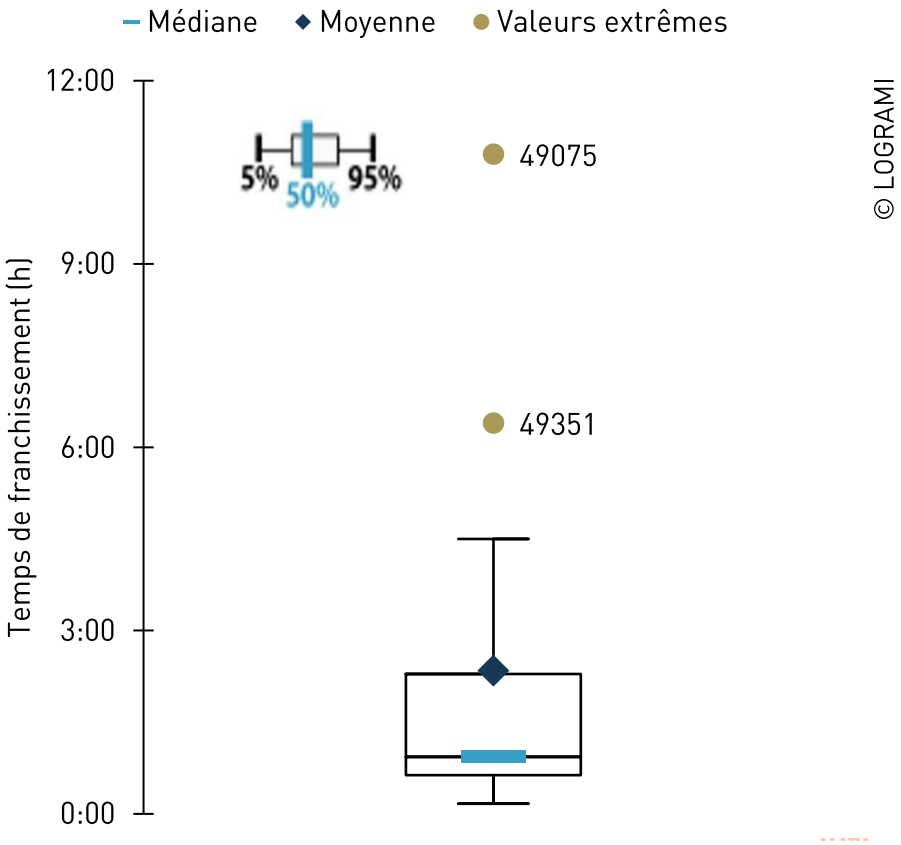


Figure 76 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil de Joze en 2019 (n=14)

Il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit (Figure 77).

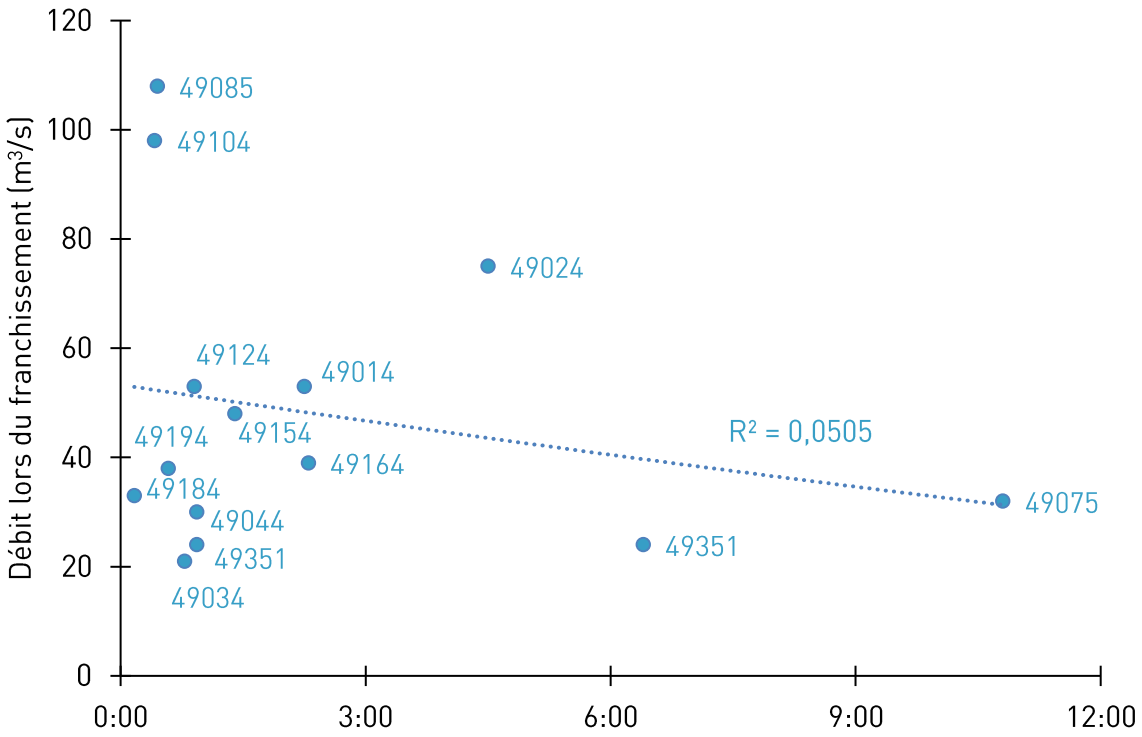


Figure 77 : Temps de franchissement des saumons radiopistés en fonction du débit au seuil de Joze en 2019

En 2006 et 2009, **ce seuil n'avait pas présenté de problème de franchissement pour les saumons au cours des deux suivis de radiopistage**. La migration correspondait à la période de l'augmentation du débit de l'Allier durant laquelle ce seuil disparaît totalement, il ne présente donc pas de difficulté dans toutes les gammes de débits rencontrées.

Considéré comme « franchissable sans difficulté apparente pour le saumon» dans l'expertise de Steinbach en 2005, ce seuil a été suivi plus précisément en 2019. La quasi-totalité des saumons sont passés sans accuser de retard. 2 saumons sur les 14 ont accusé de légers retards allant jusqu'à 11h pour le N°49075. De manière générale, ce seuil est franchissable sans difficultés apparentes pour le saumon mais certains individus mettent un peu plus de temps à le franchir.

6.1.2.2 Dévalaison post reproduction

Lors de la dévalaison, 4 saumons « ravalés » se sont présentés sur ce seuil. Les enregistreurs n'étant plus en place pendant cette période (fin de l'étude SCIMABIO Interface), aucune donnée n'a été enregistrée.

6.1.3. A89

Le seuil de l'A89 (Figure 78 et Figure 79) est situé à 52 km en amont du barrage de Vichy et 2 km en amont du seuil de Joze. Comme pour celui de Joze et des Madeleines, les données proviennent du bureau d'étude SCIMABIO INTERFACE.

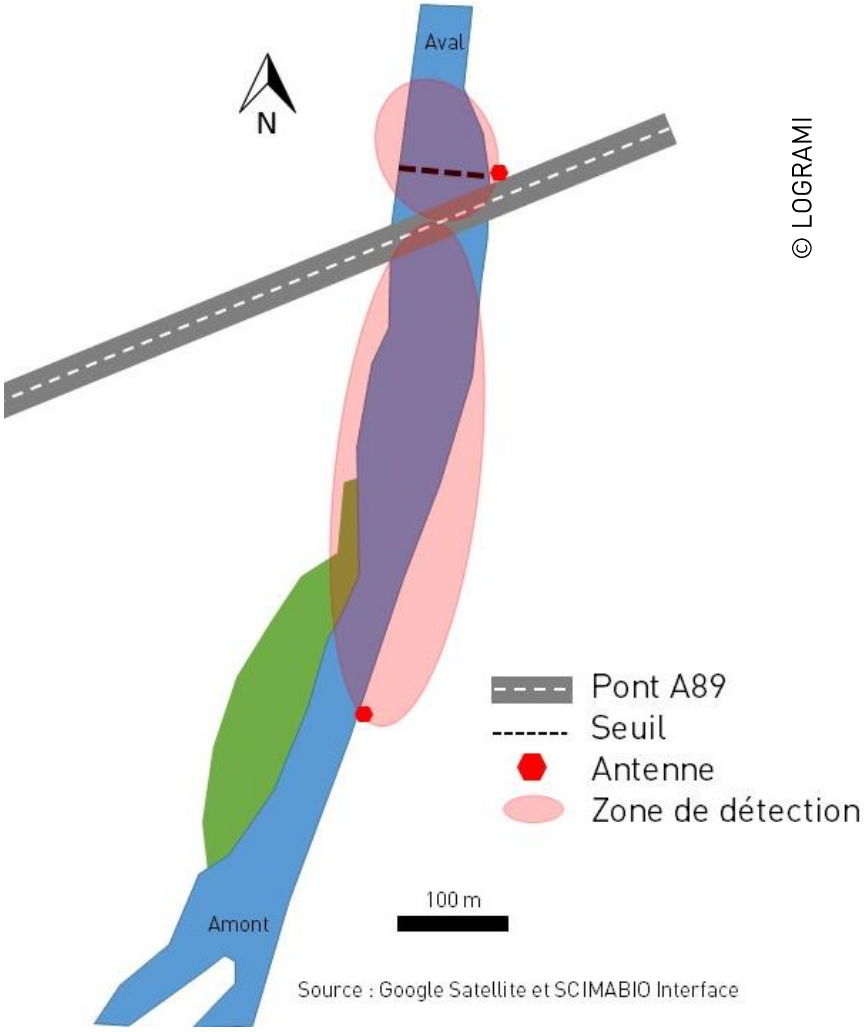


Figure 78 : Schéma du seuil de l'A89

Le seuil du pont de l'autoroute A89 (ROE 63404) a été construit dans les années 1975, lors du chantier de construction de l'autoroute A72 (rebaptisée A89). L'ouvrage initial est un seuil en enrochements non-maçonnés, perpendiculaire à l'axe du lit, d'une largeur d'environ 100 mètres. Avant les travaux, en conditions de débits moyens, l'ouvrage créait une chute de l'ordre de 1,70 mètre et une chute de 1,56 m à l'étiage. Son rôle est de protéger le pont autoroutier contre les phénomènes d'érosion, dans un contexte hydromorphologique marqué par une tendance nette à l'incision du lit en lien avec un fort déficit sédimentaire (SCIMABIO, 2019). Le seuil a été classé en Liste 2 au titre l'article L214-17 du Code de l'Environnement et a fait l'objet, à ce titre, d'un aménagement visant à améliorer sa franchissabilité pour toutes les espèces pisciaires présentes. **Les travaux (arasement du seuil de 80 cm, brèche en rive gauche et passe à macro rugosité de fond au niveau de la brèche) ont été réalisés avec le concours de l'Agence de l'eau Loire Bretagne durant l'étiage estival 2017 et la remise en eau effective du seuil a été effectuée en octobre 2017 (SCIMABIO, 2019).**

Figure 79 : Seuil de l'A89 avant (à gauche en 2009) et après (à droite en 2019) les travaux (Source : Banque Hydro pour les débits)

6.1.3.1 Montaison

En 2006 et 2009 (avant la phase de travaux), ce seuil n'avait pas été suivi par un poste fixe, les retards éventuels des saumons ont donc été estimés.

Le franchissement du seuil de l'A89 (Figure 80) **concerne 14 saumons en 2019.** Pour des raisons techniques, la fréquence N°49044 n'a pas été captée sur l'enregistreur de ce seuil alors que le poisson l'a bien franchi. **Tous les franchissements ont lieu au printemps** entre le 16 avril et le 1 juin. Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Vic-le-Comte (module de 61,2 m³/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI à Limons.

En moyenne, les 13 saumons ont mis 53 min +/- 55 à franchir ce seuil. Le temps médian est de 29 min.

Le premier saumon est arrivé le 16 avril lorsque le débit était de 22 m³/s et la température de 11,1 °C et a mis 20 min à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 1 juin lorsque le débit était de 24 m³/s et la température de 16,5 °C et a mis 16 min à franchir l'ouvrage.

Du 16 avril au 1 juin, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 21 et 108 m³/s et les températures entre 10,3 et 16,5 °C (Figure 90).

Sur les 13 franchissements calculés, **9 sont passés en moins de 42 min**. Pour les 4 autres, 3 sont passés entre 1h18 et 1h37 et le 49164 est passé en un peu plus de 3h30. Les débits ont été très variables, de 21 m³/s à 108 m³/s. Le N°49164 est passé lorsque le débit était de 40 m³/s.

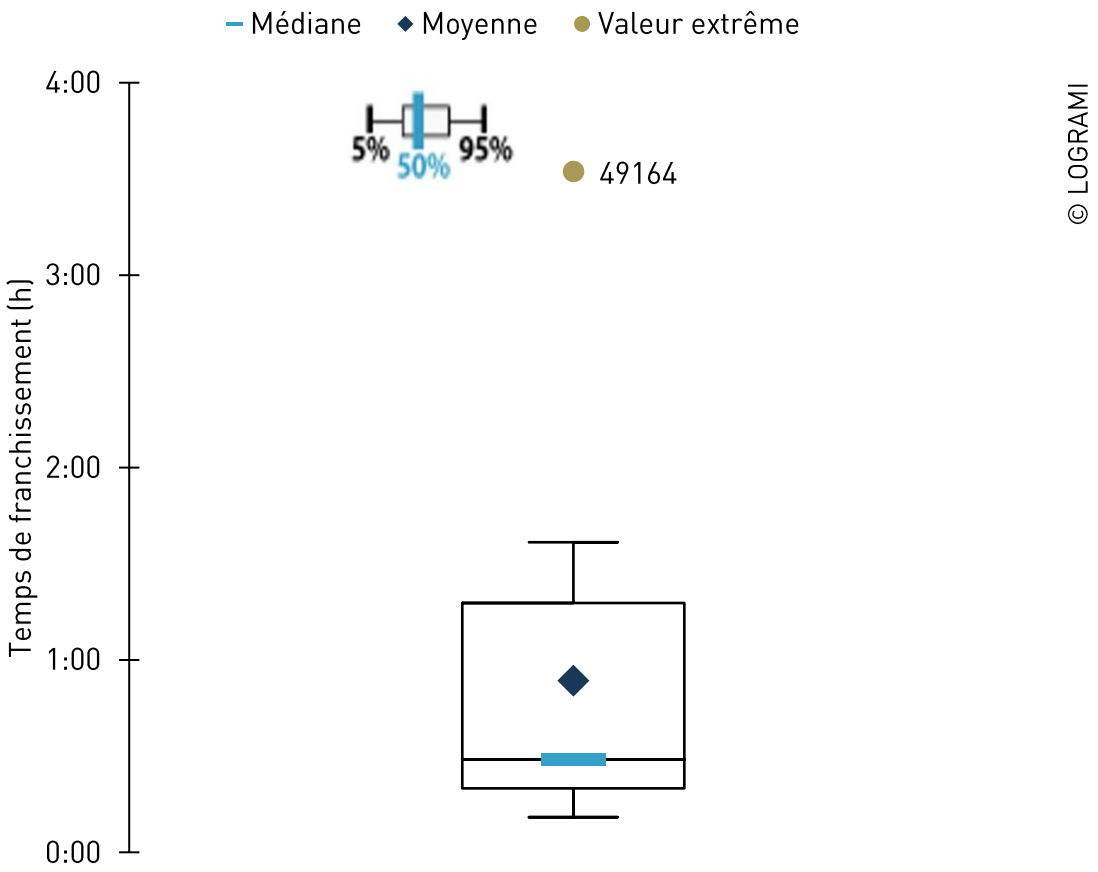


Figure 80 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil de l'A89 en 2019 (n=13)

Il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit (Figure 81).

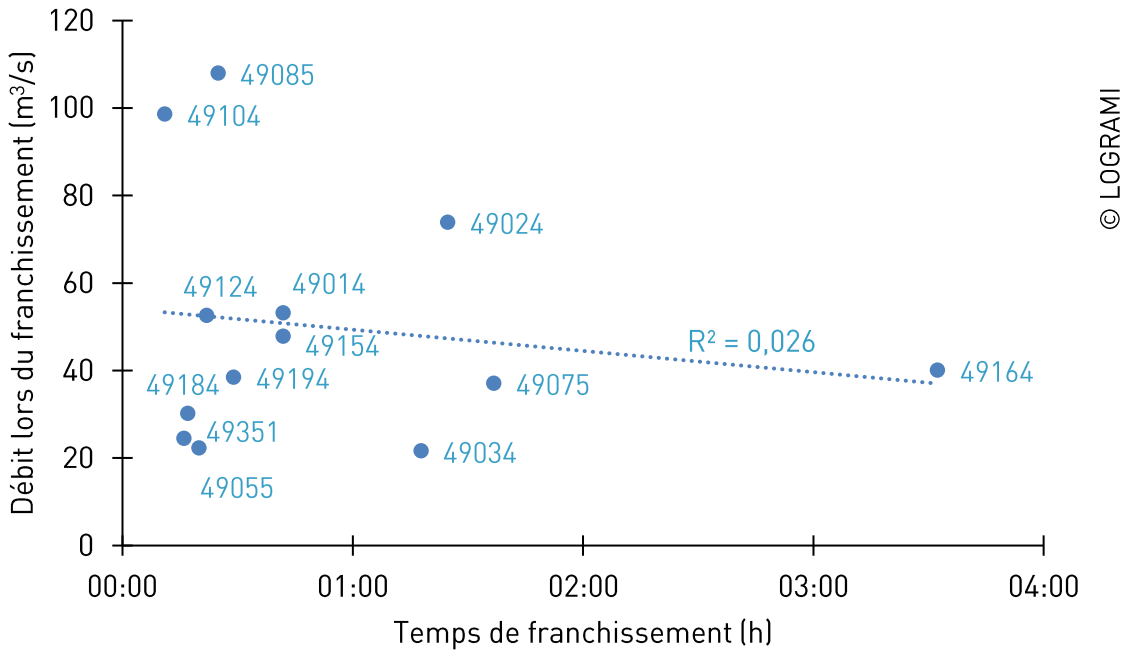


Figure 81 : Temps de franchissement en fonction du débit au seuil de l'A89 en 2019

En 2009, ce seuil avait montré des problèmes de franchissement pour les saumons avec des débits de l'Allier importants. Trois saumons avaient buté sur ce seuil (351, 362, 671) lors de débits moyens journaliers de 150 à 185 m³/s. Le plus long blocage a été observé pour le saumon 351, qui avait réussi à franchir l'ouvrage lorsque le débit était redescendu à 115 m³/s, cumulant un retard d'au moins 3,5 jours. Il semblait important d'améliorer le dispositif de franchissement de cet obstacle.

En 2019, suite aux aménagements faits sur ce seuil, l'ensemble des saumons franchissent ce seuil sans retards conséquents, seul un saumon accuse un retard de moins de 4h (retard inférieur à ceux de 2009).

Considéré comme « franchissable sans difficulté apparente pour le saumon» dans l'expertise de Steinbach en 2005, ce seuil a montré en 2009 des problèmes de franchissement pour les saumons avec des débits de l'Allier importants. L'étude de 2019 qui intervient 2 ans après les travaux de continuité fait sur ce seuil, montre que la quasi-totalité des saumons ont franchi le seuil sans difficulté apparente. Les aménagements faits sur ce seuil semblent avoir été bénéfiques pour le saumon pour des débits allant de 21 à 108 m³/s.

Cependant, en 2019, aucun saumon ne s'est présenté devant le seuil avec un débit supérieur à 110 m³/s comme cela a pu être le cas en 2009. Il aurait été interessant de comparer à débit équivalent, le temps de franchissement avant et après aménagement.

6.1.3.2 Dévalaison post reproduction

Lors de la dévalaison, 4 saumons « ravalés » se sont présentés sur ce seuil. Les enregistreurs n'étant plus en place pendant cette période (fin de l'étude SCIMABIO interface), aucune donnée n'a été enregistrée.

6.1.4. Les Madeleines

Le seuil des Madeleines (ROE 63407) (Figure 82, Figure 83 et Figure 84) se situe environ 54,5 km en amont du barrage de Vichy et 2,5 km en amont du seuil de l'A89, le seuil des Madeleines est le 3ème obstacle en amont de Vichy. Comme pour celui de Joze et de l'A89, les données proviennent du bureau d'étude SCIMABIO INTERFACE.

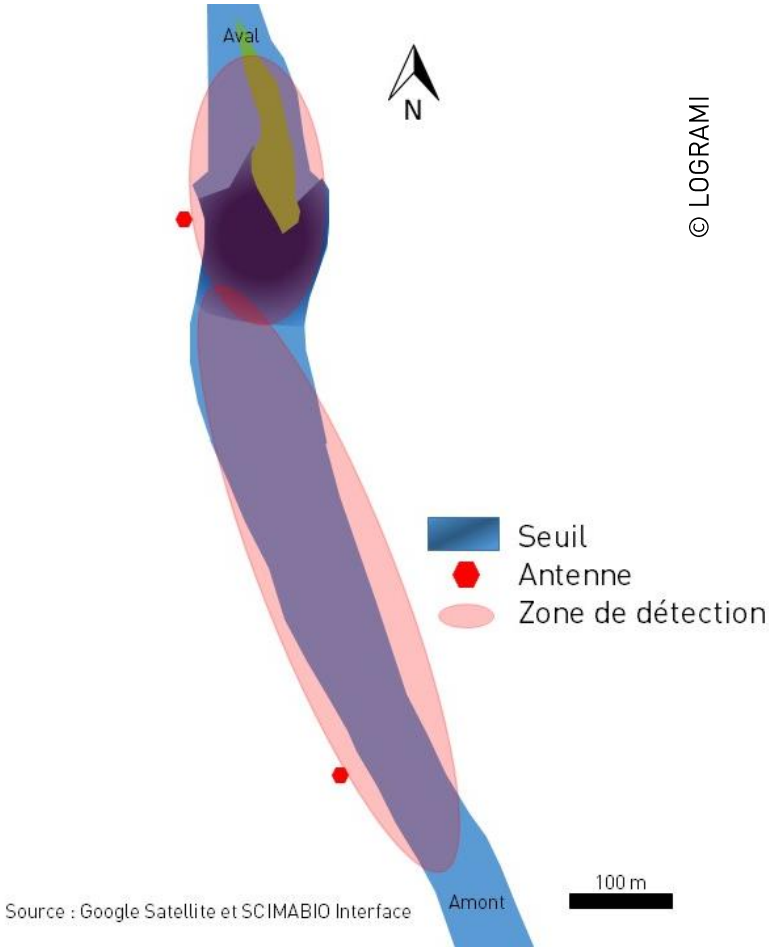


Figure 82 : Schéma du seuil des Madeleines

Le seuil des Madeleines étant situé sur le domaine public fluvial est sous gestion de l'Etat représenté par la DDT 63. C'est un affleurement naturel du socle marneux qui s'est formé par érosion régressive suite à l'enfoncement du lit provoqué par les extractions de granulats dans le cours d'eau. Sa longueur est d'environ 200 mètres pour une chute totale comprise entre 2,25 m et 3,05 m en basses eaux avec des écoulements qui se scindent en deux bras. **L'aménagement réalisé en 2016 pour faciliter le franchissement pisciaire a consisté à créer dans chacun des deux bras une succession de bassins rustiques directement creusés dans le substrat marneux par déroctage et communiquant entre eux par des chutes franchissables.** Ainsi 10 chutes successives (9 bassins) d'une trentaine de centimètres ont été aménagées dans le bras gauche et 5 chutes (4 bassins) dans le bras droit qui possède déjà une voie préférentielle de passage sur une partie du linéaire. L'objectif était d'améliorer les conditions de franchissement en eaux basses à moyennes, le franchissement du seuil en hautes eaux étant nettement moins problématique (ARRA, 2016).

Figure 83 : Seuil des Madeleines en 2009 (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 84 : Phase de chantier en 2016 sur le seuil des Madeleines

6.1.4.1 Montaison

En 2006 et 2009, ce seuil n'a pas été suivi par un poste fixe, les retards éventuels des saumons ont donc été estimés.

Le franchissement du seuil des Madeleines (Figure 85) **concerne 14 saumons en 2019.** Pour des raisons techniques, la fréquence N°49044 n'a pas été captée sur l'enregistreur de ce seuil alors que le poisson l'a bien franchi. **Tous les franchissements ont lieu au printemps** entre le 17 avril et le 1 juin (Figure 90). Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Vic-le Comte (module de 61,2 m³/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI à Limons.

En moyenne, les 13 saumons ont mis 4h51 +/- 4h59 à franchir ce seuil. Le temps médian est de 3h11.

Le premier saumon est arrivé le 17 avril lorsque le débit était de 24 m³/s et la température de 11,1 °C et a mis 1h43 à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 1 juin lorsque le débit était de 24 m³/s et la température de 16,5 °C et a mis 1h31 à franchir l'ouvrage.

Du 17 avril au 1 juin, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 21 et 110 m³/s et les températures entre 10,3 et 16,5 °C (Figure).

Sur les 13 franchissements calculés, **11 sont passés en moins de 5h**. Les débits ont été très variables, de 21 m³/s à 110 m³/s. Les **2 autres sont passés avec des temps de retard beaucoup plus importants, autour de 15h** avec des débits de 30 m³/s pour l'un et de 90 m³/s pour l'autre.

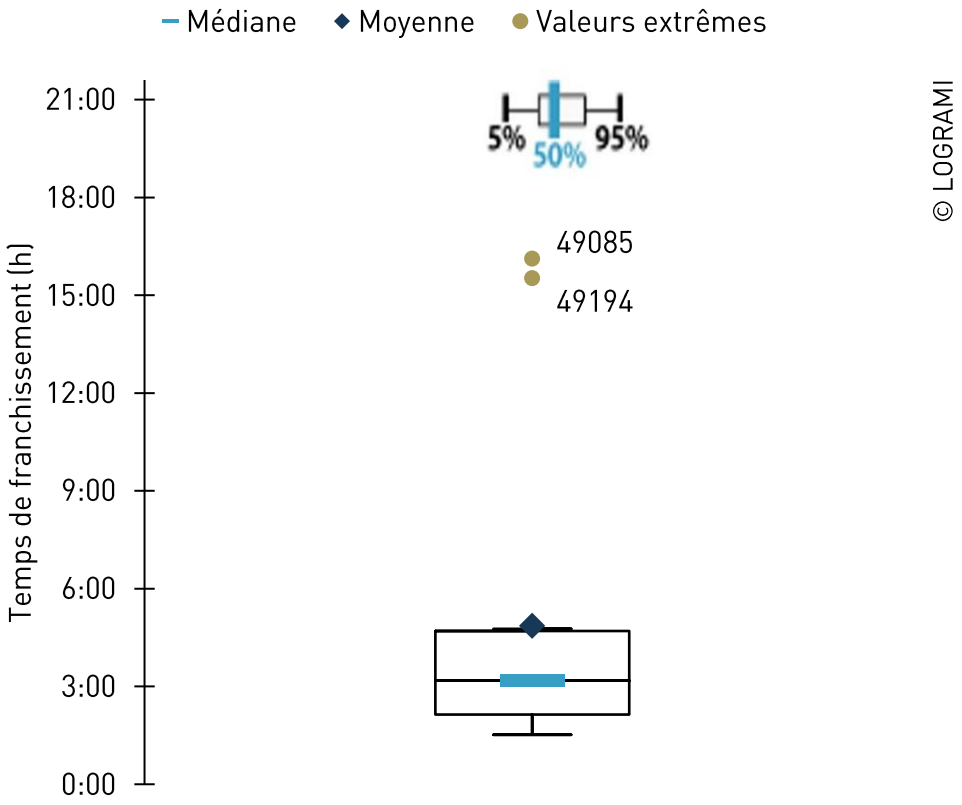


Figure 85 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil des Madeleines en 2019 (n=13)

Il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit (Figure 86)

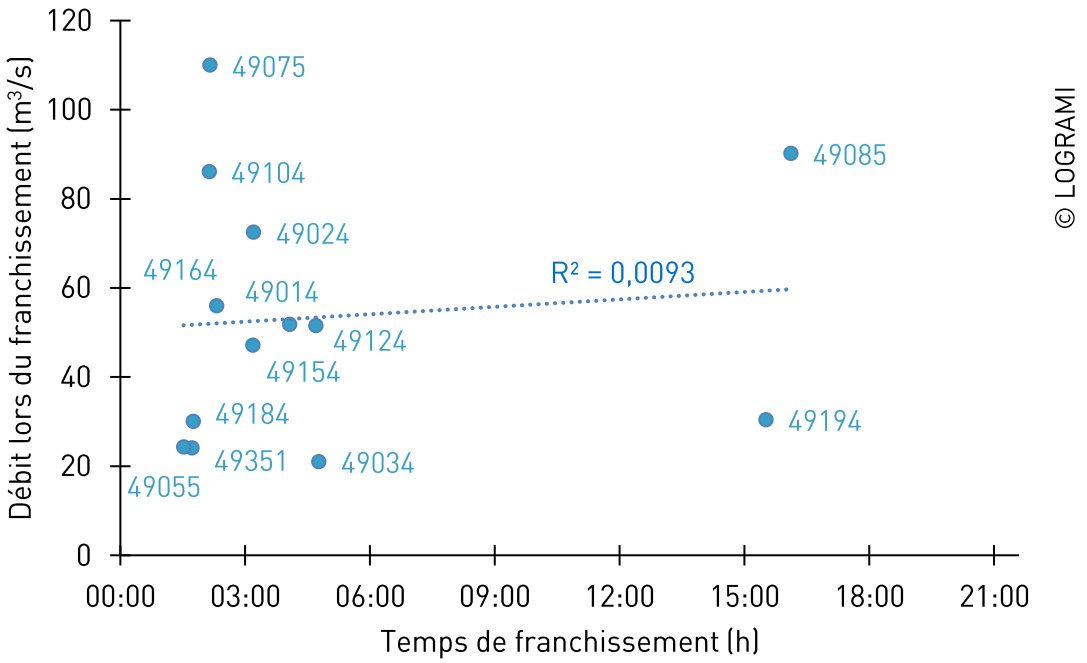


Figure 86 : Temps de franchissement en fonction du débit au seuil des Madeleines en 2019

En 2006 et 2009, un constat avait été fait sur l'arrêt de certains saumons après avoir franchi le seuil. En 2009, certains saumons semblaient avoir franchi ce seuil sans véritable retard, une dizaine d'autres montraient un arrêt plus ou moins long après avoir franchi l'obstacle. Deux d'entre eux n'avaient plus progressé en amont (421 et 451), un autre s'était arrêté plus de 11 jours (351). Les sept autres poissons (271, 301, 341, 371, 472, 701, 741) montraient des arrêts plus courts. Ce seuil était donc franchissable pour les saumons **mais il semblait nettement leur demander un effort physique nécessitant un temps de repos en amont non négligeable avant de reprendre leur migration**.

En 2019, suite aux aménagements faits sur ce seuil, 1 saumon a marqué un temps d'arrêt (plus de 60 heures) après avoir franchi le seuil (N°49075). Cependant, ce temps d'arrêt a été marqué pendant l'unique crue de la migration printanière. Face aux forts débits, le saumon a dû se poser dans une zone moins exposée aux courants. Son arrêt ne peut pas uniquement être dû au franchissement du seuil.

Considéré comme « franchissable sans difficulté apparente pour le saumon» dans l'expertise de Steinbach en 2005, ce seuil a montré en 2009 des problèmes de franchissement pour les saumons avec des débits de l'Allier importants (plusieurs suivis continus de poissons au pied du seuil). L'étude de 2019 qui intervient 3 ans après les travaux de continuité fait sur ce seuil, montre que la quasi-totalité des saumons ont franchi le seuil sans difficulté apparente, seuls 2 saumons sur 13 ont accusé un retard d'environ 15h. Les aménagements faits sur ce seuil semblent avoir été bénéfiques pour le saumon.

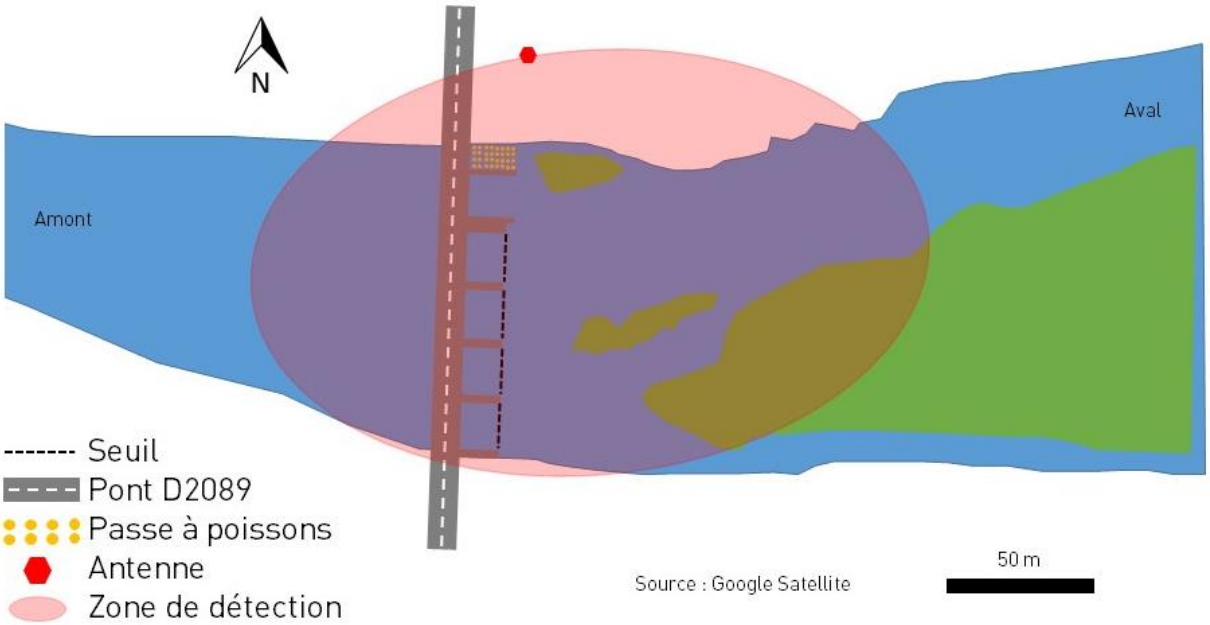
6.1.4.2 Dévalaison post reproduction

Lors de la dévalaison, 4 saumons « ravalés » se sont présentés sur ce seuil. Les enregistreurs n'étant plus en place pendant cette période (fin de l'étude SCIMABIO interface), aucune donnée n'a été enregistrée.

6.1.5. Pont du Château

Le seuil de Pont du Château (ROE 63413) (Figure 87 et Figure 88) se situe environ 60 km en amont du barrage de Vichy et 5 km en amont du seuil des madeleines. C'est le 4ème obstacle rencontré par les saumons après leurs marquages. Il présente une chute totale de 0,8 m.

Ce seuil est équipé d'une passe à macro-rugosité en rive gauche (Figure 89). Faute d'entretien, le dispositif de franchissement a été colmaté durant toute la durée du suivi. Aucun poisson n'a franchi le seuil de Pont du Château par ce dispositif.



© LOGRAMI

Figure 87 : Schéma du seuil de Pont du Château

Figure 88 : Seuil de Pont du château (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 89 : Passe à macro-rugosité colmatée en rive gauche de Pont du Château

6.1.5.1 Montaison

En 2006 et 2009, ce barrage n'a pas été suivi par un poste fixe, les retards éventuels des saumons ont donc été estimés.

En 2019, le franchissement du seuil de Pont du Château (Figure 90) **concerne 12 saumons. Un saumon n'a pas réussi à le franchir et s'est retrouvé bloqué**. Tous les franchissements ont lieu au printemps

entre le 17 avril et le 1 juin. Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Vic le compte (module de 61,20 m^3/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI en aval du seuil de Pont du Château.

Parmi les 12 saumons franchissant le barrage, le temps de franchissement de 11 d'entre eux a pu être calculé. La fréquence du saumon N°49351 arrivé le 1 juin n'a pas été rentrée dans l'enregistreur avant son passage. Par ailleurs, le treizième saumon, le saumon N°49154, qui s'y présente le 12 mai, s'est retrouvé bloqué en aval de ce seuil et n'a pas pu rejoindre l'amont.

En moyenne, les 11 saumons ont mis 11h14 +/- 14h57 à franchir ce seuil (Figure 91). Le temps médian est de 2h10. **Tous les franchissements ont eu lieu en rive gauche sous l'arche où il n'y a pas de chute verticale située à côté de la passe à poissons. Aucun poisson n'a franchi l'ouvrage par la passe à poissons.**

Le premier saumon est arrivé le 17 avril lorsque le débit était de 25 m^3/s et la température de 11,4 °C et a mis 31 minutes à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 1 juin mais sa fréquence n'a pas été rentrée dans l'enregistreur. Son temps de retard n'a pas pu être estimé. A ce moment-là, les débits étaient entre 20 et 25 m^3/s et la température proche des 17 °C.

Du 17 avril au 1 juin, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 19,5 et 83 m^3/s et les températures entre 10,8 et 17,5 °C (Figure 90). Sur les 11 franchissements calculés, **6 sont passés en moins de 2h15**. Les **5 autres sont passés entre avec des temps de retard beaucoup plus importants, de 6h36 à 45h14** avec des débits compris entre 47 m^3/s et 82 m^3/s.

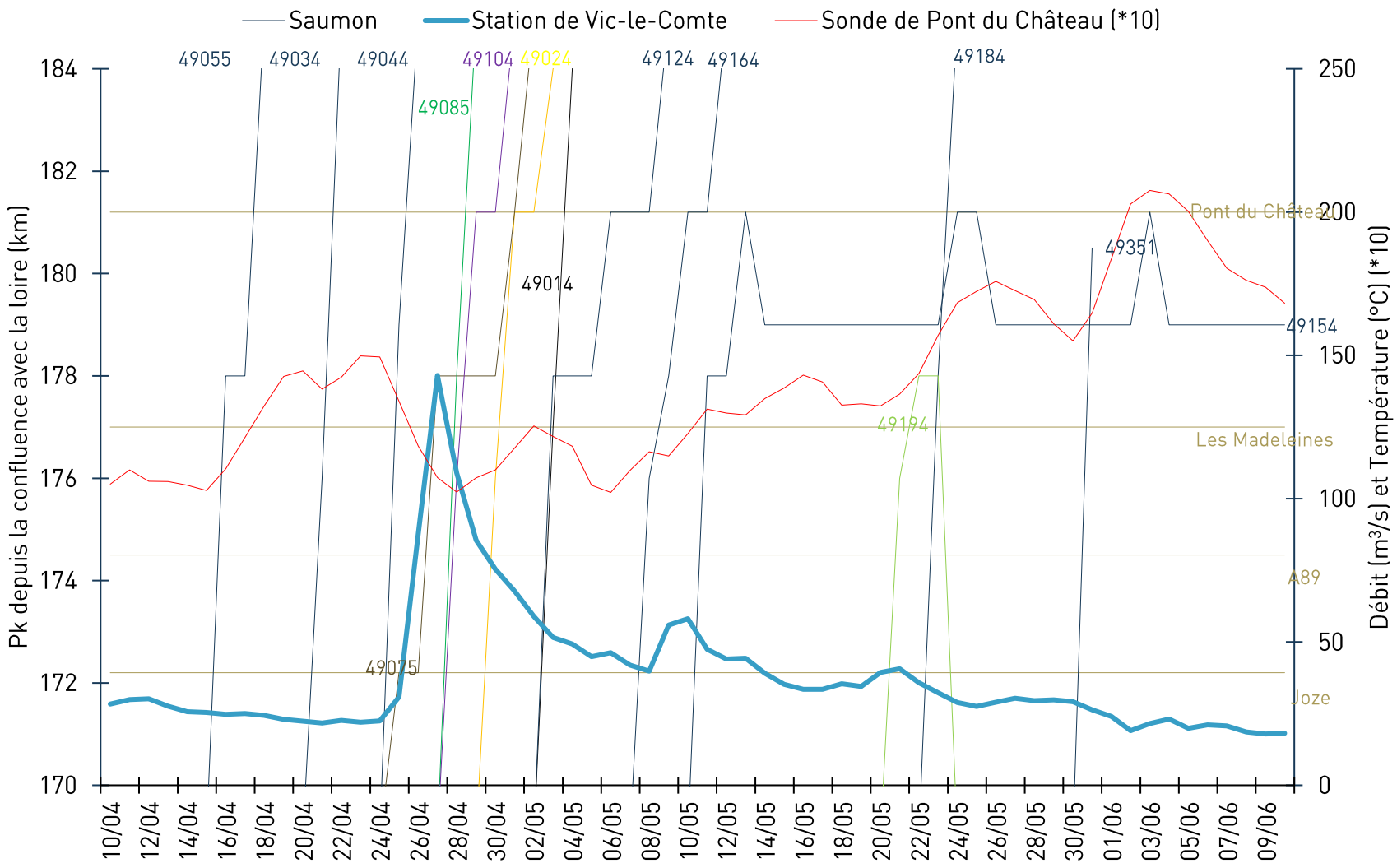


Figure 90 : Comportement des saumons marqués sur les seuils de Joze, A89, les Madeleines et Pont du Château en 2019

Il n'existe aucune différence entre le temps de franchissement moyen des 2 étés et des 3 étés (test de Student, p-valeur = 0,99). Il est quasiment identique.

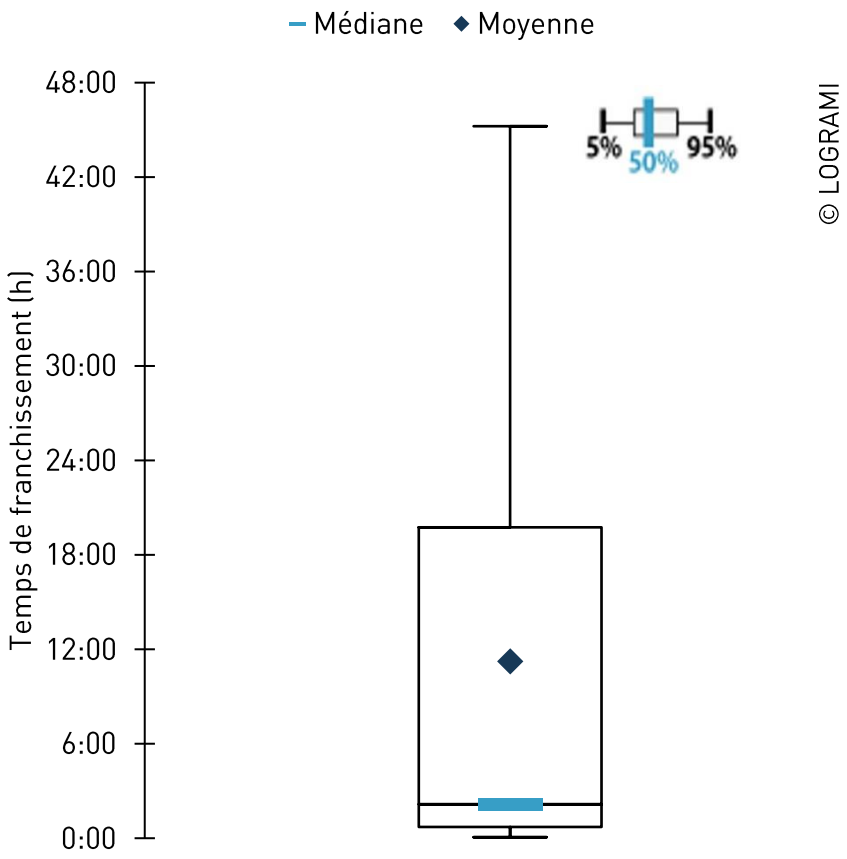


Figure 91 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au seuil de Pont du Château en 2019 (n=11)

En tout, 4 saumons ont mis plus de 15h à franchir l'ouvrage. 2 saumons de 2 étés, le N°49104 et le N°49164 avec respectivement 17h11 et 27h09. Les 2 autres saumons de 3 étés, le N°49024 et N°49124 ont mis respectivement 22h19 et 45h14.

N°49024 :

Il est arrivé le 1 mai à 18h46 lorsque le débit était de 65 m^3/s, il n'est passé qu'en fin d'après-midi à 17h05 le lendemain, le débit avait diminué pour passer à 55 m^3/s. Entre temps, le poisson a été localisé en manuel 200 m en aval en rive gauche dans un remous. Lorsque le poisson n'était pas détecté par le poste, il devait probablement dévaler légèrement.

N°49104 :

Il est arrivé le 29 avril à 15h29 et est passé le lendemain à 8h40. Pendant tout ce temps, il a été détecté par l'enregistreur. Il était en rive gauche environ 100 m en aval de l'arche à côté de la passe à poissons colmatée. Durant toute la durée de sa présence en aval, le débit était stable autour des 80 m^3/s.

N°49124 :

Son temps de franchissement est le plus élevé avec un peu moins de 46h de retard. Il est arrivé une première fois le 5 mai en début de soirée, le lendemain à 5h, il quitte la zone et se replie en aval. **Il ne**

revient que 35h après pour finalement passer en moins d'une heure le 7 mai en fin d'après-midi. Entre la première et la dernière détection le débit est passé de 46 m³/s à 40 m³/s.

N°49164 :

Il est arrivé le 10 mai à 2h10 du matin et n'est passé que le lendemain vers 5h20 du matin. Il a eu le même comportement que le poisson N°49024 et N°49104, il est resté 100 m en aval du seuil en rive gauche. Le débit est passé de 63 m³/s à 50 m³/s entre la première et dernière détection.

Il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit (Figure 92). Toutefois, à partir de 40 m³/s, certains saumons ont accusé des retards plus importants.

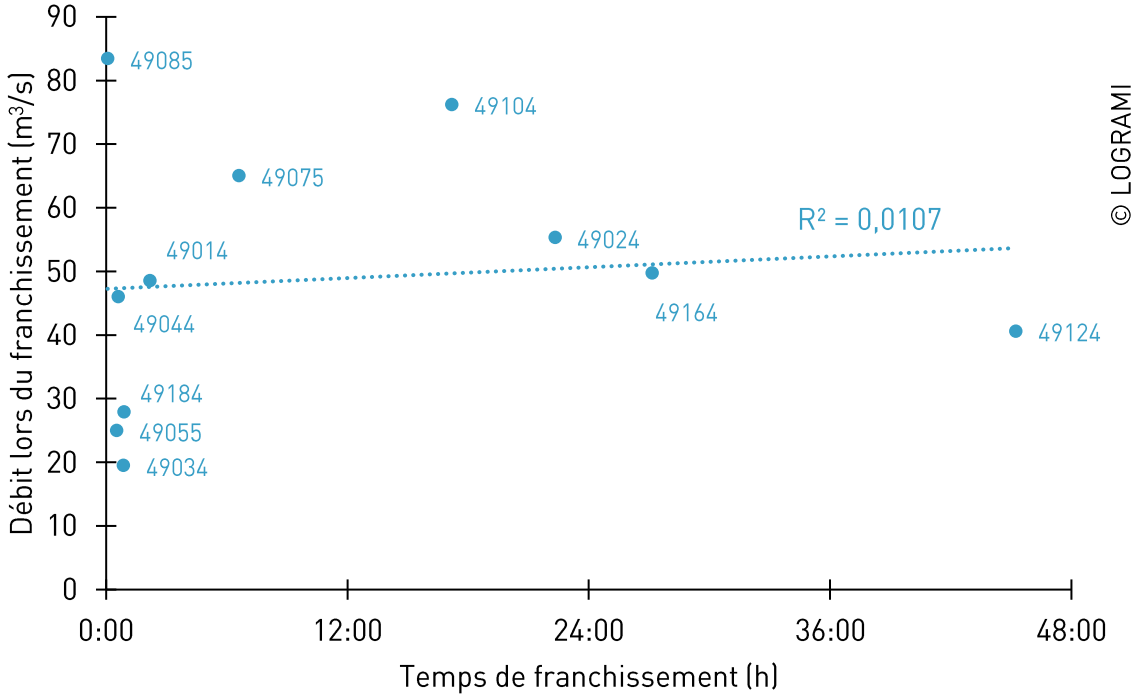


Figure 92 : Temps de franchissement en fonction du débit au seuil de Pont du Château en 2019

Cette année au seuil de Pont du Château, le saumon N°49154 s'est retrouvé bloqué en aval (Figure 93). Il franchi le seuil des Madeleines le 11 mai vers 14h48. Il arrive une première fois le 12 mai à 8h51 et reste 1h12 en aval du seuil dans la zone de détection de l'enregistreur puis finit par ne plus être détecté. Il revient 12 jours plus tard et est capté en discontinu pendant un peu moins de 20h proche du seuil avant de dévaler. Il revient une troisième fois le 3 juin pendant environ 15 minutes et une quatrième fois le soir vers 20h (juste une détection). Le poisson revient une dernière fois le 6 juin entre 1h46 et 3h15. Le 29 juin, ce poisson est capté au seuil de Joze (environ 9 km en aval). L'émetteur de ce poisson sera retrouvé le 15 juillet vers Tissonières soit environ 24 km en aval de pont du Château. Le poisson n'a pas survécu à la période estivale.

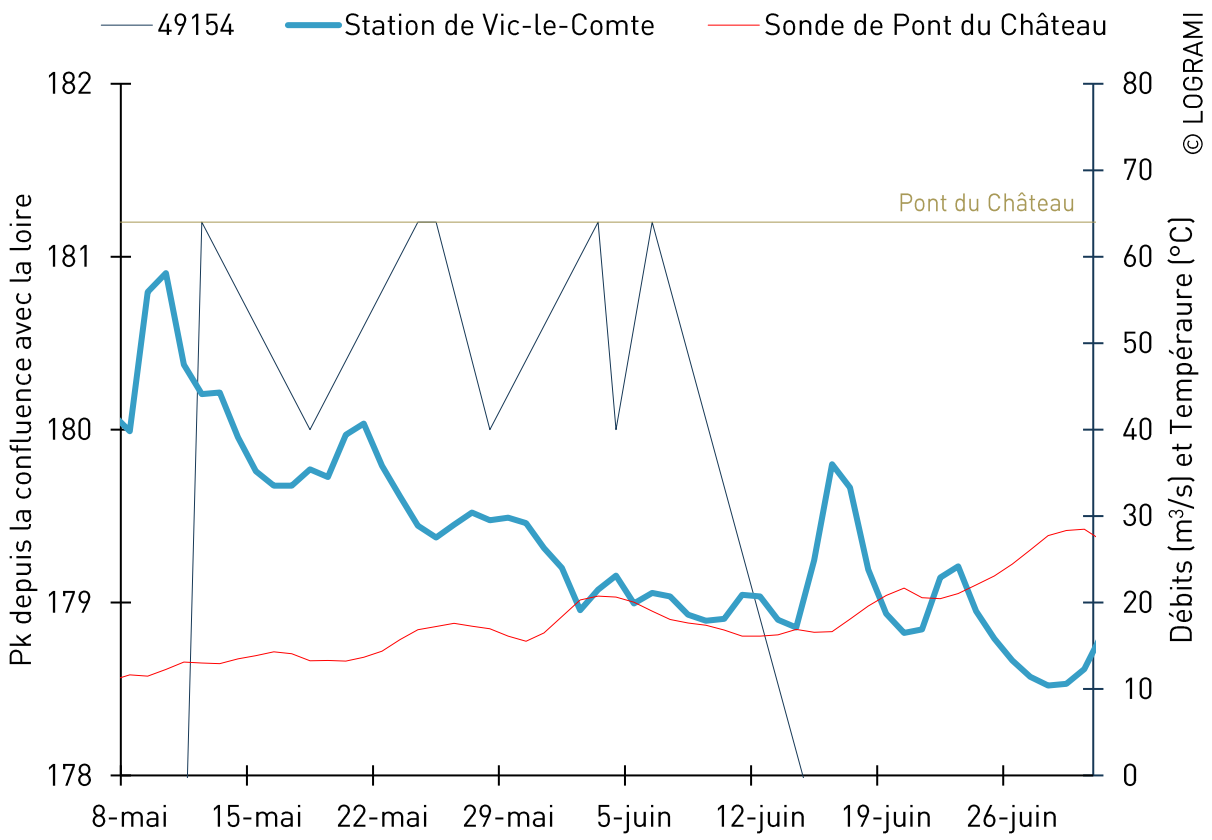


Figure 93 : Comportement du saumon marqué N°49154

Considéré comme « franchissable sans difficulté apparente pour le saumon» dans l'expertise de Steinbach en 2005, ce seuil avait induit des retards non négligeables pouvant aller jusqu'à plusieurs jours en 2006. La principale cause de ces retards était liée au colmatage et au défaut d'entretien des dispositifs de franchissement. En 2009 deux saumons (562 et 841) semblent avoir été retardés moins de 24 heures. Les forts débits ne semblaient pas pénalisants au niveau de cet obstacle, la chute disparaissant totalement sur la rive gauche.

Cette année 2019, l'aménagement du seuil est différent de 2006 et 2009. Cependant, aucun saumon n'a franchi le seuil de Pont du Château par la passe à macro-rugosité en rive gauche. Ils sont tous passés par l'arche se trouvant à côté, là où il n'y a pas de chute verticale. Sur les 11 franchissements, 4 ont accusé des retards allant de 17h11 à 45h14, et un poisson s'est retrouvé bloqué en aval de ce seuil.

En 2019, ce seuil a été franchissable mais a engendré des retards et un blocage. L'aménagement de la passe à macro rugosité n'est pas fonctionnel et n'a pas eu d'amélioration sur la continuité écologique de ce seuil.

6.1.5.2 Dévalaison post reproduction

Après la période de reproduction, 4 saumons ont dévalé et se sont présentés au seuil de Pont du Château (Tableau 26 et Figure 94). Ces poissons ont dévalé lors des fortes augmentations de débits de fin d'année. Seul le saumon N°49124 a dévalé ce seuil début février (toujours sur une augmentation de débit). Ils ont tous dévalé par la surverse du seuil. Les saumons ont mis en moyenne 5 min +/- 3 à dévaler l'ouvrage. Le poisson N°49014 qui se trouvait sur l'Alagnon le 10 décembre a dévalé Pont du

Château le 15 décembre après qu'un pic de crue de 116 m³/s enregistré le 14 décembre, à Lempdes sur Alagnon.

Dans une gamme de débits supérieurs à 66 m³/s, le seuil de Pont du Château est totalement transparent lors de la dévalaison des saumons « ravalés ». Les valeurs de débit observées durant la dévalaison des ravalés sur cet ouvrage sont concordantes avec le débit moyen à cette période de l'année. En effet, les débits moyens journaliers en décembre, janvier et février sont respectivement de 83 m³/s, 87 m³/s et 90 m³/s.

Tableau 26 : Temps de dévalaison au seuil de Pont du Château

	Temps de dévalaison	Débits lors de la dévalaison
49014	2 min	236,4 m³/s
49024	9 min	292,6 m³/s
49124	5 min	65,8 m³/s
49184	3 min	133,8 m³/s

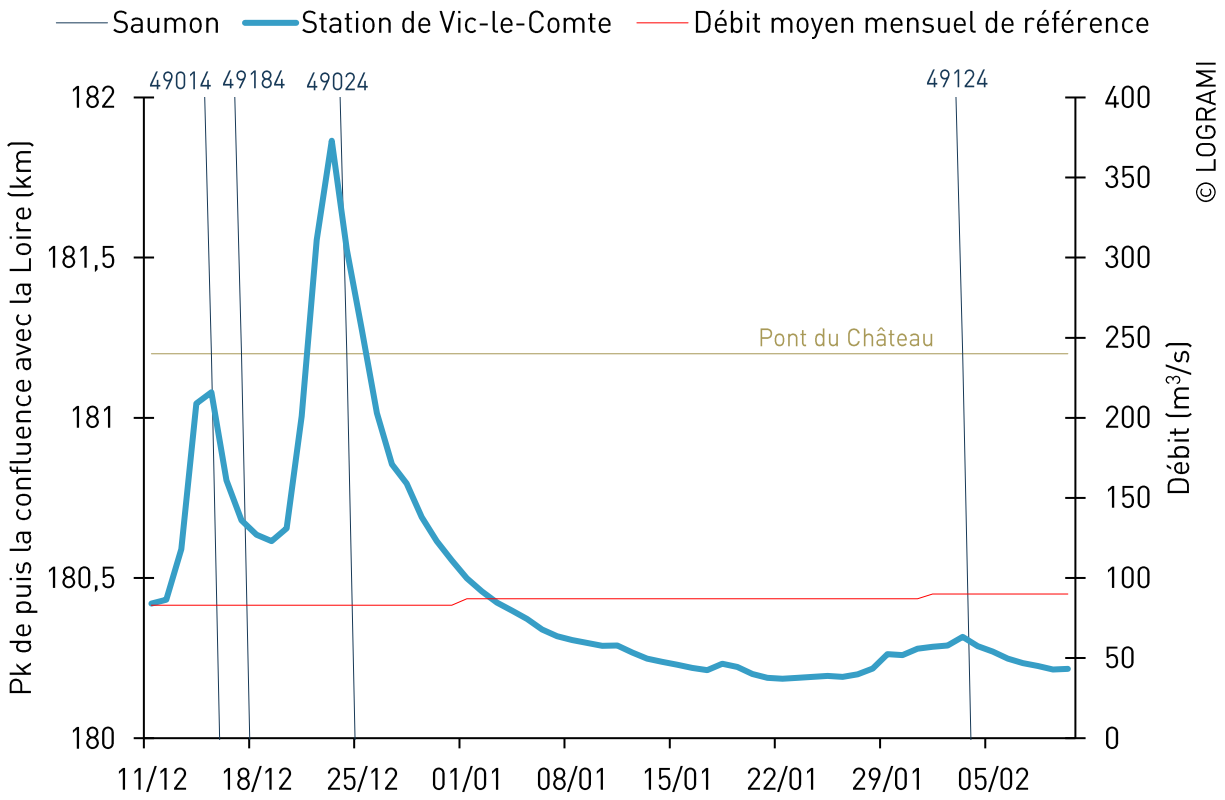


Figure 94 : Comportement de dévalaison des quatre saumons radiomarqués « ravalés » au seuil de Pont du Château en fonction du débit en 2019

6.1.6. La Bageasse

6.1.6.1 Montaison

Le barrage de la Bageasse (ROE 9867) (Figure 95, Figure 96, Figure 97 et Figure 98) se situe 18 km en amont du seuil de Vézézoux (ROE 9846, arasé en 2013) et 144 km en amont du barrage de Vichy. Ce barrage est le 8e obstacle rencontré en amont du barrage de Vichy.

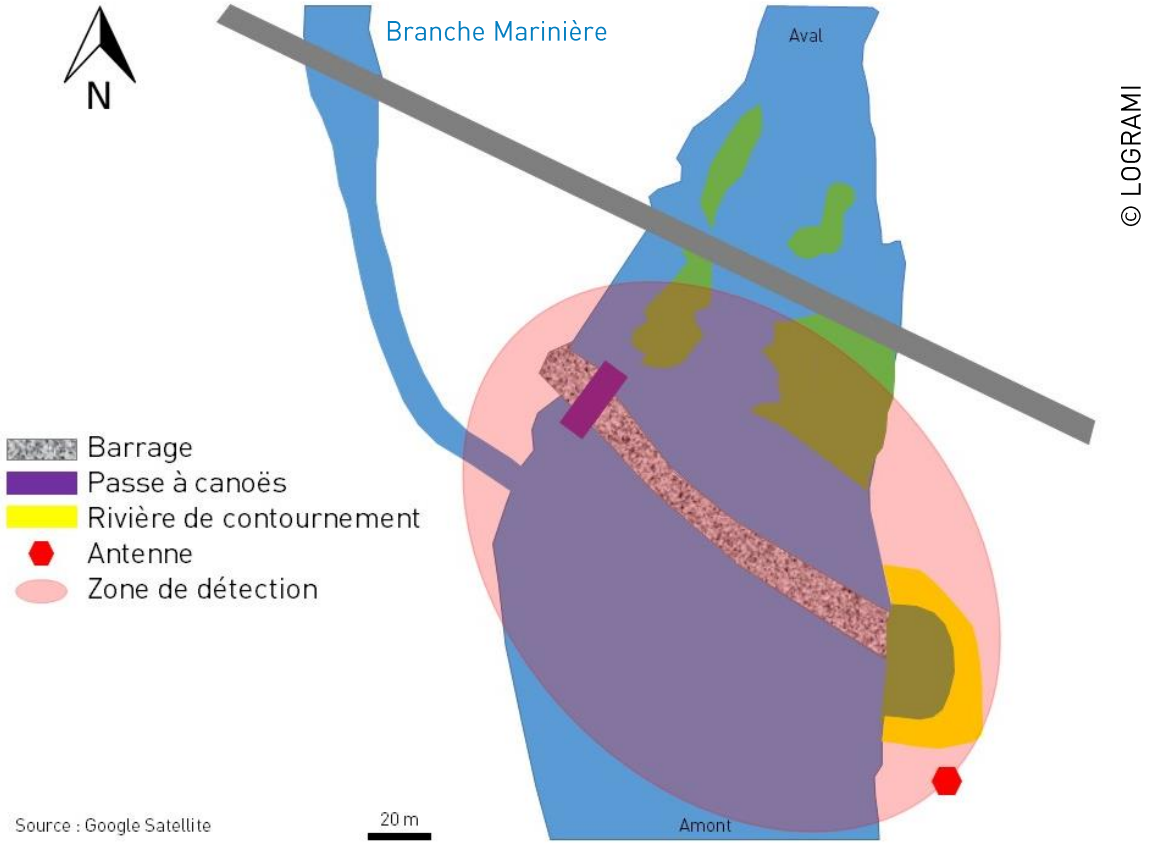


Figure 95 : Schéma du barrage de la Bageasse

En 2006 et 2009, ce barrage n'a pas été suivi par un poste fixe, les retards éventuels des saumons ont donc été estimés.

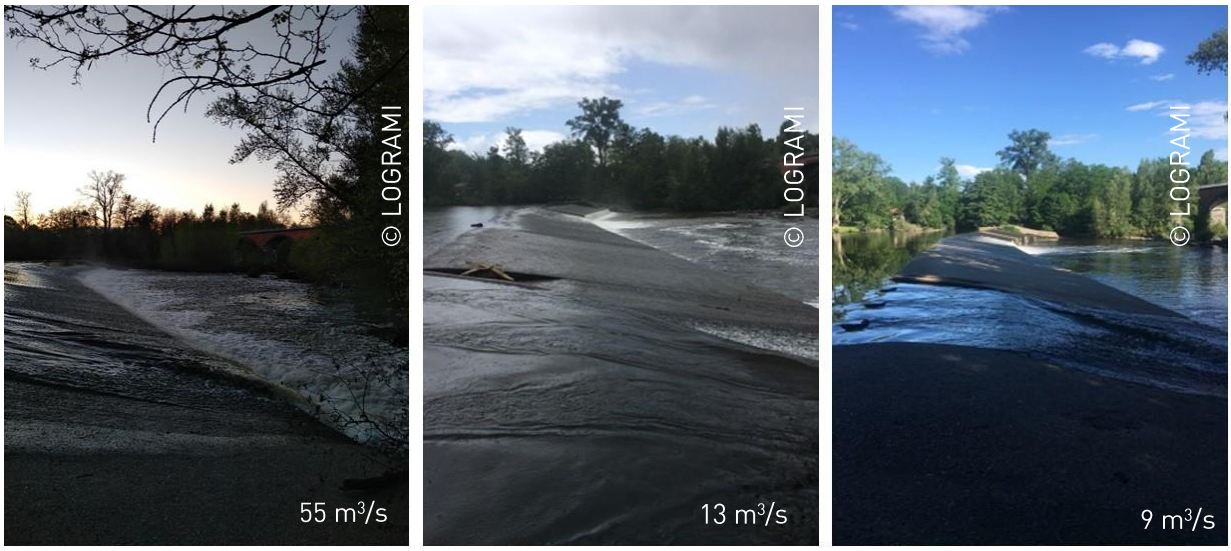


Figure 96 : Barrage de la Bageasse selon trois conditions de débit (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 97 : Entrée de la rivière de contournement du barrage de la Bageasse selon trois conditions de débit (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 98 : Passe à bassins du barrage de la Bageasse selon trois conditions de débit (Source : Banque Hydro pour les débits)

Le franchissement du barrage de la Bageasse **concerne 9 saumons**. 6 se présentent au printemps entre le 29 avril et le 7 juin et 3 à l'automne entre le 17 et 31 octobre. Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Vieille Brioude (3 km en amont) (module de 28,4 m³/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI en amont du dernier bassin de la passe à poissons.

Franchissements printaniers

Au printemps, les 6 saumons ont mis en moyenne 7h49 +/- 6h02 pour franchir le barrage. Le temps médian est de 6h20 (Figure 99 et Figure 101).

Le premier saumon est arrivé le 29 avril lorsque le débit était de 56 m³/s et la température de 10,7 °C et a mis 5h16 à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon, arrivé le 7 juin a mis 7h17 avec un débit de 11 m³/s, la température était alors de 15,4 °C.

Du 29 avril au 7 juin, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 11 et 56 m³/s et les températures entre 10,7 et 16,7 °C.

Poisson N°49044 :

Son temps de retard est de 19h01. Ce poisson a buté sur l'ouvrage au printemps et ne pas avoir réussi sa première tentative. Il est arrivé le 8 mai vers 18h et est resté pendant 10h en aval de l'ouvrage avant de dévaler et de ne plus être capté par le poste. Il est revenu le 9 mai vers 11h du matin soit 7h après sa dernière détection, pour cette fois-ci franchir le barrage en 2h12. Lors de sa première tentative, le débit était de 23 m³/s et de 34,8 m³/s lors de sa deuxième tentative. Cette gamme de débit ne semble pas être problématique puisque les autres poissons sont passés lors de leurs premières tentatives avec des débits similaires. La température et la luminosité ne semblent pas être non plus la raison de ce blocage, puisque les autres poissons se sont présentés avec des conditions semblables sans avoir été bloqués.

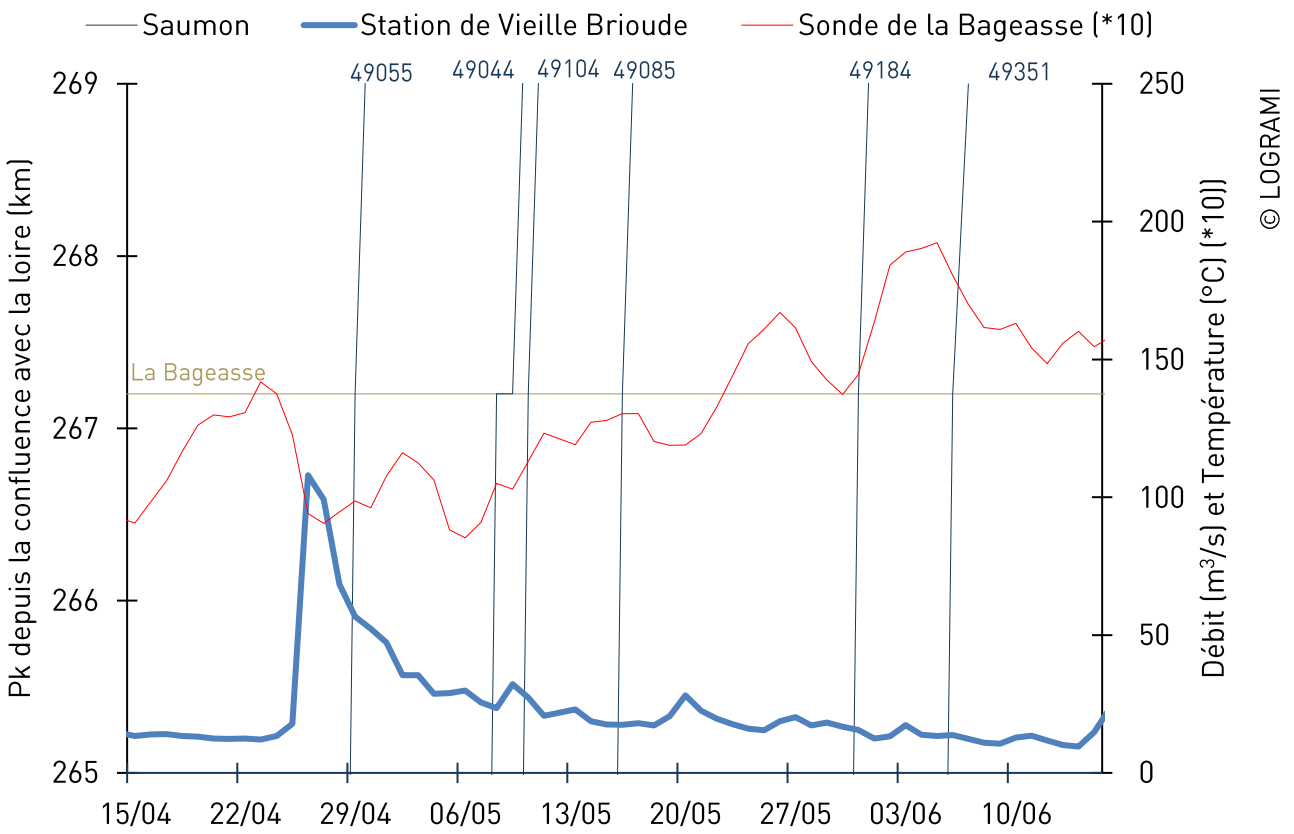


Figure 99 : Comportement des saumons marqués au barrage de La Bageasse en fonction du débit à Vieille Brioude au printemps 2019

Franchissements automnaux

À l'automne, les 3 saumons ont mis en moyenne 47h22 +/- 47h06 pour franchir le barrage. Le temps médian est de 26h (Figure 100 et Figure 101). **Le temps de franchissement à l'automne est bien plus important qu'au printemps**, pour autant cette différence est non significative (Student, p-valeur = 0,116). Le temps de franchissement est bien plus hétérogène qu'au printemps.

Poisson N°49024 :

Il a passé l'été en amont de Coudes (50 km en aval du barrage) et a repris sa migration vers le 10 octobre. Il est le premier à s'être présenté au barrage de la Bageasse, le 17 octobre. Il mettra 2h07 à franchir l'ouvrage. Les débits lors du franchissement étaient encore ceux de l'étiage soit 8 m³/s et la température de 13,4 °C.

Poisson N°49124 :

Il a passé l'été 10 km en aval du barrage et a repris sa migration vers le 22 octobre. Il se présente le 22 octobre au matin et bute pendant environ 4h avant de dévaler et d'être capté lors d'un suivi mobile sous le pont de la Nationale 102 (1 km en aval du barrage). Il se représente en début de soirée (4h après sa première tentative) pour franchir l'ouvrage en un peu plus de 17h (midi le lendemain). Son temps de retard est de 26h. Lors de sa première tentative, le débit était de 36 m³/s et de 33 m³/s lors de sa deuxième tentative. La température lors de son franchissement est de 11,8 °C.

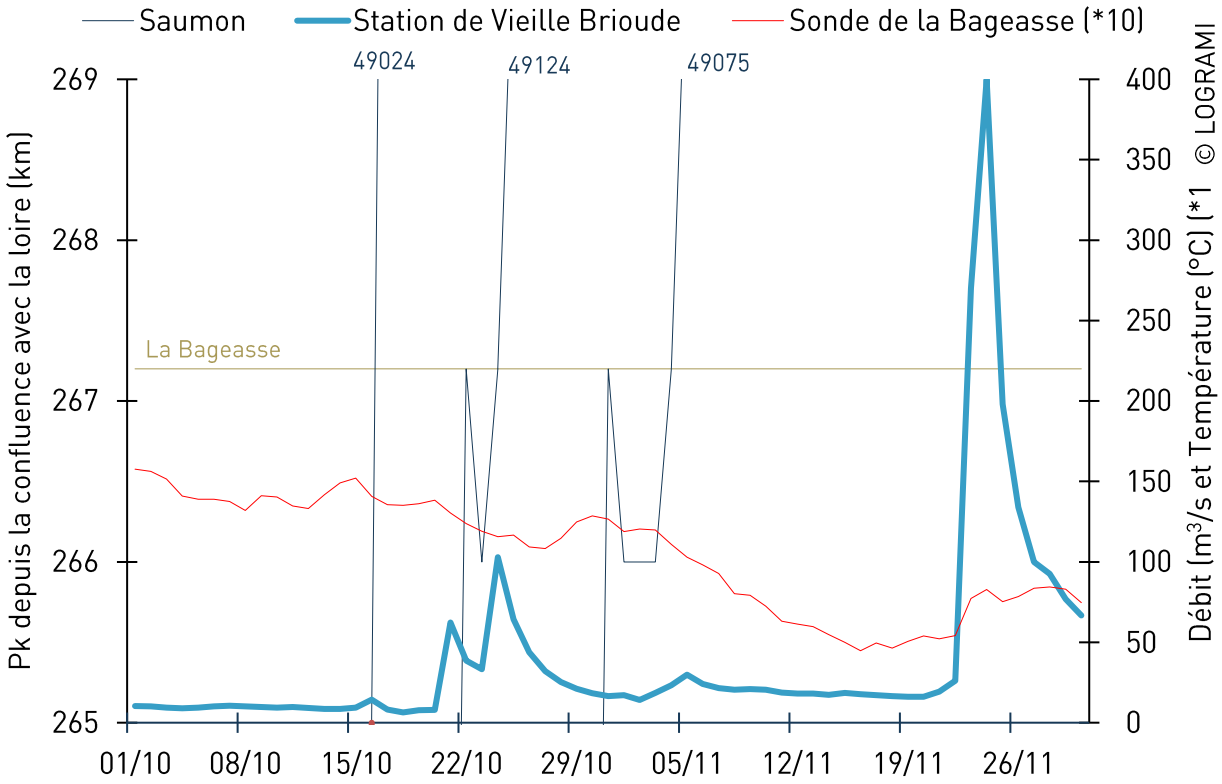


Figure 100 : Comportement des saumons marqués au barrage de La Bageasse en fonction du débit à Vieille Brioude à l'automne 2019

Poisson N°49075 :

Son temps de retard est le plus important enregistré avec 92h59, soit un peu moins de 4 jours. Il a passé l'été 34 kilomètres en aval du barrage. Il reprend sa migration vers le 22 octobre comme pour le poisson N°49124. Il se présente une première fois, de nuit, le 31 octobre en aval pendant 1h15 avant de dévaler. **Il ne revient que 3 jours et 17 h plus tard** pour finalement passer en 2h55 le 4 novembre. Lors de sa première tentative le débit était de 16 m³/s et de 23 m³/s lors de sa deuxième. La température lors de ces 2 tentatives est de 11,9 °C. Il est difficile d'expliquer pourquoi ce poisson soit revenu aussi longtemps après sa première tentative, il se différencie des autres par le fait d'être un mâle.

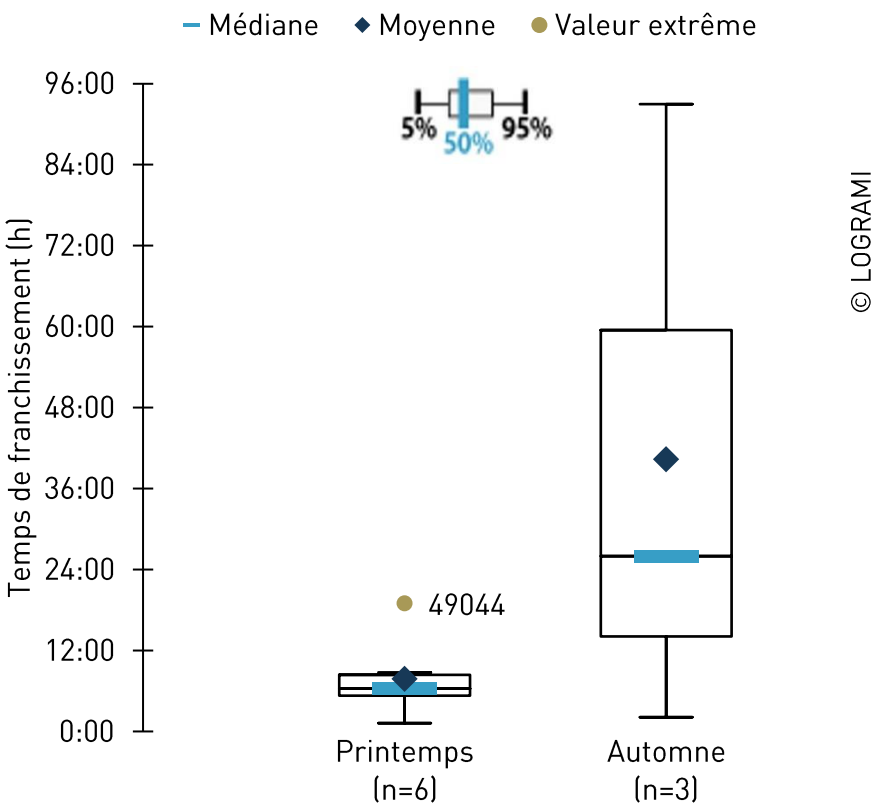


Figure 101 : Temps de franchissement des saumons radiopistés au barrage de la Bageasse au printemps et en automne en 2019

Relation avec le débit

Que ce soit au printemps ou à l'automne, il ne semble pas y avoir de relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit (Figure 102).

Que ce soit au printemps ou à l'automne, la luminosité au moment où le poisson se présente à l'ouvrage ne semble pas être un facteur limitant puisque les saumons sont passés à n'importe quelle heure de la journée.

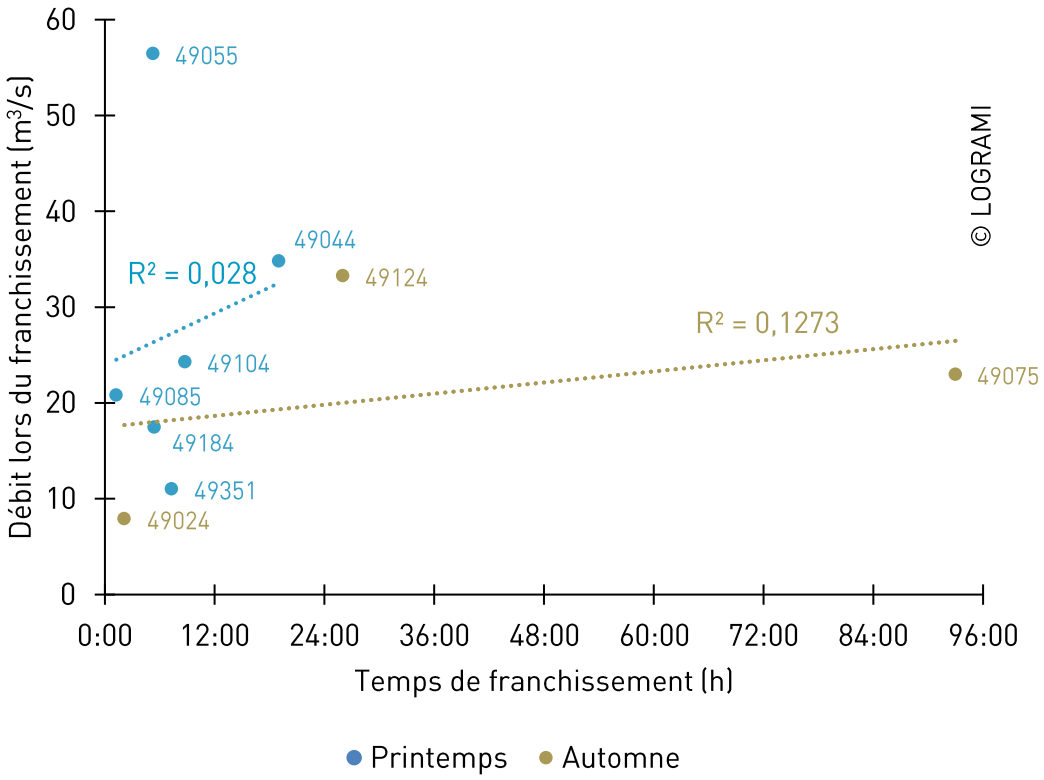


Figure 102 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de la Bageasse en 2019

Bilan

Au printemps, 1 saumon sur les 6 saumons a buté avant de dévaler et de quitter la zone de détection pendant plus de 4h. À l'automne, ce sont 2 saumons sur 3 qui ont buté une première fois avant de dévaler et de quitter la zone de détection pendant plus de 4h (un peu moins de 4 jours pour le N°49075).

En 2006, 2 saumons suivis ont franchi l'ouvrage de la Bageasse. Le temps de retard a été estimé à un peu moins de 7h pour le premier et entre 13 et 19h pour le deuxième.

En 2009, 9 saumons ont franchi l'ouvrage de la Bageasse, 3 au printemps et 6 à l'automne. Ce seuil n'avait pas occasionné de retard pour la plupart des poissons, mais certains ont accusé des retards pouvant atteindre 5 à 9 jours. L'étude de 2009 avait confirmé le classement de cet ouvrage comme « franchissable mais avec risque de retard ».

Considéré comme « franchissable mais avec risque de retard » pour le saumon dans l'expertise de Steinbach en 2005 et dans l'étude de 2009, ce seuil n'a pas occasionné de retard pour la plupart des poissons (inférieur à 9h pour 6 saumons sur 9). Cependant, 3 autres saumons ont accusé des retards plus importants en dévalant après leurs premières tentatives soit 19h01, 26h et 92h59.

L'étude de 2019 confirme une nouvelle fois donc ce classement de franchissable avec risque de retard. Les retards parfois conséquents et replis en aval pour certains poissons soulignent les difficultés qu'ont les poissons à franchir cet obstacle qui reste déterminant en termes d'atteintes de zones de survie.

Des travaux doivent être envisagés afin d'améliorer la franchissabilité de cet ouvrage. Si l'ouvrage est maintenu et le dispositif de franchissement est la solution retenue, des améliorations devront être effectuées afin de rendre l'aménagement fonctionnel et qu'il n'engendre pas de retard.

6.1.6.2 Dévalaison post reproduction

Après la période de reproduction, 3 saumons « ravalés » ont dévalé et se sont présentés au barrage de la Bageasse (Tableau 27 et Figure 103). Ces poissons ont dévalé lors des fortes augmentations de débits de fin d'année. Le poisson N°49124 a semble-t-il dévalé par la rivière de contournement en rive droite. Le N°49024 et N°49184 ont dévalé par la surverse du barrage, probablement par l'échancrure en rive droite. Les saumons ont mis en moyenne 27 min +/- 20 à dévaler l'ouvrage.

Il semblerait que l'ouvrage de la Bageasse soit globalement transparent lors de la dévalaison des saumons « ravalés » avec de tels débits. Les temps nécessaires à la dévalaison sont cependant supérieurs au seuil de Pont du Château et Vieille Brioude. En outre, même s'il n'est pas exceptionnel que le débit atteigne les 67 m³/s à cette période de l'année, le débit moyen journalier entre décembre, janvier et février est de 36 m³/s. Nous pouvons donc alerter sur un point de vigilance aux difficultés accrues de dévalaison en cas de faibles débits risquant d'augmenter encore d'avantage les temps de passage voir les risques de blocage des poissons.

Tableau 27 : Temps de dévalaison au barrage de la Bageasse

	Temps de dévalaison	Débits lors de la dévalaison
49024	9 min	138,5 m³/s
49124	49 min	143 m³/s
49184	23 min	67 m³/s

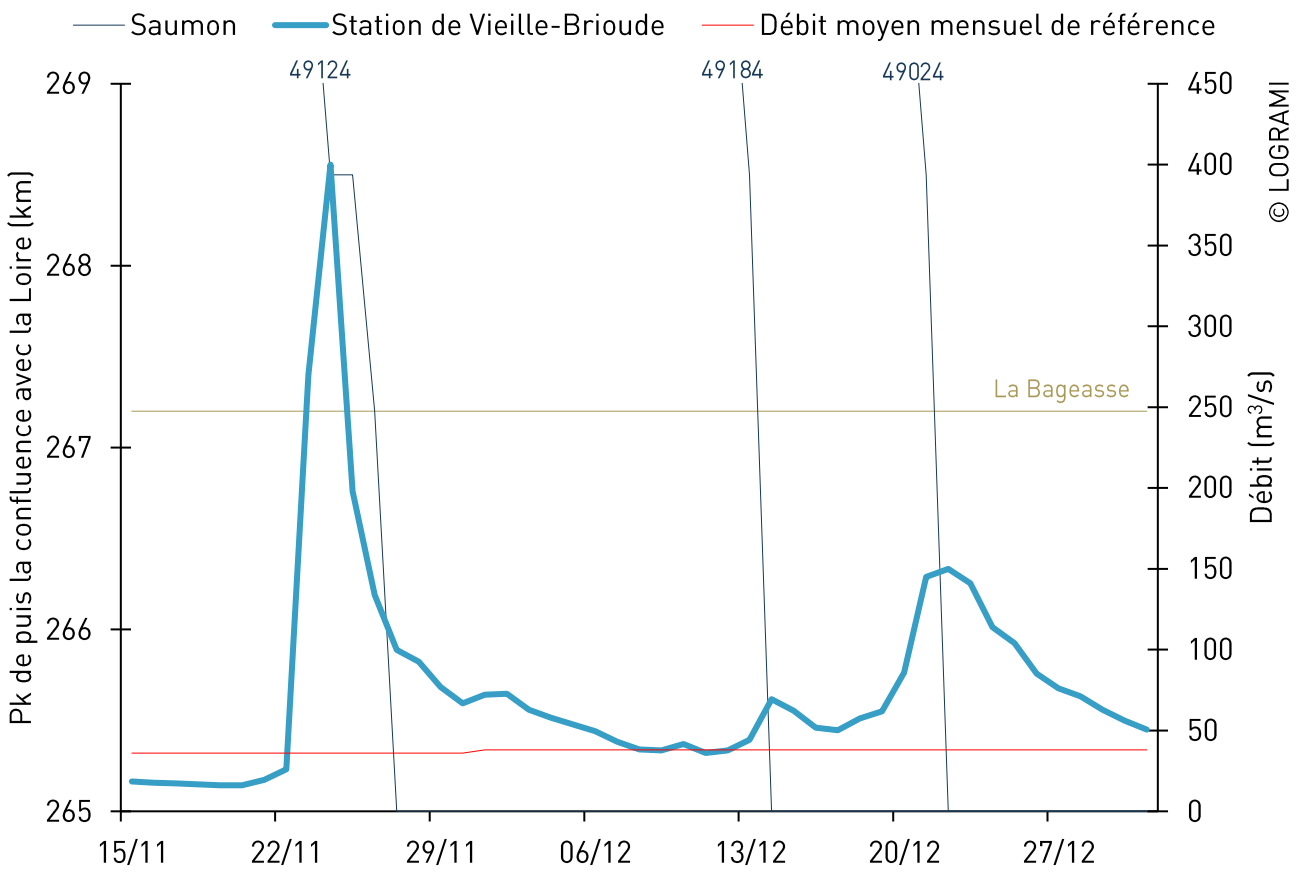


Figure 103 : Comportement de dévalaison des saumons radiomarqués « ravalés » au barrage de la Bageasse en fonction du débit en 2019

6.1.7. Vieille-Brioude

6.1.7.1 Montaison

Le barrage de Vieille Brioude (ROE 9885) (Figure 104) se situe 3 km en amont de celui de la Bageasse et 147 km en amont du barrage de Vichy. Ce barrage est le 9e obstacle rencontré en amont du barrage de Vichy. **En 2006 et 2009, ce barrage avait été suivi par un poste récepteur-enregistreur fixe.**

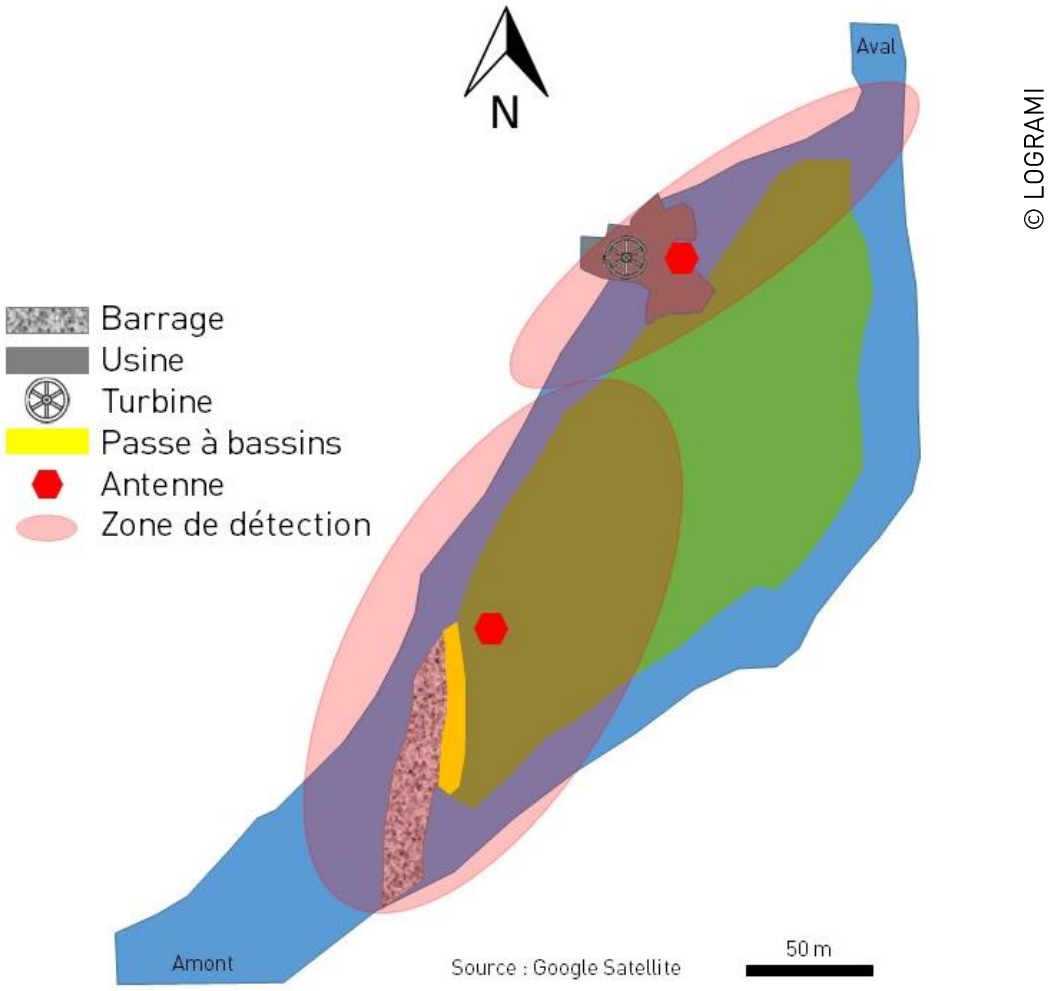


Figure 104 : Schéma du barrage de Vieille Brioude

Ce barrage a fait l'objet de travaux pour refaire la passe à poissons (installation d'une passe à bassins successifs). Ils ont débuté le 17 juin 2019 et se sont terminés dans le courant du mois d'août. Le 21 août l'usine turbinait à nouveau.

Le franchissement du barrage de Vieille Brioude (Figure 105 et Figure 106) **concerne les 9 mêmes saumons qui ont franchi celui de la Bageasse**. 6 se présentent au printemps entre le 29 avril et le 8 juin et 3 à l'automne entre le 17 octobre et le 6 novembre. Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Vieille Brioude (module de 28,4 m³/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI en amont du dernier bassin de la passe à poissons au barrage de la Bageasse.

Figure 105 : Barrage de Vieille Brioude (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 106 : Phase de travaux pendant l'été 2019 au barrage de Vieille Brioude

Franchissements printaniers

Au printemps, les 6 saumons ont mis en moyenne 7h40 +/- 10h12 pour franchir le barrage. Le temps médian est de 2h06 (Figure 107 et Figure 108).

Le premier saumon est arrivé le 29 avril lorsque le débit était de 56 m³/s et la température de 9,4 °C et a mis 19h27 à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 8 juin mais sa fréquence n'était pas rentrée dans l'enregistreur. Son temps de retard n'a pas pu être estimé.

Du 29 avril au 8 juin, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 11 et 56 m³/s et les températures entre 9,4 et 17,3 °C.

Sur les 5 saumons détectés au barrage au printemps, un saumon (N°49055) a mis beaucoup plus de temps à franchir l'ouvrage avec un retard de 19h27. **Les autres sont passés avec un temps de franchissement inférieur à 3h.**

Les poissons N°49044, N°49085 et N°49014 se sont d'abord engagés dans le canal de fuite de l'usine alors en marche avant de rejoindre le tronçon court-circuité et la passe à poissons au barrage. Ils ne sont restés que respectivement 14, 26 et 76 minutes dans le canal de fuite avant de rebrousser chemin.

Au printemps 2009, les 3 saumons ont mis en moyenne 1h20 +/- 0h46 pour franchir l'ouvrage avec des débits compris entre 25 et 50 m³/s.

En 2006, seuls 2 saumons se présentent au barrage au printemps et sont restés bloqués en aval. Cependant ces poissons sont arrivés tard, à une période où la plupart voire la totalité des poissons avaient arrêté leur migration printanière. L'étude avait conclu que le blocage de ces 2 saumons n'était donc pas forcément directement lié à l'ouvrage.

En 2009, l'intégralité des passages printaniers étaient nocturnes alors qu'en 2019, ils sont tous passés de jour.

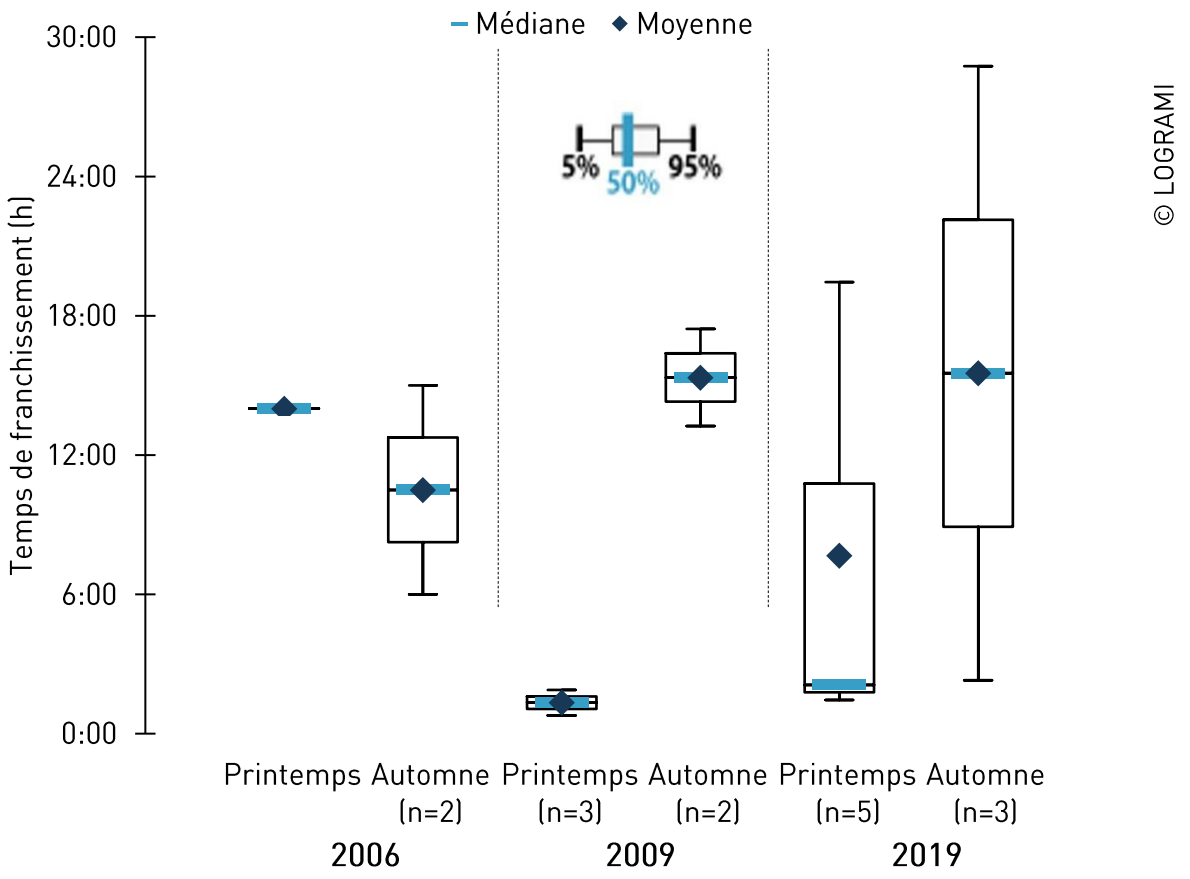


Figure 107 : Temps de franchissement du barrage de Vieille Brioude au printemps et en automne en 2006, 2009 et 2019

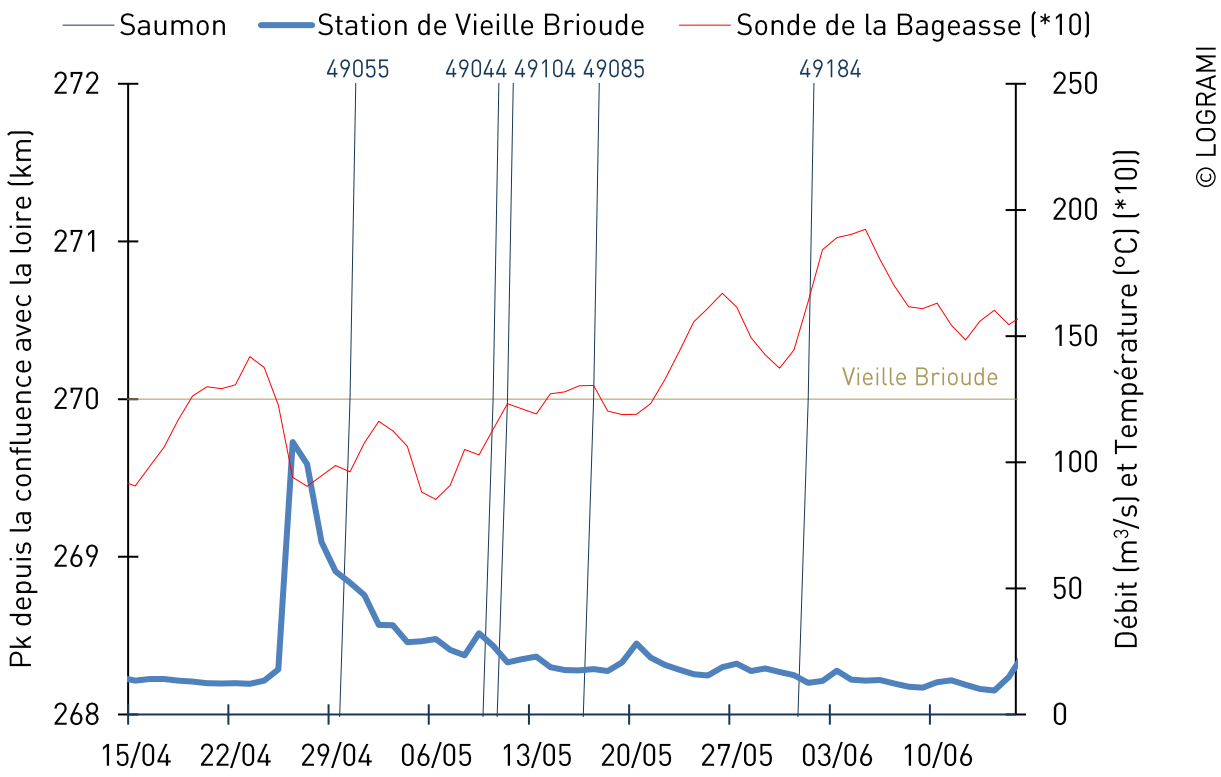


Figure 108 : Comportement des saumons marqués au barrage de Vieille Brioude en fonction du débit à Vieille Brioude au printemps 2019

En 2019, le poisson N°49055 (Figure 109) est le premier à avoir franchi le barrage (30 avril), il s'est directement engagé dans le tronçon court-circuité et a mis un peu moins de 20h à franchir le barrage. Lors de son arrivée, la température était de 9,4 °C et 9,1 °C lors de son passage. Au vue des puissances de signal et du débit (55 m³/s), il semble que ce poisson soit le seul à ne pas être passé par la passe à poissons mais bien par la surverse du barrage. Le 2 mai, il est localisé 15 km en amont au niveau de Laboue. Le 16 mai à 11h, il est retrouvé 13,5 km en aval de sa dernière localisation. À 13h20 il est localisé dans la retenue du barrage de Vieille Brioude. Entre le 16 mai et le 1 juin, il passe la majorité de son temps dans la retenue et se présente 4 fois devant le plan de grille de l'usine. Il passe environ 135 h dans la retenue du barrage. Le 1 juin, il dévale l'ouvrage à 1h48 du matin avec un débit de 15 m³/s. Jusqu'au 3 juin, il se présente 2 fois au barrage avant de dévaler.
Le 3 juin vers 7h13, il est détecté dans la retenue du barrage de la Bageasse. Entre le 3 et le 22 juin, il fait des allers-retours dans la retenue. Au regard des puissances de signal, il est probable que le poisson se soit engagé dans la branche marinière (aucune localisation mobile n'a pu être faite). Il dévale l'ouvrage dans la nuit du 22 juin. Le poisson reste en continu en aval du barrage de la Bageasse entre le 23 juin et le 2 juillet (date à laquelle le matériel a dû être retiré pour cause de vandalisme dans le local technique. Il a été localisé 2 fois précisément en aval du barrage en rive droite. Le 6 août, l'émetteur de ce poisson avec des restes d'écailles sont retrouvés sur un petit îlot 4 km en aval du barrage de la Bageasse (Figure 110). Il est probable que ce poisson fortement affaibli et diminué se soit fait trainé mort ou vivant sur ce petit ilot pour être consommé. Le poisson est mort entre le 30/07 et le 06/08.

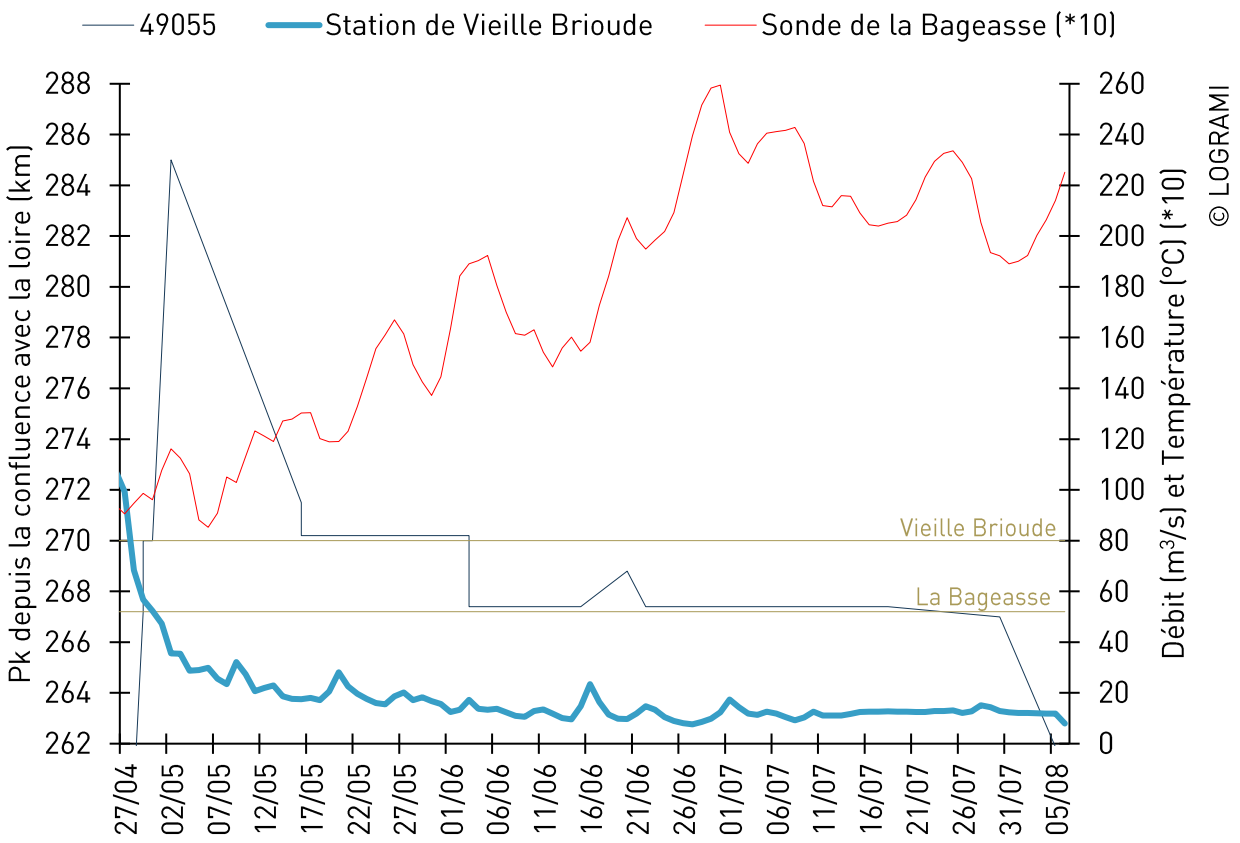


Figure 109 : Comportement du poisson marqué N°49055 en 2019

Figure 110 : Émetteur N°49055 retrouvé avec des restes d'écailles

En 2009, le saumon N°48271 avait eu un comportement similaire. Il avait franchi le barrage de Vieille Brioude le 11 mai en moins de 2h. Le 18 mai il a été localisé à Lavoûte-Chihlac (quasiment 20 km en amont) puis le 23 mai il dévale jusque dans la retenue du barrage de Vieille Brioude. Ce poisson finira par mourir dans la retenue le 8 août.

Ce comportement de dévalaison vu sur les 2 dernières campagnes de radiopistage sur l'Allier est compliqué à expliquer. Les poissons n'ont semble-t-il, pas trouver d'endroit adéquat pour leur arrêt estival ou ont été dérangés.

Franchissements automnaux

En 2019, à l'automne, les 3 saumons ont mis en moyenne 15h31 +/- 18h42 pour franchir le barrage. Le temps médian est de 15h31 (Figure 107 et Figure 111). **Le temps de franchissement à l'automne est plus important qu'au printemps**, pour autant cette différence est non significative (Student, p-valeur = 0,159). Le temps de franchissement est bien plus hétérogène qu'au printemps.

Le premier saumon est arrivé le 17 octobre lorsque le débit était de 7 m^3/s et la température de 13,6 °C et a mis 2h18 à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 5 novembre et a mis 28h45 à franchir l'ouvrage. Le débit était alors de 30 m^3/s et la température de 10,3 °C.

Du 17 octobre au 5 novembre, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 7 et 30 m^3/s et les températures entre 10,3 et 13,6 °C.

Sur ces 3 saumons qui ont franchi le barrage à l'automne, seul le saumon N°49024 est passé en moins de 3h. **Les 2 autres sont passés avec un temps de franchissement supérieurs à 20h.**

Poisson N°49024 :

Il franchit l'ouvrage en 2h18, il s'est d'abord engagé dans le canal de fuite et est resté 38 minutes sous les turbines. Il rebrousse chemin et s'engage dans le tronçon court-circuité pour rapidement franchir le barrage par la passe à bassins. À ce moment-là, les débits étaient encore ceux de l'étiage.

Poisson N°49124 :

Il franchit l'ouvrage en un peu moins de 21h, ce poisson est le seul à s'être engagé dans le tronçon court-circuité du barrage puis au bout de 6h30 fait demi-tour pour s'engager dans le canal de fuite de l'usine pour stagner pendant 21 minutes sous les turbines. Après il se réengage dans le tronçon court-circuité pour franchir le barrage en plus de 13h. Le poisson franchit le barrage par la passe à poissons juste avant la crue du 24 octobre.

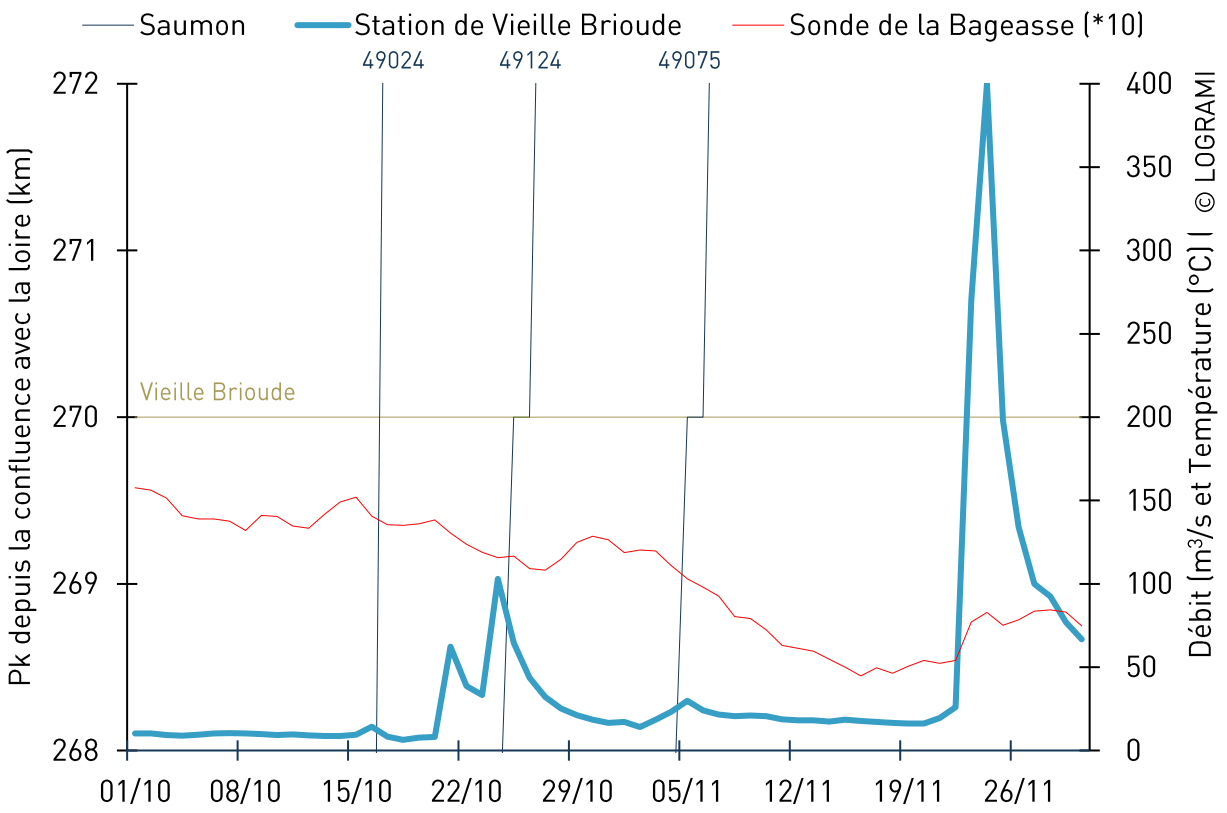


Figure 111 : Comportement des saumons marqués au barrage de Vieille Brioude en fonction du débit à Vieille Brioude à l'automne 2019

Poisson N°49075 :

Ce poisson est celui qui a mis le plus de temps à franchir l'ouvrage cette année. Il a mis presque 29h. Lors de son arrivée, le poisson s'est directement engagé dans le tronçon court-circuité, l'usine turbinait alors à plein régime. Lors de son arrivé le débit était quasiment celui du module soit 30 m³/s. Le poisson arrive de nuit le 5 novembre à 1h37 du matin et ne passera que le lendemain vers 6h22. Ce poisson a stagné un long moment dans le tronçon court-circuité du barrage. Il a même été localisé en manuel le 5 novembre à mi-chemin entre le barrage et la confluence tronçon court-circuité/ canal de fuite. Il est compliqué d'estimer le nombre de tentatives réalisées par ce poisson au barrage pour essayer de le franchir. Il passera finalement par la passe à poissons.

A l'automne 2009, 5 saumons se sont présentés au barrage, 2 mâles s'étaient présentés en pleine période de reproduction et leur blocage ne pouvait pas être pris en compte. Au final, 3 saumons avaient franchi l'ouvrage, 2 avaient mis 13h15 et 17h26 à passer le barrage, le débit était alors inférieurs à 9 m³/s. **Un 3ème poisson (non représenté sur la (**Figure 107**) à lui mis 163h pour un débit de 9,1 m³/s.**

En 2006, seuls 2 saumons se présentent au barrage à l'automne, ils avaient mis environ 6h et 15h à franchir l'ouvrage.

Relation avec le débit

Que ce soit au printemps ou à l'automne 2019, il semble y avoir une relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit au moment du franchissement (Figure 112). Au regard de la figure, le temps de franchissement augmente lorsque le débit augmente. Au printemps, le poisson N°49055 est le seul

à ne pas être passé par la passe à poisson. **Lorsque le débit est important (supérieur à 50 m³/s), il semblerait que l'entrée de la passe à poisson soit moins attractive et plus difficile à trouver.**

À l'automne, l'analyse ne se fait que sur 3 poissons, mais il semblerait aussi que plus le débit est important plus les poissons mettent du temps à franchir l'ouvrage. Pourtant à débit équivalent au printemps, les saumons n'ont eu aucun problème. Pour un débit proche des 30 m³/s, le N°49085 au printemps a mis 2h alors que le N°49075 à l'automne a mis plus de 28h.

Le comportement des poissons et notamment les stabulations à proximité des turbines mettent en lumière que les processus de franchissement sont probablement liés à l'attractivité des turbines lorsqu'elles fonctionnement au détriment du passage par le dispositif dédié. Ces éléments ne sont pas intégrés dans la présente analyse car nous ne disposons pas des tranches de fonctionnement de l'usine.

En ajoutant les données des poissons de 2009, le coefficient de corrélation diminue fortement (Figure 113). Cependant non seulement l'ouvrage a été modifié depuis mais le fonctionnement hydroélectrique était peut-être différent sur cette année d'étude 2019 avec un arrêt des turbines durant les travaux pendant l'été et une reprise à l'automne.

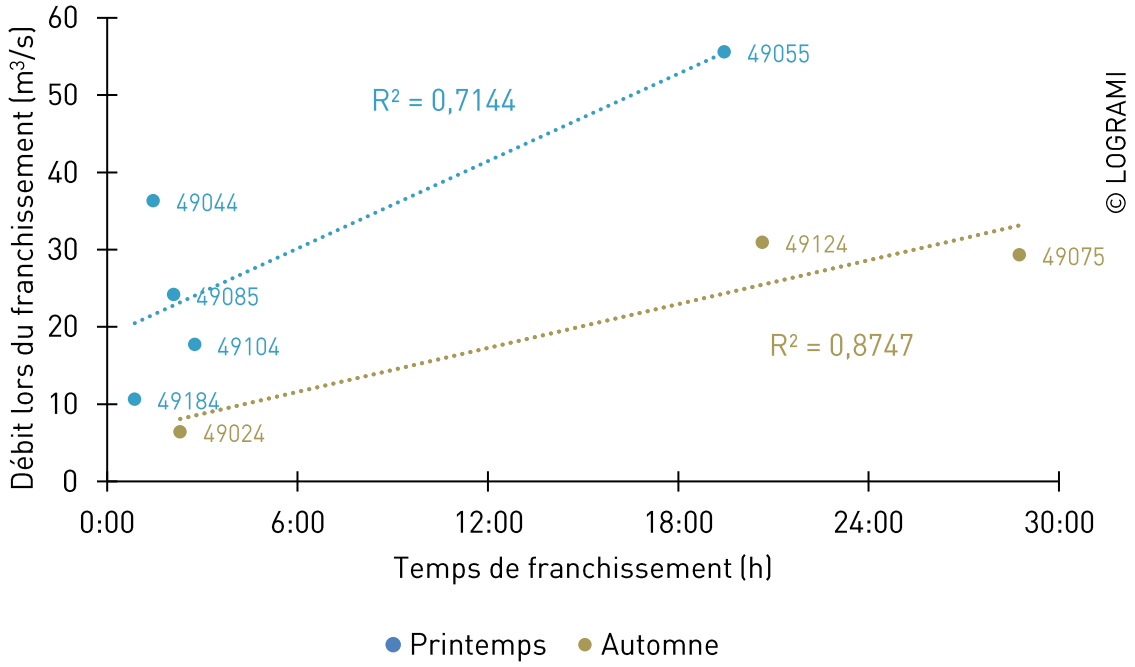


Figure 112 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de Vieille Brioude en 2019

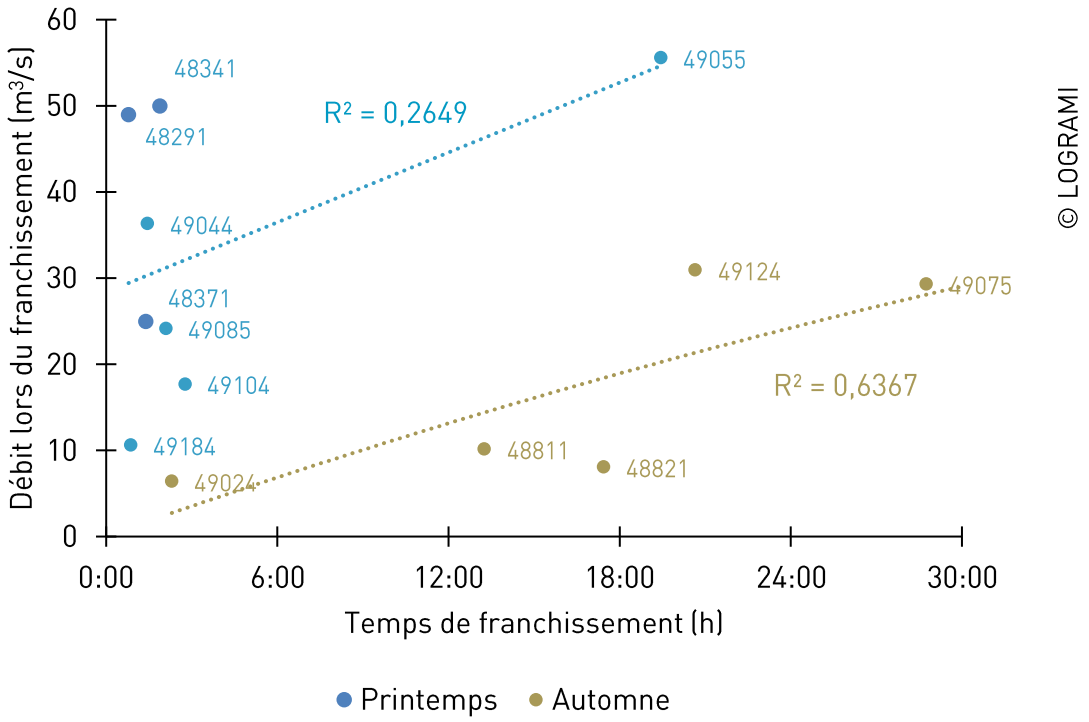


Figure 113 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de Vieille Brioude en 2009 et 2019

Bilan

En 2006, les 2 poissons à l'automne avaient accusé des retards (proches de 24h). En 2009, ce seuil n'a pas été un obstacle à la migration des saumons au printemps avec des débits élevés au barrage. En revanche des retards (proches de 15 heures) à l'automne pour 2 poissons sur 5 et élevés (près de 7 jours) pour un troisième saumon ont été notés. Pour deux autres saumons, le retard important avant franchissement ne peut pas être attribué à l'obstacle lui-même car les poissons arrivent en pleine ou fin de période de reproduction.

Considéré comme « difficilement franchissable » pour le saumon dans l'expertise de Steinbach en 2005, ce seuil n'a pas occasionné, en 2019, de retard pour la plupart des poissons (inférieur à 3h pour 5 saumons). Cependant les 3 autres (47 saumons de la population) ont accusé des retards plus importants compris entre 19h27 et 28h45. Sur les 8 saumons, il semblerait qu'un ne soit pas passé par la passe à poissons mais par le barrage.
L'étude de 2019 montre un lien étroit entre le débit et le temps de passages des saumons. Les conditions de franchissements semblent également conditionnées par le fonctionnement de l'usine et l'attractivité relative du tronçon court-circuité. En 2019, le barrage aurait pu être considéré comme « franchissable mais avec risques de retards » notamment à l'automne. Ainsi, même si des améliorations ont été apportées, il semble qu'une amélioration de ce passage devrait être effectuée notamment avec la mise en place d'une passe à l'usine.

6.1.7.2 Dévalaison post reproduction

Après la période de reproduction, 3 saumons ont dévalé et se sont présentés au barrage de Vielle Brioude (Tableau 28 et Figure 114). Ces poissons ont dévalé lors des fortes augmentations de débits de fin d'année. Les 3 saumons ont dévalé par la surverse du barrage en rive droite. Aucun ne s'est présenté

devant le plan de grille lors de sa dévalaison. Les saumons ont mis en moyenne 11 min +/- 7 à dévaler l'ouvrage.

Il semblerait que l'ouvrage de Vielle Brioude soit pratiquement voire totalement transparent lors de la dévalaison des saumons avec de tels débits. En outre, même s'il n'est pas exceptionnel que le débit atteigne les 57 m³/s à cette période de l'année, le débit moyen journalier entre décembre, janvier et février est de 36 m³/s. Nous pouvons donc alerter sur un point de vigilance aux difficultés accrues de dévalaison en cas de faibles débits risquant d'augmenter encore d'avantage les temps de passage voir les risques de blocage des poissons.

Tableau 28 : Temps de dévalaison au barrage de Vieille Brioude

	Temps de dévalaison	Débits lors de la dévalaison
49024	5 min	138,5 m³/s
49124	19 min	116,5 m³/s
49184	9 min	56,9 m³/s

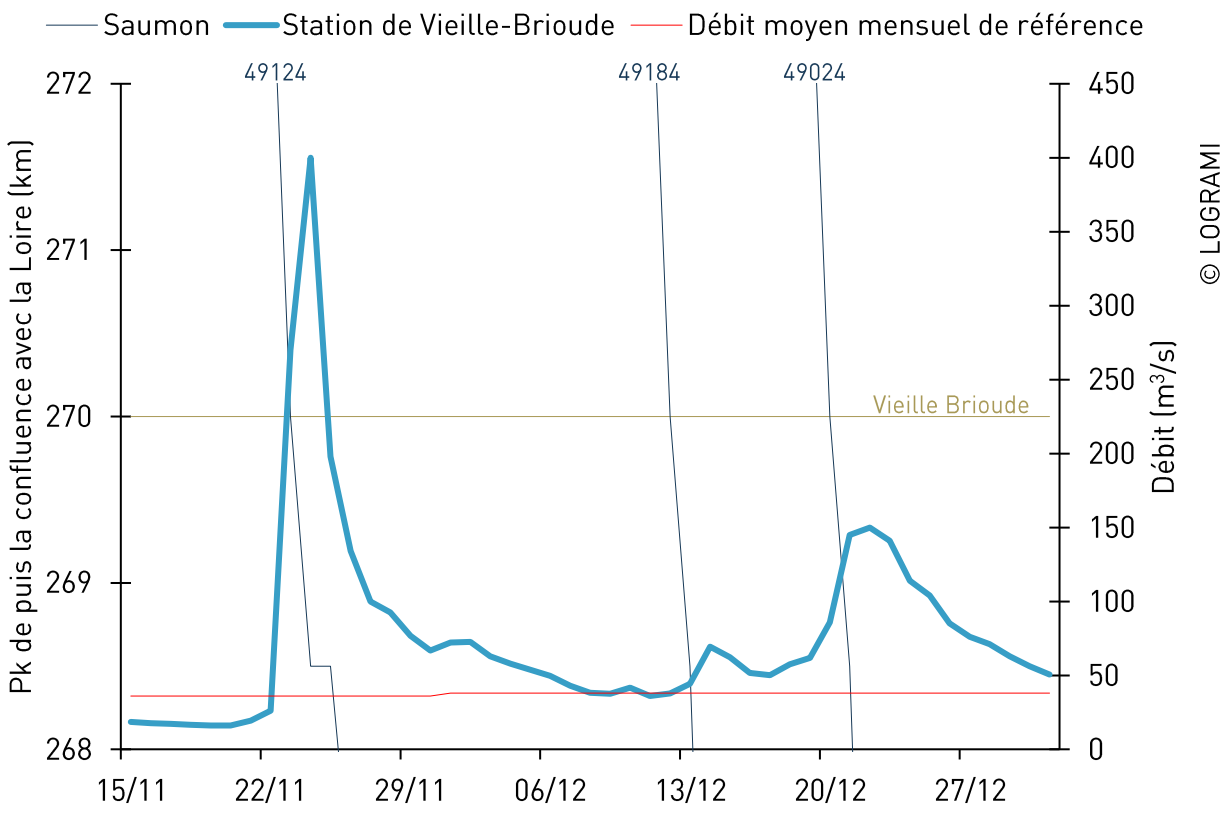


Figure 114 : Comportement de dévalaison des saumons radiomarqués « ravalés » au barrage de Vieille Brioude en fonction du débit en 2019

6.1.8. Langeac

6.1.8.1 Montaison

Le barrage de Langeac (ROE 9949) se situe 35 km en amont de celui Vieille Brioude et 184 km en amont du barrage de Vichy. Ce barrage est le 15e obstacle rencontré en amont du barrage de Vichy. **En 2009, cet ouvrage avait été suivi par deux postes récepteurs-enregistreurs fixes permettant deux zones de détection de saumon marqué, la première au niveau de l'usine hydro-électrique (aval, amont et passe à poissons) et la seconde dans le tronçon court-circuité (100m en aval du barrage). Pour des raisons d'alimentation électrique, le comportement des saumons au barrage n'avait pu être précisément étudié. En 2019, avec l'installation d'un poste récepteur-enregistreur et d'une antenne directement au barrage en complément d'un poste récepteur-enregistreur implanté à l'usine, le comportement des saumons marqués a pu être suivi sur l'ensemble du complexe de Langeac** (Figure 115).

Ce complexe est équipé de deux systèmes de vidéo comptage, l'un à l'usine et l'autre au barrage. Cette année 2019, la centrale n'a pas fonctionné en permanence et a été le plus souvent hors-service.

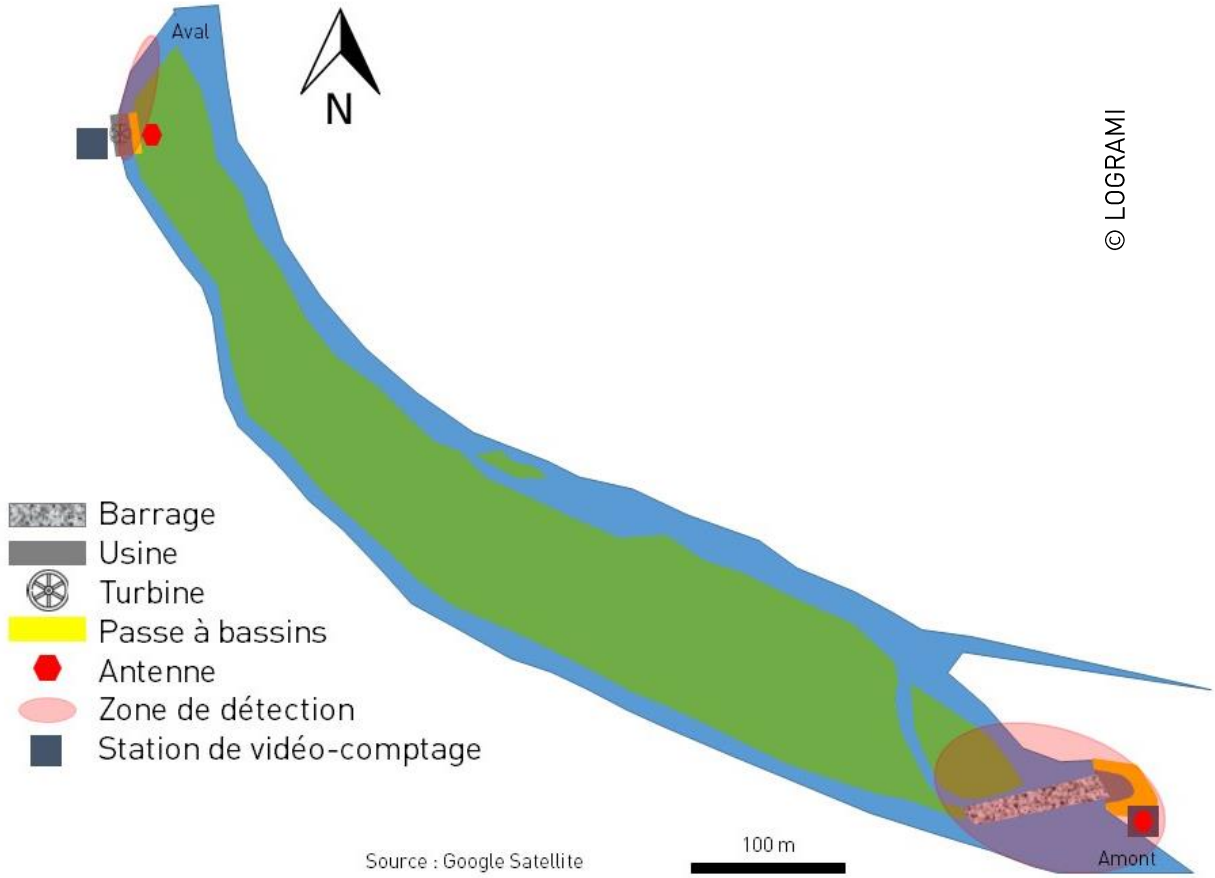


Figure 115 : Schéma du complexe de Langeac

Le franchissement du barrage de Langeac (Figure 116 et Figure 117) **concerne 6 saumons.** 2 se présentent au printemps, l'un le 13 mai et l'autre au début du mois de juin (pas de date précise). À l'automne, les 4 saumons passent entre le 10 octobre et le 3 novembre. Les débits pris en compte

proviennent de la station hydrologique de Langeac (module de 22,1 m³/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI dans le dernier bassin de la passe à poissons au barrage.

Figure 116 : Passe à poissons à l'usine de Langeac (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 117 : Barrage de Langeac (Source : Banque Hydro pour les débits)

Franchissements printaniers

Au printemps, 2 saumons franchissent le barrage de Langeac. Le saumon N°49044 et le N°49184. La fréquence de ce dernier poisson n'ayant pas était rentré dans les 2 enregistreurs, il n'est pas possible

d'estimer le temps de franchissement pour ce poisson. Il est sûrement passé dans la première semaine de juin. Pendant cette période le débit et la température étaient stables, 13 m^3/s et 17 °C.

Poisson N°49044 (Figure 118) :

Ce poisson est arrivé pour la première fois par le canal de fuite de l'usine (en fonctionnement) (Figure 119) le 13 mai à 19h18, le débit et la température étaient alors de 22,3 m^3/s et de 11,8 °C. Jusqu'au 17 mai 8h15, ce poisson **fera 4 tentatives à l'usine sans jamais réussir à trouver l'entrée de la passe à poisson**. Pendant tout ce temps, le poisson **stagnera environ 36h dans le canal de fuite de l'usine et passera la majorité de son temps en rive gauche proche du rejet du débit de la goulotte de dévalaison**. Lorsque le poisson se repliait en aval, il était localisé dans une zone profonde en amont du pont de la ville. Le 18 mai, le poisson se présente pour la première fois au barrage **et mettra seulement 2h11 à franchir le barrage par la passe à poisson** et passera devant le système de vidéo comptage (Figure 120).

Au final ce poisson met peu de temps lors de sa dernière tentative mais son temps de retard est de 3j et 12h. Entre sa première et dernière détection, la température et le débit sont restés stables, autour des 11 °C et des 22 m^3/s.

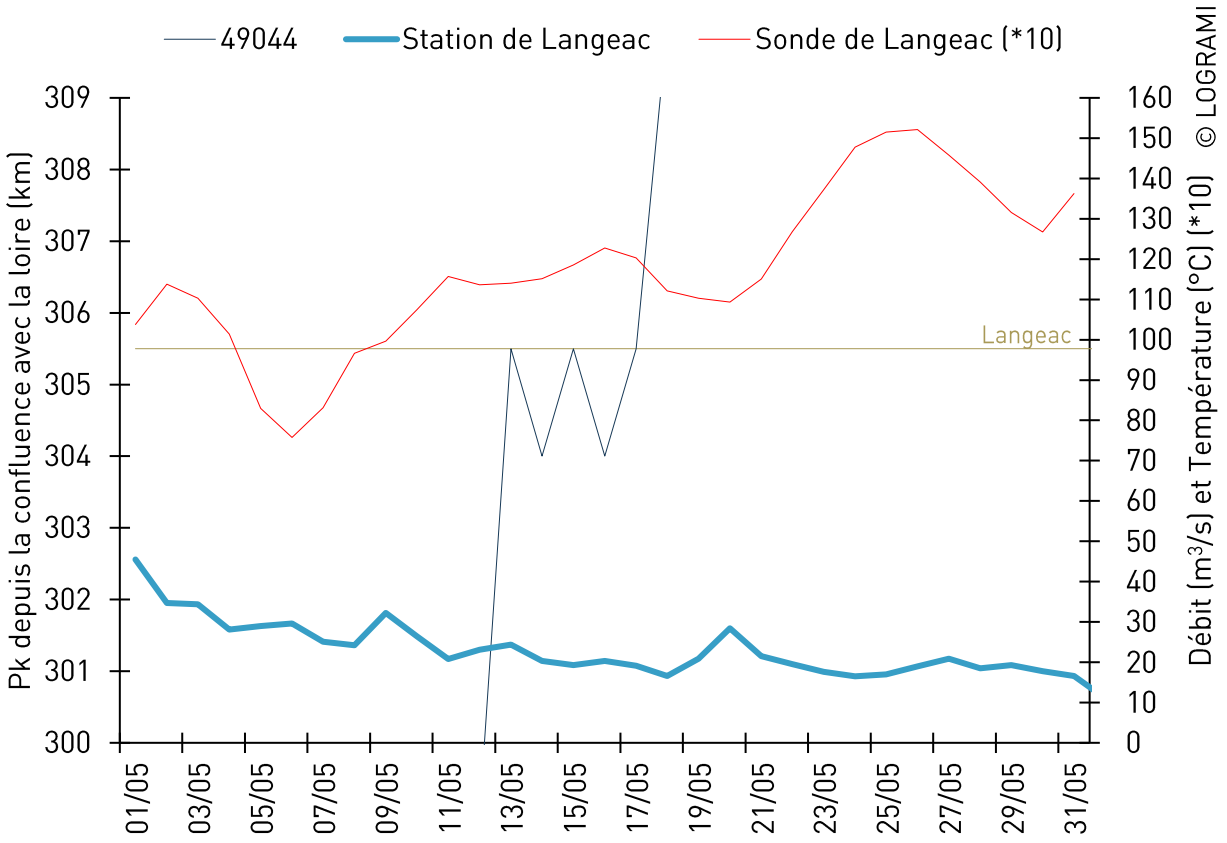


Figure 118 : Comportement du saumon marqué N°49044 au barrage de Langeac au printemps en fonction du débit à Langeac en 2019

En 2009, 2 poissons sont arrivés au barrage de Langeac. Un a été bloqué 42h au barrage lors de sa seule tentative avant de dévaler et de se caller pour l'arrêt estival. Le deuxième avait franchi l'ouvrage en un peu moins de 25h, après une première tentative infructueuse au barrage pendant 24h, il dévale pour franchir l'ouvrage par la passe à poissons de l'usine en moins d'une heure. Pendant ce temps les débits étaient compris entre 21,7 m³/s et 27,9 m³/s.

Figure 119 : Canal de fuite de l'usine avec l'entrée de la passe à poisson en rive droite et le rejet de la goulotte de dévalaison en rive gauche

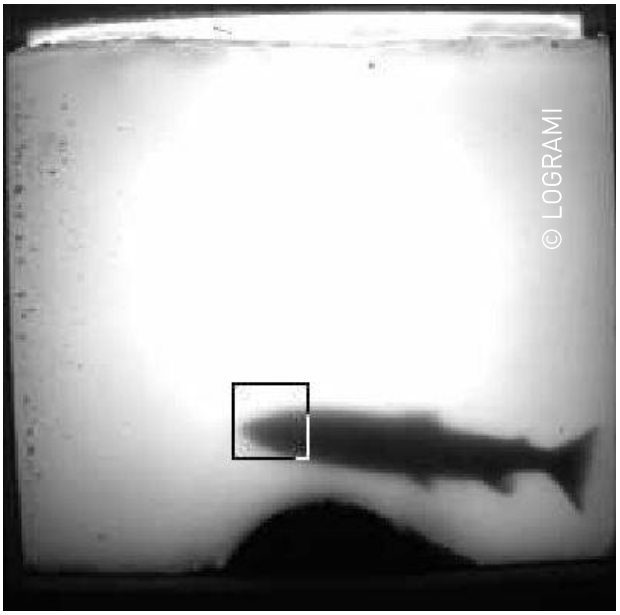


Figure 120 : Saumon marqué N°49044

Franchissements automnaux

À l'automne, les 4 saumons se sont directement engagés dans le tronçon court-circuité pour passer par la passe à poissons au barrage (Figure 121). Ils ont mis en moyenne 17h30 +/- 19h20 pour franchir le barrage. Le temps médian est de 12h32 (Figure 123). Il n'est pas possible de comparer le temps de franchissement au printemps et à l'automne. Durant la totalité de la migration automnale, l'usine de Langeac était hors service.

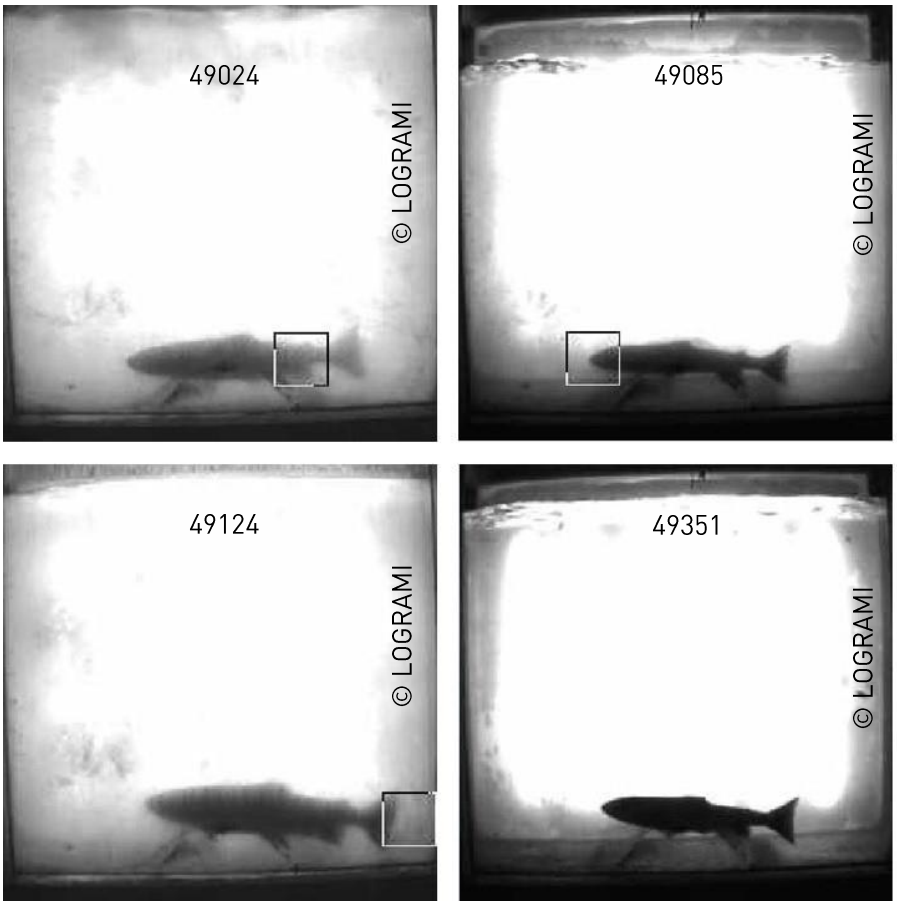


Figure 121 : Saumons marqués passant devant la vitre de comptage du barrage de Langeac à l'automne

Le premier saumon est arrivé le 7 octobre lorsque le débit était de 9,9 m^3/s et la température de 14 °C et a mis 2h35 à franchir l'ouvrage. Le dernier saumon est arrivé vers le 3 novembre et a mis 2h10 à franchir l'ouvrage. Le débit était alors de 16 m^3/s et la température de 11,7 °C.

Du 7 octobre au 3 novembre, les poissons sont passés lorsque les débits étaient compris entre 9,9 et 32,7 m^3/s et les températures entre 11,7 et 14 °C (Figure 122 et Figure 123).

Sur ces 4 saumons qui ont franchi le barrage à l'automne, 2 sont passés en moins de 3h. **Les 2 autres sont passés en 42h47 et 22h29.**

Saumon N°49024 :

Ce saumon est passé en 42h47. Il est arrivé en aval du barrage le 23 octobre à 16h19 et a réussi à passer en amont le 25 octobre vers 11h du matin. Pendant tout ce temps, le poisson est resté à proximité du barrage (continuellement détecté par l'enregistreur) sans jamais s'engager dans la passe à poisson. Il

est difficile de dire combien de fois le poisson a prospecté pour trouver l'entrée de la passe et/ou à se décider à s'engager dedans. Quand le poisson est arrivé pour la première fois, le débit était de 33 m³/s et lors de son passage le débit avait augmenté de 23 m³/s et était de 56 m³/s.

Saumon N°49085 :

Ce poisson est passé en 22h29. Il est arrivé le 16 octobre à 16h24 et passe le lendemain à 14h53. Il a eu le même comportement que le poisson N°49024. Quand le poisson est arrivé le débit était de 15,53 m³/s et quelques heures après il est passé en dessous des 8 m³/s. Le poisson est passé lorsque le débit était de 6 m³/s.

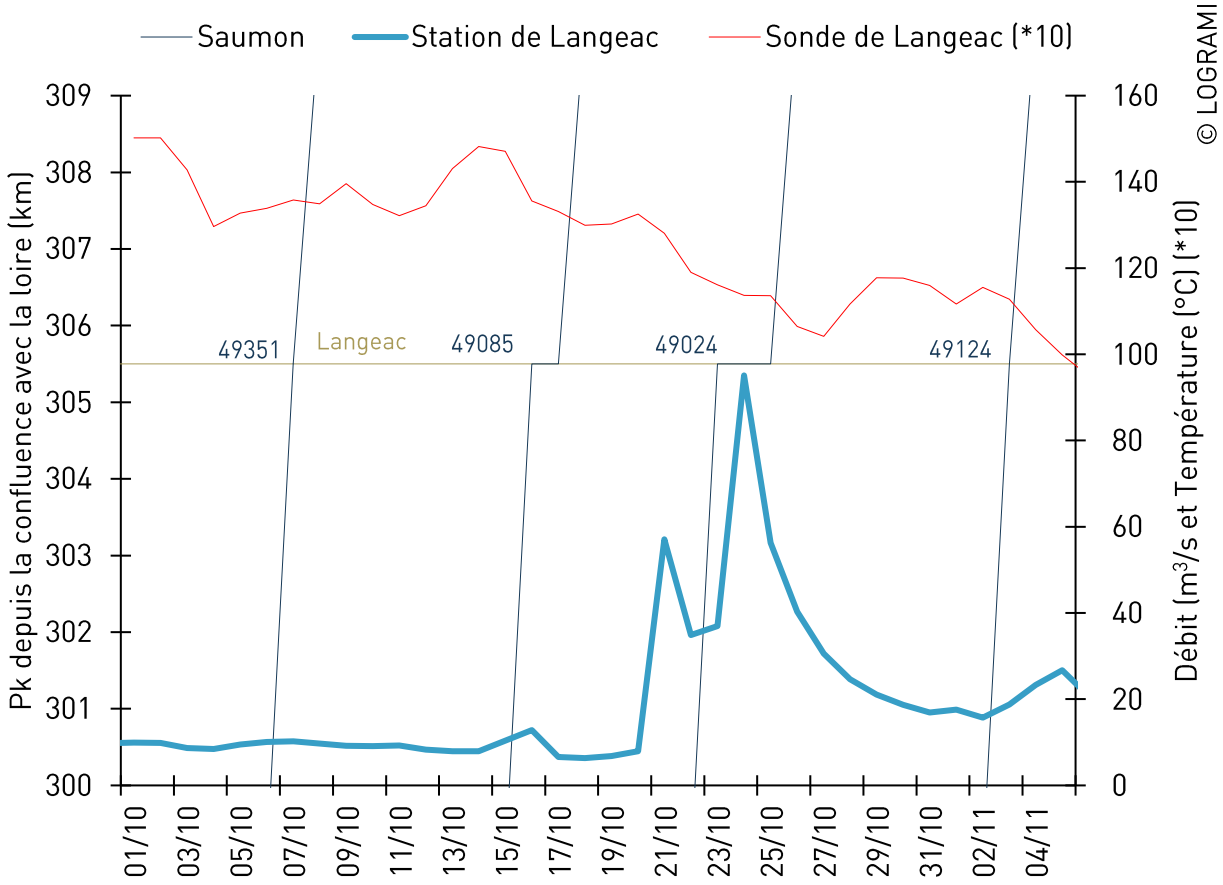


Figure 122 : Comportement des saumons marqués au barrage de Langeac à l'automne en fonction du débit à Langeac en 2019

Que ce soit au printemps ou à l'automne, l'intégralité des passages des poissons marqués s'est fait de jour, contrairement à 2009 où tous les passages étaient nocturnes.

En 2009, 3 poissons s'étaient présentés au barrage en automne. Pour le N°48411, arrivé en pleine période de reproduction, **son blocage n'avait pas était directement lié à l'ouvrage**. Ce mâle était en recherche d'autres femelles et n'avait pas réussi à passer en amont du barrage de Langeac, à noter que plusieurs frayères avaient était vues dans le tronçon court-circuité du barrage cette année-là. Concernant le N°48291 et le N°48811, ils sont passés en 3h28 et 0h57 lorsque les débits étaient respectivement de 12 m³/s et 16 m³/s.

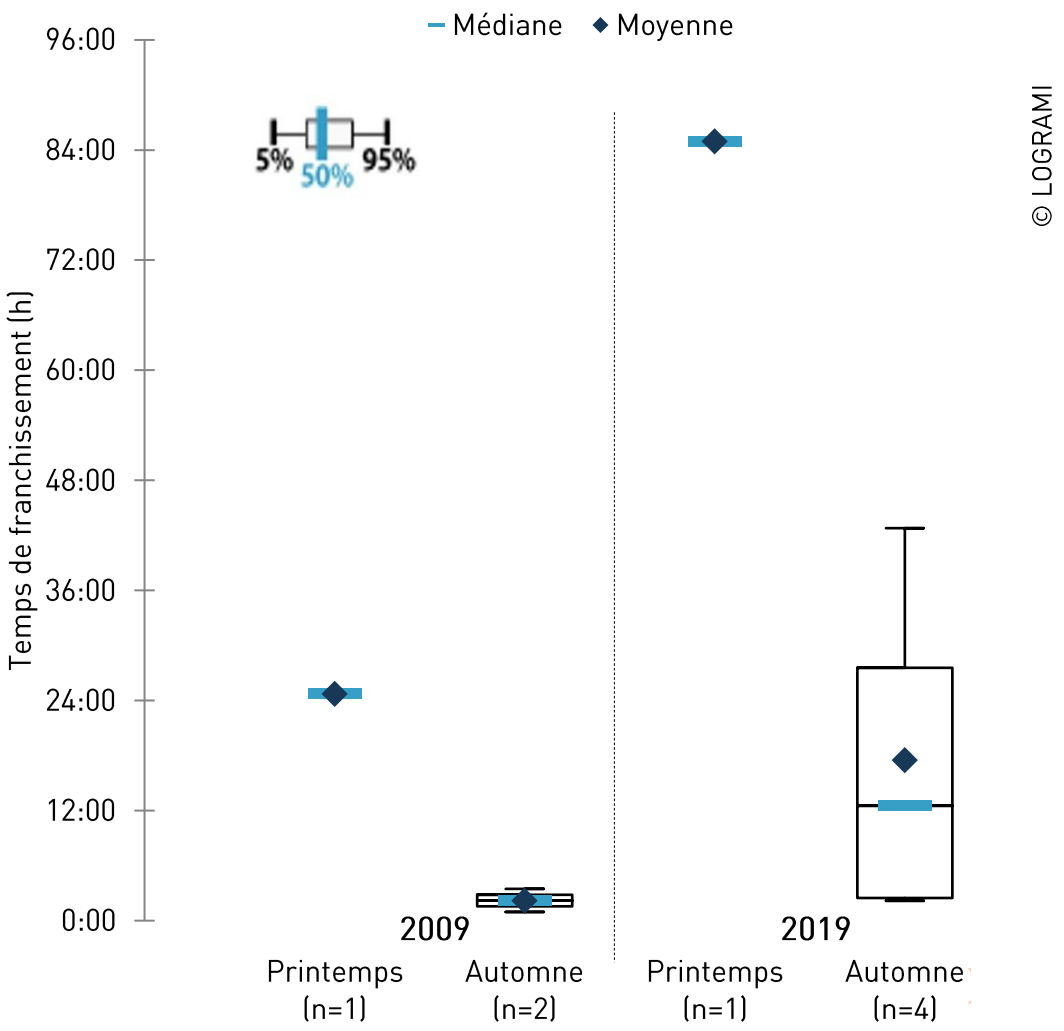


Figure 123 : Temps de franchissement du barrage de Langeac au printemps et en automne en 2009 et 2019

Relation avec le débit

À l'automne 2019, il semble y avoir une relation linéaire entre le temps de franchissement et le débit (Figure 124). Au vu des résultats, le temps de franchissement augmente lorsque le débit augmente. Le coefficient linéaire est important du fait du poisson N°49024, qui a mis beaucoup plus de temps que ces congénères avec un débit proche des 50 m³/s. En supprimant ce poisson, il n'existe plus aucune relation linéaire. En ajoutant les données de 2009, il n'existe aucune relation linéaire au printemps, les 3 poissons sont arrivés quand les débits étaient vers les 20 m³/s et les temps de franchissement sont très hétérogènes.

En 2019, le temps de franchissement à l'automne semble être lié au débit. Plus les débits sont importants, plus les saumons mettent du temps à franchir l'ouvrage. **Cependant, cette observation n'est possible que grâce à un poisson, puisque le N°49024 est passé en plus de 40h que le débit était de 50 m³/s. Il n'est pas possible de conclure qu'en général, les forts débits (<50 m³/s) au barrage de Langeac ralentissent les poissons dans leurs migrations.**

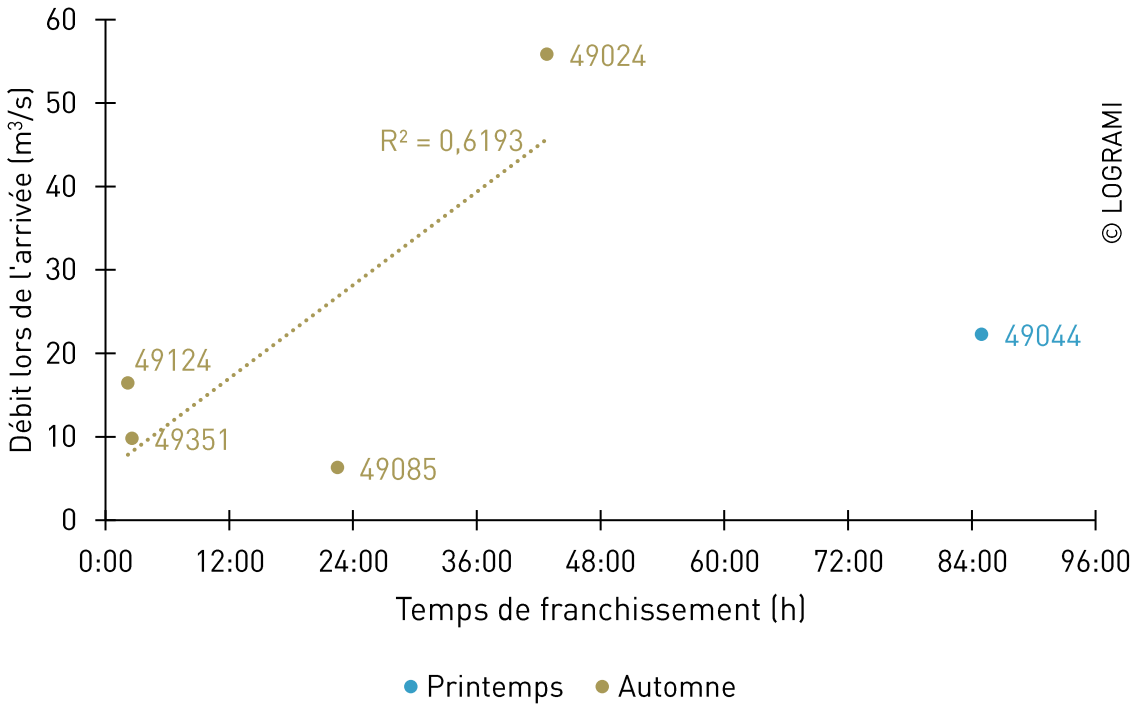


Figure 124 : Temps de franchissement en fonction du débit au barrage de Langeac en 2019

Bilan

Ce barrage est considéré comme «franchissable sans difficulté apparente pour le saumon» dans l'expertise de Steinbach en 2005. En 2009, ce barrage ne semblait pas avoir été un important obstacle à la migration des saumons à l'automne avec des débits de la rivière faibles. Cependant, avec des débits plus élevés au printemps, des retards et blocages plus importants ont été constatés avec seulement 1 franchissement sur 2 poissons.

En 2019, aucun blocage au printemps et à l'automne n'a été constaté. Un retard très important a été constaté au printemps sur le poisson N°49044. Cependant, ce retard n'est pas lié au débit mais plutôt au fonctionnement de la centrale électrique et de la non fonctionnalité de la passe à l'usine. A l'automne, les 4 poissons se sont engagés directement dans le tronçon court-circuité. Avec des débits faibles (<17 m³/s), 2/4 poissons sont passés en moins de 3h, le troisième est passé en un peu moins de 24h. Le poisson N°49024 est passé en plus de temps alors que le débit était supérieur. Ce poisson est le seul de 2009 et 2019 à se présenter dans de telles conditions de débits, il n'est pas possible de conclure que le retard de franchissement est directement lié aux débits.
L'étude de 2019 montre que cette année, le barrage de Langeac a été très pénalisant pour un poisson arrivé au printemps lorsque l'usine était en marche et pour un autre poisson arrivé à l'automne avec des débits importants. Cette année 2019 le barrage aurait pu être considéré comme « franchissable mais avec risques de retards ».

6.1.8.2 Dévalaison post reproduction

Après la période de reproduction, 4 saumons « ravalés » ont dévalé et se sont présentés au barrage de Langeac (Tableau 29 et Figure 125). Tous les 4 ont dévalés par la surverse du barrage avec plus ou moins de difficultés. Il semble donc **nécessaire de reconsidérer la dévalaison des ravalés sur cet**

ouvrage par l'aménagement d'un dispositif adapté. Il sera également susceptible d'être bénéfique pour **les smolts** qui rencontrent probablement les mêmes difficultés.

Tableau 29 : Temps de dévalaison au barrage de Langeac

	Temps de dévalaison	Débits lors de la dévalaison
49024	5 min	137,6 m³/s
49085	4h36	78 m³/s
49124	5 jours et 16 h	30,67 m³/s
49184	8 jours et 15 h	46,56 m³/s

N°49024 :

Ce poisson a dévalé le barrage en moins de 5 min. Lors de son passage le débit était de 138 m³/s soit 6 fois le module. Il n'a eu aucune difficulté à passer par la surverse du barrage.

N°49085 :

Ce poisson dévale le barrage en un peu moins de 5h lors de la décrue du 23 novembre lorsque le débit était d'environ 80 m³/s. Il dévale de nuit sans difficulté apparente mais comparé au N°49024 il mettra plus de temps à se décider à dévaler.

N°49124 :

Cette femelle est passée en montaison au barrage de Langeac le 03/11 et a été localisée en suivi mobile au niveau de la gravière à Chanteuges (4 km en amont de Langeac) et aussi au niveau du radier de Lafont (1 km en amont de Langeac). Le 9 novembre, elle se présente une première fois dans la retenue du barrage. Du 9 novembre jusqu'au 22 novembre, elle fera une douzaine d'allers-retours entre le barrage de Langeac et le radier de Lafont. En tout, elle sera détectée à peu près 60 heures dans la retenue, elle passera la majeure partie de son temps en amont hors du champ de détection probablement pour se reproduire. Durant son blocage, le débit étant d'environ 16 m³/s. Le poisson dévale le barrage lorsque le débit passe à 30 m³/s juste avant le pic de crue du 23 novembre. Elle dévale donc le barrage aidé par un coup d'eau.

N°49184 :

Ce poisson arrive une première fois au barrage de Langeac le 04/12 à 11h53 lorsque le débit est de 54 m³/s. Il arrivera à dévaler le barrage le 13/12 lorsque le débit est de 47 m³/s. Contrairement au poisson N°49124 qui n'est resté que 60h dans la retenue, le N°49184 est reste environ 194h soit 8 jours. Il passera toute la durée de son blocage dans la retenue. Pendant ce temps, le débit diminue légèrement pour passer à 38 m³/s le 11/12 vers 14h. Il dévale l'ouvrage après une petite augmentation de débit (vers le 12/12).

Lors de la dévalaison l'ouvrage de Langeac semble pratiquement transparent lorsque les débits sont très supérieurs au module (< 70 m³/s). Le N°49024 et le N°49085 n'ont pas eu de difficulté à dévaler l'ouvrage. Les 2 autres poissons ont eu beaucoup plus de mal à dévaler l'ouvrage lorsque les débits étaient moins importants. Le poisson N°49124 a dévalé l'ouvrage lorsque le débit était de 30 m³/s juste avant la crue.

En 2019, les saumons ont profité de la crue du 23 novembre pour dévaler l'ouvrage de Langeac. De manière générale à cette période de l'année, sans coup d'eau, les ravalés ont beaucoup de mal à dévaler l'ouvrage et accusent des retards importants.

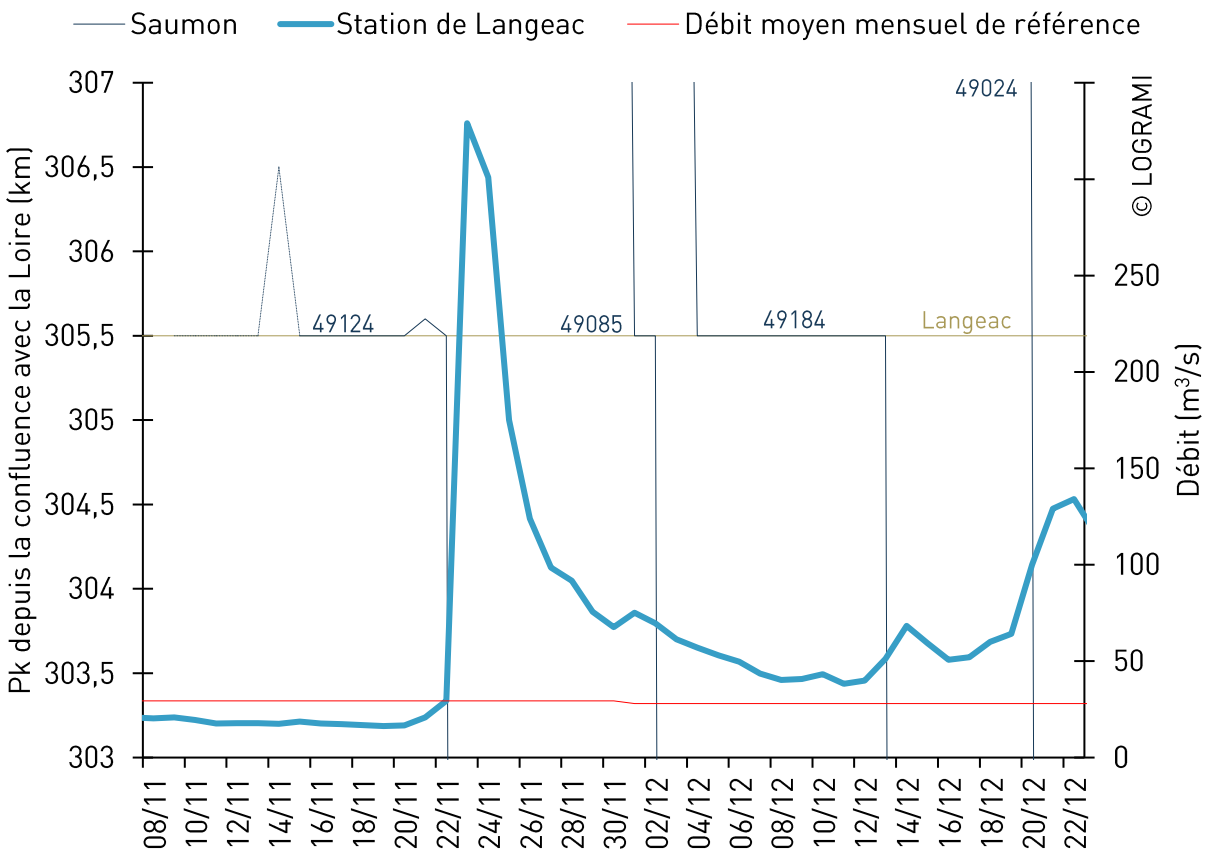


Figure 125 : Temps de dévalaison au barrage de Langeac en fonction du débit

6.1.9. Monistrol d'Allier

6.1.9.1 Montaison

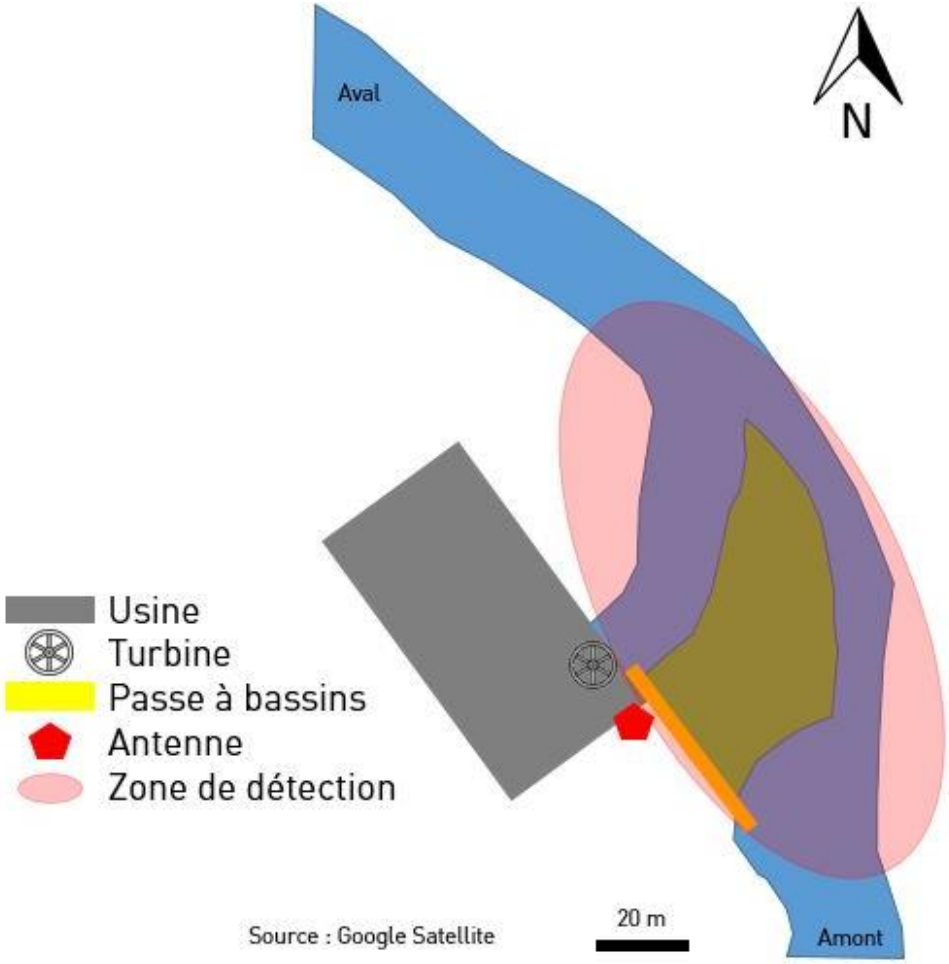
L'usine hydro-électrique EDF de Monistrol d'Allier (pas dans ROE) (Figure 126) se situe 23 km en amont du barrage de Langeac et à 207,2 Km en amont du barrage de Vichy. Cet ouvrage est le 16e rencontré par les saumons après leur franchissement de Vichy. **Cet ouvrage avait été suivi en 2006 et 2009.**

L'usine de Monistrol turbine au maximum 28 m^3/s de l'Allier. Ce débit est dérivé au niveau du barrage de Poutès et acheminé par une galerie traversant la montagne puis une conduite forcée. Le barrage de Poutès dérive l'Allier sur une distance de 9,4 km (Vieil Allier). Depuis 2013, le débit minimum biologique dans le tronçon court-circuité est de 4 m^3/s du 01/04 au 30/09 et de 5 m^3/s du 01/10 au 31/03. L'usine de Monistrol turbine également les eaux de l'Ance du sud, dont la restitution est faite en aval du canal de fuite de l'Allier. Pour faciliter l'accès au Vieil Allier, une passe à poissons à ralentisseurs plans prolongée d'un canal relie le pied des turbines de l'usine au Vieil Allier (Figure 129).

En 2019, en raison de la réalisation de travaux de reconfiguration du barrage de Poutès (vidange puis démolition partielle), la tranche Allier de l'usine de Monistrol a été arrêtée durant une partie de la migration. Du 07/03 au 21/04, un arrêt des turbinages nocturnes (45 nuits) pour la dévalaison des smolts a été opéré. Lors de la 1ère vidange (phase 0 de mai à juin), la retenue a été abaissée avec les groupes jusqu'au 02/05 à 10h18. A partir de cette date l'intégralité du débit transitait par le tronçon court-circuité et ce jusqu'à la remise en service de l'aménagement le 22/10.

L'ascenseur a été mis hors service du 22/02 au 09/10. Durant une partie de la période de travaux, l'intégralité du débit de l'Allier transitait par le Viel-Allier (tronçon court-circuité) via une vanne de fond au niveau du barrage.

Le franchissement du « seuil » de Monistrol d'Allier (Figure 127 et Figure 128) **concerne 3 saumons dont 2 ont franchi avec certitude.** Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Saint-Haon (module de 11,6 m^3/s) et de Saint-Bonnet de Montauroux (module de 3,2 m^3/s), les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI dans le canal de fuite de l'usine.



© LOGRAMI

Figure 126 : Schéma de l'usine de Monistrol-d'Allier

© LOGRAMI

Figure 127 : Usine de Monistrol d'Allier

Figure 128 : Rejet des turbines de l'usine

Figure 129 Entrée de la passe à poissons de Monistrol d'Allier (turbines arrêtées)

Franchissement printanier

Au printemps, un seul saumon (N°49044) a franchi le « seuil » de Monistrol. Malheureusement ce franchissement n'a pu être étudié car il s'est effectué avant l'installation du poste de réception-enregistrement (réalisée le 7 juin après autorisation). En effet, ce saumon a été localisé au pied du barrage de Poutès, le 7 juin à 9h soit quelques minutes après l'installation du matériel de suivi à Monistrol. Sa date de passage à Monistrol est donc comprise entre le 18 mai (dernière réception à Langeac) et le 7 juin. Durant cette période, correspondant à la deuxième moitié de la vidange de la retenue du barrage de Poutès, la tranche Allier de l'usine était arrêtée et le débit dans le tronçon court-circuité (à St Haon) était compris entre 6,2 et 8,7 m^3/s. Le poisson s'est donc présenté à Monistrol d'Allier, lorsque l'intégralité du débit transitait par le Veil Allier.

En 2006 et 2009, aucun saumon n'était arrivé à l'usine de Monistrol d'Allier au printemps.

Franchissements automnaux

À l'automne 2019, 2 saumons sont détectés par l'enregistreur (Figure 130).

Le saumon (N°49024) est passé en 1h36. Il arrive sur site le 28 octobre à 8h19 et s'engage directement dans le Vieil Allier. A ce moment-là, l'usine de Monistrol ne turbinait pas et le débit était de 17,3 m^3/s à Saint-Haon. Le poisson n'a pas eu de mal à franchir le seuil. La température était alors de 10,7 °C.

Le second poisson (N°49184) s'est présenté une première fois le 26 novembre à 21h37 et est resté jusqu'à 22h58 dans la zone de détection. Au vu des puissances de signal, ce poisson ne s'est pas présenté à la confluence entre le Viel Allier et le canal de fuite. 2 jours plus tard, le 28 novembre il se

représente pendant 2h dans la zone de détection, toujours en aval de confluence Viel Allier/canal de fuite. A noter que la première fois le débit à Saint-Haon était de 81 m³/s et de 64 m³/s la deuxième fois. Le 26 novembre avant de se présenter pour la première fois au seuil de Monistrol d'Allier, ce poisson a été détecté dans l'Ance à 400-500 m de la confluence avec l'Allier.

A cette période de l'année, la reproduction avait débuté et les puissances de signal montrent que le poisson N°49184 n'a pas buté sur l'ouvrage. Il n'y donc pas eu de blocage sur cet ouvrage.

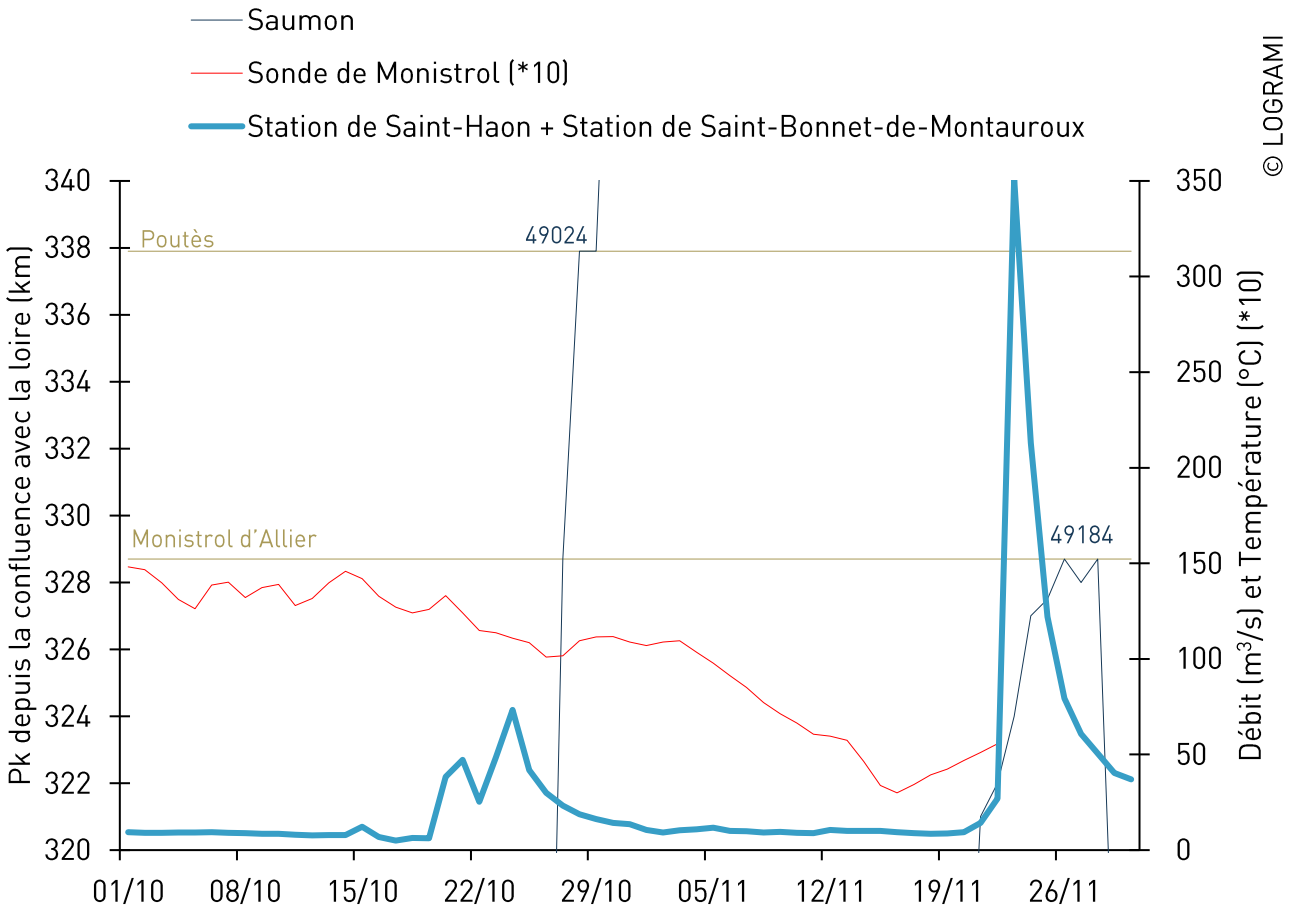


Figure 130 : Comportement des saumons marqués au seuil de Monistrol d'Allier et du barrage de Poutès en fonction du débit à Saint-Haon et Saint-Bonnet-de-Montauroux

Bilan

En 2006, un seul saumon était arrivé jusqu'à l'usine de Monistrol. Il était arrivé le 5 octobre à 10h20. Il s'était engagé dans le tronçon court-circuité au bout de 7h40 de recherche. Pendant tout ce temps, le poisson était dans le canal de fuite de l'usine sous les turbines et n'a jamais emprunté la passe à poissons. Ce poisson était arrivé à l'usine lors d'une des neufs lâchures d'eau expérimentales de 3 m³/s réalisées par EDF pour faciliter l'engagement des poissons dans le tronçon court-circuité. Le poisson s'était engagé dans l'Allier avec un débit de 5,5 m³/s au lieu des 2,5 m³/s habituel.

En 2009, sur les quatre saumons qui arrivent à l'usine de Monistrol, 3 (291, 341, 691) arrivent lors du second arrêt de l'usine pour les travaux d'entretien d'une vanne à l'usine (18 au 29 octobre). Le stationnement de ces poissons au niveau de l'usine (entre première et dernière réception sur le poste

d'enregistrement), est faible, entre 33 minutes et 1h25. Lors de ces trois arrivées, l'usine est arrêtée et le débit dans le tronçon court-circuité varie de 7 à 10 m³/s. Il est fort probable que ces poissons n'empruntent pas la passe à poissons de l'usine, les turbines étant arrêtées, le bras du Vieil Allier étant plus attractif que le simple débit de la passe dans le canal de fuite de l'usine. Pour le quatrième poisson (811), l'usine est en fonctionnement, mais le débit turbiné reste faible (débit journalier en aval à la station de Prades : 9,7 m³/s ; débit journalier en amont à la station du nouveau monde : 6,7 m³/s). Pour ce poisson l'arrêt est sensiblement plus élevé, puisqu'il reste en aval de l'usine durant 6h17. Lors de son engagement dans le tronçon court-circuité, le débit dans cette partie de l'Allier est de 2,5 m³/s.

En somme, 6 temps de franchissements ont pu être calculés pour cette usine. 4 saumons sont passés en moins de 2h lorsque l'usine ne turbinait pas. Pour les 2 autres arrivés lorsque l'usine turbinait, l'un a mis environ 7h40 avant de franchir le seuil lors d'un lâcher d'eau et l'autre a mis un peu plus de 6h.

En 2019, ce seuil n'a engendré aucun retard pour le seul saumon qui a franchi l'ouvrage lorsque l'enregistreur était en place. Cette année reste quand même particulièrement avantageuse dans la mesure où l'intégralité du débit de l'Allier était restituée dans le Vieil Allier durant les travaux (usine arrêtée). De manière générale, ce seuil n'engendre aucun retard lorsque l'usine ne turbine pas. Lorsque l'usine turbine, il peut engendre des retards (< 8h).

6.1.9.2 Dévalaison post reproduction

Après la période de reproduction, un poisson « ravalé » (N°49024) a dévalé ce seuil (Tableau 30). Il a dévalé lors de la crue de fin d'année. Il a mis 2 minutes à dévaler le seuil. Le seuil est totalement transparent lorsqu'un poisson dévale et que le débit est 92 m³/s à Saint-Haon.

Il semblerait que le seuil de l'usine de Monistrol-d'Allier soit totalement transparent lors de la dévalaison des saumons « ravalés » avec de tels débits. A cette période de l'année, le débit moyen mensuel de référence est de 15 m³/s à Saint-Haon, Le résultat du temps de passage de ce poisson est donc établi dans des conditions exceptionnelles de débit. Il paraît important d'évaluer la dévalaison avec un débit correspondant aux références mensuelles.

Tableau 30 : Temps de dévalaison au seuil de Monistrol-d'Allier

	Temps de dévalaison	Débits lors de la dévalaison
49024	2 min	92 m³/s

6.1.10. Poutès

6.1.10.1 Montaison

Le barrage de Poutès (ROE 28711) (Figure 131, Figure 132, Figure 133, Figure 134, Figure 135 et Figure 136) se situe 9,4 km en amont de l'usine de Monistrol. Cet ouvrage est le 17e rencontré par les saumons après leur franchissement de Vichy. **En 2006 et 2009, ce barrage a été suivi par un poste récepteur-enregistreur fixe.**

En 2019, ne possédant pas l'autorisation d'installation du matériel au début du suivi, le comportement des saumons marqués au droit du barrage n'a pu être suivi par un récepteur-enregistreur qu'à partir du 10 octobre au lendemain de la mise en fonctionnement de l'ascenseur.

Ce barrage disposait en 2019, d'un dispositif de montaison mixte constitué, d'une passe à ralentisseurs suivie d'une passe à bassins aboutissant à un ascenseur à poissons programmé pour remonter automatiquement toutes les 2 heures (hors période de gel). Le comptage des poissons utilisant l'ascenseur est réalisé par LOGRAMI grâce à un système de vidéo-comptage dont la caméra est placée au-dessus de la cuve de l'ascenseur.

En 2019, le fonctionnement de l'ascenseur a été suspendu du 22 février au 9 octobre en raison, tout d'abord, de l'abaissement de la retenue pour favoriser la dévalaison des smolts (mesure transitoire incluant également 45 nuits d'arrêt de turbinage), puis, à partir du mois de mai en raison de la vidange de la retenue en vue des travaux de reconfiguration du site entrepris par EDF.

Par ailleurs, à partir de la fin de la vidange de la retenue (fin d'abaissement avec les vannes le 02/05) et jusqu'à la remise en service de la tranche Allier le 22/10, l'intégralité du débit de l'Allier a transité par le Viel-Allier (tronçon court-circuité). Il a d'abord uniquement été restitué par une vanne de fond située en rive gauche du barrage, rive opposée à celle du dispositif de franchissement jusqu'à la remise en service de l'ascenseur le 9 octobre. Après cette date, la restitution du débit se répartissait entre la vanne de fond en rive gauche et par les organes de restitutions habituels du dispositif de franchissement (alimentation cuve et attrait passe à poissons) en rive droite. Ne disposant pas des caractéristiques de cette vanne de fond nous considérions, à priori, en début de suivi, qu'elle ne pouvait pas constituer une voie de passage pour les saumons.

Les conditions « hydrauliques » de l'année 2019 sont donc très particulières (l'intégralité du débit transitant dans le Veil Allier) et ne correspondent pas aux conditions habituelles observées en aval du barrage de Poutès depuis 2014 avec un débit minimum biologique de 4 m^3/s du 01/10 au 28/02 et de 5 m^3/s du 01/03 au 30/09.

Figure 131 : Aval de la vanne de fond du barrage de Poutès (intégralité du débit transitant dans le Veil-Allier) (Source : Banque Hydro pour les débits)

Figure 132 : Entrée de la passe à poisson en rive droite (gauche) et l'ascenseur (droite)

Figure 133 : Saumon mâle franchissant l'ouvrage par l'ascenseur de Poutès le 28 novembre 2019

Figure 134 : Amont immédiat du barrage de Poutès avec le plan d'eau vidangé et l'intégralité du débit passant par la vanne de fond en rive gauche (7 juin)

Figure 135 : Retenue de Poutès vidangée (7 juin)

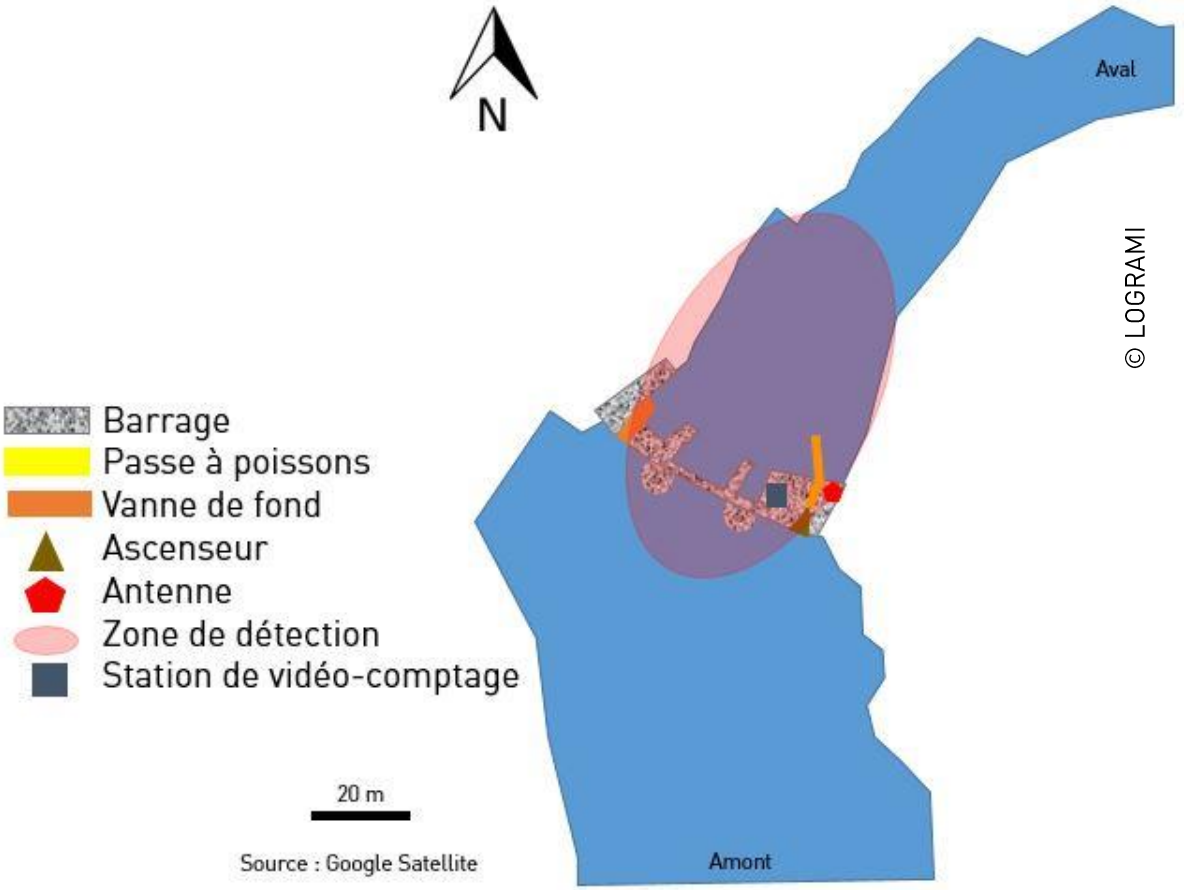


Figure 136 : Schéma du barrage de Poutès

Les débits pris en compte proviennent de la station hydrologique de Saint-Haon (module de 11,6 m³/s) et de Saint-Bonnet-de-Montauroux (module de 3,2 m³/s) sur le Chapeauroux, les températures proviennent de la sonde thermique mis en place par LOGRAMI dans le canal de fuite de l'usine de Monistrol d'Allier.

Franchissement printanier

Au printemps, seul le saumon N°49044 se présente au barrage de Poutès. Comme dit précédemment, il n'est pas possible d'estimer son temps de franchissement. Ce poisson a été localisé précisément manuellement le 7 juin à 9h (seule journée avec autorisation d'accès au barrage au printemps avant installation du matériel de radiopistage le 10 octobre) juste en aval du barrage en rive gauche, proche du rejet de la vanne de fond. Il a été retrouvé le 13 novembre en amont de Langogne, 52 km en amont du barrage.

Entre ces 2 localisations, ce saumons n'a pas été localisé, ni à l'enregistreur de Monistrol (il n'a pas dévalé au-delà du tronçon court-circuité) ni dans le Vieil-Allier (où les signaux des émetteurs sont globalement captés), à l'occasion de 5 prospections mobiles entre le 20 juin et le 15 octobre.

Par ailleurs, entre ces 2 localisations, au mois de juin 2019, la somme du débit moyen journalier de l'Allier à St Haon plus celui du Chapeauroux à St Bonnet de Montauroux (pouvant être assimilée au débit transitant par la vanne de fond alimentant le Viel-Allier durant cette période) a été inférieure à 7 m³/s

durant 12 jours dont 5 jours avec une valeur inférieure à 6m³/s et 2 jours avec une valeur inférieure à 5 m³/s. Une autre journée du mois d'août (05/08) a présenté un débit moyen journalier inférieur à 6 m³/s. Ces faibles valeurs de débit peuvent avoir créé des conditions d'écoulements au sein de la conduite de la vanne de fond à priori plus favorables à son franchissement par les saumons (Figure 131).

Ainsi ces différents indices pourraient laisser penser que le saumon N°49044 a franchi le barrage de Poutès par la vanne de fond. Malheureusement, le potentiel passage par l'ascenseur le 9 octobre, seule journée de fonctionnement sans vidéo-comptage effectif, après une hypothétique pause estivale dans une hypothétique zone d'ombre du Vieil-Allier (non détection des signaux émis par l'émetteur équipant le saumon depuis la route « longeant » le tronçon court-circuité) ne nous permet pas d'affirmer ou d'infirmer que le poisson soit passé par la vanne de fond du barrage.

En 2006 et 2009, aucun saumon n'était arrivé au barrage de Poutès au printemps.

Franchissements automnaux

À l'automne, seul le saumon N°49024 se présente au barrage. Ce saumon est passé en 15h40 (Figure 130). Il arrive sur site le 28 octobre à 23h16 lorsque le débit est de 18,8 m³/s. Les puissances de signal enregistrées, laisse penser que le poisson est resté quasiment 6h20 dans la même zone sans trop bouger, peut-être sous la vanne de fond en rive gauche. Ensuite, il commence à se mettre en mouvement pour se positionner vers l'entrée de la passe à ralentisseur, 9h20 se sont écoulées entre son entrée dans la passe à poissons et sa sortie de l'ascenseur en amont. Il a été filmé dans la remontée programmée de l'ascenseur de 14h30 du 29 octobre (Figure 137).

Le poisson a mis 13h21 entre sa dernière détection à Monistrol d'Allier et sa première détection à Poutès. Il a donc progressé à une vitesse de 16,6 km/j pour un débit proche de 18,8 m³/s. En 2009, les 4 saumons avaient migré à des vitesses inférieures comprises entre 1,85 et 9,48 km/j pour un débit plus faible dans le Viel Allier compris entre 2,5 et 10 m³/s.

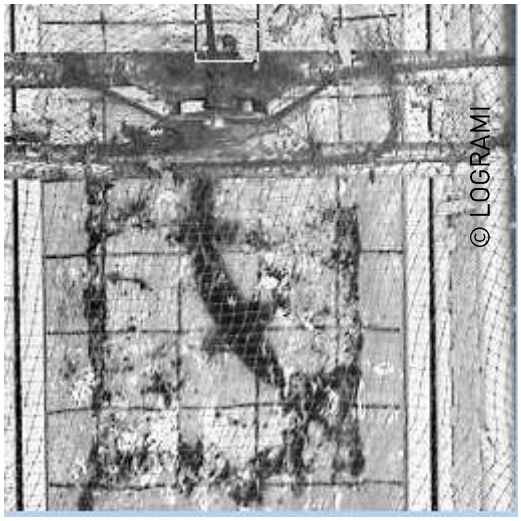


Figure 137 : Saumon N°49024 dans l'ascenseur de Poutès

En 2006, un seul saumon s'était présenté au barrage de Poutès et l'avait franchi avec un retard **de 43 jours** bien que la première incursion dans la passe à poissons ait lieu 8 jours après l'arrivée du saumon sur le site.

En 2009, **sur les 4 saumons arrivant au barrage de Poutès, un seul (N°48811) avait emprunté l'ascenseur, 160,8 heures (6 jours et 17 heures) après son arrivée.** Les trois autres saumons étaient restés en aval de l'ouvrage durant 589 heures (24 jours et 13 heures) pour le saumon (N°48291), 124 heures (5 jours et 4 heures) pour le saumon (N°48341) et 289 heures (12 jours et 1 heure) pour le saumon (N°48691).

Ces trois poissons après de nombreuses prospections au barrage et dans la passe à poissons, ne franchissant pas l'obstacle, avaient redévalé pour se reproduire plus en aval.

En 2006 et 2009, sur les 5 saumons qui sont arrivés au barrage ; 2 ont accusé des retards très importants avant de passer et 3 autres après leurs blocages, avaient fini par dévaler.

Bilan

Considéré comme «difficilement franchissable pour le saumon» dans l'expertise de Steinbach en 2005, le suivi de 2009 des poissons radio marqués avait confirmé le classement de ce complexe comme « difficilement franchissable ». Le classement de cet ouvrage se situait même « entre difficilement et très difficilement franchissable » compte tenu des retards importants dans la migration occasionnés par le complexe, et de la forte proportion de poissons ne franchissant pas l'obstacle.

En 2019, seul un saumon sur le 2 franchissant l'ouvrage est passé lorsque l'enregistreur était en place avec un peu moins de 16h de retard. Ce franchissement a été réalisé dans une configuration hydraulique particulièrement avantageuse avec un débit entrant totalement restitué en aval du barrage. Ainsi dans cette configuration atypique, le barrage de Poutès pourrait être considéré comme « franchissable mais avec risques de retards ».

6.1.10.2 Dévalaison post reproduction

Les 2 saumons qui ont franchi l'ouvrage de Poutès et qui se sont reproduits vers Langogne l'ont aussi dévalé.

Pendant la période de dévalaison des « ravalés », l'alimentation électrique qui alimentait l'enregistreur **a été coupée et EDF n'a pas pu remettre en service l'alimentation avant la fin de la période de dévalaison. Il n'y a donc malheureusement aucun temps de retard précis associé à ce barrage pour la dévalaison des ravalés N°49024 et N°49044.**

N°49024 :

Ce poisson a été localisé le 10 et le 11 décembre dans la retenue de Poutès, 1 km en amont du barrage. Il n'est pas possible de savoir si le poisson avait déjà fait une tentative au barrage et qu'il était remonté dans la retenue. Le 17 décembre vers midi, ce poisson est localisé contre la pile de pont du barrage en rive gauche. Le 20 décembre, vers 10h du matin ce poisson est détecté à Monistrol d'Allier. **Il a donc dévalé le barrage de Poutès entre le 17 et le 20 décembre.**

Entre le 17 et le 20 décembre, le débit moyen journalier est passé de 29,3 m^3/s à 108,3 m^3/s (Figure 138). **Ce saumon est sûrement passé le 20 décembre par la surverse du barrage lors de cette augmentation de débit.**

N°49044 :

Ce poisson a été localisé le 11 décembre par fédération de pêche de l'Ardèche dans la retenue de Poutès. Le 17 décembre il est localisé en amont du pont d'Alleyras. **Le 09/01, ce poisson est localisé en double BIP (poisson mort) vers 17h, 100 m en aval du barrage du Poutès dans un virage.**

Il n'est pas possible de savoir si le poisson est mort en amont du barrage et a dévalé la retenue mort pour s'échouer en aval du barrage ou s'il a dévalé l'ouvrage vivant et est mort ensuite en raison ou non de sa chute du barrage.

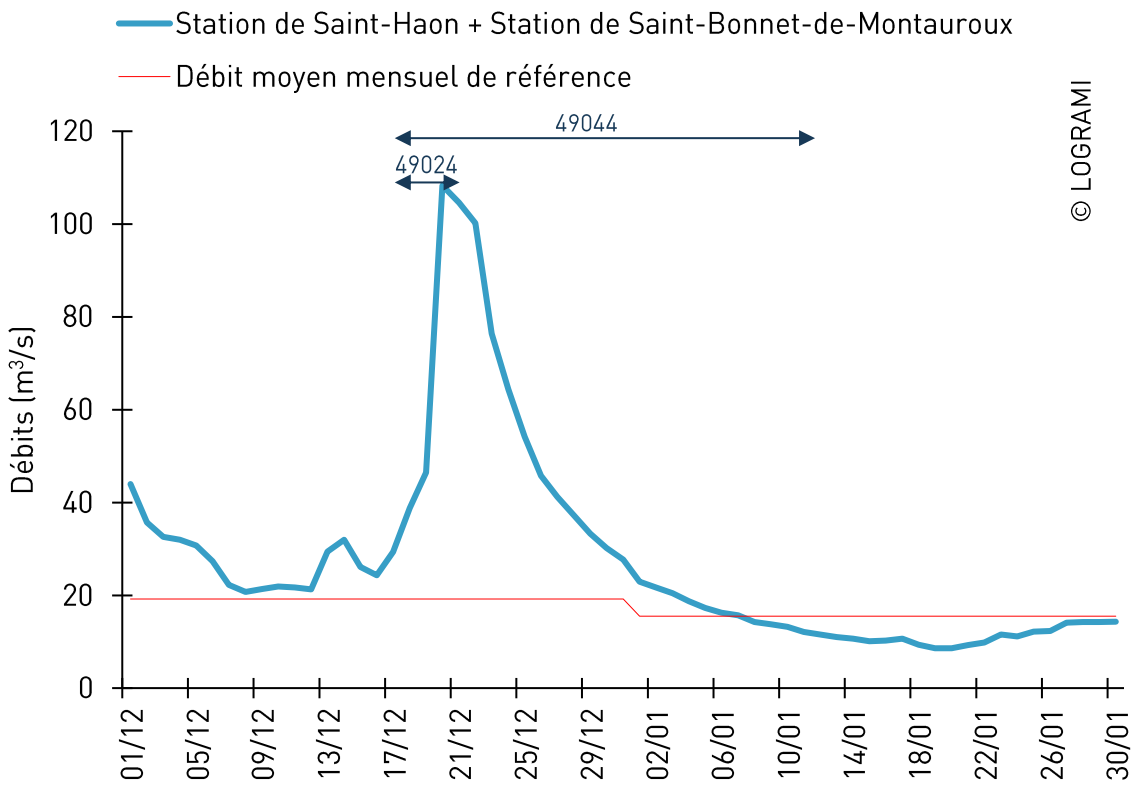


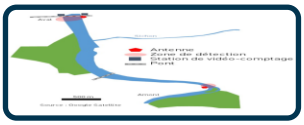
Figure 138 : Débit à la station hydrologique de Saint-Haon et de Saint-Bonnet-de-Montauroux (Sources : Banque Hydro)

Avant la reconfiguration du barrage en cours, la glissière de dévalaison était disposée en générale seulement à partir du 15 mars ce qui apparaissait, au regard des données collectés lors des suivis vidéo de la dévalaison des smolts, très tardif pour le passage des ravalés (trois mois plus tard). Pour autant, comparativement aux effectifs en montaison, les ravalés comptabilisés à Poutès dans la glissière de dévalaison à partir du 15 mars représentent entre 1 % et 27 % soit 8 +/- 9 ravalés en moyenne. Il est observé également sur cette station une hésitation des ravalés à emprunter la glissière de dévalaison. Le nombre d'individus dévalant est faible au regard du nombre d'observations faites sur la plaque en amont de la glissière de dévalaison. Au regard des détections à l'entrée de l'exutoire, les passages représentent un succès de 23 % +/- 24.

D'après l'expertise de Steinbach en 2005, l'ouvrage de Poutès avant les travaux est infranchissable même en période de crue pour les ravalés.

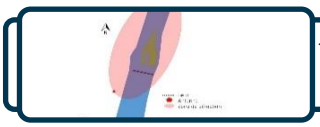
Dans le cadre du nouvel aménagement il est impératif de considérer ce stade biologique et permettre eux ravalés de passer entre novembre et mars.

6.1.11. Bilan des dispositifs de franchissement suivis



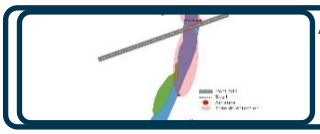
Retenue de Vichy

- La retenue de Vichy semble provoquer une désorientation des poissons avec des allers et retours pour 8% des poissons.La moitié des poissons la traverse en 4 heures. Aussi, il faudra être vigilent et suivre plus régulièrement le comportement des saumons lors de conditions d'étiage printaniers sévères.
- En dessous de 80 m³/s à Saint-Yorre et en absence de coups d'eau, le barrage de Vichy est bloquant pour les saumons en dévalaison post reproduction.



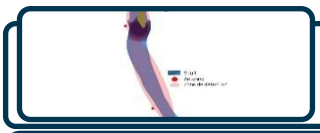
Joze

- Ce seuil est franchissable sans difficultés apparentes pour le saumon mais certains individus mettent un peu plus de temps à le franchir.



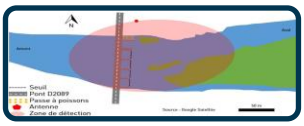
A89

- La quasi-totalité des saumons ont franchi le seuil sans difficultés apparentes. Les aménagements faits sur ce seuil semblent avoir été bénéfiques pour le saumon pour des débits allant de 21 à 108 m³/s à Vic-le-Comte. Le passage n'a pas été testé sur des débits supérieurs à 108 m³/s à Vic-le-Comte.



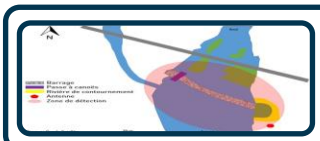
Les madeleines

- La quasi-totalité des saumons ont franchi le seuil sans difficulté apparente, mais 2 saumons sur 13 ont accusé un retard d'environ 15h. Les aménagements faits sur ce seuil semblent avoir été bénéfiques pour le saumon.



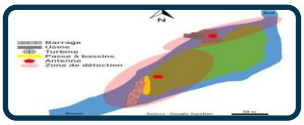
Pont du Château

- Ce seuil a été franchissable mais a engendré des retards et un blocage. L'aménagement de la passe à macro rugosité n'est pas fonctionnel et n'a pas eu d'amélioration sur la continuité écologique de ce seuil.
- Le seuil de Pont du Château transparent lors de la dévalaison des ravalés avec des débits supérieurs à 66 m³/s à Vic-le-Comte.



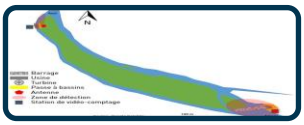
La Bageasse

- 2019 confirme une nouvelle fois le classement de franchissable avec risque de retard. Pour améliorer la franchissabilité de cet ouvrage, s'il est maintenu, il faudrait modifier l'aménagement à la montaison.
- Il semblerait que l'ouvrage de la Bageasse soit transparent lors de la dévalaison des ravalés avec 67 m³/s à Vieille Brioude.



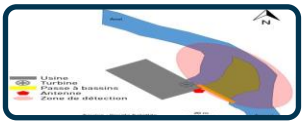
Vieille-Brioude

- L'étude de 2019 montre un lien étroit entre le débit et le temps de passage des saumons. Les conditions de franchissements semblent également conditionnées par le fonctionnement de l'usine et l'attractivité relative du tronçon court-circuité. En 2019, le barrage aurait pu être considéré comme « franchissable mais avec risques de retards » notamment à l'automne. Ainsi, même si des améliorations ont été apportées, il semble qu'une amélioration de ce passage devrait être effectuée notamment avec la mise en place d'une passe à l'usine.
- Il semblerait que l'ouvrage de Vielle Brioude soit pratiquement transparent lors de la dévalaison des ravlés avec un débit supérieur à 58 m³/s.



Langeac

- Le barrage aurait pu être considéré comme « franchissable mais avec risques de retards » au printemps en absence de coup d'eau et lorsque l'usine était en marche.
- De manière générale à cette période de l'année, sans coup d'eau, les ravalés ont du mal à dévaler l'ouvrage et accusent des retards. Il semble donc nécessaire de reconsidérer la dévalaison des ravalés sur cet ouvrage par l'aménagement d'un dispositif adapté. Il sera également susceptible d'être bénéfique pour les smolts qui rencontrent probablement les mêmes difficultés.



Monistrol d'Allier

- Ce "seuil" n'engendre aucun retard lorsque l'usine ne turbine pas. Lorsque l'usine turbine, il peut engendrer des retards (< 8h).
- Il semblerait que le seuil de l'usine de Monistrol-d'Allier soit transparent lors de la dévalaison des ravalés avec des débits de 92 m³/s à Saint-Haon mais ce temps de passage reste à évaluer en conditions plus standards.

Poutès

- Cette année 2019, avec un tel mode de fonctionnement, le barrage de Poutès pourrait être considéré comme « franchissable mais avec risques de retards ».
- Dans le cadre du nouvel aménagement il est impératif d'assurer la dévalaison des ravalés par un dispositif adapté dès le mois de novembre et jusqu'n mars de lannée suivante

7. Discussion

7.1. Paramètres environnementaux

La migration anadrome des saumons est soumise essentiellement aux variations de débits et de températures. Les études de THIOULOUSE (1972) ont montré que l'activité migratoire des saumons était corrélée d'une manière générale, à la température de l'eau ainsi qu'aux débits :

- pour des températures inférieures à 2 ou 3 °C : peu ou pas de remontée
- de 3 à 6 °C : montées lentes, capacités de déplacement limitées
- de 9 à 17 °C : activité migratoire intense
- de 18 à 20 °C : montées hésitantes
- températures supérieures à 20 °C : pas de montées

Nous notons que les conditions environnementales de 2019 ont été très particulières. Le réseau de mesures de débits sur le bassin de l'Allier **montre que l'année a présenté un profil hydrologique « très sec ».**

Le début d'année est caractérisé par une **absence de crue hivernale et printanière**. Sur l'ensemble des stations hydrologiques du bassin, les débits moyens mensuels sont très inférieurs aux débits de référence. Durant les 6 premiers mois de l'année, les débits moyens mensuels ont été 2 fois moins importants que les débits de référence calculés sur une moyenne de 157 ans.

Ce déficit en pluviométrie en 2019 s'est poursuivi jusqu'en octobre et a, de fait, engendré l'apparition **d'un étiage précoce et des situations d'assec sur certains sous affluents.** Ainsi, cette **hydrologie particulièrement faible a été défavorable et limitante pour la migration des saumons sur l'Allier.**

En 2019, le réseau de sondes températures, mis en œuvre par LOGRAMI sur le bassin de l'Allier, a permis de mettre en évidence **une précocité du réchauffement de la température des cours d'eau engendrée par une canicule dès la fin du mois de juin.**

Les températures ont été **particulièrement élevées pour le mois de juillet (+ 3,2 °C à Vichy)**. La température de l'eau pendant la période d'étiage est une des principales causes de mortalité des saumons. Le seuil létal pour les géniteurs est de 25 °C (moyenne journalière) (ELLIOT, 1991) et il résiste moins bien que la truite aux fortes températures prolongées (FRY, 1971). Le 29 juin 2019, la température horaire de l'Allier à Vichy a atteint un maximum de 29 °C avec une moyenne journalière de 28,6 °C. La précocité de la canicule en 2019 a donc causé **une grave mortalité estivale des géniteurs des saumons**.

La canicule au mois de juillet a aussi été observée en 2006, s'en était suivi un mois d'août plus clément. Cependant, contrairement à 2019, il y avait plus d'eau dans l'Allier lors de la migration printanière. En 2009, la température était beaucoup moins élevée tout au long de l'année, et comme en 2006 il y avait eu des épisodes de pluie marqués au printemps. En 2019, seul un pic de débit est à noter pour la fin du mois d'avril. Il est très important de noter qu'en 2019, les principaux affluents de l'Allier en amont de Vichy (Alagnon et Dore) n'ont que très peu participé à cet unique pic de débit. Pour preuve, aucun saumon marqué ne s'est engagé dans l'Alagnon au printemps, alors qu'en 2009, 5 saumons sur les 9 qui arrivent à la confluence, s'engageaient sur cet affluent.

La fin d'année 2019 est caractérisée par des forts débits sur la tête de bassin de l'Allier. Elle est marquée notamment par une **crue biennale à la fin du mois de novembre** avec notamment un pic de

331 m³/s à Prades. Cette crue de forte intensité, en lien avec les épisodes cévenols sur le haut du bassin de l'Allier, est **intervenue pendant la période de reproduction des saumons** avec plus de 220 m³/s atteint le 23 novembre à Langogne. En 2019, la migration automnale a été favorisée contrairement à 2006 et 2009.

En conclusion, les conditions environnementales durant la migration printanière et durant la phase estivale ont été les plus pénalisantes jamais enregistrées depuis 1997. Les conditions de migration à l'automne ont été marquées par deux crues dont une biennale. Il est important de replacer les résultats dans le contexte très particulier de cette année. Avec le changement climatique, les épisodes extrêmes (canicule dès le mois de juin et fortes crues à la fin de l'année) sont amplifiés et de plus en plus fréquents. A l'avenir, il faut, malheureusement pour le saumon de l'Allier, s'attendre à rencontrer de plus en plus d'années comparables à 2019.

7.2. Caractéristiques des saumons marqués

L'échantillon de saumons marqués en 2019 apparaît représentatif de l'ensemble de la population migrante de Vichy. Il est important de rappeler que les piégeages n'ont commencé qu'à partir de la semaine 13, et nous estimons qu'à cette période de l'année, une trentaine d'individus sont déjà passés. Majoritairement des individus de 3 ans de mer. En effet, cette perte se fait ressentir sur les poissons marqués puisqu'ils sont légèrement surreprésentés par des poissons de 2 ans de mer. Les saumons reproduits à la pisciculture de Chanteuges ou nés naturellement dans l'Allier, diffèrent de la population totale de saumons observés à Vichy. 3 saumons sans adipeuse ont été marqués, alors qu'en suivant la dynamique migratoire, seulement 2 auraient dû être marqués. Contrairement à 2009, toute la période de migration n'est pas représentée. A noter qu'en 2006, les poissons marqués ne concernaient que la deuxième moitié du contingent migrant à Vichy. Malgré tout, les résultats sur les 24 saumons marqués en 2019 semblent donc généralisables à l'ensemble de la population de saumons ayant franchi l'ouvrage de Vichy.

La majorité des saumons capturés à Vichy en 2019 présente un état sanitaire moyen (1 saumon sur 2 appartient à la classe C). En 2019, SCIMABIO Interface était en charge de ce suivi. Même si un biais opérateur n'est pas à écarter entre LOGRAMI, qui a procédé à l'évaluation de l'état sanitaire lors des dernières opérations de radiopistage menées sur l'Allier en 2006 et 2009, et SCIMABIO Interface en 2019, il semblerait que les saumons marqués en 2019 présentent un état sanitaire significativement plus dégradé que ceux marqués en 2009. La dégradation de l'état sanitaire peut-être due à plusieurs facteurs notamment une période plus tardive des captures en 2019 qu'en 2009 et des niveaux d'eau très bas. L'état sanitaire semble refléter une dégradation progressive au fur et à mesure de la migration à Vichy. En effet, sur les 11 saumons marqués en deuxième session ,9 présentaient un état sanitaire jugé moyen (classe C). **Il est quand même important de noter que contrairement aux idées reçues, un saumon dégradé n'a pas moins de chance de survivre à l'été et de se reproduire qu'un poisson en parfait état sanitaire.** Par contre, le taux de mortalité est significativement plus important pour les saumons de la deuxième session (26/04 et le 29/05) que pour ceux de la première (marqués du 03/04 au 25/04). La survie est donc plus conditionnée par la date d'arrivée que par l'état sanitaire du poisson.

Grâce aux données collectées depuis 2010, un abaque propre à la rivière Allier a été créé permettant de sexer les poisons au printemps alors que les paramètres de reproduction ne sont pas encore visibles. Il est important de continuer à alimenter cette base de données afin de la rendre encore plus opérationnelle. En effet, une marge d'erreur non négligeable est a souligné et l'abaque ne présente pas encore une fiabilité de 100 %. Les stations de comptage permettent de mettre en avant ces erreurs lors du passage des poissons à Langeac à l'automne.

Les saumons de la souche Loire-Allier sont caractérisés par une prédominance des saumons de grande taille (2 et 3 ans de mer), les individus de 1 an de mer représentent généralement moins de 1 % des contrôles à Vichy. Par rapport aux autres souches françaises (Adour, Gave, Normandie, Bretagne), leur taille est similaire avec ceux du bassin de l'Adour tandis que les saumons des cours d'eau bretons sont légèrement plus petits au sein d'une classe d'âge donnée (**COHENDET, 1993**). Ceci est sans doute lié à une sélection naturelle qui aurait favorisé les grands individus sur cet axe (étant donné la distance de migration qu'ils ont à effectuer). Il n'est donc pas surprenant d'y retrouver des saumons ayant passé plus d'années en mer.

Certaines études ont montré que les individus ayant passé plusieurs hivers en mer semblent migrer plus tôt (JONSSON et JONSSON 1990 ; MCKINNELL *et al.*, 1994 ; KLEMETSEN *et al.*, 2003). Cela se vérifie dans notre étude où nous observons une plus grande proportion de saumons de 2 ans de mer dans la seconde partie des captures. Nous observons que ces individus arrivant tardivement à Vichy ont beaucoup moins de chance de se reproduire dans l'Allier ou l'Alagnon et finalement, ces saumons participent plus faiblement au renouvellement de la population de saumon de la Loire. Il est important de noter qu'à la dernière semaine de marquage, 3 saumons de 3 ans de mer ont tout de même été marqués.

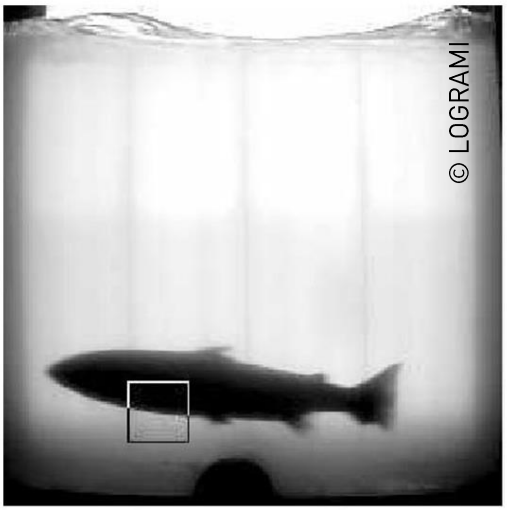
7.3. Vitesse de migration

La vitesse de migration du saumon atlantique dans les eaux continentales est généralement comprise entre 0,2 km/j et 28 km/j (BAGLINIERE *et al.*, 1998 ; AARESTRUP *et al.*, 2002 ; HUBLEY *et al.*, 2008). Les vitesses de migration printanière (6 km/j) et automnale (1,9 km/j) calculées dans notre étude dans le bassin versant de l'Allier sont tout à fait comparables. Toutefois, HALTTUNEN *et al.* (2009) a calculé une vitesse moyenne de 1,6 km/h (soit 38,4 km/j) dans la Rivière Alta (Norvège). Cependant, cette vitesse est estimée sur de courtes périodes (en moyenne 33h). De même, cette rivière de l'extrême Nord de la Norvège ne semble pas comparable aux cours d'eau français du point de vue des conditions environnementales qui conditionnent la migration des poissons (avec des températures totalement différentes de celles que nous pouvons rencontrer en France).

Notre étude montre également que la vitesse de migration printanière des 8 saumons de la première session est plus lente que les 5 de la deuxième session avec respectivement 4,9 km/j +/- 2,1 contre 7,7 km/j +/- 3,8. Egalement, la vitesse de migration printanière des 6 saumons de 2 étés est plus élevée que les 7 de 3 étés, 7,0 km/j +/- 3,9 contre 5,0 km/j +/- 2,0. En complément de cette étude de suivi réalisée en 2019, lors de la migration 2020, un saumon de 3 étés avec des caractéristiques morphologiques particulières (nageoire caudale coupée et nageoires anales/dorsales abimées (Figure 139), a franchi Langeac au printemps.

Ce saumon est le 315ème passé à Vichy en 2020, il est arrivé le 14 mai à 14h45. Le 26 juin, vers 19h15, ce même saumon a franchi le barrage de Langeac (31ème). **Il a donc parcouru un peu plus de 180 kilomètres en 43 jours soit une vitesse moyenne de 4,2 km/j**. En 2019, **le saumon N°49044 (également de 3 étés) avait fait ce même parcours au printemps légèrement plus rapidement en 4,9 km/j.**

En 2020 également, sur le bassin de la Loire entre Decize et Roanne (145 km), il a été également possible de calculer la vitesse de migration de deux saumons. À Roanne, le premier, un saumon de 2 étés de mer de 71 cm, a été observé le 30 avril 2020 et le second, un saumon de 3 étés de mer de 92 cm, le 14 mai 2020. Ces deux individus ont pu être identifiés grâce à leurs caractéristiques morphologiques parmi les 13 saumons observés, à la station de comptage de Decize. Ainsi, ils auraient parcouru les 145 km séparant les deux points de comptage à des vitesses moyennes respectives de 18,6 km/jour pour le plus petit et 4,5 km/jour pour l'autre.



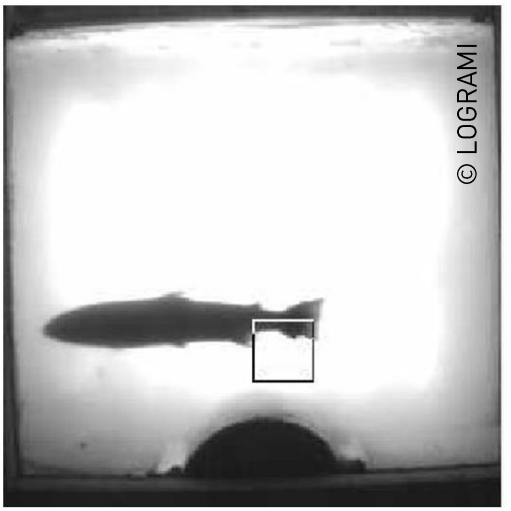


Figure 139 : Saumon issu de la migration 2020 reconnaissable à ses nageoires à Vichy (à gauche) et à Langeac (à droite)

Sur la Sioule, les vitesses moyennes de nage des saumons varient de 11,5 à 20 km/j en fonction des secteurs. La moyenne des vitesses de nage des différents secteurs est de 15 km/j +/- 4 (BACH *et al.*, 2015). Il semble donc que les vitesses de progression des poissons sur la Sioule soient nettement supérieures aux moyennes observées sur l'Allier et s'apparentent d'avantage aux valeurs extrêmes mesurées sur quelques individus seulement sur l'Allier.

La vitesse moyenne sur la Sioule prise en compte est la moyenne des vitesses enregistrée sur les différents tronçons. Selon ce calcul, **3,5 jours seraient nécessaires pour parcourir les 49 km entre le bec de Sioule** (confluence avec l'Allier) et le barrage d'Ebreuil. Ces vitesses étant calculées après des franchissements d'ouvrages sur lesquels les poissons peuvent s'affaiblir ou ce blesser, nous pouvons considérer que cette durée est une durée maximale. Avec les retards enregistrés sur les différents obstacles par les suivis des saumons radiopistés en 2012, **la durée moyenne pour parcourir cette distance s'élève à 59,8 jours, soit plus de 56 jours de plus qu'en l'absence d'obstacles.**

Les saumons se reproduisant dans l'Allier, bien qu'effectuant une migration beaucoup plus importante en termes de distance par rapport aux autres sous populations, notamment françaises, ont des vitesses de migration similaires. De plus, la pente moyenne de ces différents cours d'eau varie, et le nombre d'obstacles à franchir est également différent. Les vitesses constatées dans l'Allier semblent donc être un compromis de l'espèce entre une nécessaire endurance (1 an de migration) et la difficulté de parcours.

Il serait intéressant de savoir si ces vitesses sont constantes au sein de la Loire ou progressivement adaptées aux difficultés et à la longueur du trajet jusqu'aux frayères. Nous constatons d'ailleurs une différence significative entre les vitesses de migration printanière et automnale quelques soient les années d'étude. Les saumons progressent effectivement plus lentement après leur arrêt estival. En 2009, nous avions posé l'hypothèse que les conditions de débit moins favorables à l'automne et les pentes plus fortes des secteurs à parcourir à l'automne pouvaient expliquer cette différence. Grâce à l'étude 2019, il apparaît que ces différences de vitesses printanières et automnales sont plus liées au comportement du poisson plus qu'aux conditions environnementales.

Le processus migratoire observé serait que les individus au printemps sont stimulés pour atteindre les zones favorables à la survie estivale. Il est probable que la température influe comme stimulateur, nous observons d'ailleurs que les saumons issus de la deuxième session de marquage (après mai) vont plus

vite que leurs congénères issus de la session 1 (avant mai). **Nos observations démontrent qu'il existe un processus d'adaptation des vitesses de nage en fonction de la période modifiant les chances de survie pour certains poissons arrivés tardivement.**

Comme en 2009, nous observons que les saumons de 2 étés vont plus vite que les 3 étés. Il faut rattacher cette observation avec le fait que les 2 étés arrivent plus tard à Vichy et donc migrent plus rapidement ce processus compense le fait qu'ils ont moins de temps pour arriver sur des zones favorables pour survivre. En parallèle, à Langeac en 2019, cette observation est confirmée puisque la proportion au printemps des 2 étés et celle de 3 étés sont identiques alors qu'à Vichy la proportion est en faveur des 3 étés, (66 % contre 34 % de 2 étés). Les 2 étés de mer augmentent leurs chances de survies comparativement aux 3 étés de mer en migrant plus rapidement même s'ils arrivent plus tardivement.

Dans un contexte de changement climatique avec une augmentation générale de la température et des épisodes de canicule de plus en plus tôt, la migration des saumons va s'en retrouver impactée.

Actuellement, les individus de 3 étés de mer de plus grandes tailles migrent plus tôt et arrivent dès le mois de mars à Vichy. Ils s'arrêtent dès que la température de l'eau atteint 16 °C. Dans l'avenir, ces poissons devront arriver encore plus tôt ou alors migrer plus rapidement pour atteindre les meilleures zones de reproduction. **En ce sens, la continuité écologique jouera un rôle majeur dans cette adaptation aux changements climatiques.**

Les individus de 2 étés de mer migrent déjà plus rapidement et continuent leur progression même lorsque l'eau dépasse les 16 °C, cependant à 20°C, l'activité migratoire est entièrement stoppée et elle risque d'être atteinte plus rapidement dans l'avenir. Même si le comportement des 2 étés de mer compense les seuils de température plus élevés, des températures proches des 20 °C dès la mi-mai seraient catastrophiques pour ce contingent de la population.

La population de saumon de l'Allier est forcée de s'adapter en très peu de temps à un phénomène climatique qui est fortement accéléré par l'activité humaine. Dans un contexte de plus en plus contraint par le changement climatique, il semble essentiel d'établir une gestion des débits garantissant le minimum vital des saumons en migration génésique printanière. Ainsi, il est indéniable que les usages de l'eau devront être réfléchis au regard de cet enjeu majeur de biodiversité. En effet, les arrivées tardives en avril à Vichy sont issues d'un long parcours dans le bassin qui est dépendant des débits. L'axe Gartempe nous enseigne que les 3 ans de mer entrent dans le bassin Vienne dès le mois de novembre pour une reproduction en fin d'année suivante. Ces mêmes poissons n'arrivent que très tardivement à Vichy en avril.

7.4. Arrêt estival

Un arrêt estival est nécessaire aux saumons quand les conditions environnementales ne sont plus favorables à leur progression vers les zones de reproduction. Les travaux de THIOULOUSE (1972) ont montré le rôle déterminant de la température comme facteur déclenchant l'arrêt de la migration. Les crues, la turbidité ainsi que la longueur du jour stimuleraient à contrario la montaison. Sur l'Allier, il semble que c'est la synergie entre la température et le débit qui conditionne le début et la fin de l'arrêt estival. Il apparaît aussi que les saumons sont plus sensibles aux variations de débit et de température qu'à des seuils en tant que tels. En effet, une forte augmentation de température accompagnée d'une nette diminution des débits comme cela a été constaté durant le mois de mai 2019 a fortement contribué à l'arrêt des saumons.

Seuls les arrêts estivaux des saumons qui sont arrivés sur la zone d'étude suivie par LOGRAMI (Allier-moyen et Haut-Allier) sont connus de façon certaine.

Le début de l'arrêt estival pour les 11 saumons a été constaté selon les individus du 16 mai au 20 juin 2019. Plus les saumons se trouvaient en amont, plus leurs arrêts estivaux s'opéraient tardivement. En effet, les saumons se trouvant dans le Haut-Allier se sont arrêtés vers le 20 juin avec une température de 19,5 °C alors que ceux de l'Allier moyen se sont arrêtés au mois de mai avec une température de 16 °C. Les saumons marqués à la deuxième session de marquage ont migré plus longtemps et font partie de ceux qui se sont arrêtés vers le 20 juin.

En 2006, le début des arrêts estivaux avait été constaté entre le 17 mai et le 21 juin, quasiment comme en 2019. En 2009, le début de l'arrêt estival a été constaté selon les individus du 6 mai au 22 juin 2009.

En 2019, les saumons ont repris leur migration entre le 10 et 17 octobre après une chute de la température de l'eau alors que le débit était encore stable (à Langeac, 15 °C le 02/10 et 13 °C le 04/10). Ce n'est qu'une semaine après que les débits ont augmenté avec 2 pics successifs, le 21 et 25 octobre avec respectivement 99 et 136 m^3/s à Langeac (pic horaire).

Des dates comparables de reprise migratoires (entre le 5 et 22 octobre) ont été observées en 2009 avec une température à Langeac de 16,1 °C.

En 2006, seulement 3 saumons avaient repris leur migration à l'automne plus précocement le 25 septembre avec une augmentation significative du débit de l'Allier à cette date consécutive à de fortes précipitations (6,81 m^3/s le 22/09 puis 15,90 m^3/s le 25/09 et 24,80 m^3/s le 29/09).

En ce qui concerne les stimuli de la reprise automnale, les poissons semblent capables de percevoir l'arrivée d'une crue ou d'une augmentation de débit et plus particulièrement la chute des températures, probablement lié au changement de pressions atmosphériques, même d'importance relative. Ce sont, une fois de plus, les variations de conditions environnementales et non un dépassement d'une valeur seuil qui semblent prédominants pour les débits et les températures.

7.5. Mortalité

RILEY *et al.* (2009) estiment la mortalité entre 0 et 6 % et d'après les auteurs, elle toucherait d'avantage les tacons au sein d'une population de la Rivière Itchen (Hampshire, Royaume Uni).

Dans cette présente étude, nous obtenons des taux de mortalités au stade génésique. Les trois années de suivis confirment des taux très pessimistes sur ce stade biologique. Le seuil de mortalité se situe à 25 °C mais des températures inférieures (18-20 °C) peuvent d'ores et déjà entraîner l'inactivité des saumons adultes (ELLIOT, 1991).

En 2019, l'intégralité des saumons qui se sont arrêtés dans l'Allier des plaines (soit en aval de Pont du Château) **sont tous morts**. Sur les 24 saumons, 13 n'ont pas dépassé le seuil de Pont du Château et sont morts à cause de la chaleur de l'été, quelques interrogations subsistent autour de 3 individus qui ont disparus ou sont morts précocement.
6 saumons ont passé l'été entre Pont du Château et Vieille Brioude, dont 1 qui était à 15 km en amont de Vieille Brioude. Pour des raisons inconnues, ce saumon n'a pas passé l'été dans le Haut-Allier et a dévalé pour le passer en aval du barrage de la Bageasse. **Au final, ce saumon et un autre sont morts, ce qui représente 33 % de mortalité**.
Dans le Haut-Allier, en amont du barrage de Vieille Brioude, les 5 saumons ont survécu à l'été. Ils confirment les résultats des suivis antérieurs qui concluent que dès lors que les poissons ont atteint cette zone, aucune mortalité estivale n'est constatée.

In fine, en 2019 la mortalité totale est estimée à 237 saumons pour 379 saumons en migration de montaison à Vichy (**soit 62,5 %**).

En 2009, l'étude révélait une mortalité estivale élevée (mais moins qu'en 2019) puisque au minimum 36,7 % des saumons en amont de Vichy n'avait pas survécu à la période estivale. Celle-ci touche d'autant plus les saumons qui sont arrivés tardivement à Vichy et qui n'ont pas réussis à migrer dans des zones où la température est moins élevée l'été. Les taux de mortalité constatés en 2006, 2009 et 2019 sont très élevés avec respectivement 100 %, 71,5 % et 100 % dans l'Allier des Plaines. Le taux de mortalité important en 2006 peut s'expliquer par le fait que le marquage avait concerné le contingent de fin de migration.

Il apparaît donc primordial d'améliorer la transparence des obstacles situés en aval de Vichy et du Saut du Loup (confluence avec l'Alagnon) pour favoriser une meilleure progression des saumons, et donc une survie estivale au-delà de cette limite (soit en amont dans l'Allier, soit dans l'Alagnon).

La température létale pour le saumon atlantique est de 25 °C (ELLIOT, 1991). Cependant, il est difficile de déterminer si ce seuil est vérifié dans notre étude. En effet, la durée d'exposition à de telles températures doit être prise en compte. Un saumon subissant pendant une courte période une température élevée peut être moins impacté qu'un poisson ayant subi des températures légèrement plus basses mais pendant plus longtemps.

De plus en plus d'études s'intéressent aux enjeux posés par le réchauffement de la température de l'eau sur la migration des poissons (LASSALLE et ROCHARD, 2009). JONSSON ET JONSSON (2009) et rappellent combien les salmonidés sont soumis aux modifications des conditions environnementales (notamment la température et le débit). De plus, des changements ont déjà été observés pour certaines espèces de saumons du Pacifique (Oncorhynchus spp.) en lien avec des modifications de ces paramètres environnementaux (JUANES, 2004). GOSSE *et al.* en 2009, a publié une analyse de la température de la Loire moyenne en été sur la période 1949 à 2003. Sur cette période, un réchauffement de l'eau de 2 °C est observé à la station de Belleville-sur-Loire (à environ 75 km en aval de Nevers et du bec d'Allier). Si nous considérons la température comme principal facteur expliquant la mortalité des individus durant l'été, les 2 °C d'augmentation constatés par GOSSE (2009) sur la Loire sont cruciaux. En effet, notre étude révèle que seulement 1,5 °C de plus suffit à élever fortement la mortalité. Au-delà du réchauffement climatique de la température (réchauffement la température peut également être augmentée par le réchauffement dans les retenues ou les rejets d'eau de refroidissement des centrales nucléaires) il semble essentiel de trouver des solutions pour limiter ces impacts afin de favoriser les arrêts estivaux des saumons plus en amont. Il s'agit de mettre en place une gestion de l'eau à l'échelle du bassin en réduisant les prélèvements aux moments critiques (blocage des écoulements printaniers et hivernaux dans les retenues), pompages pour l'irrigation en période d'étiage.

En dernier recours, des lâchures printanières pourraient être mises en œuvre lors d'épisodes d'étiage sévère au printemps.

Le saumon atlantique est une espèce en grande partie semelpare c'est-à-dire que la majorité des individus meurent juste après la reproduction. En effet, les taux de retour en Europe sont généralement inférieurs à 5 % (LEVESQUES *et al.*, 1985). En 2019, exactement comme en 2009, ce sont 4 saumons marqués qui ont entamé une dévalaison et ont été enregistrés à Vichy après la reproduction représentant 44,3 % des reproducteurs. D'autres avaient également commencé à dévaler (3 saumons) mais sont morts peu de temps après. La majorité d'entre eux sont des femelles. Ainsi, les résultats des suivis estiment à environ 63 poissons qui auraient redévalé en 2019 à Vichy soit 17 % de la population en migration génésique et 44 % des reproducteurs. Ces proportions élevées comparativement aux estimations en France sont cependant constatées à 662,8 km de l'estuaire. Il apparaît que dans un contexte de restauration des populations, ces géniteurs potentiels pour un second retour pourraient apporter un complément non négligeable de production par la taille et le nombre d'œufs produits par

ces individus plus âgés et par leur connaissance des parcours migratoires. La gestion de leur dévalaison est malheureusement peu ou pas considérée aujourd'hui. Basé sur les résultats nationaux, force est de constater que la dynamique de population du saumon de l'Allier se prive probablement aujourd'hui à minima d'une vingtaine de saumons de second retour.

7.6. Distance de migration

En accord avec la bibliographie, il paraîtrait que la distance de migration ne diffère pas selon la taille des saumons sauvages (BAGLINIERE *et al.*, 1998 ; FINSTAD *et al.*, 2005). Nous confirmons également que les individus ayant passé plusieurs hivers en mer migrent plus tôt (JONSSON *et al.*, 1990 ; KLEMETSEN *et al.*, 2003) et que a contrario, les individus de plus petite taille effectuent une migration plus tardive (MCKINNELL *et al.* (1994). En effet, lors de nos études, les saumons de grande taille (3 ans de mer) migrent aussi loin que les saumons de plus petite taille (2 ans de mer) bien que ces derniers arrivent à Vichy en moyenne 11 jours plus tard que les individus de 3 ans de mer (ASSOCIATION LOGRAMI, 2020).

Comme en 2009, il n'y a pas d'influence de l'état sanitaire des poissons sur la distance de migration. Les saumons répertoriés dans les catégories C et D étaient nombreux en 2019. Sur les 9 saumons qui survivent à l'été, 3 appartiennent à la catégorie B, 4 à la catégorie C et 1 en classe D.

En 2019, aucun saumon ne s'est engagé dans l'Alagnon au printemps. Seul 1 saumon s'y est engagé à l'automne et n'y a parcouru qu'une dizaine de kilomètres. En 2009, il y avait une différence significative entre la distance de migration des saumons empruntant l'Allier et l'Alagnon. Ce résultat n'était pas du tout étonnant puisque l'Alagnon est un axe beaucoup plus court que l'Allier, les saumons doivent y parcourir des distances plus courtes pour trouver des frayères d'aussi bonne qualité que sur l'Allier. Si nous considérons l'amont de Langeac sur l'Allier et l'amont du barrage de Chambezon sur l'Alagnon, comme l'entrée des frayères les meilleures (BACH, communication personnelle), elles se situent 54,3 km plus en aval sur l'Alagnon.

A noter que sur les 2 saumons qui se sont reproduits à Langogne, celui qui a passé l'été entre Coudes et Issoire a migré sur 170 kilomètres en un peu plus d'un mois à l'automne.

Le 315ème saumon (sur 379) passé à Vichy le 14 mai 2019 a franchi le barrage de Langeac le 26 juin (31ème sur 123). Cette information conforte l'idée que les saumons qui passent à Vichy assez tardivement en mai ne sont pas tous condamnés et peuvent rejoindre le Haut-Allier avant la période estivale et survivre pour se reproduire durant l'hiver suivant.

7.7. Franchissabilité

Une des principales causes de régression du saumon est la présence de nombreux ouvrages au travers des cours d'eau, rendant l'accessibilité aux zones de fraies les plus en amont compromise. Certains de ces ouvrages sont maintenant équipés de dispositifs de franchissement (passes à poissons, ascenseurs...) de façon à garantir une meilleure circulation des poissons migrateurs. La franchissabilité de ces ouvrages est donc étudiée en vue d'évaluer l'efficacité de ces aménagements (CROZE, 2008 ; TRAVADE et LARINIER, 2002). Des retards de plusieurs semaines peuvent être observés et directement imputés au franchissement des ouvrages hydrauliques. TRAVADE *et al.* (2001), ont mis en évidence des blocages au pied d'aménagements d'une durée allant jusqu'à 185 jours (à Poutès). Ces blocages peuvent induire des dévalaisons avant que les individus n'aient pu se reproduire (CHANSEAU et LARINIER, 1999 ; RIVINOJA *et al.*, 2001). De même, CROZE (2005) explique que la présence d'obstacles peut engendrer l'abandon de la migration d'une grande majorité des individus.

Le débit est le paramètre le plus souvent cité comme principal facteur contrôlant la migration, même en absence d'obstacles majeurs (TETZLAFF *et al.*, 2008). WEBB *et al.* (2001), montrent que des débits plus élevés sont nécessaires pour le passage des obstacles. De plus, des débits trop faibles induisent des changements dans l'utilisation de l'habitat (RILEY, 2009). D'après MITCHELL et CUNJAK (2007) la corrélation entre le débit et la progression des saumons n'est pas toujours vérifiée, même si dans l'étude qu'ils ont mené la corrélation est forte. HEGGENES *et al.*, (1996 b) démontrent l'importance d'un débit minimum soutenable dans les cours d'eau régulés pour subvenir au maintien d'habitats favorables pour le saumon et la truite en termes de vitesse et de profondeur d'eau.

En 2006, les 4 premiers seuils en amont de Vichy avaient engendré des retards relativement conséquents pour 12 individus (d'au moins 1 jour) et le seuil des Madeleines a retenu 1 poisson en aval sur 26. Le barrage de Vieille Brioude n'avait pas laissé passer la totalité des individus (3 individus sur 5 soit 60 %). Le barrage de Poutès a laissé passer le seul saumon qui s'y est présenté mais celui-ci a franchi l'ouvrage après 43 jours de retard (du 6 octobre au 18 novembre 2006).

En 2009, l'étude avait mis en évidence les points de blocage les plus problématiques pour le saumon atlantique (Poutès, Langeac, Chambezon…). D'autre part, certains engendraient des retards parfois importants (Moulin Grand,…). Cependant, tous les seuils et barrages n'avaient pas été équipés de postes fixes, ce qui avait rendu incertain le temps de blocage.

En 2009, des saumons s'étaient engagés sur l'Alagnon, permettant (contrairement à 2006) d'appréhender l'état de cet axe. Il apparaissait alors que les barrages de Chambezon et de Moulin Grand sont particulièrement bloquants.

L'année 2019 est une année atypique aussi en matière de franchissement. Le complexe de Poutès-Monistrol d'Allier a été en travaux durant la majeure partie de la phase de migration printanière et l'intégralité du débit de l'Allier est passée dans le Viel-Allier (le tronçon court-circuité entre Poutès et Monistrol). La plus part des seuils et ouvrages n'ont pas bloqué les saumons marqués mais ont, pour certains (La Bageasse et Langeac), engendré des retards importants.

Le seuil de Pont du Château se particularise en ayant été bloquant et en ralentissant la progression des poissons. Rapporté à la population, il aurait bloqué une quinzaine de poissons. L'aménagement opéré sur seuil est inopérant et ne contribue pas à l'amélioration de la continuité écologique. De façon indéniable, cet ouvrage situé très en aval de l'axe Allier est directement impactant pour la migration car les saumons stabulent et fatiguent dans une zone où la mortalité est totale en été. Il contribue à fragiliser l'ensemble de la population de saumons en bloquant ou ralentissant leur progression à un moment clef de leur survie. **Il a apparait impératif d'effectuer rapidement des travaux de restauration de cet ouvrage afin d'assurer la continuité à ce niveau de l'axe**.

En 2019, en moyenne, un saumon qui franchit Vichy a été retardé d'une vingtaine d'heure (accumulation du retard sur les 4 seuils entre Vichy et l'amont de Pont du Château) **avant de rejoindre l'Allier moyen.**

En s'intéressant uniquement aux 6 poissons qui franchissent l'ouvrage de Vieille Brioude situé à 147 km de Vichy au printemps, les calculs indiquent que les survivants ayant le plus progressé dans le cours d'eau représentant ¼ de la population mettent en moyenne 564 h +/- 375 soit environ 23 jours pour s'y rendre (temps médian de 422 h soit 17 jours et demi) depuis Vichy. La somme des retards cumulés pour les poissons présentant le plus de difficulté révèlent que ce parcours pourrait engendrer 4 jours de retard en 2019.

Sur le trajet, ces 6 saumons (à considérer comme les plus performants) ont perdu en moyenne 26h47 +/- 23h52 soit un peu plus d'un jour (temps médian de 23h52) uniquement pour franchir les 6 ouvrages suivis.

Aussi, le cumul des retards et hésitations des saumons lors des franchissements d'ouvrage participent à fragiliser la population en ajoutant un stress et une fatigue lors de chaque tentative de passage. Les allers-retours relevés sur certains ouvrages et les arrêts de migration constatés en amont de l'ouvrage des Madeleines semblent illustrés ce comportement. Aussi, l'analyse des migrations de montaison révèlent que la progression printanière conditionne la survie estivale. Cette phase clef se déroule en 20 jours qui doivent permettre la montaison entre Vichy et Vielle Brioude.

Le moindre retard se traduit par une progression plus lente dont le délai est fixé par les conditions de température et d'hydrologie avant l'arrêt estival. La perte d'une journée se traduit par une réduction de la progression vers l'amont de l'ordre de 5 à 7 km susceptible de faire la différence entre une zone à mortalité estivale totale (60 km en amont de Vichy), potentiellement de survie possible (entre 60 et 90 km) ou de survie totale (supérieure à 90 km de Vichy).

Ainsi, il semble indéniable qu'un ouvrage de franchissement n'est pas en capacité de remplacer un cours d'eau libre. Dans le contexte d'aggravation des conditions hydrologiques et de températures printanières, les efforts en termes d'aménagement doivent répondre à des critères exigeants afin de garantir une progression rapide des saumons vers les zones de survie maximale lors de l'estivation (amont de Vieille Brioude). Le taux de franchissement doit être de 100 % avec des temps de passage inférieurs à 2 heures (soit au total sur les 9 ouvrages 18 heures de retard).

Les ouvrages n'ont longtemps été évalués que pour la continuité écologique en migration génésique. Les dispositifs pour la dévalaison des smolts et des ravalés n'ont pas été étudiés. Cette étude révèle que les saumons post reproduction dévalant bénéficient de conditions de débits favorables au passage par surverse. Cependant certains ouvrages montrent que ces poissons prennent du retard et dévalent deux mois après leurs congénères ou sont bloqués lors de ce processus de dévalaison par des ouvrages non équipés de système de dévalaison adapté et/ou des débits faibles. Les poissons passant par surverse semblent également subir des dommages lors de ces passages. Dans l'objectif de maximiser la restauration de la population de saumon Loire allier, il semble donc essentiel d'améliorer les processus de dévalaison pour les smolts et les ravalés.

8. Conclusion

Cette étude fait suite à la demande de VINCI Autoroutes au bureau d'étude SCIMABIO Interface d'évaluer la franchissabilité du seuil de l'A89 dont les travaux ont été réalisés en 2017. Il est alors convenu que SCIMABIO Interface étudie la progression des poisons dans le secteur entre Vichy et Pont du Château et LOGRAMI réalise les suivis en amont de Pont du Château jusqu'aux frayères du haut Allier. L'objectif de l'étude est de dresser un bilan des points de blocage et de retard encore pénalisants pour la remontée du saumon vers les zones de frayères et fournir des données concernant les vitesses de déplacements et les conditions de migration hydroclimatiques.

Cette étude est la troisième réalisée en 15 ans sur la rivière Allier et la deuxième spécifiquement sur la zone en amont de Vichy. Ces informations supplémentaires permettent de mieux appréhender la migration du saumon dans différentes conditions de circulation comme des conditions environnementales extrêmes, des ouvrages bloquants,...

En 2019, les effectifs de saumons en migration génésique sont estimés à 406 poissons ayant franchi le barrage de Vichy (27 seront prélevés par le CNSS). Au final, 379 saumons progresse dans la rivière en amont de Vichy dont 24 ont été marqués par radio émetteurs. Les marquages n'ont commencé qu'à partir de la semaine 13. A cette date, nous estimons qu'une trentaine d'individus est déjà passée, majoritairement des 3 étés. L'échantillon de 24 individus est cependant représentatif de la population de saumon passée après cette date.

Sur les 24 saumons marqués, 14 ont 3 étés de mer et 10 ont 2 étés de mer. Parmi eux, 3 sont issus de déversement au stade smolt. Environ 1 saumon sur 2 présente un état sanitaire jugé moyen (C), contrairement à 2009 où la plupart des saumons ont été classés en assez bon état sanitaire (B). Les résultats de cette étude ont montré que la survie des saumons ne dépendait ni de ta taille, ni de l'origine, ni de l'état sanitaire. A contrario, la date d'arrivée des poissons à Vichy conditionnait leurs avenirs, les saumons issus de la première session de marquage avaient plus survécu à l'été que leurs congénères issus de la deuxième session.

Les conditions environnementales de 2019 sont très particulières. Le printemps et l'été 2019 font partis des plus secs enregistrés depuis 1997. Un pic de débit unique fin avril est à déplorer et des températures caniculaires étaient déjà enregistrées dès fin juin. La migration printanière ainsi que la survie estivale ont été très difficiles et la migration des saumons s'en est retrouvée entachée.

Au printemps, sur les 24 saumons marqués, 13 sont restés en aval de Pont du Château, 10 sur les 13 n'ont pas dépassé la confluence avec la Dore pourtant situé 20 km au-dessus du pont barrage de Vichy. Un saumon marqué s'est même engagé sur la Dore, ce qui au regard de la population, représente 16 individus. En amont de Pont du Château, 5 saumons sur les 11 ont franchi le barrage de Vieille Brioude et 2 d'entre eux ont franchi le barrage de Langeac. En termes de survie estivale, tous les poissons qui n'ont pas dépassé le seuil de Pont du Château et celui sur la Dore sont tous morts, ce qui correspond à 205 saumons morts sur l'ensemble de la population. Entre Pont du Château et Vichy, sur les 6 saumons, 4 ont survécu à l'été, soit potentiellement 63 individus sur 95. Les 5 saumons en amont de Vielle Brioude ont tous survécu, soit 79 saumons de la population.

À la fin de l'été, seuls 9 saumons, soit 37,5 % des poissons marqués, 142 reproducteurs au total, ont pu entamer la migration automnale pour rejoindre les zones de frayères. Ils étaient 63 % lors de l'étude de radiopistage menée en 2009. Sur l'Alagnon, le nombre de reproducteurs est estimé à 16 saumons, contrairement à 2009 ou plus d'une centaine était estimée sur cet affluent.

Entre 2009 et 2019, les travaux réalisés sur les seuils de l'A89 et des Madeleines ont été bénéfiques pour la continuité écologique. Dans ce contexte, il convient de continuer à améliorer la continuité écologique pour permettre aux saumons de progresser le plus vite au printemps pour passer l'été au frais et aussi à l'automne pour leur permettre d'atteindre les meilleures frayères. Les ouvrages actuellement les plus conditionnant à la montaison sont Pont du Château, La Bageasse, Vieille Brioude, Langeac et Poutès.

En plus de temps perdu par les saumons pour le franchissement des ouvrages, la fatigue et le stress engendrés compromettent encore plus les chances de survie et de reproduction des saumons.

9. Perspectives

L'année 2019 a été caractérisée par des conditions environnementales extrêmes. Le printemps et l'été ont été les plus secs enregistrés depuis 1997. Dans ce contexte, il paraît évident et crucial que les saumons soient le moins retardés sur leurs parcours pour rejoindre les zones favorables à leurs survies estivales.

L'aval de Vichy montre aussi des signes inquiétants sur la continuité. **En 2019, à la fin du mois de juin, un regroupement d'une dizaine de saumons agonisant a été observé pendant plusieurs jours à l'aval immédiat du rejet de la station d'épuration de Vichy quelques kilomètres en aval du barrage de Vichy. Ces derniers n'ont jamais été comptabilisés par la suite.** Cette observation atteste de la présence de nombreux géniteurs ayant succombé aux températures trop élevées avant d'arriver sur les zones de reproduction et d'une potentielle difficulté à franchir l'obstacle de Vichy non évalué dans cette étude.

A l'avenir, il serait intéressant comme en 2006 de pourvoir réévaluer le comportement des saumons au droit de cet ouvrage d'autant que des travaux vont être réalisés (équipement de turbines) et vont complétement modifier le fonctionnement du barrage.

Après les 3 études réalisées, il est possible de mieux appréhender le taux de mortalité estival en fonction de la température moyenne au mois de juillet. **Aussi, il parait essentiel et crucial de continuer à améliorer la franchissabilité aux niveaux des seuils et ouvrages comme cela a été fait pour les seuils de l'A89 et des Madeleines. Un effet cumulé d'un retard aux ouvrages et d'un arrêt estival précoce comme cette année pourrait être catastrophique pour la survie de la population des saumons de l'Allier.**

Chaque heure gagnée par les saumons sur leurs parcours de montaison accroit un peu plus leurs chances de survie.

Les résultats de cette étude ont montré une nouvelle fois que les débits printaniers conditionnent la survie des saumons. Avec le manque d'eau 10 saumons sur 24 n'ont jamais atteints le premier seuil de Joze. Dans un contexte de changement climatique, la bonne gestion des débits, est un élément essentiel dans les années à venir. En cas de déficit hydrologique, des restrictions de stockage et prélèvement et un soutient d'étiage plus conséquent devront être mis en place.

Cette étude révèle également que les processus de dévalaison des smolts et des ravalés, trop peu étudiés actuellement sont susceptibles d'identifier les points de blocage à la dévalaison et d'apporter des pistes d'amélioration des taux de survie sur ces stades biologiques du saumon participant à la dynamique de la population afin d'obtenir le renouvellement naturelle de la population.

Bibliographie

AARESTRUP, Kim, NIELSEN, Christian et KOED, Anders, 2002. Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (Salmo salar L.) and brown trout (Salmo trutta L.) smolts in relation to environmental factors. In : *Aquatic Telemetry* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 95-102.

ARRA, 2016. *Compte-rendu Pêche aux cas pratiques "travaux d'aménagement de dispositifs de franchissement piscicole sur l'Allier, au niveau du seuil des Madeleines.*

Association LOGRAMI, 2020. *PROGRAMME DE RECHERCHES APPLIQUEES EN FAVEUR DES POISSONS MIGRATEURS 2019*. Recueil de données biologiques 2019 sur les poissons migrateurs du bassin Loire, 447 p.

BACH, J. M., PAROUTY, T., LEON, C., LE PERU, Y. et BAISEZ, A., 2015. *Suivi de la migration des saumons atlantiques sur l'axe Sioule*. Saint-Pourçain-sur-Sioule : LOGRAMI.

BACH, Jean Michel, BAISEZ, Aurore, LEON, Cédric et PAROUTY, Timothé, 2011. *Suivi de la migration du saumon sur l'Allier par radiopistage entre Vichy et les zones de frayères en 2009*. LOGRAMI.

BACH, J-M., LELIÈVRE, M. et TROTET, M., 2008. *Evaluation de la libre circulation sur l'axe Loire-Allier : Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique en 2006* [en ligne]. LOGRAMI. Disponible à l'adresse : internal-pdf://rapport radiopistage 2006_p-2193159168/rapport radiopistage 2006_p.pdf

BAGLINIÈRE, J. L., BOMASSI, P., BOUSQUET, B., CHANCEREL, F., DE PONTUAL, H., DUMAS, J., EUZENAT, G., FONTENELLE, G., FOURNEL, F., GAYOU, F., LUQUET, J. F., MAISSE, G., MARTIN VENTURA, J. A., MARTY, A., NIHOUARN, A., PORCHER, J. P., PREVOST, E., PROUZET, P., PUSTELNIK, G., RICHARD, A. et TROADEC, H., 1985. La détermination de l'âge par scalimétrie chez le saumon atlantique (Salmo salar) dans son aire de répartition méridionale : utilisation pratique et difficultés de la méthode. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 1985. N° 298, pp. 69-105. DOI 10.1051/kmae:1985002.

BAGLINIÈRE, J. L. et LE LOUARN, H., 1987. Caractéristiques scalimétriques des principales espèces de poissons d'eau douce de France. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 1987. N° 306, pp. 1-39. DOI 10.1051/kmae:1987005.

BAGLINIÈRE, J.L, MAISSE, G et COLLOQUE TRUITE, 1998. *La truite: biologie et écologie*. Paris : Institut national de la recherche agronomique. ISBN 978-2-7380-0338-6.

BARAS, E. et PHILIPPART, J. C., 1989. Application du radiopistage à l'étude éco-éthologique du barbeau fluviatile (Barbus barbus) : problèmes, stratégies et premiers résultats. . 1989. pp. Cah. Ethol. Appl. 9: 467-794.

CHANSEAU, M. et LARINIER, M., 1999. Étude du comportement du saumon atlantique (Salmo salar L.) au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Baigts (gave de Pau) lors de sa migration anadrome. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 1999. N° 353-354, pp. 239-262. DOI 10.1051/kmae:1999014.

COHENDET, François Christian Alain, 1993. *Le saumon de l'Allier: son histoire, sa vie, son devenir.*

CRISP, D. Trevor, 1993. The environmental requirements of salmon and trout in fresh water. [en ligne]. 1993.

CROZE, O., 2005. Radio-tracking: a useful tool for the Aulne Atlantic salmon rehabilitation program. In Spedicato, M.T.; Lembo, G.; Marmulla, G. (eds.) 13. Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe. Ustica, Italy, 9-13 June 2003.Rome, FAO/COISPA. . 2005. pp. 295.

CROZE, O., 2008. *Impact des seuils et barrages sur la migration anadrome du saumon atlantique (Salmo salar L.) : caractérisation et modélisation des processus de franchissement.*

CUINAT, Robin, 1988. Atlantic Salmon in Extensive French River System: Theb Loire-Allier. In : *Atlantic Salmon* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 389-399. [

ELLIOTT, J. M., 1991. Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, Salmo salar. *Freshwater Biology*. 1991. Vol. 25, n° 1, pp. 61-70. DOI 10.1111/j.1365-2427.1991.tb00473.x.

FINSTAD, B., OKLAND, F., THORSTAD, E. B., BJORN, P. A. et MCKINLEY, R. S., 2005. Migration of hatchery-reared Atlantic salmon and wild anadromous brown trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *Journal of Fish Biology*. janvier 2005. Vol. 66, n° 1, pp. 86-96. DOI 10.1111/j.0022-1112.2005.00581.x.

FRY, F.E.J., 1971. The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish. In : *Fish Physiology* [en ligne]. Elsevier. pp. 1-98. [Consulté le 6 avril 2020]. ISBN 978-0-12-350406-7. Disponible à l'adresse : https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1546509808601466

GOSSE, Ph., GAILHARD, J. et HENDRICKX, F., 2009. Analyse de la température de la Loire moyenne en été sur la période 1949 à 2003. *Hydroécologie Appliquée*. mars 2009. Vol. 16, pp. 233-274. DOI 10.1051/hydro/2009009.

HALTTUNEN, Elina, RIKARDSEN, Audun H., DAVIDSEN, Jan G., THORSTAD, Eva B. et DEMPSON, J. Brian, 2009. Survival, Migration Speed and Swimming Depth of Atlantic Salmon Kelts During Sea Entry and Fjord Migration. In : *Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. pp. 35-49. Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries.

HEGGENES, Jan, SALTVEIT, S. J. et LINGAAS, O., 1996. Predicting fish habitat use to changes in water flow: modelling critical minimum flows for Atlantic salmon, Salmo salar, and brown trout, S. trutta. *Regulated Rivers: Research & Management*. 1996. pp. 12 : 331-344.

HENDRY, K., SAMBROOK, H. et WATERFALL, R., 2007. Assessment of salmon stocks and the use of management targets; a case study of the River Tamar, England: SALMON STOCK ASSESSMENT AND MANAGEMENT TARGETS. *Fisheries Management and Ecology*. 5 janvier 2007. Vol. 14, n° 1, pp. 7-19. DOI 10.1111/j.1365-2400.2006.00519.x.

HUBLEY, P. Bradford, AMIRO, Peter G., GIBSON, A. Jamie F., LACROIX, Gilles L. et REDDEN, Anna M., 2008. Survival and behaviour of migrating Atlantic salmon (Salmo salar L.) kelts in river, estuarine, and coastal habitat. *ICES Journal of Marine Science*. 1 décembre 2008. Vol. 65, n° 9, pp. 1626-1634. DOI 10.1093/icesjms/fsn129. Abstract Hubley, P. B., Amiro, P. G., Gibson, A. J. F., Lacroix, G. L., and Redden, A. M. 2008. Survival and behaviour of migrating Atlantic salmon (Salmo salar L.) kelts in river, estuarine, and coastal habitat. – ICES Journal of Marine Science, 65: 1626–1634.

JONSSON, B. et JONSSON, N., 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta* , with particular reference to water

temperature and flow. *Journal of Fish Biology*. décembre 2009. Vol. 75, n° 10, pp. 2381-2447. DOI 10.1111/j.1095-8649.2009.02380.x.

JONSSON, Nina, JONSSON, Bror et HANSEN, Lars P., 1990. Partial segregation in the timing of migration of Atlantic salmon of different ages. *Animal Behaviour*. août 1990. Vol. 40, n° 2, pp. 313-321. DOI 10.1016/S0003-3472(05)80926-1.

JUANES, Francis, GEPHARD, Stephen et BELAND, Kenneth F, 2004. Long-term changes in migration timing of adult Atlantic salmon (Salmo salar) at the southern edge of the species distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1 décembre 2004. Vol. 61, n° 12, pp. 2392-2400. DOI 10.1139/f04-207.

KEITH, Philk, PERSAT, Henri, FEUNTEUN, Eric et ALLARDI, Jean, 2011. *Les poissons d'eau douce de France*. ISBN 978-2-85653-672-8.

KIFFNEY, Peter M., PESS, George R., ANDERSON, Joseph H., FAULDS, P., BURTON, K. et RILEY, Stephen C., 2009. Changes in fish communities following recolonization of the Cedar River, WA, USA by Pacific salmon after 103 years of local extirpation. *River Research and Applications*. 2009. Vol. 25, n° 4, pp. 438-452. DOI 10.1002/rra.1174.

KLEMETSEN, A., AMUNDSEN, P.-A., DEMPSON, J. B., JONSSON, B., JONSSON, N., O'CONNELL, M. F. et MORTENSEN, E., 2003. Atlantic salmon Salmo salar L., brown trout Salmo trutta L. and Arctic charr Salvelinus alpinus (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of freshwater fish*. 2003. Vol. 12, n° 1, pp. 1–59.

LAFAILLE, Pascal et BROSSE, S., 2011. *Ecologie de la conservation des poissons d'eau douce. In : Atlas des poissons d'eau douce de France. Keith P. & Allardi J. (coord.,), Patrimoine Naturels.*

LAFFAILLE, P., LASNE, E. et BAISEZ, A., 2009. Effects of improving longitudinal connectivity on colonisation and distribution of European eel in the Loire catchment, France. *Ecology of Freshwater Fish*. décembre 2009. Vol. 18, n° 4, pp. 610-619. DOI 10.1111/j.1600-0633.2009.00378.x.

LASNE, Emilien, BERGEROT, Benjamin, LEK, Sovan et LAFFAILLE, Pascal, 2007. Fish zonation and indicator species for the evaluation of the ecological status of rivers: example of the Loire basin (France). *River Research and Applications*. octobre 2007. Vol. 23, n° 8, pp. 877-890. DOI 10.1002/rra.1030.

LASSALLE, G. et ROCHARD, E., 2009. Impact of twenty-first century climate change on diadromous fish spread over Europe, North Africa and the Middle East. *Global Change Biology*. 1 mai 2009. Vol. 15, n° 5, pp. 1072-1089. DOI 10.1111/j.1365-2486.2008.01794.x.

LEVESQUES, F., LEJEUNE, R., SHOONER, G. et MAGNAN, P., 1985. *Synthèse des connaissances sur le saumon atlantique (Salmo salar L.) au stade post-frai et perspectives de recherche*. Rapport hors-série. Québec : Dir. Rech. Pêches, Ministère des Pêches et Océans.

MCKINNELL, S., LUNDQVIST, H. et JOHANSSON, H., 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon, Salmo salar L. *AQUACULTURE AND FISHERIES MANAGEMENT*. 1994. Vol. 25, n° SUP/2, pp. 45.

MILLS, Derek, 1991. *Ecology and management of Atlantic salmon*. Springer. ISBN 978-0-412-46020-3.

MITCHELL, Sean C et CUNJAK, Richard A, 2007. Relationship of upstream migrating adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) and stream discharge within Catamaran Brook, New Brunswick. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1 mars 2007. Vol. 64, n° 3, pp. 563-573. DOI 10.1139/f07-032.

NORTHCOTE, T. G., 1998. Migratory Behaviour of Fish and its Significance to Movement through Riverine Fish Passage Facilities. . 1998. pp. 3-18.

PARRISH, Donna L, BEHNKE, Robert J, GEPHARD, Stephen R, MCCORMICK, Stephen D et REEVES, Gordon H, 1998. Why aren't there more Atlantic salmon (Salmo salar)? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1 janvier 1998. Vol. 55, n° S1, pp. 281-287. DOI 10.1139/d98-012.

RILEY, W. D., MAXWELL, D. L., PAWSON, M. G. et IVES, M. J., 2009. The effects of low summer flow on wild salmon (*Salmo salar*), trout (*Salmo trutta*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in a small stream. *Freshwater Biology*. décembre 2009. Vol. 54, n° 12, pp. 2581-2599. DOI 10.1111/j.1365-2427.2009.02268.x.

RIVINOJA, Peter, MCKINNELL, Skip et LUNDQVIST, Hans, 2001. Hindrances to upstream migration of atlantic salmon (Salmo salar) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated Rivers: Research & Management*. mars 2001. Vol. 17, n° 2, pp. 101-115. DOI 10.1002/rrr.607.

SCIMABIO INTERFACE, 2020. *ÉVALUATION DU FRANCHISSEMENT DES AMENAGEMENTS DU SEUIL A89 ET DES MADELEINES SUR LA RIVIERE ALLIER PAR LE SAUMON ATLANTIQUE (63) Suivi par radiotélémétrie*.

STASKO, A. B. et PINCOCK, D. G., 1977. Review of Underwater Biotelemetry, with Emphasis on Ultrasonic Techniques. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1977. Vol. 34, n° 9, pp. 1261-1285. DOI 10.1139/f77-189.

STEINBACH, P., 2005. *Contexte migratoire du bassin de la Loire Expertise de l'axe Loire-Allier et des conditions de migration du saumon Annexes*. ONEMA.

TETZLAFF, D., GIBBINS, C., BACON, P. J., YOUNGSON, A. F. et SOULSBY, C., 2008. Influence of hydrological regimes on the pre-spawning entry of Atlantic salmon (Salmo salar L.) into an upland river. *River Research and Applications*. juin 2008. Vol. 24, n° 5, pp. 528-542. DOI 10.1002/rra.1144.

THIOULOUSE, Guy, 1972. *LE COMPORTEMENT DU SAUMON : Essai d'éthologie du saumon de l'Allier*. Clermont-Ferrand : Plein Air Service.

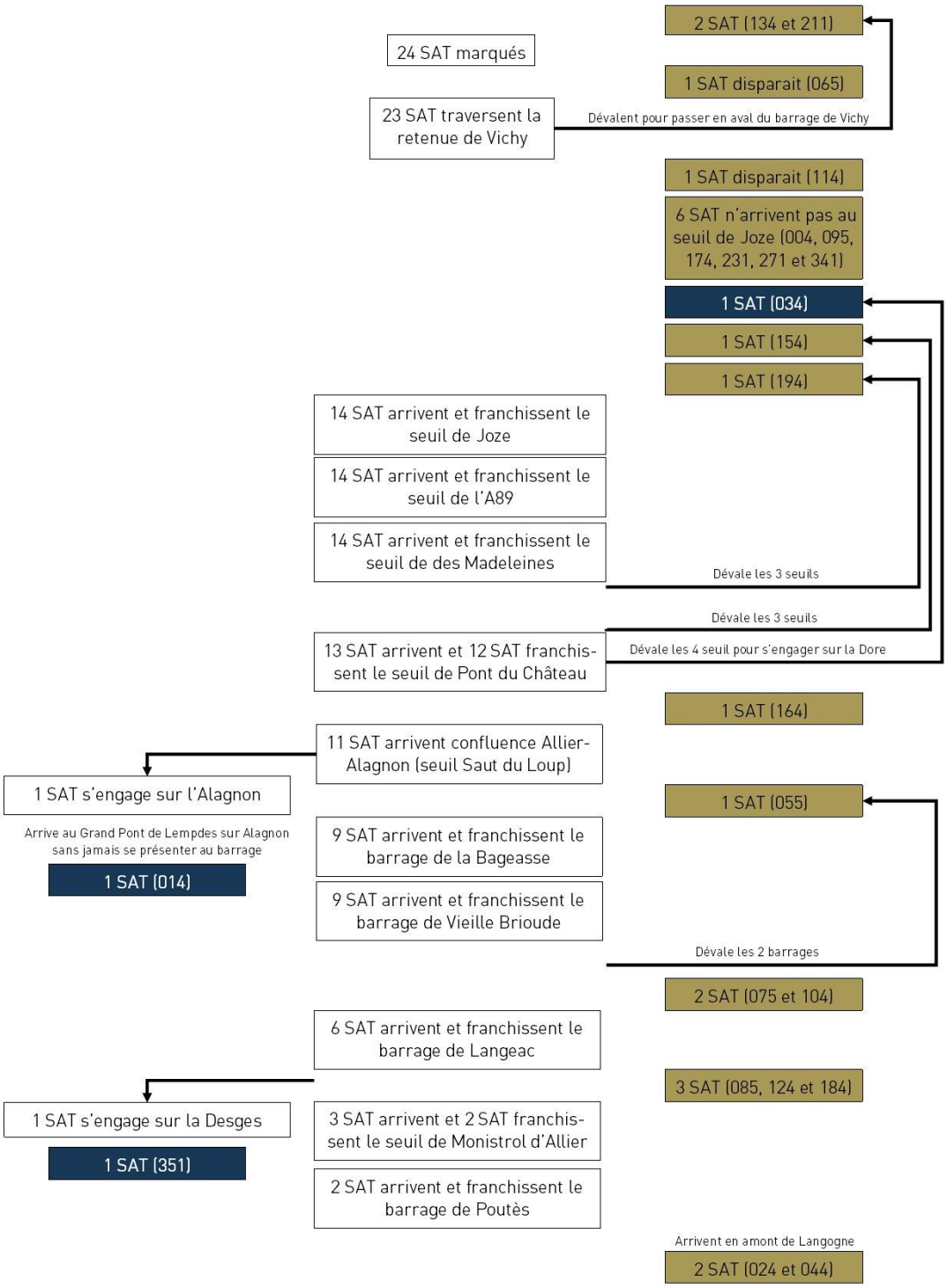
TRAVADE, F., BOMASSI, P. et BACH, J. M., 2001. *Impact de l'aménagement hydroélectrique de Poutès-Monistrol (Allier) sur les poissons migrateurs. Bilan des études réalisées de 1983 à 2000. 46 p. (+ tableaux, figures et annexes).*

TRAVADE, F. et LARINIER, M., 2002. FISH LOCKS AND FISH LIFTS. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 2002. N° 364 supplément, pp. 102-118. DOI 10.1051/kmae/2002096.

WEBB, J. H., GIBBINS, C. N., MOIR, H. et SOULSBY, C., 2001. Flow Requirements of Spawning Atlantic Salmon in an Upland Stream: Implications for Water-Resource Management. *Water and Environment Journal*. mars 2001. Vol. 15, n° 1, pp. 1-8. DOI 10.1111/j.1747-6593.2001.tb00296.x.

Annexes

Annexe 1 : Diagramme récapitulatif du devenir des saumons marqués à Vichy



© LOGRAMI

Nom de l'ouvrage	franchissabilité					
	montaison			dévalaison		
	saumon	anguille	alose	saumon	anguille	alose
1 - LE FRESNE	0	1	0+	0	0	0
2 - PONT DUMNACUS (Pt-de-Cé)	0	0	0+	0	0	0
3 - PONT WILSON (TOURS)	1	1+	2-	0	0	0
4 - AMBOISE	1-	0+	1	0	0	0
5 - BLOIS	0	0+	0+	0	0	0
6 - ST LAURENT DES EAUX	1	1+	1+	0	0	0
7 - DAMPIERRE EN BURLY	1	1	1	0	0	0
8 - BELLEVILLE SUR LOIRE	1	1	1	0	0	0
9 - LA CHARITE SUR LOIRE	1-	0+	1	0	0	0
10 - PONT-CANAL DU GUETIN	2	2	2+	0	0	0
11 - LES LORRAINS	2	2+	2+	0	0	1
12 - PONT DE REGEMORTES	1+	2-	2	0	0	0
13 - VICHY	2	2	2+	2-	0	2
14 - JOZE	1-	1	1+	0	0	0
15 - PONT A72	1	1	2+	0	0	0
16 - MADELEINES	1-	1	2+	0	0	0
17 - PONT DU CHÂTEAU	1	1	2-	0	0	0
18 - LONGUES (BANQUE DE F.)	0+	1	1	0	0	0
19 - VEZEZOUX	0+	1	1	0	0	0
20 - LA BAGEASSE	2-	3-	2+	0	0	0
21 - VIEILLE BRIOUDE	3-	3	s.o.	1+	2	s.o.
22 - MOULIN DE CHILHAC	1	1	s.o.	0	0	s.o.
23 - CHAMBON DE CERZAT	1+	3-	s.o.	1	2	s.o.
24 - LANGEAC	1	2	s.o.	1+	2	s.o.
25 - POUTES-MONISTROL	3-	3	s.o.	5	5	s.o.
26 - ST-ETIENNE DU VIGAN	2	3-	s.o.	0	0	s.o.
27 - NAUSSAC 2	1	2	s.o.	2	2	s.o.
28 - LUC - Les Devezes	2+	2+	s.o.	0	0	s.o.
29 - LUC amont	2-	2	s.o.	0	0	s.o.

classe	qualification	critères de base	équivalence avec dispositif de franchissement
0	absence d'obstacle	ouvrage ruiné, effacé ou sans impact	
1	obstacle franchissable sans difficulté apparente	la libre circulation du poisson est assurée à tout niveau de débit dans des conditions de température permettant la migration	dispositif de franchissement efficace
2	obstacle franchissable mais avec risque de retard	l'ouvrage a un impact en situation hydraulique limitante ou en conditions thermiques défavorables	dispositif de franchissement relativement efficace, mais insuffisant pour éviter les retards migratoires
3	obstacle difficilement franchissable	l'impact de l'ouvrage est important dans des conditions moyennes (module et températures favorables)	dispositif de franchissement insuffisant
4	obstacle très difficilement franchissable	l'impact de l'ouvrage est tel que le passage du poisson n'est possible qu'en situation exceptionnelle (hydraulicité supérieure à 2 ou 3, par rapport à la valeur du module inter-annuel)	dispositif de franchissement très insuffisant
5	obstacle infranchissable	l'ouvrage est étanche pour la circulation du poisson, y compris en période de crue	

Annexe 3 : Caractéristiques des ouvrages présents sur l'Allier en amont de Vichy (Steinbach 2005)

N°	Ouvrage	PK à la mer	Type	Chute à l'étage	Dispositif de franchissement	Classe de franchissabilité saumon (a)
1	JOZE	712,8	Seuil en enrochement	0,79 m	Echancrure en RG	1
2	PONT A72	714,8	Seuil en enrochement	1,56 m	Brèche aménagée dans la partie RG du seuil	1
3	LES MADELEINES	717,3	Affleurement marneux découvert par érosion	2,5 m	Incision mécanique du radier en RG	1
4	PONT-DU-CHATEAU	722,2	Radier de pont	1,28 m	1 passe à ralentisseurs RG + 1 échancrure RG + 1 passe à ralentisseurs plans, centre RG	1
5	LONGUES (BANQUE DE FRANCE)	746,6	Déversoir échancré	0,34 m	Large échancrure à double pendage en RG	0
6	VEZEZOUX	790,3	Déversoir en ruine	1,1 m	Brèche dans la partie RG + ancien pertuis RG	0
7	LA BAGEASSE	808,7	Déversoir de prise d'eau en béton	2,95 m	Passe à bassins et chenal de contournement RD + possibilité de contournement RG par la branche marinière	2
8	VIEILLE-BRIOUDE	811,5	Déversoir à parement aval incliné	2,55 m	Chenal de contournement en RG	3
9	LE MOULIN DE CHILHAC	833,4	Déversoir en biais	< 1 m	Passe à ralentisseurs	1
10	LE CHAMBON DE CERZAT	839,6	Déversoir	1,55 m	Glissières et prébarrages	1
11	LANGEAC	847	Déversoir en béton à parement aval incliné	1,7 m	Passes à bassins successifs en RD et RG	1
12	MONISTROL D'ALLIER	870	Seuil en enrochement	/	passe à ralentisseurs prolongée d'un chenal de contournement	1?
13	BARRAGE DE POUTES	879,4	Barrage poids en béton avec	16 m	Passe à ralentisseurs puis ascenseur au barrage	3

N°	Ouvrage	PK à la mer	Type	Chute à l'étage	Dispositif de franchissement	Classe de franchissabilité saumon (a)
			vannes-secteurs			
14	ST-ETIENNE-DU-VIGAN	916,8	Seuil résiduel après arasement	2 m fractionnée en 2	Brèches naturelles après arasement	2
15	BARRAGE DE NAUSSAC II	921,5	Déversoir de prise d'eau en béton	2,3 m	Passe à 7 bassins successifs à fentes verticales	1
16	LUC (LES DEVEZES)	937,3	Seuil en enrochements bétonnés à paroi verticale	1,5 m	Passe à bassins successifs (achevée en 2006)	2
17	LUC		Déversoir incliné	1 m	Prébarrages rustiques	2

a) 0 : Absence d'obstacle ; 1 : Franchissement sans difficulté apparente ; 2 : Franchissement mais avec risque de retard ; 3 : Difficilement franchissable ; 4 : Très difficilement franchissable ; 5 : Obstacle infranchissable

Annexe 4 : Caractéristiques des ouvrages présents sur l'Alagnon (Source : ONEMA et SIGAL)

N°	Ouvrage	Pk à la mer	Type	Hauteur_chute (m) (SIGAL-ONEMA Dir6 2007)	Hauteur chute (m) (Steinbach-ONEMA Dir4 2005)	Dispositif de franchissement	Classe SAT (a)
1	Radier saut du Loup	781,5	Radier pont	0.40	0.9	Brèche	1
2	Grand Pont	790.9	affleurement roche mère après arasement	0.00	1.7	Brèche dans affleurement roche mère après arasement	1
3	Prise d'eau du Béal (Lempdes)	791.6	Déversoir à paroi inclinée	1.90	?	prébarrages	1
4	Chambezon	792.7	Déversoir à paroi inclinée	2.50	4	Passe à bassins	2
5	Seuil des trois eaux	806.5	Barrage en enrochement libre	0.50	1.1		1
6	Prise d'eau du Babory	807.3	Déversoir à paroi inclinée	1.70	1.5	Passe ralentisseur	2
7	Prise d'eau de Notre Dame	813.5	Déversoir à paroi inclinée	1.90	1.5	Passe à bassins	2
8	Moulin Grand	815.5	Déversoir à paroi inclinée	2.74	0.9	Passe à ralentisseur	4
9	Prise d'eau de Courcelles	816	Barrage en enrochement libre	0.50	0.9		2
10	Prise d'eau des Italiens	816.8	Déversoir à paroi inclinée	2.00	2.2	Passe à ralentisseur	2
11	Amont Verdier	817.2	Déversoir à paroi verticale	0.58	1.1		3
12	Seuil DDE	818.6	Déversoir à paroi inclinée	0.40	1.2		1
13	Prise d'eau de la Roche	819.1	Déversoir à paroi inclinée	1.15	2.2		4
14	Pilière de Fabre (Aurouze)	820.3	Déversoir à paroi inclinée	1.60	2.3		4

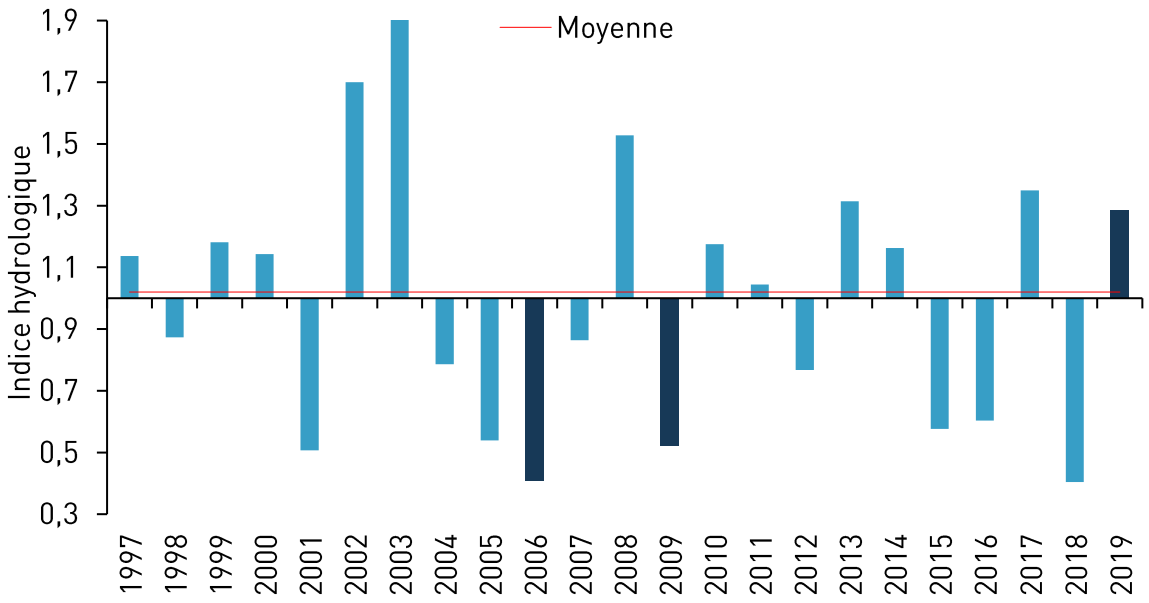
N°	Ouvrage	Pk à la mer	Type	Hauteur_chute (m) (SIGAL-ONEMA Dir6 2007)	Hauteur chute (m) (Steinbach-ONEMA Dir4 2005)	Dispositif de franchissement	Classe SAT (a)
15	Prise d'eau d'Oléon	822.1	Déversoir à paroi inclinée	1.00	1.4		3
16	Ferrières St Mary	830.2	Radier	0.00			1
17	Prise d'eau du Pachou	839.1	Déversoir à paroi inclinée	1.05	1.5		2
18	Prise d'eau Les Baraques	844	Déversoir à paroi inclinée	1.00			2
19	Prise d'eau Moulin de Celles	844.9	Déversoir à paroi inclinée	1.00	1.6		1
20	Prise d'eau Moulin de Chanteronne	845.8	Déversoir à paroi inclinée	1.30	1.5		2
21	Prise d'eau de Clavières	848.1	Barrage en enrochement libre	2.00	1.4		1
22	Prise d'eau de Gaspard	848.6	Déversoir à paroi inclinée	1.50	3.5		4
23	Levée de la Pierre à Canon	849.2	Déversoir à paroi inclinée	1.00	1.5		2
24	Prise d'eau Moulin de Faucillon	855.6	Déversoir à paroi inclinée	0.60	0.8		1
25	Chambon	861.3	Déversoir à paroi verticale	0.50			3
26	Radier de Laveissière	861.6	Radier	0.30			4
27	Prise d'eau du Chambon	861.6	Déversoir à paroi verticale	0.60	1		4
28	Fraise Haut	863.3	Barrage en enrochement libre	0.70			2

a) 0 : Absence d'obstacle ; 1 : Franchissement sans difficulté apparente ; 2 : Franchissement mais avec risque de retard ; 3 : Difficilement franchissable ; 4 : Très difficilement franchissable ; 5 : Obstacle infranchissable.

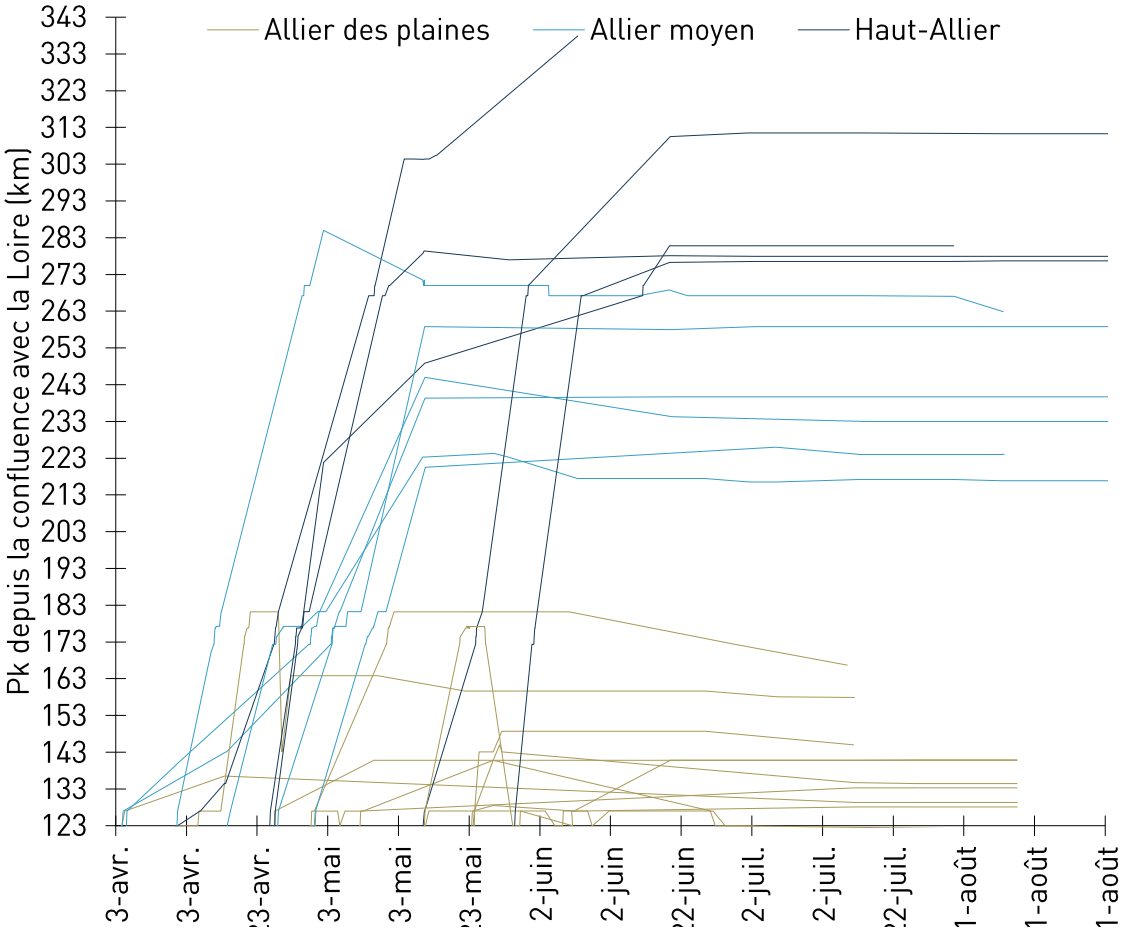
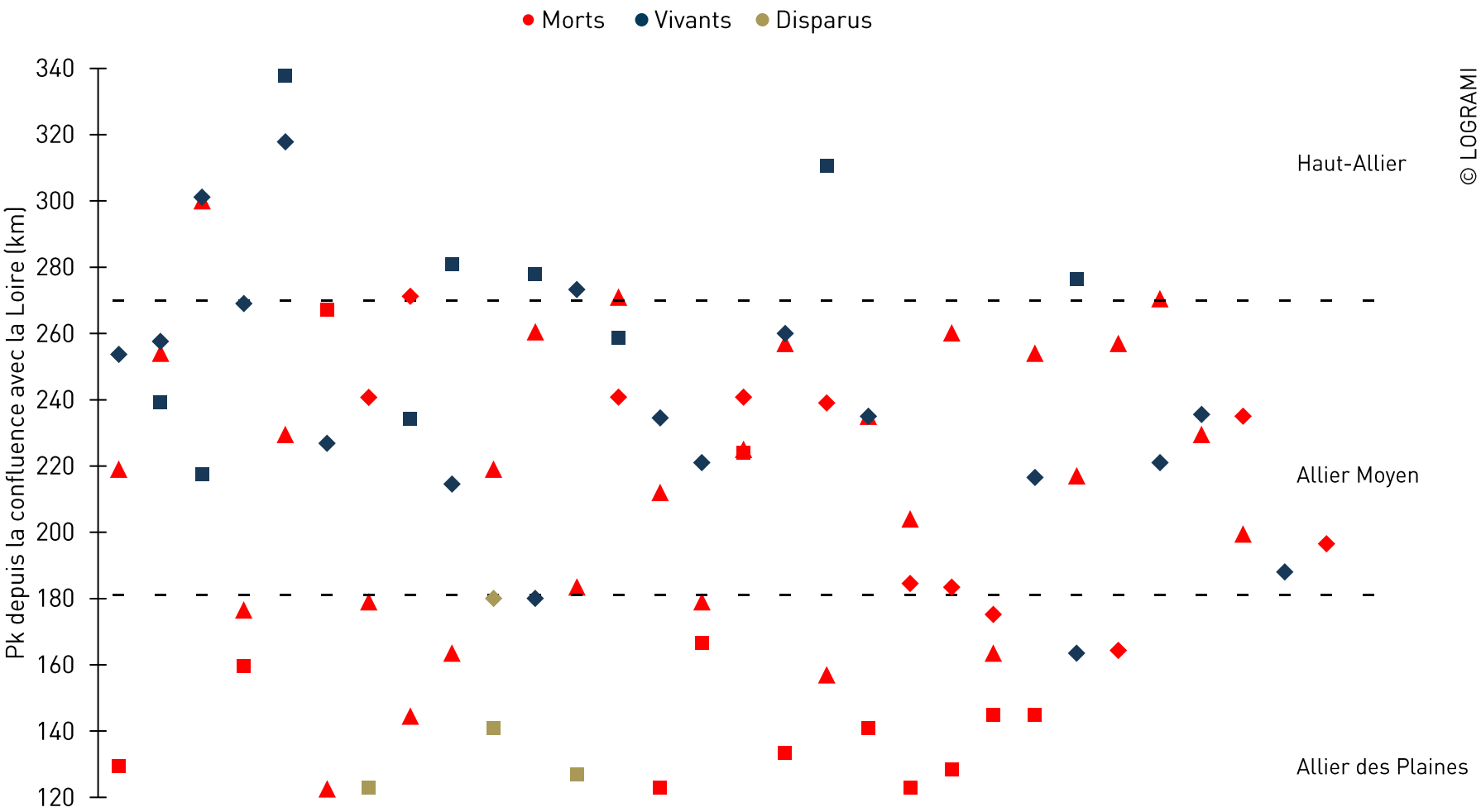
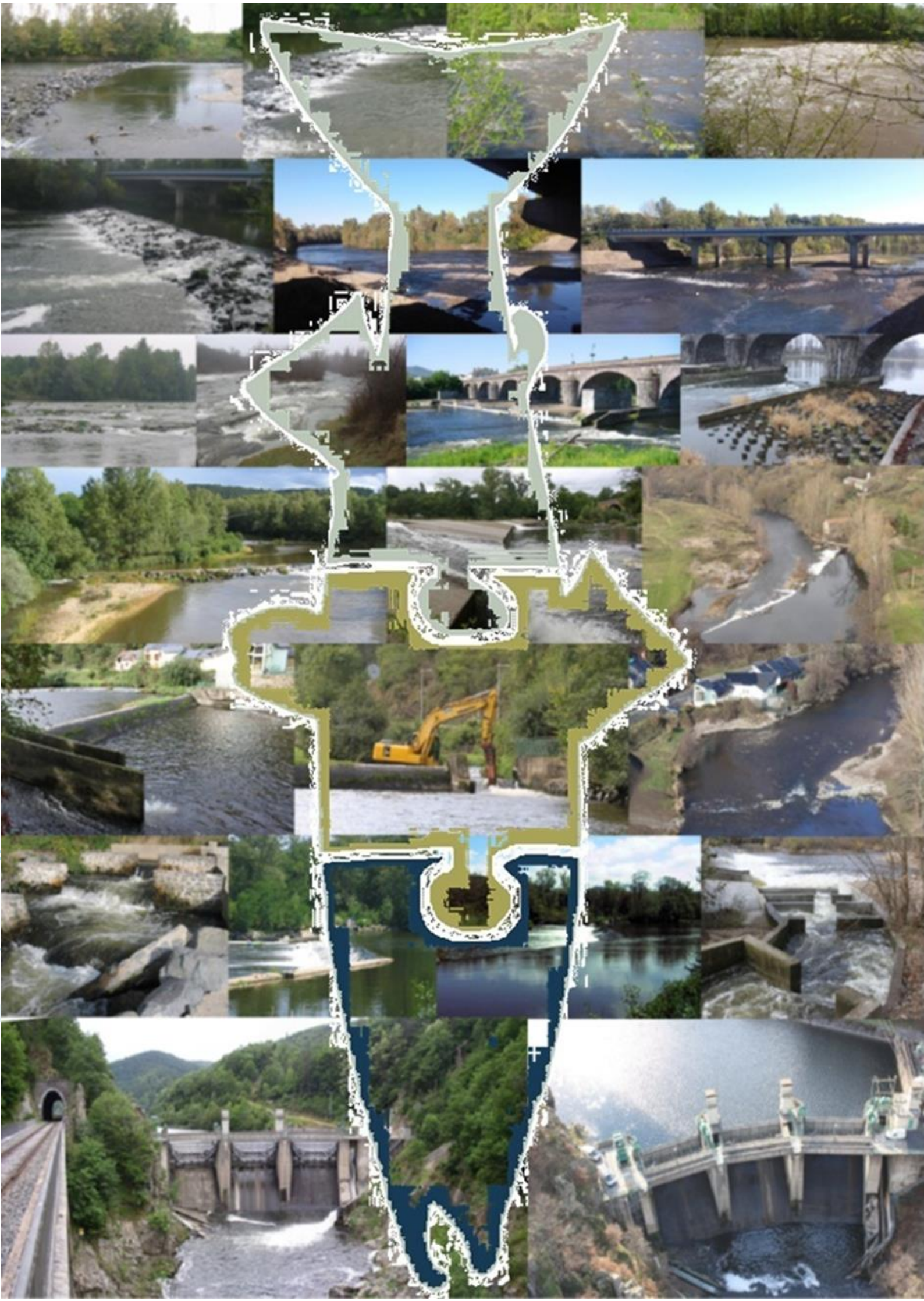
Annexe 5 : Récapitulatif de la capture et du marquage des 24 saumons

Session marquage	Fréq.	Date	Heure capture	Température de l'eau (°C)	Heure lâché	LT (cm)	LF (cm)	Age de mer	LM (mm)	Sexe (Abaque)	Sexe (STACOMI)	Adipeuse	Sani	Marqueur	Durée manipulation	Durée de capture
1	49004	03.04.2019	17:43	12	18:37	929	880	3	92	M		Non	D	TP	00:12	0:54
1	49014	03.04.2019	17:43	12	18:42	948	910	3	83	F		Oui	C	LR	00:11	0:59
1	49024	04.04.2019	09:54	11,3	?	949	905	3	79,5	F	F	Oui	B	MAC	00:14	?
2	49034	11.04.2019	09:25	12,8	10:20	959	915	3	94	M		Oui	C	LR	0:11	0:55
2	49044	11.04.2019	09:25	12,8	10:02	983	936	3	95	M		Oui	C	LR	0:12	0:37
2	49055	11.04.2019	14:50	12,8	15:14	946	905	3	91	M		Oui	D	LR	0:11	0:24
3	49065	18.04.2019	16:38	15,2	18:04	758	716	2	66,5	M		Oui	A	MAC	0:10	1:26
3	49075	18.04.2019	16:38	15,2	17:42	947	905	3	96	M		Oui	D	LR	0:10	1:04
4	49085	24.04.2019	18:27	16.2	18:52	791	751	2	66	F	F	Oui	B	LR	0:09	0:25
4	49095	25.04.2019	08:42	15,6	09:08	733	692	2	70	M		Oui	C	LR	0:08	0:26
4	49104	25.04.2019	08:42	15,6	09:25	764	727	2	66,5	M		Oui	B	MAC	0:08	0:43
4	49114	25.04.2019	18:14	14,4	18:49	930	889	3	81	F		Oui	B	LR	0:09	0:35
4	49124	25.04.2019	18:14	14,4	18:50	963	933	3	99,5	M	F	Oui	C	MAC	0:10	0:36
5	49134	30.04.2019	10:55	11,7	11:19	774	732	2	67	M		Oui	A	LR	0:10	0:24
5	49154	30.04.2019	14:45	12,6	15:30	892	847	3	79	F		Oui	C	YA	0:11	0:45
5	49164	30.04.2019	18:30	12,2	18:55	748	708	2	64,5	M		Oui	C	MAC	0:10	0:25
6	49174	07.05.2019	10:54	12,5	11:28	766	737	2	70	M		Oui	C	LR	0:10	0:34
7	49184	16.05.2019	10:02	14,2	11:15	778	736	2	67	M		Oui	C	MAC	0:10	1:13
7	49194	16.05.2019	15:34	15,1	15:56	806	765	2	74,5	M		Oui	C	MAC	0:07	0:22
7	49211	16.05.2019	15:34	15,1	16:28	1004	951	3	89	F		Oui	C	LR	0:11	0:54
8	49231	23.05.2019	07:48	16,4	08:26	940	892	3	87	F		Non	B	LR	0:10	0:38
8	49271	23.05.2019	12:31	17,2	13:22	960	908	3	88	F		Oui	C	MAC	0:08	0:51
8	49341	23.05.2019	16:16	16,9	17:02	915	867	3	80	F		Oui	D	LR	0:10	0:46
9	49351	29.05.2019	09:54	17,2	10:21	760	721	2	69	M	F	Non	C	LR	0:09	0:27

Annexe 6 : Indices hydrologiques pendant la dévalaison des ravalés (décembre année N à janvier années N+1) à Saint-Yorre (Données hydro : DREAL Centre/Hydro – MEDD/DE)



Annexe 7 : Parcours des 24 saumons marqués en 2019 durant la migration printanière



Annexe 8 : Arrêt estival des saumons en 2006 (triangle), 2009 (losange) et 2019 (carré)