

Etude des conditions de migrations des saumons sur la Garonne. Description des habitats et suivi par radiopistage des saumons entre Golfech et le Bazacle

Année 2021

L.Carry, S.Bosc, S.Gracia, O.Menchi, R.Semperez, ECOGEA



M I G A D O

Etude des conditions de migration du saumon atlantique sur la Garonne

- **Etude de l'efficacité des dispositifs de franchissements des aménagements de Golfech et du Bazacle par suivi télémétrique.**
- **Etude des impacts du silure par prédation et effarouchement sur la migration anadrome du saumon sur le secteur Golfech-Bazacle.**

Résultats des suivis du printemps 2021

Remerciements :

Nous tenons à remercier tous les organismes et toutes les personnes qui ont participé financièrement ou techniquement aux différentes opérations :

- L'Etat
- L'Agence de l'Eau Adour-Garonne,
- L'Unité EDF HYDRO Sud-Ouest.
- Le CIH de Toulouse
- Le Pôle Eco-hydraulique de Toulouse
- L'OFB
- Le SMEAG
- Le GU de Golfech
- Le GU de Palaminy
- EDF R&D

Equipe de travail MIGADO

S Bosc, L Carry, O Menchi, S Gracia, R Semperez, A Nars, P Tardieu.

Equipe de travail ECOGEA

V Cornu, P Baran, A Frey, T Lagarrigue.

SOMMAIRE :

1. INTRODUCTION	10
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	12
3. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE	14
3.1 Le bassin de la Garonne	14
3.2 L'aménagements hydroélectrique de Malause-Golfech	15
3.2.1 Dispositifs de franchissement du complexe Malause-Golfech	17
3.2.1.1 Ascenseur à poissons	17
3.2.1.2 Passe à anguilles	20
3.2.1.3 Dévalaison	21
3.3 Aménagements hydroélectriques du secteur de Toulouse	21
3.3.1 Chaussée du Bazacle (RD+RG)	21
3.3.1.1 Passes à poissons	22
3.3.1.2 Dévalaison	24
3.3.2 Aménagement hydroélectrique du Ramier	24
3.3.2.1 Passes à poissons	26
3.3.2.2 Dévalaison	27
3.3.1 Aménagement hydroélectrique de la Cavaletade	27
3.3.1.1 Passes à poissons	27
3.3.1.2 Dévalaison	28
4. MATERIEL ET METHODE.....	29
4.1 La période d'étude	29
4.2 Le matériel biologique	29
4.2.1 Piégeage du matériel biologique	29
4.2.2 Modalités de marquage, de stabulation et de lâcher	29
4.2.2.1 Anesthésie	29
4.2.2.2 Biométrie et prélèvements	30
4.2.2.3 Marquage :	30
4.2.2.4 Mise en poche et transport pour lâcher	32
4.2.2.5 Hygiène :	33
4.3 Les conditions environnementales au cours de la période d'étude	33
4.3.1 Les débits	33
4.3.2 Débits et fonctionnement des ouvrages suivis	33
4.3.2.1 Malause-Golfech	33
4.3.2.2 Bazacle	33
4.3.3 La température	34
4.4 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de télémétrie acoustique ..	34
4.4.1 Principe	34
4.4.2 Matériel utilisé	35
4.4.2.1 Emetteurs	35
4.4.2.2 Hydrophones	36
4.4.2.3 Déchargements des hydrophones	36
4.4.3 Localisation des zones de suivis	37
4.5 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de radiotélémétrie	38
4.5.1 Principe	38
4.5.2 Matériel utilisé	39
4.5.2.1 Emetteurs	39
4.5.2.2 Stations d'enregistrement	40
4.5.3 Localisation des zones de détection	41
4.6 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technologie RFID	45

4.6.1	Principe.....	45
4.6.2	Equipement des sites	46
4.6.2.1	Ouvrage de Golfech.....	46
4.6.2.2	Ouvrage du Bazacle	48
4.7	Suivi des déplacements de poissons manuellement.....	50
5.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'ETUDE.....	52
5.1	Débits.....	52
5.2	Analyse de l'année 2021 par rapport aux chroniques historiques	55
5.3	Température de l'eau	57
6.	RESULTATS AUX STATIONS DE CONTROLE ET PIEGEAGE	57
6.1	Station de contrôle de Golfech	57
6.1.1	Le saumon atlantique	57
6.1.2	Le silure	58
6.1.1	Fonctionnement de l'ascenseur à poissons de Golfech.....	61
6.2	Station de contrôle du Bazacle.....	61
6.3	Données du piégeage	63
7.	RESULTATS CONCERNANT LE SUIVI PAR TELEMETRIE.....	65
7.1	Devenir des 24 saumons marqués.....	66
7.2	Comportement des saumons au niveau du complexe Golfech-Malause.....	70
7.2.1	Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech.....	70
7.2.2	Incursions dans le tronçon court-circuité de Malause-Golfech	73
7.2.3	Incursions dans le canal de fuite de l'usine de Golfech	73
7.2.4	Résultats du suivi prédation (pour les poissons n'ayant pas atteint l'ouvrage de Golfech)	76
7.2.5	Détections des poissons en aval proche de l'ascenseur à poissons	78
7.2.6	Temps de blocage à l'aval de l'ascenseur de Golfech.....	79
7.2.7	Détections des poissons au niveau des deux entrées de l'ascenseur à poissons ...	80
7.2.7.1	Analyses des détections radio.....	80
7.2.7.2	Analyses des détections acoustiques.....	86
7.2.7.3	Analyses des détections RFID	87
7.2.8	Résultats du suivi prédation (pour les poissons ayant atteint l'ouvrage de Golfech)	90
7.2.9	Comportement des poissons suivis en amont de l'ASP (canal de transfert et canal d'amenée)	92
7.2.10	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison - zoom sur le canal d'amenée	92
7.3	Comportement des saumons entre Malause et Toulouse	97
7.3.1	Comportement général.....	97
7.3.2	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison.....	99
7.3.3	Résultats du suivi prédation	100
7.4	Comportement des saumons au niveau du Bazacle.....	101
7.4.1	Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique du Bazacle	101
7.4.2	Comportement général.....	103
7.4.3	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison au Bazacle.....	104
7.4.4	Devenir des saumons en amont du Bazacle.....	107
7.5	Synthèse globale du suivi des tags prédation	108
8.	Discussion / Conclusion / PERSPECTIVES	109
9.	Bibliographie.....	113
10.	Annexes.....	115

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du bassin Garonne-Dordogne et localisation des stations de contrôle MI.GA.DO sur la Garonne (Golfech, Bazacle et Carbonne)	14
Figure 2 : Localisation du site d'étude : Malause-Golfech	15
Figure 3 : Schéma en vue aérienne du site hydroélectrique de Golfech.	17
Figure 4 : Schéma de la partie basse de l'ascenseur de Golfech et de son fonctionnement (modifié d'après TRAVADE et al., 1992)	19
Figure 5 : Schéma d'implantation de la passe à bassins et de la passe à ralentisseurs du Bazacle (d'après DARTIGUELONGUE, 2019)	23
Figure 6 : Vue aérienne globale des deux bras de la Garonne à Toulouse et localisation des différents aménagements hydroélectriques	25
Figure 7 : Schéma de la passe à bassins de la centrale du Ramier	26
Figure 8 : Schéma d'implantation de la centrale de la Cavaletade (source : Vinci).....	27
Figure 9 : Principe de la télémétrie acoustique	34
Figure 10 : Schéma des différentes zones de suivis en amont et en aval du barrage de Golfech.....	37
Figure 11 : Principe du radiopistage en milieu aquatique (d'après BARAS et CHERRY, 1990).	39
Figure 12 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site de Golfech.....	42
Figure 13 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site du Bazacle	43
Figure 14 : Principe de fonctionnement du système RFID de CIPAM	46
Figure 15 : Schéma de l'implantation de la nouvelle antenne RFID	48
Figure 16 : zoom sur l'entrée de la passe à bassins du Bazacle	49
Figure 17 : Schéma expliquant la technique de suivi de tags acoustiques « prédation » dans un grand milieu (1 : Navigation sur le cours d'eau – 2 : Repérage de l'émetteur radio – 3 : Approche au plus près de l'individu détecté – 4 et 5 : Mise en place du récepteur acoustique et détection du code prédaté ou non)	51
Figure 18 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Lamagistère (chronique de 1966 à 2021).....	52
Figure 19 : Débits moyens journaliers de la Garonne et du Tarn pendant la période d'étude	53
Figure 20 : Débits classés de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude	54
Figure 21 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude	54
Figure 22 : Débits classés du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude.....	55
Figure 23 : Comparaison des débits de la Garonne à Lamagistère depuis 1967	56
Figure 24 : Hydrologie et thermie de la Garonne au cours du suivi 2021	57
Figure 25 : Pourcentages cumulés des effectifs de saumons et de silures par semaine pour l'année 2021.....	58
Figure 26 : Représentativité des classes de tailles de silures observés à Golfech pendant la période de migration (en orange : individu le plus petit ayant prédaté un saumon)	59
Figure 27 : Résumé du passage et des caractéristiques des silures ayant empruntés l'ascenseur à poissons de Golfech en 2021.....	60
Figure 28 : Analyse de l'impact du silure sur le comportement migratoire du saumon atlantique dans le canal de transfert de Golfech	60

Figure 29 : Effectifs cumulés de saumons Atlantique contrôlés aux stations de Golfech et du Bazacle	62
Figure 30 : Comparaison de la répartition hebdomadaire des passages de saumons à Golfech et au Bazacle avec la répartition des piégeages/marquages pour le suivi télémétrique	63
Figure 31 : Répartition des franchissements et des piégeage/marquages à Golfech, ainsi que des franchissements au Bazacle en fonction des débits de la Garonne	64
Figure 32 : Répartition des débits de piégeage et de contrôle à la vidéo des saumons par rapport au débit de Lamagistère (1 ^{er} janv. au 31 juil.)	64
Figure 33 : Cartographie des différents secteurs et les différents codes utilisés dans l'analyse du devenir des individus marqués (points kilométrique)	66
Figure 34 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en amont du complexe Malause-Golfech	68
Figure 35 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en aval du complexe Malause-Golfech	69
Figure 36 : Fonctionnement des 3 groupes de l'usine hydroélectrique de Golfech durant la saison de migration 2021	70
Figure 37 : Répartition des configurations d'usine à Golfech en fonction du nombre de groupes en fonctionnement	71
Figure 38 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés à Golfech	72
Figure 39 : Représentation des jours de déversement au barrage de Malause	72
Figure 40 : Horaires d'entrée et de sortie des poissons suivis dans le canal de fuite	75
Figure 41 : Répartition des durées d'incursion (délai entrée-sortie)	75
Figure 42 : Comparaison des débits dans le canal de fuite lors des incursions dans le canal et répartition de ces débits sur l'intégralité du suivi	75
Figure 43 : Répartition des débits de la Garonne à Lamagistère et des débits turbinés à l'usine de Golfech au moment des détections radio aux entrées 1 et 2 de l'ascenseur à poissons	81
Figure 44 : Comparaison du nombre de détections au niveau des 2 entrées de l'ascenseur par rapport au nombre de poissons suivis présents dans le canal de fuite et en fonction du taux d'utilisation du groupe 3 de l'usine	83
Figure 45 : Hauteurs de chute aux deux entrées de l'ASP en fonction du débit turbiné à Golfech	84
Figure 46 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 1 de l'ASP lors de la présence de chaque poisson dans la zone de l'antenne GOLE1	85
Figure 47 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 1 de l'ASP lors des enregistrements à l'antenne RFID GO10000	85
Figure 48 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors de la présence de chaque poisson dans la zone de l'antenne GOLE2	85
Figure 49 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors des enregistrements à l'antenne RFID GO20000	85
Figure 50 : Comparaison des durées d'enregistrements des stations radio et acoustique au niveau des 2 entrées de l'ASP de Golfech	86
Figure 51 : Détections des saumons aux antennes radio et RFID de l'ASP de Golfech pour les individus ayant franchi l'aménagement	90
Figure 52 : Délais, des poissons marqués, dans le canal de transfert entre le dernier enregistrement à l'aval de l'ASP et la première détection dans le canal d'amenée	92
Figure 53 : Délais, des poissons marqués, dans le canal de transfert entre le dernier enregistrement à la station de contrôle et la première détection dans le canal d'amenée	92
Figure 54 : Temps de parcours dans le canal d'amenée en fonction du débit turbiné	93

Figure 55 : Variation du débit turbiné lors de la progression dans le canal d'amenée	94
Figure 56 : Répartition des débits turbinés dans le canal d'amenée de Golfech pour les poissons ayant parcouru celui-ci en montaison et en dévalaison.....	94
Figure 57 : Vitesses de nage pour chaque SAT entre deux stations (calculés à partir de la dernière détection aval et de la première détection amont).....	95
Figure 58 : Vitesses de nage des saumons marqués en fonction du débit turbiné dans chaque section du canal d'amenée	96
Figure 59 : Répartition des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée	97
Figure 60 : Proportion des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée	97
Figure 61 : Répartition des temps de transfert entre la sortie du canal d'amenée de Golfech et l'arrivée à l'aval du Bazacle pour les poissons 48101_05 et 48101_12 comparée aux données du suivi 2020	98
Figure 62 : Date et débit de la dernière localisation connue des poissons ayant présenté un mouvement de montaison (vert) et de dévalaison (rouge)	99
Figure 63 : Fonctionnement des 7 groupes de l'usine hydroélectrique du Bazacle durant la saison de migration 2021.....	101
Figure 64 : Répartition des configurations d'usine au Bazacle en fonction du nombre de groupes en fonctionnement.....	101
Figure 65 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés au Bazacle	102
Figure 66 : Représentation des jours de déversement au barrage du Bazacle.....	102
Figure 67 : Détections des deux saumons aux antennes radio et à l'hydrophone du Bazacle en fonction du débit de la Garonne.....	104
Figure 68 : Détections des deux saumons sur l'ensemble des antennes du Bazacle en fonction du débit de la Garonne et de la hauteur de chute à l'entrée de la passe à poissons.....	106
Figure 69 : Chronologie des évènements de suivi liés au saumon 48101_12.....	107
Figure 70 : Schéma bilan du devenir des tags prédation acoustiques	109

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des transmetteurs (données fabricant).....	35
Tableau 2 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés	40
Tableau 3 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation.....	48
Tableau 4 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation.....	50
Tableau 5 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude.....	52
Tableau 6 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude (attente fin juin et juillet)	52
Tableau 7 : Coefficients d'hydraulicité du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude	53
Tableau 8 : Bilan historique des effectifs de saumons Atlantique contrôlés à Golfech depuis 1993... 58	
Tableau 9 : résumé du nombre de silures et des pourcentages associés à la présence de saumons 59	
Tableau 10 : Evolution du taux de transfert des saumons sur la Garonne entre Golfech et le Bazacle entre 1994 et 2021	62
Tableau 11 : Synthèse des poissons piégés et marqués à Golfech au cours du suivi 2021.....	65
Tableau 12 : Détails des détections des poissons marqués en aval de l'aménagement de Golfech..	67
Tableau 13 : Répartition horaires des 8 configurations d'usine rencontrées au cours de l'étude	71
Tableau 14 : Récapitulatif des incursions réalisées par les poissons marqués dans le canal de fuite de l'usine de Golfech.....	74
Tableau 15 : Détails de prédation concernant les individus n'ayant pas repris de migration vers l'amont	76
Tableau 16 : Détails des configurations d'usine lors des différentes incursions de saumons marqués au pied de l'usine de Golfech.....	78
Tableau 17 : Détails des délais de présentation à l'ASP après le lâcher de chaque poisson et temps de blocage en aval de celui-ci.....	80
Tableau 18 : Détails des détections radio à l'entrée 1 et à l'entrée 2 de l'ascenseur en fonction des configurations d'usine.....	81
Tableau 19 : Détails de la répartition des détections radio lorsque le G3 fonctionne et lorsqu'il est à l'arrêt.....	82
Tableau 20 : Détails des détections acoustique à l'entrée 1 et à l'entrée 2 de l'ascenseur en fonction des configurations d'usine.....	86
Tableau 21 : Nombre de détections brutes* à chaque antenne RFID au niveau de l'ASP.....	87
Tableau 22 : Détails des différentes incursions de saumons marqués au niveau des antennes RFID des entrées 1 et 2 de l'ascenseur	88
Tableau 23 : Détails de prédation concernant les 3 individus prédaté en dévalaison après avoir atteint l'aval du barrage de Golfech	91
Tableau 24 : Détails de prédation concernant les 3 individus prédaté à proximité du complexe Malause/Golfech	91

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Vue aérienne du barrage de Malause (source : EDF).....	16
Photo 2 : Vue aval RD du barrage de Malause (source : malause.fr)	16
Photo 3 : Vue aval du barrage-usine de Golfech	16
Photo 4 : Vue aérienne du barrage-usine de Golfech et du canal d'amenée (source : EDF).....	16
Photo 5 : Vue de l'ascenseur à poisson et du canal de transfert.....	17
Photo 6 : Nouveau système anti-retour au niveau de l'entrée 1	18
Photo 7 : Système de grille anti-retour du bassin de stabulation	18
Photo 8 : Vitre de la station de contrôle au niveau du canal de transfert de Golfech	20
Photo 9 : Partie aval de la passe à anguilles	20
Photo 10 : Partie amont de la passe à anguilles	20
Photo 11 : Vue aérienne du barrage du Bazacle au cœur de Toulouse (source Géoportail).....	22
Photo 12 : Vue de la passe à bassins du Bazacle	24
Photo 13 : Vue de la passe à ralentisseurs du Bazacle	24
Photo 14 : Vue aérienne de l'usine et de la passe à bassins de la centrale du Ramier	26
Photo 15 : Turbine VLH (source : MJ2 Technologies)	27
Photo 16 : Vue aval de l'aménagement de la Cavaletade (source : MJ2 Technologies)	27
Photo 17 : Vues des bassins de la passe à poissons avec implantation des rugosités de fond (source : Farcimar).....	27
Photo 18 : Bâche en forme de civière utilisée pour l'anesthésie des poissons	30
Photo 19 : Tag RFID de 32 mm et son pistolet de marquage.....	31
Photo 20 : Incision au scalpel sur le flanc du poisson.....	31
Photo 21 : Insertion du tag à l'aide d'une pince plate	31
Photo 22 : Marquage avec un émetteur radio par insertion stomacale	32
Photo 23 : Lâcher d'un saumon marqué dans le vivier flottant	32
Photo 24 : Vue subaquatique d'un saumon marqué au moment de son lâcher	32
Photo 25 : Transmetteur acoustique	35
Photo 26 : Exemples d'installation d'hydrophone avec son lest	36
Photo 27 : Emetteur radio (1) utilisé pour le marquage des saumons atlantiques adultes [tag acoustique (2) et tag RFID (3)]	40
Photo 28 : Exemples d'installation de récepteur-enregistreurs utilisés à Golfech (à gauche) et au Bazacle (à droite)	41
Photo 29 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine du Ramier.....	44
Photo 30 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine du Ramier	44
Photo 31 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade	45
Photo 32 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade	45
Photo 33 : Type de marque utilisée (PIT-Tag).....	45
Photo 34 : Coffrets d'enregistrement CIPAM	45

Photo 35 : Antenne GO10000 à l'entrée 1 de l'ascenseur	47
Photo 36 : Antenne GO20000 à l'entrée 2 de l'ascenseur	47
Photo 37 : Nouvelle antenne RFID, installée entre l'entrée 1 et l'entrée 2 de l'ascenseur à poissons. 48	
Photo 38 : Antenne BA10000, au niveau de l'entrée de la PAB	49
Photo 39 : Antenne BA20000 (vue depuis l'amont)	49
Photo 40 : Récepteur acoustique de type VR100 de marque Vemco (source : Innovasea)	50
Photo 41 : Contrôle à la station vidéo du Bazacle du saumon 48101_12 le 30 mai à 09h07.....	103

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Descriptif global des stations d'enregistrement (Radio/Acoustique/RFID).....	115
Annexe B : Abaque des vitesses d'écoulement	116
Annexe C : Zoom sur l'appellation des PK au niveau du secteur de Golfech (PK_GAR et PK_GOL)	117

1. INTRODUCTION

La France possède un potentiel de façade maritime très important, permettant d'accueillir de nombreuses espèces migratrices qui y ont historiquement trouvé les conditions favorables à leur développement. Ainsi, le système fluvio-estuarien Gironde-Garonne-Dordogne est le dernier bassin européen à abriter les huit espèces de poissons migrateurs amphihalins : l'anguille, le saumon atlantique, la truite de mer, l'esturgeon européen, les lamproies marine et fluviatile, la grande alose et l'alse feinte.

Depuis plus d'un siècle, en France, les cours d'eau ont été fortement anthropisés par l'Homme, réduisant ainsi de manière constante les aires de répartition des poissons migrateurs et empêchant de ce fait les grands migrateurs amphihalins d'accomplir leurs cycles biologiques. Cette régression s'est accélérée avec le temps, entraînant la diminution importante des populations de migrateurs, notamment le saumon atlantique (*Salmo salar*, L.), voire leur disparition sur certains bassins hydrographiques dont la Garonne et la Dordogne.

Parmi les causes explicatives, l'un des principaux facteurs est l'édification d'obstacles à la libre circulation piscicole (barrages, seuils) sur les axes migratoires. L'impact de ces ouvrages sur ces populations a éclipsé jusqu'ici très largement celui de la pollution des eaux ou des prélèvements par la pêche. Ces obstacles sont la cause de disparition de stocks entiers (GOSSET et al., 1999). La majorité des espèces de grands migrateurs amphihalins sont ainsi aujourd'hui en danger et sont inscrites à ce titre sur la liste rouge des espèces menacées établie par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, 2010).

A l'échelle de la Garonne, on retrouve des traces de l'exploitation du saumon essentiellement à l'aval de Toulouse dès le moyen âge. L'édification au 12^{ème} siècle de la chaussée du Bazacle à Toulouse semble avoir perturbé la migration vers l'amont du bassin si bien qu'aucune trace d'exploitation notable de l'espèce ne figure en amont (SAGA, 2000). Au 18^{ème} siècle, la rehausse de cette chaussée du Bazacle semble avoir provoqué un blocage radical de la voie de migration vers le haut du bassin. Par la suite, la dérèglementation de la pêche à l'époque révolutionnaire et les impacts anthropiques de l'ère industrielle conduiront à une raréfaction critique du saumon sur le bassin (SAGA, 2000).

A la vue de la diminution des stocks, la première mesure prise pour tenter d'enrayer cette baisse, a été la construction d'une passe à poissons au Bazacle en 1868. Des tentatives de repeuplement, effectuées au cours de la première partie du 20^{ème} siècle, permettent le retour des géniteurs sur Toulouse et leur reproduction au niveau du pont des Catalans. Le saumon se raréfie à nouveau par la suite avec l'arrêt des repeuplements (SAGA, 2000).

Dans ce contexte de blocage vers l'amont, le positionnement très en aval sur l'axe migratoire des ouvrages du complexe Malause-Golfech attribue à ces sites une grande importance écologique, notamment par leur contrôle de l'accès à l'ensemble des habitats de reproduction disponibles pour l'espèce. La construction du barrage de Malause (et la mise en service de l'usine hydroélectrique de Golfech) au début des années 70 bloque définitivement tout accès des saumons aux habitats de reproduction et de grossissement présents à l'amont sur le bassin.

En 1975, un programme de restauration des populations de grands migrateurs dans les rivières françaises a été initié par le Ministère de l'Environnement afin de rétablir la libre circulation vers l'amont et de permettre aux grands migrateurs anadromes d'accéder à nouveau aux zones de reproduction. Ce plan s'est notamment traduit, à partir des années 1980, par une politique de grands travaux et par la construction de dispositifs de franchissement sur certains ouvrages. La construction d'un ascenseur au niveau de l'usine de Golfech (associée au barrage de Malause), en 1986, ouvre partiellement la voie pour les populations en migration vers l'amont de la Garonne. A cela s'ajoute en 1993 le lancement

d'actions de réintroduction du saumon dans le cadre du « Plan de restauration du saumon atlantique dans la Garonne ».

Parallèlement aux programmes de restauration, on assiste à une prise de conscience aux niveaux européen et français pour un des enjeux majeurs de la conservation du patrimoine écologique et halieutique que représente les poissons migrateurs amphihalins. L'importance de cette problématique est en adéquation avec la Directive Cadre européenne sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) qui prévoit notamment le retour au « bon état écologique » des eaux. Pour atteindre cet objectif, le Groupe Migrateurs Garonne a inscrit à son Programme Migrateurs Garonne (déclinaison du Plagepomi 2015-2019) un ensemble d'actions pour répondre aux mesures du Plagepomi et ainsi, à terme, restaurer une population naturelle de saumon atlantique sur le bassin de la Garonne. Les objectifs majeurs de ce programme visent à augmenter le nombre de géniteurs sur les frayères, cerner les causes de la perte de géniteurs entre Golfech et Toulouse, optimiser les conditions de franchissement des barrages ainsi que vérifier la fonctionnalité des habitats de reproduction et de grossissement en relation avec les éclusées et les sédiments.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Depuis la mise en service de l'ascenseur à poissons de Golfech en 1986, le nombre de géniteurs de saumon atteignant les zones de fraie fonctionnelles à l'amont de Toulouse apparaît non satisfaisant. La dernière étude visant à évaluer la franchissabilité de cet aménagement pour le saumon atlantique (2006) a conclu à un taux de franchissement faible et insuffisant, et indiquait la nécessité d'améliorer significativement les performances de l'ascenseur à poissons et de corriger la continuité écologique dans le tronçon court-circuité (CROZE, 2008) (garantir la progression au niveau des différents seuils qui y sont implantés et corriger l'efficacité du franchissement du barrage de Malause). Suite à cette étude, une seconde entrée piscicole a été mise en service en janvier 2011 afin d'améliorer l'efficacité du dispositif de montaison. Dans un second temps, le fonctionnement du débit d'attrait total et de la régulation des 2 entrées a été précisé progressivement pour être stabilisé à partir de 2014 (CARRY et al. 2015). La largeur de la fente du système anti-retour au niveau de la nasse de l'ascenseur a également été réduite à environ 35 cm, afin de limiter les ressorties des poissons du bassin de stabulation et un système anti-retour au niveau du génie civil de l'entrée 1 a été mis en place en janvier 2020 pour limiter les ressorties des poissons (l'intérêt d'un système identique au niveau de l'entrée 2 reste à évaluer). Concernant le TCC, les seuils intermédiaires sont équipés de passes de conception ancienne et la montaison des poissons n'est actuellement pas possible au niveau du barrage de Malause, les écluses Borland présentes au niveau du barrage n'étant pas fonctionnelles. Ces difficultés de franchissement sont toutefois en cours d'amélioration avec 1) la mise en service, début 2022, d'une rivière de contournement en rive droite du barrage de Malause et 2) une réflexion sur l'équipement ou l'arasement des différents seuils du TCC.

Depuis la mise en place de l'ensemble de ces mesures, le nombre de poissons franchissant l'obstacle ne s'est pas significativement amélioré, tout comme le taux de transfert vers le Bazacle. Ainsi, le programme de réintroduction du saumon atlantique sur la Garonne fait actuellement l'objet d'évolutions. La nouvelle stratégie consiste à concentrer les efforts de restauration sur l'axe Ariège, avec un abandon progressif de l'axe Garonne (arrêt du transport des géniteurs sur la Garonne amont depuis Carbonne et arrêt des repeuplements).

Le nouveau cahier des charges prévoit la mise en place d'opérations de capture-transport des géniteurs depuis Golfech jusque vers l'Ariège amont (secteur de Varilhes) de manière à y favoriser une reproduction naturelle significative. En parallèle, afin de trouver des solutions au faible taux de transfert des saumons constaté jusqu'à présent entre Golfech et Toulouse et à terme pouvoir arrêter les opérations de capture-transport sur l'Ariège, différentes études ont été lancées. Parmi celles-ci, la présente étude a pour but de cibler un secteur d'étude allant de l'aval de Golfech jusqu'à l'amont du Ramier afin 1) **d'évaluer l'efficacité pour le saumon atlantique des dispositifs de franchissement de Golfech, du Bazacle et du Ramier sur la Garonne** et 2) **d'analyser le taux de transfert des saumons entre les aménagements de Golfech et du Bazacle.**

Parallèlement à l'efficacité des ouvrages de montaison, depuis plus d'une décennie, de nombreuses observations au niveau de l'aménagement de Golfech ont montré que le comportement des silures, en aval de l'ouvrage et au niveau du canal de transfert, perturbait la migration des saumons (prédation et effarouchement). En 2016, une étude spécifique a été menée sur les interactions « silures – saumons » et l'installation d'une caméra BlueView à la sortie du canal de transfert a montré que 30% des saumons contrôlés se sont fait prédater cette année-là en amont de la vitre de contrôle (14 individus n'ont pas pu sortir du dispositif sur 43 contrôlés) et que de nombreux silures « spécialisés » reviennent dans le dispositif de franchissement pour se nourrir. Depuis cette étude, une gestion limitant la présence des silures dans le canal de transfert a été accompagnée de quelques aménagements (nasse anti retour). Ces mesures ont permis de résoudre en partie les problèmes de prédation dans le canal de transfert mais sans pour autant résoudre les faibles taux de transfert observés pour les saumons.

En termes d'objectif, il n'apparaît pas possible de dissocier l'analyse de l'efficacité des dispositifs de franchissement et l'étude des impacts du silure par prédation et /ou effarouchement. En effet, les silures semblent présents au pied des obstacles visés par l'étude ou bien s'y présentent au moment de la fenêtre de migration des saumons. Par conséquent, le protocole de l'étude englobera également **les éventuels impacts du silure par prédation et/ou effarouchement** sur la migration et la progression des saumons.

Ainsi au final, l'étude visera dans un premier temps à évaluer :

- **Le taux de franchissement au niveau de l'aménagement de Golfech/Malause** (combinaison de l'efficacité de l'ascenseur à poissons et de la rivière de contournement au barrage avec l'impact des silures),
- **Le taux de transfert au niveau du canal d'aménée et de la retenue de Golfech-Malause** (jusqu'à Belleperche).

Dans un deuxième temps, l'étude évaluera également :

- **Le taux de transfert entre Belleperche et le Bazacle** (secteur de Garonne libre),
- **Le taux de franchissement au niveau des aménagements du Bazacle, puis du Ramier et de la Cavaletade.**

Cette hiérarchisation des objectifs de l'étude est proposée ici dans le but de cibler les zones sensibles mises en évidence lors des suivis du début des années 2000 (2002 à 2006) et là où des mesures ont été mises en place depuis mais sans évaluation concrète (cas de la 2^{ème} entrée de l'ascenseur de Golfech, installation de l'anti-retour à l'entrée 1, etc...). De plus, il est possible que le nombre de poissons atteignant le Bazacle et le Ramier soit plus réduit en raison de la perte en ligne tout au long du parcours étudié. De ce fait, l'évaluation des objectifs secondaires (évaluation des taux de montaison au niveau des aménagements du Bazacle, du Ramier et de la Cavaletade) sera probablement moins précise.

Pour atteindre les différents objectifs de l'étude, il est donc proposé de réaliser un suivi des déplacements des saumons par télémétrie. Sur l'ensemble du secteur étudié, 3 techniques de télémétrie seront utilisées simultanément (radio/acoustique/RFID), profitant des avantages de chacune en fonction des éléments souhaités (petite ou grande zone d'enregistrement, utilisation de tag prédation, autonomie des stations d'enregistrement en énergie, etc...). Ainsi les données de localisation des poissons et leurs déplacements pourront être analysées en fonction des conditions environnementales observées.

En complément de la présente étude, **une seconde étude a été menée en parallèle afin d'étudier la morphologie du tronçon Malause-Bazacle**. L'objectif de ce volet est de caractériser les conditions hydromorphologiques de migration du saumon en s'appuyant sur l'évaluation de la qualité des habitats de repos et celle des conditions hydrauliques de franchissement (disponibilité et qualité des zones de repos et/ou secteurs difficilement franchissables). En 2021, des actions additionnelles (sectorisation, caractérisation de vitesse) ont été menées afin de compléter le bilan réalisé en 2020 (ECOGEA, 2021).

3. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

3.1 Le bassin de la Garonne



Figure 1 : Situation géographique du bassin Garonne-Dordogne et localisation des stations de contrôle MI.GA.DO sur la Garonne (Golfech, Bazacle et Carbonne)

Le système fluvio-estuarien Gironde-Garonne-Dordogne, situé dans la partie sud-ouest de la France, comprend deux axes principaux, la Garonne et la Dordogne, qui se rejoignent au Bec d'Ambés pour former l'estuaire de la Gironde.

La Garonne, longue de 525 km, prend sa source dans les Pyrénées espagnoles au Val d'Aran, dans le Massif de la Maladetta et entre en France à Pont-du-Roi (Haute-Garonne). La surface du bassin versant est de 29 500 km². Si on inclut les principaux affluents (Lot, Tarn, Aveyron, Ariège), son linéaire total est de 1.850 km (dont 50 km en Espagne) pour une surface de 56 000 km². Le module interannuel au niveau de l'usine de Golfech est de 391 m³/s.

Les principaux affluents de la Garonne sont, de l'amont vers l'aval, l'Ariège, puis les affluents issus du Massif Central, que sont le Tarn (gros par l'Agout et l'Aveyron) et le Lot. Un certain nombre d'aménagements hydroélectriques érigés sur tous ces principaux axes condamnent l'accès à une partie importante des habitats.

Le régime d'alimentation hydrique est de type nivo-pluvial jusqu'à Toulouse, puis devient progressivement pluvio-nival en aval de cette ville.

Le Tarn, long de 380 km, prend sa source au mont Lozère, à plus de 1560 m d'altitude et vient se jeter dans la Garonne en aval de Moissac (82), quelques kilomètres en amont du barrage de Malause. Le module du Tarn (débit moyen annuel) à son embouchure avec la Garonne est de 233 m³/s. Le seuil le plus en aval sur la rivière se situe à Sainte Livrade (82), quelques kilomètres à peine avant la confluence avec la Garonne.

3.2 L'aménagements hydroélectrique de Malause-Golfech

L'aménagement hydroélectrique de Golfech, est situé sur la Garonne, à environ 270 km de l'océan. On le trouve en aval de la confluence Garonne-Tarn et en amont de la confluence Garonne-Lot. L'aménagement est situé à une vingtaine de kilomètres à l'amont de la ville d'Agen. L'usine hydroélectrique se trouve sur la commune de Golfech, dans le département du Tarn-et-Garonne (82), en rive droite de la Garonne et à proximité du Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Golfech (Figure 2).

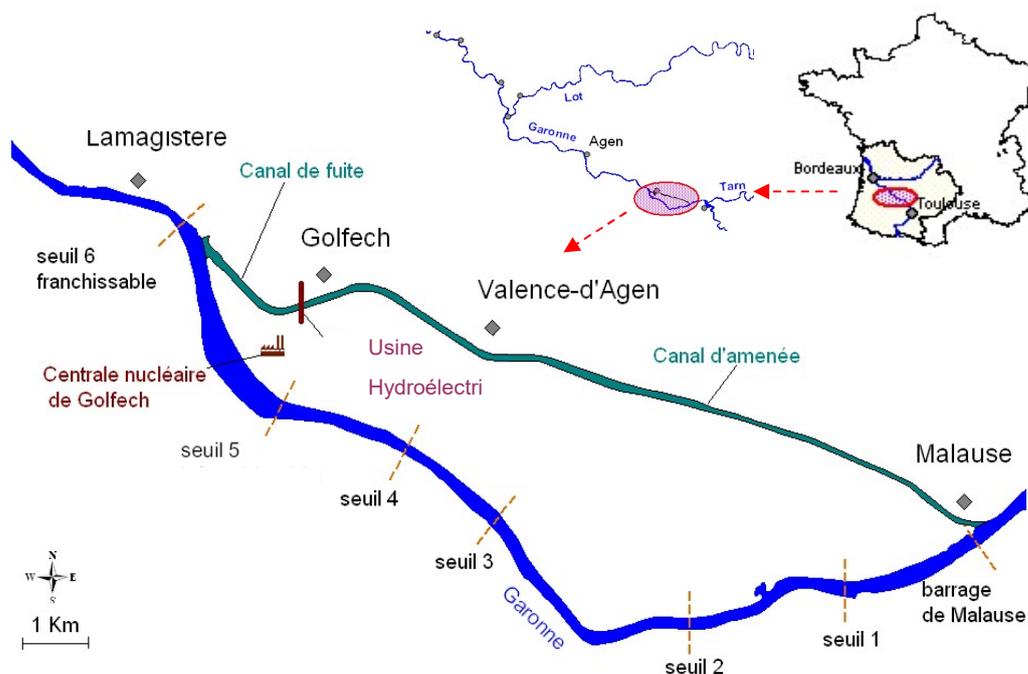


Figure 2 : Localisation du site d'étude : Malause-Golfech

Cet ouvrage est rattaché au Groupement d'Usine EDF de Golfech et au Groupement d'Exploitation Hydraulique Tarn-Agout.

L'édification et la mise en service du complexe hydroélectrique de Golfech date de 1972. L'ouvrage est le second obstacle depuis la mer pour les poissons en migration de montaison, le premier étant le seuil de Beaugard situé au niveau d'Agen (à ce jour, ce seuil est partiellement détruit). La situation de cet ouvrage, très en aval du bassin, ampute l'aire de migration de plusieurs centaines de kilomètres sur le fleuve et ses principaux affluents (Tarn, Aveyron).

L'aménagement hydroélectrique EDF de Malause-Golfech se compose d'un barrage mobile haut de 10 m (Photo 1), situé à Malause (82) juste en aval de la confluence du Tarn, court-

circulant une quinzaine de kilomètres de la Garonne. Ce barrage, de type mobile en rivière, est constitué de 6 passes de 25 m de large (déversement max. par vanne : 900 m³/s), équipées chacune d'une vanne segment surmontée d'un clapet (déversement max. par clapet : 175 m³/s) (Photo 2). La superficie de la retenue créée est de 420 ha pour un volume de 15 hm³ environ.



Photo 1 : Vue aérienne du barrage de Malause
(source : EDF)



Photo 2 : Vue aval RD du barrage de Malause
(source : malause.fr)



Photo 3 : Vue aval du barrage-usine de Golfech



Photo 4 : Vue aérienne du barrage-usine de Golfech et du canal d'amenée
(source : EDF)

Le barrage alimente une prise d'eau pouvant acheminer 650 m³/s, par un canal de 10,6 km de long (Figure 2 et Photo 4), qui transite rive droite vers l'usine hydroélectrique de Golfech. L'usine est équipée de trois groupes bulbes turbinant un débit maximal de 540 m³/s (puissance de 69 mégawatts), soit 1,38 fois le module de la rivière à Lamagistère. On trouve également un clapet en rive gauche de l'usine, de 4,5 m de haut et 10 m de large, débitant au maximum 180 m³/s. Il constitue un organe de sécurité en cas de déclenchement d'un groupe et favorise l'évacuation des corps flottants en cas de besoin. La chute brute à l'usine, en condition d'étiage, est de 17 mètres (Photo 3). Le débit turbiné est restitué par un canal de fuite d'environ 2 km, rejoignant la Garonne en amont immédiat de Lamagistère (82). Dans ce canal de fuite se trouve la prise d'eau pour le refroidissement du CNPE de Golfech (2 x 1300 mégawatts).

Le tronçon de Garonne court-circuité (TCC) mesure environ 15 km.

Le débit réservé dans le bras naturel de la Garonne est de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ du 15 octobre au 14 juin et de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ entre le 15 juin et le 14 octobre. La restitution de ce débit est assurée par un groupe Kaplan à axe vertical (distributeur et pâles fixes, puissance 680 kW) qui délivre un débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Le complément de débit est alors réalisé par l'un des clapets du barrage.

3.2.1 Dispositifs de franchissement du complexe Malause-Golfech

3.2.1.1 Ascenseur à poissons

À la construction du complexe, le barrage de Malause a été équipé de deux passes à poissons de type écluse Borland, qui se sont révélées inefficaces (BELAUD et LABAT, 1992), en particulier du fait de l'inaccessibilité des orifices d'entrée par suite de l'érosion rapide du lit en aval. Le débit majoritaire provenant du canal de fuite, c'est à l'usine et non au barrage de Malause que se posent régulièrement les problèmes de blocage des poissons migrateurs. Dès 1981, des opérations de capture des migrateurs à l'aval de l'usine et de transfert manuel en amont ont été conduites de façon à examiner les possibilités de recolonisation des frayères amont (TRAVADE *et al*, 1992). En parallèle à ces actions, EDF a initié des études destinées à examiner la faisabilité d'un ouvrage de franchissement à l'usine de Golfech.



Photo 5 : Vue de l'ascenseur à poisson et du canal de transfert

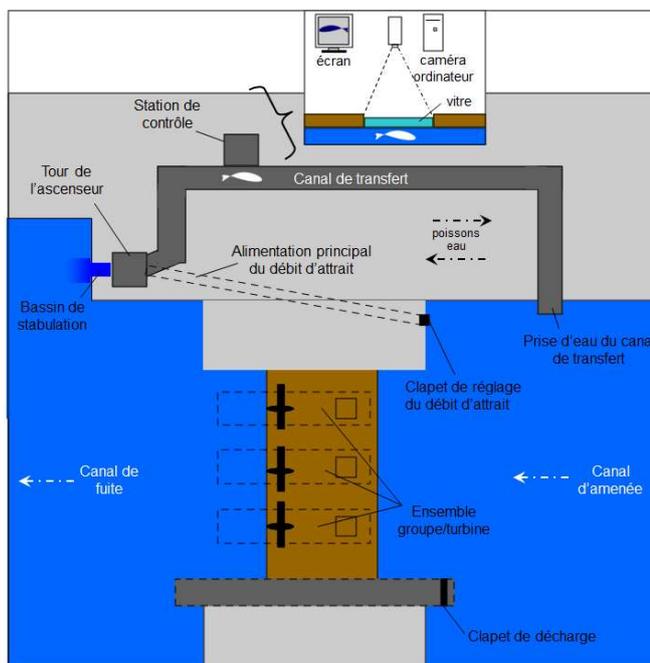


Figure 3 : Schéma en vue aérienne du site hydroélectrique de Golfech.

(Source MI.GA.DO., modifié)

Ce dispositif de franchissement devait être utilisable par l'ensemble des poissons migrateurs présents en Garonne (alose, saumon, truite de mer, lamproie, anguille). Le choix s'est porté vers la solution de l'ascenseur dont l'intégration dans le site semblait par ailleurs poser moins de problèmes que celle d'une passe classique (TRAVADE *et al*, 1992). La construction a débuté en 1986 et la mise en service a été faite courant 1987.

Le principe de l'ascenseur à poissons (Photo 5 et Figure 3) est un système mécanique qui consiste à capturer les poissons au pied de l'obstacle dans une cuve contenant une quantité d'eau appropriée à leur nombre, puis à remonter cette cuve et à la déverser en amont.

Il se compose initialement d'une partie basse assurant l'attraction (via une seule entrée délivrant un débit d'attrait de 3 à 5 m³/s et une chute d'eau de 20 à 40 cm), la capture et la stabulation des poissons, d'une partie intermédiaire (la tour) supportant le dispositif de relevage de la cuve (volume de 3,3 m³) et d'une partie haute (le canal de transfert) assurant le transit des poissons vers le canal d'amenée.

L'entrée piscicole historique (entrée 1) mesure 1,7 m de large et la hauteur d'eau au niveau du piège est de l'ordre de 2,4 m. Les poissons doivent ensuite passer au travers d'un premier système anti-retour installé en janvier 2020 en amont de la vanne de l'entrée 1. Un deuxième système anti-retour permet de pénétrer dans le bassin de stabulation. Ce système anti-retour est constitué de deux panneaux de grilles (1,5 m x 4,5 m) à barreaux horizontaux espacés de 2.5 cm, formant un V. La largeur de la fente de passage pour les poissons est réglable, initialement réglée à 40 cm, elle est aujourd'hui de 35 cm, qui semble être le réglage optimal pour l'entrée et la non-sortie des poissons. Les vitesses d'écoulement au droit de cette fente, nécessaires pour inciter les poissons à s'y engager, varient entre 0,6 et 1,0 m/s selon le niveau d'eau (COURRET et al., 2020).

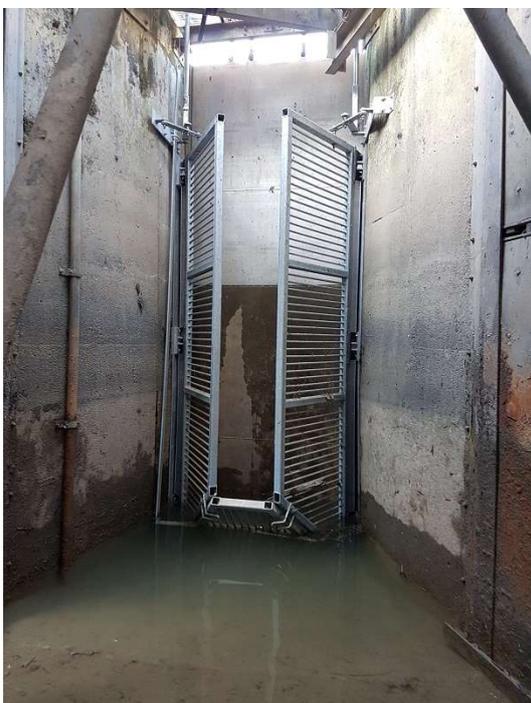


Photo 6 : Nouveau système anti-retour au niveau de l'entrée 1



Photo 7 : Système de grille anti-retour du bassin de stabulation

Le bassin de stabulation, long de 9 m et large de 2,5 m présente une profondeur variant de 1.5 m à 4.5 m selon le niveau d'eau. L'alimentation en eau de ce bassin s'effectue au travers de grilles verticales situées en amont du bassin et sur ses parois latérales (barreaux circulaires de 1 cm de diamètre, espacés de 2.5 cm). La cuve de l'ascenseur est intégrée dans une fosse située à l'extrémité amont du bassin de stabulation (2.5 m x 2.0 m x 2.0 m).

A pas de temps réguliers, le système de grille anti-retour du bassin de stabulation se referme, puis pousse les poissons vers l'amont pour les concentrer au-dessus de la cuve. La cuve est ensuite remontée afin de déverser les poissons dans le canal de transfert vers l'amont. Ce pas de temps entre 2 cycles de piégeage peut varier entre 20 minutes et 2 heures, et est adapté, selon la période, aux quantités de poissons en migration. Le réglage le plus courant en période de forte migration est de 30 minutes. Le fonctionnement de l'ouvrage de montaison, entièrement automatique, est régulé par un automate programmable assurant

d'une part les fonctions mécaniques (mouvement de la grille de capture et de concentration des poissons, levage et déversement de la cuve) et la régulation de l'alimentation en eau d'autre part (vitesse dans le canal de transfert, hauteur de chute aux entrées de l'ascenseur, etc...).

En 2011, une deuxième entrée a été créée au niveau de l'ascenseur à poissons afin d'optimiser le franchissement de l'usine hydroélectrique (Figure 4). Cette entrée est située au droit de la sortie des groupes de l'usine. Cette seconde entrée présente également une largeur de 1,7 m. Le débit d'attrait total du dispositif, réparti à peu près équitablement entre les 2 entrées, est maintenant d'environ $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en fonction du niveau d'eau aval de la Garonne. Ces valeurs représentent environ 2 à 3 % du débit turbiné par l'usine en condition de bas débits et 1.5 % du débit turbiné maximal (COURRET et al., 2020). De plus, la chute au niveau des entrées demeure régulée à une valeur de l'ordre de 25 cm.

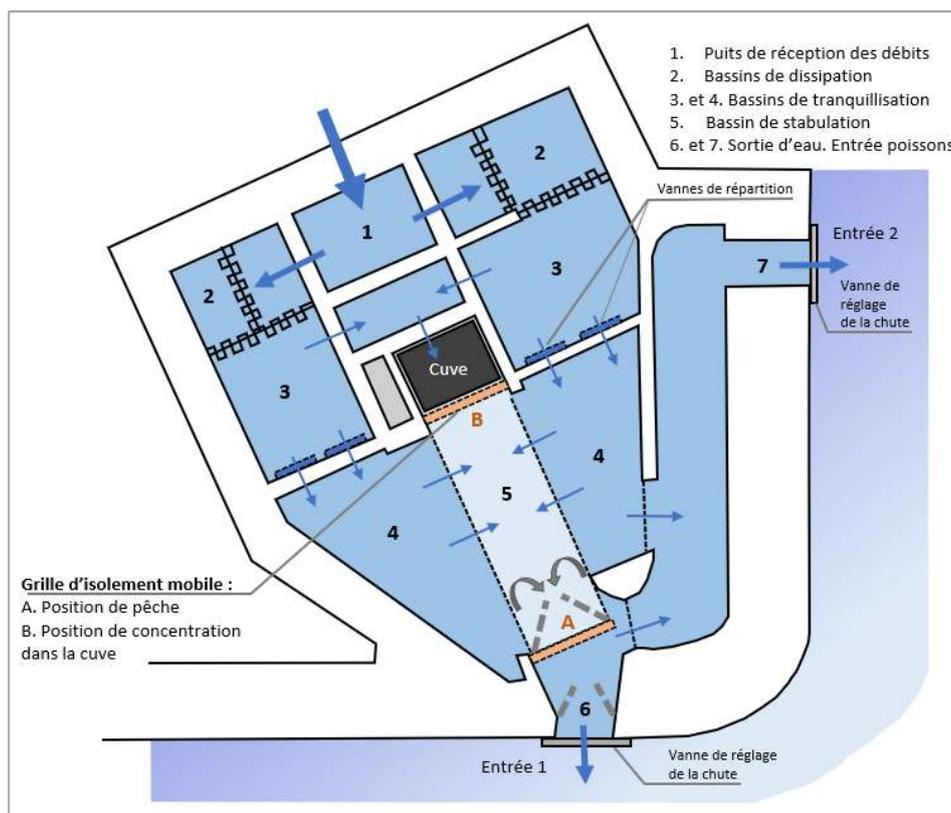


Figure 4 : Schéma de la partie basse de l'ascenseur de Golfech et de son fonctionnement (modifié d'après TRAVADE et al., 1992)

Le dispositif de franchissement est équipé, depuis 1992, d'une station de comptage vidéo. Les poissons sont filmés dans le canal de transfert au niveau d'une vitre (Figure 3 - Photo 8). Un logiciel permet ensuite de dépouiller manuellement les séquences enregistrées. Ce système fonctionne 24h/24h et toute l'année, ce qui permet de connaître en temps réel le nombre exhaustif de poissons et d'espèces qui empruntent le dispositif de franchissement.



Photo 8 : Vitre de la station de contrôle au niveau du canal de transfert de Golfech

3.2.1.2 Passe à anguilles

Avant 2002, une partie des effectifs d'anguillettes transitait par l'ascenseur et ne pouvait être évaluée. Au cours de l'année 2002, une rampe expérimentale à anguilles est mise en service. Elle se situait dans l'enceinte de l'ascenseur à poissons au niveau de la partie basse, ce qui lui permettait de profiter du débit d'attrait de l'ascenseur à poissons. Longue de 10 m pour 30 cm de large et inclinée de 35°, ce dispositif, était équipé de brosses plastiques facilitant la reptation de l'anguille. A l'amont de la rampe, un bac vivier de 1m³ permettait de réceptionner les anguillettes empruntant la passe.



Photo 9 : Partie aval de la passe à anguilles



Photo 10 : Partie amont de la passe à anguilles

En fin d'année 2007 (effective pour la migration de 2008), la passe expérimentale à anguille a été agrandie (Photo 9 et Photo 10). La nouvelle passe mesure 40 m de long et permet de franchir le dénivelé total du barrage de Golfech, soit 17 m de haut et surtout de manière autonome (avec la passe expérimentale, les anguilles devaient être déversées manuellement dans le canal de transfert). Les éléments de la passe spécifique sont également recouverts d'un grillage métallique empêchant la prédation et le dérangement par les oiseaux lors de l'ascension. Pour assurer une ascension complète vers l'amont, le parcours est constitué de

deux parties avec un bassin tampon intermédiaire de 4 m³ empêchant une éventuelle dévalaison. A l'amont du dispositif, les anguilles tombent dans un compteur à anguilles (développé par la société Hizkia) qui permet le comptage des individus. Ensuite les anguilles sont déversées directement dans le canal de transfert.

Pour favoriser l'entrée des anguilles dans l'enceinte de l'ascenseur, le débit d'attrait est coupé une nuit sur 2, durant une partie de la nuit (de 23h à 4h en 2018 ; CARRY et al. 2019). La chute au niveau des entrées est ainsi réduite en absence du débit d'attrait.

3.2.1.3 Dévalaison

Concernant la dévalaison, aucun dispositif spécifique n'existe pour le moment sur le site de Golfech, que ce soit au niveau du barrage de Malause, comme à l'usine de Golfech. A noter toutefois qu'à partir de l'automne 2020, des essais de turbinage partiels à l'usine de Golfech ont été mis en œuvre pour permettre la dévalaison par le barrage des anguilles en migration. L'évaluation de l'efficacité de cette mesure de gestion est encore en cours (FREY et LAGARRIGUE, 2020 et 2021).

3.3 Aménagements hydroélectriques du secteur de Toulouse

3.3.1 Chaussée du Bazacle (RD+RG)

La digue du Bazacle est distante d'environ 100 km en amont du barrage de Golfech et se situe à environ 370 km de la mer. Le module de la Garonne à ce niveau est de l'ordre de 190 m³.s⁻¹. Le barrage du Bazacle se présente sous la forme d'un barrage-usine (usine au fil de l'eau, sans tronçon court-circuité) localisé au cœur de la ville de Toulouse. La chaussée mesure 270 m de longueur (Photo 11) et la chute entre les niveaux d'eau amont et aval de la digue est de 5,3 m à l'étiage (niveau amont à la cote RN de 132.40 m NGF et niveau aval à 127.10 m NGF). Pour un débit de 600 m³.s⁻¹ (soit 3 fois le module), la hauteur de chute est de 4,85 m (niveau amont à la cote RN de 133.40 m NGF et niveau aval à 128.55 m NGF) (COURRET et al., 2020).

Une centrale hydroélectrique d'E.D.F. est implantée en rive droite. Le débit d'exploitation est de 90 m³.s⁻¹ soit 47 % du module, pour une puissance maximale de 3000 KW. L'usine est équipée de 7 turbines Francis pouvant turbiner de 10 à 14 m³.s⁻¹. En rive gauche, une centrale souterraine est exploitée par un producteur autonome, avec un débit d'équipement de 10 m³.s⁻¹, soit 5% du module. Outre les deux usines hydroélectriques, le seuil permet également d'alimenter le canal de Brienne, dont la prise d'eau se situe en rive droite (1 m³.s⁻¹), quelques centaines de mètres en amont du barrage.



Photo 11 : Vue aérienne du barrage du Bazacle au cœur de Toulouse (source Géoportail)

3.3.1.1 Passes à poissons

Pour rétablir les possibilités de montaison des poissons, une passe à bassins successifs (à fentes verticales) a été construite en 1989 en rive droite de l'usine hydroélectrique d'E.D.F. (Figure 5 et Photo 12), considérée comme le principal point d'attrait des poissons en montaison. La passe comporte 16 bassins de 2,5 à 3,5 m de long avec une hauteur d'eau moyenne de 1,8 m (volume d'environ 15,75 m³). La chute entre les bassins est de 30 cm et la largeur des fentes est de 40 cm (avec une charge de 1,30 m à l'étiage et une pelle au fond de 0,65 m). La largeur de l'entrée de la passe est de 2,0 m. La chute au niveau de l'entrée piscicole est réglée par une vanne asservie (consigne enregistrée à 25 cm). Le débit dans la passe à bassins est compris entre 1 et 1,7 m³.s⁻¹ selon le niveau d'eau amont. Un débit d'attrait complémentaire de 2 à 3,2 m³.s⁻¹ selon le niveau d'eau amont est injecté dans le bassin aval. Ainsi, le débit à l'entrée de la passe varie entre 3 à 4,9 m³.s⁻¹ selon les configurations, ce qui représente 1,6 % à 2,6 % du module de la rivière (et 4,4 % à 5,4 % du débit maximum turbiné). Afin de résoudre des situations fréquentes de colmatage de la prise d'eau du débit d'attrait, un nouveau dégrilleur est installé à partir de 2013 et les résultats sont considérés comme satisfaisants (DARTIGUELONGUE, 2019).

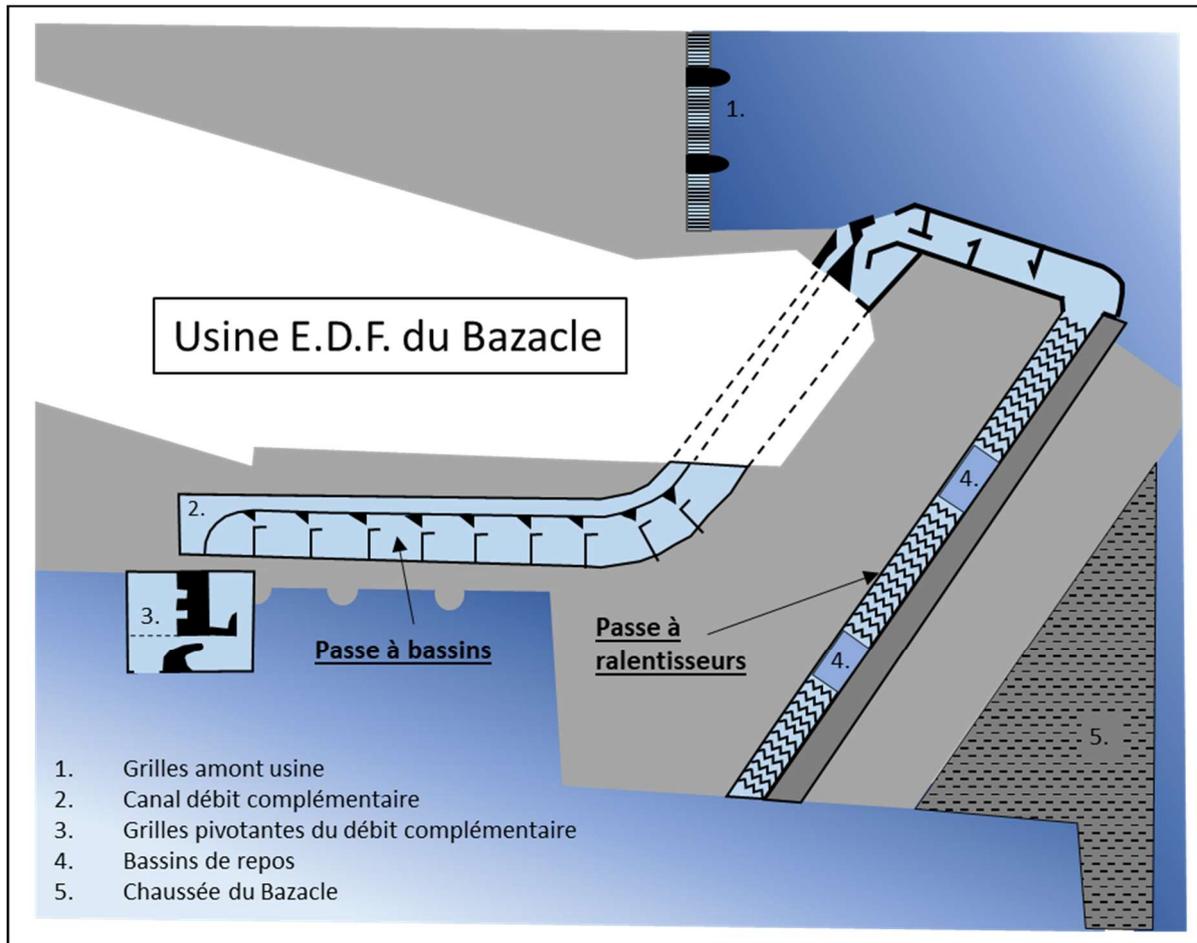


Figure 5 : Schéma d'implantation de la passe à bassins et de la passe à ralentisseurs du Bazacle (d'après DARTIGUELONGUE, 2019)

Cette passe à bassins vient en complément d'une passe à ralentisseurs déjà existante sur le site, mais rénovée également en 1989, située entre la chaussée et l'usine (Figure 5 et Photo 13). La passe à ralentisseurs est composée de 3 volées de ralentisseurs de fond suractifs avec une pente de 16% (2 volées de 11.25 m et une de 7.5 m), entrecoupées de 2 bassins de repos de 4 m de longueur. A l'amont des volées de ralentisseurs, il y a encore 3 bassins. L'écoulement entre ces bassins transite par des orifices noyés (COURRET et al., 2020). Le débit dans cette passe varie entre $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ selon le niveau d'eau amont.

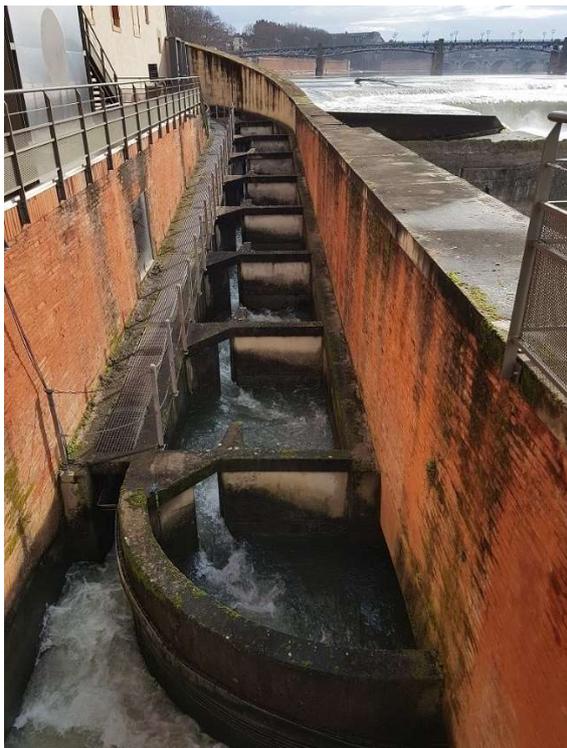


Photo 12 : Vue de la passe à bassins du Bazacle



Photo 13 : Vue de la passe à ralentisseurs du Bazacle

Pour les grands salmonidés, l'ouvrage du Bazacle est un point de passage obligatoire pour pouvoir se reproduire à l'amont du bassin du fait de l'absence de zones de frayères fonctionnelles en aval de l'ouvrage. En même temps que la construction de la passe à bassins, une station de contrôle a été mise en place en 1989 afin d'assurer un suivi continu et homogène de toutes les espèces piscicoles qui empruntent les systèmes de franchissement. Le même système qu'à Golfech est utilisé, à savoir un système vidéo couplé à un logiciel d'analyse d'images (SYSIPAP). Il est donc possible de connaître l'abondance des poissons migrateurs susceptibles de coloniser les zones de reproduction et/ou de grossissement situées en amont de l'obstacle et également de calculer la fraction d'individus issus des comptages de Golfech.

3.3.1.2 Dévalaison

Concernant la dévalaison, aucun dispositif spécifique n'existe pour le moment au Bazacle, aussi bien en rive droite qu'en rive gauche.

3.3.2 Aménagement hydroélectrique du Ramier

L'aménagement hydroélectrique du Ramier se situe également dans l'agglomération toulousaine, en amont de celui du Bazacle. Les deux ouvrages sont distants d'environ 1,6 km. Cet aménagement hydroélectrique conséquent est exploité par la Régie Municipale d'Electricité de Toulouse. Il a été mis en service en 1922 et est exploité actuellement dans le cadre d'une concession depuis le 04/12/1998.

La centrale du Ramier présente un débit maximum turbiné de $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 84% du module de la Garonne ($187 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), et est équipée de 3 groupes Kaplan et 3 groupes Francis de $23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ chacun et de 2 groupes bulbe à hélices de $11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ chacun. **L'espacement des grilles de la prise d'eau est de 7,5 cm (à l'exception du côté droit où il est de 5,6 cm).**

La cote de retenue normale est à 136.77 m NGF et la centrale exploite la chute formée entre le bras rive droite, dit « supérieur », de la Garonne (Figure 6) servant de retenue et de canal d'amenée, et le bras rive gauche, dit « inférieur » constituant le tronçon court-circuité.

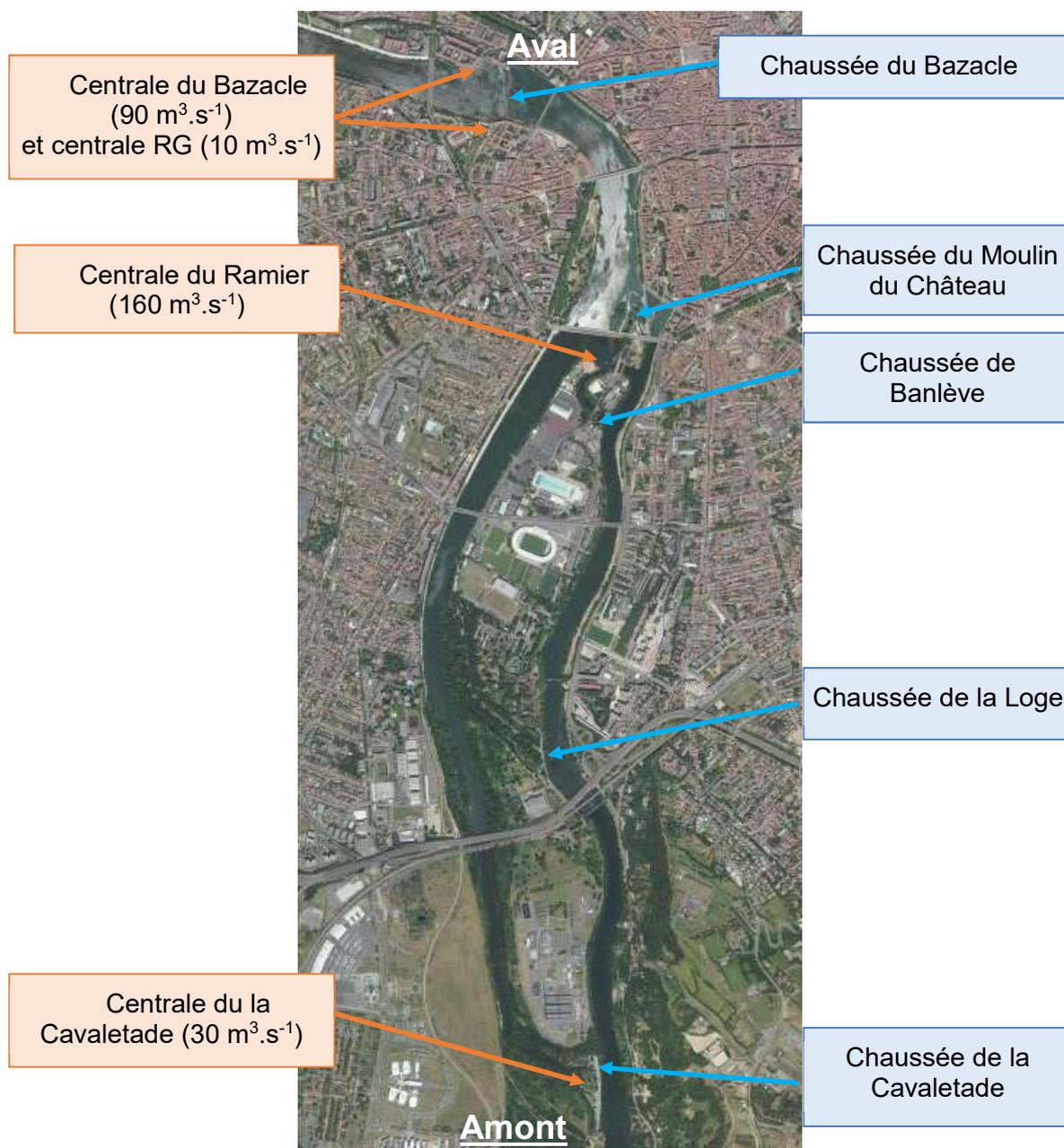


Figure 6 : Vue aérienne globale des deux bras de la Garonne à Toulouse et localisation des différents aménagements hydroélectriques

Les deux bras sont séparés par plusieurs seuils, appelés également « chaussées ». On retrouve donc de l'amont vers l'aval (Figure 6) : la chaussée de la Cavaletade, située 4 km en amont de l'usine (longueur 370 m, cote de déversement 137.22 à 137.38 m NGF), la chaussée de la Loge, située 3 km en amont de l'usine (longueur 45 m, cote de déversement 136.90 m NGF), la chaussée de la Banlève, située à 0.5 km en amont de l'usine (longueur 87 m, cote de déversement 136.9 à 136.80 m NGF) et la chaussée du Moulin du Château, située à 0.7 km en aval de l'usine (longueur 118 m, cote de déversement 136.77 m NGF).

Depuis 2014 et la construction de la centrale hydroélectrique de la Cavaletade (cf. 3.3.1), le débit réservé du bras inférieur est de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (16 % du module), mais ce débit est turbiné. En cas d'étiage sévère, un débit de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ doit être maintenu dans le bras supérieur où se trouve une prise d'eau pour l'alimentation en eau potable et le débit délivré dans le bras inférieur peut être réduit jusqu'à $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.3.2.1 Passes à poissons

Considéré comme le principal point d'attrait des poissons en montaison au niveau du bras inférieur, l'usine du Ramier a été équipée d'une passe à bassins, construite en 1987 (Figure 7 et Photo 14). La chute entre les niveaux d'eau amont et aval de l'usine varie entre 4,4 m pour un débit de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, à 3,37 m pour un débit $700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Le débit dans la passe à bassins varie également entre $1,2$ et $1,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ selon le niveau d'eau amont, entre l'étiage ($40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et $700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Un débit d'attrait variant aussi de $0,2$ à $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est injecté dans le dernier bassin aval. Le débit total en entrée de la passe varie ainsi entre $1,4$ à $3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 3,5 % du débit turbiné en conditions d'étiage ($40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et 2,2 % du débit maximum turbiné ($160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

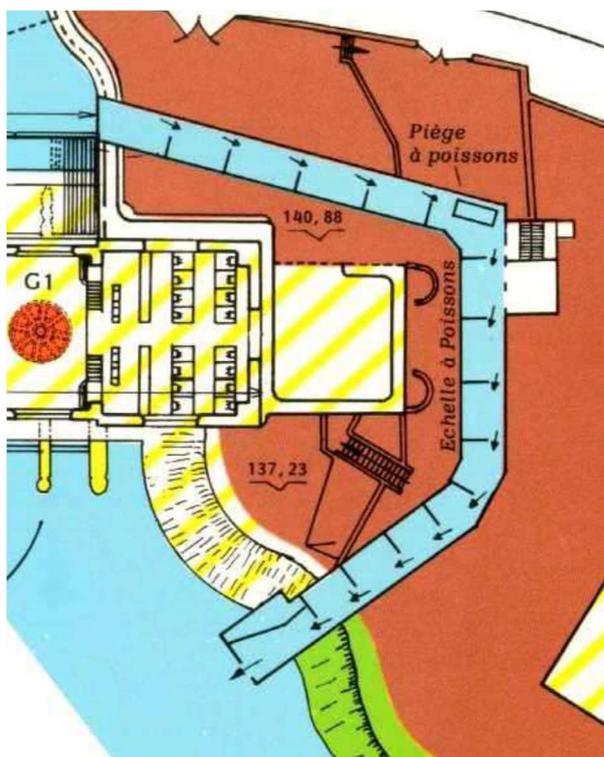


Figure 7 : Schéma de la passe à bassins de la centrale du Ramier

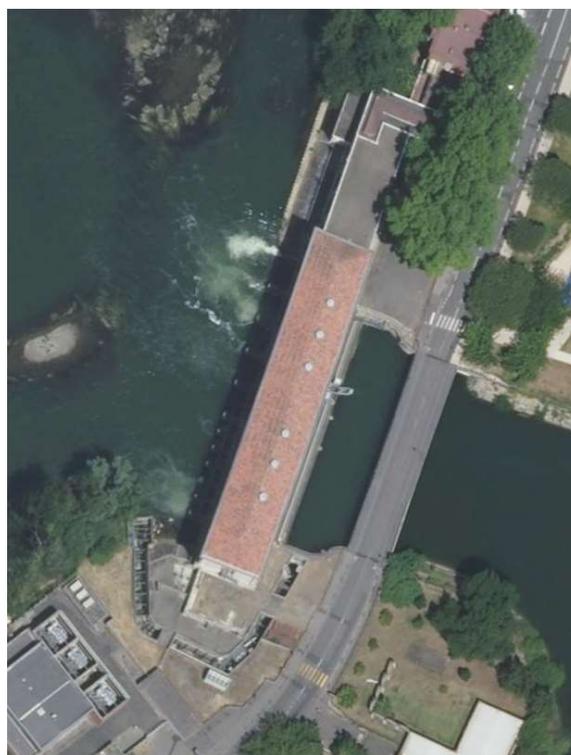


Photo 14 : Vue aérienne de l'usine et de la passe à bassins de la centrale du Ramier

La chute au niveau de l'entrée piscicole n'est pas régulée par une vanne. Ainsi, pour un débit d'étiage de la Garonne ($40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), la chute présente une hauteur importante (de l'ordre de 50 cm) et celle-ci se réduit au fur et à mesure que le débit et le niveau d'eau aval augmentent (de l'ordre de 22 cm au module). La lisibilité du jet issu de la passe est donc très dépendante du débit total de la Garonne et du fonctionnement de la centrale, notamment du groupe n°1, le plus proche de l'entrée.

L'entrée de la passe mesure 1,2 m de large et la passe est composée de 14 bassins successifs (Figure 7 et Photo 14). La dimension des bassins est de 4,5 m de longueur et de 2,5 m de large pour une hauteur d'eau moyenne de 1,65 m (volume de $18,5 \text{ m}^3$). Les bassins possèdent une unique fente de 0,5 m avec une charge de 1,55 m et une pelle au fond de

0,25 m. La chute moyenne entre chaque bassin est d'environ 28 cm et la passe ne possède pas de rugosité au fond des bassins.

3.3.2.2 Dévalaison

3.3.1 Aménagement hydroélectrique de la Cavaletade

La mise en service de l'aménagement de la Cavaletade date de la fin d'année 2014 (Figure 8). La centrale hydroélectrique est équipée de deux turbines VLH (très basse chute) de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dotées d'une puissance nominale de $2 \times 400 \text{ kW}$ (Photo 15). La hauteur de chute turbinée est de 3,33 m.

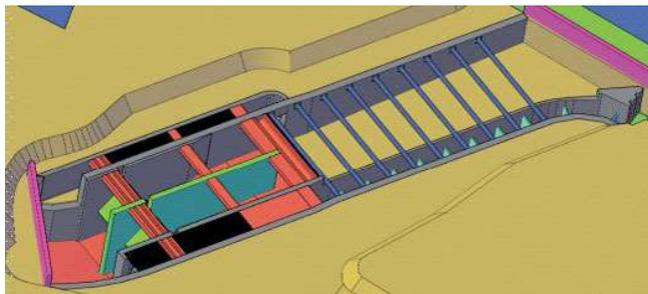


Figure 8 : Schéma d'implantation de la centrale de la Cavaletade (source : Vinci)



Photo 15 : Turbine VLH (source : MJ2 Technologies)

3.3.1.1 Passes à poissons

Au niveau du seuil de la Cavaletade, une passe à bassins à fente verticale a été construite en même temps que la nouvelle centrale, en 2014 (Figure 8). Le débit transitant dans la passe à bassins est de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sans adjonction de débit d'attrait, soit 3.3% du débit turbiné par la centrale ($30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). La chute au niveau de l'entrée piscicole n'est pas régulée par une vanne, mais la cote de déversement est réglable au-dessus de la cote 131.78, par l'insertion d'un batardeau dans des rainures prévues à cet effet.



Photo 16 : Vue aval de l'aménagement de la Cavaletade (source : MJ2 Technologies)



Photo 17 : Vues des bassins de la passe à poissons avec implantation des rugosités de fond (source : Farcimar)

L'entrée de la passe mesure 1,0 m de large et la passe est composée de 17 bassins successifs (Photo 16 et Photo 17). La dimension des bassins est de 3,1 m de longueur et de 3,1 m de large pour une hauteur d'eau moyenne de 1,5 m (volume de $14,4 \text{ m}^3$). Les bassins possèdent une unique fente de 0,4 m avec une fente allant jusqu'au fond et une charge de

1,61 m. La chute moyenne entre chaque bassin est d'environ 22 cm et la passe possède des rugosités au fond des bassins avec la mise en place de petits plots.

3.3.1.2 Dévalaison

Concernant la dévalaison, aucun dispositif spécifique n'a été mis en place sur le site, les turbines VLH étant considérées comme ichtyocompatibles.

Les tests réalisés sur ce type de turbine ont révélé que pour des salmonidés d'une taille de l'ordre d'une vingtaine de centimètres, les mortalités étaient nulles pour des taux d'ouverture de la turbine allant de 50% à 100%. Dans ces conditions, il n'apparaît pas pertinent de mettre en place de dispositifs spécifiques en amont d'une VLH pour des individus présentant des tailles comparables ou inférieures à celles des individus testés (LARINIER & LAGARRIGUE, 2018).

Les résultats obtenus pour les grands individus montrent qu'ils sont susceptibles de subir des dommages faibles mais non négligeables lors de leur transit en dévalaison par une VLH, notamment lorsque l'ouverture de la machine est de l'ordre de 50%. En raison du manque de connaissance sur les rythmes de dévalaison de ces individus en relation avec l'hydrologie, suivant la probabilité de la ou des turbines VLH à fonctionner à ouverture réduite sur le site considéré, la mise en place de grilles présentant un entrefer de l'ordre de 5 cm peut être envisagée dès lors que les enjeux sont avérés (LARINIER & LAGARRIGUE, 2018).

4. MATERIEL ET METHODE

4.1 La période d'étude

Les installations de l'ensemble des stations d'enregistrement ont été réalisées durant l'hiver 2020-21 afin d'être opérationnelles lors des premiers passages de saumon au niveau du piège de Golfech.

Le premier saumon a été contrôlé à Golfech le 28 février 2021. Le piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur a été en fonctionnement du 01 mars au 11 juin 2021 et le premier individu piégé a été capturé le 05 mars pour un transport sur l'Ariège.

Le premier saumon utilisé pour le suivi a été capturé le 31 mars 2021 (soit 10 jours plus tôt qu'en 2020 : 09 avril) et le dernier le 1^{er} juin (04 juin en 2020). La décision a été prise de ne pas poursuivre les marquages au-delà de cette date en raison des températures ayant déjà dépassé les 20°C et des faibles débits rencontrés. Depuis le début des années 2000, la période de mars à juin représente à Golfech 70 % du stock contrôlé (Carry et al., 2020). Lors de ce suivi 2021, le dernier saumon a été contrôlé à Golfech le 20 juin, soit 100 % du stock avant cette date. Le suivi des poissons marqués s'est déroulé jusqu'au 16 juillet. Quelques pointages ponctuels ont été effectués après cette date afin de confirmer la localisation de certains émetteurs.

4.2 Le matériel biologique

4.2.1 Piégeage du matériel biologique

D'une manière générale, le piégeage est effectué en présence d'un technicien sur site : le piège est armé de 5h à 22h du lundi au vendredi et de 8h à 20h le samedi, dimanche et jours fériés. En 2021, la période de piégeage a débuté le 08 mars et s'est terminée le 11 juin.

D'un point de vue technique, une journée type de piégeage se compose par :

- en début de journée, la nasse piège est mise en place dans le canal de transfert.
- lorsqu'un saumon est visualisé à la vitre de comptage en aval du piège, le technicien installe le matériel de marquage au niveau de la station de piégeage.
- dès que la présence du saumon est avérée dans la nasse du piège, celle-ci est remontée et le poisson déversé dans le bassin de stabulation.
- la nasse piège est replongée dans l'eau afin que sa goulotte de vidange ne gêne pas lors de la capture du saumon à l'épuisette.

4.2.2 Modalités de marquage, de stabulation et de lâcher

4.2.2.1 Anesthésie

Les saumons sont capturés dans le bassin de piégeage avec une épuisette adaptée (largeur 70 cm et mailles 4 mm) puis transférés dans une bache (civière) opaque remplie d'un bain anesthésiant.



Photo 18 : Bâche en forme de civière utilisée pour l'anesthésie des poissons

Le bain est constitué de 40 L d'eau de la Garonne auxquels sont ajoutés 20 ml de solution de Tricaïne à 10% (100g de poudre de Tricaïne et ajout d'eau jusqu'à un volume total de solution de 1 L). Le temps nécessaire pour atteindre un stade de sédation profonde est de 1 à 2 min.

4.2.2.2 Biométrie et prélèvements

Dès le stade de sédation profonde atteint, avec la perte totale de réflexes, les manipulations peuvent débuter.

- Le saumon est en premier lieu photographié dans son ensemble sur les deux flancs. L'heure de début de biométrie sera enregistrée à partir de ce moment (horodatage photo). Les éventuelles blessures seront prises en gros plans pour description ultérieure.
- Appréciation du sexe, de la couleur de la robe, de l'écaillage des deux flancs ainsi que de l'état général.
- Réalisation des mesures de longueur (totale et fourche) à l'aide d'un ichtyomètre adapté ainsi que la mesure du maxillaire supérieur avec un pied à coulisses électronique.
- Prélèvement d'un bout de nageoire pectorale (1cm^2) pour analyse ADN (ciseaux et pince à dissection plate).
- Prélèvement d'environ 5 écailles sur chaque flanc du poisson (pince dissection pointue).

4.2.2.3 Marquage :

- **Marquage RFID avec pit-tag 32 mm** : après désinfection de la zone à la Bétadine, insertion (à l'aide du pistolet adéquat et d'une aiguille trocart neuve) de la marque dans le muscle, parallèlement à la nageoire dorsale afin que lors du passage dans une antenne, la puce soit perpendiculaire au plan de l'antenne pour optimiser la détection.



Photo 19 : Tag RFID de 32 mm et son pistolet de marquage

- **Marquage acoustique avec tag prédation** (cf. § 4.4.2) : après désinfection à la Bétadine, entaille au scalpel (lame N°23 ou 24) sur le bas du flanc 5 à 6 cm devant les nageoires pelviennes. L'ouverture doit être parallèle aux arrêtes principales, d'une longueur d'environ 1,5 cm et d'environ 2 cm de profondeur afin d'insérer le tag dans la cavité générale. L'insertion du tag est réalisée à l'aide d'une pince à dissection à bouts plats puis une nouvelle désinfection à la Bétadine est réalisée.



Photo 20 : Incision au scalpel sur le flanc du poisson



Photo 21 : Insertion du tag à l'aide d'une pince plate

- **Emetteur radio** (cf. § 4.5.2) : insertion par voie buccale dans l'estomac à l'aide d'un tube PVC puis passage de l'antenne par un opercule afin qu'elle « gêne » le moins possible le poisson.





Photo 22 : Marquage avec un émetteur radio par insertion stomacale

Lors des différentes manipulations, une attention particulière est portée à l'immersion totale ou partielle de la tête du poisson.

Après le marquage, le poisson est photographié (horodatage de fin de marquage).

La totalité des opérations faites au stade de sédation profonde durent entre 7 et 9 minutes (contrôlé grâce à l'intervalle entre la photo avant mesures et la photo au réveil).

4.2.2.4 Mise en poche et transport pour lâcher

Avant le début des manipulations sur le saumon, une solution de transport est préparée puis placée dans une « poche de transport ». Cette solution est constituée de 20 L d'eau de la Garonne auxquels sont ajoutés 4 ml de solution de Tricaine à 10% et 200 g de sel de mer non traité.

Suite aux marquages et différents prélèvements, le saumon est glissé dans la poche de transport. Aux 20 L de solution de transport est ajouté un volume équivalent d'oxygène pur. Le tout est alors fermé à l'aide de ruban adhésif. La poche contenant le saumon est placée à l'abri de la lumière dans une caisse isotherme muni d'un bloc froid et la caisse est acheminée sur le site de lâcher en véhicule léger.

A l'arrivée sur le site de lâcher, le saumon est placé dans un vivier flottant (Photo 23 et Photo 24). Une fois sorti de la poche de transport, il met entre 2 et 5 min pour retrouver un comportement normal. Une fois le poisson prêt à repartir, il est libéré par l'ouverture du vivier.



Photo 23 : Lâcher d'un saumon marqué dans le vivier flottant

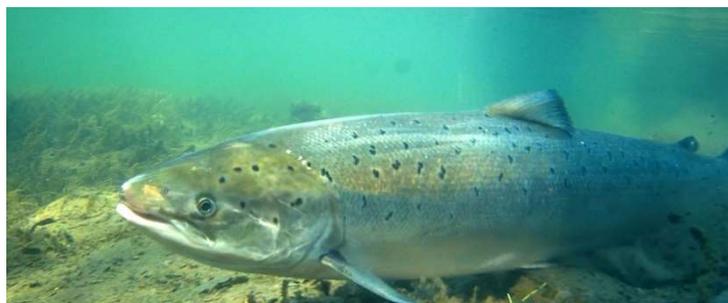


Photo 24 : Vue subaquatique d'un saumon marqué au moment de son lâcher

4.2.2.5 Hygiène :

Avant chaque opération de marquage, les outils de chirurgie ainsi que les marques sont désinfectés par immersion dans l'éthanol puis séchés. Les marques sont rincées à l'eau distillée avant leur insertion.

4.3 Les conditions environnementales au cours de la période d'étude

4.3.1 Les débits

Les données de débits sont issues des différentes stations de la Banque Hydro disponibles aux environs du secteur d'étude :

- Les débits de la Garonne en aval de l'ouvrage de Golfech proviennent de la station hydrométrique de Lamagistère (station n°O6140010),
- Pour la Garonne au niveau de Toulouse, les données proviennent de la station de Portet-sur-Garonne (station n°O1900010),
- En ce qui concerne les affluents de la Garonne, pour le Tarn, les débits sont issus de la station de Villemur-sur-Tarn (station n°O4931010) et pour l'Ariège, les débits proviennent de la station d'Auterive (station n°O1712510).

4.3.2 Débits et fonctionnement des ouvrages suivis

4.3.2.1 Malause-Golfech

Le groupement E.D.F de Golfech a pu mettre à disposition un fichier de données au pas de temps horaire regroupant l'enregistrement des différents organes de l'usine de Golfech et du barrage de Malause permettant de caractériser le fonctionnement de l'ouvrage :

- La position des vannes segment du barrage de Malause (en m),
- Le débit transitant par ces différentes vannes segment (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
- La cote amont du plan d'eau de Malause (en m NGF),
- Le débit turbiné au niveau du débit d'attrait de l'ancienne passe du barrage de Malause (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
- Les débits turbinés par les différents groupes de l'usine hydroélectrique (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
- Le débit évacué par le clapet de décharge de l'usine (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
- Les hauteurs de chute aux deux entrées de l'ascenseur à poissons (en m)

4.3.2.2 Bazacle

La télé-exploitation E.D.F mise en place sur le site du Bazacle permet d'obtenir :

- Les débits entrants au niveau de l'ouvrage (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
- La cote amont de la retenue (en m NGF), ainsi que la hauteur d'eau de la Garonne au niveau du plan de grille (en m),
- Les débits turbinés par les différents groupes de l'usine hydroélectrique (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Une centrale d'enregistrement permet également de recueillir en libre accès les informations qui concernent le fonctionnement de la passe à poissons du Bazacle, avec comme données disponibles le niveau d'eau amont et aval de la vanne de régulation à l'entrée de la passe. La différence entre ces données permet d'obtenir la hauteur de chute au niveau de l'entrée de la passe.

4.3.3 La température

Sur le secteur étudié, la température de l'eau est enregistrée :

- En amont de Toulouse, à la station de contrôle de Carbone,
- À Toulouse, dans la passe à poissons du Bazacle,
- Sur le secteur Golfech-Bazacle, la température est enregistrée à Verdun sur Garonne,
- Sur la partie aval, dans le canal de transfert de l'ascenseur à poissons de Golfech.

Ces données sont suivies en continu par MI.GA.DO à l'aide de sondes de température *Tinytag Aquatic 2* de type *TG-4100*. Chaque sonde est doublée pour avoir une sonde de secours en cas de problème. Le pas de temps des enregistrements est horaire, ce qui permet d'observer les variations journalières. Les données sont récupérées régulièrement afin de ne pas perdre de trop longue chronique en cas de dysfonctionnement.

4.4 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de télémétrie acoustique

4.4.1 Principe

Dans son principe général, la télémétrie acoustique est la transmission dans l'eau d'une énergie acoustique ultrasonore ou de signaux sonores de l'ordre de 20-200 kHz (fréquences supérieures à notre plage d'audition) (Figure 9). En immersion, cette technique est souvent préférée à la radiotélémétrie car les fréquences acoustiques sont moins absorbées, mais les fréquences plus basses de l'acoustique transmettent moins d'informations par unités de temps (WEBBER, 2009). Le plus souvent, les limites de la télémétrie sont fixées par la technologie utilisée, c'est à dire la puissance et la portée des émetteurs ou encore leur durée de vie.

Dans toutes les études de télémétrie, on suppose que les émetteurs n'interfèrent pas avec la survie, les performances ou le comportement des poissons (BARAS et LAGARDERE, 1995).

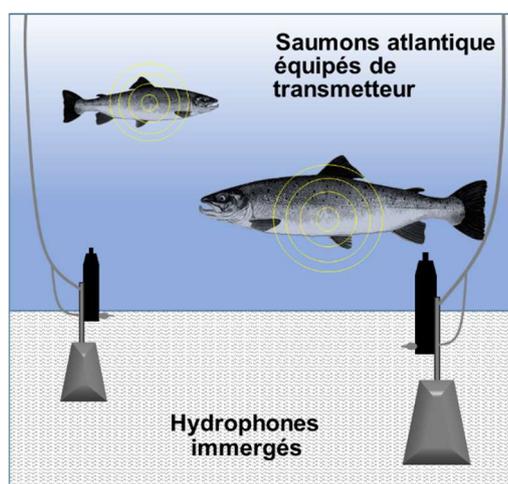


Figure 9 : Principe de la télémétrie acoustique

Le protocole utilisé pour cette étude consiste à piéger et marquer des saumons adultes avec des émetteurs acoustiques au niveau du piège de Golfech et à les lâcher quelques kilomètres en aval de l'ouvrage de Golfech au niveau de la commune de Saint Sixte (PK

GAR_207,5). Le suivi par repérage et enregistrement automatique de leurs déplacements permet d'identifier et d'étudier le parcours réalisé par les poissons.

4.4.2 Matériel utilisé

4.4.2.1 Emetteurs

Des transmetteurs codés Vemco®, émettant à 180 kHz, ont été choisis et en particulier le tag prédation V5D (Photo 25). Au sein de cette fréquence, chaque transmetteur émet un code différent. Cette technologie permet de lâcher un nombre assez important de poissons simultanément. Le poids des émetteurs ne dépasse pas 2 % du poids total des poissons marqués (Tableau 1), comme préconisé par BARAS (2001). L'émission des « pings » de chaque émetteur est aléatoire toutes les 30 à 50 secondes. Ainsi, il n'y a théoriquement pas de problème de collision de marque si plusieurs transmetteurs se retrouvent dans la même zone d'enregistrement.



Photo 25 : Transmetteur acoustique

Modèle	V5D		
Fréquence (kHz)	Référence codage	Power (L/H)	Pings (min - max)
180	A180-1702	H	30 - 50
Longueur (mm)	Ø (mm)	Poids dans l'air (g)	Capacité batterie garantie (jr)
12,7	5,6	0,68	86

Tableau 1 : Caractéristiques des transmetteurs (données fabricant)

Le tag prédation, au-delà de suivre la position d'un individu, permet de fournir une information directe sur la prédation éventuelle de l'individu marqué. Une fois ingéré par le prédateur, la proie est digérée dans l'estomac grâce aux sucs gastriques. Au cours de ce processus de digestion, un polymère biologiquement inerte situé sur le tag est lui-même digéré, ayant pour effet le changement de code d'identification du tag. Ce nouveau code est ensuite émis jusqu'à la fin de vie du tag. Selon le fabricant, le temps de déclenchement (temps entre l'ingestion de la proie et le changement de code) varie de 3 à 5 h, ce temps étant largement influencé par la température du milieu. Lors de la détection du tag, une fois prédaté, il est possible de connaître le délai depuis le changement de code du tag (donc depuis la prédation). Cette information correspond à un nombre d'heure depuis le déclenchement du tag, avec une limite de 35 jours, au-delà, la donnée obtenue indique simplement « supérieur à 35 jours ». Le degré de précision de l'information est proportionnel au délai écoulé, c'est-à-dire que pour un déclenchement inférieur à 1 semaine, la précision est de 1 heure, alors que pour un déclenchement supérieur à 21 jours, le degré de confiance est d'environ 16 heures. La durée de vie des batteries permet théoriquement de suivre les individus sur environ 3 mois.

Ce type de tag permettra de détecter une éventuelle prédation sur le saumon de la part du silure dans la zone d'étude (canal de fuite de Golfech, canal de transfert de l'ascenseur, canal d'amenée, aval Bazacle ou milieu « naturel libre d'obstacles »). Ce type de marquage sur les saumons suivis permettra ainsi de quantifier cette prédation et de localiser les zones sensibles à la prédation. La donnée permettant de connaître la date et l'heure de prédation est une nouveauté du fabricant, cette option n'était pas disponible lors du suivi 2020. Lors de l'analyse des données de prédation, il sera ainsi possible de connaître le moment de prédation des individus et de le mettre en relation avec leurs données de suivi.

4.4.2.2 Hydrophones

Les stations d'enregistrement sont composées de récepteurs-enregistreurs VR2W-180kHz de marque Vemco (Photo 26). Chaque hydrophone est équipé de batterie au lithium de 3,6V et 17Ah (la durée de vie garantie de la batterie est d'environ 8 mois). Deux types d'installations d'hydrophones ont été mises en place lors de ce suivi :

- Le premier permet de positionner les hydrophones sur le fond de la rivière. Pour cela, l'hydrophone est fixé sur un lest béton et est relié à la surface par une corde ou un câble inox pour venir s'accrocher à un point de fixation (pile de pont, enrochements, etc...),
- Le second permet de positionner les hydrophones sous la surface (la tête en bas). Pour cela, l'hydrophone est fixé au moyen d'un câble inox sous la surface. Pour maintenir la tête de l'hydrophone vers le fond de la rivière, celle-ci est lestée à l'aide de poids compris entre 2 et 3 kg.

L'ensemble du réseau d'hydrophones a été réparti sur un linéaire d'environ 120 km, allant de Saint-Nicolas-de-la-Balmerme, en aval de Golfech, jusqu'à Toulouse. Ces stations fixes d'enregistrement permettent de surveiller en continu les zones d'enregistrement choisies et de suivre ainsi les déplacements des saumons marqués.



Photo 26 : Exemples d'installation d'hydrophone avec son lest

4.4.2.3 Déchargements des hydrophones

Les hydrophones se trouvant immergés au fond du cours d'eau, il n'est pas possible de décharger les données sans les remonter à la surface. L'opération étant lourde à mettre en place (nécessité d'une embarcation et à minima 2 ou 3 personnes), les relevés de données sont ponctuelles et programmées en fonction des conditions hydrologiques (sécurité pour la navigation, possibilités de mise à l'eau de l'embarcation, ...).

Cette année, les données des hydrophones ont pu être relevées régulièrement permettant ainsi un suivi continu et permanent des poissons pouvant ainsi améliorer certaines sessions de suivi manuel.

4.4.3 Localisation des zones de suivis

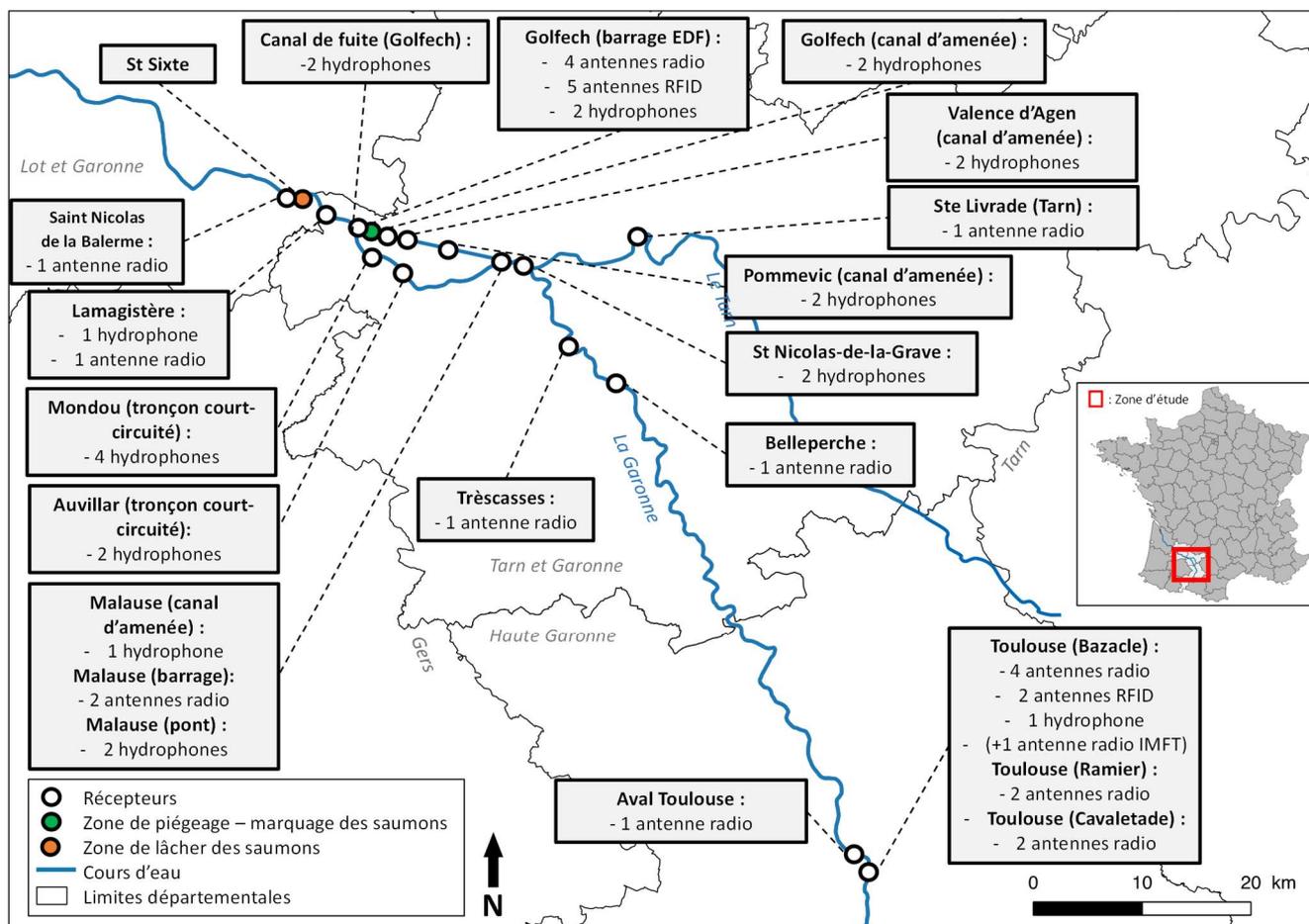


Figure 10 : Schéma des différentes zones de suivis en amont et en aval du barrage de Golfech

Huit zones de suivis ont été définies entre l'aval de l'ouvrage de Golfech et Toulouse (Figure 10). Chacune de ces zones est suivie par 1 à 5 hydrophones en fonction de la configuration du site. Les zones de suivi ont été définies ainsi :

➔ Aval de l'ouvrage de Golfech

- Zone 1 [1 hydrophone] en aval du pont de Lamagistère (PK GAR_211,5), zone couverte par un seul hydrophone (une unique pile de pont étant disponible au milieu de la rivière), ceci réduit donc la zone de réception couverte et augmente le risque de non détection sur cette zone. C'est pourquoi [1 enregistreur radio] a été ajouté pour ce suivi 2021 au niveau du quai, rive droite, de Lamagistère (PK GAR_211,7).
- Zone 2 [2 hydrophones] à l'aval du canal de fuite de l'usine de Golfech (PK GOL_0,5) au niveau du pont menant au CNPE d'E.D.F.
- Zone 3 : [2 hydrophones] en aval de l'ascenseur à poissons, un hydrophone a été placé au niveau de chaque entrée de l'ascenseur (E1 et E2) (PK GOL_2,3).

Pour ce suivi 2021, les poissons, capturés au niveau de l'ascenseur de Golfech, seront relâchés à Saint Sixte, à 7,5 km en aval de l'aménagement de Golfech. Les zones 1 et 2 seront donc les premières à détecter les poissons lors de la reprise de leur progression vers l'amont.

→ Secteur du complexe hydroélectrique de Golfech-Malause

- Zone 4 [2 hydrophones] (PK GOL_2,5), à l'amont de l'usine hydroélectrique de Golfech, pour enregistrer les poissons sortant du canal de transfert et s'engageant dans le canal d'amenée. Des difficultés d'enregistrement ont été constatées au droit de l'usine de Golfech lors de précédents suivis biologiques (FREY, 2020). Différents tests de détection ont permis de conclure à une interférence du « bruit » généré par l'usine sur la réception des hydrophones. Il s'est avéré que la réception était meilleure au niveau du pont de la D953, situé environ 250 m en amont de l'usine. Pour ce suivi 2021, 2 hydrophones ont été installés en aval des piles du pont de la D953, positionnés sous la surface.
- Zone 5 [5 hydrophones], l'ensemble du linéaire du canal d'amenée a été équipé au niveau des différents ponts traversant le canal. Ainsi, 2 hydrophones ont été installés au pont de Valence d'Agen (PK GOL_5,8), 2 hydrophones au pont de Pommevic (PK GOL_8,9) et 1 hydrophone (car une seule pile de pont disponible) au pont de Malause (PK GOL_12,5).
- Zone 6 [4 hydrophones] (PK GAR_217,6) et Zone 6' [2 hydrophones] (PK GAR_220,4), correspondent au TCC, respectivement au pont de Mondou au niveau du seuil 5 et à Auvillar. Ces hydrophones ont aussi la possibilité d'enregistrer des poissons dévalant ayant franchi le barrage de Malause.

→ Amont du barrage de Malause

- Zone 7 [2 hydrophones], sur la partie aval de la retenue de Malause, quelques centaines de mètres en amont du barrage de Malause (PK GAR_228,5) et Zone7' [2 hydrophones] sur la partie amont de la retenue (PK GAR_232,1), dernière zone avant la séparation entre la Garonne et le Tarn.
- Zone 8 [1 hydrophone], installé à Toulouse au niveau de l'entrée de la passe à poissons de l'usine du Bazacle (PK GAR_313,6) afin de mieux appréhender les approches des poissons suivis ou leur blocage au pied de la digue du Bazacle, ainsi que leur éventuelle prédation par un silure.

Un récapitulatif des différentes stations d'enregistrement (Acoustique/Radio/RFID) mises en place sur l'ensemble du secteur d'étude se trouve en Annexe A.

4.5 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de radiotélémétrie

4.5.1 Principe

Dans son principe général, la radiotélémétrie consiste à équiper un animal d'un émetteur radio et à suivre ses déplacements dans son milieu à l'aide de récepteurs, fixes ou mobiles, reliés à une antenne (Figure 11).

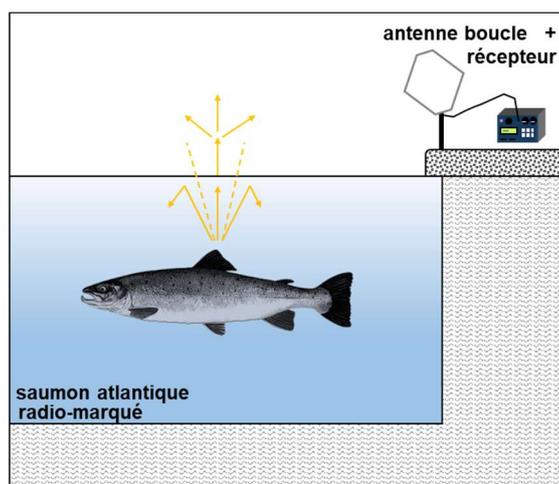


Figure 11 : Principe du radiopistage en milieu aquatique (d'après BARAS et CHERRY, 1990).

Le plus souvent, les limites de la télémétrie sont fixées par la technologie utilisée, c'est à dire la puissance et la portée des émetteurs ou encore leur durée de vie. Par ailleurs, le signal transmis par l'émetteur s'atténue plus rapidement dans l'eau que dans l'air et ce, d'autant plus qu'on est en profondeur, que la conductivité électrique de l'eau augmente et que la fréquence d'émission est élevée (WINTER, 1983).

Dans toutes les études de télémétrie, on suppose que les émetteurs n'interfèrent pas avec la survie, les performances ou le comportement des poissons (BARAS et LAGARDERE, 1995).

Concernant le protocole, les saumons adultes piégés et équipés de marques acoustiques seront également marqués à l'aide de radio-émetteurs (marquage par insertion stomacale). Le suivi mobile radio, plus simple à mettre en œuvre que le suivi mobile acoustique, doit permettre de localiser rapidement les poissons marqués depuis les berges et de retrouver les poissons égarés. La radiotélémétrie vient donc ici en complément de la télémétrie acoustique, mais permet également d'équiper de petites zones de suivi (quelques m²) afin de réaliser un suivi comportemental plus fin, notamment au niveau des ouvrages de franchissement.

4.5.2 Matériel utilisé

4.5.2.1 Emetteurs

Les radio-émetteurs ATS® (Advanced Telemetry Systems) choisis pour ce suivi (Photo 27 ; Tableau 2) correspondent au modèle F1840C. Ce modèle codé permet, comme pour les tags acoustiques, de suivre un plus grand nombre de poissons simultanément, principalement lorsque ceux-ci se retrouvent au même endroit au même moment. Les émetteurs utilisés ont une durée de vie garantie par le constructeur d'environ 465 jours, ce qui permet une durée de suivi théorique de 15 mois.

En bio-télémétrie, l'une des principales préoccupations des scientifiques est le poids des marques utilisées et notamment le rapport entre le poids de l'émetteur et le poids du poisson (BROWN, 2013). Bien que conçue comme une "règle empirique", depuis les années 80 et les débuts de la télémétrie, la recommandation retenue pour les marques internes utilisées est de ne pas dépasser plus de 2% du poids du poisson (SMIRCICH & KELLY, 2014). Pour notre étude, le poids des émetteurs ne dépasse pas ce ratio.

Les caractéristiques des émetteurs sont données dans le Tableau 2 ci-après.



Photo 27 : Emetteur radio (1) utilisé pour le marquage des saumons atlantiques adultes [tag acoustique (2) et tag RFID (3)]

Modèle	Type	Long. (mm)	Ø (mm)	Poids (g)	Capacité batterie garantie
F1840C	codé	52	17	20	± 15 mois

Tableau 2 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés

4.5.2.2 Stations d'enregistrement

Les stations de réception fixes, composées de récepteur-enregistreurs (modèle ATS R4500C) couplés à une alimentation 220V/12V de 2A (Photo 28), ont été installées sur différentes parties stratégiques du secteur de suivi. Ces stations fonctionnent donc grâce à une alimentation en courant électrique 220V.

Les stations fixes sont reliées à des antennes réceptrices, aériennes (antenne boucle) ou immergées (câble radio coaxial RG 58, avec partie dénudée de 17 cm de longueur), permettent de surveiller en continu des zones de réception calibrées et de suivre ainsi précisément les déplacements des poissons marqués dans ces zones.

La durée d'écoute d'une fréquence est ajustable. Cette durée d'écoute comporte deux paramètres : le temps pour détecter la fréquence et le temps pour déterminer le code de l'émetteur, une fois la fréquence identifiée. Pour optimiser ce réglage, la taille des zones de réception, la vitesse de déplacement de l'espèce étudiée et le nombre de fréquences relâchées sont à considérer. Compte-tenu du retour d'expérience sur ce type d'études (BAU et CROZE, 2008) et de la taille de certaines zones de réception pour la présente étude, la durée de balayage des fréquences a été fixée à 3s et la durée d'identification du code à 10s.



Photo 28 : Exemples d'installation de récepteur-enregistreurs utilisés à Golfech (à gauche) et au Bazacle (à droite)

4.5.3 Localisation des zones de détection

Treize zones de suivi ont été définies entre l'aval de l'ouvrage de Golfech et l'ouvrage de Carbone. Chacune de ces zones est composée de 1 à 4 récepteur-enregistreurs en fonction de la configuration du site. Les zones de suivi ont été définies ainsi :

→ aval Golfech

- Zone 1 [1 enregistreur], située au niveau de Couthures-sur-Garonne (PK GAR_113), soit une centaine de kilomètres en aval de l'ascenseur de Golfech. Cette zone est le point le plus aval du suivi et permet d'identifier les poissons qui dévalent et sortent du système.
- Zone 2 [1 enregistreur], à Saint Nicolas de la Balerne, 6 km en aval de Lamagistère (PK GAR_205,8). La zone 2 est également couverte par un seul hydrophone (une unique pile de pont étant disponible au milieu de la rivière).
- Zone 3 [1 enregistreur], en rive droite au niveau des quais de Lamagistère, 6 km en aval de Lamagistère (PK GAR_211,5). La zone 3 est également couverte par un seul hydrophone, mais qui a montré ses limites lors du suivi 2020. La station radio vient donc en complément de cet hydrophone afin de confirmer la progression en amont des poissons lâchés à Saint Sixte, quelques kilomètres en aval.

→ Ouvrage de Golfech

- Zone 4 [4 enregistreurs], située au niveau de l'ascenseur (Figure 12), cette zone permet d'appréhender le comportement des poissons lors de l'approche de l'ascenseur et de leur entrée dans celui-ci. Une antenne boucle dite « générale » (GOLGENE) couvre toute la largeur de la Garonne en pied d'usine et de l'ascenseur. Une antenne brin immergée a été installée au niveau de chaque entrée (GOLE1 et GOLE2) et enfin une antenne brin immergée a été positionnée au fond de la tourelle de l'ascenseur (GOLASP) afin de confirmer la présence d'un poisson marqué dans la cuve de levage de l'ascenseur.

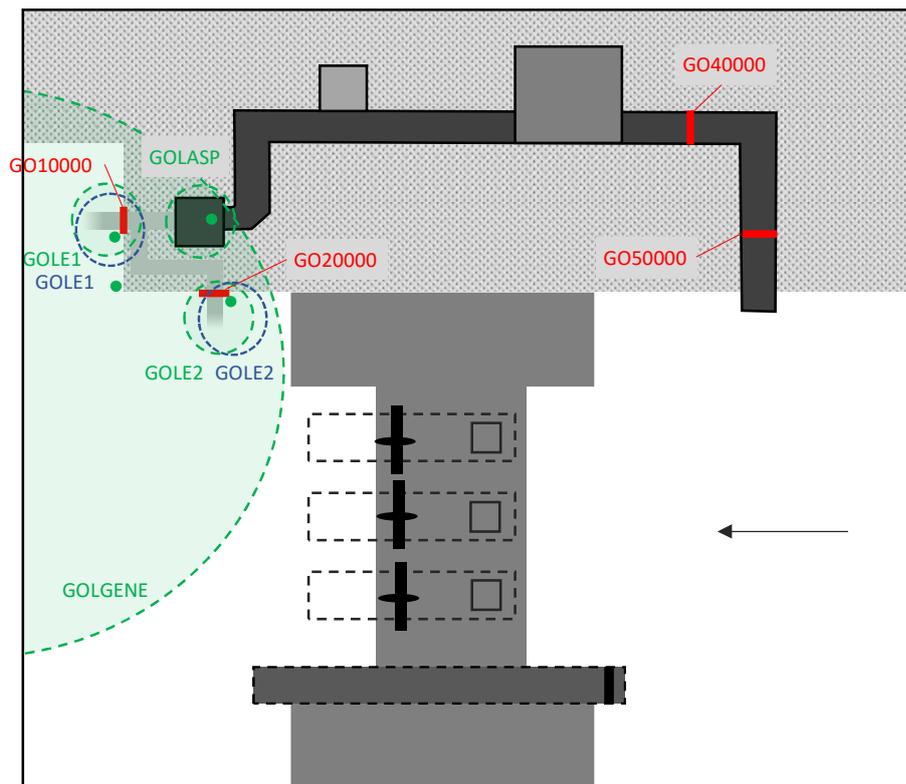


Figure 12 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site de Golfech

→ Ouvrage de Malause

- Zone 5 [2 enregistreurs], située en aval direct du barrage de Malause, en rive droite et gauche. Chaque station est équipée d'une antenne boucle aérienne. Avec une station sur chaque berge, cela permet de couvrir toute la largeur de la rivière.

→ Secteur entre Malause et Toulouse

Le tronçon entre les derniers hydrophones de la retenue de Malause et l'aval du Bazacle est long d'environ 80 km. Afin d'avoir des renseignements intermédiaires sur ce long linéaire, il a été décidé d'ajouter quatre stations d'enregistrement radio réparties comme suit :

- Zone 6 [1 enregistreur], lorsque les poissons traversent la retenue de Malause, ces derniers peuvent aussi s'engager sur l'axe Tarn. Afin de contrôler cette éventualité, une station d'enregistrement et une antenne boucle aérienne ont été installés au niveau du seuil et de l'usine de Ste Livrade (PK TAR_12,5), situés 13 km en amont de la dernière station acoustique.
- Zone 7 [1 enregistreur], au niveau de Trescasses (PK GAR_241,5), la station est équipée d'une antenne boucle aérienne et se situe sur la Garonne, 10 km en amont de la dernière station acoustique. Cette station n'existait pas lors du suivi 2020 et a été installée pour le suivi 2021.
- Zone 8 [1 enregistreur], au niveau de l'abbaye de Belleperche (PK GAR_249,3), la station est équipée d'une antenne boucle aérienne.
- Zone 9 [1 enregistreur], en aval de Toulouse (PK GAR_311,5), la station est équipée d'une antenne boucle aérienne.

→ Ouvrage du Bazacle

- Zone 10 [4 *enregistreurs*], située au niveau des passes à poissons de l'usine hydroélectrique du Bazacle. Cette zone permet d'appréhender le comportement des poissons en approche et de confirmer leur franchissement (Figure 13). Une antenne boucle aérienne dite « générale » (**BAZGENE**) couvre toute la zone en aval de l'usine (rive droite) jusqu'à la passe à bassins. Une antenne brin immergée a été installée au niveau de l'entrée de la passe à bassins, côté extérieur (**BAZENT**) et 2 autres antennes brins immergées se situent à l'intérieur de la passe à bassins : la première en aval dans le premier virage (**BAZAV**) et la seconde en amont de la vitre de contrôle vidéo (**BAZAMO**). Cette dernière permet de confirmer le franchissement de la passe à bassins mais également de capter d'éventuels poissons ayant emprunté la passe à ralentisseurs située à proximité. Une cinquième station était prévue en aval rive gauche de la chaussée du Bazacle, au niveau de la centrale hydroélectrique rive gauche mais nous n'avons pas pu obtenir l'autorisation de l'installer cette année. Cette station est toujours prévue pour le suivi 2022.

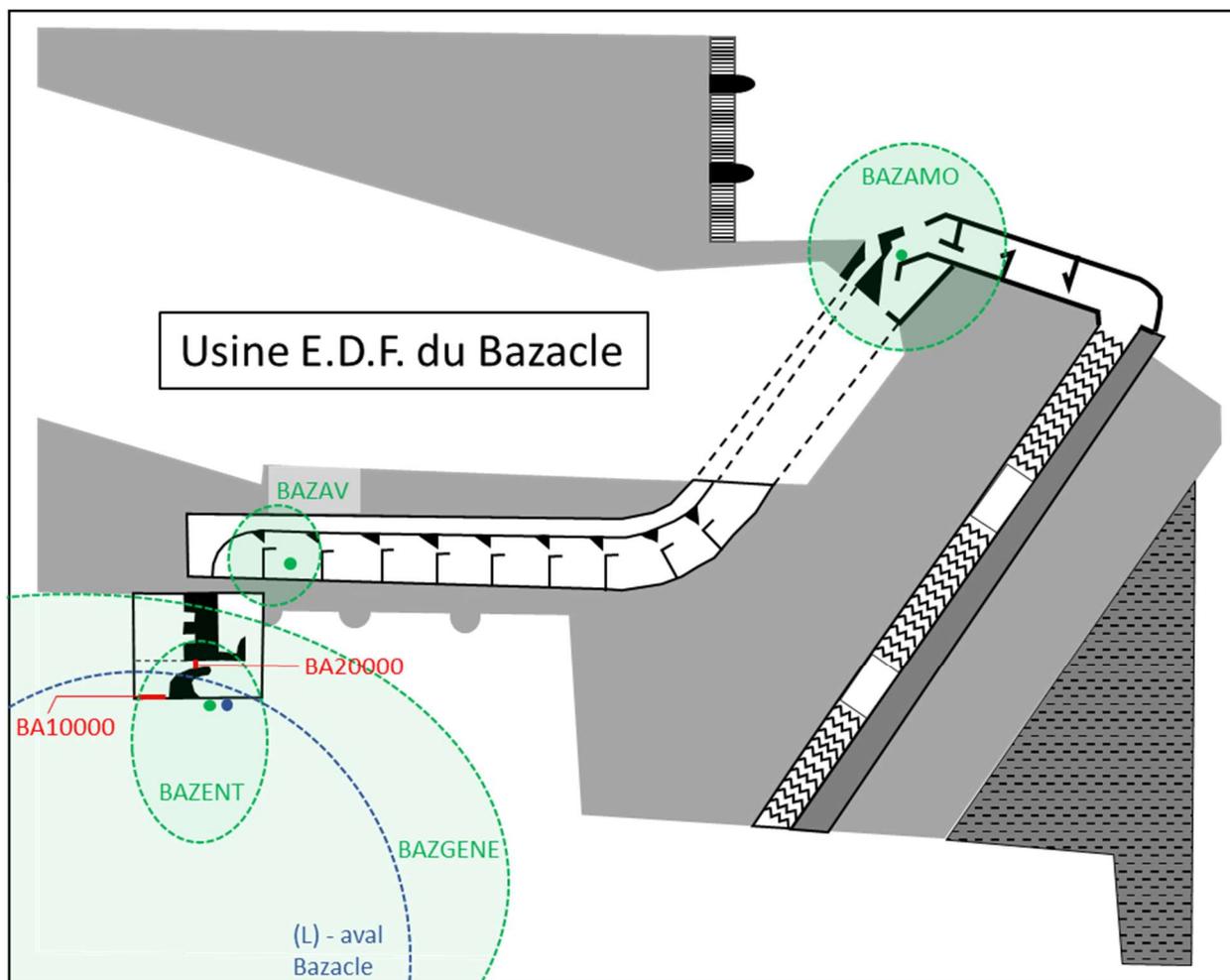


Figure 13 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site du Bazacle

→ Amont barrage du Bazacle

- Zone 11 [2 *enregistreurs*], située 1,7 km en amont du Bazacle, au niveau de l'usine hydroélectrique du Ramier, sur le bras supérieur de la Garonne (bras rive droite). Une station avec une antenne boucle aérienne a été installée en aval de la passe à poissons de l'aménagement (Photo 29), permettant de détecter l'arrivée de poissons suivis et de connaître le délai de stabulation au pied de l'ouvrage avant de trouver le dispositif de franchissement. Une seconde station avec une antenne brin immergée est installée dans le dernier bassin amont de la passe (Photo 30). Cela permet de confirmer le franchissement par l'ouvrage de montaison.



Photo 29 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine du Ramier



Photo 30 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine du Ramier

- Zone 12 [1 *enregistreur*], située 2 km en amont du Bazacle, sur le bras supérieur de la Garonne (bras rive droite). Une station avec une antenne boucle aérienne a été installée au niveau de l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Cette station se trouve à moins de 500 m en amont de l'usine du Ramier.
- Zone 13 [2 *enregistreurs*], située environ 7 km en amont du Bazacle, au niveau de l'usine hydroélectrique de la Cavaletade, sur le bras inférieur de la Garonne (bras rive gauche). Comme pour l'usine du Ramier, deux stations ont été installées au niveau de la passe à poissons de l'aménagement. Une station avec une antenne boucle aérienne a été installée en aval de la passe à poissons de l'aménagement, permettant de détecter l'arrivée de poissons suivis et de connaître le délai de stabulation au pied de l'ouvrage avant de trouver le dispositif de franchissement (Photo 31). Une seconde station avec une antenne brin immergée est installée dans le dernier bassin amont de la passe afin de confirmer un franchissement éventuel par l'ouvrage de montaison (Photo 32).



Photo 31 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade



Photo 32 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade

- Zone 14 [1 enregistreur], une dernière zone d'enregistrement a été installée au pied du barrage de Carbonne (PK GAR_363,5) situé sur la Garonne, en amont de Toulouse et de la confluence avec l'Ariège. Il s'agit également d'une station équipée d'une antenne boucle aérienne. Cette station correspond à notre point de contrôle le plus amont du secteur de suivi sur la Garonne.

Un récapitulatif des différentes stations d'enregistrement (Radio/Acoustique/RFID) mises en place sur l'ensemble du secteur d'étude se trouve en Annexe A.

4.6 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technologie RFID

4.6.1 Principe

La technologie RFID (Radio Frequency Identification) consiste à marquer des individus à l'aide de marques passives (PIT-Tag) qui sont des petits transpondeurs (Photo 33) identifiés par un code unique, puis de détecter leurs passages au niveau de différentes antennes, mises en place à des endroits stratégiques, qui émettent un champ magnétique (Figure 14). Les antennes sont branchées sur des boîtiers d'accord qui permettent les réglages de l'antenne. Chaque boîtier d'accord est relié, par l'intermédiaire d'un câble coaxial Twinax, à une carte lectrice Texas Instrument montée dans un coffret enregistreur CIPAM (Photo 34), monté dans un coffret métallique pour plus de résistance en cas d'installation en extérieur. L'enregistreur couplé à l'antenne relève et enregistre la date et l'heure du passage du poisson marqué.

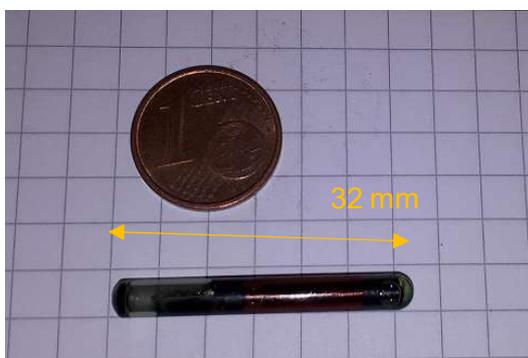


Photo 33 : Type de marque utilisée (PIT-Tag)



Photo 34 : Coffrets d'enregistrement CIPAM

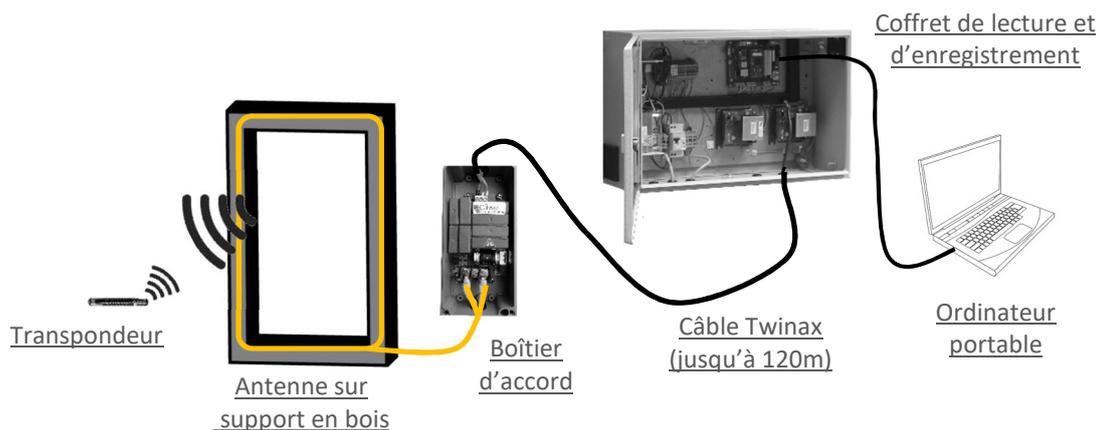


Figure 14 : Principe de fonctionnement du système RFID de CIPAM

Le suivi consiste donc à marquer, à l'aide de transpondeurs, les saumons déjà équipés de marques acoustique et radio. Les poissons, relâchés dans le canal de transfert de Golfech, seront contrôlés au cours de leurs déplacements au niveau des ouvrages de franchissement en des endroits précis et localisés. L'ensemble des installations permettra également de suivre toutes les autres espèces équipées de transpondeurs RFID, notamment le silure, dans le cadre des différents suivis réalisés sur la zone d'étude.

4.6.2 Equipement des sites

4.6.2.1 Ouvrage de Golfech

L'ouvrage de montaison de Golfech est équipé de 4 coffrets lecteur-enregistreurs Basic développés par CIPAM. Au total, 6 antennes ont été déployées sur le site afin de déterminer le comportement des poissons, de déduire l'entrée empruntée au niveau de l'ascenseur et de valider la sortie du canal de transfert (Figure 12) :

- Une antenne installée à l'amont immédiat de la vanne de l'entrée 1 (appelée **GO10000**) pour pouvoir enregistrer les poissons franchissant cette entrée. Cette antenne permet de voir si plusieurs tentatives ont été nécessaires à un individu pour entrer dans le dispositif mais également s'il a pu ressortir par cette voie de passage. L'antenne est une boucle de câble HI-FI Supra (section 2 x 6 mm²) qui mesure 3,6 m x 1,7 m (Photo 35).
- Une antenne installée à l'amont proche de la vanne de l'entrée 2 (appelée **GO20000**). Cette antenne a la même fonction que l'antenne GO10000. L'antenne est une boucle de câble HI-FI Supra (section 2 x 6 mm²) qui mesure 3 m x 1,75 m (Photo 36).



Photo 35 : Antenne GO10000 à l'entrée 1 de l'ascenseur



Photo 36 : Antenne GO20000 à l'entrée 2 de l'ascenseur

- Une troisième antenne se trouvait en aval de la vitre de la station de contrôle vidéo située au milieu du canal de transfert (**GO30000**). Cette antenne permettait de contrôler les poissons ayant emprunté l'ascenseur et se présentant à la vitre de contrôle. L'antenne est une boucle du même câble qui mesure 2,2 m x 0,5 m. Malheureusement, il n'a pas été possible de remettre cette antenne en service, qui avait pourtant bien fonctionné lors du suivi 2020. Cette antenne a donc été abandonnée pour le suivi 2021.
- La quatrième antenne se situe dans le canal de transfert en amont du piège (**GO40000**). Les poissons marqués étant relâchés au niveau du piège, cette antenne permet de valider leur reprise de progression vers l'amont et vers la sortie du canal de transfert. Elle permet également de savoir si les poissons effectuent des allers-retours dans le canal de transfert. L'antenne mesure 2,2 m x 2,1 m.
- La cinquième antenne se situe au niveau de la sortie du canal de transfert (**GO50000**). Cette antenne permet de valider la sortie du canal de transfert et le passage vers le canal d'amenée. Cette antenne mesure 2,2 m x 2,1 m.
- La dernière antenne a été installée en cours de suivi à l'intersection entre l'entrée 1 et l'entrée 2 à l'aval de la nasse du piège de l'ascenseur (Figure 15 et Photo 37). Après analyse des résultats des enregistrements des premiers poissons, il s'est avéré difficile, voire impossible, de déterminer si les allers-retours entre l'entrée 1 et l'entrée 2 se faisaient par l'intérieur ou par l'extérieur de l'ascenseur. Cette antenne a donc été installée dans le but de mieux tracer ces allers-retours. Elle mesure 3 m x 1,5 m et a été installée puis mise en service le 12 mai 2021.

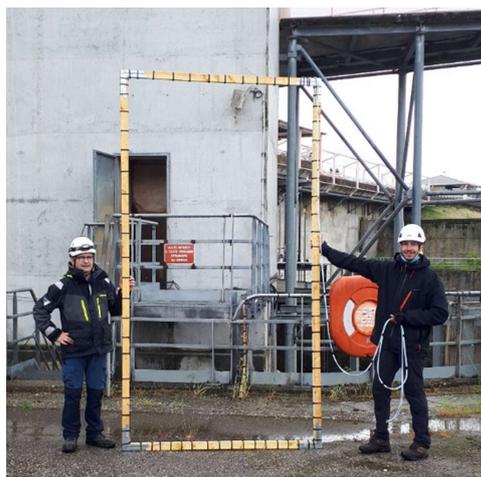
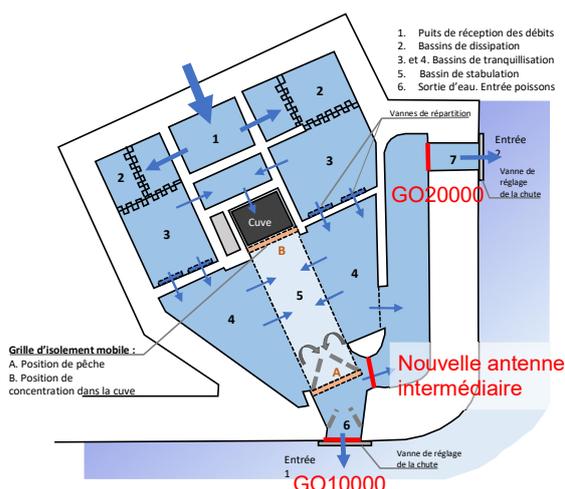


Figure 15 : Schéma de l'implantation de la nouvelle antenne RFID

Photo 37 : Nouvelle antenne RFID, installée entre l'entrée 1 et l'entrée 2 de l'ascenseur à poissons

Après installation et réglage, les antennes ont été testées et les distances de détection des antennes mesurées (avec des marques de 32 mm). Les distances obtenues de part et d'autre de chaque antenne sont reportées dans le Tableau 3. A noter que pour les antennes situées aux entrées 1 et 2, l'environnement métallique entourant les antennes et la proximité des vannes de régulation limitent l'optimisation des antennes. Les distances de détection s'en retrouvent affectées.

Antenne	Distance de détection de part et d'autre de l'antenne
	Marque PIT-Tag 32 mm
GO10000	30 cm amont / jusqu'à l'anti-retour
GO20000	40 cm amont / 40 cm aval
GO40000	30 cm amont / 30 cm aval
GO50000	30 cm amont / 30 cm aval
Nouvelle Antenne	40 cm amont / 50 cm aval

Tableau 3 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation

4.6.2.2 Ouvrage du Bazacle

Le matériel utilisé sur la passe à bassins du Bazacle est identique à celui de l'ascenseur de Golfech. On y retrouve un coffret enregistreur connecté à 2 antennes installées à l'entrée de la passe à bassins (Figure 13) :

- La première antenne est installée à l'amont immédiat de la vanne d'entrée de la PAB (appelée BA10000) pour pouvoir enregistrer l'entrée dans l'ouvrage de franchissement. Cette antenne permet également de voir si plusieurs tentatives ont été nécessaires à un individu pour entrer. L'antenne est une boucle de câble HI-FI Supra (section 2 x 6 mm²) qui mesure 2,7 m x 2,35 m (Photo 38).

- La seconde antenne est installée au niveau de la première fente de la passe (BA20000) en amont immédiat de l'injection du débit d'attrait complémentaire. Cette antenne permet de valider l'entrée complète dans l'ouvrage de montaison et la progression vers l'amont (Photo 39) et d'identifier un éventuel effet répulsif de l'injection du débit d'attrait qui se fait frontalement à l'entrée de la passe (Figure 16).

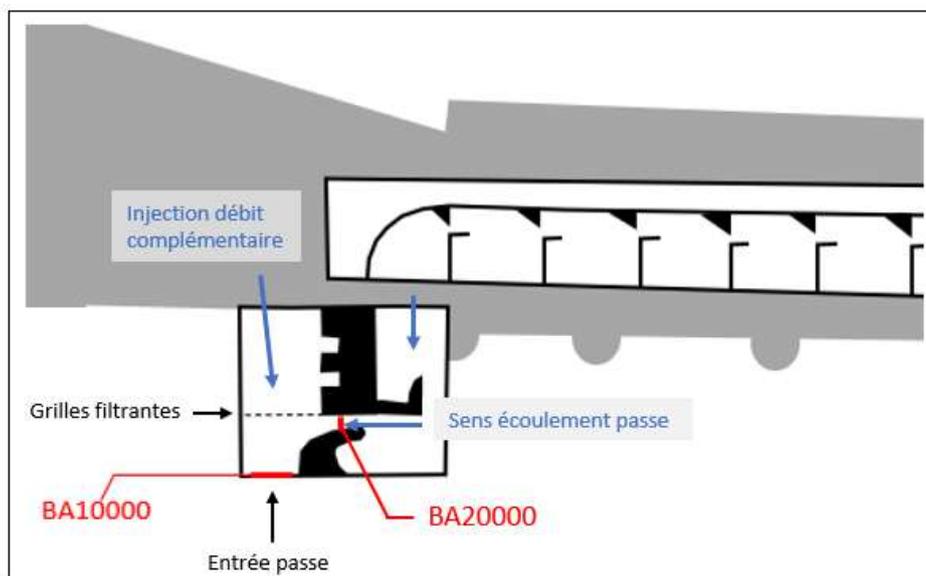


Figure 16 : zoom sur l'entrée de la passe à bassins du Bazacle

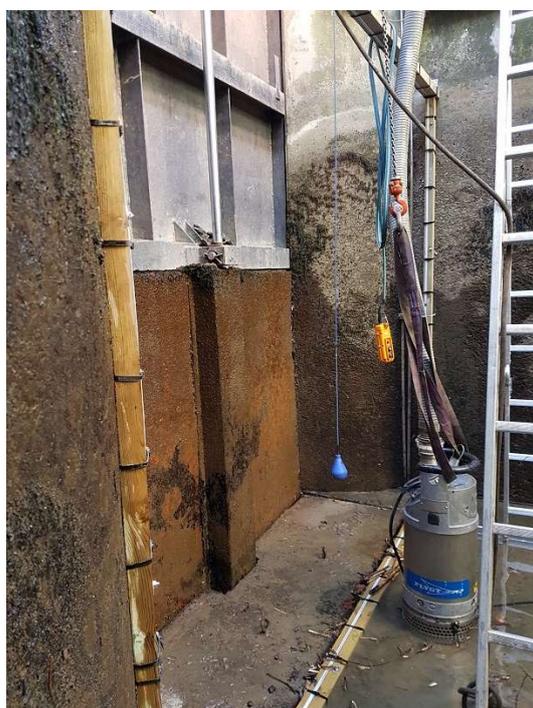


Photo 38 : Antenne BA10000, au niveau de l'entrée de la PAB



Photo 39 : Antenne BA20000 (vue depuis l'amont)

Après installation et réglage, les antennes ont été testées et les distances de détection des antennes mesurées (avec des marques de 32 mm). Les distances obtenues de part et d'autre de chaque antenne sont reportées dans le Tableau 4. La proximité des deux antennes a

contraint à dégrader la distance de détection de l'antenne BA20000 afin que son champ magnétique n'interfère pas avec celui de BA10000 ou que des individus situés encore en aval de la première antenne ne se fassent pas détecter par l'antenne la plus amont.

Distance de détection de part et d'autre de l'antenne	
Antenne	Marque PIT-Tag 32 mm
BA10000	30 cm amont / 30 cm aval
BA20000	20 cm amont / 20 cm aval

Tableau 4 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation

Un récapitulatif des différentes stations d'enregistrement (RFID/Radio/Acoustique) mises en place sur l'ensemble du secteur d'étude se trouve en Annexe A.

4.7 Suivi des déplacements de poissons manuellement

L'ensemble des stations fixes (acoustique, radio et RFID) ne couvre que les points de passages « stratégiques » du secteur d'étude. En effet, ces récepteurs nécessitent soit une source d'énergie (récepteurs radio), soit d'être positionnés dans une zone accessible et sans parasites acoustiques (hydrophones). Par ailleurs dans cette étude, les antennes RFID sont uniquement utilisées au niveau des systèmes de franchissement.

Ainsi, les jeux de données obtenus par enregistrement automatique se doivent d'être complétés par des suivis manuels qui s'effectuent à pied le long de la berge, en voiture équipée d'une « antenne toit » spécifique ou bien en bateau.

Les suivis à pied et en voiture sont réalisés grâce à la technique radio avec un récepteur de type R4500C. Pour les suivis effectués en bateau, deux récepteurs sont embarqués : un récepteur radio R4500C et un récepteur acoustique de type VR100 (Photo 40) couplé à une sonde hydrophone multidirectionnelle. Lors de la réception d'une marque acoustique, le récepteur VR100 enregistre automatiquement le code de l'émetteur acoustique détecté, la puissance du signal, les coordonnées GPS de la marque ainsi que le code permettant d'obtenir la date et l'horaire de la prédation éventuelle du sujet suivi. Ces suivis manuels permettent par ailleurs de profiter pleinement de l'option « prédation » des marques acoustiques, car il apparaît assez peu probable qu'un changement de code s'effectue au droit direct d'une station fixe.



Photo 40 : Récepteur acoustique de type VR100 de marque Vemco (source : Innovasea)

La sonde multidirectionnelle utilisées avec le récepteur VR100 est sensible au bruit parasite dans son environnement immédiat. Afin de permettre une écoute optimale et ainsi faciliter le

décodage des émetteurs, le protocole de suivi est adapté en recherchant dans un premier temps les individus à l'aide du récepteur radio (le schéma du protocole de suivi se trouve en Figure 17). Une fois détecté, la sonde acoustique est plongée dans l'eau en coupant le moteur de l'embarcation.

Il est important de signaler que lors des suivis manuels, la marque acoustique peut ne pas être détectée. Ce cas de figure peut s'expliquer parce que l'individu marqué a été prédaté et que le tag acoustique a été expulsé du corps du silure par les voies naturelles. La non détection de la marque acoustique après un repérage radio peut également provenir de la perte de la marque acoustique du fait d'une mauvaise implantation au moment du marquage, comme ce fut le cas lors du suivi 2020. Dans un cas comme dans l'autre, lorsque les 2 marques radio et acoustique ne sont plus situées au même endroit, il est quasiment impossible de retrouver la marque acoustique en suivi manuel.

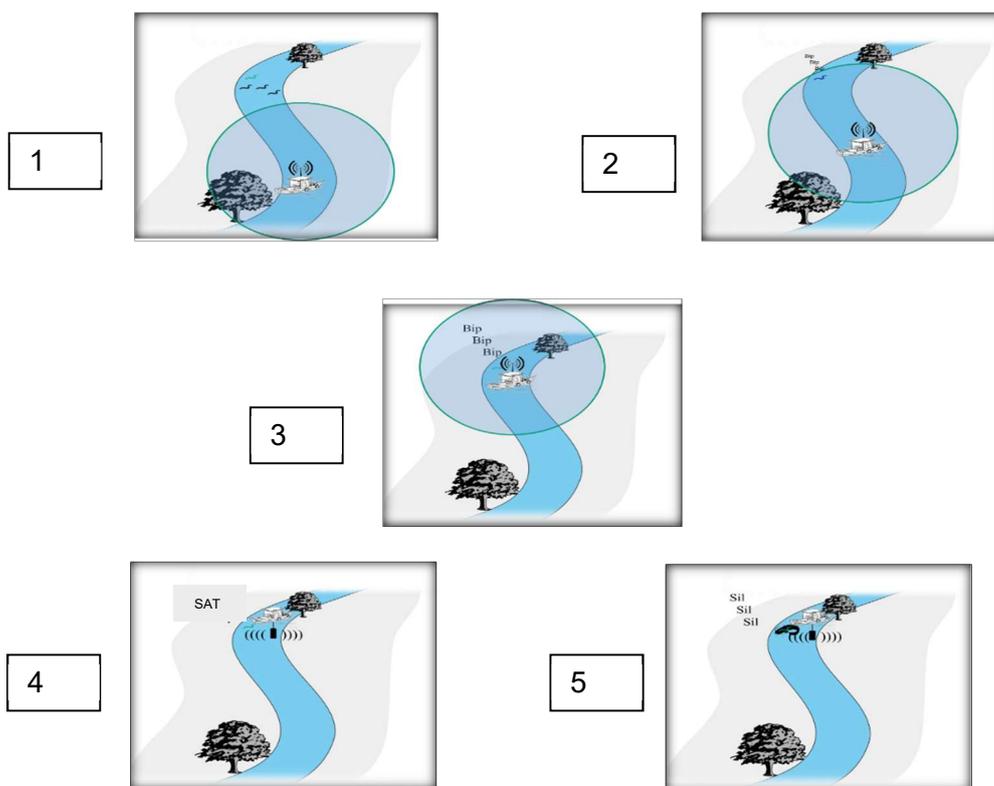


Figure 17 : Schéma expliquant la technique de suivi de tags acoustiques « prédation » dans un grand milieu (1 : Navigation sur le cours d'eau – 2 : Repérage de l'émetteur radio – 3 : Approche au plus près de l'individu détecté – 4 et 5 : Mise en place du récepteur acoustique et détection du code prédaté ou non)

5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'ETUDE

5.1 Débits

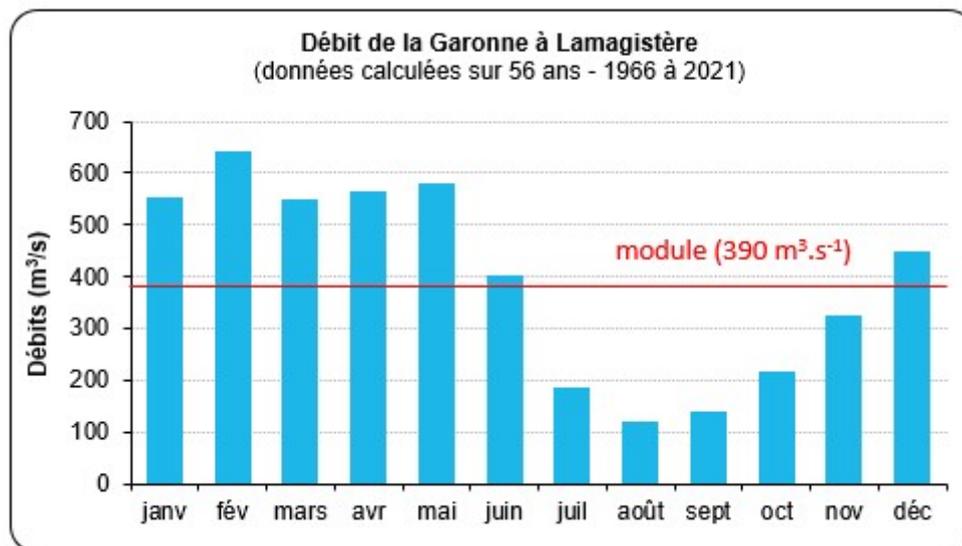


Figure 18 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Lamagistère (chronique de 1966 à 2021)

Le régime hydrologique de la Garonne à Lamagistère (soit environ 3 km l'aval de l'usine hydroélectrique de Golfech) est caractérisé par de fortes eaux au cours de l'hiver, liées aux précipitations (essentiellement sous forme de pluie), qui se renforcent au printemps par la fonte des neiges. L'étiage estival peut être très prononcé (Figure 18).

	Garonne à Lamagistère						
	Station n°O6140010 - Module = 390 m³/s Données calculées sur 56 ans (1966-2021)						
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m³/s)	551	640	547	561	578	399	185
Q moy. Mensuel de l'étude 2020/2021 (m³/s)	771	1118	322	201	279	179.2	133
Coefficient d'hydraulicité 2020/2021	▲ 1.40	▲ 1.75	▼ 0.59	▼ 0.36	▼ 0.48	▼ 0.45	▼ 0.72

Tableau 5 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude

	Garonne à Portet-sur-Garonne						
	Station n°O1900010 - Module = 187 m³/s Données calculées sur 112 ans (1910-2021)						
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m³/s)	191	212	219	271	341	277	143
Q moy. Mensuel de l'étude 2020/2021 (m³/s)	256	310	136	112	145	98.0	54.6
Coefficient d'hydraulicité 2020/2021	▲ 1.34	▲ 1.46	▼ 0.62	▼ 0.41	▼ 0.43	▼ 0.35	▼ 0.38

Tableau 6 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude (attente fin juin et juillet)

La station hydrométrique de Lamagistère est située environ 3 km en aval de l'usine hydroélectrique de Golfech. Le complexe Malaussé-Golfech se situe à quelques kilomètres (environ 5 km) en aval de la confluence Tarn-Garonne. La station hydrométrique amont la plus proche sur cet affluent se situe à Villemur-sur-Tarn.

Tarn à Villemur-sur-Tarn							
Station n°O4931010 - Module = 140 m ³ /s							
Données calculées sur 52 ans (1970-2021)							
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m ³ /s)	224	257	203	192	167	96.2	46.9
Q moy. Mensuel de l'étude 2020/2021 (m ³ /s)	273	414	135	58	95	48.6	39.1
Coefficient d'hydraulicité 2020/2021	▲ 1.22	▲ 1.61	▼ 0.67	▼ 0.30	▼ 0.57	▼ 0.51	▬ 0.83

Tableau 7 : Coefficients d'hydraulicité du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude

L'hydrologie de la Garonne au niveau de la station de Lamagistère a présenté deux types de régimes au cours du premier semestre 2021, avec une fin d'hiver présentant une hydrologie forte à très forte puis un printemps et un été enregistrant une hydrologie en très fort déficit (Tableau 5). Les mois de janvier et février ont été très largement au-dessus des moyennes mensuelles (respectivement 140 % et 175 %). En revanche, les mois en déficit sont très en deçà des débits de référence avec, pour les mois d'avril à juin, des débits atteignant moins de 50 % de la moyenne de référence (respectivement 36 %, 48 % et 45 %).

L'évolution des débits est identique sur la Garonne au niveau de Toulouse (Tableau 6), avec pour seule différence, moins d'eau au mois de juin à l'amont par rapport à l'aval.

Concernant le Tarn (Tableau 7), la tendance est également identique, avec un début d'année à forte hydrologie puis un printemps et un été avec une hydrologie en déficit marqué (notamment le mois d'avril qui atteint à peine 30 % de la moyenne de référence).

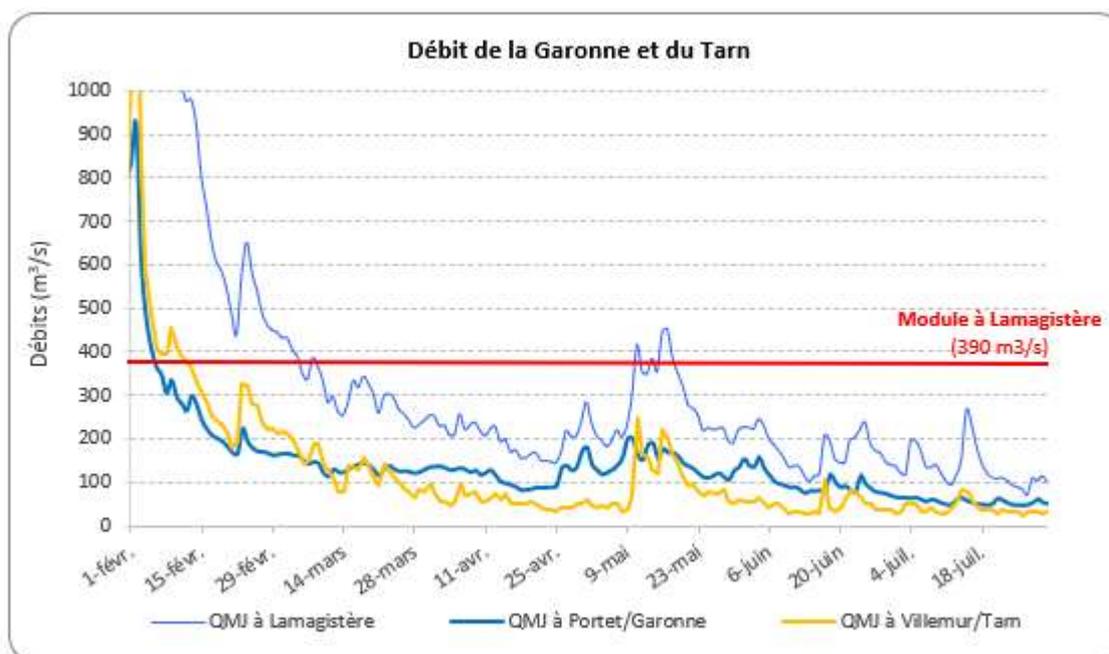


Figure 19 : Débits moyens journaliers de la Garonne et du Tarn pendant la période d'étude

Sur les courbes de débits moyens journaliers des 3 stations (Figure 19), exceptée la crue du début du mois de février ($Q_{mj}=3910 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Lamagistère le 02 février, la valeur du débit moyen journalier de la crue biennale étant de $2400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), on observe finalement des débits relativement faibles (inférieurs aux modules respectifs) et stables, entrecoupés de quelques petits coups d'eau à partir du mois de mai. Pour la station de Lamagistère, seul le coup d'eau du 18 mai (Q_{mj} de $453 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a dépassé le module.

Concernant le Tarn à la station de Villemur/Tarn, la crue du mois de février a atteint un Q_m de $1570 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 02 février (la valeur du débit moyen journalier de la crue biennale étant de $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). On pourra souligner également un petit coup d'eau le 12 mai avec un Q_m de $248 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 1,8 fois le module.

Au final, le régime hydrologique des 2 rivières aura été assez proche tout au long de l'étude, pour une saison de suivi à l'hydrologie très sèche, excepté lors de la crue de février.

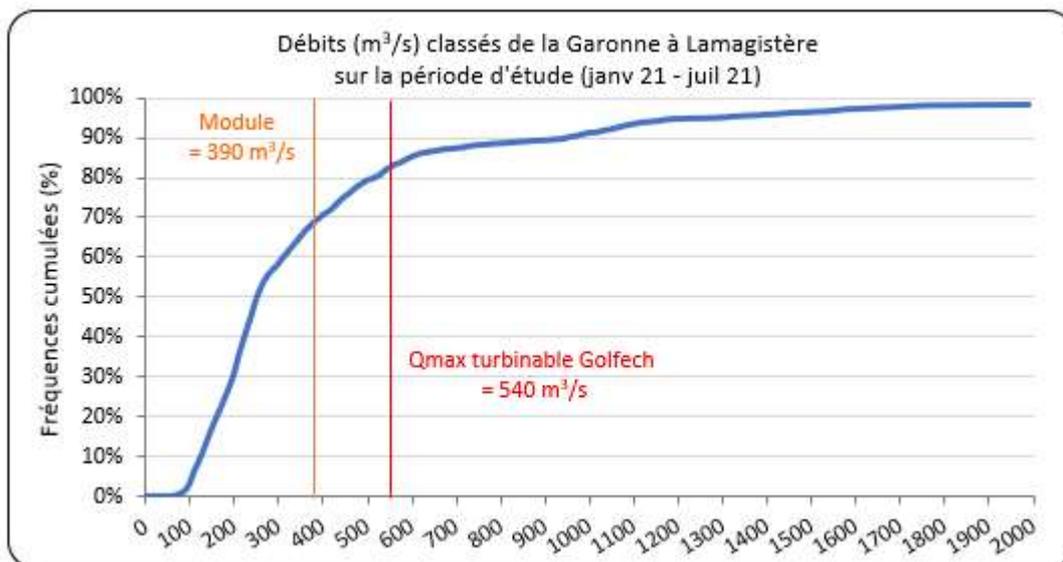


Figure 20 : Débits classés de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude

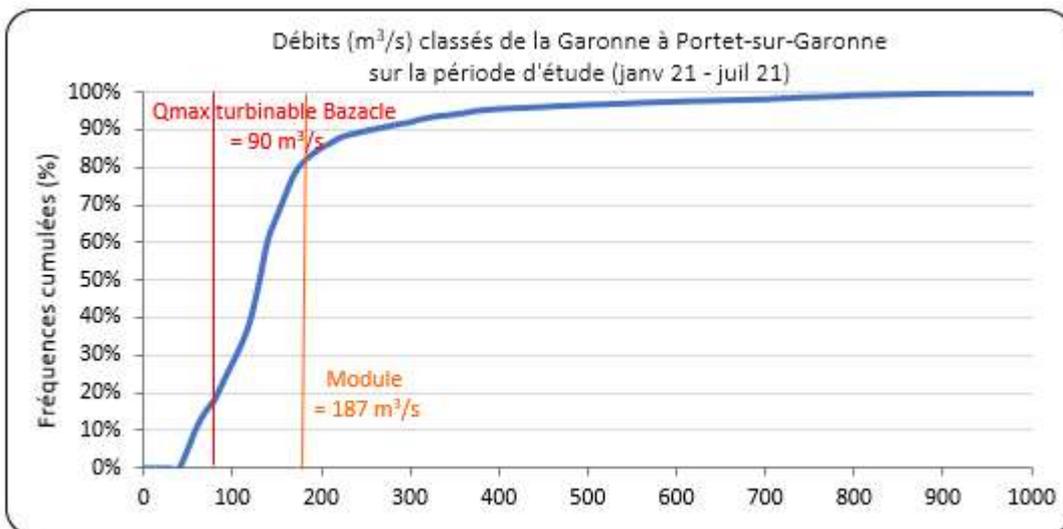


Figure 21 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude

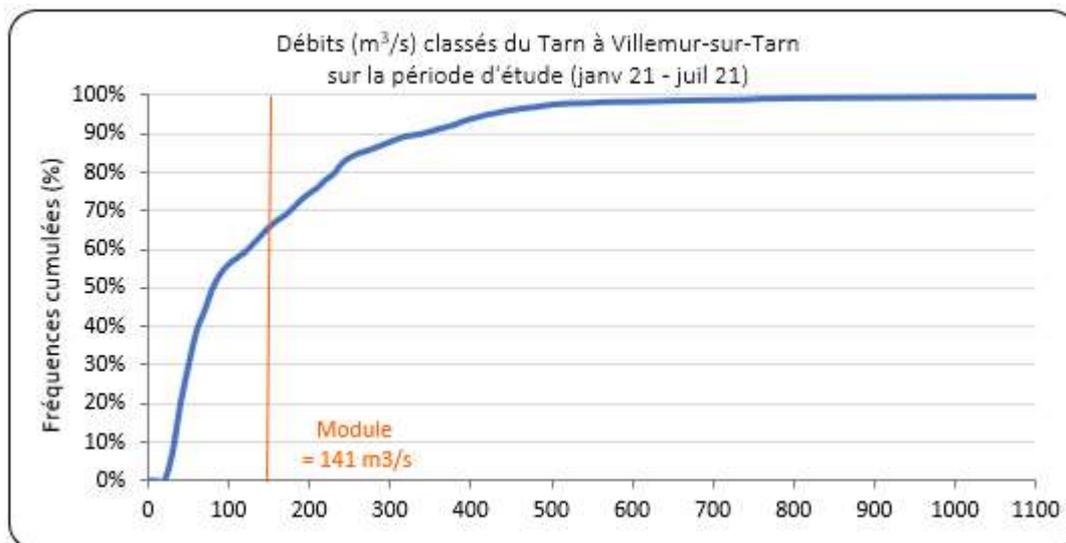


Figure 22 : Débits classés du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude

Le module de la Garonne à Lamagistère est de 390 m³/s. Cette valeur a été dépassée seulement 30,5 % du temps d'étude (Figure 20). Les débits à Lamagistère ont été inférieurs au maximum turbinable à l'usine de Golfech pendant 82 % du temps, ce qui signifie que seulement 18 % du temps d'étude a potentiellement présenté des déversements au barrage de Malause. Sur la station amont de Portet-sur-Garonne, les débits ont été supérieurs au module (187 m³/s) 17 % du temps (Figure 21). Les débits à Portet-sur-Garonne ont été supérieurs au maximum turbinable à l'usine du Bazacle 77 % du temps, ce qui signifie des déversements importants au niveau de la chaussée du Bazacle sur la majeure partie de l'étude.

En ce qui concerne les débits du Tarn, ils ont été supérieurs au module (141 m³/s) seulement 36,5 % du temps d'étude (Figure 22).

5.2 Analyse de l'année 2021 par rapport aux chroniques historiques

Le débit moyen journalier lors du premier semestre 2021 est resté globalement inférieur à la moyenne des valeurs observées sur les cinquante dernières années (Figure 23) et au débit observé lors de premier suivi en 2020. Celui-ci a été supérieur à la moyenne uniquement au moins de février, suite à la crue. On notera que début février, les valeurs enregistrées ont été supérieures aux valeurs enregistrées sur l'ensemble de la chronique.

Pour l'année 2021, la crue enregistrée en début d'année fait partie des plus importantes observées sur cette période et son intensité est accentuée par les très faibles débits enregistrés au cours des mois suivants. Le premier semestre 2021 correspond donc à une année présentant une crue majeure en sortie d'hiver, suivie d'un printemps particulièrement sec.

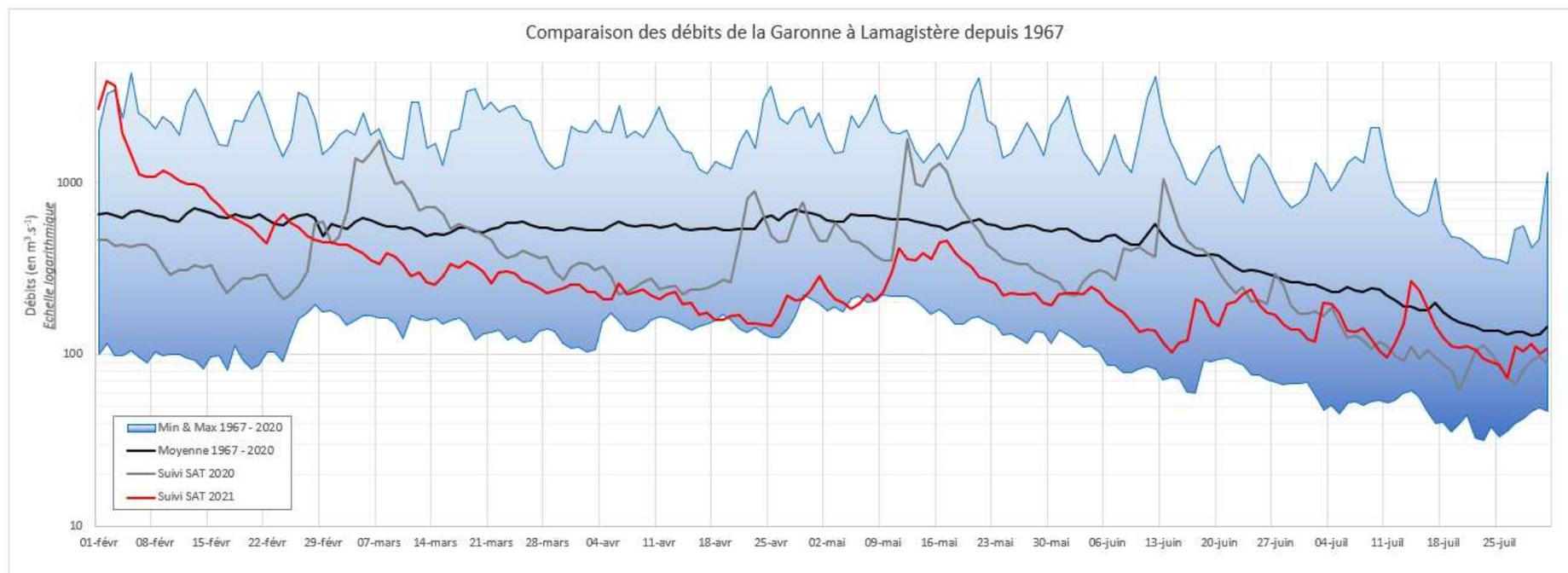


Figure 23 : Comparaison des débits de la Garonne à Lamagistère depuis 1967

5.3 Température de l'eau

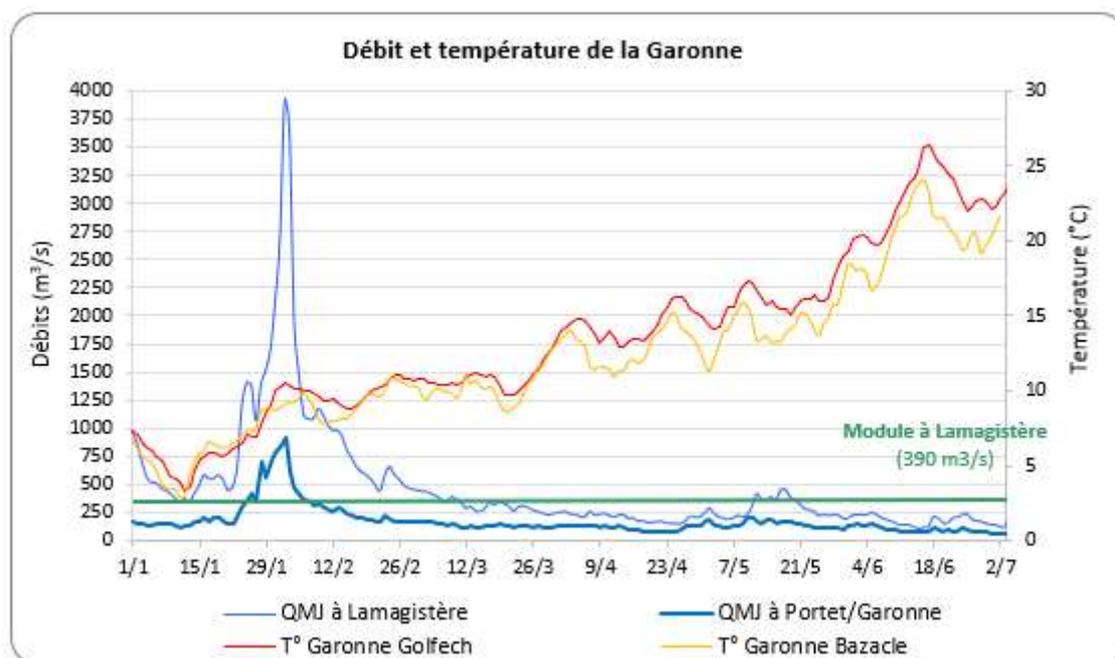


Figure 24 : Hydrologie et thermie de la Garonne au cours du suivi 2021

Pour les températures, l'eau de la Garonne a dépassé les 10°C après la crue de février et a augmenté progressivement pour atteindre 15°C fin avril, puis la température de l'eau a atteint les 20°C à partir de début juin (Figure 24). Concernant la migration des saumons, les températures à Golfech ont donc été favorables jusqu'aux environs de la mi-juin 2021.

6. RESULTATS AUX STATIONS DE CONTROLE ET PIEGEAGE

6.1 Station de contrôle de Golfech

6.1.1 Le saumon atlantique

L'année 2021 a vu l'enregistrement de 96 individus de saumons atlantique à la station de contrôle vidéo de Golfech. Le premier individu a été contrôlé le 28 février 2021 pour une température de l'eau proche de 10°C. La migration a donc véritablement débuté au mois de mars, avec 16 saumons filmés (soit une moyenne de 0,5 ind./jr). Aucun poisson n'a été contrôlé après le 21 juin (température de l'eau > 24°C). Cette année, la migration a donc été très condensée avec 99 % des effectifs contrôlé entre mars et juin (95 sur 96) ainsi que 89,5 % sur les mois de mars, avril et mai (86 sur 96). On notera au mois d'avril, deux journées consécutives avec 6 poissons contrôlés par jour. Mais sur la période la plus intense (mars à mai), la moyenne journalière reste inférieure à 1 (86 saumons en 92 jours).

La température de l'eau élevée à la fin du mois de juin (T°C > 23°C), conjuguée aux faibles débits observés (< 200 m³/s) semblent avoir stoppé la dynamique de migration.

Concernant le devenir des poissons, il était prévu de transporter les poissons non marqués pour l'étude sur la rivière Ariège. Lors du suivi 2020, en raison de la crise sanitaire liée à la COVID-19, l'effort de piégeage prévu pour le transfert des poissons sur l'Ariège n'a pas pu être mis en place comme initialement prévu. Au final, seulement 16 poissons sur les 168 contrôlés à Golfech ont été capturés et déversés sur l'Ariège et aucun poisson n'a rejoint le centre de reconditionnement de Bergerac. Lors de ce suivi 2021, 37 individus ont pu être

capturés et transférés sur l'Ariège (38 %) et 5 ont rejoint le centre de reconditionnement de Bergerac (5 %) en raison de leur état sanitaire peu satisfaisant (et 24 poissons ont été utilisés pour le radiopistage (25 %) et 1 individu a été prédaté dans le canal de transfert (1 %)). Au final, 29 saumons n'ont pas pu être capturés, principalement en raison de leur passage nocturne à l'ascenseur, et ont donc rejoint la Garonne amont (30 %).

Avec 96 individus, le nombre de saumons contrôlés en 2021 est relativement faible comparé aux deux précédentes années. L'effectif contrôlé en 2021 correspond à 57 % de l'effectif contrôlé en 2020. Le Tableau 8 récapitule les effectifs de saumon contrôlés à la station de Golfech depuis 1993.

Année	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Effectif	96	168	141	77	86	149	219	142	51	133	165
Année	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Effectif	100	71	204	150	128	45	126	86	351	599	436
Année	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993				
Effectif	255	90	62	115	117	137	46				

Tableau 8 : Bilan historique des effectifs de saumons Atlantique contrôlés à Golfech depuis 1993

6.1.2 Le silure

Le suivi des migrations des espèces amphibiotiques a permis de mettre en évidence, sur la station de contrôle, une activité migratoire parfois intense chez les espèces holobiotiques. En 2021, la population de silures à Golfech reste significative avec 483 individus contrôlés à la vitre de la station de contrôle.

Depuis 2006, plusieurs études successives (BOUYSSONNIE et al, 2021) ont montré des déplacements quotidiens et réguliers de l'espèce en aval de l'ascenseur à poissons et cela pendant toute la saison de migration. Il a été observé également de la prédation sur toutes les espèces migratrices dans le canal de transfert de l'ascenseur, notamment vis-à-vis du saumon atlantique.

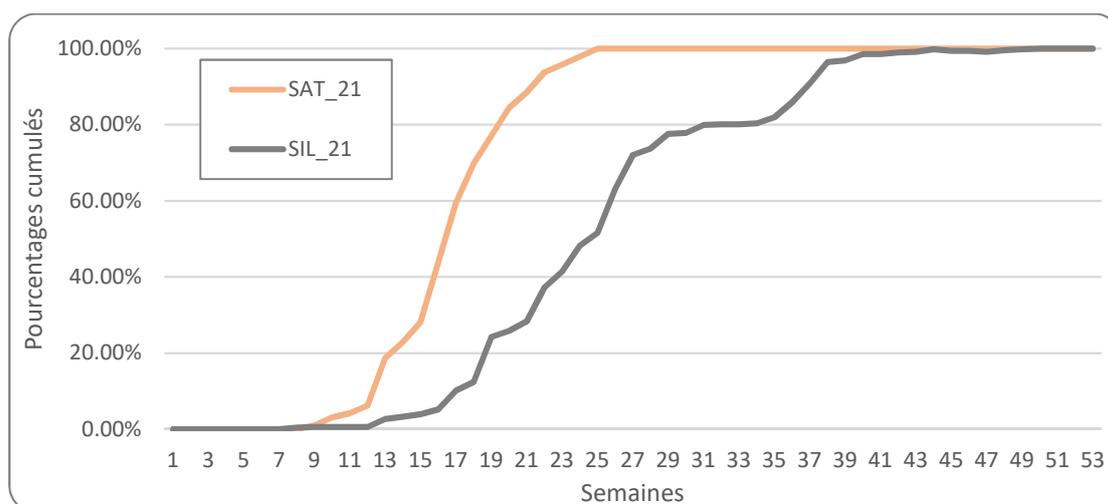


Figure 25 : Pourcentages cumulés des effectifs de saumons et de silures par semaine pour l'année 2021

Lorsque l'on regarde les pourcentages cumulés des effectifs sur l'année 2021 (Figure 25), on observe que les saumons arrivent tôt dans la saison et que l'on atteint rapidement l'effectif maximal (en 15 semaines) contrairement aux silures qui eux se présentent plus tardivement (de 2 à 3 semaines) mais atteignent également plus tardivement leur effectif maximal de l'année (en 28 semaines). Parmi les 483 silures observés à la station de contrôle de Golfech, 239 individus ont transité à travers le système au cours de la période de migration des saumons (du 28/02/2021 au 22/06/2021). Par la suite, seul cet effectif sera donc considéré.

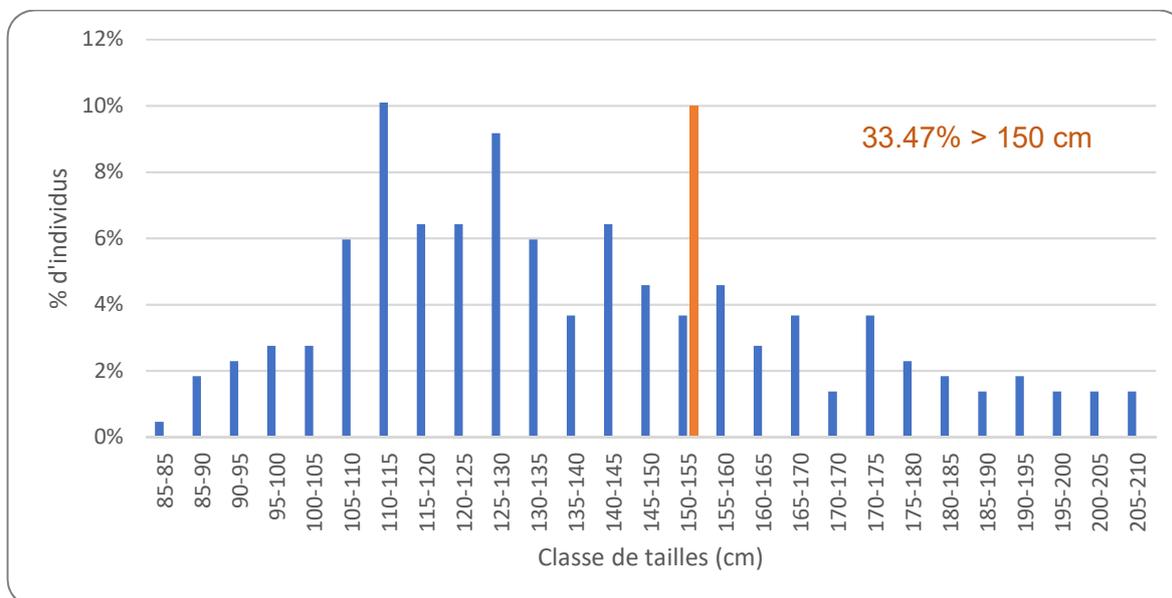


Figure 26 : Représentativité des classes de tailles de silures observés à Golfech pendant la période de migration (en orange : individu le plus petit ayant prédaté un saumon)

La moyenne de taille des individus reste assez stable sur l'ensemble de la période (et plus généralement sur l'année) avec des valeurs autour de 144 cm. Cependant, si l'on regarde les données obtenues grâce au protocole de vidange effectué dans le canal de transfert de Golfech depuis 2017, il en ressort que l'individu le plus petit ayant prédaté un saumon mesurait 150 cm (en 2021). Sur cette base, en analysant les classes de tailles des individus, on remarque que 33,47 % des silures (soit 80 individus) qui ont emprunté l'ascenseur à poissons avaient une taille supérieure ou égale à 150 cm pendant la période de migration des saumons en 2021 (Figure 26).

Dans le but de comprendre réellement l'impact du silure sur la migration du saumon atlantique, le passage de chaque individu a été analysé. Il en ressort que 20 silures de plus de 150 cm ont été en contact avéré avec au moins un saumon pendant leur transit dans le système de franchissement (soit 25 % des « grands » individus et 8,37 % du total de la période).

	Silures du 28-02 au 22-06	Silures >150cm	Concomitance Silure-Saumon	Prédation avérée
Nombre d'individus	239	80	20	1
Pourcentage relatif	100%	33,47%	25,00%	5,00%
Pourcentage du total de la période	100%	33,47%	8,37%	0,42%

Tableau 9 : résumé du nombre de silures et des pourcentages associés à la présence de saumons

Le protocole de vidange, via les contrôles des contenus stomacaux, a permis de mettre en évidence la prédation d'un saumon (le 30/03/21) par un silure de 150 cm. Sur l'ensemble des silures présents lors de la période de migration du saumon (rappel : 239 individus) cela

représente 0.42% (1/239). En revanche, lorsque l'on ramène ce chiffre au nombre de silures discriminés par les précédentes étapes, 5% (1/20) des silures de plus de 150cm ayant été en présence de saumons dans le système en ont effectivement prédaté un (Tableau 9).

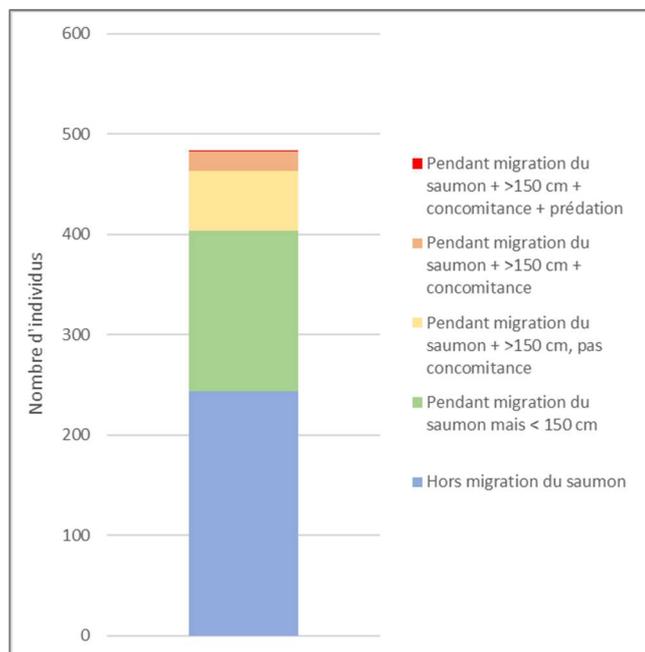


Figure 27 : Résumé du passage et des caractéristiques des silures ayant empruntés l'ascenseur à poissons de Golfech en 2021

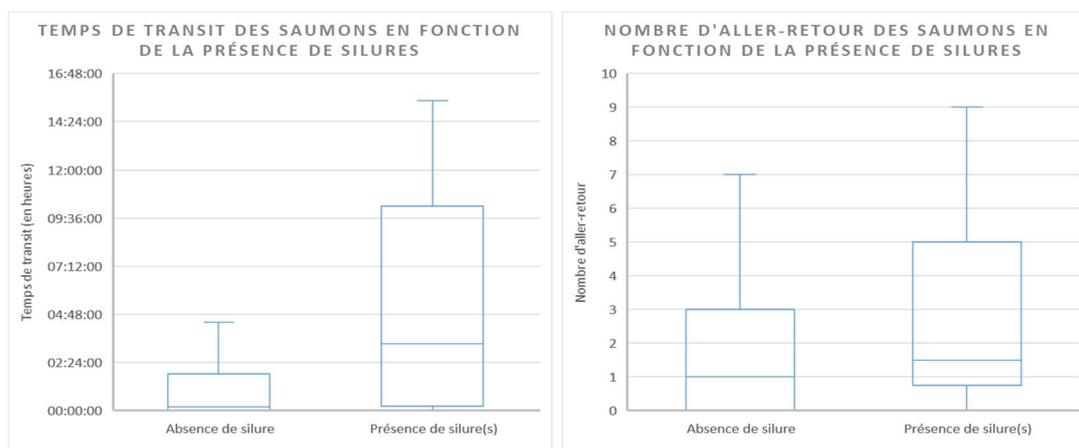


Figure 28 : Analyse de l'impact du silure sur le comportement migratoire du saumon atlantique dans le canal de transfert de Golfech

Outre la prédation qui reste dépendante de facteurs précis et relativement peu présents en 2021, le silure semble également, de par son unique présence, freiner la migration en effarouchant les saumons en transit à travers le système. En effet, on observe que le temps de transit médian en 2021 dans le canal de transfert est supérieur de 3h en présence de silures au temps de transit médian en son absence (3h20 contre 11 minutes). Le nombre d'aller-retour

dans le canal quant à lui semble également plus important en présence de silures (médiane avec silure = 1,5 aller-retour, médiane sans silure = 1 aller-retour, Figure 28).

6.1.1 Fonctionnement de l'ascenseur à poissons de Golfech

Au cours de la période de migration du saumon en 2021 (28 février – 22 juin), le dispositif de franchissement de Golfech a fonctionné 99% du temps théorique (2743h sur 2760h). Les arrêts de l'ascenseur sont systématiquement consignés et classés selon 4 classes : Crue, Entretien, Volontaire et Panne. Certains arrêts, comme les crues, sont inéluctables et sont le fait même de la conception de l'ouvrage de franchissement, calé pour fonctionner jusqu'à des débits atteignant 2 fois le module (environ 900 m³/s à Golfech).

Le coup d'eau du mois de mai n'ayant pas provoqué une hausse assez conséquente pour mettre en péril le fonctionnement de l'ascenseur, celui-ci est resté en activité pendant cette période.

La seule cause d'arrêt de l'ascenseur durant la saison est due à un problème d'ordre mécanique qui conduit à un arrêt du système. Cet arrêt est advenu le 12 juin et représente 17h d'arrêt durant lesquelles la cuve ne remonte pas. Cependant le débit d'attrait reste en fonctionnement.

6.2 Station de contrôle du Bazacle

En 2021, seulement 3 saumons ont été enregistrés au total comme franchissant l'ouvrage du Bazacle, dont 1 poisson radiomarké. C'est le nombre le plus faible jamais contrôlé depuis 1994 (mise en place des contrôles vidéo), indépendamment du nombre total de poissons à l'amont de l'aménagement de Malause/Golfech. Les individus ont été contrôlés le 18/04, le 22/05 et le 30/05 (poisson marqué **48101_12**).

En parallèle du contrôle des saumons, 63 individus de silure ont été observés à la station du Bazacle au cours de l'année 2021 (32 en 2020, 21 en 2019, 58 en 2018 et 30 en 2017).

En connaissant le nombre de saumons à l'amont de l'ouvrage de Golfech et le nombre d'individus contrôlés au Bazacle, il est possible de calculer le taux de transfert entre les 2 ouvrages. En 2021, 3 saumons ont été contrôlés au Bazacle sur les 33 passés à l'amont de Golfech (c'est-à-dire les individus non piégés pour transport sur l'Ariège (29) additionné des 4 radiomarkés ayant refranchi l'ascenseur à poissons de Golfech), soit un taux de transfert de 9 %. Le Tableau 10 reprend l'évolution du taux de transfert des saumons entre Golfech et l'amont du Bazacle. Le taux de transfert moyen varie donc de 9 % à 53 %, avec une moyenne de 30 % sur la période 1994-2020. En 2021, ce taux de 9 % est le plus faible depuis 1994 et inférieur encore à l'année 2018 où un taux de transfert de 13 % avait été enregistré.

Année	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Nbr de SAT en amont de Golfech	33	151	34	62	45	84	136	90	43	116	152
Nbr de SAT contrôlés au Bazacle	3	60	8	8	14	37	46	14	13	21	50
Taux de transfert	9%	39%	24%	13%	31%	44%	34%	16%	30%	18%	33%
Année	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Nbr de SAT en amont de Golfech	92	59	183	137	119	37	118	88	351	599	436
Nbr de SAT contrôlés au Bazacle	24	22	73	31	47	10	33	28	121	123	73
Taux de transfert	26%	37%	40%	23%	39%	27%	28%	32%	34%	21%	17%
Année	1999	1998	1997	1996	1995	1994					
Nbr de SAT en amont de Golfech	255	90	62	115	117	134					
Nbr de SAT contrôlés au Bazacle	40	37	10	61	37	55					
Taux de transfert	16%	41%	16%	53%	32%	41%					

Tableau 10 : Evolution du taux de transfert des saumons sur la Garonne entre Golfech et le Bazacle entre 1994 et 2021

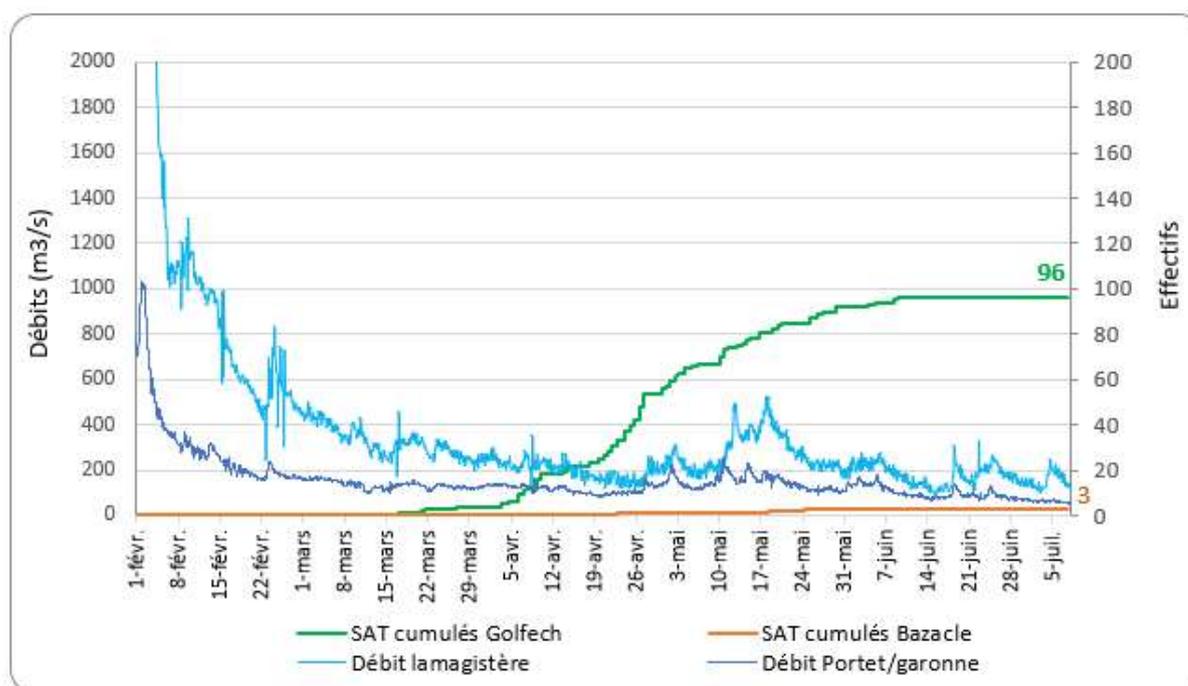


Figure 29 : Effectifs cumulés de saumons Atlantique contrôlés aux stations de Golfech et du Bazacle

La Figure 29 présente l'évolution des effectifs cumulés de saumons adultes contrôlés aux stations vidéo de Golfech (ascenseur) et du Bazacle (passe à bassins et passe à ralentisseurs). Comme expliqué au paragraphe 6.1.1, les effectifs à la station de Golfech sont relativement faibles en 2021. Les effectifs ont évolué de manière continue entre le début du mois d'avril et la fin du mois de mai. Seulement 9 individus ont été contrôlés au mois de juin, et aucune reprise de migration ne sera observée après la période estivale. Au niveau du Bazacle, les effectifs n'ont jamais décollé et le bilan de l'année 2021 est de seulement 3 franchissements.

6.3 Données du piégeage

Au cours de l'année 2021, 96 saumons au total ont été recensés à la station de contrôle de Golfech. La campagne de piégeage mise en place pour les besoins de ce suivi a permis de capturer 24 d'entre eux (soit 25 % des individus passés à Golfech), entre les mois de mars et juin. Sur ces 4 mois (mars/avril/mai/juin), les marquages ont été répartis ainsi : 3/11/9/1 soit 12,5 % / 46 % / 37,5 % / 4 %. Parmi ces 24 saumons, il n'y a aucun castillon (individu d'1 hiver de mer), tous les poissons contrôlés en 2021 étant des individus de plusieurs hivers de mer. Après le 02 juin, la baisse des débits, l'augmentation de la température de l'eau et les très faibles taux de contrôle à la station vidéo de Golfech ont entraîné l'arrêt des piégeages pour les marquages.

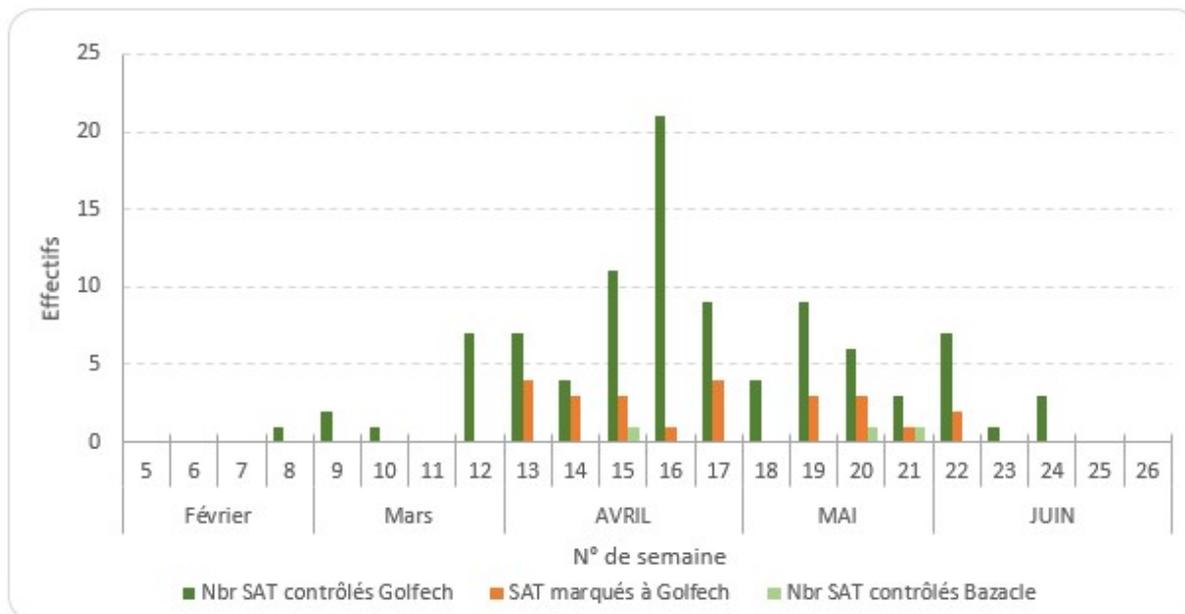


Figure 30 : Comparaison de la répartition hebdomadaire des passages de saumons à Golfech et au Bazacle avec la répartition des piégeages/marquages pour le suivi télémétrique

La Figure 30 et la Figure 31 montrent que la migration de saumons atlantique 2021 a été essentiellement concentrée sur les mois d'avril et mai avec 74 % (71 sur 96) de l'effectif total contrôlé à Golfech. Concernant les piégeages et les marquages de saumons, 11 saumons sur les 24 marqués au total, ont été équipés d'émetteurs au mois d'avril (46 %) et 9 au mois de mai (37,5 %). Globalement, les dates de marquage pour le suivi télémétrique correspondent aux périodes principales de contrôle des saumons à la station vidéo de Golfech. Les contrôles de poissons au Bazacle ne seront pas discutés ici en raison de leur faible nombre. Pour rappel, seulement 3 saumons ont été contrôlés comme franchissant le Bazacle (dont 1 radio-marqué), avec 1 contrôle au mois d'avril et 2 contrôles au mois de mai.

Au total, les 24 poissons piégés puis marqués ont été capturés sur 19 sessions de piégeage (Tableau 11), qui se sont déroulées pour des débits à Lamagistère entre 150 et 450 m³.s⁻¹ (Figure 31). La majorité des poissons a été piégée sur des débits à Lamagistère faibles (inférieurs au module) et stables, seuls 6 individus ayant été piégés lors d'une hausse ou d'une baisse de débit notable (coup d'eau entre le 10 et le 25 mai) : 3 poissons lors de la hausse du débit de la Garonne (11 et 12 mai) et 3 poissons lors de la baisse des débits (18, 20 et 21 mai).

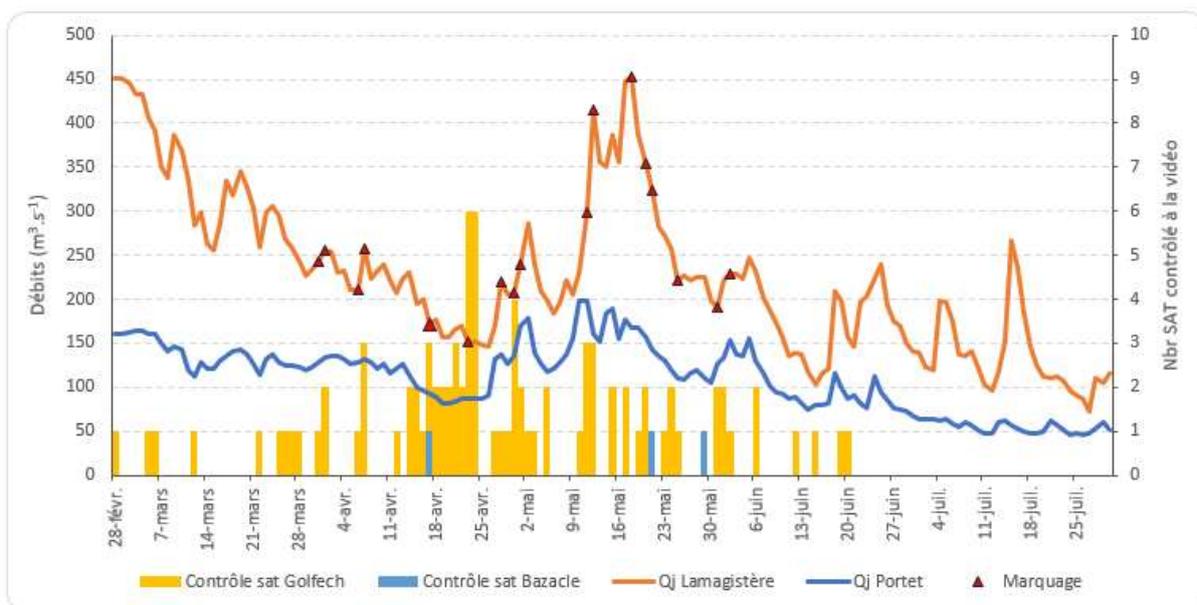


Figure 31 : Répartition des franchissements et des piégeage/marquages à Golfech, ainsi que des franchissements au Bazacle en fonction des débits de la Garonne

Le détail de la Figure 32 montre que 75 % des piégeages et des contrôles vidéo ont été réalisés pour des débits à Lamagistère inférieurs à $270 m^3 \cdot s^{-1}$ et que la majeure partie des contrôles vidéo se sont déroulés entre $170 m^3 \cdot s^{-1}$ et $260 m^3 \cdot s^{-1}$ alors que la plupart des marquages de poissons ont été réalisés entre 210 et $270 m^3 \cdot s^{-1}$. Concernant les débits journaliers du premier semestre à Lamagistère, le 3^{ème} quartile est de $450 m^3 \cdot s^{-1}$ et la médiane est de $240 m^3 \cdot s^{-1}$ (illustre la faiblesse des débits sur cette période).

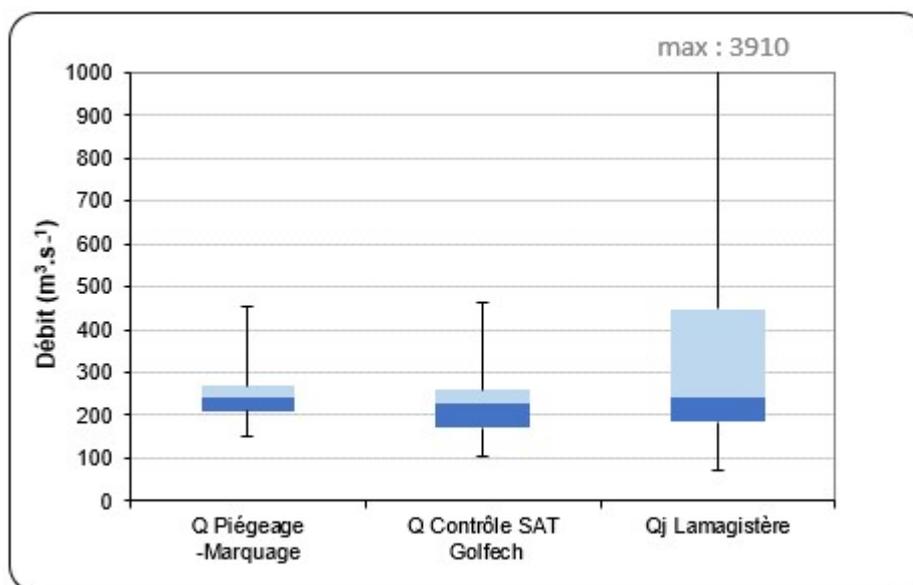


Figure 32 : Répartition des débits de piégeage et de contrôle à la vidéo des saumons par rapport au débit de Lamagistère (1^{er} janv. au 31 juil.)

N° poisson	Date	Code lot	Radio		Acoustique	Tiris	Date heure lâcher	Lieu de lâcher	Taille	Adipeuse
			Freq.	Code						
SAT_1	31/03/2021	SAT21GAR0	48101	0	52390	8000F9EE941A7A26	31/03/2021 12:15	Saint Sixte	78	non
SAT_2	31/03/2021	SAT21GAR1	48101	1	734	8000F9EE941D935A	31/03/2021 17:15	Saint Sixte	83	non
SAT_3	31/03/2021	SAT21GAR2	48101	2	736	8000F9EE941D93D4	31/03/2021 17:15	Saint Sixte	72	non
SAT_4	01/04/2021	SAT21GAR3	48101	3	737	8000F9EE941A79E5	01/04/2021 10:15	Saint Sixte	73.5	oui
SAT_5	06/04/2021	SAT21GAR4	48101	4	738	8000F9EE941A70B9	06/04/2021 19:30	Saint Sixte	78.5	non
SAT_6	07/04/2021	SAT21GAR5	48101	5	739	8000F9EE941A795E	07/04/2021 15:30	Saint Sixte	78.5	oui
SAT_7	07/04/2021	SAT21GAR6	48101	6	740	8000F9EE941A78F3	07/04/2021 19:30	Saint Sixte	80.5	oui
SAT_8	17/04/2021	SAT21GAR9	48101	9	741	8000F9EE941D9424	17/04/2021 11:35	Saint Sixte	82	oui
SAT_9	17/04/2021	SAT21GAR10	48101	10	742	8000F9EE941D94C7	17/04/2021 11:35	Saint Sixte	76	oui
SAT_10	17/04/2021	SAT21OGAR12	48101	12	743	8000F9EE941A794B	17/04/2021 11:35	Saint Sixte	77.5	oui
SAT_11	23/04/2021	SAT21GAR25	48101	25	744	8000F9EE941A7171	23/04/2021 14:00	Saint Sixte	77	non
SAT_12	28/04/2021	SAT21GAR26	48101	26	745	8000F9EE941A7299	28/04/2021 12:50	Saint Sixte	79	oui
SAT_13	28/04/2021	SAT21GAR27	48101	27	746	8000F9EE941A740F	28/04/2021 12:50	Saint Sixte	75	oui
SAT_14	30/04/2021	SAT21GAR28	48101	28	747	8000F9EE941D92C1	30/04/2021 08:00	Saint Sixte	80.7	oui
SAT_15	01/05/2021	SAT21GAR29	48101	29	748	8000F9EE941A713E	01/05/2021 11:50	Saint Sixte	79.5	non
SAT_16	11/05/2021	SAT21GAR30	48101	30	749	8000F9EE941A783C	11/05/2021 09:45	Saint Sixte	78.5	oui
SAT_17	12/05/2021	SAT21GAR31	48101	31	750	8000F9EE941A8E72	12/05/2021 10:30	Lamagistère	83	oui
SAT_18	12/05/2021	SAT21GAR32	48101	32	751	8000F9EE941A7044	12/05/2021 10:30	Lamagistère	77	oui
SAT_19	18/05/2021	SAT21GAR33	48101	33	752	8000F9EE941A7982	18/05/2021 18:00	Lamagistère	82	non
SAT_20	20/05/2021	SAT21GAR34	48101	34	753	8000F9EE941A7518	20/05/2021 17:20	Lamagistère	81	oui
SAT_21	21/05/2021	SAT21GAR37	48101	37	754	8000F9EE941D936F	21/05/2021 12:15	Lamagistère	85.5	oui
SAT_22	25/05/2021	SAT20GAR50	48101	50	755	8000F9EE941A7362	25/05/2021 17:12	Lamagistère	78.5	oui
SAT_23	31/05/2021	SAT20GAR51	48101	51	756	8000F9EE941D954F	31/05/2021 18:20	Lamagistère	73	oui
SAT_24	02/06/2021	SAT20GAR52	48101	52	757	8000F9EE941D94A1	02/06/2021 09:05	Lamagistère	85	oui

Tableau 11 : Synthèse des poissons piégés et marqués à Golfech au cours du suivi 2021

7. RESULTATS CONCERNANT LE SUIVI PAR TELEMETRIE

Pour faciliter le repérage des poissons sur l'ensemble du secteur d'étude, il a été décidé arbitrairement de situer le PK_0 de la Garonne au niveau du Bec d'Ambès (Figure 33). Par ailleurs, les PK des affluents de la Garonne repartent de 0 au niveau de la confluence. Ainsi, une position géographique est définie par un code reprenant les trois premières lettres du cours d'eau (GAR, TAR ou encore ARI pour respectivement la Garonne, le Tarn et l'Ariège) puis son point kilométrique. Par exemple, le *PK GAR_220* signifie que l'on se situe sur la Garonne à 220 km en amont du Bec d'Ambès.

Au niveau du site de Golfech, la Garonne se divise en rive gauche avec le tronçon court-circuité et en rive droite avec le canal de fuite et le canal d'amenée de la centrale hydroélectrique. Dans ce cas présent, le tronçon court-circuité gardera l'appellation « GAR » pour Garonne alors que les 2 canaux de l'usine seront regroupés sous l'appellation « GOL » avec un PK_0 au niveau de la confluence entre le canal de fuite et la Garonne (plus d'informations en Annexe C).

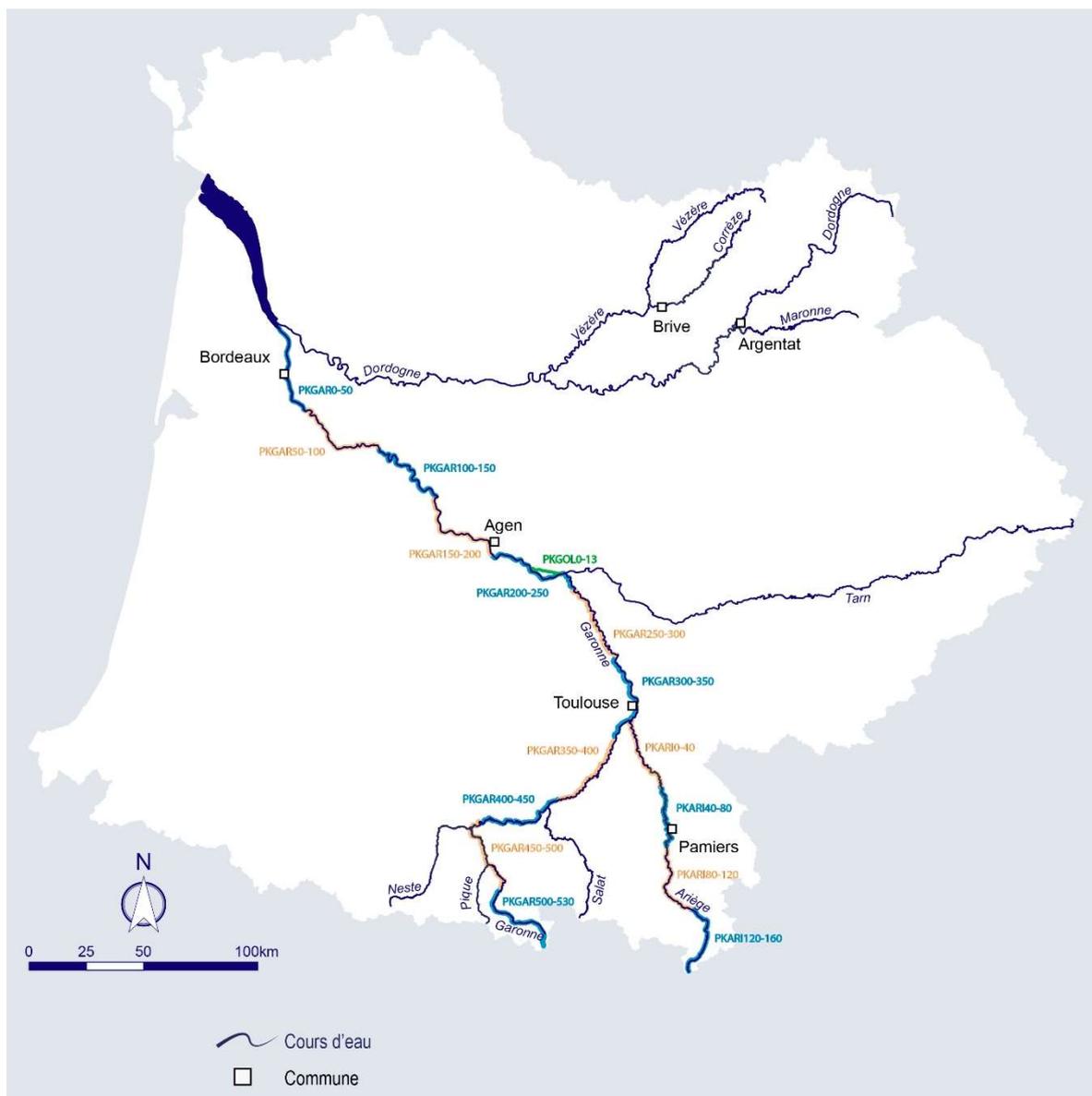


Figure 33 : Cartographie des différents secteurs et les différents codes utilisés dans l'analyse du devenir des individus marqués (points kilométrique)

7.1 Devenir des 24 saumons marqués

24 saumons ont été capturés à l'aide du piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur à poissons de Golfech. Ces 24 saumons ont tous été marqués avec 3 types d'émetteurs (radio, acoustique et RFID), comme expliqué au paragraphe 4.2.2. et relâchés quelques kilomètres en aval de l'ouvrage de franchissement de Golfech : à Saint Sixte, *PK GAR_207,5*, soit 7,5 km en aval de l'aménagement (pour les 16 premiers individus) ou à Lamagistère, *PK GAR_211,4*, soit 3,5 km en aval de l'aménagement (pour les 8 derniers individus). Pour rappel, les marquages de poissons se sont étalés entre le 31 mars 2021 et le 02 juin 2021. Le suivi de ces poissons a été effectué pour la majorité jusqu'à la mi-juillet.

Nombre de poissons suivis	Nombre de poissons détectés dans le canal de fuite		Nombre de poissons détectés en aval de l'ascenseur		Nombre de poissons détectés au niveau des entrées de l'ascenseur		Nombre de poissons ayant réalisé des incursions aux entrées		Nombre de poissons ayant franchi l'ascenseur	
24	14 sur 24	58 %	13 sur 24	54 %	12 sur 24	50 %	7 sur 24	29 %	4 sur 24	16,5 %

Tableau 12 : Détails des détections des poissons marqués en aval de l'aménagement de Golfech

Parmi ces 24 individus marqués, 14 ont effectué au moins une incursion dans le canal de fuite de l'usine (soit 58 %). Au sein de cet effectif, 13 saumons suivis ont atteint le pied de l'ascenseur de Golfech (13 sur 24, soit 54 %). Il y a donc un individu, qui une fois engagé dans le canal de fuite, n'a pas rejoint le pied de l'ascenseur pourtant situé moins de 1.5 km en amont. Il s'agit du poisson **48101_50** qui a été pointé en suivi manuel à son pk maximal 500 m en amont du pont du nucléaire dans le canal de fuite (*PK GOL_1,65*).

Parmi les 13 poissons détectés en aval de l'ascenseur, 12 ont été enregistrés au moins à une des deux entrées de l'ascenseur (12 sur 24, soit 50 %). Le poisson **48101_10** n'a pas réalisé de tentative d'incursion aux entrées. Il a été enregistré pendant 3h en aval de l'ascenseur avant de dévaler très rapidement de manière significative (aval *PK GAR_113*). Sur ces 12 poissons qui se sont approchés des entrées de l'ascenseur, 7 ont réalisé au moins 1 incursion dans une des deux entrées (7 sur 12, soit 58 % et 7 sur 24, soit 29 %). Les 5 poissons qui n'ont pas réalisé d'incursions ont soit dévalé significativement en aval du seuil de beaugard (*PK GAR_190,5*) (**48101_03** ; **48101_29** ; **48101_32**), soit redescendu le canal de fuite avant de s'engager dans le tronçon court-circuité (**48101_30**) ou bien sont resté dans le canal de fuite (**48101_37**) environ 500 m en aval de l'usine, au niveau de la prise d'eau du CNPE (*PK GOL_1,65*).

Enfin, parmi les 7 poissons ayant réalisé des incursions aux deux entrées, 4 ont finalement franchi l'ouvrage de montaison et se sont retrouvés à l'amont de l'usine de Golfech via l'ascenseur. Il s'agit des poissons **48101_04**, **48101_05**, **48101_09** et **48101_12**. Les 3 poissons qui n'ont finalement pas franchi l'ascenseur ont, soit dévalé de manière notable (**48101_25**) en aval du point de lâcher (*PK GAR_200*), soit emprunté le TCC avec le saumon **48101_00** qui a atteint l'aval du barrage de Malause (*PK GAR_227,7*). Pour ce saumon, seul l'émetteur radio a été détecté à cet endroit (le tag acoustique qui était un tag du suivi 2020 a eu une durée de vie plus courte qu'un tag neuf et a donc cessé de fonctionner prématurément ne permettant pas d'avoir d'information sur la prédation de l'individu). Enfin, le poisson **48101_31** a stoppé ses mouvements dans le TCC, en aval du village d'Auvillar (*PK GAR_220,5*).

Concernant les 4 poissons ayant franchi l'ouvrage de Golfech, deux d'entre eux n'ont pas atteint Toulouse (**48101_04** et **48101_09**) et deux sont arrivés jusqu'à l'usine du Bazacle (**48101_05** et **48101_12**). Seul le poisson **48101_12** a franchi cet aménagement via la passe à poissons puis a traversé l'agglomération de Toulouse en empruntant le site de la Cavaletade. Ce poisson a même atteint l'ouvrage de Carbonne, situé à une quarantaine de kilomètres en amont du Toulouse (*PK GAR_361*), mais sans franchir celui-ci (ouvrage de franchissement hors-service tout au long de la saison de migration 2021). Ce poisson ne sera plus retrouvé par la suite en suivi manuel. Le poisson **48101_05** est resté quant à lui quelques jours en aval du Bazacle en s'approchant de l'entrée de la passe à bassins mais sans y pénétrer, avant de rejoindre la rive gauche, toujours en aval de la digue, et d'y rester définitivement (*PK GAR_313,7*). Pour ce secteur en amont du complexe Malause-Golfech, aucun poisson suivi ne s'est engagé sur l'axe Tarn ou sur l'axe Ariège.

En ce qui concerne les 10 poissons n'ayant pas rejoint le canal de fuite, tous ont montré des mouvements de dévalaison plus ou moins rapides après leur marquage et leur lâcher.

Les résultats détaillés concernant l'ensemble des poissons sont exposés à partir du paragraphe 7.2 et les Figure 34 et Figure 35 présentent la position la plus amont de chaque individu suivi pendant la campagne 2021.

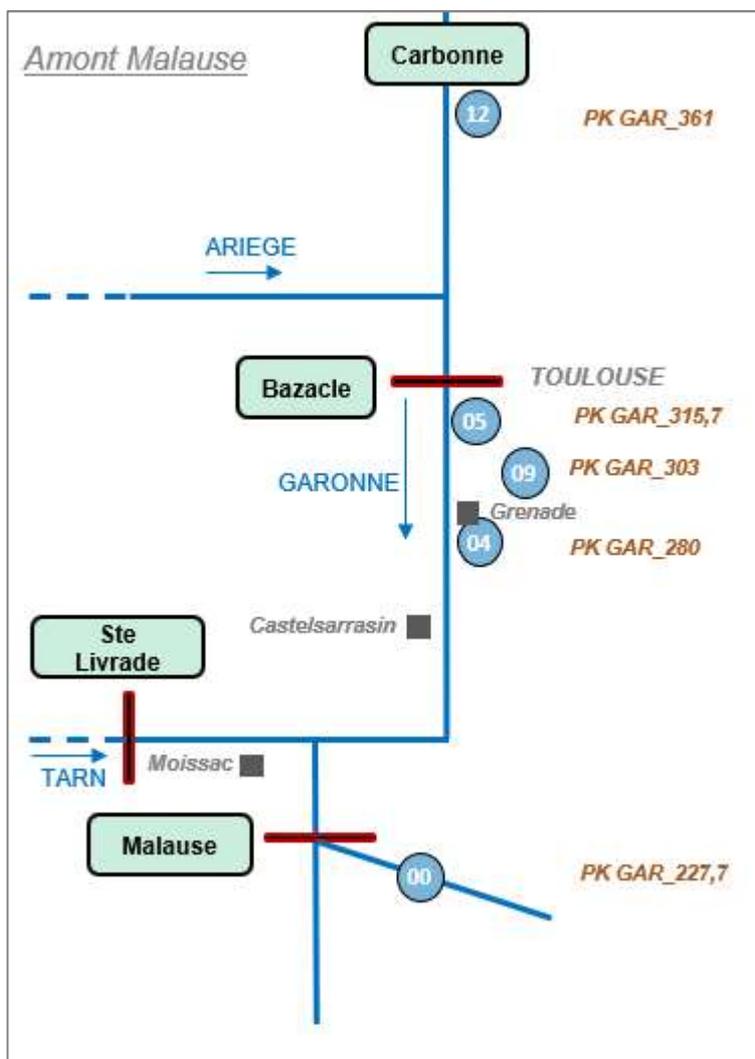


Figure 34 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en amont du complexe Malause-Golfech

Au cours de ce suivi 2021, le PK_{max} atteint est le PK GAR_361, c'est-à-dire l'aval de l'aménagement de Carbonne en amont de Toulouse (Figure 34). Ce PK a été atteint par le saumon **48101_12** qui n'a pas franchi l'aménagement (ouvrage de franchissement hors-service tout au long de la saison de migration 2021) et qui n'a pas pu être suivi jusqu'à la fin de la campagne car non retrouvé à partir du 09 juin. Au final, seulement 6 individus marqués ont dépassé le PK de l'aménagement de Golfech (4 franchissements et 2 individus dans le TCC).

A la fin de la période de suivi (31/07/2021), 13 émetteurs étaient encore détectés lors des tournées de suivi manuel pour les poissons dont la localisation était connue. Sur l'ensemble des suivis manuels effectués, aucun cadavre de poisson marqué n'a été retrouvé cette année (lors du suivi 2020, le cadavre d'un individu avait été retrouvé sur l'Aussonnelle, affluent de la Garonne).

On notera sur la Figure 35, que 7 individus ont pour PK_{max} l'aval immédiat de l'usine de Golfech, 1 individu a stabilisé à moins de 500 m (PK GOL_1,65) de l'usine et 10 individus n'ont pas repris leur migration après le marquage et le lâcher, et n'ont donc pas dépassé le PK des points de lâcher.

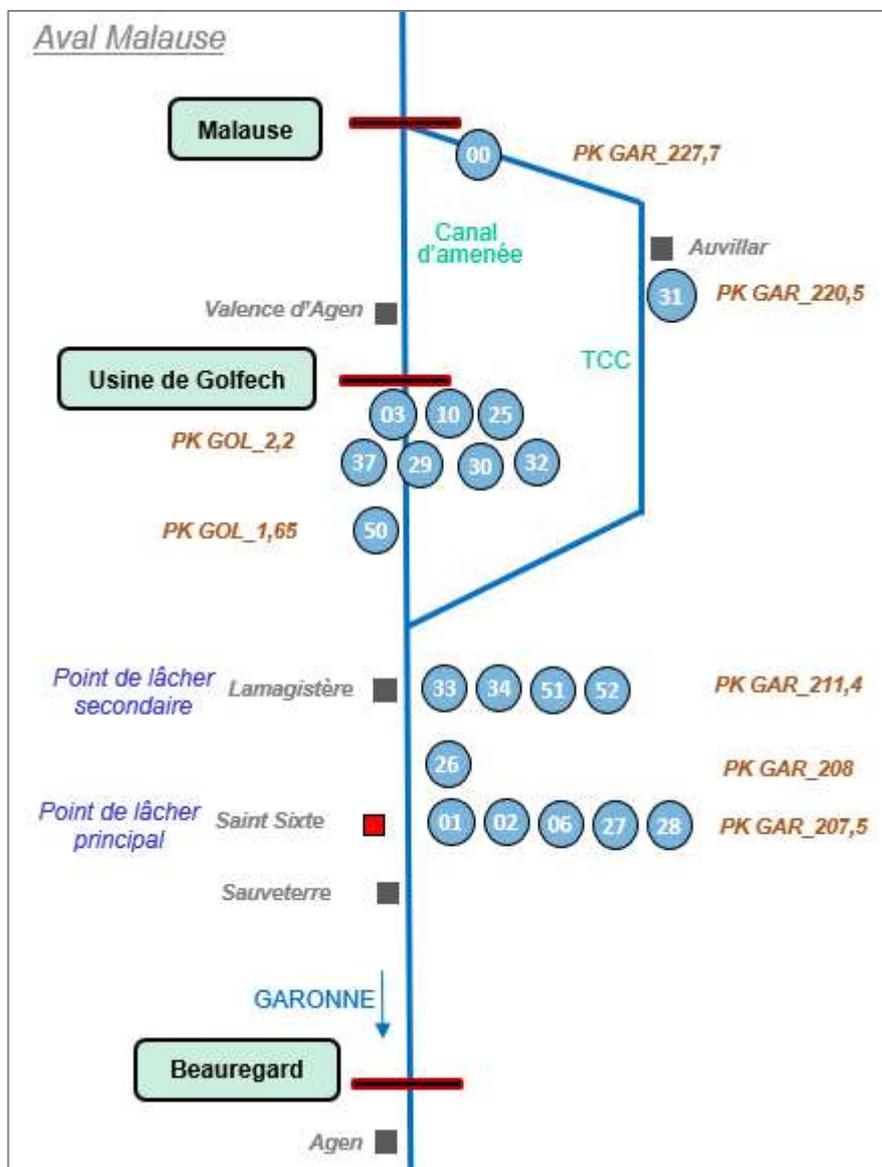


Figure 35 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en aval du complexe Malause-Golfech

7.2 Comportement des saumons au niveau du complexe Golfech-Malause

7.2.1 Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech

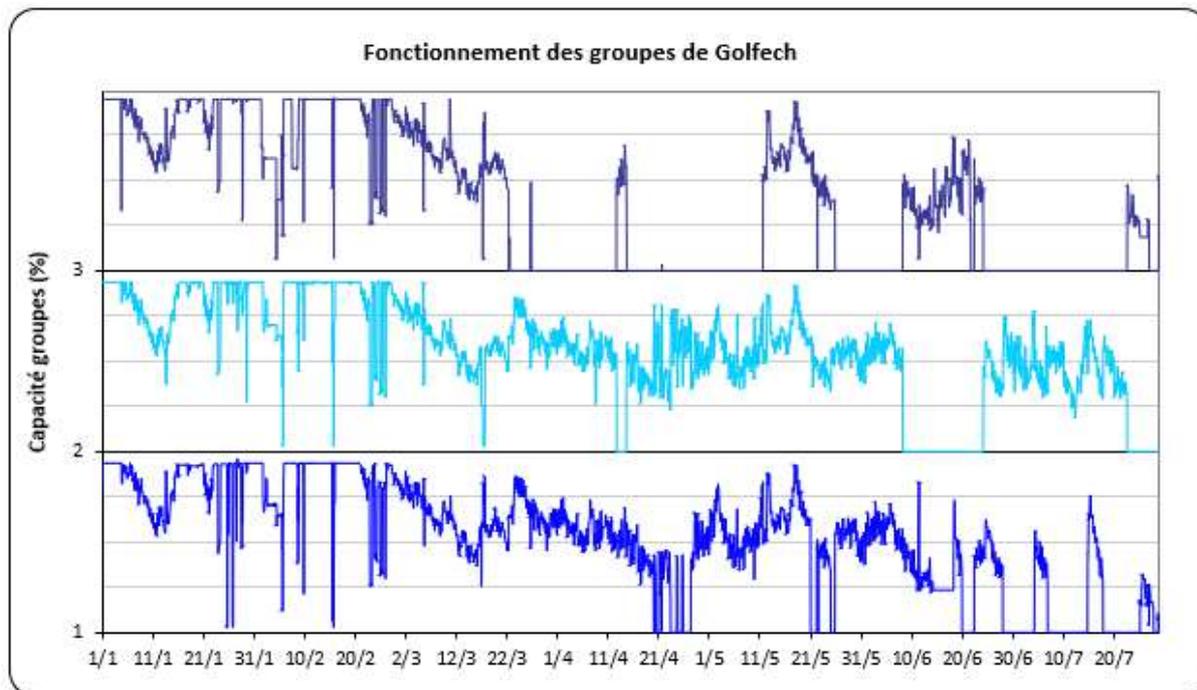


Figure 36 : Fonctionnement des 3 groupes de l'usine hydroélectrique de Golfech durant la saison de migration 2021

Lors de ce suivi 2021, les 3 groupes de l'usine étaient disponibles et ont fonctionné normalement. Sur la période observée (janvier à juillet), aucun arrêt majeur d'usine n'est à signaler (Figure 36). Seuls 2 arrêts mineurs sont enregistrés en fin de saison, avec un arrêt de 15h dans la nuit du 21 juin et un arrêt de 24h entre le 27 et le 28 juillet. Les débits de la rivière ont été majoritairement inférieurs au débit d'équipement de l'usine (70 % sur la période considérée, mais 95 % inférieur sur la période 15 février-31 juillet). A partir du 22 mars, l'usine a fonctionné la plupart du temps avec 2 groupes, le groupe 3 étant régulièrement à l'arrêt lorsque le débit de la Garonne n'était pas suffisant pour fonctionner à 3 groupes.

La configuration à 3 groupes représente 43,8 % du temps de fonctionnement sur la période de suivi et la configuration à 2 groupes représente environ 40,5 % du temps total (Figure 37), soit 84,3 % pour ces 2 configurations. Les configurations à 1 groupe ont, elles, représenté 15 % du temps de ce suivi. Les arrêts d'usine cités précédemment représentent 0,7 % du temps. Concernant le suivi des poissons par télémétrie, 19 poissons marqués ont été relâchés alors que l'usine fonctionnait avec 2 groupes, 4 poissons relâchés lorsque l'usine fonctionnait à 3 groupes et 1 seuls poissons alors qu'un seul groupe fonctionnait.

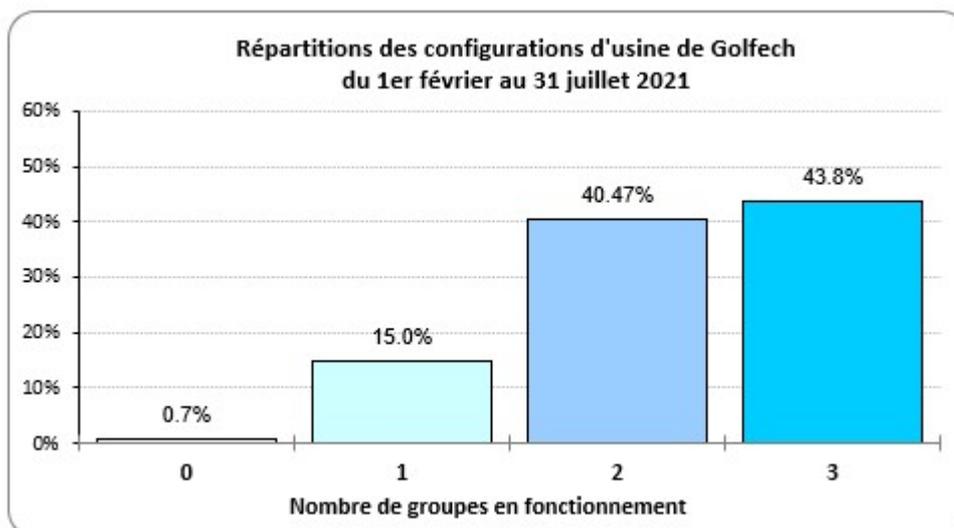


Figure 37 : Répartition des configurations d'usine à Golfech en fonction du nombre de groupes en fonctionnement

Au cours de l'étude, outre les arrêts d'usine relativement rares et ne représentant que 38h (Tableau 13), 7 autres configurations ont été observées. Tout d'abord, les configurations avec l'usine fonctionnant à un seul groupe représentent 761 heures de fonctionnement avec une faible utilisation des groupes 1 et 3 seuls (respectivement 23h et 178h de fonctionnement). La configuration avec seulement le groupe 2 a été enregistrée pendant 560h, soit 11 % du suivi. Les configurations à 2 groupes comprennent la configuration avec les groupes 2 et 3 (50h), ainsi que la configuration avec les groupes 1 et 3 (414h). Ces configurations ont été moins présentes que la configuration avec les groupes 1 et 2 (1595h soit 31 % du temps de suivi). Enfin, la configuration la plus sollicitée est celle avec les 3 groupes de l'usine (2230h) puisqu'elle représente près de 44 % du temps d'étude.

Nombre d'heures d'utilisation	Configurations de groupe à l'usine de Golfech							
	- ; - ; -	- ; - ; 3	- ; 2 ; -	- ; 2 ; 3	1 ; - ; -	1 ; - ; 3	1 ; 2 ; -	1 ; 2 ; 3
	38	178	560	50	23	414	1595	2230

Tableau 13 : Répartition horaires des 8 configurations d'usine rencontrées au cours de l'étude

Le débit moyen horaire turbiné sur la période étudiée en 2021 est compris entre 15 m³/s et 514 m³/s. Les débits inférieurs à 390 m³.s⁻¹ turbiné représentent 84,5 % du temps d'étude (Figure 38) et l'usine a turbiné des débits supérieurs au module pendant 15,5 % du temps. Les débits turbinés supérieurs à 500 m³.s⁻¹ ne représentent que 6 % du temps.

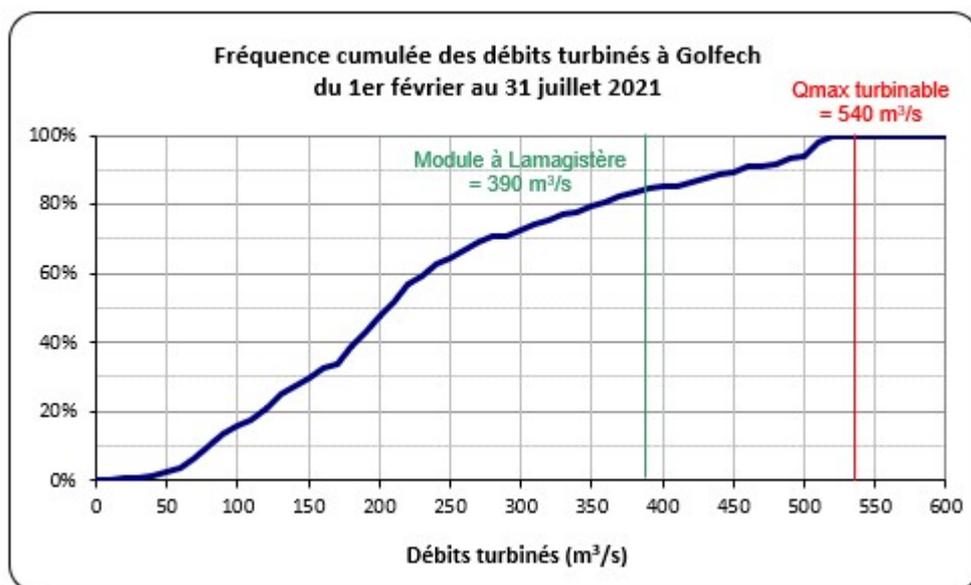


Figure 38 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés à Golfech

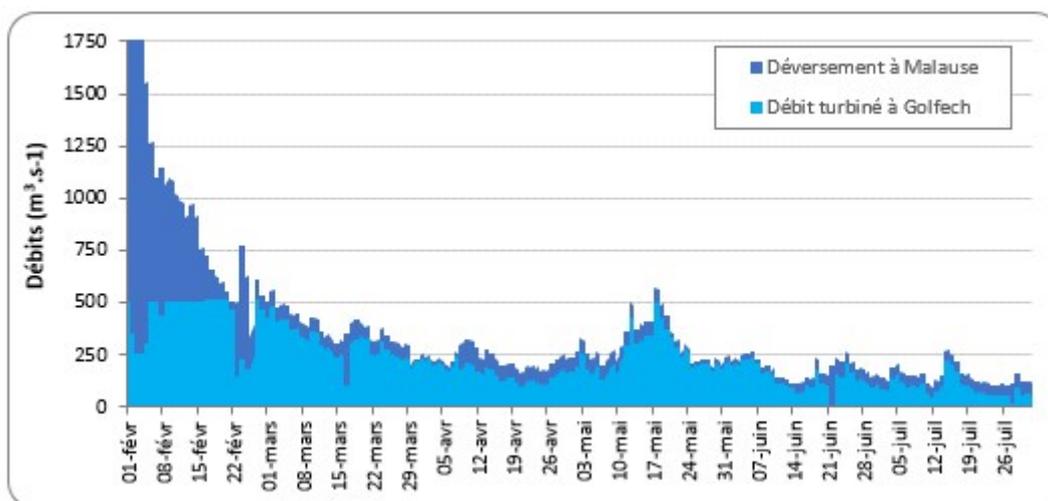


Figure 39 : Représentation des jours de déversement au barrage de Malause

La différence entre le débit de la Garonne après confluence avec le Tarn et le débit turbiné à l'usine de Golfech correspond au débit restitué au barrage de Malause, représenté par l'aire bleu foncé sur la Figure 39.

Pour rappel, le débit réservé dans le tronçon court-circuité de la Garonne est assuré par un groupe de restitution qui délivre un débit de 10 m³/s du 15 octobre au 14 juin, complété par 10 m³/s déversé au barrage. Durant le reste de l'année, la valeur totale du débit réservé est de 40 m³/s. Lorsque le débit de la Garonne devient supérieur au débit max turbinable de l'usine, l'excédent est alors réparti sur les vannes du barrage. Lorsque les débits entrants augmentent de manière importante, ce sont d'abord les clapets du barrage de Malause qui évacuent en surface (chacun peut évacuer 175 m³/s). Ensuite, ce sont les vannes segments qui prennent le relais. Cela signifie que pour les débits déversés faibles à moyens, les déversements à Malause s'effectuent en surface par les clapets et que seuls les plus forts débits sont évacués par le fond via les vannes segment.

Les périodes de déversements à Malause ont été relativement importantes au mois de février lors de la crue (débit horaire maximum déversé au barrage a été de 4200 m³.s⁻¹, le 02 février à 20h), mais quasi absentes lors de tout le suivi des poissons (Figure 39). En effet, à

partir du 15 février, les débits supérieurs au débit d'équipement de l'usine (540 m³/s) ont représenté à peine 5 % du temps de suivi. Très peu de déversements majeurs ont été observés. Sur l'ensemble des données de suivi, 66,5 % des déversements ont été inférieurs à 100 m³.s⁻¹ et 15 % inférieurs à 40 m³.s⁻¹.

7.2.2 Incursions dans le tronçon court-circuité de Malause-Golfech

Au cours du suivi 2021, deux individus marqués se sont engagés et ont terminé leur suivi dans le TCC de Malause. Il s'agit des poissons **48101_00** et **48101_31**. Le premier a terminé sa migration au pied de l'ouvrage de Malause (rivière de contournement encore non fonctionnelle en 2021) et le second à Auvillar (*PK GAR_220,5*), c'est-à-dire entre le seuil 3 et le seuil 2.

Le poisson **48101_00** s'est engagé dans le TCC entre le 22 avril (dernière détection à l'usine) et le 24 avril (première détection en aval de Malause), après plus de 20 jours de présence par intermittence à l'aval de l'usine. Ce poisson n'a pas été capté par les hydrophones installés dans le TCC mais cela s'explique par l'arrêt de son tag acoustique (tag restant du suivi 2020 à la durée de vie diminuée – dernière détection acoustique le 21/04 à 06 :55). Au cours de ces 45h entre sa dernière détection à l'aval de l'ascenseur et sa première détection sous le barrage de Malause, le débit turbiné à l'usine a été compris entre 80 et 175 m³.s⁻¹ et le débit transitant dans le TCC a été compris entre 20 et 60 m³.s⁻¹. Avec ces débits faibles dans le TCC, ce saumon a donc mis au maximum 45 heures pour franchir les 5 seuils du TCC pour arriver sous le barrage (soit une vitesse moyenne de 0.33 km/h). L'émetteur radio de ce poisson sera enregistré en aval du barrage de Malause jusqu'au 23 juin.

Pour le poisson **48101_31**, après deux semaines de présence régulière entre le point de lâcher à Lamagistère et l'ascenseur de Golfech, l'arrivée dans le TCC s'est produite entre le 23 mai (dernière détection dans le canal de fuite de l'usine à 19h51) et le 24 mai où il a été détecté en suivi manuel à l'amont du seuil 5. Détecté à nouveau en suivi manuel le 25 mai à cet endroit, il a été capté le 27 mai par les hydrophones installés dans le TCC à Mondou (*PK GAR_217,6*), en amont du seuil 4, et à Auvillar (*PK GAR_220,4*), en amont du seuil 3. Au cours de ces 5 jours, le débit turbiné à l'usine a été compris entre 125 et 247 m³.s⁻¹ et le débit transitant dans le TCC est resté faible, compris entre 20 et 95 m³.s⁻¹. Ce poisson ne bougera plus et sera capté par les hydrophones d'Auvillar jusqu'au 09 juin, puis il sera retrouvé le 22 juin, quelques centaines de mètres en amont d'Auvillar, avec son tag prédation déclenché (prédation estimée, d'après les données du tag, au 20 juin).

7.2.3 Incursions dans le canal de fuite de l'usine de Golfech

Pour le suivi de la campagne 2021, 2 hydrophones ont été installés en aval du canal de fuite de l'usine de Golfech. Ces hydrophones permettent donc d'enregistrer l'entrée des poissons dans le canal de fuite qui est une étape obligatoire avant de rejoindre le pied de l'usine et l'ascenseur à poissons.

Parmi les 24 saumons marqués et suivis, 14 (soit 58 %) ont été enregistrés au niveau de ce point de passage. Le Tableau 14 recense pour ces 14 individus les allers et retours enregistrés au cours de leur progression et si ces incursions se sont soldées par une présentation dans la zone proche de l'ascenseur.

	code SAT	Franchissement	Nombre d'incursions canal fuite (sens aval-amont)	Nombre d'incursions canal fuite (sens amont-aval)	Nombre d'incursions zone ASP ant. générale	Délais entre 1ère et dernière détection
1.	0		2	2	4	5 jr (23jr)
2.	3		0	0	2	-
3.	4	x	13	12	13	16 jr
4.	5	x	5	4	5	8 jr
5.	9	x	3	2	3	21 jr
6.	10		1	1	1	0 jr
7.	12	x	7	5	7	12 jr
8.	25		3	3	2	2 jr
9.	29		1	1	1	0 jr
10.	30		3	3	2	2 jr
11.	31		5	5	5	11 jr
12.	32		1	1	1	0 jr
13.	37		0	1	2	4 jr
14.	50		1	1	0	0 jr

Tableau 14 : Récapitulatif des incursions réalisées par les poissons marqués dans le canal de fuite de l'usine de Golfech

Le Tableau 14 fait apparaître un nombre hétérogène d'incursions dans le canal de fuite en fonction des individus allant d'une visite unique (ex : le poisson **48101_32**) à 13 tentatives (poisson **48101_04**). Il apparaît également une fiabilité correcte des hydrophones, validant ainsi leur emplacement. Quelques incursions sont manquantes (valeurs en rouge dans le tableau). Pour le poisson **48101_00**, cela s'explique par l'arrêt de son tag acoustique (tag restant du suivi 2020 à la durée de vie diminuée). Pour le poisson **48101_03**, les 2 incursions n'ont pas été détectées malgré une confirmation par la technologie radio de la présence du poisson en aval de l'ascenseur. Lors de la suite du suivi, ce poisson ne sera pas non plus décodé avec l'appareil de suivi mobile acoustique (VR100) : peut-être que le tag acoustique présentait un défaut de fonctionnement ? Au final, 4 passages ont été manqués sans explication sur les 87 possibles, soit 5 %.

Il est également possible de constater que la majorité des incursions dans le canal de fuite a débouché sur une présentation en aval de l'ascenseur. Sur les 51 incursions observées (ou déduites), seulement 3 n'ont pas abouti à une remontée du poisson jusqu'à la zone de l'ascenseur (poisson **48101_25** x1 ; **48101_30** x1 et **48101_50** x1).

Enfin, la dernière colonne du tableau permet de discuter de la « persévérance » des individus dans leur progression vers l'amont. Celle-ci est de quelques heures pour les 4 poissons n'ayant réalisé qu'une seule tentative à environ 23 jours pour le poisson **48101_00** entre sa première et dernière présentation en aval du barrage. La moyenne observée est de 7 jours entre première et dernière incursion (médiane : 4 jours ; 1^{er} quartile : 0 jours ; 3^{ème} quartile : 12 jours). Même les 4 individus ayant franchi l'ascenseur présentent des délais importants, compris entre 8 et 21 jours. Ces délais importants pour la majorité des individus témoignent des difficultés qu'ils ont à s'approcher au plus près et à pénétrer dans le dispositif de franchissement.

La répartition des horaires d'entrée et de sortie du canal de fuite est représentée sur la Figure 40. Les entrées dans le canal de fuite se répartissent de 4h à 19h et la majorité se situe entre 6h et 10h (26 sur 45 soit 58 %). A l'inverse, les sorties se répartissent de 12h à 2h et la majorité en fin de journée puisque 32 sorties sur 41 (soit 78 %) s'observent entre 18h et 21h.

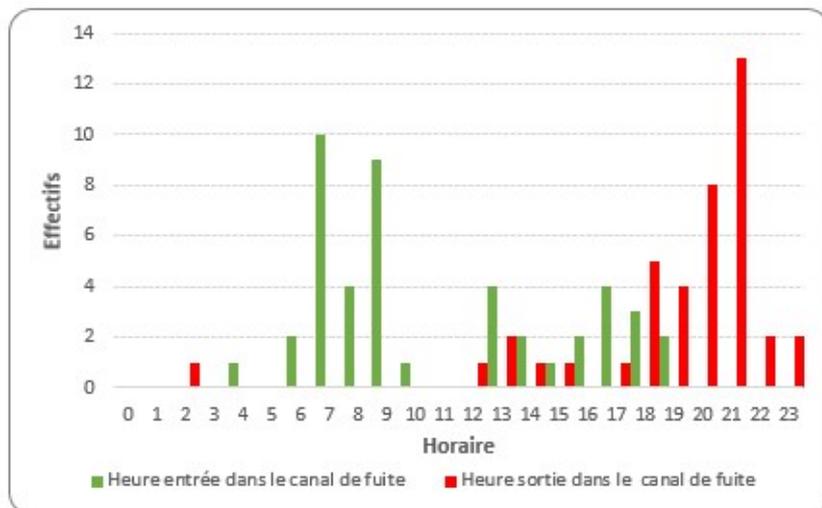


Figure 40 : Horaires d'entrée et de sortie des poissons suivis dans le canal de fuite

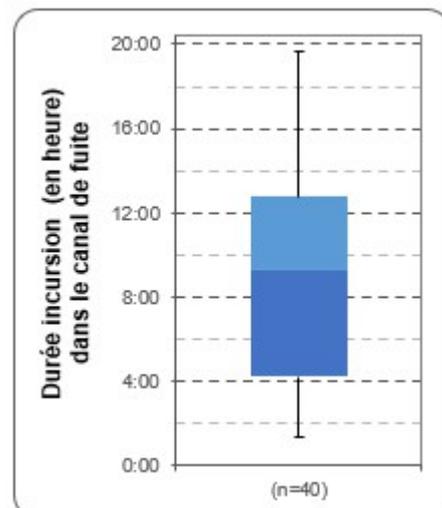


Figure 41 : Répartition des durées d'incursion (délai entrée-sortie)

La répartition des durées d'incursion (c'est-à-dire le délai entre l'entrée et la sortie du canal de fuite) est observable sur la Figure 41. Ces durées sont de 1h20 à 19h39 avec 50 % comprises entre 4h13 et 12h46 (médiane : 9h18). Globalement, les saumons s'approchent donc de l'usine le matin et se replient en fin de journée pour passer la nuit dans des zones plus aval.

Enfin, si l'on s'intéresse aux débits lors de l'entrée et de la sortie des poissons suivis au niveau du canal de fuite (Figure 42), il n'apparaît aucune différence entre les entrées et les sorties. Les débits sont majoritairement compris 200 et 300 m³.s⁻¹ et sont proches de l'ensemble des conditions rencontrées tout au long du suivi 2021.

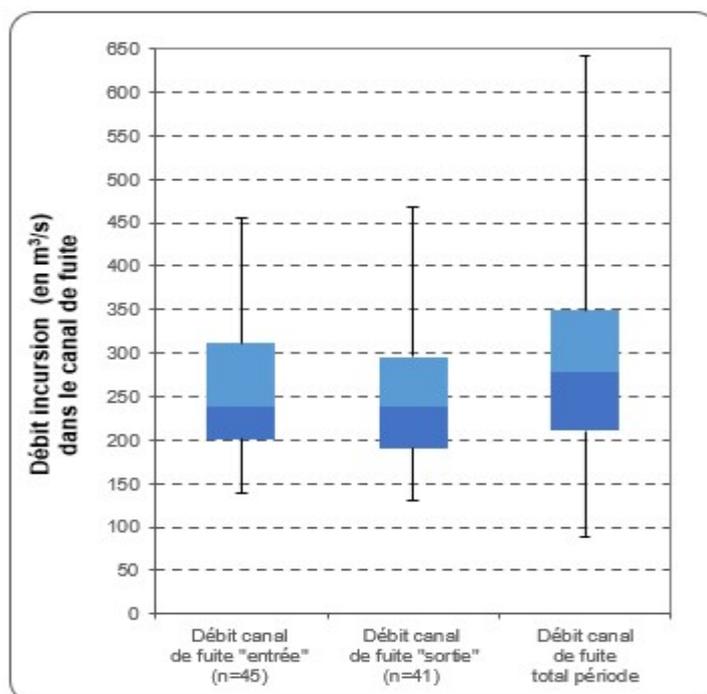


Figure 42 : Comparaison des débits dans le canal de fuite lors des incursions dans le canal et répartition de ces débits sur l'intégralité du suivi

7.2.4 Résultats du suivi prédation (pour les poissons n'ayant pas atteint l'ouvrage de Golfech)

Lors de ce suivi 2021, parmi les 24 poissons marqués et lâchés en aval de Golfech, le premier individu (**48101_00**) a été marqué avec un émetteur acoustique prédation du suivi 2020 (problème d'activation des nouveaux tag 2021, résolu par la suite). Cette marque a eu une durée de vie (environ 25 jours) bien inférieure à la durée de vie d'un émetteur récent (3 mois - garantie fabricant). Au terme des 25 jours de fonctionnement de cet émetteur, aucune prédation n'a été enregistrée, mais il est impossible de conclure en termes de prédation, sur le devenir de l'individu, au-delà de cette période de 25 jours. Ainsi, tout au long du rapport, les analyses concernant les marques prédation porteront sur un lot de 23 individus (saumon **48101_00** exclu du traitement).

Dans le paragraphe 7.2.3, le Tableau 14 présente les 14 individus ayant présenté une reprise de migration vers l'amont et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine (13 si l'on retire le poisson **48101_00**). Ainsi, sur 24 poissons équipés d'émetteurs, 10 n'ont, a priori, pas présenté de reprise de migration. Parmi ces 10 poissons, 6 ont été lâchés à St Sixte, entre le 30 mars et le 30 avril, et 4 ont été lâchés à Lamagistère, entre le 18 mai et le 02 juin. La grande majorité de ces poissons (9 sur 10, soit 90 %) a dévalé rapidement après le lâcher (<48h). Seul le poisson **48101_26** a évolué pendant 13 jours dans une zone d'environ 1,5 km autour du point de lâcher (Saint Sixte) avant de dévaler.

ID_poisson	Temps entre lâcher et prédation	PK prédation	distance pts de lâcher
48101_01	13jr 10h	152.3	55.2
48101_02	15jr 18h	126.1	81.4
48101_26	39jr 18h	198.3	9.2
48101_51	08jr 08h	158	53.6
48101_52	09jr 06h	166	45.6

Tableau 15 : Détails de prédation concernant les individus n'ayant pas repris de migration vers l'amont

Parmi les 10 individus n'ayant pas repris de migration vers l'amont, nous avons détecté 5 déclenchements de leur émetteur prédation au cours du suivi. Ces 5 poissons sont présentés dans le Tableau 15. Ces 5 individus concernent toutes les phases du suivi (début de suivi pour les poissons **48101_01** et **48101_02**, milieu de suivi pour le poisson **48101_26** et fin de suivi pour les poissons **48101_51** et **48101_52**). Ces poissons ont été prédatés entre 8 jours et 39 jours après leur marquage et leur lâcher en aval de l'ouvrage de Golfech. En termes de localisation, ces poissons ont dévalé entre 9 km pour le poisson **48101_26** et plus de 80 km pour le poisson **48101_02**. Il n'est toutefois pas possible de connaître avec certitude « l'état de santé » du saumon lors de sa prédation (poisson encore vivant, poisson affaibli ou poisson déjà mort).

Concernant le devenir des 5 autres poissons n'ayant pas repris de migration vers l'amont, l'un a très vite disparu et n'a plus été retrouvé en suivi manuel (**48101_06**). Marqué le 07 avril, son dernier pointage a été réalisé le 16 avril, environ 82 km en aval de son point de lâcher. Le saumon **48101_28**, marqué le 30 avril, a très vite dévalé après son lâcher, et le 11 mai il a été enregistré comme passant à l'aval de Couthures-sur-Garonne (95 km en aval du point de lâcher), limite aval de notre secteur de suivi. Le devenir de ce saumon n'est donc pas connu après le 11 mai, mais celui-ci n'a pas subi de prédation avant cette date. Les saumons **48101_27** et **48101_33** ont dévalé respectivement jusqu'au *PK GAR_198* et *PK GAR_195*. Ces deux poissons ont été suivis jusqu'à la fin du mois de juin, sans déclenchement du tag prédation, mais il n'est pas possible de conclure sur le devenir de ces individus. Enfin, le

poisson **48101_34** a été suivi jusqu'à la fin du mois de juin et sa dernière position connue est au *PK GAR_167*, soit 44 km en aval du point de lâcher. Le tag est resté immobile lors des 15 derniers jours de suivi, mais le tag prédation n'était pas déclenché.

7.2.5 Détections des poissons en aval proche de l'ascenseur à poissons

Poissons	Nombre incursions	Durée incursion (minutes)	Configurations de groupes en fonctionnement lors de la présence des poissons suivis					Débit canal de fuite (m ³ /s)	Débit Lamagistère (m ³ /s)
			1; 2; -	1; 2; 3	-; 2; -	1; -; 3	-; 2; 3		
48101_00	1	1	100%	-	-	-	-	237	250
	2	927	100%	-	-	-	-	213	233
	3	494	71%	12%	17%	-	-	139	169
	4	637	100%	-	-	-	-	151	171
total	4	2059	93%	3%	4%	-	-	-	-
48101_03	1	1	100%	-	-	-	-	179	237
	2	382	100%	-	-	-	-	147	177
total	2	383	100%	-	-	-	-	-	-
48101_04	1	283	100%	-	-	-	-	138	171
	2	347	100%	-	-	-	-	194	215
	3	12	100%	-	-	-	-	214	235
	4	271	100%	-	-	-	-	188	209
	5	288	100%	-	-	-	-	214	237
	6	244	100%	-	-	-	-	270	291
	7	242	100%	-	-	-	-	229	241
	8	398	100%	-	-	-	-	195	206
	9	548	100%	-	-	-	-	169	189
	10	357	100%	-	-	-	-	150	190
	11	397	100%	-	-	-	-	168	203
	12	311	100%	-	-	-	-	193	219
	total	13	4357	85%	15%	-	-	-	-
48101_05	1	14	100%	-	-	-	-	246	256
	2	144	100%	-	-	-	-	225	245
	3	81	54%	14%	-	32%	-	185	213
	4	104	-	-	-	100%	-	198	212
	5	1098	58%	6%	-	36%	-	205	224
total	5	1441	59%	5%	36%	-	-	-	-
48101_09	1	36	100%	-	-	-	-	159	198
	2	124	100%	-	-	-	-	189	208
	3	1086	100%	-	-	-	-	189	216
total	3	1246	100%	-	-	-	-	-	-
48101_10	1	42	-	-	100%	-	-	134	131
total	1	42	-	-	100%	-	-	-	-
48101_12	1	42	100%	-	-	-	-	284	306
	2	347	100%	-	-	-	-	226	242
	3	241	100%	-	-	-	-	192	207
	4	305	100%	-	-	-	-	170	193
	5	10	-	100%	-	-	-	459	481
	6	49	-	100%	-	-	-	327	346
	7	725	-	100%	-	-	-	334	357
total	7	1719	54%	46%	-	-	-	-	-
48101_25	1	212	-	-	-	-	100%	320	340
	2	392	-	87%	-	-	13%	270	292
total	2	604	-	56%	-	-	44%	-	-
48101_29	1	56	-	100%	-	-	-	466	474
total	1	56	-	100%	-	-	-	-	-
48101_30	1	7	-	100%	-	-	-	438	446
	2	152	-	100%	-	-	-	363	397
total	2	159	-	100%	-	-	-	-	-
48101_31	1	14	-	100%	-	-	-	462	482
	2	74	-	100%	-	-	-	338	385
	3	248	-	100%	-	-	-	427	454
	4	103	-	100%	-	-	-	258	287
	5	94	-	100%	-	-	-	272	284
total	5	533	-	100%	-	-	-	-	-
48101_32	1	24	-	100%	-	-	-	458	481
total	1	24	-	100%	-	-	-	-	-
48101_37	1	112	100%	-	-	-	-	218	244
	2	83	100%	-	-	-	-	189	201
total	2	195	100%	-	-	-	-	-	-

Tableau 16 : Détails des configurations d'usine lors des différentes incursions de saumons marqués au pied de l'usine de Golfech

Au sein de l'effectif de 14 saumons ayant entamé un mouvement vers l'amont et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine de Golfech, 13 poissons ont été détectés par l'antenne radio générale localisée en aval de l'ouvrage de Golfech, soit environ à moins de 200 m de l'ascenseur. Le détail du temps cumulé des incursions de chaque poisson et les conditions hydrologiques (configurations usine et débit canal d'amenée) lors de ces incursions sont rapportés dans le Tableau 16.

Le seul poisson n'ayant pas été enregistré au niveau de l'usine malgré son entrée dans le canal de fuite, est le poisson **48101_50**. Ce dernier a été pointé, en suivi manuel, à son PK_{max} 500 m en amont du pont du canal de fuite. Cela ne signifie pas que le poisson ne soit pas allé plus en amont, mais il n'est pas arrivé jusque dans le chant de détection de l'antenne générale (<200 m en aval du barrage).

Il apparaît une hétérogénéité dans le nombre d'incursions réalisé par individu. Ainsi, 7 poissons (soit 54 %) ont réalisé 1 ou 2 incursions en aval de l'usine (aucun d'eux n'a franchi l'ascenseur) et 6 individus (soit 46 %) ont effectué plus de 2 incursions, avec un maximum de 13 incursions pour le poisson **48101_04**. En ce qui concerne les durées des incursions, celles-ci sont également très hétérogènes allant d'une simple minute à plus de 1000 minutes, soit plus de 18h de présence dans la zone de réception de l'antenne (médiane : 226 minutes, 1^{er} quartile : 54 minutes et 3^{ème} quartile : 363 minutes).

Pour les 4 individus ayant franchi l'ascenseur, le nombre total d'incursions va de 3 à 13, pour des durées totales de présence dans la zone 1246 à 4357 minutes (20.8 à 72.6 h).

Les configurations d'usine les plus représentées sont la configuration à 3 groupes et la configuration avec uniquement les groupes 1 et 2. En effet, ces 2 configurations représentent 93 % de l'ensemble des détections dans la zone GOLGENE qui correspond à l'antenne générale aval usine. En parallèle, l'utilisation de ces 2 configurations représente 84,3 % du temps de suivi, ce qui explique le fait de retrouver majoritairement les poissons suivis lors de l'utilisation de ces configurations.

En ce qui concerne les débits turbinés au moment des détections sur l'antenne GOLGENE, les valeurs sont très semblables aux débits observés lors des incursions dans le canal de fuite (Figure 42). Ils se répartissent de 134 à 466 $m^3.s^{-1}$ avec une médiane de 214 $m^3.s^{-1}$ (1^{er} quartile : 187 $m^3.s^{-1}$ et 3^{ème} quartile : 293 $m^3.s^{-1}$). Si l'on regarde les 4 poissons qui ont emprunté l'ascenseur et franchi l'ouvrage (pour rappel : **48101_04** ; **48101_05** ; **48101_09** et **48101_12**), le débit moyen de la dernière incursion est compris entre 189 $m^3.s^{-1}$ et 334 $m^3.s^{-1}$ (médiane 265 $m^3.s^{-1}$). Les valeurs de cette observation sont donc très proches des incursions n'ayant pas abouti à un franchissement de l'ascenseur.

7.2.6 Temps de blocage à l'aval de l'ascenseur de Golfech

Parmi les 14 saumons ayant entamé un mouvement vers l'amont suite à leur lâcher à l'aval de Golfech et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine, 13 poissons ont été détectés par l'antenne radio générale localisée en aval de l'ouvrage de Golfech, c'est-à-dire qu'ils se sont approchés au moins une fois à moins de 200 m de l'ascenseur. C'est sur ces 13 individus que nous avons évalué le temps de blocage induit par l'usine de Golfech (temps écoulé entre première et dernière détection à l'antenne radio générale, Tableau 17).

	Date de lâcher	1ère détection GOLGENE	Délais de retour dans zone ASP (en jours)	Dernière détection GOLGENE	Temps de blocages aval ASP (en jours)
48101_00	31/03/2021 12:15	31/03/2021 18:52	0.3	22/04/2021 20:35	22.1
48101_03	01/04/2021 10:15	01/04/2021 19:11	0.4	18/04/2021 19:16	17.0
48101_04	06/04/2021 19:30	27/04/2021 10:47	20.6	14/05/2021 08:00	16.9
48101_05	07/04/2021 15:30	07/04/2021 19:44	0.2	15/04/2021 07:54	7.5
48101_09	17/04/2021 11:35	17/04/2021 18:59	0.3	09/05/2021 17:53	22.0
48101_10	17/04/2021 11:35	23/04/2021 17:33	6.2	23/04/2021 20:26	0.1
48101_12	17/04/2021 11:35	02/05/2021 18:43	15.3	14/05/2021 22:47	12.2
48101_25	23/04/2021 14:00	21/05/2021 15:50	28.1	22/05/2021 18:32	1.1
48101_29	01/05/2021 11:50	12/05/2021 14:27	11.1	12/05/2021 16:41	0.1
48101_30	11/05/2021 09:45	17/05/2021 17:22	6.3	19/05/2021 16:02	1.9
48101_31	12/05/2021 10:30	12/05/2021 14:58	0.2	23/05/2021 19:25	11.2
48101_32	12/05/2021 10:30	12/05/2021 13:55	0.1	12/05/2021 14:22	0.02
48101_37	21/05/2021 12:15	01/06/2021 15:41	11.1	10/06/2021 05:57	8.6

Tableau 17 : Détails des délais de présentation à l'ASP après le lâcher de chaque poisson et temps de blocage en aval de celui-ci.

Concernant les 13 saumons ayant été détectés dans le champ de l'antenne GOLGENE, les délais entre le lâcher et le retour dans la zone proche de l'ascenseur de Golfech s'échelonnent entre 03h25 pour le plus rapide et plus de 28 jours pour le plus lent.

D'autre part, toujours pour ces 13 saumons, si l'on ne tient pas compte des 3 saumons qui n'ont fait qu'une incursion très brève dans la zone proche de l'ascenseur (< 3h), les temps de blocages induits par la présence de l'usine de Golfech varient de 1,1 jours à plus de 22 jours pour ces 6 saumons n'ayant pas franchi l'ouvrage et de 7,5 jours à 22 jours pour les 4 saumons ayant franchi l'ouvrage.

7.2.7 Détections des poissons au niveau des deux entrées de l'ascenseur à poissons

7.2.7.1 Analyses des détections radio

7.2.7.1.1 Influence des débits turbinés et du fonctionnement du groupe 3

Parmi les 13 saumons ayant été détectés dans le champ de l'antenne GOLGENE, 12 poissons ont été détectés par les antennes radio des entrées 1 et 2 (antennes brins), c'est-à-dire qu'ils se sont approchés à quelques mètres des entrées et certains ont pénétré dans le dispositif. Le seul poisson n'ayant pas été enregistré au niveau des entrées malgré sa détection à l'antenne générale est le poisson **48101_10**. Ce dernier a réalisé une seule incursion dans le canal de fuite et en aval de l'usine, le 23 avril, où il a été enregistré pendant 42 min par l'antenne GOLGENE (Tableau 16). Suite à cette venue en aval de l'ouvrage, le poisson n'a cessé de dévaler jusqu'à Couthures sur Garonne (soit environ 100 km en aval du barrage) où il a été enregistré le 30 avril.

Si l'on s'intéresse aux débits lors des détections aux deux entrées (Figure 43), les débits du canal de fuite et à Lamagistère lors des détections à l'E1 sont proches de ceux lors des détections à l'E2, que ce soit avec ou sans le groupe 3 en fonctionnement. La différence notable se situe au niveau des débits médians avec le G3 en fonctionnement qui sont sensiblement plus faibles lors des détections en E2 qu'en E1.

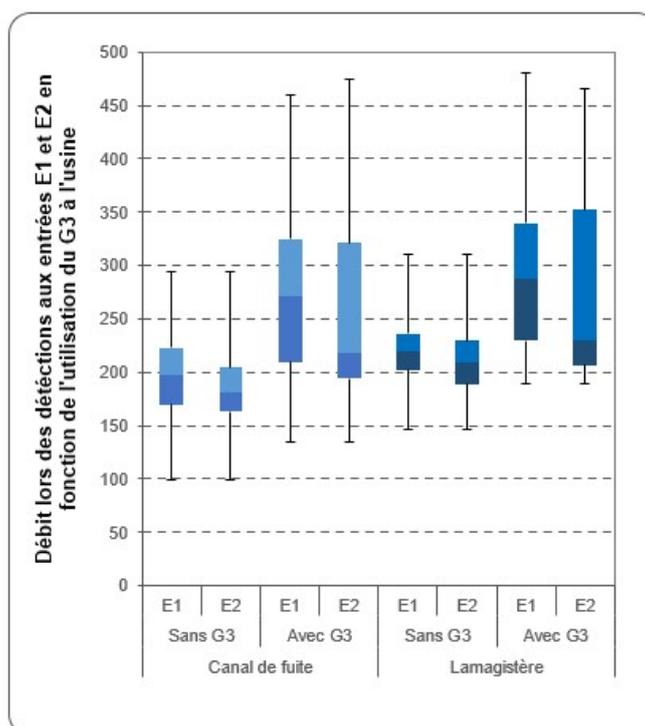


Figure 43 : Répartition des débits de la Garonne à Lamagistère et des débits turbinés à l'usine de Golfech au moment des détections radio aux entrées 1 et 2 de l'ascenseur à poissons

Le détail du temps cumulé des incursions de chaque poisson par rapport au fonctionnement du groupe 3 sont rapportés dans le Tableau 18. On y retrouve également le ratio du temps passé dans la zone des deux entrées par rapport au temps passé dans la zone de GOLGENE.

	Durée détections ant. GENE (en min)	Durée détections ant. GOLE1 (en min.) en fonction de la configuration d'usine		Durée totale détections GOLE1	Durée détections ant. GOLE2 (en min.) en fonction de la configuration d'usine		Durée totale détections GOLE2	% détections GOLE1	% détections GOLE2	% détections E1-E2 / GENE
		sans G3	avec G3		sans G3	avec G3				
48101_00	2059	575	9	584	267	14	281	68%	32%	42%
48101_03	383	34	0	34	38	0	38	47%	53%	19%
48101_04	4357	350	35	385	380	19	399	49%	51%	18%
48101_05	1441	59	196	355	106	132	238	60%	40%	41%
48101_09	1249	122	0	122	340	0	340	26%	74%	37%
48101_12	1719	174	83	257	419	23	442	37%	63%	41%
48101_25	604	0	177	177	0	45	45	80%	20%	37%
48101_29	56	0	2	2	0	0	0	100%	0%	4%
48101_30	159	0	9	9	0	1	1	90%	10%	6%
48101_31	533	0	215	215	0	38	38	85%	15%	47%
48101_32	24	0	3	3	0	0	0	100%	0%	13%
48101_37	195	73	0	73	27	0	27	73%	27%	51%

Tableau 18 : Détails des détections radio à l'entrée 1 et à l'entrée 2 de l'ascenseur en fonction des configurations d'usine

De manière générale, les 12 saumons se sont approchés de l'entrée 1 et 10 de l'entrée 2 (Tableau 18). Toutefois, les 2 poissons ne s'étant pas approchés de l'entrée 2 ont les temps de détection les plus faibles, à la fois au niveau de l'entrée 1 (2 et 3 minutes) et de l'antenne générale (24 et 56 minutes).

La durée de présence à proximité des entrées par rapport à la présence au pied de l'ouvrage (antenne GOLGENE) est comprise entre 4 % pour le saumon **48101_29** et 51 % pour le poisson **48101_37**. Cela signifie qu'au minimum, près de la moitié du temps de présence des poissons au pied de l'ouvrage ne concerne pas une approche au niveau des entrées, ce qui paraît important.

En observant le Tableau 18, il semble que la durée de fréquentation des entrées diminue au cours de la saison de suivi. En effet, les codes des poissons sont implantés de manière croissante au cours du temps et il apparaît une baisse du temps de présence au niveau des entrées mais aussi au niveau de l'antenne générale à partir du poisson **48101_29** (excepté pour le poisson **48101_31**). Dans le détail, 80 % des détections au niveau des entrées ont été enregistrées avant le 09 mai alors que seuls 62 % des poissons étaient marqués à cette date. Pourtant, cette date ne semble pas marquer un changement de période hydrologique et correspond à une température de l'eau de la Garonne de 16°C, théoriquement toujours favorable à la migration du saumon.

De même à la lecture du Tableau 18, il semble que les durées de détections totales au niveau des entrées 1 et 2 soient plus importantes en absence de fonctionnement du G3 (66% des durées de détection en E1 et 85% en E2) que lorsqu'il est en fonctionnement. Toutefois, il faut également tenir compte du nombre d'heures de fonctionnement respectif de ces deux configurations d'usine (avec et sans G3) qui ne sont pas identiques sur la saison de suivi.

	Durée détections ant. GENE (en min)	Durée détections sans G3 (en min.)		Entrée la plus fréquentée (sans G3)	Durée détections avec G3 (en min.)		Entrée la plus fréquentée (avec G3)
		GOLE1	GOLE2		GOLE1	GOLE2	
48101_00	2059	575	267	E1 (68 %)	9	14	E2 (61 %)
48101_03	383	34	38	E2 (53 %)	0	0	-
48101_04	4357	350	380	E2 (52 %)	35	19	E1 (65 %)
48101_05	1441	59	106	E2 (64 %)	196	132	E1 (60 %)
48101_09	1249	122	340	E2 (76 %)	0	0	-
48101_12	1719	174	419	E2 (71 %)	83	23	E1 (78 %)
48101_25	604	0	0	-	177	45	E1 (80 %)
48101_29	56	0	0	-	2	0	E1 (100 %)
48101_30	159	0	0	-	9	1	E1 (90 %)
48101_31	533	0	0	-	215	38	E1 (85 %)
48101_32	24	0	0	-	3	0	E1 (100 %)
48101_37	195	73	27	E1 (73 %)	0	0	-

Tableau 19 : Détails de la répartition des détections radio lorsque le G3 fonctionne et lorsqu'il est à l'arrêt

Il est possible également d'observer sur le Tableau 19 l'entrée préférentielle en fonction de l'utilisation ou non du groupe 3. Ainsi, lorsque le G3 est à l'arrêt, il apparaît que l'entrée 2 est majoritairement fréquentée par l'ensemble des poissons (de 52 % à 76 % excepté pour les poissons **48101_00** et **48101_37**). A l'inverse, lorsque le groupe 3 fonctionne, c'est l'entrée 1 qui est principalement fréquentée (de 60 % à 100 % excepté pour le poisson **48101_00**).

Ainsi, afin de pouvoir observer l'éventuelle influence de l'utilisation de groupe 3 sur les détections à l'une ou l'autre des entrées de l'ascenseur, les détections à chaque entrée ont été reliées au fonctionnement d'usine par l'intermédiaire des différentes classes de fonctionnement du G3. Le nombre de poissons marqués ayant évolué au fur et à mesure de

la saison (il ne s'agit pas d'un lot global lâché en début de suivi), les détections aux entrées ont été rapportées au nombre de poissons marqués et relâchés au moment de la détection.

Ainsi, une courbe de préférence pour la détection au niveau de chaque entrée (E1 et E2) a été élaborée (Figure 44) en comparant les détections au niveau de chaque entrée en fonction à la fois, du nombre de poissons suivis présents dans le canal de fuite et du taux d'utilisation du groupe 3 de l'usine grâce à l'utilisation de l'indice (D) de Jacob (1974). Cet indice, permet de quantifier la préférence (sélection, indifférence, évitement) d'une classe de fonctionnement du groupe 3 pour effectuer une incursion à l'entrée 1 ou à l'entrée 2.

Ainsi, pour chaque classe de fonctionnement du groupe 3 choisie (i), l'indice de sélection Di peut être calculé par la formule :

$$D_i = \frac{u_i - d_i}{u_i + d_i - (2u_i d_i)} D_i$$

avec :

u_i = proportion du critère (ici : nombre d'incursions a une entrée par rapport au nombre de poissons suivis) réalisée pour cette classe de fonctionnement du G3 (%),

d_i = proportion du temps où cette classe de fonctionnement du G3 a été rencontrée (%).

Cet indice varie de -1 (évitement maximum) à +1 (sélection maximum) et indique des comportements plus ou moins importants de choix de classes de débits :

- de -1 à -0.5 : évitement important,
- de -0.5 à -0.25 : évitement modéré,
- de -0.25 à +0.25 = indifférence,
- de +0.25 à +0.5 = sélection modérée,
- de +0.5 à +1 = sélection importante.

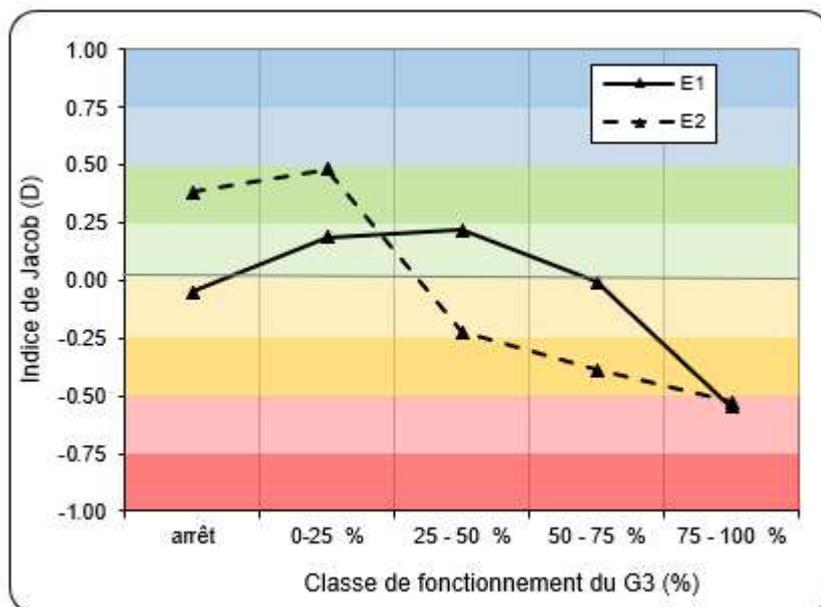


Figure 44 : Comparaison du nombre de détections au niveau des 2 entrées de l'ascenseur par rapport au nombre de poissons suivis présents dans le canal de fuite et en fonction du taux d'utilisation du groupe 3 de l'usine

L'indice de Jacob varie en fonction des classes de fonctionnement du G3 lors des détections aux entrées de l'ASP (Figure 44).

- En ce qui concerne l'entrée 1 (E1), lorsque le groupe 3 est à l'arrêt ou en fonctionnement modéré (moins de 75% de sa puissance totale), il apparaît une indifférence par rapport aux détections. En revanche, lorsque le groupe 3 fonctionne à plus de 75 %, il apparaît un évitement important, c'est-à-dire une diminution sensible des incursions au niveau de l'E1,
- En ce qui concerne l'entrée 2 (E2), il apparaît une sélection modérée à importante lorsque le groupe 3 est arrêté ou peu utilisé (<25 %). En revanche, lorsque le taux d'utilisation du groupe 3 augmente, un évitement modéré apparaît progressivement pour atteindre un évitement important au-delà d'une puissance de 75 %.

Il semble donc que l'utilisation de groupe 3 influence le nombre d'incursions des poissons suivis aux 2 entrées de l'ASP qui diminue lorsque la puissance du G3 augmente, en particulier pour l'entrée 2. Si ce résultat était prévisible pour l'entrée 2 compte-tenu de sa localisation (le jet du G3 peut avoir tendance à « masquer » l'entrée 2), il n'était pas forcément attendu pour l'entrée 1. On est peut-être là plus sur l'effet d'un débit total turbiné que sur le simple effet du G3 pris séparément ?

7.2.7.1.2 Hauteurs de chute aux deux entrées de l'ASP lors de la présentation des saumons

Les vannes des deux entrées, ainsi que la vanne délivrant le débit d'attrait complémentaire sont régulées par un automate. La consigne pour les hauteurs de chute, réglée par MIGADO pendant l'ensemble du suivi, était de 40 cm pour l'entrée 1, ce qui aboutit généralement à une hauteur de chute de l'ordre de 20 à 30 cm pour l'entrée 2.

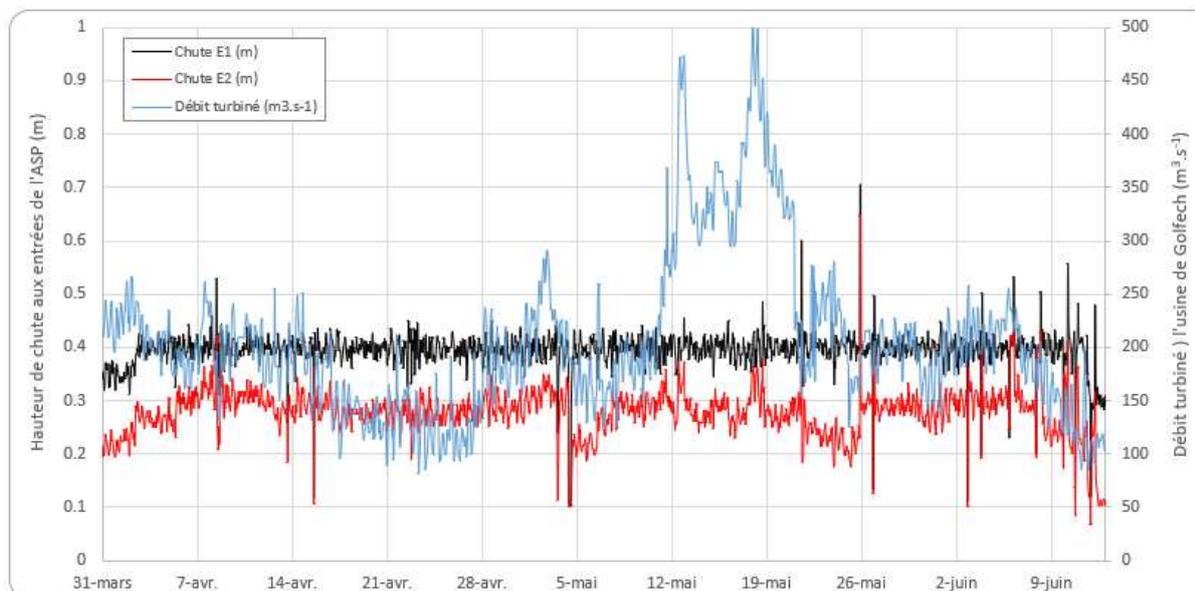


Figure 45 : Hauteurs de chute aux deux entrées de l'ASP en fonction du débit turbiné à Golfech

La Figure 45 montre la bonne régulation des hauteurs de chute des deux entrées. En effet, la consigne de régulation est respectée la plupart du temps de suivi au niveau de l'entrée 1. Une hétérogénéité plus importante est observée pour l'entrée 2, avec des variations entre 20 et 30 cm de hauteur de chute. Ces valeurs restent néanmoins tout à fait acceptables vis-à-vis des exigences migratoires des saumons.

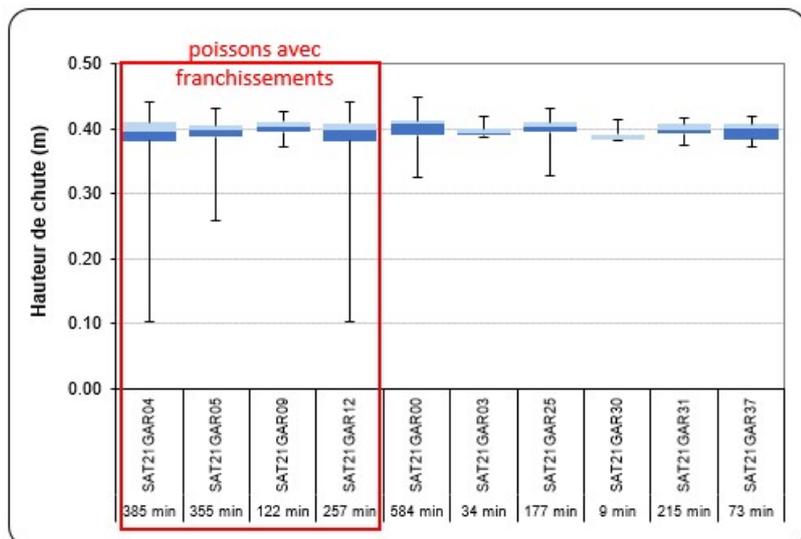


Figure 46 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 1 de l'ASP lors de la présence de chaque poisson dans la zone de l'antenne GOLE1

*Les poissons 48101_29 et 48101_32 ne sont présentés ici en raison de leur faible temps de présence dans la zone concernée

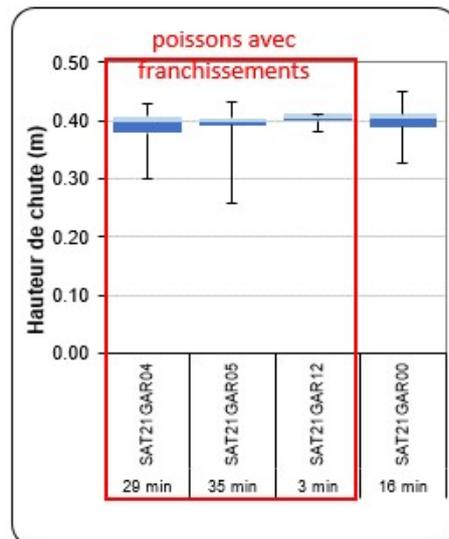


Figure 47 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 1 de l'ASP lors des enregistrements à l'antenne RFID GO10000

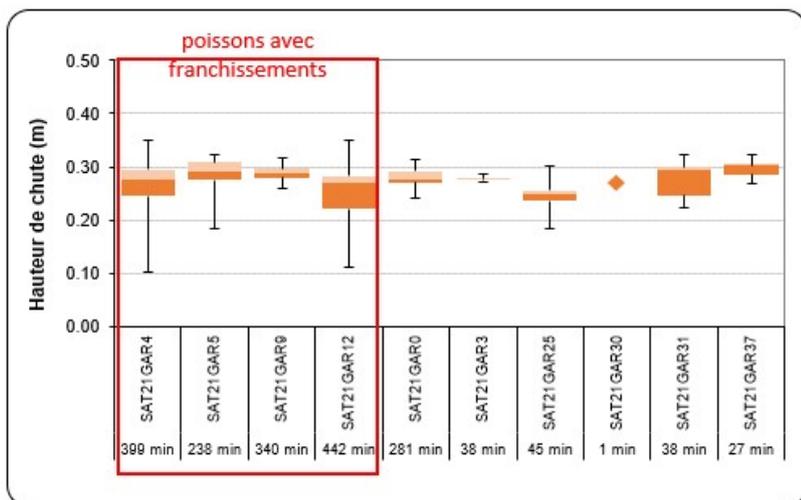


Figure 48 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors de la présence de chaque poisson dans la zone de l'antenne GOLE2

*Les poissons 48101_29 et 48101_32 ne sont présentés ici en raison de leur faible temps de présence dans la zone concernée

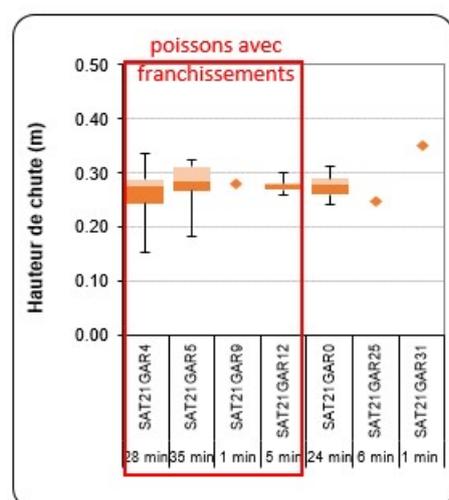


Figure 49 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors des enregistrements à l'antenne RFID GO20000

Il est possible d'observer sur les figures Figure 46 et Figure 48 les hauteurs de chute au niveau de chaque entrée lors de l'enregistrement des individus suivis respectivement dans les zones des entrées E1 et E2. Les hauteurs enregistrées au niveau de l'entrée 1 varient peu et sont relativement bien centrées autour de 40 cm, que ce soit pour les poissons ayant franchi l'aménagement ou non. Concernant l'entrée 2, les hauteurs de chute sont globalement réparties entre 25 et 30 cm, indifféremment du succès ou non de franchissement des poissons suivis. Les figures Figure 47 Figure 49 présentent les hauteurs de chute au niveau de chaque entrée lorsque les poissons ont franchi les antennes RFID. Les observations sont comparables à celles fournies par les données radio.

Les hauteurs de chute aux deux entrées de l'ascenseur sont compatibles avec les exigences migratoires des saumons et ne diffèrent pas entre saumons ayant franchi ou non l'aménagement.

7.2.7.2 Analyses des détections acoustiques

	Durée détections ant. GENE	Durée détections ant. GOLE1		Durée totale détections GOLE1	Durée détections ant. GOLE2		Durée totale détections GOLE2	% déctions E1-E2 / GENE
		sans G3	avec G3		sans G3	avec G3		
48101_00	2059	43		43	43		43	4%
48101_03	383							
48101_04	4357	574	17	591	573	2	575	18%
48101_05	1441	151	297	448	125	33	158	37%
48101_09	1249	51		51	276		276	25%
48101_12	1719		142	142		12	12	9%
48101_25	604		4	4		198	198	33%
48101_29	56		2	2				4%
48101_30	159		15	15				9%
48101_31	533		1	1		10	10	2%
48101_32	24							
48101_37	195				113		113	58%

Tableau 20 : Détails des détections acoustique à l'entrée 1 et à l'entrée 2 de l'ascenseur en fonction des configurations d'usine

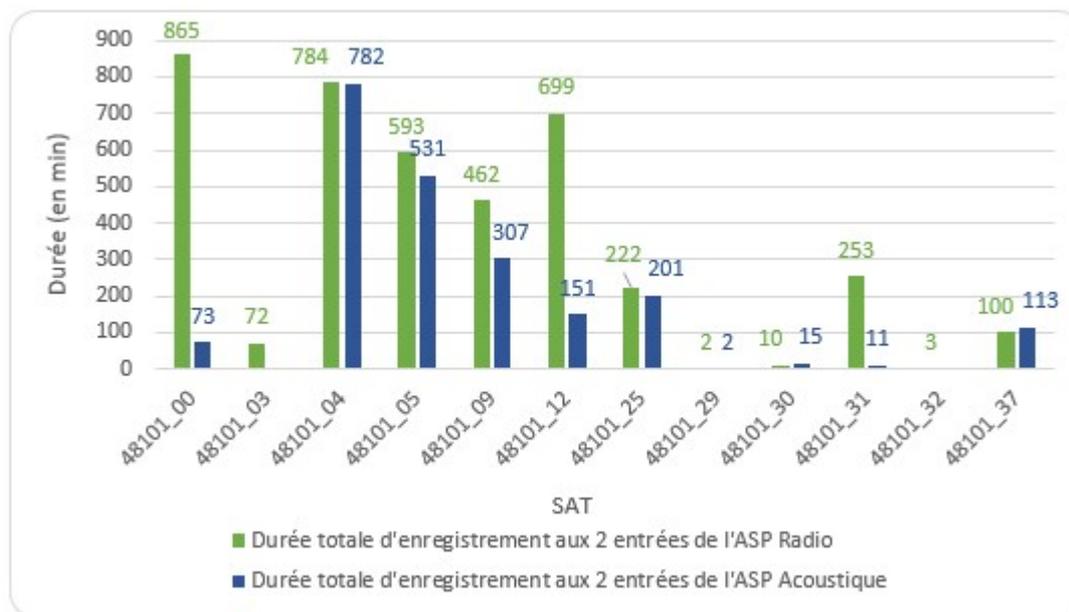


Figure 50 : Comparaison des durées d'enregistrements des stations radio et acoustique au niveau des 2 entrées de l'ASP de Golfech

Lorsque l'on observe l'ensemble des données enregistrées par les hydrophones au niveau des entrées 1 et 2 (Tableau 20), il apparait 2 poissons non-détections par rapport aux antennes radio (48101_03 et 48101_32). Pour les 10 poissons qui ont été enregistrés par les 2 technologies, 6 ont des résultats très proches (Figure 50) et 4 ont des résultats différents, tous

en faveur de la technologie radio. Parmi ces poissons, il faut noter le saumon **48101_00** dont l'émetteur acoustique s'est arrêté prématurément (émetteur 2020 utilisé avec durée de vie réduite). Pour les 3 autres (**48101_09**, **48101_12** et **48101_31**), les durées de détections aux antennes radio ont été bien supérieures aux durées des détections acoustiques des hydrophones qui sont moins sensibles dans la configuration testée ici, à savoir des entrées de dispositif de franchissement avec pas mal de courant, de turbulences et de bulles, susceptibles de perturber la détection acoustique.

7.2.7.3 Analyses des détections RFID

	Franchissement	Antenne E1	Antenne intermédiaire	Antenne E2	Antenne Canal transfert 1	Antenne Canal transfert 2
1.	SAT21GAR0	47		139	-	-
2.	SAT21GAR4	x 111	34	158	-	-
3.	SAT21GAR5	x 116	-	173	8	-
4.	SAT21GAR9	x -		1	-	2
5.	SAT21GAR12	x 14	4	40	1	-
6.	SAT21GAR25	-		21	-	-
7.	SAT21GAR31	-		1	-	-

Tableau 21 : Nombre de détections brutes* à chaque antenne RFID au niveau de l'ASP

***ici une détection brute correspond à une ligne d'enregistrement sur les coffrets d'enregistrement RFID. La technologie RFID n'a pas de pas de temps fixe, ainsi plusieurs détections dans la même minute sont possibles.**

Parmi les 12 saumons enregistrés aux antennes radio des entrées 1 et 2 de l'ASP, seulement 7 (soit 58 %) ont été détectés par les antennes RFID installées dans les ouvertures du génie civil de chaque entrée. Le détail du nombre de détections au niveau de chaque antenne RFID (aval mais aussi amont ASP) est rapporté dans le Tableau 21.

Ainsi, 5 poissons détectés en radio à proximité des entrées ne se sont vraisemblablement pas engagés dans le dispositif jusqu'aux antennes RFID, malgré des détections à proximité des deux entrées. Le saumon **48101_03** a été enregistré moins de 40 minutes par les antennes radio et n'a pas été détecté par les hydrophones E1 et E2. Il en est de même pour le poisson **48101_32** enregistré seulement 3 minutes proche des entrées et non détecté par les hydrophones. Le poisson **48101_29** a été capté 2 minutes par les antennes radio E1 et E2 ainsi que par les hydrophones E1 et E2. Enfin, le poisson **48101_30** a été capté 1h30 par les antennes radio E1 et E2 et pendant environ 35 minutes par les hydrophones E1 et E2. La durée de détection du poisson **48101_37** au niveau des antennes radio et des hydrophones atteint 2 heures. Malgré ce temps de présence légèrement supérieur, ce poisson ne semble pas non plus avoir pénétré dans l'ouvrage de montaison. Pour ces 5 saumons, 2 se sont présentés à proximité des entrées 1 et 2 alors que le G3 était à l'arrêt (débit turbiné de l'ordre de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour le poisson **48101_03** et de l'ordre de $220 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour le poisson **48101_37**) et 3 se sont présentés uniquement à proximité de l'entrée 1 alors que le G3 turbinait (débit turbiné de l'ordre de $380 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour le poisson **48101_30** et de l'ordre de $470 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour les poissons **48101_29** et **48101_32**).

Parmi les 7 poissons détectés par les antennes RFID, seuls 4 ont ensuite validé leur franchissement à l'amont via l'ascenseur et 3 ne sont pas passés à l'amont (Tableau 21). Les poissons **48101_25** et **48101_31** présentent des temps de présence importants au niveau des antennes radio des deux entrées mais n'ont réalisé chacun qu'une seule incursion¹ de respectivement 6 et 1 minute au niveau de l'antenne RFID de l'entrée 2. Pour ces deux poissons, les conditions de turbinage étaient identiques au niveau de l'usine avec les 3 groupes en fonctionnement (Tableau 22). Le poisson **48101_00**, quant à lui, présente de nombreuses détections aux antennes RFID, réparties sur 4 jours (le 04 et 05 avril ainsi que le 21 et 22 mai). La majorité des détections se sont faites alors que les groupes 1 et 2 de l'usine fonctionnaient et que le groupe 3 était à l'arrêt.

Poissons	Nombre de journées de détection	Dates	Durée entre première et dernière détection (min)	Antenne de première détection	Configurations de groupes en fonctionnement lors de la présence des poissons suivis				Incursion E1	Incursion E2	Incursion finale par E1 ou E2
					1;2;-	-;2;-	1;2;3	1;-;3			
48101_00	1	04/05/21	106	2	100%	-	-	-	1	2	-
	2	05/05/21	1	1	100%	-	-	-	1	0	-
	3	21/05/21	408	1	97%	3%	-	-	4	4	-
	4	22/05/21	320	2	100%	-	-	-	0	1	-
total	4		835		99%	1%					
48101_04	1	27/04/21	215	2	100%	-	-	-	0	1	-
	2	30/04/21	85	2	100%	-	-	-	1	1	-
	3	01/05/21	158	1	100%	-	-	-	2	2	-
	4	03/05/21	21	1	100%	-	-	-	1	0	-
	5	04/05/21	86	2	100%	-	-	-	1	1	-
	6	05/05/21	1	1	100%	-	-	-	1	0	-
	7	06/05/21	454	1	100%	-	-	-	1	1	-
	8	07/05/21	294	1	100%	-	-	-	1	0	-
	9	08/05/21	571	1	100%	-	-	-	2	1	-
	10	13/05/21	52	1	-	-	100%	-	1	1	E1
total	10		1937		97%		3%				
48101_05	1	11/04/21	1	1	100%	-	-	-	1	0	-
	2	12/04/21	96	1	-	-	65%	25%	3	2	-
	3	13/04/21	416	1	-	-	-	100%	4	4	-
	4	14/04/21	334	1	8%	-	36%	56%	5	3	E2
total	4		847		0.1%		32%	68%			
48101_09	1	08/05/21	1	2	100%	-	-	-	0	2	E2
total	1		1		100%						
48101_12	1	03/05/21	4	2	100%	-	-	-	0	1	-
	2	14/05/21	225	1	-	-	100%	-	4	1	E2
total	2		229		2%		98%				
48101_25	1	22/05/21	6	2	-	-	100%	-	0	1	-
total	1		6				100%				
48101_31	1	12/05/21	1	2	-	-	100%	-	0	1	-
total	1		1				100%				

Tableau 22 : Détails des différentes incursions de saumons marqués au niveau des antennes RFID des entrées 1 et 2 de l'ascenseur

En ce qui concerne les 4 poissons ayant franchi l'ascenseur, les scénarii sont hétérogènes. En effet, on observe un poisson qui semble avoir franchi l'ascenseur lors de son unique incursion alors que les 3 autres ont réalisé plusieurs tentatives, jusqu'à 10 en 10 jours pour le poisson **48101_04**.

- **48101_04** : ce poisson s'est présenté pour la première fois aux antennes RFID de l'ascenseur le 27 avril. Au total, le poisson a été enregistré 10 journées différentes, dont certaines consécutives. Lors des 9 premières présentations, l'usine fonctionnait avec les groupes 1 et 2. Lors de la dixième tentative, celle qui se conclura par un

¹ Nous utilisons ici le terme **incursion** qui correspond à un temps de présence significatif au droit de l'antenne en question. L'incursion est la somme de détections successives sans interruption (par exemple ici, le saumon **48101_25** a été détecté 21 fois par l'antenne RFID E2 sur une plage temporelle continue de 6 minutes).

succès, les 3 groupes de l'usine fonctionnaient de manière homogène. Lors de cette dernière tentative, le poisson est entré dans le système par l'entrée 1 et a fait des aller-retours entre les deux entrées, côté intérieur du dispositif. Après 52 minutes de présence dans l'ouvrage de franchissement, le poisson s'est fait détecter une dernière fois au niveau de l'entrée 2 (toujours côté intérieur) avant de se diriger vers la nasse et de se faire piéger par celle-ci.

- **48101_05** : ce poisson s'est présenté 4 jours consécutifs entre le 11 et le 14 mai. Lors de la journée du 14 mai, le poisson a été enregistré plusieurs fois au niveau de chaque entrée. En fin de journée, une modification des configurations usine a été opérée, en effet celle-ci fonctionnait avec les groupes 1 et 3, avant que le groupe 2 ne soit démarré. Après 2h de fonctionnement avec les 3 groupes, le groupe 3 a été arrêté pour que l'usine ne fonctionne qu'avec les groupes 1 et 2. L'incursion finale dans le système s'est effectuée via l'entrée 2, 25 minutes après l'arrêt du groupe 3.
- **48101_09** : ce poisson n'a été enregistré aux antennes RFID qu'une seule fois, le 08 mai. Il est entré dans le système via l'entrée 2 avant de rentrer dans la nasse du piège. Lors de cette unique incursion, l'usine fonctionnait avec les groupes 1 et 2 de manière homogène (environ $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ chacun).
- **48101_12** : ce poisson présente des enregistrements aux antennes RFID le 3 mai et le 14 mai. Lors de cette dernière date, il est enregistré plusieurs fois au niveau de l'entrée 1 au cours de l'après-midi. En fin de journée, celui-ci se présente à l'entrée 2, avant de se faire capter par l'antenne intermédiaire et de finir dans la nasse du piège. Les 3 groupes de l'usine étaient en fonctionnement au moment de son franchissement.

La Figure 51 propose d'observer les détections quotidiennes aux antennes radio des enregistreurs de l'ascenseur de Golfech en fonction du débit moyen journalier de la Garonne à Lamagistère, ainsi que les débits turbinés à l'usine.

Le poisson **48101_04** s'est présenté pour la première fois en aval de l'ouvrage le 27 avril, soit 27 jours après son marquage. Il s'est présenté régulièrement à l'ouvrage pendant une quinzaine de jours (Tableau 22) avec des incursions systématiques au niveau des entrées (détections sur toutes les antennes, radio et RFID). Pendant cette période, le débit du canal de fuite a oscillé entre $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figure 51). Le 10 mai, un coup d'eau est observable avec une augmentation des débits de la Garonne jusqu'à $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Lamagistère. Le poisson ne s'est pas présenté à l'ouvrage pendant cette montée des eaux et est revenu se présenter le 13 mai après le premier pic du coup d'eau. Le poisson a franchi l'ouvrage lors de cette visite alors que les 9 présentations précédentes n'avaient pas abouti au franchissement. Au cours de cette période, des franchissements de saumons non marqués ont été observés de manière régulière.

Le poisson **48101_05** a été marqué le 07 avril. Le même soir, il a effectué une approche de l'ouvrage uniquement dans la zone de l'antenne GOLGENE (Figure 51). Le saumon est revenu 4 jours plus tard, le 11 avril, alors que les conditions de débits étaient stables pendant ces 4 jours. On notera également aucun autre franchissement à l'ascenseur de poisson non-marqué. Le poisson s'est présenté au niveau des entrées pendant ces 4 jours consécutifs avant de franchir le 14 avril avec des conditions de débit stables. Peu de poissons non-marqués ont été contrôlés sur cette période.

Le poisson **48101_09**, marqué le 17 avril, s'est présenté le soir même en aval de l'ouvrage. Il s'est approché des entrées (détections radio) mais sans atteindre les antennes RFID (Figure 51). Après cette tentative, le poisson ne se représentera que le 07 mai en aval de l'ouvrage, soit 20 jours plus tard. Le poisson réussit à franchir l'ouvrage le lendemain, 08 mai, après une journée au pied de celui-ci. Ce poisson est passé à l'amont alors qu'aucun poisson non-marqué n'a été observé sur cette période. Le débit turbiné lors de la journée de franchissement était d'environ $180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Le poisson **48101_12** a été marqué le 28 avril. Il s'est présenté en aval de l'usine pour la première fois le 02 mai et s'est représenté 4 jours consécutifs jusqu'au 05 mai. Sur cette période, le débit turbiné a diminué de 260 m³.s⁻¹ à 160 m³.s⁻¹. Le saumon revient sur site 7 jours plus tard, le 12 mai, après le coup d'eau du 10 mai et avant celui du 18 mai. Dans cet intervalle, le poisson est venu 3 jours consécutifs à l'usine et a franchi l'ascenseur le 14 mai, alors que le débit turbiné à l'usine était d'environ 350 m³.s⁻¹.

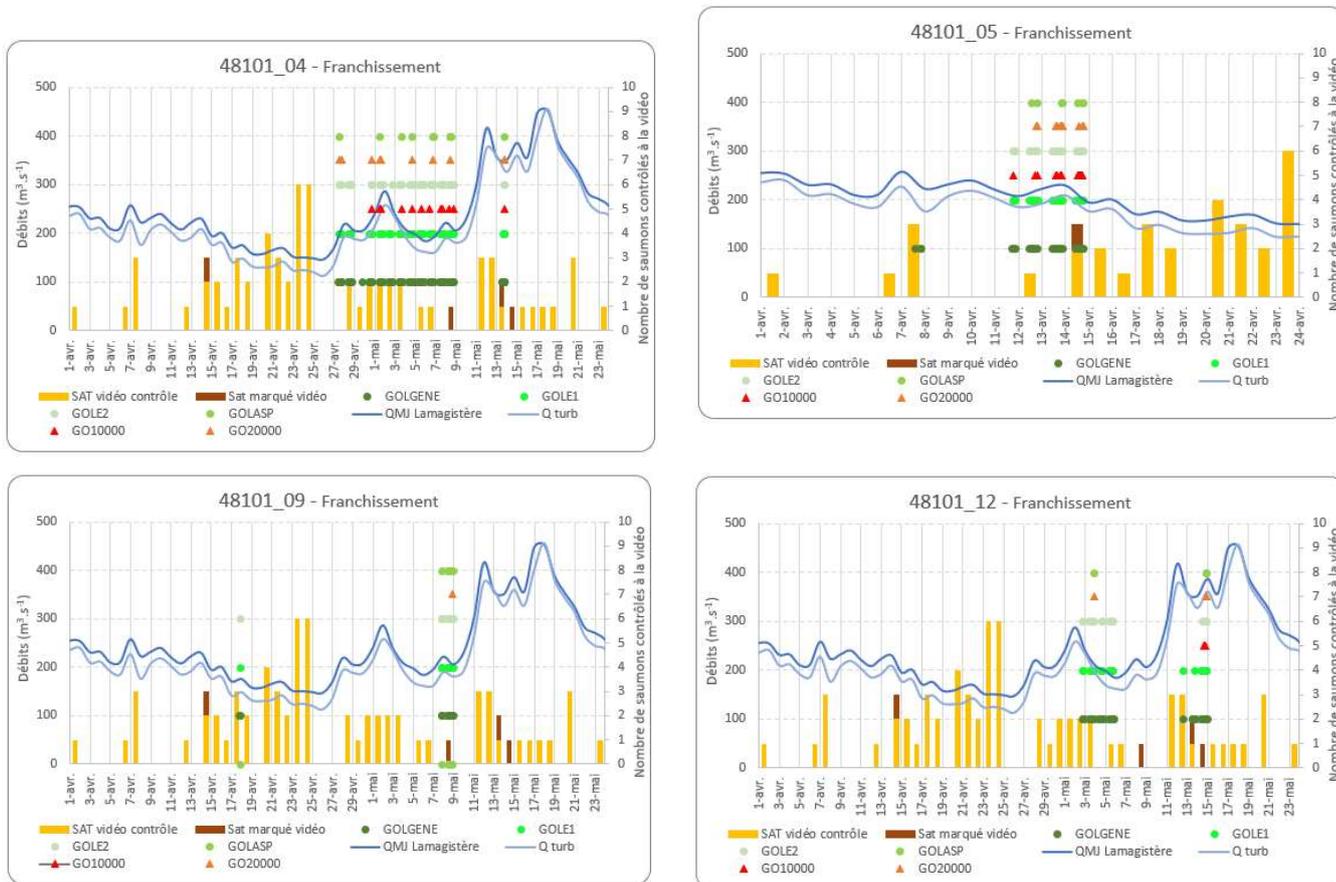


Figure 51 : Détections des saumons aux antennes radio et RFID de l'ASP de Golfech pour les individus ayant franchi l'aménagement

7.2.8 Résultats du suivi prédation (pour les poissons ayant atteint l'ouvrage de Golfech)

Parmi les 13 individus ayant présenté une reprise de migration vers l'amont (cf. Tableau 14, § 7.2.3) et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine (pour rappel, le poisson **48101_00** ne sera pas pris en compte ici), 6 ont leur émetteur prédation qui s'est déclenché au cours du suivi. Parmi ces poissons, 2 catégories apparaissent : pour certains, la prédation est intervenue alors que les poissons avaient un mouvement de dévalaison, alors que certains ont subi leur prédation alors qu'ils se trouvaient encore à proximité du complexe de Malause/Golfech.

ID_poisson	Temps entre lâcher et prédation	PK prédation	Distance pts de lâcher
48101_03	?	168.4	39.1
48101_10	39jr 19h	116.4	91.1
48101_50	21jr 08h	191.7	19.9

Tableau 23 : Détails de prédation concernant les 3 individus prédaté en dévalaison après avoir atteint l'aval du barrage de Golfech

Parmi les 6 poissons, 3 appartiennent à la première catégorie et les données les concernant sont présentées dans le Tableau 23. Le poisson **48101_10** a été prédaté 39 jours après sa remise à l'eau après une dévalaison d'environ 91 km. Le poisson **48101_50** a été prédaté 21 jours après son lâcher et après une dévalaison d'environ 20 km. La poisson **48101_03**, marqué et lâché le 01 avril, n'a plus été retrouvé à partir du 30 avril et son mouvement en aval de Saint-Nicolas-de-la-Balermé. Après 1 mois de recherche, il a été pointé le 03 juin proche de Port Saint Marie (*PK GAR_168*). Le tag acoustique a pu être détecté comme prédaté, mais il a été impossible d'enregistrer le signal et ainsi de remonter jusqu'à la date de prédation de cet émetteur. Ce tag sera à nouveau recherché le 16 juin, il sera à nouveau détecté mais sans possibilité de récupérer l'information menant à la date de prédation.

ID_poisson	Temps entre lâcher et prédation	PK prédation	Distance pts de lâcher
48101_30	09jr 05h	213.8	6.3
48101_31	38jr 21h	220.5	8.9
48101_37	15jr 12h	213.8	2.2

Tableau 24 : Détails de prédation concernant les 3 individus prédaté à proximité du complexe Malause/Golfech

3 poissons appartiennent à la seconde catégorie (Tableau 24), c'est-à-dire que la prédation s'est produite alors que l'individu se situait encore à proximité de l'usine de Golfech (et en amont du point de lâcher). La prédation du poisson **48101_31** est intervenue 38 jours après sa remise à l'eau et a été localisée dans le tronçon court-circuité de l'usine, au niveau du village d'Auvillar (en amont du seuil 3). Concernant le poisson **48101_30**, la prédation a été détectée 9 jours après le marquage et localisée dans le canal de fuite. Quelques jours après cette première détection du tag prédation déclenché, le tag a été retrouvé et redétecté en aval du tronçon court-circuité. Concernant le poisson **48101_37**, la prédation est intervenue 15 jours après le début du suivi de l'individu. Le poisson a été prédaté dans le canal de fuite de l'usine. Lors des 24 premières heures où le tag a été déclenché, un aller-retour entre l'aval du canal de fuite et le pied du barrage a été enregistré.

Concernant le devenir des autres poissons (poissons n'ayant pas été détectés comme prédatés et ayant atteint au moins une fois l'aval de l'ouvrage de Golfech), la dernière détection du poisson **48101_25** se situe au niveau du *PK GAR_200*, soit 7km en aval de son point de lâcher. La poisson **48101_29** a été détecté au *PK GAR_200* jusqu'au 13 mai. Le 16 mai, ce poisson est enregistré comme dévalant à Couthures-sur-Garonne (*PK GAR_113*). Enfin, le poisson **48101_32** a été détecté au *PK GAR_205* jusqu'au 12 mai. Le 03 juin, ce poisson a été détecté au *PK GAR_172*. Le poisson ne sera plus retrouvé après ce pointage.

7.2.9 Comportement des poissons suivis en amont de l'ASP (canal de transfert et canal d'amenée)

Comme exposé dans les paragraphes précédents (7.2.4 et 7.2.7), seulement 4 individus marqués ont franchi l'ascenseur au cours du suivi 2021.

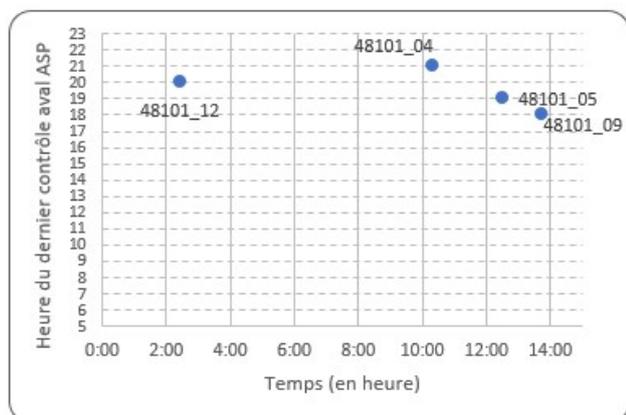


Figure 52 : Délais, des poissons marqués, dans le canal de transfert entre le dernier enregistrement à l'aval de l'ASP et la première détection dans le canal d'amenée

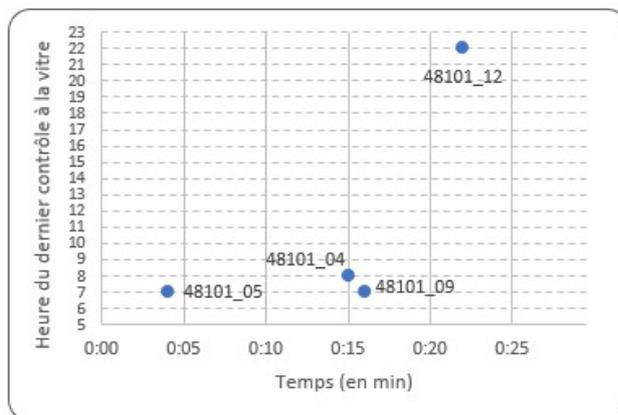


Figure 53 : Délais, des poissons marqués, dans le canal de transfert entre le dernier enregistrement à la station de contrôle et la première détection dans le canal d'amenée

Parmi les 4 poissons ayant emprunté l'ascenseur, l'ensemble des individus est sorti du canal de transfert (100 %). Aucune prédation sur les poissons marqués n'a été observée dans le canal de transfert cette année. Pour ces 4 poissons sortis du canal de transfert, le délai entre le franchissement de l'ascenseur et la première détection dans le canal d'amenée est compris entre 2h25min et 13h45min (Figure 52). Les délais de transfert les plus longs (48101_04, 48101_05 et 48101_09) correspondent à des poissons qui ont passé la nuit dans le canal de transfert avant de sortir le lendemain matin (entre 07h et 08h). Pour le poisson 48101_12, malgré un franchissement de l'ouvrage en soirée (20h45), celui-ci a poursuivi sa migration vers l'amont directement sans marquer une nuit d'arrêt dans le canal de transfert.

Afin de mieux appréhender le comportement des poissons dans le canal de transfert, la Figure 53 rapporte le délai entre le dernier enregistrement des poissons marqués à la vitre de contrôle et la première détection dans le canal d'amenée. Ce délai est relativement court et inférieur à 25 minutes pour l'ensemble des 4 saumons. Ceci signifie donc que les poissons sortent rapidement du canal de transfert une fois la vitre passée.

7.2.10 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison - zoom sur le canal d'amenée

Parmi les 4 saumons sortis du canal de transfert, tous ont atteint l'amont du canal d'amenée. Le temps de parcours entre l'aval et l'amont du canal d'amenée en fonction du débit turbiné transitant dans le canal est présenté sur la Figure 54.

Les temps de transit sont compris entre 3h43min pour l'individu le plus rapide et 15h50min (médiane : 4h13min). Le débit moyen turbiné pour ces trajets est de $317 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ce qui représente environ 59 % du débit maximum turbinable, et le débit moyen maximum observé dans le canal d'amenée pour un saumon lors de son déplacement vers l'amont est de $328 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Les poissons ont donc évolué dans des conditions de débit turbiné moyennement « contraignantes ». A $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, les vitesses de coulement sont comprises entre 0,34 m/s sur la partie aval du canal à 0,62 m/s sur la partie amont.

Le poisson **48101_09** présente deux durées de montaison, en effet une fois arrivé à l'amont du canal d'amenée, ce poisson a dévalé l'intégralité du canal en 2h48min. Malgré des conditions d'écoulement identiques lors de sa deuxième remontée, le poisson a mis quatre fois plus de temps pour arriver à l'amont la seconde fois (15h50min contre 4h13min la première fois). En fait, il a débuté cette seconde remontée le même jour que la première mais à partir de 18h, il s'est arrêté aux environs de Pommévic (soit aux 2/3 du canal) durant la nuit pour reprendre sa montaison vers 7h le lendemain et sortir du canal d'amenée aux alentours des 9h.

Ce même poisson (**48101_09**) a effectué une seconde dévalaison du canal d'amenée de Golfech 41 jours après sa seconde sortie. Cette seconde dévalaison a été beaucoup plus longue que la première avec 44h enregistrées entre l'amont et l'aval (contre 2h48min la première fois). Lors de cette deuxième dévalaison, le débit moyen turbiné dans le canal d'amenée était d'environ 170 m³.s⁻¹.

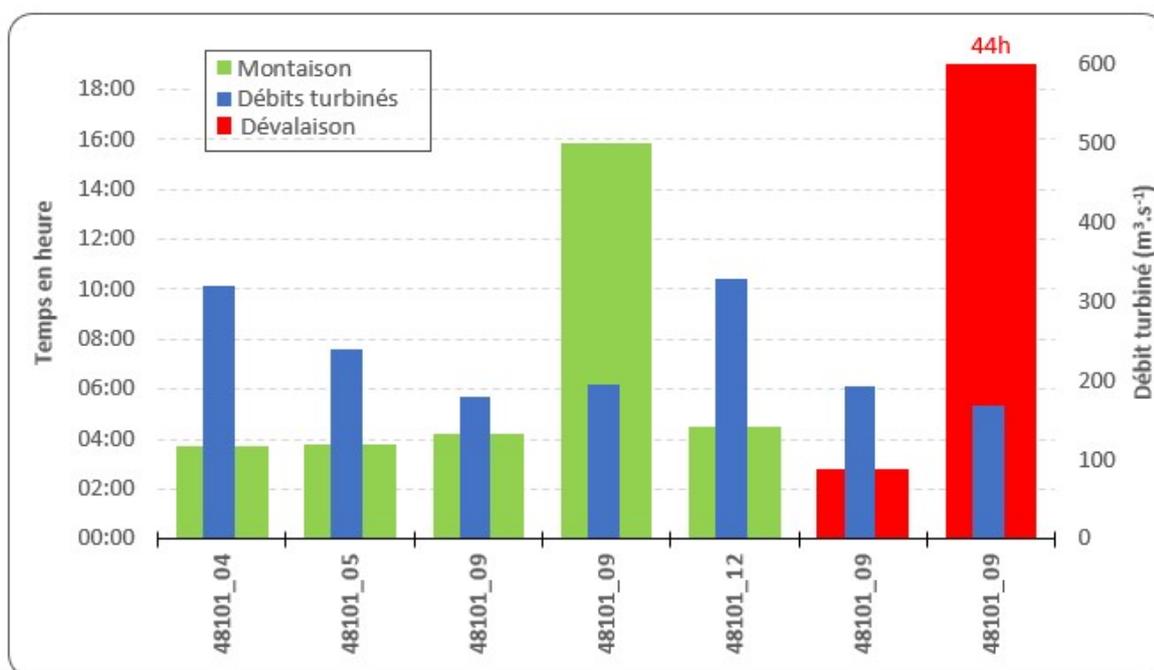


Figure 54 : Temps de parcours dans le canal d'amenée en fonction du débit turbiné

Afin de compléter les informations de la Figure 54, il est possible d'observer les variations de débits transitant dans le canal d'amenée lors de la présence des poissons suivis. Seule la première progression vers l'amont du poisson **48101_09** a été enregistrée avec une augmentation de débit de 28 m³.s⁻¹ dans le canal d'amenée. Toutes les autres montaisons ont été enregistrées avec une diminution du débit turbiné de faible à très faible (de -11 à -60 m³.s⁻¹). Concernant les dévalaisons du saumon **48101_09**, la première n'a présenté qu'une légère variation du débit turbiné (-4 m³.s⁻¹) et lors de la seconde dévalaison du canal d'amenée, une diminution significative de 90 m³.s⁻¹ a été enregistrée entre la détection à l'amont du canal et l'arrivée à l'aval.

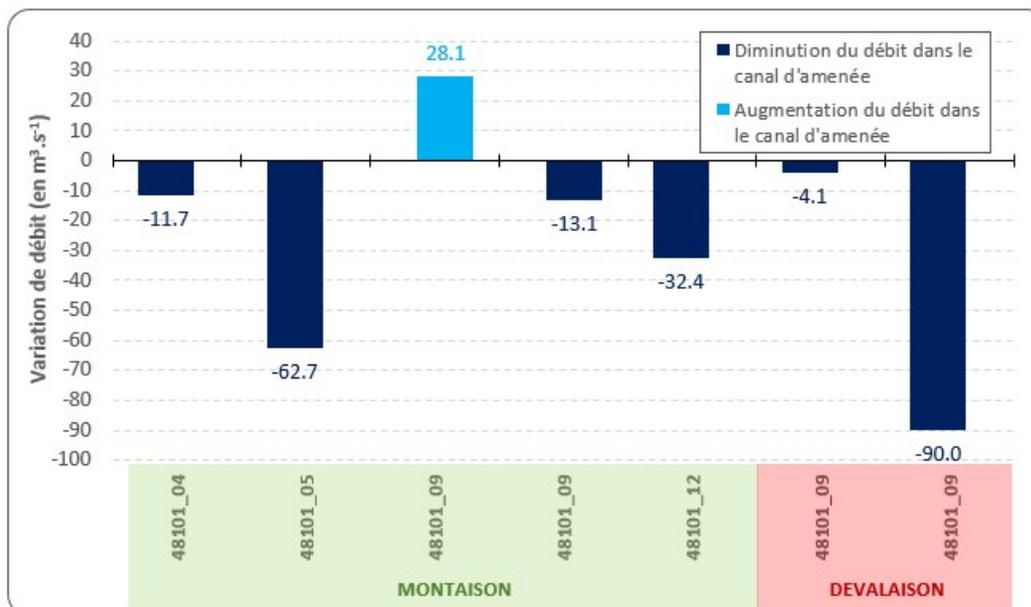


Figure 55 : Variation du débit turbiné lors de la progression dans le canal d'amenée

La Figure 56 permet de résumer les gammes de débits turbinés rencontrées lors de la montaison et de la dévalaison des saumons marqués. Lorsque l'on compare les débits rencontrés par les poissons en montaison à la répartition des débits turbinés sur l'ensemble du suivi, il apparaît que les situations rencontrées sont un peu plus dispersées que les débits moyens turbinés au cours du suivi. Pour rappel, le débit moyen turbiné pour ces trajets est de $317 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, ce qui représente environ 59 % du débit maximum turbinable, et le débit moyen maximum observé dans le canal d'amenée pour un saumon lors de son déplacement vers l'amont est de $328 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Les débits turbinés étaient donc globalement modérés lors du transit des 4 saumons.

Les deux cas de dévalaison apparaissent plutôt pour des conditions faibles de turbinage, avec de faibles débits en Garonne.

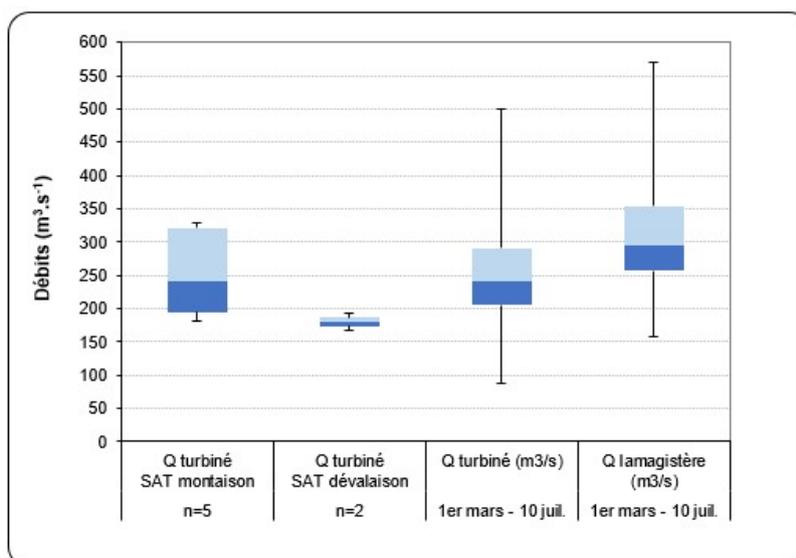


Figure 56 : Répartition des débits turbinés dans le canal d'amenée de Golfech pour les poissons ayant parcouru celui-ci en montaison et en dévalaison

Connaissant les débits transitant dans le canal d'amenée et la géométrie de celui-ci, il est possible d'estimer les vitesses d'écoulement rencontrées pour chaque secteur étudié (pour plus de détails, voir COURRET et al., 2020). En effet, la géométrie du canal évolue de l'aval vers l'amont avec une section plus réduite vers l'amont, accélérant ainsi les vitesses d'écoulement. Une fois les vitesses d'écoulement connues, il est possible d'estimer la vitesse de nage des poissons étudiés grâce à la durée de transit sur chaque portion du canal.

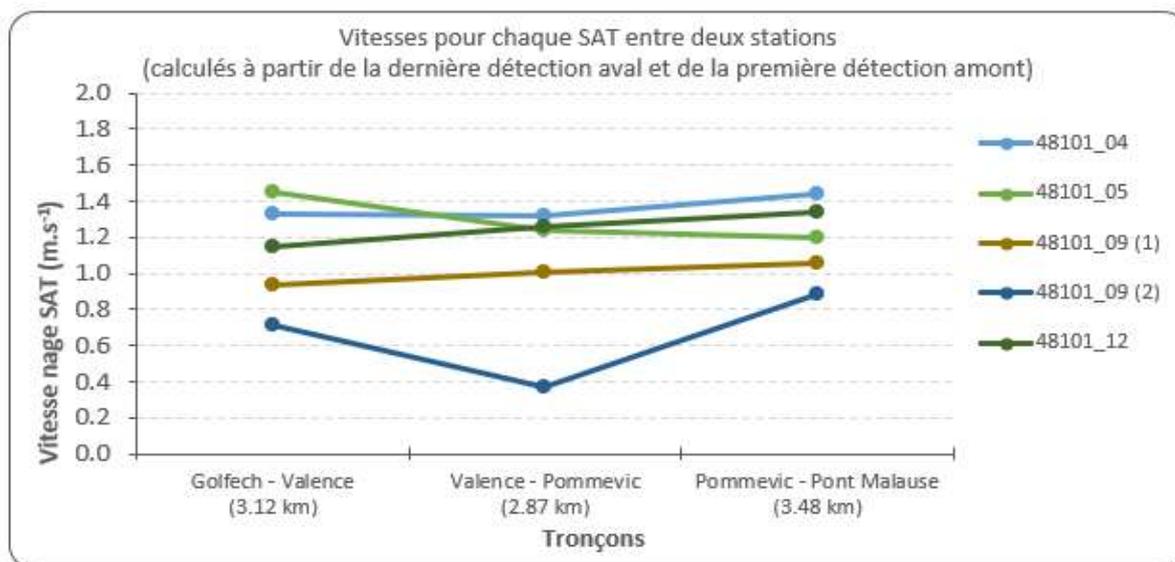


Figure 57 : Vitesses de nage pour chaque SAT entre deux stations (calculés à partir de la dernière détection aval et de la première détection amont)

Les vitesses de nage estimées pour les 4 poissons étudiés sont présentées sur la Figure 57. Ces vitesses ont été évaluées sur chaque secteur du canal afin de prendre en compte les différences de vitesses d'écoulement propres à chaque tronçon. Globalement, les vitesses de nage sont assez homogènes pour chaque individu et sont comprises entre 0,9 m/s et 1,5 m/s. La vitesse du courant dans le canal accélère sur la partie amont en raison de sa section moins large, cette tendance se retrouve chez 3 des 4 poissons (**48101_04**, **48101_09** (1) et **48101_12**) pour lesquels la vitesse de nage augmente également vers l'amont du canal. Le poisson **48101_05**, lui, présente une diminution de la vitesse sur le troisième secteur, le plus amont.

Les vitesses du saumon **48101_09** (2^{ème} montaison) ressortent particulièrement, avec une vitesse sur le tronçon Valence-Pommevic particulièrement faible (0,4 m/s) par rapport à celles observées sur les deux autres secteurs (Golfech-Valence : 0,7 m/s et Pommevic-Pont Malause : 0,9 m/s). Nous l'avons vu, ce saumon s'est arrêté durant la nuit aux environs de Pommevic puis a repris sa montaison le lendemain matin.

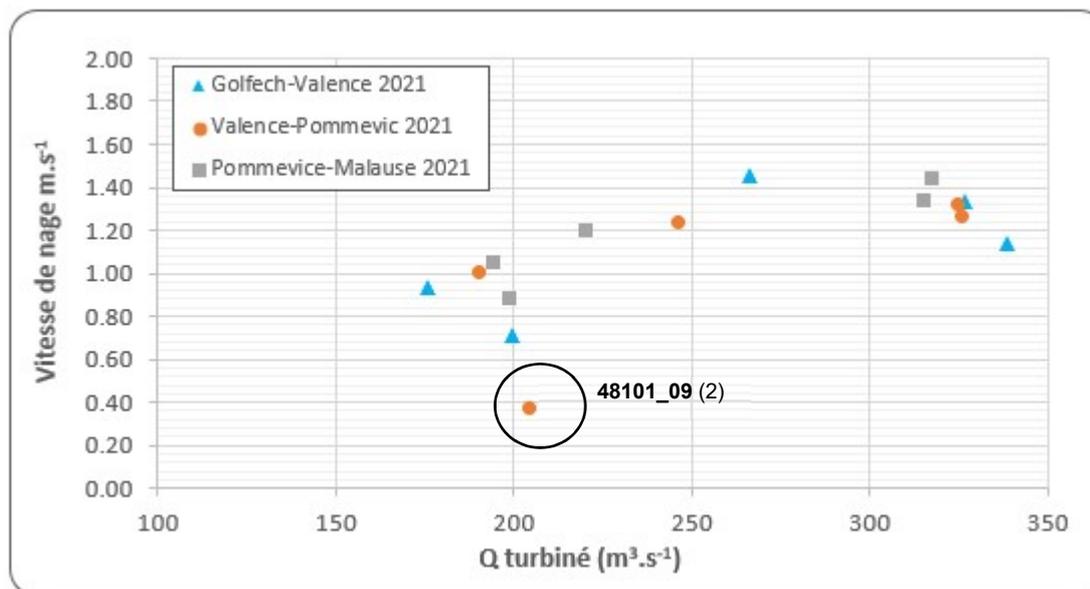


Figure 58 : Vitesses de nage des saumons marqués en fonction du débit turbiné dans chaque section du canal d'amenée

La relation entre le débit turbiné transitant dans le canal d'amenée et la vitesse de nage des poissons suivis est représentée sur la Figure 58. Pour chaque secteur, une légère influence du débit turbiné semble apparaître avec une augmentation modérée des vitesses de nage lorsque le débit turbiné augmente. Seul le poisson **48101_09** lors de son deuxième trajet ne s'inscrit pas dans cette tendance et présente une vitesse de déplacement particulièrement faible sur le secteur Valence-Pommevic (arrêt nocturne du poisson).

Outre les vitesses de nages, il est possible d'observer les temps de transit entre chaque secteur du canal (Golfech-Valence ; Valence-Pommevic ; Pommevic-Pont Malause). Les temps de transit sur le secteur Golfech-Valence sont compris entre 48 minutes et 1h58 (moyenne : 1h15). Pour le second secteur (Valence-Pommevic), les temps de transit sont compris entre 55 minutes et 10h53 (moyenne : 2h58). Et enfin pour le dernier secteur (Pommevic-Pont de Malause), les temps de transit sont compris entre 1h29 et 2h32 (moyenne : 1h47) (Figure 59). Les déplacements apparaissent donc globalement homogènes au niveau de leur durée, mis à part pour le poisson **48101_09** (arrêt nocturne du saumon).

Les phases d'enregistrement au niveau des ponts, c'est-à-dire au niveau de chaque station fixe d'hydrophones, correspondent en réalité au champ de détection aval-amont de chaque station. Les durées médianes au niveau des 4 ponts sont respectivement de l'aval vers l'amont de 4min, 6min, 8min et 8min (Figure 59), excepté pour les individus **48101_05** et **48101_09** qui ont été enregistrés respectivement 3h41 et 4h24 au niveau du pont de Golfech, immédiatement après la sortie du canal de transfert. Ces temps d'attente importants à ce niveau, non observés sur les 12 saumons suivis en 2020, sont-ils liés aux différences importantes de conditions hydrodynamiques entre canal de transfert et canal d'amenée qui pourraient perturber les saumons, à de l'effarouchement lié à la présence de silures ? Difficile à dire.

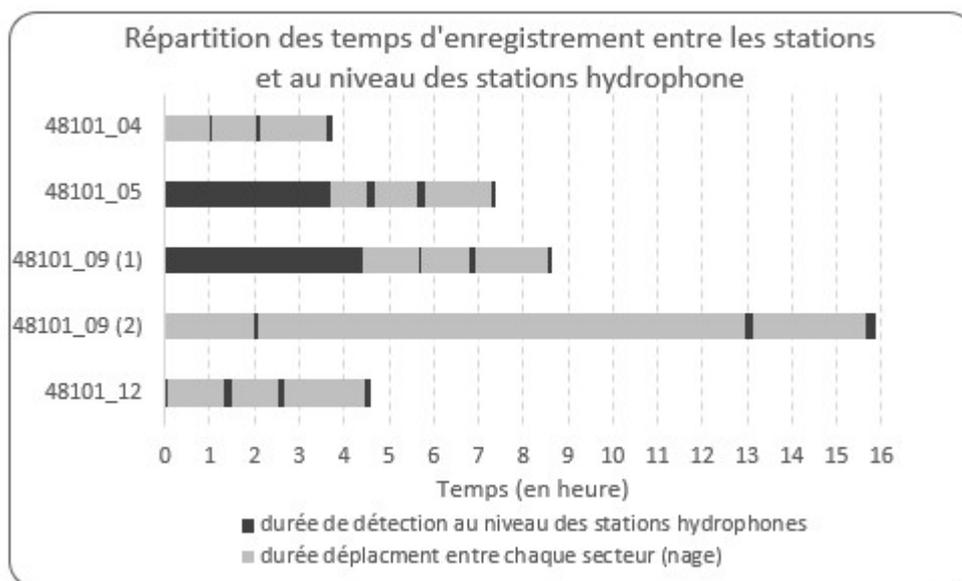


Figure 59 : Répartition des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'aménée

Si l'on regroupe les durées de déplacement inter secteur et les durées d'enregistrement au niveau des stations fixes (Figure 60), ces dernières représentent de 3 % à 57 %.

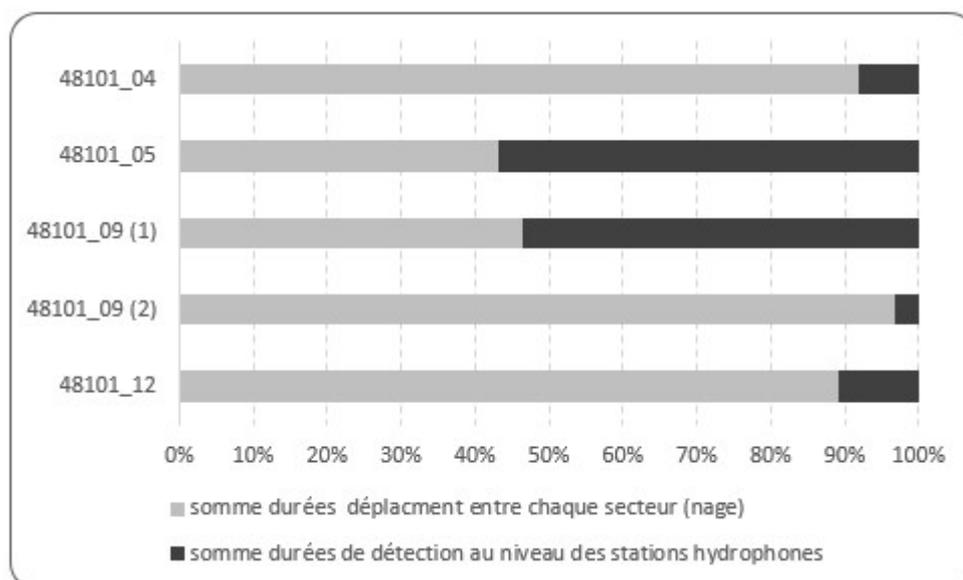


Figure 60 : Proportion des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'aménée

7.3 Comportement des saumons entre Malause et Toulouse

7.3.1 Comportement général

Parmi les 24 poissons étudiés, nous avons vu précédemment que seuls 4 individus ont franchi l'ascenseur de Golfech et continué leur progression vers l'amont. Ces quatre poissons ont tous emprunté le canal d'aménée jusqu'au barrage de Malause, avec pour exception le

saumon **48101_09** qui a fait un aller-retour entier dans le canal d'aménée et qui a donc parcouru deux fois le trajet Golfech-Malause avant de sortir du canal d'aménée. Afin de décrire au mieux les comportements de chacun des individus, nous avons classé le devenir des poissons en 2 groupes : le premier concerne les poissons ayant atteint l'ouvrage du Bazacle et le second traite des poissons ayant stoppé leur migration de montaison sur le secteur Malause-Bazacle.

- **Poissons ayant atteint l'aménagement du Bazacle**

Parmi les 24 poissons suivis et les 4 ayant franchi l'ouvrage de Golfech, seuls 2 ont finalement atteint l'ouvrage du Bazacle à Toulouse (2 sur 4, soit 50 %). Il s'agit des poissons **48101_05** et **48101_12**. Ces poissons ont été marqués respectivement le 07 avril et le 17 avril et ont franchi l'ascenseur le 14 avril (**48101_05**) et le 14 mai (**48101_12**).

La Figure 61 représente la durée de transit entre le barrage de Malause (sortie canal d'aménée) et l'arrivée en aval du Bazacle pour les 2 saumons de 2021 et pour les 7 saumons du suivi 2020 ayant atteint le Bazacle. Ce temps est très rapide pour le poisson **48101_12** puisqu'il est de 3,7 jours pour parcourir les 85 km, soit une vitesse moyenne de l'ordre d'1 km/h. Il est beaucoup plus lent pour le poisson **48101_05** puisqu'il est de 17,3 jours, soit une vitesse moyenne de l'ordre de 0.2 km/h. On aurait toutefois pu s'attendre à l'inverse mais c'est bien le saumon **48101_12** qui, après avoir mis le plus de temps à repasser l'ascenseur de Golfech après son lâcher (temps de blocages au pied de l'ascenseur de 12,2 j contre 7,5 j pour le **48101_05**), a parcouru le tronçon Malause-Bazacle le plus rapidement, y compris par rapport aux 7 saumons du suivi 2020.

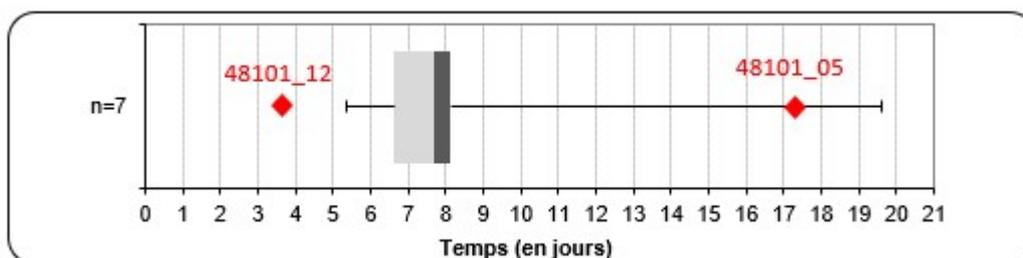


Figure 61 : Répartition des temps de transfert entre la sortie du canal d'aménée de Golfech et l'arrivée à l'aval du Bazacle pour les poissons 48101_05 et 48101_12 comparée aux données du suivi 2020

Concernant le devenir de ces 2 poissons, le **48101_12** a franchi l'ouvrage du Bazacle et le **48101_05** est resté à l'aval de celui-ci. Le détail complet du comportement des poissons au niveau de l'ouvrage du Bazacle sera abordé dans le paragraphe 7.4.

- **Poissons ayant stoppé leur migration de montaison avant d'atteindre le Bazacle**

Cette catégorie concerne 2 individus qui ont stoppé leur migration vers l'amont, avant de dévaler par la suite. Il s'agit du saumon **48101_04**, marqué le 06 avril, qui a franchi l'ascenseur le 14 mai, après un temps de blocage au pied de l'ascenseur de près de 17 jours et qui a quitté la retenue de Malause à la même date. Le lendemain (15 mai), ce poisson a été capté à Belleperche (*PK GAR_249,3*), puis en aval de Grenade (*PK GAR_280,8*) le 04 juin. Quelques jours plus tard, le 16 juin, le poisson est capté à nouveau à Belleperche, il est donc en train de dévaler. Le 19 juin, il est enregistré à Trescasses (*PK GAR_241,5*), soit 8 km en aval, confirmant le mouvement de dévalaison. Ce poisson ne sera plus retrouvé après cette date.

Le saumon **48101_09** a été marqué le 17 avril. Ce poisson a franchi l'ascenseur le 08 mai, après un temps de blocage au pied de l'ascenseur de 22 jours et est arrivé en amont du canal

d'amenée le 09 mai. Le poisson redévale l'intégralité du canal dans la même journée et reparcourt le trajet vers l'amont du canal le 10 mai. Il est enregistré comme quittant la retenue de Malause puis enregistré à Belleperche (PK GAR_249,3) le même jour. Le poisson est ensuite capté en suivi manuel à Beauzelle (PK GAR_303,7) le 08 juin. Aucune information pour ce poisson n'a été enregistrée entre le 11 mai et le 08 juin, soit 28 jours. Puis le 16 juin, il est enregistré à nouveau à Belleperche, il est donc en train de dévaler. Enfin, le 18 juin, il est enregistré dans la retenue de Malause et entame la dévalaison du canal d'amenée le même jour. Il atteint l'amont de l'usine (donc l'aval du canal d'amenée) le 20 juin et y séjourne jusqu'au 28 juin, date à laquelle le tag prédation nous apprend que le poisson s'est fait prédater.

7.3.2 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison

Lors de ce suivi 2021, les saumons **48101_04** et **48101_09** n'ont pas atteint le Bazacle après le franchissement de l'ouvrage de Golfech où ils ont notamment subi des temps de blocages respectifs au pied de l'ascenseur de 17 jours et 22 jours. Ces 2 individus ont présenté des mouvements de dévalaison : l'un a dévalé jusqu'à l'usine de Golfech (**48101_09**) et le second n'a plus été retrouvé en suivi manuel après avoir entamé sa dévalaison. Pour ces 2 individus, la date et le débit du dernier pointage en progression vers l'amont et en dévalaison sont présentés sur la Figure 62.

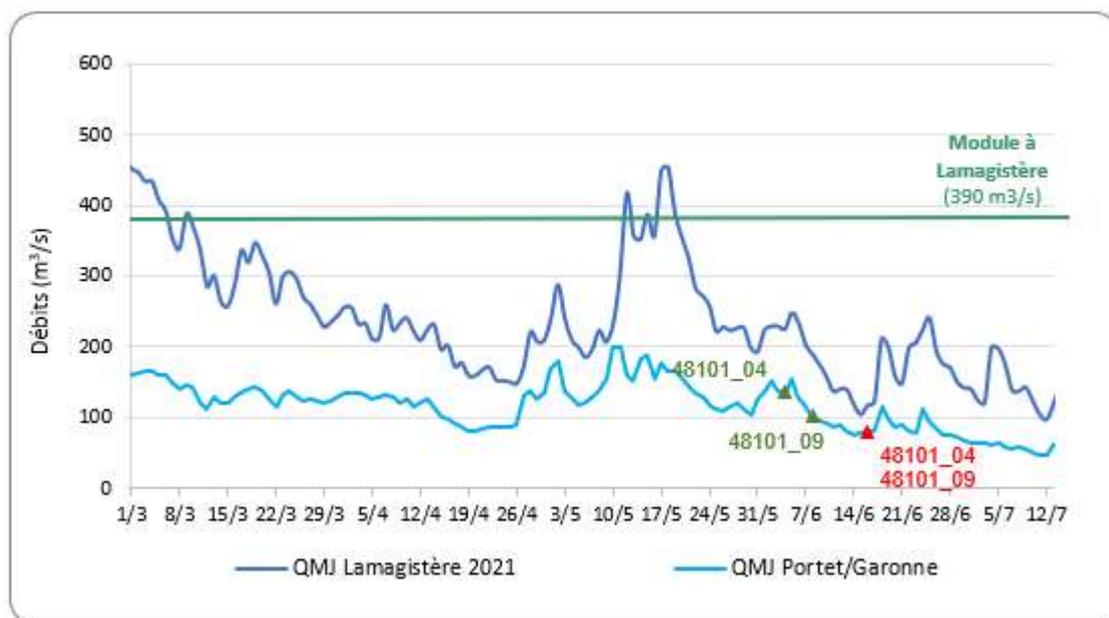


Figure 62 : Date et débit de la dernière localisation connue des poissons ayant présenté un mouvement de montaison (vert) et de dévalaison (rouge)

Comme expliqué précédemment, le poisson **48101_04** a été enregistré le 04 juin au (PK GAR_280,8). Il s'agit de sa position la plus amont connue lors de ce suivi. Le débit à Portet/Garonne était de $135 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ce jour-là et la tendance était plutôt à une baisse de l'hydrologie. Le saumon **48101_09** a été capté le 08 juin à Beauzelle (PK GAR_303,7). Le débit à Portet/Garonne était ce jour-là de $101 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Quelques jours plus tard, le 16 juin, ces 2 poissons sont enregistrés à Belleperche (PK GAR_249,3) soit respectivement 31,5 km et 54,4 km plus en aval que leur dernier positionnement connu. Le 16 juin, le débit à Portet/Garonne était de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. On constate donc que ces 2 dévalaisons se sont produites pour des débits de la Garonne plutôt faibles (inférieurs au Module à Portet/Garonne de

187 m³.s⁻¹) et ne sont donc pas liés à des coups d'eau, comme cela avait été le cas en 2020 où 8 saumons avaient dévalé suite à des coups d'eau compris entre 1.7 et 4.4 fois le Module.

7.3.3 Résultats du suivi prédation

Au cours de ce suivi, 4 poissons ont poursuivi leur progression en amont du complexe de Malause/Golfech.

Tout d'abord, le poisson **48101_12**, qui a passé Malause le 15 mai et a fini par franchir le Bazacle le 30 mai et la Cavaletade le 02 juin. Ce poisson a été détecté par la suite le 09 juin plusieurs centaines de mètres en aval du barrage de Carbonne (pour rappel, le piège de Carbonne était hors-service tout au long de la saison de migration 2021). Suite à ce pointage, il ne sera plus retrouvé. Ce poisson n'était pas prédaté jusqu'à son dernier pointage.

Les poissons **48101_04** et **48101_05** ont stoppé leur progression en aval de l'ouvrage du Bazacle. L'individu **48101_04**, marqué le 06 avril et ayant passé Malause le 14 mai, a atteint le point kilométrique maximal (*PK GAR_280*), en aval de Grenade-sur-Garonne, avant de dévaler. Son dernier pointage date du 19 juin au *PK GAR_241*. Il ne sera plus retrouvé par la suite. L'individu **48101_05**, marqué le 07 avril et ayant passé Malause le 15 avril, est arrivé au pied de l'ouvrage du Bazacle le 02 mai. Il est enregistré pendant 7 jours en aval de l'usine avant de d'être pointé en aval rive gauche de la chaussée du Bazacle. L'émetteur ne se déplacera plus jusqu'à la fin du suivi, mais le manque d'accessibilité de la zone n'a pas permis de vérifier à l'aide de la sonde acoustique si le tag prédation avait été déclenché.

Enfin, le poisson **48101_09**, marqué le 17 avril, a franchi l'ascenseur à poissons de Golfech le 09 mai. Le poisson a atteint l'amont du canal d'amenée le même jour, avant de redévaler l'intégralité de celui-ci dans la même journée. Il sortira finalement du canal d'amenée le lendemain et dépassera Malause le 10 mai. Il est capté comme dépassant Belleperche le 11 mai et ne sera retrouvé ensuite que le 08 juin au niveau du *PK GAR_303*, en aval de Toulouse, à Beauzelle. Le 16 juin, il est à nouveau capté à Belleperche, soit une dévalaison de plus de 50 km. Le 16 juin, il est à nouveau capté par les hydrophones du canal d'amenée (tag prédation non déclenché). Il stagne plusieurs jours dans ce dernier avant d'être retrouvé le 20 juin, toujours dans le canal d'amenée, en amont direct de l'usine. Le poisson est resté à cette localisation jusqu'au 28 juin, date à laquelle le tag prédation a été déclenché. La prédation est donc intervenue plus de 70 jours après le marquage du poisson.

7.4 Comportement des saumons au niveau du Bazacle

7.4.1 Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique du Bazacle

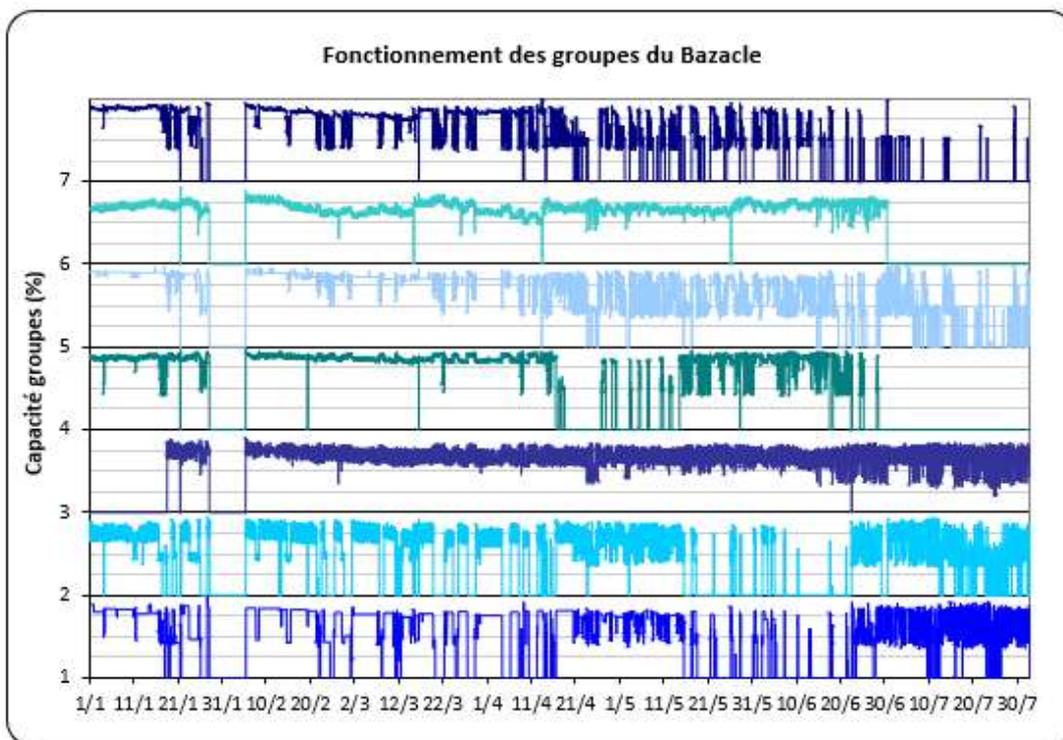


Figure 63 : Fonctionnement des 7 groupes de l'usine hydroélectrique du Bazacle durant la saison de migration 2021

Au cours de ce suivi 2021, les 7 groupes de l'usine étaient disponibles et ont fonctionné normalement. Sur la période suivie (février à juillet), un seul arrêt majeur d'usine est à noter (Figure 63) lors de la crue majeure de début février. L'usine a été arrêtée du 28 janvier au 05 février 2021, soit durant 8 jours. En observant la Figure 63, d'importantes variations quotidiennes sont observables sur certains groupes. Il semble que plusieurs groupes servent à réguler le débit total turbiné en fonction du débit de la rivière et finalement, seuls les groupes 3 et 6 présentent un débit turbiné relativement stable sur la période de suivi.

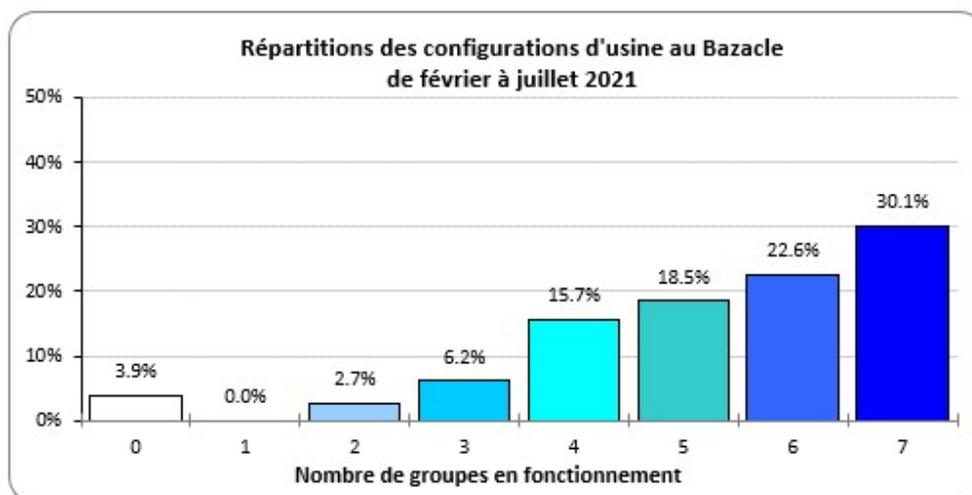


Figure 64 : Répartition des configurations d'usine au Bazacle en fonction du nombre de groupes en fonctionnement

Les configurations à 7 groupes représentent 30 % du temps de fonctionnement sur la période observée et les arrêts d'usine représentent 4 % du temps total (Figure 64). Les configurations de 4 à 6 groupes ont fonctionné chacune entre 15 et 23 %, représentant au total 57 % du temps. Les configurations à 1 groupe n'ont pas été observées et celles à 2 et 3 groupes ont été très peu rencontrées (< 10 %).

Le débit moyen horaire turbiné sur la période étudiée en 2021 est compris entre 5 m³/s et 90 m³/s. Les débits inférieurs à 50 m³.s⁻¹ turbiné représentent 40 % du temps d'étude (Figure 65) et les débits supérieurs à 70 m³.s⁻¹ turbiné représentent 32 % du temps. Le débit d'équipement est bien inférieur au module de la Garonne à Portet/Garonne (187 m³.s⁻¹), ce dernier est quasiment égal au double du débit d'équipement de l'usine du Bazacle. Sur la période d'étude, le débit de la Garonne a été 77 % du temps supérieur au débit d'équipement.

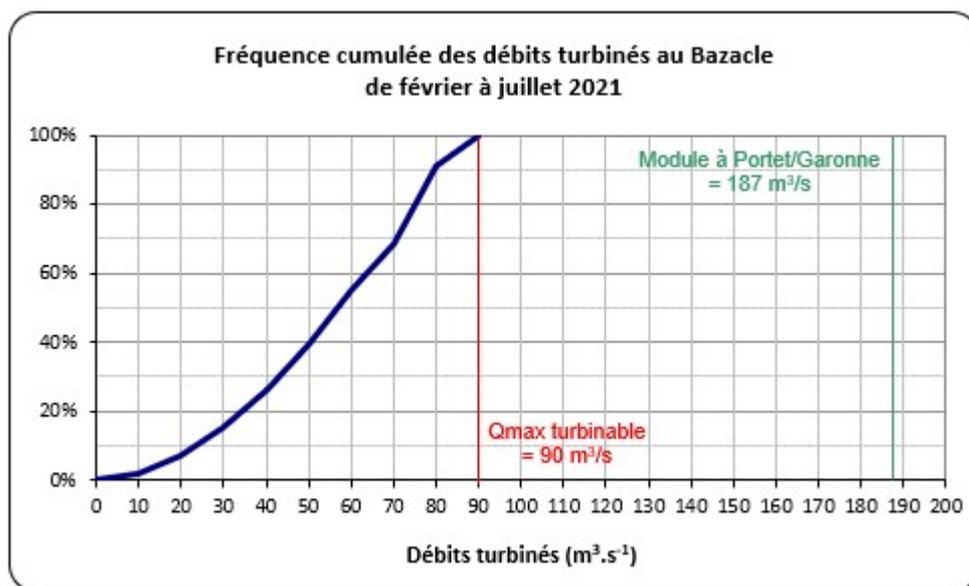


Figure 65 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés au Bazacle

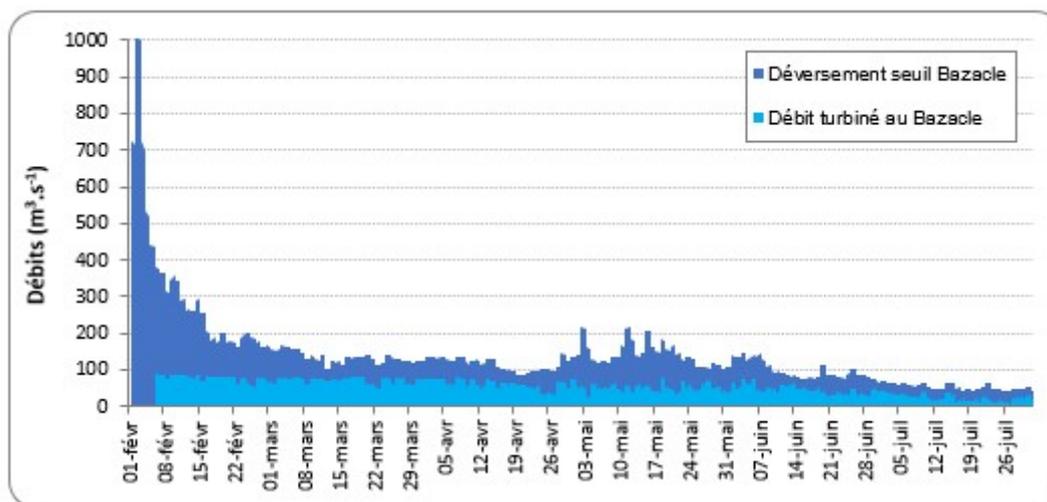


Figure 66 : Représentation des jours de déversement au barrage du Bazacle

La différence entre le débit de la Garonne à Portet/Garonne et le débit turbiné à l'usine du Bazacle correspond au débit déversé sur le seuil du Bazacle, représenté par l'aire bleu foncé sur la Figure 66.

Les déversements sur la chaussée du Bazacle ont été présents tout au long du suivi, ceci est principalement lié au débit d'équipement de l'usine (de l'ordre de la moitié du module). A partir du 15 février (après la crue), les déversements ont été plutôt homogènes sur l'ensemble du suivi, allant d'une dizaine de mètres cubes à un débit moyen horaire de 190 m³.s⁻¹. Au niveau du Bazacle, le coup d'eau du début du mois de février a également été conséquent, avec un débit maximum horaire déversé de 1030 m³.s⁻¹ enregistré le 01 février. L'usine étant arrêtée à ce moment de la crue, l'intégralité du débit de la rivière a donc été déversé par la digue.

7.4.2 Comportement général

Parmi les 24 poissons étudiés, nous avons vu précédemment que seuls 4 ont franchi l'aménagement de Golfech-Malause et que seulement 2 ont finalement atteint l'ouvrage du Bazacle à Toulouse. Il s'agit des poissons **48101_05** et **48101_12**.

Concernant l'avenir de ces 2 poissons, l'un a franchi l'aménagement du Bazacle et le second, lui, a stoppé sa migration en aval immédiat de l'aménagement du Bazacle.

- **Poisson ayant franchi l'aménagement du Bazacle**

Il s'agit du poisson **48101_12**. Nous précisons ici que ce poisson marqué n'a pas franchi l'aménagement du Bazacle par la passe à ralentisseurs, mais bien par la passe à bassins. A titre d'information, en 2021, seulement 3 saumons ont été contrôlés à la station vidéo du Bazacle dont 1 poisson marqué. Tous ont emprunté la passe à bassins. Depuis 1989, le taux de franchissement par la passe à ralentisseur est de 8,5 % pour les salmonidés (85 saumons pour 1003 franchissements) (COURRET et al., 2020).

Ce poisson est arrivé très rapidement au Bazacle après son franchissement de Golfech (3,7 jours). En revanche, le délai de franchissement de l'ouvrage du Bazacle est long, avec 12,5 jours enregistrés entre la première détection en aval (18 mai à 20h27) et le contrôle vidéo à la station de contrôle (30 mai à 09h07). Suite à ce franchissement, le poisson s'est engagé dans le bras inférieur de la Garonne pour rejoindre l'aval de l'ouvrage de la Cavaletade en l'espace de quelques heures. Le saumon est ensuite resté 3,3 jours en aval de l'ouvrage avant de le franchir (le 02 juin à 17h50). Une semaine plus tard, le poisson a été pointé en suivi manuel en aval de l'ouvrage de Carbonne (*PK GAR_361*). Après cette détection, qui est sa dernière localisation connue, le poisson n'a plus été retrouvé en suivi manuel. Aucun enregistrement sur la station fixe de l'ouvrage de Carbonne n'a été constaté et il n'a pas été redétekté dans Toulouse.

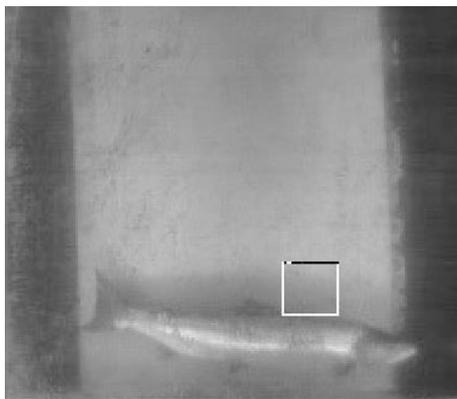


Photo 41 : Contrôle à la station vidéo du Bazacle du saumon 48101_12 le 30 mai à 09h07

- **Poisson n'ayant pas franchi l'aménagement du Bazacle**

Il s'agit du poisson **48101_05**. Cet individu a mis près de 18 jours pour atteindre le Bazacle après son franchissement de l'ouvrage de Golfech (14 avril - 02 mai). Le poisson a été enregistré à proximité de l'entrée de la passe à bassins du Bazacle, du 02 au 09 mai (antennes brin radio), mais sans jamais tenter d'y pénétrer (pas de détection aux antennes RFID). Durant ces 7 jours, le poisson n'a pas été enregistré en permanence. L'individu a montré des moments d'approche dans la zone de l'antenne générale et des moments de replis, en dehors de cette zone. A parti du 20 mai, le poisson sera pointé en aval de la chaussée du Bazacle, côté rive gauche. Il y sera détecté jusqu'à la fin du suivi.

7.4.3 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison au Bazacle

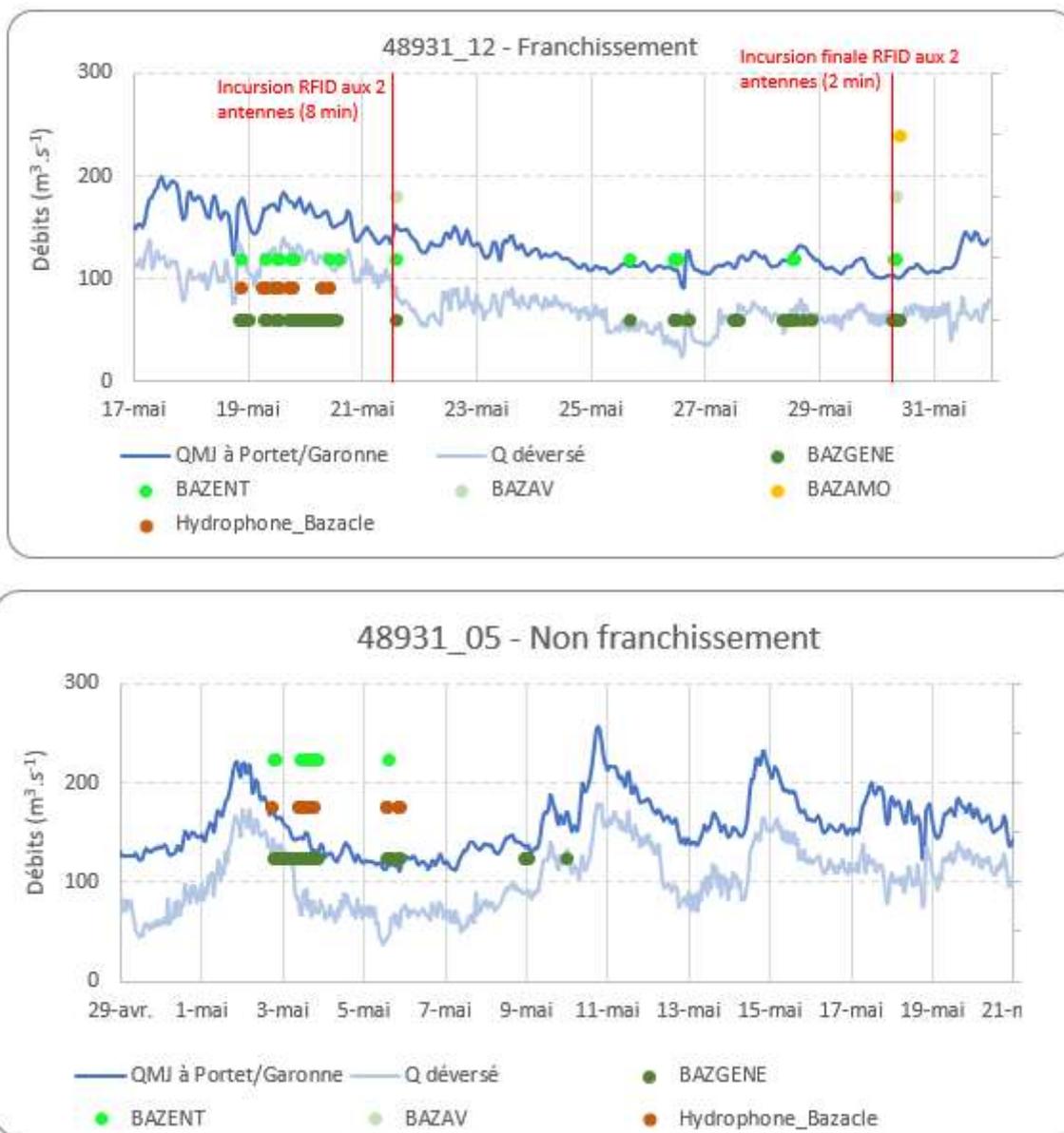
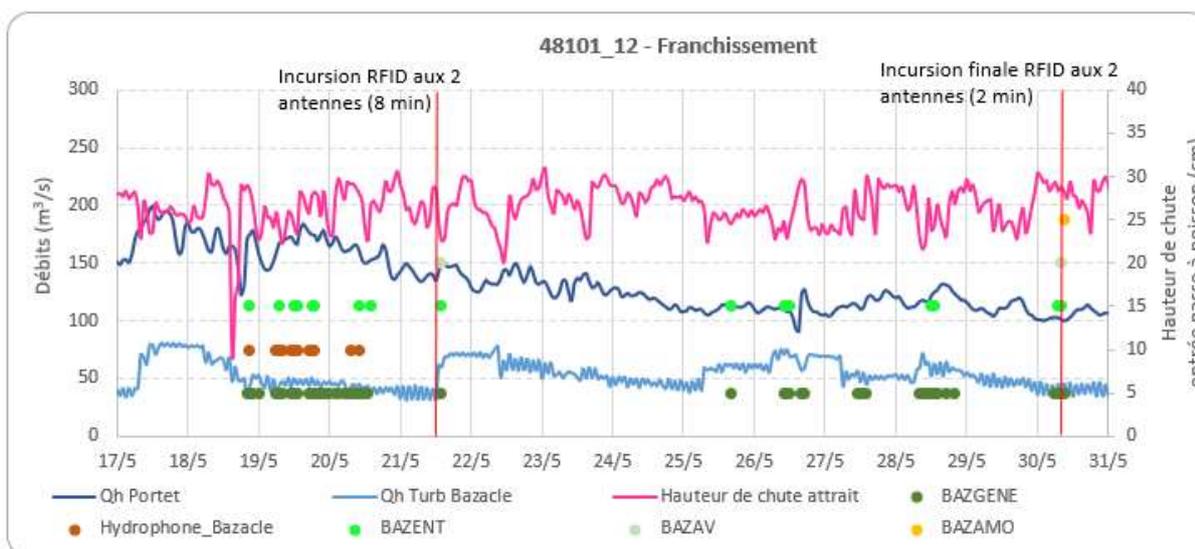


Figure 67 : Détections des deux saumons aux antennes radio et à l'hydrophone du Bazacle en fonction du débit de la Garonne

La Figure 67 propose d'observer les détections quotidiennes aux antennes radio et à l'hydrophone installés au Bazacle en fonction du débit moyen horaire de la Garonne à Portet/Garonne, ainsi que les débits déversés sur la chaussée.

Le poisson **48101_12** est arrivé en aval de l'ouvrage le 18 mai avec un Q_{mj} de $166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Lors de ses premiers jours de présence, avec des débits stables à légèrement en baisse, le poisson s'est approché de l'entrée de la passe (détection à l'antenne radio BAZENT) mais sans tenter d'incursion dans la passe (aucune détection aux antennes RFID). Le 21 mai, soit 3 jours après son arrivée au pied de l'ouvrage, le saumon a effectué une incursion dans l'entrée de la passe. On observe des enregistrements à l'antenne radio BAZAV ainsi que des enregistrements au niveau des 2 antennes RFID. L'incursion a duré moins de 10 minutes peu avant 15h. Le débit de la Garonne était de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à ce moment de la journée. La tentative ne se conclura pas par un franchissement et le poisson ne se représentera pas à la passe avant le 25 mai (soit 4 jours plus tard). On notera ici le franchissement d'un saumon non marqué contrôlé le 22 mai à la station vidéo. Alors que les débits de la Garonne ont continué de baisser pour atteindre $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à la station de Portet/Garonne le 30 mai, le poisson **48101_12** se représente à l'entrée de la passe vers 08h30 et franchi celle-ci lors de sa première tentative (enregistrements aux Antennes BAZAV et BAZAMO ainsi qu'aux antennes RFID). Le poisson sera contrôlé à la vidéo à 09h07 ce jour-là (Photo 41).

Comme expliqué au paragraphe 7.4.2, le poisson **48101_05** a atteint l'aval de l'aménagement du Bazacle mais sans parvenir à le franchir. Cet individu est arrivé sur site une quinzaine de jours avant le poisson **48101_12**. Avant l'arrivée de ce poisson, seul un poisson non marqué avait franchi l'ouvrage du Bazacle le 18 avril. Le poisson **48101_05** a été enregistré sur site du 02 mai au 09 mai, soit pendant 8 jours. Lors de son arrivée, en fin d'un léger coup d'eau, le débit de la Garonne était de $170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Portet/Garonne. Au cours de sa période de présence, il s'est approché de l'entrée de la passe à bassins à plusieurs reprises lors des premiers jours (détection aux antennes radio et sur l'hydrophone devant l'entrée de la passe) mais aucune incursion dans le dispositif n'a été enregistrée (aucune détection aux antennes RFID ou à l'antenne radio BAZAV). Après le 09 mai, le poisson n'est plus enregistré en aval de l'ouvrage de montaison et est finalement pointé de manière plus précise à partir du 20 mai en aval rive gauche de la chaussée. Ce poisson n'a plus effectué de déplacement jusqu'à la fin du suivi.



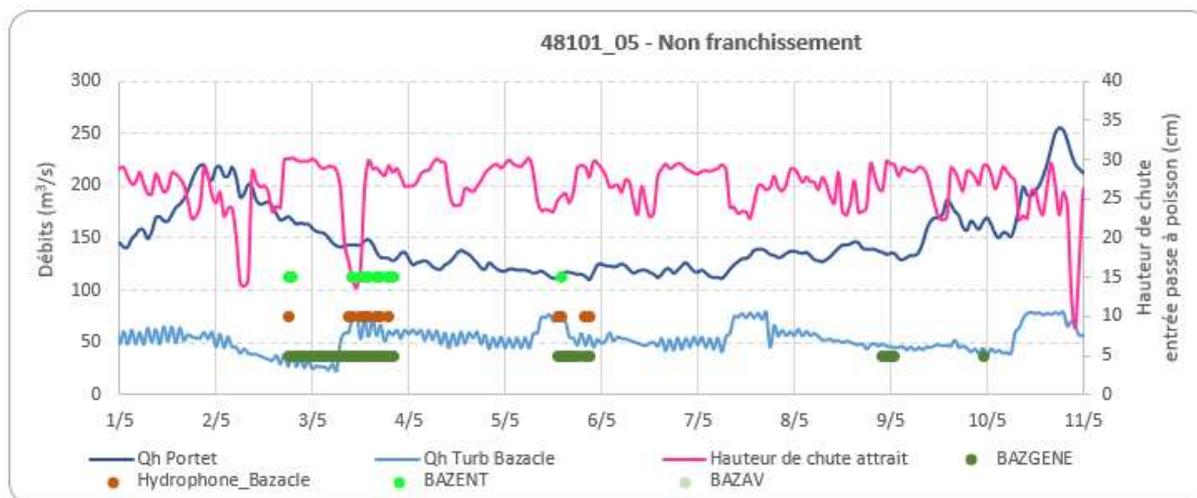


Figure 68 : Détections des deux saumons sur l'ensemble des antennes du Bazacle en fonction du débit de la Garonne et de la hauteur de chute à l'entrée de la passe à poissons

L'entrée de la passe à bassins du Bazacle est équipée d'antennes RFID (voir § 4.6) pour pouvoir analyser plus finement les tentatives d'incursions dans la passe au regard des conditions de débit dans la rivière et des conditions d'écoulement dans la passe. La Figure 68 propose donc d'observer les détections aux stations d'enregistrement du Bazacle en fonction du débit moyen journalier de la Garonne à Portet/Garonne, du débit moyen horaire turbiné à l'usine ainsi que la hauteur de chute enregistrée à l'entrée de la passe à poissons.

Pour le poisson **48101_12**, les variations de hauteurs de chute à l'entrée de la passe oscillent entre 20 et 30 cm pendant toute la période de présence du poisson. Comme cela a été expliqué sur la Figure 67, après quelques jours de présence en aval de l'ouvrage, le poisson s'est présenté à l'entrée de la passe puis y a pénétré le 21 mai (enregistré par les 2 antennes RFID durant 8 minutes), avec une hauteur de chute à l'entrée de la passe de l'ordre de 23 cm. Cette tentative ne se soldera pas par un franchissement de l'ouvrage. Le poisson se représentera à l'entrée de la passe seulement 4 jours plus tard (le 25 mai) sans y pénétrer et donc sans la franchir, avec des hauteurs de chute pourtant correctes (entre 22 et 26 cm). Il faudra attendre le 30 mai pour qu'il la franchisse lors de sa première incursion (durée : 2 min), avec une hauteur de chute de 29 cm pour une débit de la Garonne équivalent à $101 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ce poisson a parcouru la passe en une quarantaine de minutes.

Concernant le poisson **48101_05**, les conditions de débit de la Garonne ainsi que les hauteurs de chute à l'entrée de la passe étaient favorables et semblables à celles observées lors de la présence et du franchissement du saumon **48101_12** (débits de la Garonne compris entre 100 et $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et hauteurs de chute à l'entrée de la passe majoritairement comprises entre 20 et 30 cm). Cependant, malgré plusieurs approches de l'ouvrage enregistrées par les antennes radio, aucun enregistrement RFID n'a été observé pour le saumon **48101_05**. Cela signifie donc que ce poisson s'est approché de l'entrée (détection brin radio BAZENT et hydrophone) mais n'est jamais véritablement rentré dans la passe. Après quelques jours passés au pied de l'ouvrage, le poisson a rapidement rejoint la rive gauche, à l'aval de la chaussée et ne se représentera plus à la passe jusqu'à la fin du suivi.

Ainsi, malgré des hauteurs de chute en entrée de passe correctement régulées et des débits déversés plutôt modérés lors de la présence de ces deux saumons sur site, il semble que l'attractivité de la passe ne soit pas optimale puisqu'ils ont passé plusieurs jours à l'aval proche du dispositif (8 et 12 jours). D'autre part, seul le **48101_12** y a effectivement pénétré à 2 reprises et a fini par la franchir. Pour rappel, sur les 4 saumons marqués ayant franchi le Bazacle en 2020, si les 3 premiers individus avaient mis moins de 48h pour franchir l'ouvrage, le quatrième avait passé plus de 22 jours en aval proche de l'ouvrage avant de le franchir.

7.4.4 Devenir des saumons en amont du Bazacle

Au final, un seul individu a franchi l'aménagement du Bazacle et a poursuivi sa migration vers l'amont (**48101_12**). Son franchissement de l'aménagement du Bazacle a été validé le 30 mai, après 12 jours de présence en aval de l'ouvrage. Ce poisson n'a pas été détecté par les antennes radio installées à l'usine du Ramier. Il a emprunté le bras inférieur de la Garonne dans Toulouse (débit de $105 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ enregistré à Portet avec une répartition de $30 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ dans le bras inférieur et de $75 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ dans le bras supérieur) et a rejoint l'aval de l'ouvrage de la Cavaletade en 2h11min.

Ce poisson est resté bloqué au pied de l'ouvrage de la Cavaletade un peu plus de 3 jours. En effet, il s'est présenté à l'ouvrage tous les jours du le 30 mai au 02 juin, en journée (entre 10 et 12h consécutives) au pied de l'ouvrage et en se repliant les nuits. Au total, ce poisson a été enregistré de manière consécutive pendant plus de 45h au pied de l'usine sur les 79h entre sa première et dernière détection. Pourtant, il n'y avait aucun débit déversé susceptible de perturber l'attractivité de la passe pendant sa présence. En revanche, nous ne connaissons pas la hauteur de chute à l'entrée de la passe qui n'est pas régulée par une vanne mais dont la cote de déversement est réglable au-dessus de la cote 131.78 par insertion de batardeau dans des rainures prévues à cet effet (COURRET et al., 2020). Il a finalement franchi la passe à poissons de l'aménagement de la Cavaletade le 02 juin à 17h50.

Après ce franchissement, le poisson a été pointé en suivi manuel le 09 juin à 16h30 sur l'axe Garonne, à quelques centaines de mètres en aval de l'aménagement de Carbone (*PK GAR_361*), soit 42 km en amont de l'aménagement de la Cavaletade. Le poisson ne s'est pas présenté au pied de l'usine de l'usine de Carbone où était installé une station d'enregistrement radio. Suite à cette détection du 09 juin, le poisson n'a plus été enregistré sur aucune station d'enregistrement, même aval et n'a plus été retrouvé en suivi manuel (que ce soit sur l'axe Garonne ou sur l'axe Ariège).

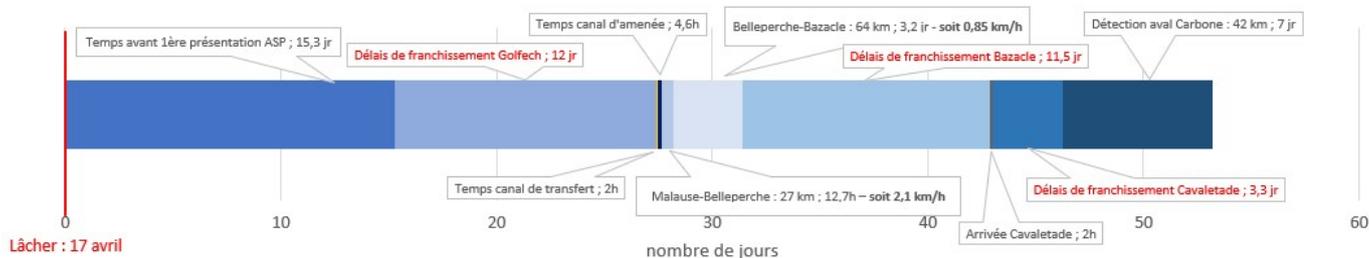


Figure 69 : Chronologie des événements de suivi liés au saumon 48101_12

La Figure 69 présente l'enchaînement des événements correspondant au suivi du poisson **48101_12** entre le moment de son lâcher, le 17 avril, et son dernier pointage connu, le 09 juin, soit 53,2 jours correspondant au parcours entre Saint Sixte (*PK GAR_207,5*) et Carbone (*PK GAR_361*), soit un trajet de 153 km.

Tout d'abord, le poisson a mis 15,3 jours avant de se représenter au pied du barrage de Golfech, auxquels il faut ajouter 12 jours avant le franchissement de l'ascenseur, soit 27,3 jours entre le moment de la remise à l'eau du poisson et son nouveau franchissement de l'ouvrage. La vie en rivière de ce poisson avant sa capture n'est pas connue et on ne connaît pas le temps de blocage lié au premier franchissement.

Les temps de franchissement de l'ouvrage de montaison ainsi que le parcours du canal sont rapides (moins de 6h entre le franchissement de l'ascenseur et la sortie du canal d'aménée). La sortie de la retenue de Malause et le chemin jusqu'à Belleperche a également

été réalisé rapidement (27 km en 12,7h). Le trajet pour rejoindre Toulouse ne semble pas avoir posé de problème particulier au saumon (64 km parcourus en 3,2 jours), ce qui correspond à un trajet entre Malause et Toulouse inférieur à 4 jours.

Une fois arrivé au pied de la chaussée du Bazacle, le poisson **48101_12** est resté bloqué 11,5 jours avant de passer à l'amont de l'aménagement. Le temps de franchissement de la passe à poissons a été de 32 min, et le transfert, via le bras inférieur, jusqu'à la Cavaletade d'à peine 2 heures. Le poisson est ensuite resté bloqué 3,3 jours en aval de l'usine de la Cavaletade avant de passer à l'amont de l'aménagement. Le poisson sera ensuite retrouvé en aval de l'ouvrage de Carbonne, soit 42 km, 7 jours plus tard, mais cette détection étant en suivi manuel, il est possible que le poisson soit arrivé plus tôt sur les lieux.

Si l'on fait la somme de toutes les séquences enregistrées lors de la progression du poisson vers l'amont, on enregistre 53,2 jours entre son lâcher à Saint Sixte (*PK GAR_207,5*) et sa détection à Carbonne (*PK GAR_361*), soit 153 km de linéaire. Sur l'ensemble des séquences, la vitesse de progression est donc en moyenne inférieure à 3 km par jour, ce qui est faible. Les temps de blocage au pied des ouvrages de montaison représentent 26,8 jours (12 jr à Golfech, 11,5 jr au Bazacle et 3,3 jr à la Cavaletade), ce qui représente pour ce poisson 50 % du temps de suivi. Et parmi les 50 % restants (26,4 jr), 15 jours (soit 28 % des 53,2 jr) correspondent au délai de retour en aval du premier ouvrage après le marquage. Ainsi, sur les 53,2 jours mis par le saumon **48101_12** pour parcourir les 153 km, 50% de son temps aura été consacré à franchir les 3 ouvrages hydroélectriques de Golfech, du Bazacle et de la Cavaletade contre seulement 22% de son temps passé en phase de progression active vers l'amont.

7.5 Synthèse globale du suivi des tags prédation

Lors de ce suivi 2021, 24 saumons ont été équipés de marque prédation acoustique et relâchés en aval de l'ascenseur à poissons de Golfech, soit à Saint Sixte (7,7 km en aval de l'ASP) soit à Lamagistère (3,6 km en aval de l'ASP). Parmi ces 24 poissons, 1 individu a été retiré des analyses car marqué avec un tag 2020 qui n'a pas eu une durée de vie suffisamment longue pour pouvoir être interprétée (**48101_00**).

Parmi les 23 poissons suivis, 12 ont terminé le suivi avec le tag prédation déclenché (donc prédatés), soit 52 %. Cependant, ce chiffre est à nuancer selon plusieurs configurations remarquables de suivi :

- Les individus ayant dévalé après leur lâcher et n'ayant pas repris de migration vers l'amont (poissons ne présentant pas un comportement « normal » et sans doute plus « vulnérables »). **10 saumons appartiennent à cette catégorie et 5 se sont fait prédaté (soit 50 %)**. Concernant les 5 autres poissons, l'un n'a pas été retrouvé lors des suivis manuels, un second a dévalé en aval du secteur de suivi et n'a plus été recherché et les 3 autres ont terminé la campagne sur le secteur de suivi avec leur émetteur prédation non déclenché.
- Les individus ayant repris un comportement de migration vers l'amont. **9 individus appartiennent à cette catégorie. Parmi ces poissons, 6 ont terminé le suivi avec le tag prédation déclenché (67 %)**. Au sein de cette catégorie, 3 poissons se sont finalement fait prédaté alors qu'ils redévalaient après s'être présentés au pied de l'aménagement de Golfech (50 %) et 3 poissons se sont fait prédaté alors qu'ils évoluaient à proximité de l'aménagement (canal de fuite ou TCC). Concernant les 3 autres poissons restant, l'un a dévalé en aval du point de lâcher pour ne plus bouger jusqu'à la fin du suivi, un second a dévalé en aval du secteur de suivi et n'a plus été recherché et le dernier a dévalé puis a été perdu (le devenir de son tag prédation en fin de suivi n'est donc pas connu).

- Les individus ayant franchi le complexe Malause/Golfech. Cela concerne **4 individus pour ce suivi 2021. Parmi ces poissons, 1 seul s'est fait prédater (soit 25 %)**, mais après une dévalaison d'environ 90 km et plus de 8 jours de présence en amont direct de l'usine de Golfech. Concernant les 3 autres individus, 2 n'ont plus été retrouvés en suivi sur le secteur Malause-Toulouse. Le dernier poisson est resté bloqué en aval de la chaussée du Bazacle, mais le manque d'accessibilité de la zone n'a pas permis de déterminer l'état de son tag prédation en fin de campagne.

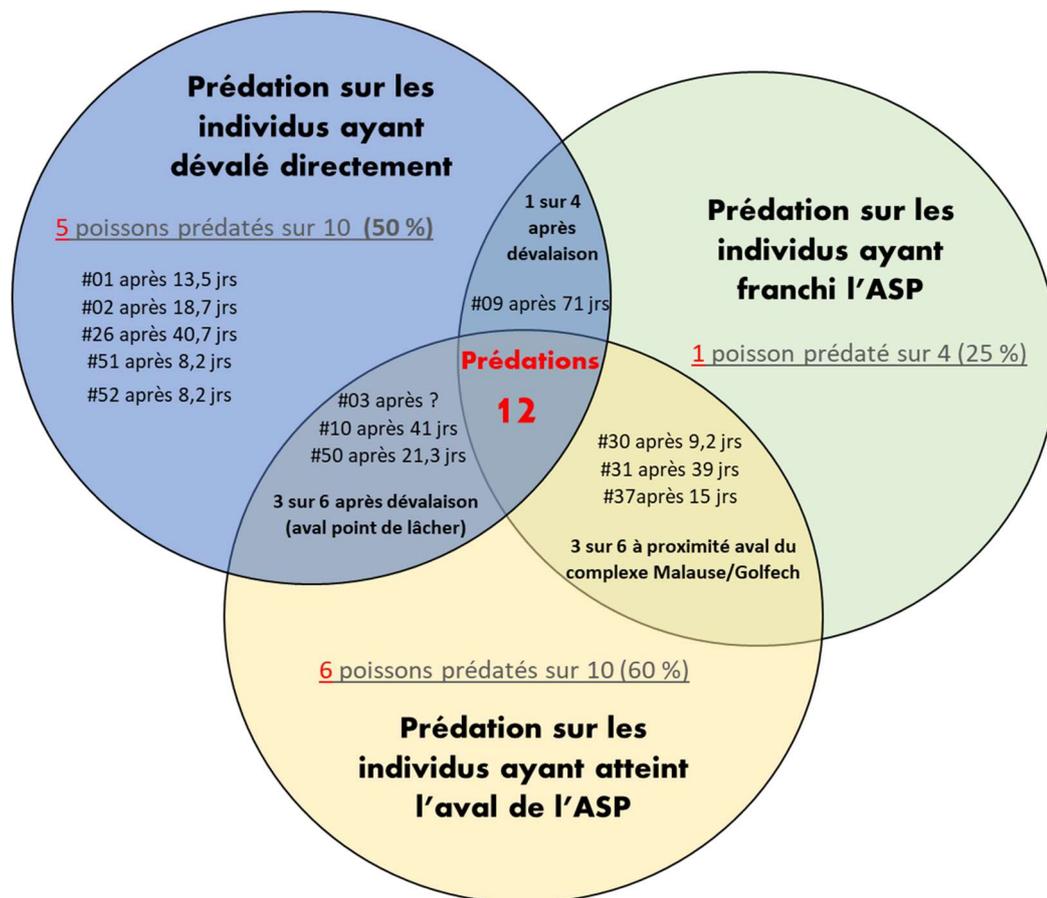


Figure 70 : Schéma bilan du devenir des tags prédation acoustiques

Le schéma présenté en Figure 70 permet de résumer le bilan de suivi des tags prédation. On relèvera notamment que 9 poissons sur 12 (soit 75 %) se sont faits prédater alors qu'ils présentaient un mouvement de dévalaison : 5 en dévalaison directe, 3 après avoir repris leur migration vers Golfech et 1 après avoir franchi l'ouvrage (et presque rejoint Toulouse). Les 25 % restant ont été prédatés à proximité du complexe Malause/Golfech, alors qu'il était encore possible pour eux de franchir l'ouvrage.

8. DISCUSSION / CONCLUSION / PERSPECTIVES

A partir du démarrage des piégeages au mois de mars, 24 saumons ont été capturés pour cette étude et marqués avec des émetteurs radios, acoustiques et RFID (24 PHM). L'ensemble

de ces poissons a été relâché en aval du complexe de Malause/Golfech, au niveau de Saint Sixte (7,5 km en aval de l'ASP) pour les 16 premiers individus et au niveau de Lamagistère (3,5 km en aval de l'ASP) pour les 8 autres individus. Ces 24 individus ont été suivis sur un secteur allant de Couthures-sur-Garonne (PK GAR_113) à Carbonne (PK GAR_363) soit environ 250 km sur le secteur Garonne, auxquels s'ajoutent l'axe Tarn et l'axe Ariège. L'objectif de marquage de 35 saumons n'a donc pas été atteint encore cette année (pour rappel, 18 saumons marqués en 2020).

Ainsi, lors de ce suivi 2021 et contrairement au suivi 2020, en relâchant les poissons marqués en aval de l'usine de Golfech, l'objectif principal qui consiste à évaluer le taux de franchissement au niveau de l'aménagement de Golfech/Malause a pu être abordé. En revanche, avec le faible taux de poissons marqués passés à l'amont de l'aménagement de Golfech, les objectifs secondaires de l'étude, à savoir l'évaluation du taux de transfert entre Malause et le Bazacle et l'évaluation des taux de franchissement des aménagements toulousains n'ont pas pu être évalués de manière robuste.

Nous rappelons également que le présent rapport est le deuxième rapport d'étape concernant la seconde année de suivi d'une étude qui va se poursuivre au moins jusqu'en 2022. Le traitement et les analyses réalisés sont pour le moment principalement descriptifs et les points abordés en discussion seront donc essentiellement techniques. Le but est d'obtenir une quantité et une qualité de données et/ou d'informations suffisantes sur l'ensemble des années d'études pour permettre d'apporter des éléments de réponse aux principaux objectifs de l'étude.

Parmi les 24 saumons marqués et lâchés quelques kilomètres en aval de l'ouvrage de Golfech, 14 (soit 58 %) ont repris une migration vers l'amont et ont été enregistrés dans le canal de fuite de l'usine et /ou dans le tronçon court-circuité de Golfech. En ce qui concerne les 10 poissons n'ayant pas rejoint le canal de fuite, tous ont effectué des mouvements de dévalaison plus ou moins rapides après leur marquage et leur lâcher. La majorité des incursions dans le canal de fuite ont débouché sur une présentation en aval de l'ascenseur puisqu'au sein de ces 14 individus, 13 (soit 93 %) ont été enregistrés à proximité de l'ascenseur et 12 (soit 86 %) ont été détectés au niveau des deux entrées de l'ascenseur. Il apparaît une hétérogénéité dans le nombre d'incursions réalisées par individu à proximité immédiate de l'ascenseur : 54 % des poissons suivis ont réalisé 1 ou 2 incursions et 46 % des individus ont effectué plus de 2 incursions, avec un maximum de 13 incursions. Les durées des incursions sont également très hétérogènes allant d'une simple minute à plus de 1000 minutes, soit plus de 18h de présence dans la zone de réception de l'antenne générale. Les configurations d'usine les plus représentées lors de ces incursions sont soit les 3 groupes en fonctionnement, soit les groupes 1 et 2 en fonctionnement avec le groupe 3 à l'arrêt (93 % des incursions pour ces 2 configurations).

Sur les 12 poissons détectés au niveau des deux entrées de l'ascenseur, seuls 7 (soit 58 %) ont réalisé une ou plusieurs incursions dans le dispositif de franchissement et au final, seuls 4 individus (soit 33 %) ont franchi l'ouvrage et ont poursuivi leur migration vers l'amont. Il semble donc que certains saumons éprouvent des difficultés à trouver les entrées et à pénétrer dans le dispositif. Les hauteurs de chute aux deux entrées ne semblent pas en cause. En revanche, il semble que les conditions de turbinage, et notamment le niveau de sollicitation du groupe 3, dont le jet cisaille notamment celui issu de l'entrée 2, puisse influencer le nombre d'incursions aux entrées de l'ascenseur.

De même, deux poissons se sont engagés dans le tronçon court-circuité après s'être présentés à plusieurs reprises au pied de l'usine et de l'ascenseur. Ces poissons ont terminé le suivi dans le TCC. Un poisson a atteint le pied du barrage de Malause et y a été détecté jusqu'à la fin du suivi (impossible de contrôler la prédation de ce poisson) et le second n'a pas progressé à l'amont du seuil 3 et s'est fait prédater après 1 mois de présence au niveau d'Auvillar. Pour ces deux poissons, les débits transitant dans le tronçon court-circuité étaient faibles (compris entre 20 et 95 m³.s⁻¹) et le franchissement des différents seuils du TCC a été

problématique. En effet, 45 heures se sont écoulées entre la dernière détection canal de fuite et la première détection sous le barrage de Malause pour le premier saumon (15 km de TCC). Pour le second, 92 heures se sont écoulées entre la dernière détection canal de fuite et la première détection à Auvillar à l'amont immédiat du seuil 3 (7 km de TCC) où il stoppera définitivement sa migration.

Parmi les 7 poissons détectés par les antennes RFID, seuls 4 ont validé leur franchissement à l'amont via l'ascenseur. Parmi les 3 poissons qui n'ont pas franchi, 2 présentent des temps de présence significatifs au niveau des antennes radio des deux entrées mais ils n'ont réalisé chacun qu'une seule incursion entraînant une détection à l'antenne RFID de l'entrée 2. Pour ces 2 poissons, les conditions de turbinage étaient identiques au niveau de l'usine avec les 3 groupes en fonctionnement. Le dernier poisson a présenté de nombreuses détections aux deux entrées et aux antennes RFID, réparties sur 4 jours. Après ces échecs, le poisson s'est replié et s'est engagé dans le TCC. Il a franchi l'ensemble des seuils et a terminé sa progression au pied du barrage de Malause où l'émetteur sera détecté jusqu'à la fin du suivi.

En ce qui concerne les 4 saumons ayant emprunté l'ascenseur à poissons, tous (4 sur 4) ont atteint l'amont du canal d'amenée de l'usine de Golfech. A propos de leur devenir entre Golfech et Toulouse, le taux de transfert en 2021 est de 50 % (2 sur 4). On notera également qu'aucun poisson marqué et suivi ne s'est engagé sur l'axe Tarn.

Pour les 2 poissons qui n'ont pas atteint le Bazacle, le premier a atteint le PK GAR_280 (Grenade sur Garonne), soit environ 50 km en amont de Malause et 30 kilomètres en aval de Toulouse, avant d'entamer une dévalaison. Ce poisson sera suivi jusqu'au PK GAR_240 avant de ne plus être retrouvé en suivi. Le second a atteint le PK GAR_303 (Beauzelle), soit 10 km en aval de Toulouse, avant d'entamer également un mouvement de dévalaison. Ce poisson a dévalé jusqu'à Malause où il s'est engagé dans le canal d'amenée de l'usine de Golfech et s'est retrouvé bloqué en amont immédiat de l'usine. Ce poisson s'est fait prédaté après 8 jours de présence à proximité de l'usine.

Au niveau de l'ouvrage du Bazacle, 1 seul individu a finalement franchi l'aménagement sur les 2 poissons marqués arrivés au pied de celui-ci mais il lui aura fallu 12,5 jours pour franchir l'ouvrage, alors qu'il avait parcouru les 91 km de tronçon libre entre Malause et Toulouse en moins de 4 jours. Si l'on considère les saumons depuis Golfech, et non pas seulement ceux arrivés au pied du Bazacle, le taux de franchissement des saumons marqués est de 1 sur 4 soit 25 %, alors qu'il est de 2 sur 29, soit 7 %, pour les poissons non marqués contrôlés aux deux stations vidéo. Ainsi, le taux de franchissement du Bazacle par les poissons non-marqués est inférieur à celui des poissons marqués. Cependant, le faible échantillonnage d'un côté et le faible taux de migration globale enregistré sur le bassin en 2021 (96 individus enregistrés à Golfech) ne permettent pas de conclure sur ces chiffres.

Le poisson qui a franchi l'aménagement du Bazacle a rejoint par la suite l'aménagement de la Cavaletade via le bras inférieur de la Garonne dans Toulouse en moins de 2 heures. Ce poisson a ensuite été bloqué 79 heures avant de franchir la passe de la Cavaletade. Ensuite, il a été détecté en aval de l'ouvrage de Carbonne (dispositif de franchissement non opérationnel en 2021) mais n'a plus été retrouvé ensuite. On notera ici également qu'aucun poisson marqué et suivi lors de cette campagne 2021 ne s'est engagé sur l'axe Ariège. Enfin, le poisson n'ayant pas franchi le Bazacle a stoppé sa migration au pied de la chaussée de Bazacle, en rive gauche. Peu accessible, sa zone de repli final n'a pas pu être échantillonnée à l'aide de la sonde acoustique mobile et il est impossible de dire si ce poisson a été prédaté ou non.

Au niveau du suivi des tags acoustiques, en lien avec la prédation exercée par le silure, 12 prédatations ont été détectées sur l'ensemble du suivi 2021, soit 50 % de l'effectif marqué. Cependant, l'analyse ne comporte que 23 individus et non 24, et il faut prendre en compte la typologie des prédatations afin de les analyser. On retiendra la catégorie des poissons ayant dévalé directement après leur marquage : on y enregistre 5 prédatations sur 10 individus concernés (soit 50 %). Le délai de prédation est compris entre 8 et 41 jours. Il y a ensuite la

catégorie des poissons ayant atteint l'aval de l'ouvrage de Golfech : ici, 6 prédatons ont été recensées sur 9 individus concernés, soit 67 %. Le délai de prédation est compris entre 9 et 41 jours. Enfin, la 3^{ème} catégorie regroupe les poissons ayant franchi l'aménagement de Malause/Golfech : 1 prédation a été enregistrée sur 4 poissons suivis (soit 25 %). Cette prédation est intervenue sur un poisson qui a dévalé de Toulouse jusqu'à Golfech et qui semblait bloqué à l'amont de l'usine en aval du canal d'amenée. Cette prédation a été enregistrée 71 jours après le marquage du poisson. Il est impossible de connaître l'état du poisson au moment de cette prédation.

Lors du suivi 2020, la saison de migration avait été accompagnée de nombreux coups d'eau, avec notamment 4 hausses de débit notables comprises entre 2 et 5 fois le module alors que les débits de base étaient faibles. Ces coups d'eau avaient perturbé la progression vers l'amont des poissons suivis, en engendrant des arrêts de migration irréversibles pour certains ou des dévalaisons pour d'autres. Pour le suivi 2021, un coup d'eau significatif (10 fois le module) a été enregistré avant la saison de migration, sinon les débits observés tout au long de l'étude ont été compris entre 100 et 500 m³.s⁻¹ à Lamagistère, ce qui traduit une hydrologie faible. Malgré ces conditions plutôt favorables, le bilan global de la migration sur le bassin est faible pour l'ensemble des migrateurs, et pas uniquement pour les individus suivis. Pourtant, les gammes de débit rencontrées ont permis un fonctionnement continu de l'ascenseur de Golfech et de la passe à bassins du Bazacle, qui n'ont pas connus de périodes d'arrêts majeures.

9. BIBLIOGRAPHIE

- BARAS E., 2001**, Manuel de Biotélémétrie Aquatique.
- BARAS E. and CHERRY B., 1990**. Seasonal activities of female *Barbus barbus* (L.) in the river Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Ressources*, 3, 283-294.
- BARAS E. et LAGARDERE J.P., 1995**. Fish telemetry in aquaculture : review and perspectives. *Aquaculture International*, 3, 77-102.
- BAU F. et CROZE O., 2008**. Montaison du saumon atlantique en Garonne – Bilan du radiopistage 2002-2006. Rapport GHAAPPE RA.08.02.
- BELAUD A. & LABAT R., 1992**. Etudes ichthyologiques préalables à la conception d'un ascenseur à poissons à Golfech (Garonne, France). *Hydroécologie appliquée*, 4(1), 65-89.
- BOUYSSONNIE W., CARRY L., GRACIA S. et MENCHI O., 2021**. Etude des rythmes de migration au niveau des stations de contrôle de Golfach, du Bazacle et de Carbonne et de la reproduction de la grande Alose sur la Garonne en aval de Golfech – Année 2020.
- BROWN R.S., OLDENBURG E.W., SEABURG A.G., COOK K.V., SKALSKI J.R., EPPARD M. & DETERS K.A., 2013**. Survival of seaward-migrating PIT and acoustic-tagged juvenile Chinook salmon in the Snake and Columbia Rivers: an evaluation of length-specific tagging effects. *Animal Biotelem*, 1:8.
- CARRY L., DELPEYROUX J.M. et BOSCH S., 2015**. Etude des rythmes de migration des espèces amphibiotes et holobiotiques de la Garonne au niveau de la station de contrôle de Golfech au cours de l'année 2014. MI.GA.DO. 22G-15-RT.
- CARRY L., BOUYSSONNIE W., TARDIEU P. et OTALORA B., 2019**. Etude des rythmes de migration au niveau de la station de contrôle de Golfech et de la reproduction de la grande alose sur la Garonne – Année 2018.
- CARRY L., BOUYSSONNIE W., TARDIEU P. et OTALORA B., 2020**. Etude des rythmes de migration au niveau des stations de contrôle de Golfech, du Bazacle et de Carbonne et de la reproduction de la grande alose sur la Garonne en aval de Golfech – Année 2019.
- COURRET D., TOMANOVA S., CARRY L. & BOSCH S., 2020**. Bilan des connaissances sur l'efficacité des dispositifs de franchissements de Golfech, du Bazacle et du Ramier sur la Garonne pour le saumon atlantique et sur le taux de transfert entre Golfech et le Bazacle, 42p.
- 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. *PhD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2008*.
- CROZE O., BAU F. et DELMOULY L., 2008**. Efficiency of a fish lift for returning Atlantic salmon at a large-scale hydroelectric complex in France. *Fisheries Management and Ecology*, 2008, 15, 467–476.
- DARTIGUELONGUE J., 2019**. Contrôle du fonctionnement des passes à poissons installées du Bazacle en 2018. Suivi de l'activité ichthyologique. Rapport SCEA pour MIGADO.
- ECOGEA, 2021**. Etude des conditions de migration du saumon atlantique sur la Garonne. Habitats du tronçon de la Garonne entre la retenue de Malause et l'ouvrage du Bazacle. Rapport ECOGEA R200352.
- FREY A. et LAGARRIGUE T., 2020**. Suivi de la dévalaison de l'anguille argentée au niveau de l'aménagement hydroélectrique E.D.F. de Golfech. Résultats de l'hiver 2019-2020. Rapport ECOGEA pour E.D.F.
- FREY A. et LAGARRIGUE T., 2021**. Suivi de la dévalaison de l'anguille argentée au niveau de l'aménagement hydroélectrique E.D.F. de Golfech. Résultats de l'hiver 2020-2021. Rapport ECOGEA pour E.D.F.
- GOSSET, LARINIER, PORCHER, TRAVADE., 1999**. « Passes à poissons : Expertise, conception des ouvrages de franchissement » - Edition Mise au point, 336 pages.
- LARINIER M. et LAGARRIGUE T., 2018**. Synthèse des Tests d'évaluation des dommages subis par les espèces piscicoles en dévalaison lors de leur transit à travers le groupe turbogénérateur VLH. Rapport d'expertise.
- SAGA, 2000**. Saumon Atlantique Garonne Ariège. La Reconquête du haut bassin de la Garonne.
- SMITH R.J.F., 1985**. The control of fish migration. *Zoophysiology* vol. 17, Springer-Verlag, 243 p.
- TRAVADE F., LARINIER M., TRIVELLATO D. & DARTIGUELONGUE J., 1992**, Conception d'un ascenseur à poissons adapté à l'alose (*Alosa alosa*) sur un grand cours d'eau : l'ascenseur de Golfech sur la Garonne, *Hydroécologie appliquée*, 4(1), 91-119.
- UICN France, MNHN, SFI, ONEMA, 2010**. La Liste rouge des espèces menacées en France. Poissons d'eau douce de France métropolitaine. IUCN France, MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle, SFI : Société française d'ichtyologie, ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Paris.

Suivi par télémétrie de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne entre l'aval de l'aménagement hydroélectrique de Golfech et l'amont de l'aménagement du Bazacle.

WEBBER D., 2009. VEMCO, Télémétrie acoustique. Nouveau guide de l'utilisateur, Amirix Systems INC & AnHydre pour la traduction, 26p.

WINTER J.D., 1983. Underwater biotelemetry. *Fisheries techniques*, American Fisheries Society, Bethesda, 371-395.

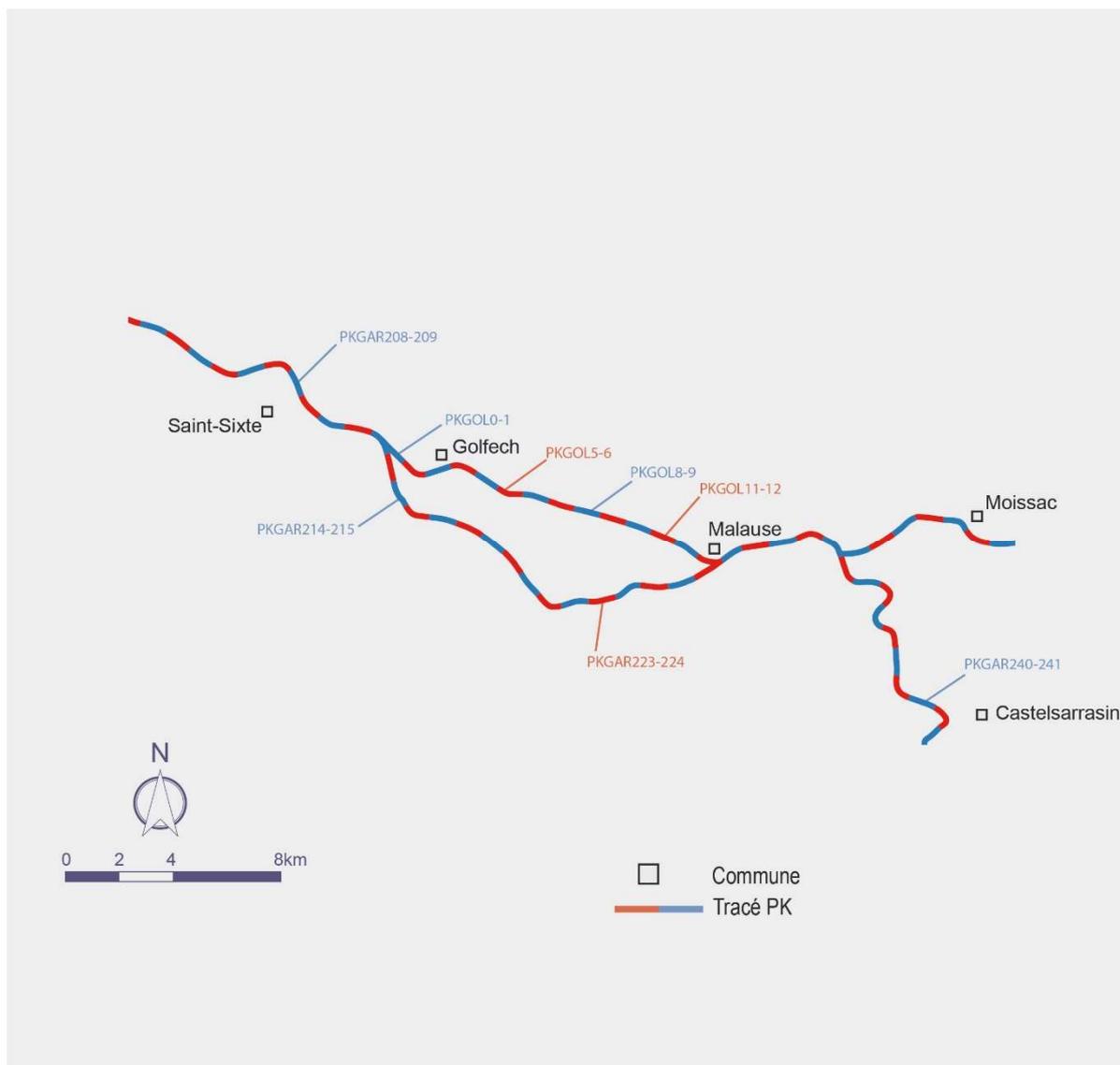
10. ANNEXES

N°	Site	Technologie	Localisation	Antenne	Nom antenne	Modèle	PK	Remarque
1	Aval secteur suivi	Radio	quai Couthures sur Garonne	COUTHURES	-	R4500C	113	Antenne boude
2	St Nicolas de la Balerne	Radio	Jardin particulier RG	ST NICO	-	R4500C	205.8	Antenne boude
3	Lamagistère	Acoustique	Pont routier	Lamagistère	-	A180-1702	211.5	Lest béton
4	Lamagistère	Radio	quai Lamagistère RD	LAMAGISTERE	-	R4500C	211.5	Antenne boude
5	Canal de fuite	Acoustique	Pont accès centrale	Canal fuite RD	-	A180-1702	213.1	Corde pile de pont
6	Canal de fuite	Acoustique	Pont accès centrale	Canal fuite RG	-	A180-1702	213.1	Corde pile de pont
7	Aval Asp	Radio	Aval ASP	Générale aval	GOLGENE	R4500C	215	Antenne boude
8	Aval Asp	Acoustique	ASP	E1	-	A180-1702	215.2	Lest
9	Aval Asp	Acoustique	ASP	E2	-	A180-1702	215.2	Lest
10	Aval Asp	Radio	Aval ASP	Entrée 1 ASP	GOLE1	R4500C	215.2	Brin
11	Aval Asp	Radio	Aval ASP	Entrée 2 ASP	GOLE2	R4500C	215.2	Brin
12	Aval Asp	RFID	Aval ASP	Entrée 1 ASP	GO10000	Damona 1.0 (maj USB)	215.2	Cadre bois
13	Aval Asp	RFID	Aval ASP	Entrée 2 ASP	GO20000	Damona 1.0 (maj USB)	215.2	Cadre bois
14	Aval Asp	RFID	Aval ASP	Interséction E1- E2	GO12000	Damona 1.0 (maj USB)	215.2	Cadre bois
15	Aval Asp	Radio	Aval ASP	Cuve Asp	GOLASP	R4500C	215.25	Brin
16	Aval Asp	RFID	Canal transfert	Amont piège	GO40000	Damona 2.0 (usb)	215.5	Cadre bois
17	Aval Asp	RFID	Canal transfert	Aval sortie canal transfert	GO50000	Damona 2.0 (usb)	215.5	Cadre bois
18	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	Pont canal RG	-	A180-1702	215.6	Lest
19	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	Pont canal RD	-	A180-1702	215.6	Lest
20	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RDD	-	A180-1702	217.6	Lest béton
21	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RD	-	A180-1702	217.6	Lest béton
22	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RG	-	A180-1702	217.6	Lest béton
23	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RGG	-	A180-1702	217.6	Lest béton
24	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	pont Valence RD	-	A180-1702	218.9	Lest
25	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	pont Valence RG	-	A180-1702	218.9	Lest
26	TCC	Acoustique	Pont routier	Auvillar RD	-	A180-1702	220.4	Lest béton
27	TCC	Acoustique	Pont routier	Auvillar RG	-	A180-1702	220.4	Lest béton
28	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	pont Pommevic RD	-	A180-1702	221.9	Lest
29	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	pont Pommevic RG	-	A180-1702	221.9	Lest
30	Canal d'amenée	Acoustique	Pont routier	pont Malause	-	A180-1702	225.5	Lest
31	Canal de fuite	Radio	Barrage RD	aval Barrage RD	MALBARRD	R4500C	227.7	Antenne boude
32	Canal de fuite	Radio	Barrage RG	aval Barrage RG	MALBARRG	R4500C	227.7	Antenne boude
33	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	Malause RD	-	A180-1702	228.5	Tube PVC 4m
34	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	Malause RG	-	A180-1702	228.5	Tube PVC 4m
35	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	St Nicolas de la Grave RD	-	A180-1702	232.1	Lest béton
36	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	St Nicolas de la Grave RG	-	A180-1702	232.1	Lest béton
37	Saint Livrade	Radio	Usine Sainte Livrade	Aval Sainte Livrade	STLIV	R4500C	-	Antenne boude
38	Garonne amont	Radio	Station pompage	TRESCASSES	-	R4500C	241.5	Antenne boude
39	Garonne amont	Radio	Abbaye de Belleperche	BELLEPERCHE	-	R4500C	249.3	Antenne boude
40	Garonne amont	Radio	Aval Toulouse	Restaurant Pois Gourmand	POIDSGOUR	R4500C	311.5	Antenne boude
41	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	Générale aval	BAZGENE	R4500C	313.4	Antenne boude
42	Bazacle	Acoustique	Passé à poissons	Aval PAP	-	A180-1702	313.6	Lest
43	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	entrée extérieur	BAZAV	R4500C	313.6	Brin
44	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	aval bassins	BAZENT	R4500C	313.6	Brin
45	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	amont vitre	BAZAMO	R4500C	313.6	Brin
46	Bazacle	RFID	Aval Bazacle	Entrée PAP	BAZ10000	Damona 2.0 (usb)	313.6	Cadre bois
47	Bazacle	RFID	Aval Bazacle	1ère fente	BAZ20000	Damona 2.0 (usb)	313.6	Cadre bois
48	Ramier	Radio	Passé à poissons	Aval passé à poissons	RAMAVAL	R4500C	315.3	Antenne boude
49	Ramier	Radio	Passé à poissons	Dernier bassin PAP	RAMAMO	R4500C	315.3	Brin
50	IMFT Toulouse	Radio	Terrasse IMFT	Bras supérieur Garonne	IMFT	R4500C	315.6	Antenne boude
51	Cavaletade	Radio	Passé à poissons	Aval passé à poissons	CAVAVAL	R4500C	319.5	Antenne boude
52	Cavaletade	Radio	Passé à poissons	Dernier bassin PAP	CAVAMONT	R4500C	319.6	Brin
53	Carbonne	Radio	Usine	Aval Usine	CARB	R4500C	363.5	Antenne boude

Annexe A : Descriptif global des stations d'enregistrement (Radio/Acoustique/RFID)

Courantométrie théorique en m/s																						
	Q(m ³ /s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
De Malause à Pommevic	v(m/s) =	0	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32	0.35	0.37	0.40	0.42	0.45	0.47	0.50
De Pommevic à Valence	v(m/s) =	0	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28	0.30
De Valence à Golfech	v(m/s) =	0	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24	0.26	0.27
	Q(m ³ /s)	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	
De Malause à Pommevic	v(m/s) =	0.52	0.55	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	0.95	0.97	1.00	
De Pommevic à Valence	v(m/s) =	0.31	0.33	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.54	0.55	0.57	0.58	0.60	
De Valence à Golfech	v(m/s) =	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.52	0.53	0.54	
	Q(m ³ /s)	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	
De Malause à Pommevic	v(m/s) =	1.02	1.05	1.07	1.10	1.12	1.15	1.17	1.20	1.22	1.25	1.27	1.30	1.32	1.35	1.37	1.40	1.42	1.45	1.47	1.50	
De Pommevic à Valence	v(m/s) =	0.61	0.63	0.64	0.66	0.67	0.69	0.70	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	
De Valence à Golfech	v(m/s) =	0.56	0.57	0.59	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.67	0.68	0.69	0.71	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82	
	Q(m ³ /s)	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	
De Malause à Pommevic	v(m/s) =	1.52	1.55	1.57	1.60	1.62	1.65	1.67	1.70	1.72	1.75	1.77	1.80	1.82	1.85	1.87	1.90	1.92	1.95	1.97	2.00	
De Pommevic à Valence	v(m/s) =	0.91	0.93	0.94	0.96	0.97	0.99	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07	1.09	1.10	1.12	1.13	1.15	1.16	1.18	1.19	
De Valence à Golfech	v(m/s) =	0.83	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.93	0.94	0.95	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.03	1.05	1.06	1.07	1.09	
	Q(m ³ /s)	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	
De Malause à Pommevic	v(m/s) =	2.02	2.04	2.07	2.09	2.12	2.14	2.17	2.19	2.22	2.24	2.27	2.29	2.32	2.34	2.37	2.39	2.42	2.44	2.47	2.49	
De Pommevic à Valence	v(m/s) =	1.21	1.22	1.24	1.25	1.27	1.28	1.30	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.39	1.40	1.42	1.43	1.45	1.46	1.48	1.49	
De Valence à Golfech	v(m/s) =	1.10	1.12	1.13	1.14	1.16	1.17	1.18	1.20	1.21	1.22	1.24	1.25	1.27	1.28	1.29	1.31	1.32	1.33	1.35	1.36	

Annexe B : Abaque des vitesses d'écoulement



Annexe C : Zoom sur l'appellation des PK au niveau du secteur de Golfech (PK_GAR et PK_GOL)

ETUDE DES CONDITIONS DE MIGRATION DU SAUMON ATLANTIQUE SUR LA GARONNE

Habitats du tronçon de la Garonne entre la retenue de
Malause et l'ouvrage du Bazacle



La Garonne à Beauzelle (SMEAG)

Rapport ECOGEA R200352

Mise à jour 2021 – Version 1

ECOGEA
ETUDES ET CONSEILS
EN GESTION DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE

352, avenue Roger Tissandié
31 600 MURET
Tél : 05 62 20 98 24
ecogea@wanadoo.fr
ecogea.pagespro-orange.fr

Octobre 2021

TABLE DES MATIERES

1. Contexte de l'étude	6
2. Objectifs de l'Etude	7
3. Présentation du secteur d'étude – bilan des connaissances	8
3.1. Le secteur d'étude	8
3.2. Hydrologie	8
3.2.1. <i>Caractéristiques générales</i>	8
3.2.2. <i>Hydrologie de la période de migration</i>	10
3.2.3. <i>Hydrologie de la période d'arrêt migratoire</i>	12
3.2.4. <i>Analyse des crues</i>	14
3.3. Thermie	17
4. Morphologie	21
4.1. Méthodologie	21
4.1.1. <i>Les habitats de repos</i>	21
4.1.2. <i>Les secteurs potentiellement difficiles pour le franchissement</i>	23
4.1.3. <i>Évolution morphologique du tronçon Malause-Bazacle au cours des dernières décennies</i>	25
4.2. Résultats	25
4.2.1. <i>Description des faciès d'écoulement</i>	25
4.2.2. <i>Les habitats de repos/refuge</i>	26
4.2.3. <i>Les secteur potentiellement compliqué au franchissement</i>	31
4.2.4. <i>Évolution morphologique du tronçon Malause-Bazacle ces dernières décennies</i>	32
5. Discussion - Conclusion	38
6. Bibliographie	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation du bassin versant de la zone d'étude.	9
Figure 2 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Portet-sur-Garonne pour la période 1910-2020 (en haut) et Verdun-sur-Garonne (en bas) pour la période 1972-2020 (Banque Hydro).....	10
Figure 3 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne et Verdun-sur-Garonne durant la saison de migration (mars-juin) (Banque Hydro).	11
Figure 4 : Débits classés de la Garonne à Portet/Garonne durant la saison de migration (mars-juin) par période de 20 ans (Banque Hydro).....	12
Figure 5 : Evolution des débits médians journaliers de début mai à fin juillet par période de 20 ans à Portet-sur-Garonne.....	13
Figure 6 : Courbes de tarissement modélisées des débits médians journaliers de mi-mai à fin juillet par période de 20 ans à Portet-sur-Garonne.	13
Figure 7 : Position des stations hydrométriques retenues associés aux différents bassins versants (<150 m ; 150-400 m ; >400m).....	14
Figure 8 : Contributions moyennes en volume d'eau des différents bassins versants de la Garonne à Verdun-sur-Garonne comparativement à la part de surface de ces différents bassins.	15
Figures 9 et 10 : Evolution des contributions moyennes en volume d'eau des bassins versants >400 m et 150-400 m aux crues de la Garonne à Verdun pour les mois de mars et avril.	16
Figures 11 et 12 : Evolution des contributions moyennes en volume d'eau des bassins versants >400 m et 150-400 m aux crues de la Garonne à Verdun pour les mois de mai et juin.....	17
Figure 13 : Température moyenne mensuelle de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne pour la période 2007-2020 (Données MIGADO).	18
Figure 14 : Température moyenne journalière de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne et écart entre les deux stations pour la période 2007-2020 (Données MIGADO).	19
Figure 15 : Températures classées de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne du 15 mars au 15 juillet pour la période 2007-2020. La zone verte délimite la plage thermique favorable à la migration [6-20]°C, la zone jaune la plage thermique avec des déplacements limités, la zone orange l'apparition des mortalités (25°C) et la zone rouge les mortalités importantes (28°C). ...	20
Figure 16 : Faciès d'écoulement de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62.	25
Figure 17 : Localisation des faciès profonds sur la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62.	26
Figure 18 : Distribution des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur profondeur moyenne et leur profondeur maximale.	27
Figure 19 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité.	27
Figure 20 : Localisation des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 en fonction de la présence de gros abris hydrauliques.....	28
Figure 21 : Localisation des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 en fonction de la qualité de leur substrat.	29

Figure 22 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité en tant que zone de repos/refuge.	30
Figure 22 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité en tant que zone de repos/refuge.	31
Figure 23 : Localisation et distribution des faciès courant sur substrat dominant de dalle de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62.....	32
Figure 24 : Évolution verticale du fond du lit entre les années 1960 et 1980 pour différents points de la Garonne (Steiger et al., 2000) et pourcentage d'affleurement molassique par rapport à la superficie du chenal par tronçon de 1 km (Delmouly et al., 2007) (source : Jantzy et al., 2017).	33
Figure 25 : Méthode de calcul des indices géomorphométriques (selon David, 2016).	34
Figure 26 : Evolution de la sinuosité, de la présence de chenaux secondaires, de la largeur de la bande fluviale et des surfaces des îles et des bancs de la Garonne entre 1868 et les années 2000 (David, 2016).....	35
Figure 27 : Proportion de l'effectif de saumon ayant effectué un arrêt ou une dévalaison par tronçon de 5 km entre le pont de l'A62 et le Bazacle.	36
Figure 28 : Evolution de la bande active de la Garonne entre 1947 et 2018 entre le pont de l'A62 et le pont de Belleperche.	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de l'hydrologie de la Garonne au cours de la période migratoire des saumons (mars-juin).	11
Tableau 2 : Caractéristiques de l'hydrologie de la Garonne à Portet-sur-Garonne au cours de la période migratoire des saumons (mars-juin) par période de 20 ans.	11
Tableau 3 : Caractéristiques de l'hydrologie de la Garonne à Verdun-sur-Garonne au cours de la période migratoire des saumons (mars-juin) par période de 20 ans.	12
Tableau 4 : Caractéristiques des 62 crues identifiées à Verdun-sur-Garonne de 1985 à 2019.....	15
Tableau 5 : Proportion des jours avec donnée de température de l'eau de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne pour la période 2007-2020.	18
Tableau 6 : Taux d'évolution des variables mesurées/calculées à l'échelle du linéaire (David, 2016).	35
Tableau 7 : Evolution du débit unitaire de la partie aval du tronçon de la Garonne entre le pont de l'A62 et le Bazacle entre 1947 et 2018.	37
Tableau 8 : Evolution du débit unitaire de la partie amont du tronçon de la Garonne entre le pont de l'A62 et le Bazacle entre 1947 et 2018.	37

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le saumon atlantique a complètement disparu du bassin de la Garonne avec la construction de l'aménagement de Golfech-Malause en 1971. En 1975, le lancement du plan saumon au niveau national active des objectifs de restauration des populations. La construction d'un ascenseur au niveau de l'usine de Golfech en 1986 ouvre partiellement la voie pour les populations en migration vers l'amont de la Garonne. Des actions de réintroduction du saumon atlantique vont alors débiter, et le retour de l'espèce sur le bassin a lieu au début des années 1990. Des opérations de suivi de la population se mettent parallèlement en place, avec notamment la construction de stations de contrôle à différents points du bassin.

La comparaison des effectifs de saumon contrôlés à Golfech et au Bazacle depuis 1993 met en évidence qu'une partie seulement des individus qui ont franchi l'ouvrage de Golfech franchissent en suivant l'ouvrage du Bazacle (13% à 53% selon les années pour 31% en moyenne). Pour autant le tronçon entre ces deux ouvrages, distants d'environ 100 km, ne comporte aucun obstacle à l'écoulement (Courret et al., 2020). Si l'on compare cette situation avec celle d'autres bassins versants français (bassin Creuse/Gartempe entre Descartes et Chateauponsac, l'Allier entre Vichy et Langeac), le taux de transfert (pondéré par la distance à parcourir et la somme des chutes des ouvrages) de ce tronçon de la Garonne est plus faible que ceux de ces deux bassins.

Afin de tenter d'expliquer ce phénomène, le comportement de saumons a été étudié par radiopistage entre 2002 et 2006 (Croze et al., 2004 ; Bau et al., 2005, 2006, 2007; Delmouly et al., 2007). Pour les individus de plusieurs hivers de mer (actuellement majoritaires sur la Garonne), les pertes se produisent pour 31.3% dans la retenue de Golfech-Malause, pour 22.9% par des blocages au pied de l'ouvrage du Bazacle et pour 22% par des arrêts de la migration le long du tronçon reliant l'amont de la retenue de Malause et le pied du Bazacle. Dans ce tronçon, différents comportements de poissons ont été observés :

- arrêts prolongés ou définitifs de la migration,
- dévalaisons.

Une nouvelle campagne de radiopistage a été effectuée en 2020 (ECOGEA, à paraître). Des comportements similaires aux radiopistages précédents ont été observés. Sur les 16 poissons qui ont atteint la retenue de Malause, 10 ont accédé avec certitude à l'amont de la retenue, 7 sont parvenus au Bazacle et 4 l'ont franchi (taux de transfert = 25%). Parmi les 3 saumons qui n'ont pas atteint le Bazacle, 1 a dévalé, 1 s'est arrêté définitivement et un a été prédaté par un silure.

Plusieurs causes sont suspectées de générer les comportements d'arrêt « anormaux » et de dévalaison :

- l'hydrologie, avec notamment des modifications des débits printaniers et de l'étiage (date d'apparition, durée), qui pourraient influencer la migration,
- la qualité des eaux, avec la présence de micropolluant, qui peut modifier le comportement des poissons,
- la morphologie du tronçon, qui joue sur les caractéristiques des habitats du tronçon qui pourraient être défavorables à la migration (disponibilité et qualité des zones de repos et/ou secteurs difficilement franchissables)

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs de l'étude, sur le tronçon Malause-Bazacle, sont de caractériser les conditions hydromorphologiques de migration du saumon en s'appuyant sur l'évaluation de la qualité des habitats de repos et celle des conditions hydrauliques de franchissement. Pour cela, plusieurs objectifs successifs ont été identifiés :

- caractériser l'état morphologique à l'échelle de tronçons sur la base de mesures et d'observations de terrain,
- pré-identifier les tronçons pouvant présenter des caractéristiques limitantes vis-à-vis de la migration du saumon,
- préparer une éventuelle approche de caractérisation des conditions d'habitat de migration du saumon à l'échelle stationnelle.

3. PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE – BILAN DES CONNAISSANCES

3.1. LE SECTEUR D'ÉTUDE

Le secteur d'étude appartient au tronçon du fleuve appelé « moyenne Garonne Toulousaine » qui s'étend de Toulouse à la confluence du Tarn.

Le tronçon concerné par la présente étude s'étend de l'ouvrage du Bazacle au pont de l'A62 (qui marque la fin du remous de la retenue de Malause), soit sur un linéaire de 74 km, où la Garonne traverse les départements de la Haute-Garonne et du Tarn et Garonne.

Le bassin versant de l'entrée du tronçon étudié est d'environ 10 000 km². Le bassin versant du tronçon est lui d'environ 5000 km², dans lequel la Garonne reçoit successivement les eaux du Touch en rive gauche, puis celles de l'Hers Mort en rive droite et enfin de la Save puis de la Gimone en rive gauche.

La partie amont du bassin versant est principalement occupée par les territoires artificialisés (8.8 % de la surface du BV) de l'agglomération Toulousaine et de sa banlieue. Le reste du bassin est principalement occupé par des surfaces agricoles (83.2 % du BV) et des forêts (7.3 %).

3.2. HYDROLOGIE

3.2.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Les caractéristiques générales de l'hydrologie de la Garonne dans la zone d'étude sont issues des données de deux stations hydrométriques :

- Portet-sur-Garonne (O1900010) [1910-2021],
- Verdun-sur-Garonne (O2620010) [1972-2021].

Le régime hydrologique de la moyenne Garonne est de type pluvio-nival. Les plus basses eaux sont rencontrées en août et septembre, puis le débit augmente durant l'automne avec l'arrivée des précipitations, se stabilise en hiver avant de devenir maximum au printemps avec la fonte des neiges. Sur la totalité de la période (111 ans), le module de la station de Portet-sur-Garonne est de 187 m³/s (18 l/s/km²). Sur la période commune des deux stations, les modules sont respectivement de 174 et 191 m³/s à Portet-sur-Garonne et Verdun-sur-Garonne.

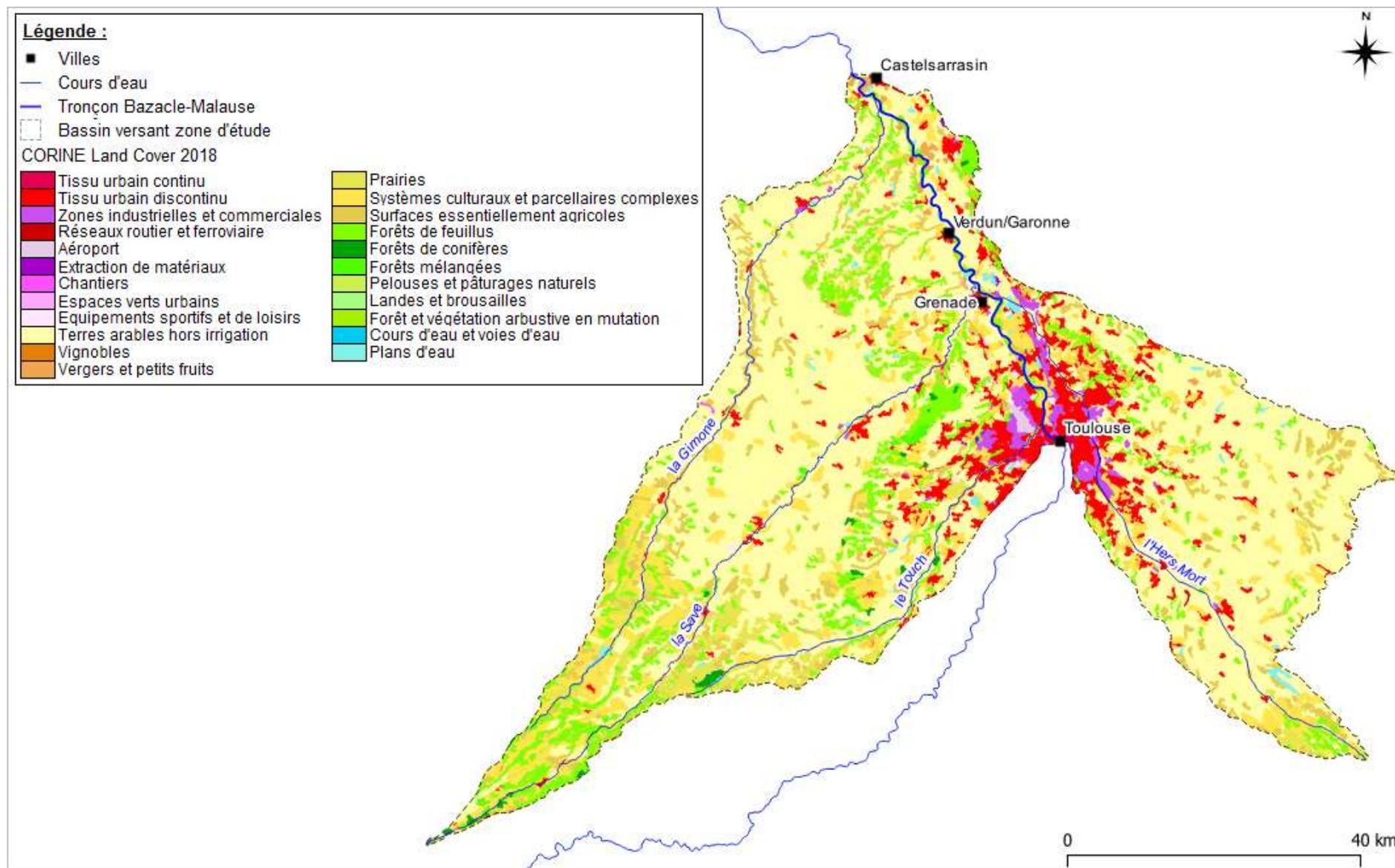


Figure 1 : Présentation du bassin versant de la zone d'étude.

Les crues peuvent être importantes avec débit moyen journalier estimé de 1 500 m³/s et 1 800 m³/s (8 et 9 fois le module) pour une crue de temps de retour 2 ans et de 2 200 m³/s et 2 680 m³/s (12 et 14 fois le module) de temps de retour 5 ans. Durant la période estivale, les étiages de la Garonne restent relativement soutenus avec, respectivement, un Q_{MNA2} de 62 et 56 m³/s (33 et 29% du module) et un Q_{MNA5} de 48 et 44 m³/s (23% et 26% du module) à Portet-sur-Garonne et Verdun-sur-Garonne. Sur la période 1972-2021, les Q_{MNA2} et Q_{MNA5} sont quasiment identiques entre les 2 stations (57 et 56 m³/s; 47 et 44 m³/s). Cela signifie, qu'en étiage, le bassin versant intermédiaire de 3 750 km² entre les 2 stations ne produit aucun débit. Cette situation est liée à l'importance des prélèvements sur le tronçon.

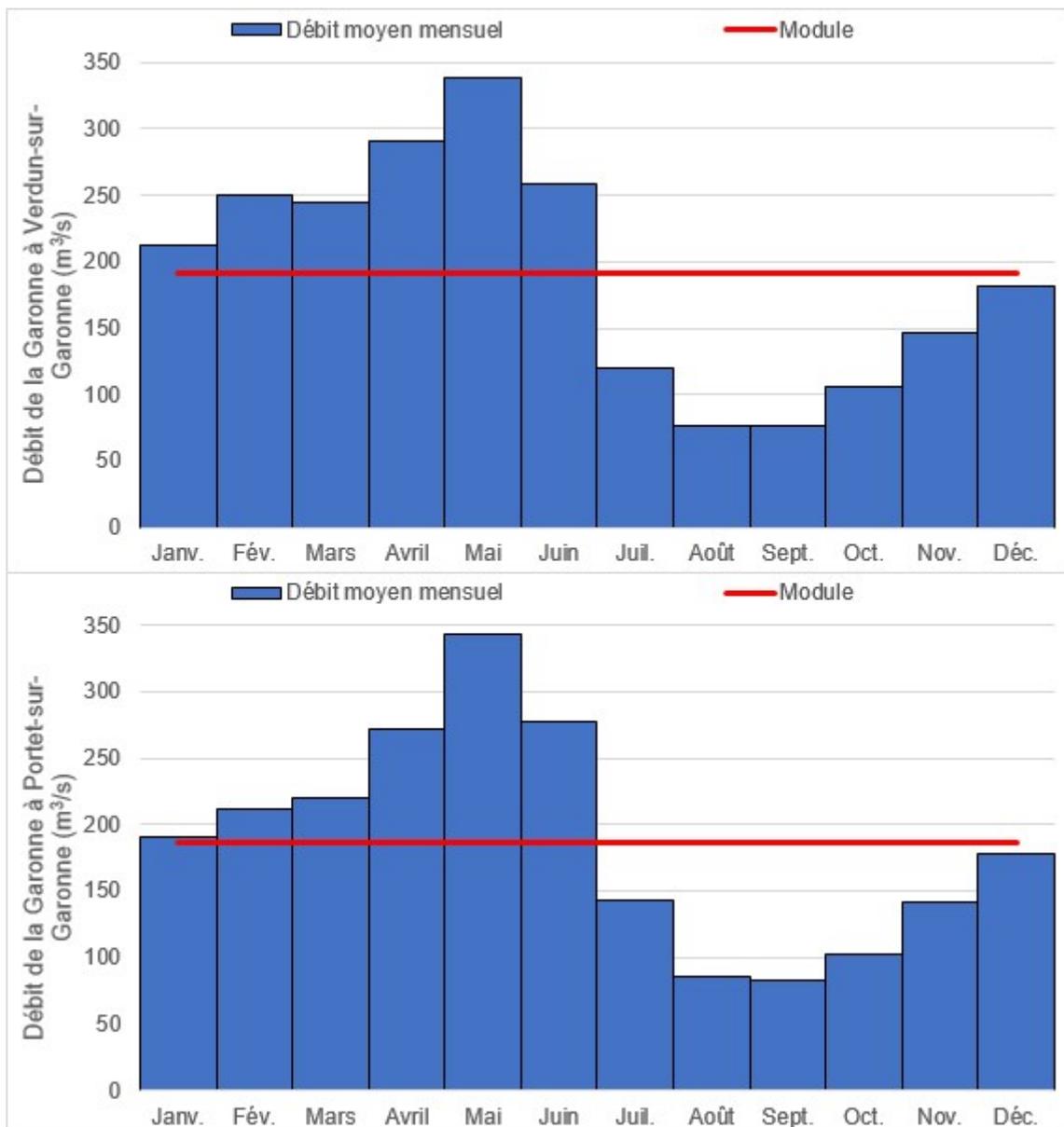


Figure 2 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Portet-sur-Garonne pour la période 1910-2020 (en haut) et Verdun-sur-Garonne (en bas) pour la période 1972-2020 (Banque Hydro).

3.2.2. HYDROLOGIE DE LA PÉRIODE DE MIGRATION

L'hydrologie de la période de migration printanière des saumons est relativement soutenue avec des débits moyens de l'ordre de 1.6 à 1.4 le module et des valeurs médianes de 1.4 et 1.3 le module. Les 10% des années les plus sèches présentent des hydrologies de l'ordre de 70% du module.

L'hydrologie de la période de migration est variable selon les périodes. Elle a été plus soutenue à Portet-sur-Garonne pendant les périodes 1910-1929 et 1950-1969 avec des débits moyens et médians supérieurs en moyenne de 20 à 25% par rapport aux autres périodes.

Tableau 1 : Caractéristiques de l'hydrologie de la Garonne au cours de la période migratoire des saumons (mars-juin).

Caractéristiques hydrologiques	La Garonne à Portet-sur-Garonne	La Garonne à Verdun-sur-Garonne
Qmoyen (m ³ /s)	278	284
Qmédian (m ³ /s)	239	245
Q ₁₀ (m ³ /s)	128	130
Q ₂₅ (m ³ /s)	171	176
Q ₇₅ (m ³ /s)	334	341
Q ₉₀ (m ³ /s)	460	455

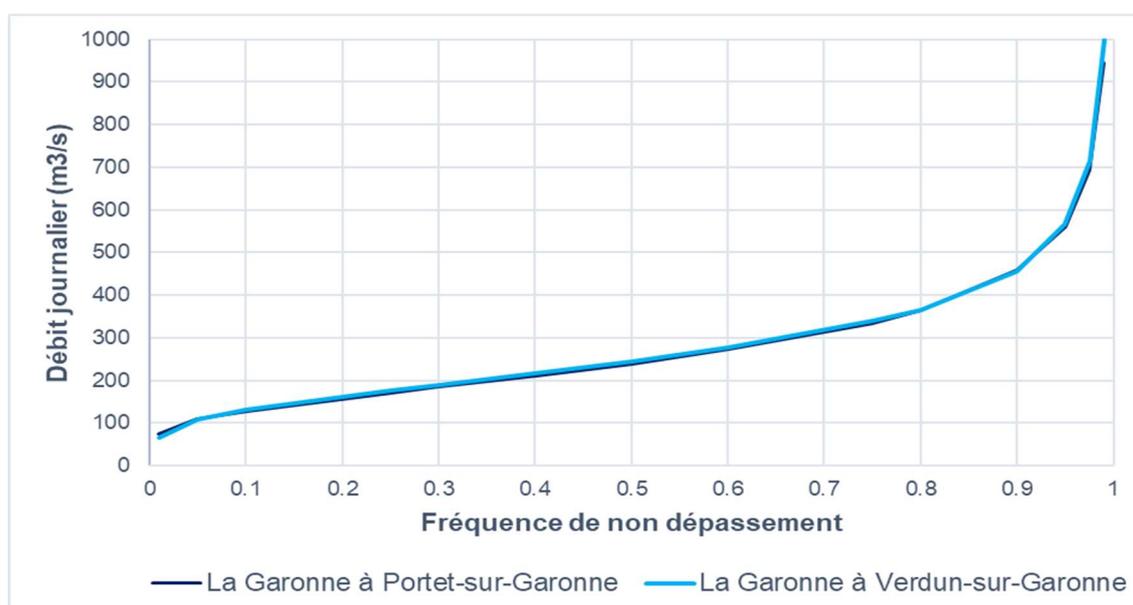


Figure 3 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne et Verdun-sur-Garonne durant la saison de migration (mars-juin) (Banque Hydro).

Tableau 2 : Caractéristiques de l'hydrologie de la Garonne à Portet-sur-Garonne au cours de la période migratoire des saumons (mars-juin) par période de 20 ans.

La Garonne à Portet-sur-Garonne	1910-1929	1930-1949	1950-1969	1970-1989	1990-2009	2010-2020
Qmoyen (m ³ /s)	339	267	255	302	240	255
Qmédian (m ³ /s)	291	227	225	268	212	224
Q ₁₀ (m ³ /s)	134	124	133	154	114	119
Q ₂₅ (m ³ /s)	201	162	168	199	158	152
Q ₇₅ (m ³ /s)	416	323	292	366	290	319
Q ₉₀ (m ³ /s)	581	436	394	475	381	428

Tableau 3 : Caractéristiques de l'hydrologie de la Garonne à Verdun-sur-Garonne au cours de la période migratoire des saumons (mars-juin) par période de 20 ans.

La Garonne à Verdun-sur-Garonne	1970-1989	1990-2009	2010-2020
Qmoyen (m ³ /s)	317	258	279
Qmédian (m ³ /s)	281	223	231
Q ₁₀ (m ³ /s)	159	111	131
Q ₂₅ (m ³ /s)	204	164	164
Q ₇₅ (m ³ /s)	370	307	339
Q ₉₀ (m ³ /s)	488	417	459

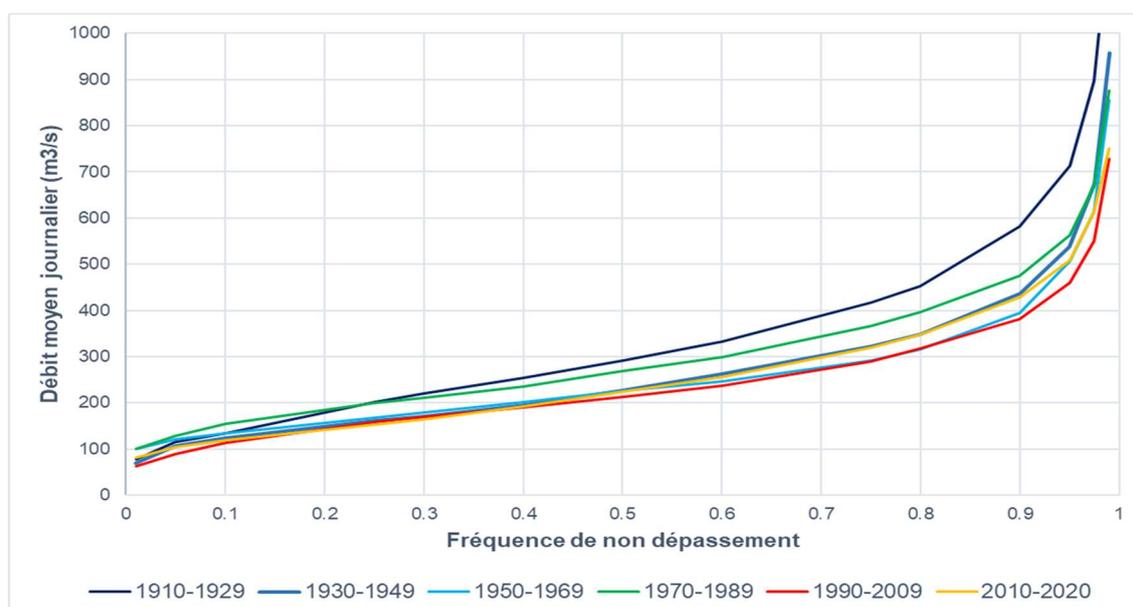


Figure 4 : Débits classés de la Garonne à Portet/Garonne durant la saison de migration (mars-juin) par période de 20 ans (Banque Hydro).

A Verdun-sur-Garonne, les débits des 30 dernières années sont inférieurs à ceux de la période 1970-1989. Les différences oscillent entre -22% pour les débits moyens et médians, -12% pour les 1^{ers} déciles et -26% pour les derniers déciles. A noter que ces différences entre périodes sont légèrement plus prononcées sur cette station qu'à Portet-sur-Garonne (-19% pour les débits moyens et médians et -16% pour les derniers déciles).

3.2.3. HYDROLOGIE DE LA PÉRIODE D'ARRÊT MIGRATOIRE

Les saumons de 2 hivers de mer et plus ont tendance à stopper leur activité migratoire en fin de printemps au moment où les débits de la Garonne diminuent. Nous avons analysé, sur la base des débits de Portet-sur-Garonne, la courbe de tarissement des débits entre les périodes de plus hautes eaux (mi-mai) et l'apparition des étiages (fin juillet). Nous avons analysé et modélisé la régression des débits médians en comparant les périodes par pas de 20 ans de 1910 à 2020.

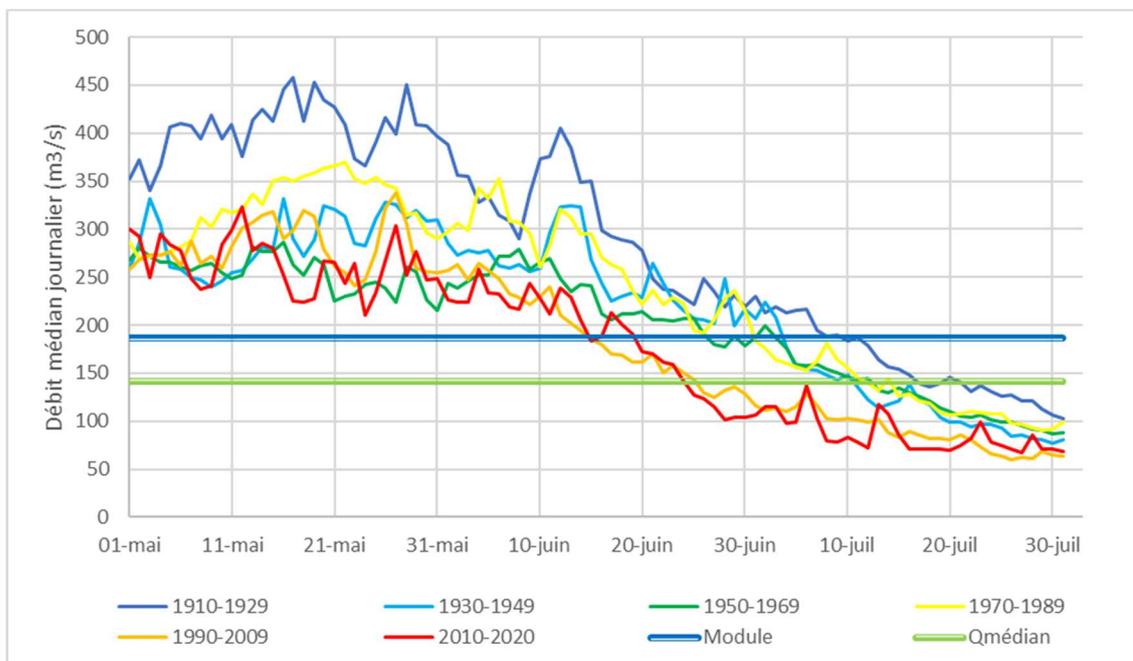


Figure 5 : Evolution des débits médians journaliers de début mai à fin juillet par période de 20 ans à Portet-sur-Garonne.

L'évolution des débits médians journaliers montrent clairement un tarissement de plus en plus précoce. Le module était atteint le 08 juillet entre 1910 et 1929, début juillet entre 1930 et 1950 et le 15 juin depuis les années 1990. De même, pour les débits médians atteints le 16 juillet en 1910-1929 et le 23-24 juin depuis 1990.

La modélisation des courbes de tarissement montre clairement des différences significatives entre les périodes avec à la fois depuis 30 ans des débits maximaux plus faibles en mai et des valeurs de bas débits atteintes plus rapidement.

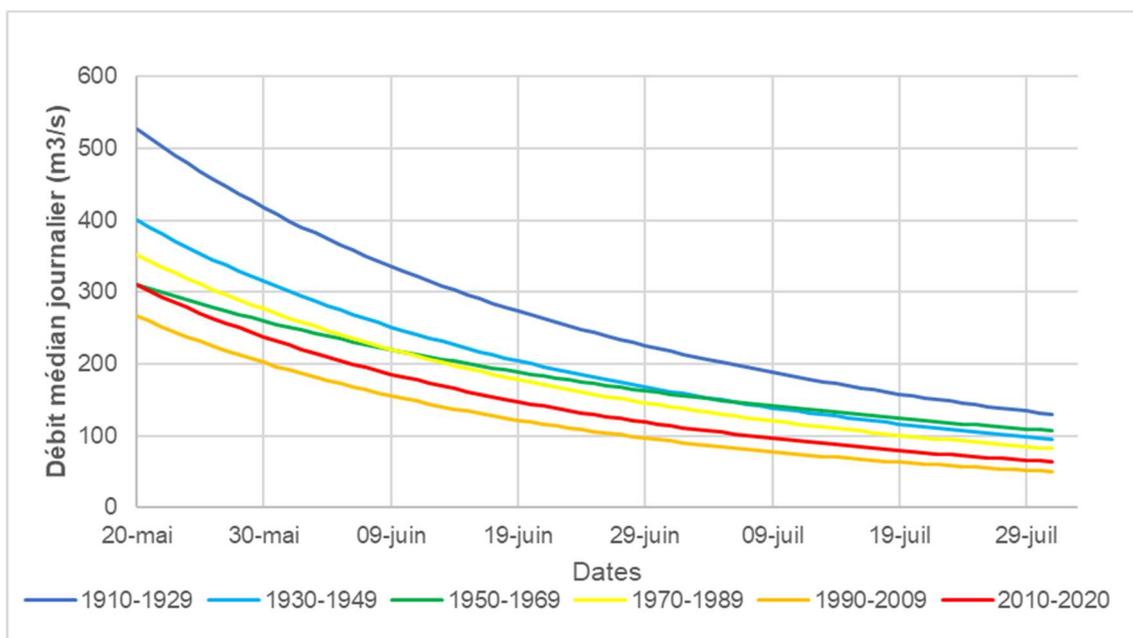


Figure 6 : Courbes de tarissement modélisées des débits médians journaliers de mi-mai à fin juillet par période de 20 ans à Portet-sur-Garonne.

3.2.4. ANALYSE DES CRUES

Les crues ont à la fois un effet stimulant sur la migration mais également un effet bloquant. Ces blocages peuvent être induits par des problématiques de qualité des eaux. Pour aborder cette question, nous avons, dans un 1^{er} temps recherché la part de différentes parties du bassin versant en fonction de l'altitude. Cette analyse s'appuie sur l'hypothèse que les parties aval des bassins versants peuvent apporter des eaux plus chargées en polluants. Plus leur contribution aux crues sera importante et plus un risque peut exister vis-à-vis de la migration des saumons.

3.2.4.1. Méthodologie

Les pics de crue pendant les périodes de migration (01 mars-15 juillet) peuvent avoir des incidences sur la migration (arrêt, dévalaison). Nous avons étudié les caractéristiques de ces pics de crues à Verdun-sur-Garonne sur la période 1985-2020. Les crues ont été identifiées comme des débits journaliers >3x module à savoir 575 m³/s. Pour chaque évènement, le nombre de jours a été calculé ainsi que les volumes écoulés.

Pour chaque crue, nous nous sommes intéressés à la part jouée par les différentes parties du bassin versant :

- Bassin versant d'altitude >400 m,
- Bassin versant d'altitude entre 150-400 m,
- Bassin versant d'altitude <150 m.

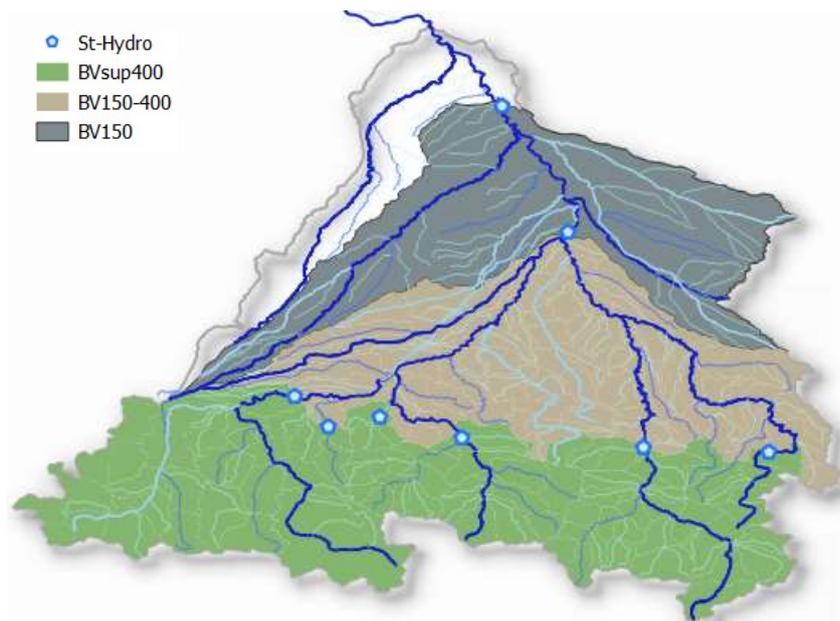


Figure 7 : Position des stations hydrométriques retenues associés aux différents bassins versants (<150 m ; 150-400 m ; >400m).

Pour identifier et quantifier les parts de chaque partie du bassin versant, nous avons sélectionné les stations hydrométriques permettant d'isoler et de soustraire chaque contribution :

- Pour le BV >400 m : Somme de [la Garonne à Valentine, le Ger à Aspet, l'Arbas, le Salat à St-Lizier, L'Ariège à Foix et l'Hers Vif au Peyrat] soit 5 080 km² (37%),
- Pour le BV 150 à 400 m : la Garonne à Portet-sur-Garonne – [débits du BV >400 m] soit 4 805 km² (35%),
- Pour le BV < 150 m : la Garonne à Verdun-sur-Garonne – Garonne à Portet-sur-Garonne soit 3 707 km² (27%).

3.2.4.2. Résultats

Pour les 36 dernières années étudiées, 62 crues ont été identifiées représentant 168 jours (3% du temps) pour des durées médianes de 2 jours par crue.

Tableau 4 : Caractéristiques des 62 crues identifiées à Verdun-sur-Garonne de 1985 à 2019.

	Nombre de crues	Contribution moyenne du BV>400 m	Contribution moyenne du BV 150-400 m	Contribution moyenne du BV<150 m
Mars	10	47%	31%	22%
Avril	19	46%	33%	20%
Mai	21	59%	27%	15%
Juin	11	54%	24%	22%
Juillet	1	27%	51%	23%

Les crues sont majoritairement observées en avril et mai. Elles sont très peu fréquentes en juillet. Le bassin versant situé à plus de 400 m d'altitude représente, en moyenne, 51% des volumes d'eau écoulés lors des crues à Verdun-sur-Garonne, le bassin versant compris entre 400 et 150 m, représente quant à lui 29% des volumes et celui de moins de 150 m 20% des volumes. Ces contributions sont différentes des surfaces de chaque sous bassin.

Les surfaces du bassin versant >400 m fournissent plus d'eau que celles de l'aval. Ceci est tout à fait en accord avec les débits spécifiques de cette partie de bassin qui sont toujours supérieurs à ceux des zones plus aval.

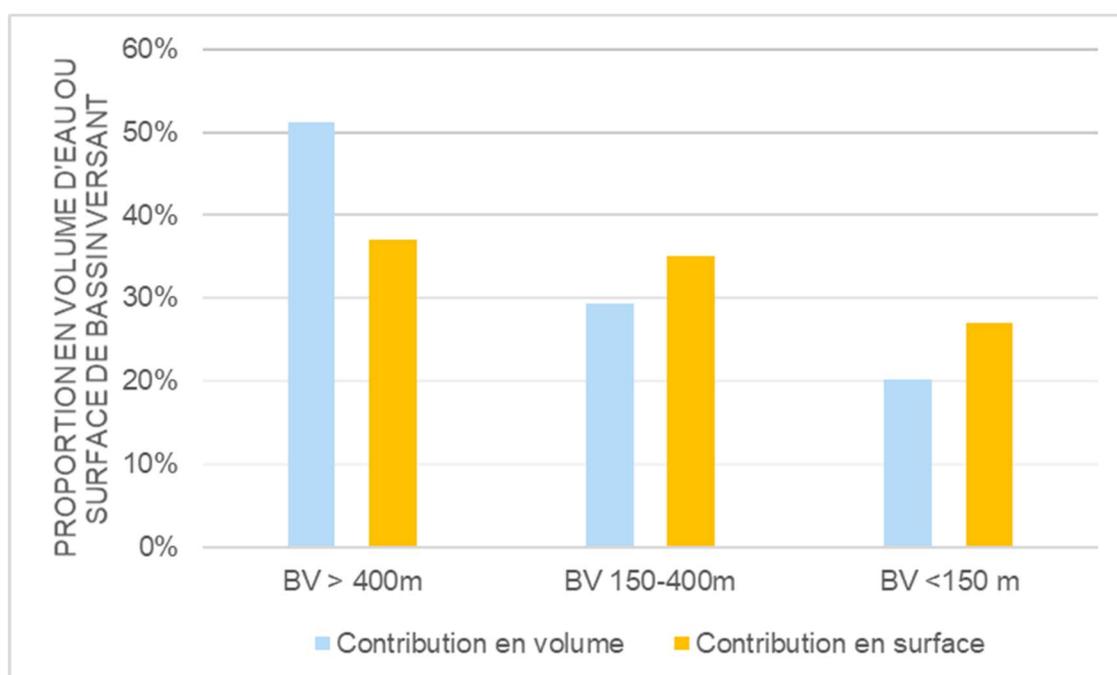


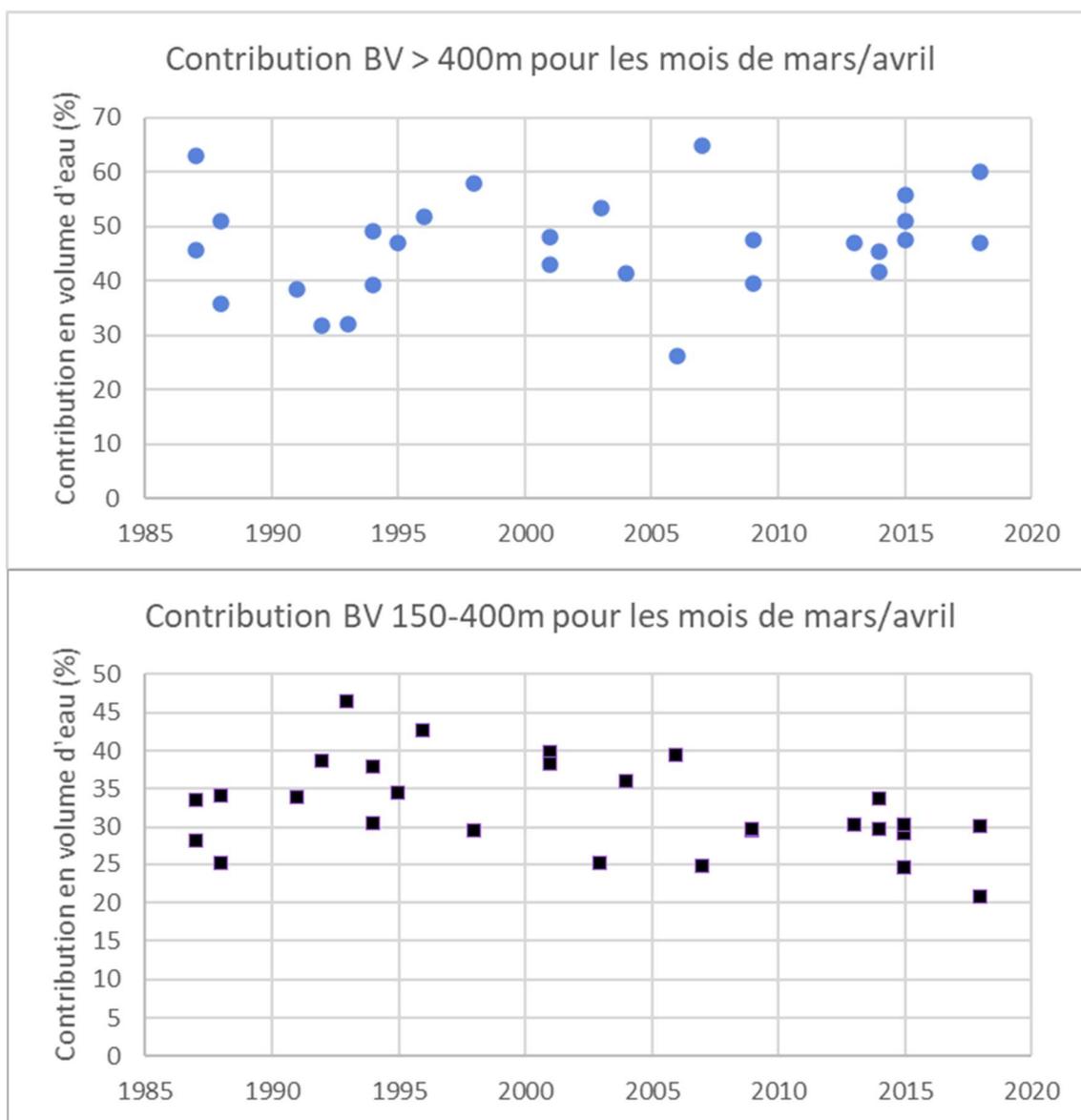
Figure 8 : Contributions moyennes en volume d'eau des différents bassins versants de la Garonne à Verdun-sur-Garonne comparativement à la part de surface de ces différents bassins.

Les crues de mai ont tendance à être plus influencées par le bassin versant de plus de 400 m (plus forte contribution de la fusion nivale) alors qu'en mars et juin, les bassins versants intermédiaires et aval produisent des volumes proportionnels à leur surface (contribution de la pluie).

Sur les 62 crues étudiées, 2 présentent une forte dominance de contribution du bassin versant de moins de 400 m (>70% des volumes écoulés), 9 une dominance marquée (60-70% des volumes) et 18 une dominance modérée (50-60% des volumes). Aucune crue n'est constituée par des volumes dominants provenant du bassin versant de moins de 150 m d'altitude. Deux crues sont composées de volumes >50% provenant du bassin versant de 150-400 m. A l'opposé, 33 crues sont dominées par des volumes provenant du bassin versant >400 m.

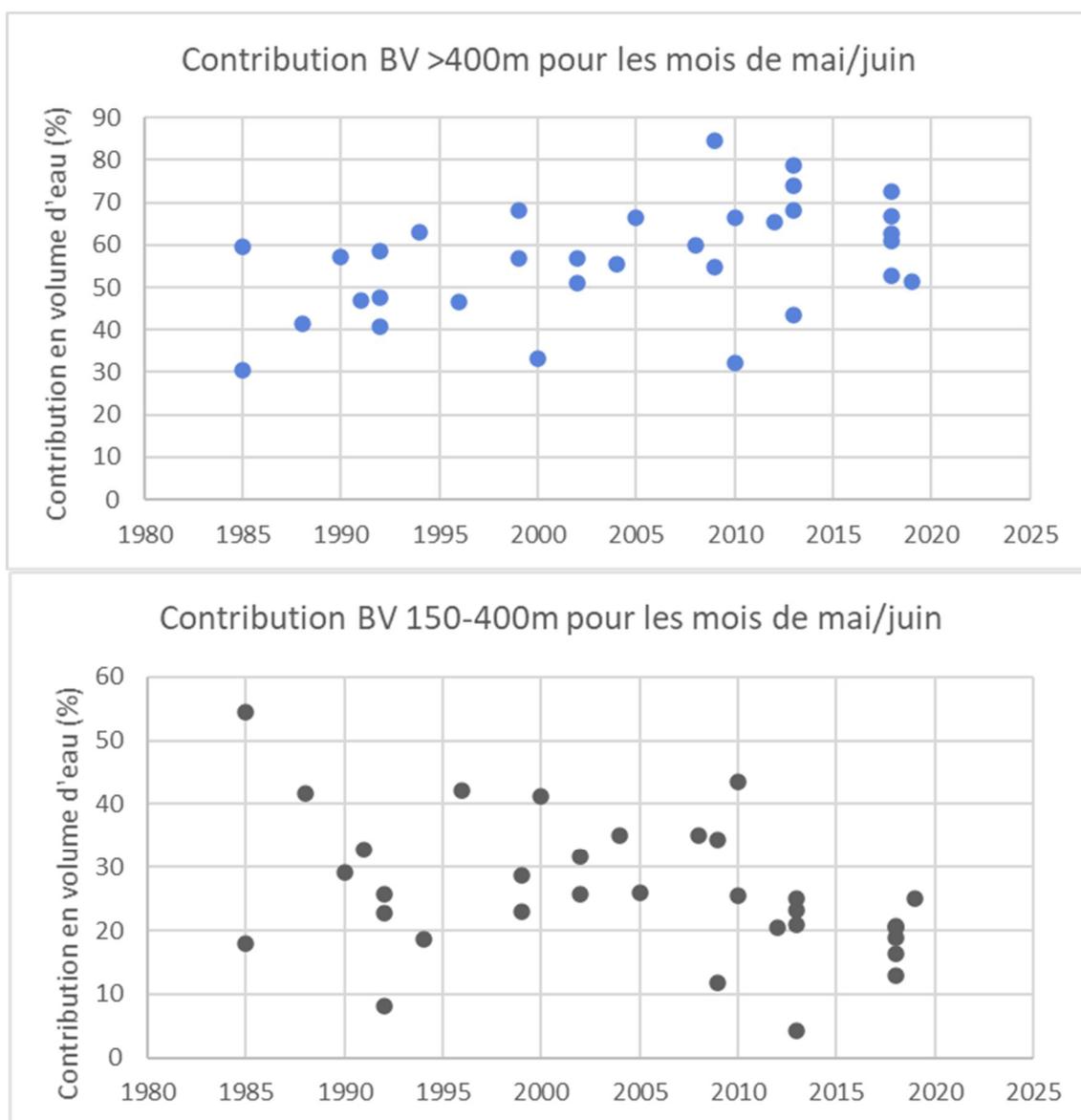
La part jouée par les parties aval des bassins versants avec une plus forte anthropisation n'est pas négligeable dans les crues de la Garonne en aval de Toulouse. Avec plus de 50% des volumes d'eau écoulés provenant de ces zones, il est possible que la qualité des eaux de ces événements soient altérées.

La contribution des différentes parties du bassin versant a évolué au cours du temps depuis 1985.



Figures 9 et 10 : Evolution des contributions moyennes en volume d'eau des bassins versants >400 m et 150-400 m aux crues de la Garonne à Verdun pour les mois de mars et avril.

Pour le début du printemps, la contribution du haut bassin versant (>400 m) a tendance à augmenter alors que celle du bassin intermédiaire (150-400 m) diminue. Cette tendance s'accroît pour les mois de mai et juin. Le bassin versant >400 m contribue de plus en plus au volume des crues observées.



Figures 11 et 12 : Evolution des contributions moyennes en volume d'eau des bassins versants >400 m et 150-400 m aux crues de la Garonne à Verdun pour les mois de mai et juin.

A priori, la baisse de contribution du bassin versant intermédiaire plus anthropisé depuis 30 ans constitue un facteur plutôt favorable pour l'impact des crues sur la migration du saumon. Toutefois, pratiquement, tous les ans des événements se produisent avec une participation assez significative de ces zones aval du bassin.

Il faut également tenir compte des caractéristiques des crues à savoir leur gradient, leur amplitude et leur débit de base. Ce travail sera conduit dans une prochaine phase de l'étude.

3.3. THERMIE

L'association MIGADO a mis en place deux sonde de suivi thermique de l'eau dans le tronçon Malause/Bazacle : une dans la passe à poissons du Bazacle et une à Verdun-sur-Garonne (distantes de 41 km). Il y a également une sonde dans l'ascenseur de Golfech, mais ce dernier étant situé en aval de la confluence de Tarn, il n'est pas représentatif du régime thermique du tronçon Malause/Bazacle.

La période commune de ces deux sondes est 2007-2020 avec quelques « trous ». En tout, on dispose de près de 80% des données de température de la période pour les deux stations.

Tableau 5 : Proportion des jours avec donnée de température de l'eau de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne pour la période 2007-2020.

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOUT
Bazacle	100%	100%	100%	0%	0%	100%	69%	98%	98%	100%	0%	100%	100%	100%	78%
Verdun	45%	100%	100%	100%	100%	47%	23%	68%	44%	100%	100%	72%	100%	100%	79%

Entre 2007 et 2020, la température moyenne mensuelle est minimale en janvier avec 6.9°C au Bazacle et 7.0°C à Verdun-sur-Garonne et maximale en août, avec 22.1°C et 22.8°C respectivement.

A l'échelle annuelle, la température de Verdun-sur-Garonne est supérieure de 0.8°C à celle du Bazacle.

A l'échelle mensuelle, la température de Verdun-sur-Garonne est toujours supérieure à celle du Bazacle (+0.1 à +1.8°C) sauf en septembre où l'écart est faible mais en faveur du Bazacle (+0.07°C).

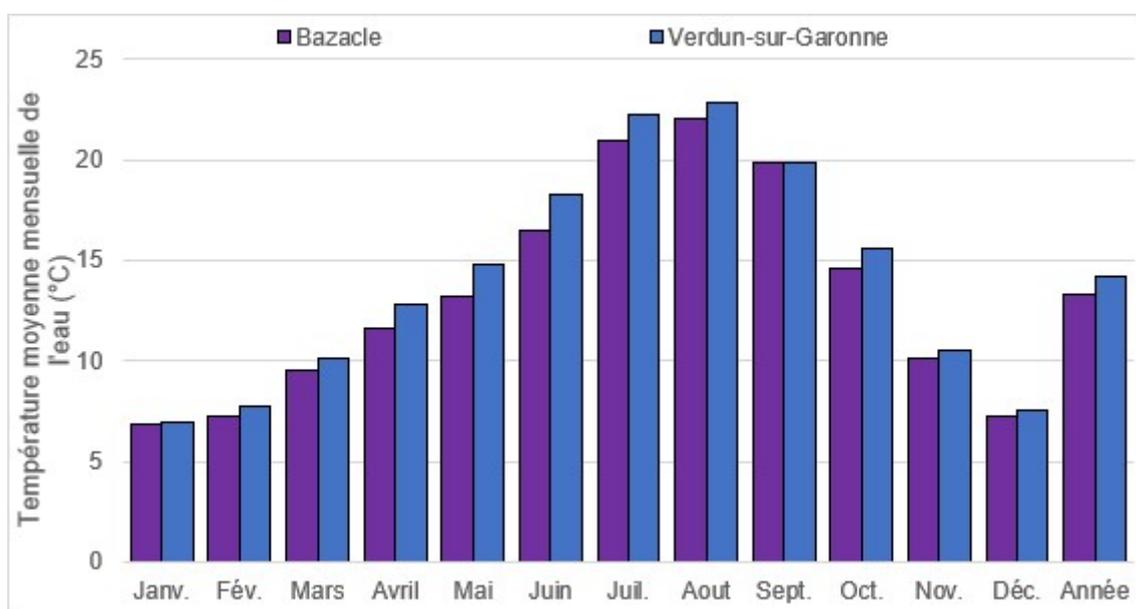


Figure 13 : Température moyenne mensuelle de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne pour la période 2007-2020 (Données MIGADO).

A l'échelle journalière, la température du Bazacle varie entre 6.1 et 22.8°C, et celle de Verdun-sur-Garonne entre 6.5 et 23.6°C. Les températures minimales sont observées en janvier-février, et les maximales en août.

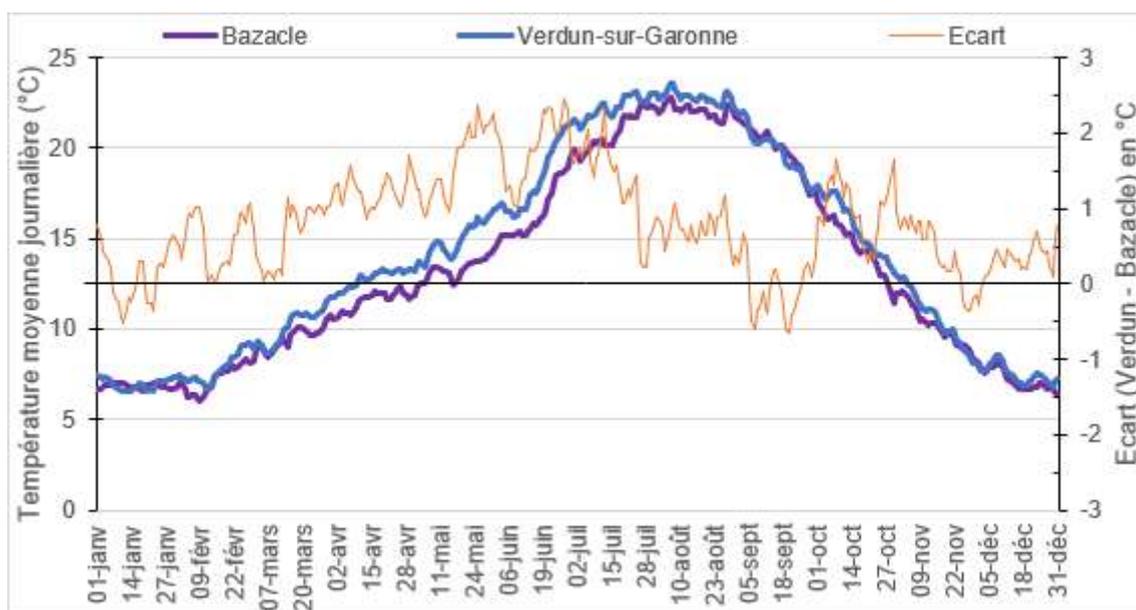


Figure 14 : Température moyenne journalière de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne et écart entre les deux stations pour la période 2007-2020 (Données MIGADO).

La température de Verdun-sur-Garonne est constamment supérieure à celle du Bazacle de mars à août, les écarts les plus importants (>2°C) sont observés de mi-mai à mi-juillet.

Si on considère la période de migration principale des saumons de plusieurs hivers de mer (PHM) au Bazacle, soit du 15 mars au 15 juillet, où 85% de l'effectif de PHM est contrôlé, les températures rencontrées par les saumons sont globalement favorables à leur migration :

- les températures inférieures à 6°C, valeur en dessous de laquelle les déplacements sont très limités, ne se produisent que 0.2% du temps au Bazacle et ne se produisent pas à Verdun-sur-Garonne.
- les températures comprises entre 6 et 20°C, plage de températures favorables à la migration, se produisent 91% du temps au Bazacle et 85% du temps à Verdun-sur-Garonne.
- les températures allant de 20 à 25°C, plage thermique pour laquelle les déplacements deviennent limités, sont rencontrées 7.8% du temps au Bazacle et 13.3% du temps à Verdun-sur-Garonne.
- les températures supérieures à 25°C, à partir desquelles les mortalités de saumons commencent à apparaître ne sont rencontrées que 0.1% du temps au Bazacle et 1.2% du temps à Verdun-sur-Garonne.
- enfin, les températures supérieures à 28°C, à partir desquelles les mortalités deviennent importantes, ne sont pas rencontrées sur les deux stations pour cette période.

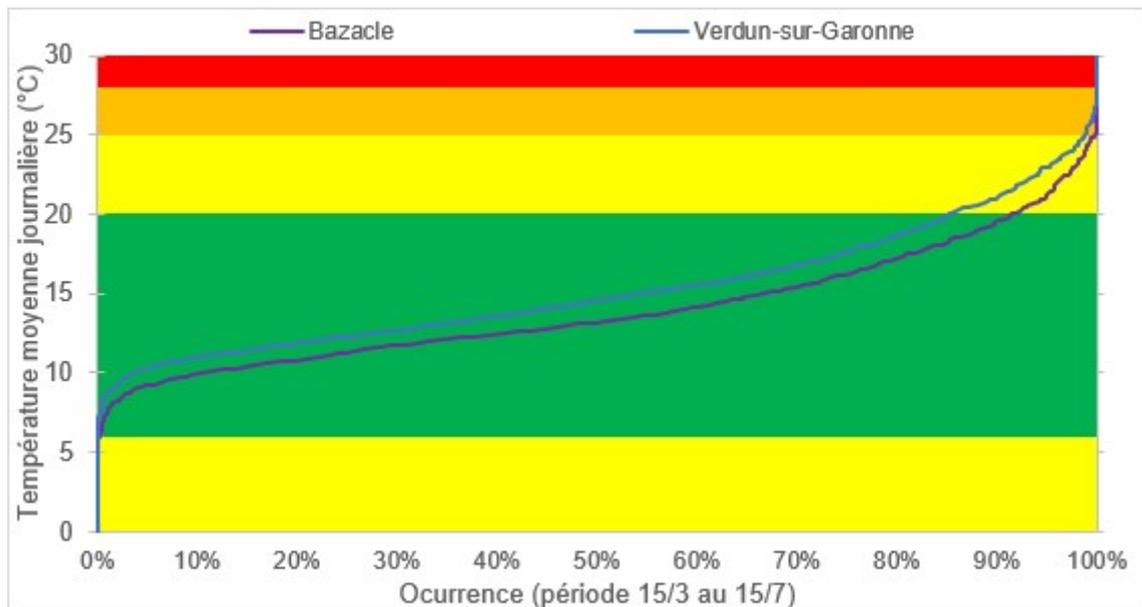


Figure 15 : Températures classées de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne du 15 mars au 15 juillet pour la période 2007-2020. La zone verte délimite la plage thermique favorable à la migration [6-20]°C, la zone jaune la plage thermique avec des déplacements limités, la zone orange l'apparition des mortalités (25°C) et la zone rouge les mortalités importantes (28°C).

La thermie du tronçon Malause/Bazacle est globalement favorable à la migration des saumons de plusieurs hivers. La plage thermique idéale pour la migration est rencontrée pendant plus de 85% et 91% de la période principale de migration à Verdun-sur-Garonne et au Bazacle respectivement. Les températures générant les premières mortalités ne sont rencontrées qu'au maximum 1.2% de la période à Verdun-sur-Garonne et 0.1% du temps au Bazacle.

4. MORPHOLOGIE

Ce tronçon de la Garonne a fait l'objet de nombreux aménagements (épis, digues, rescindements de méandres, etc...) entre 1960 et 1984 principalement dans le Tarn-et-Garonne. Ils visaient à la fixation des berges et à limiter l'érosion des terres agricoles riveraines. C'est également à partir de 1960 que les extractions de granulats se sont développées de manière intensive et cela jusqu'à la fin des années 1980. Ces interventions dans le lit mineur ont favorisé le phénomène de chenalisation dont l'impact le plus significatif est l'incision « généralisée » du cours d'eau (Jantzi et al., 2017).

Actuellement dans ce tronçon, la Garonne présente un tracé à chenal le plus souvent unique et se caractérise par un indice de sinuosité moyen faible de 1,27 (David, 2016). La pente est modérée, de l'ordre de 0,9 ‰. L'écoulement se fait fréquemment sur un fond rocheux composé de molasse qui affleure sur environ 50 % de la surface totale du chenal (Delmouly et al., 2007).

Nous allons nous intéresser aux caractéristiques des habitats du tronçon (zones de repos et/ou secteurs difficilement franchissables) et à l'évolution morphologique du tronçon au cours des 100 dernières années.

4.1. MÉTHODOLOGIE

4.1.1. LES HABITATS DE REPOS

4.1.1.1. *Variabilité temporelle de la migration et influence des facteurs environnementaux et de l'habitat*

A l'échelle saisonnière, la migration passe généralement par trois phases : un mouvement plus ou moins rapide vers l'amont jusqu'à proximité des zones de frayères, une longue période de stabilisation et enfin une courte migration vers l'amont juste avant le frai (Gueguen et Prouzet, 1994).

A un moment donné de sa migration saisonnière, le saumon va s'arrêter dans un profond. Il peut y séjourner plusieurs mois avant de reprendre sa montée vers les lieux de reproduction. Durant cette période le saumon est peu sensible aux variations de niveau d'eau et très sensible à celles de la lumière. Les mouvements sont très limités et se réduisent à une descente sur le fond du profond le jour et à une remontée en surface la nuit. Le comportement passe de grégaire à territorial avec des mouvements d'agressivité envers les congénères.

La température est un facteur important vis-à-vis de cet arrêt saisonnier. En effet toute activité migratoire cesse au-dessus de 20-22°C et au-dessous de 3-7°C. Ainsi sur les grands cours d'eau, ou pour les individus arrivant tardivement, il est possible que la première phase de migration soit stoppée par l'augmentation de la température. Dans ce cas, les saumons de l'Allier stoppent leur migration et se réfugient dans des fosses profondes de 5 à 6 m (appelés refuges d'été), en ayant une activité très limitée, jusqu'à ce que la température redevienne favorable. La température joue également un rôle sur les capacités de nage des saumons.

Des tentatives ont été réalisées pour évaluer la qualité de ces zones de repos estival à travers une évaluation de leur capacité d'accueil (Moreau et Moring, 1993 in Bardonnnet et Baglinière, 2000). La température doit être inférieure à 28°C, la profondeur supérieure à 90 cm et la proportion d'abris supérieure à 20% de la surface totale de la zone pour maximiser la capacité du site.

Quel que soit l'axe, le saumon doit donc disposer d'habitat de repos qu'il utilisera durant sa phase estivale de stabulation.

A l'échelle journalière, le comportement du saumon se caractérise par des séquences de nage active entrecoupées d'arrêts très courts. Le saumon a tendance à fuir les éclaircissements intenses. La plupart des mouvements de montée ont donc lieu au crépuscule ou durant la nuit et les arrêts

pendant la journée. Les variations de débit, et notamment les crues, sont des facteurs stimulant la remontée des saumons, et ce particulièrement dans les petits cours d'eau. Les coups d'eau s'accompagnant d'une augmentation de la turbidité, les mouvements des saumons sont alors importants de jour comme de nuit. Cependant, en période de très forte crue et de turbidité très élevée de l'eau, le saumon stoppe sa migration, cherchant à se protéger en se positionnant sur le fond ou près des berges.

Durant leur migration printanière, les saumons se stabuleront donc pendant quelques heures dans des milieux profonds avec de préférence la présence de caches tels que des blocs et sous-berges (Crisp, 1993; Bardonnnet et Baglinière, 2000).

4.1.1.2. Migration du saumon et habitat de repos/refuge

Ainsi durant la phase de migration en rivière des saumon plusieurs types d'habitat de repos/refuge sont rencontrés :

- habitat de repos, lors des brefs arrêts de la première phase de migration. Ils ont été très peu décrits, et correspondent à des zones profondes avec de préférence des caches pour se protéger de la lumière du soleil,
- habitats de refuge lors des fortes crues qui sont susceptibles de se produire lors de la première phase de migration, les saumons stationnent alors près du fond ou près des berges, dans des zones hydrauliquement abritées,
- habitats de refuge lors des épisodes de forte température, qui sont susceptibles de se produire lors de la première phase de migration, les saumons se réfugient alors dans des habitats très profonds (>5m),
- habitats d'attente à la fin de la première phase de migration, qui correspondent à des zones profondes, où la température ne dépasse pas 28°C avec des caches afin de limiter les interactions entre géniteurs.

Lors de l'étude de radiopistage des saumons de la Garonne réalisée de 2002 à 2006, Delmouly et al. (2007) ont testé le lien entre les arrêts des saumons sur le tronçon Malause-Bazacle et la profondeur maximale (attribution de 4 classes de profondeur : <2 m; 2 à 3 m; 3 à 5 m et >5m) de chaque kilomètre du tronçon Malause-Bazacle. Pour chaque classe, le pourcentage d'arrêt (nombre d'arrêts observés versus nombre d'individus ayant fréquenté au moins une fois chaque tronçon d'1 km) a été calculé. Avec, pour les classes 1 à 4, respectivement, un pourcentage d'arrêt de 0.5%, 0.2%, 0.5% et 1.3%. Les saumons semblent s'arrêter plus fréquemment dans les secteurs où des profonds supérieurs à 5 m ont été relevés, cette différence n'étant cependant significative qu'au seuil de 10% (Test du khi-deux, $\chi^2=6.271$, $p=0.099$).

4.1.1.3. Identification des habitats de repos/refuge sur le tronçon Malause-Bazacle

➤ *Paramètres relevés sur le terrain :*

Les zones de frayère des saumons de la Garonne étant toutes situées en amont de Toulouse, ce sont les habitats de repos/refuge de la première phase de migration qui ont été recherchés.

La description des faciès d'écoulement est effectuée selon la clé de Malavoi et Souchon (2002), et réalisée en bateau, en progressant de l'amont vers l'aval.

A chaque fois qu'une zone profonde est rencontrée :

- elle est délimitée par des points GPS,
- plusieurs profondeurs sont mesurées à l'aide d'une pige graduée télescopique,
- plusieurs points de description de la granulométrie sont effectués en utilisant l'échelle de Cailleux (1945),

- les abris hydrauliques minéraux (piles de pont; blocs, affleurement de dalle) et végétaux (embâcles) sont dénombrés.

➤ *Traitement des données :*

Une correction des zones profondes repérées sur le terrain a été réalisée. Pour chaque zone, la profondeur moyenne et la profondeur maximale mesurée ont été déterminées. Les critères retenus pour la qualification d'une zone en zone profonde sont :

- profondeur moyenne > 1.7 m,
- profondeur maximale > 2 m.

Tous les faciès ne respectant pas ces règles ont été éliminés.

On propose de qualifier les zones profondes en fonction de plusieurs paramètres :

- Qualité du profond, dépendant de sa profondeur moyenne et maximale :
 - Optimale (coefficient 1) : prf. moy. ≥ 2 m et prf. max. ≥ 4 m ;
 - Moyenne (coefficient 0.5) : prf. moy. ≥ 2 m et $3 \text{ m} \leq \text{prf. max.} < 4$ m ;
 - Faible (coefficient 0.1) : prf. moy. ≥ 2 m et prf. max. < 3 m ;
 - Nulle (coefficient 0) : prf. moy. < 2 m et prf. max. < 3 m.
- Présence de gros abris hydrauliques (minéraux et végétaux) :
 - Présence (coefficient 1) : plus de 0 abris / 100 ml,
 - Absence (coefficient 0) : pas d'abris.
- Qualité du substrat dominant, dépendant de la proportion de dalle :
 - Bonne (coefficient 1) : moins de 75% de dalle
 - Faible (coefficient 0.1) : plus de 75% de dalle.

Au final la qualité des zones de repos/refuge est donnée par le produit des coefficients de la qualité du profond, de la présence d'abris et de la qualité du substrat dominant.

La prise en compte de la qualité du substrat dominant pour caractériser les zones de repos/refuge étant discutable, les résultats sont également donnés sans prendre ce paramètre en compte.

4.1.2. LES SECTEURS POTENTIELLEMENT DIFFICILES POUR LE FRANCHISSEMENT

4.1.2.1. Capacité de franchissement et comportement migratoire des saumons sur le tronçon

A son retour en eau douce, et durant toute la phase de migration et de reproduction, le saumon cesse de s'alimenter. Cela implique que les individus disposent d'un stock limité de réserves (principalement stockées dans les muscles) qui va être utilisé pour migrer jusqu'aux zones des frayères, développer les produits génitaux (œufs et laitance) et se reproduire (Cohendet, 1993).

Les capacités de nage des saumons, leur endurance et leur capacité de saut dépendent principalement de leur taille, de la température de l'eau et de leur état physiologique.

Plusieurs types d'activité de nage peuvent être distinguées lors de la phase migratoire du saumon :

- la nage de croisière, est une nage pouvant être maintenue pendant des heures sans engendrer de modification importante de l'organisme,
- la nage soutenue qui peut être maintenue pendant quelques minutes à quelques dizaines de minutes, et qui entraîne à terme la fatigue du poisson,

- le sprint, est une nage qui résulte d'un effort intense et qui ne peut être maintenue que quelques secondes à quelques dizaines des secondes.

L'endurance est le temps durant lequel un poisson peut nager à une certaine vitesse. Elle dépend de la réserve en glycogène stockée dans les muscles, de la vitesse de nage et de la température. La réserve en glycogène est utilisée dès que le poissons dépasse sa vitesse de croisière.

Selon Booth et al. (1997) in Courret et al. (2020), un saumon atlantique de 55-60 cm a une vitesse de nage critique¹ qui passe de 2.16 à 1.76 m/s lorsque la température de l'eau passe de 18°C à 12°C. Concernant l'endurance des mêmes saumons, ils sont capables de maintenir une vitesse de nage de 1.6 m/s pendant 120 minutes à 18°C mais seulement pendant 30 minutes à 12°C.

Le saumon peut utiliser ses capacités de saut pour franchir les obstacles. La hauteur maximale de saut dépend de la vitesse du poisson (fonction de sa taille et de la température) et de l'angle d'incidence. Ainsi un saumon de 80 cm est capable de sauter à 1 m de hauteur à 10°C et à 2.5 m quand la température de l'eau est de 20°C, dans le cas où le poisson dispose d'une fosse d'appel lui permettant d'atteindre sa vitesse maximale au moment où il quitte l'eau.

Ainsi, lors de sa phase de migration, le saumon doit principalement utiliser sa nage de croisière pour se déplacer, passer en nage soutenue lorsque les écoulements deviennent plus intenses, et utiliser le sprint lorsqu'il est confronté à un obstacle.

Lors de l'étude de radiopistage des saumons de la Garonne réalisée de 2002 à 2006, Delmouly et al. (2007) ont testé le lien entre les arrêts et les dévalaison des saumons sur le tronçon Malause-Bazacle et la charge en sédiments grossiers de 4 sous-tronçons de ce secteur.

Concernant les dévalaisons, l'analyse porte sur 41 replis vers l'aval de plus de 10 km (replis définitifs ou non). La proportion de dévalaison est significativement différente selon les tronçons (Test du khi-deux, $\chi^2=21.21$, $p<0.001$). En effet, au niveau du tronçon où la proportion en graviers-galets est la plus faible (20.2%), le pourcentage de dévalaison est le plus élevé (32.8%). Les plus faibles taux de dévalaison s'observent pour les deux tronçons les plus chargés en sédiments grossiers. Les dévalaisons semblent donc apparaître principalement dans des secteurs où la molasse est fortement mise à nue.

Concernant les arrêts, l'analyse porte sur 24 arrêts de plus de 7 jours. Les proportions en graviers-galets des secteurs d'arrêt ne diffèrent pas significativement des proportions de référence (Test du khi-deux, $\chi^2=2.96$, $p=0.57$). Les arrêts observés des saumons ne semblent donc pas liés à la nature du substrat.

4.1.2.2. Identification des secteurs potentiellement compliqués au franchissement

➤ Paramètres relevés sur le terrain :

La description des faciès d'écoulement est effectuée selon la clé de Malavoi et Souchon (2002), en bateau, en progressant de l'amont vers l'aval.

A chaque fois qu'une zone courante est rencontrée :

- elle est délimitée par des points GPS,
- plusieurs profondeurs sont mesurées à l'aide d'une pige graduée télescopique,
- plusieurs points de description de la granulométrie sont effectués en utilisant l'échelle de Cailleux (1945),
- les abris hydrauliques minéraux (piles de pont; blocs, affleurement de dalle) et végétaux (embâcles) sont dénombrés.

¹ Vitesse de nage ne pouvant être maintenue par le poisson que quelques minutes, comparable à l'activité de nage soutenue

➤ *Traitement des données :*

Un croisement a été effectué avec la proportion de dalle présente sur le faciès. Il a été retenu qu'un faciès courant sur un fond de dalle à plus de 75% était potentiellement compliqué au franchissement.

4.1.3. ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON MALAUSE-BAZACLE AU COURS DES DERNIÈRES DÉCENNIES

Une synthèse bibliographique a été réalisée sur l'évolution morphologique du tronçon Malause-Bazacle au cours du temps.

En plus de cette synthèse des rétro-mesures ont été réalisées sur les ortho-photos de l'IGN historiques et actuelle dans les secteurs où les arrêts et dévalaison des saumons sont les plus importants. Les rétro-mesures ont concerné la bande active de la Garonne sur deux périodes : 1947 et 2018.

4.2. RÉSULTATS

4.2.1. DESCRIPTION DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT

Les reconnaissances terrain ont été réalisées du 24 au 28 août 2020, compris entre la base de loisir « les Quinze sols » à Beauzelle (mise à l'eau impossible plus en amont) et le pont de l'A62. Lors de ces prospections le débit moyen journalier de la Garonne a varié de 42.7 m³/s à 48.4 m³/s, soit des débits de l'ordre du Q_{MNA5}. Une prospection supplémentaire a été réalisée le 24 septembre 2021 pour caractériser le secteur compris entre le barrage du Bazacle et Beauzelle. Le débit de la Garonne était de 62.9 m³/s, soit un débit légèrement supérieur au Q_{MNA2}.

Les faciès d'écoulement sont dominés par les plats courants, qui représentent à eux seuls 41.0% du linéaire de la Garonne entre le Bazacle et Malause. Les chenaux lenticulaires sont présents sur 24.1% du linéaire et les radiers sur 16.4%. Les autres types de faciès représentent les 18.4% restant.

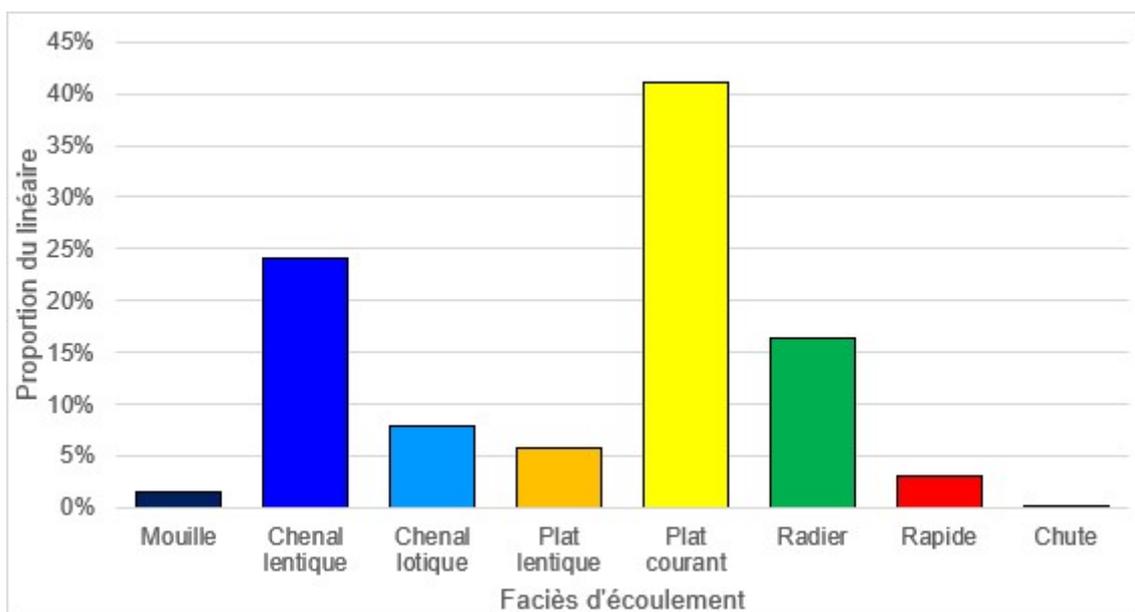


Figure 16 : Faciès d'écoulement de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62.

4.2.2. LES HABITATS DE REPOS/REFUGE

4.2.2.1. *Les faciès profonds*

En tout, 40 faciès profonds représentant 33.6% du linéaire ont été identifiés.

En moyenne, les faciès profonds sont présents tous les 1.3 kms de cours d'eau et ils sont répartis de façon assez homogène.

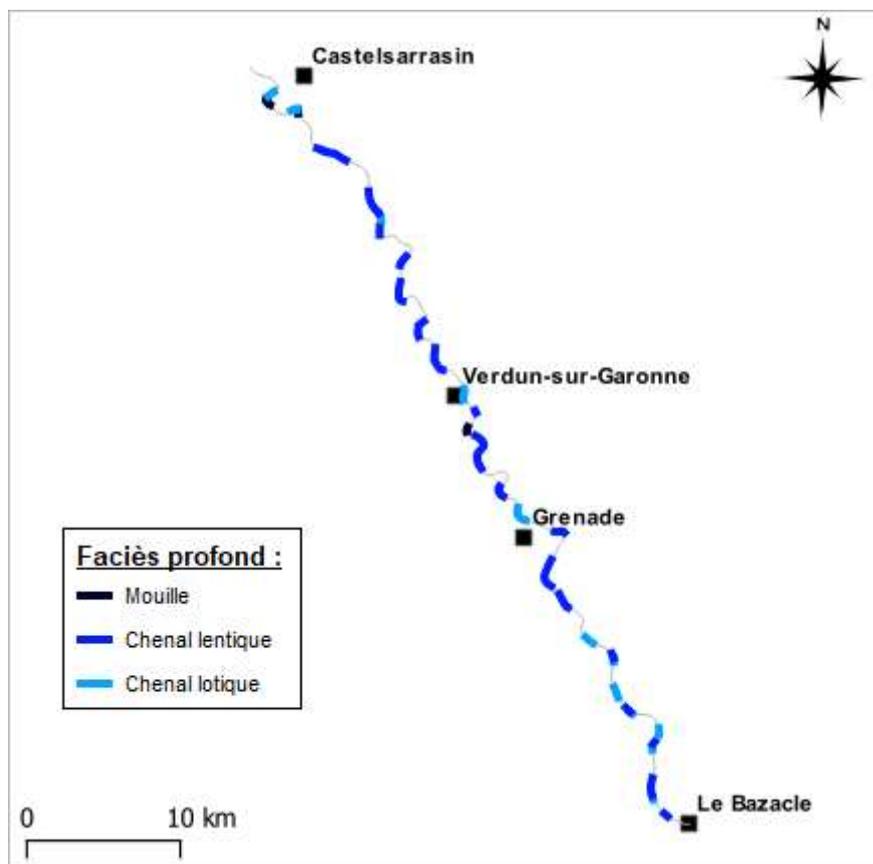


Figure 17 : Localisation des faciès profonds sur la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62.

Les faciès de profondeur moyenne comprise entre 2 et 3 m dominent l'échantillon avec 72.5% de l'effectif. Il n'y a que 2 faciès de profondeur moyenne supérieure à 4 m. Par contre la distribution des profonds selon leur profondeur maximale est plus équilibrée, avec respectivement 35.0%, 27.5% et 25.0% de l'effectif ayant une profondeur maximale <3 m, entre 3 et 4 m et entre 4 et 5 m. Seuls 5 profonds (12.5%) dépassent 5 m de fond.

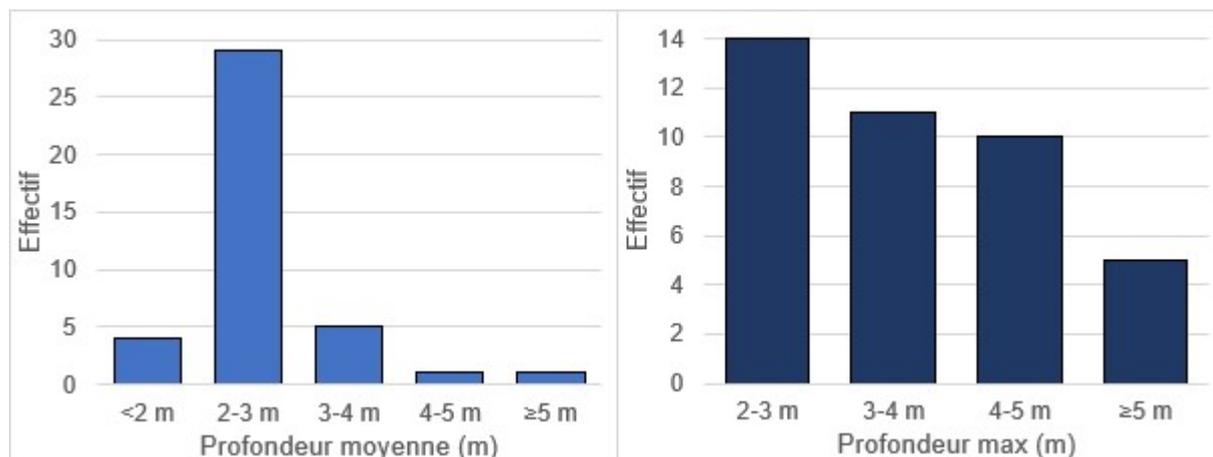


Figure 18 : Distribution des profonds de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62 selon leur profondeur moyenne et leur profondeur maximale.

4.2.2.2. Qualité des profonds

Il n'y a que 10 profonds dont la classe de qualité est optimale. Ils sont rencontrés en moyenne tous les 5.7 km. Ils sont inégalement répartis le long du linéaire (distance minimale entre profonds de qualité optimale = 0.6 km, distance maximale = 15 km), leur concentration étant plus forte autour du secteur de Verdun-sur-Garonne.

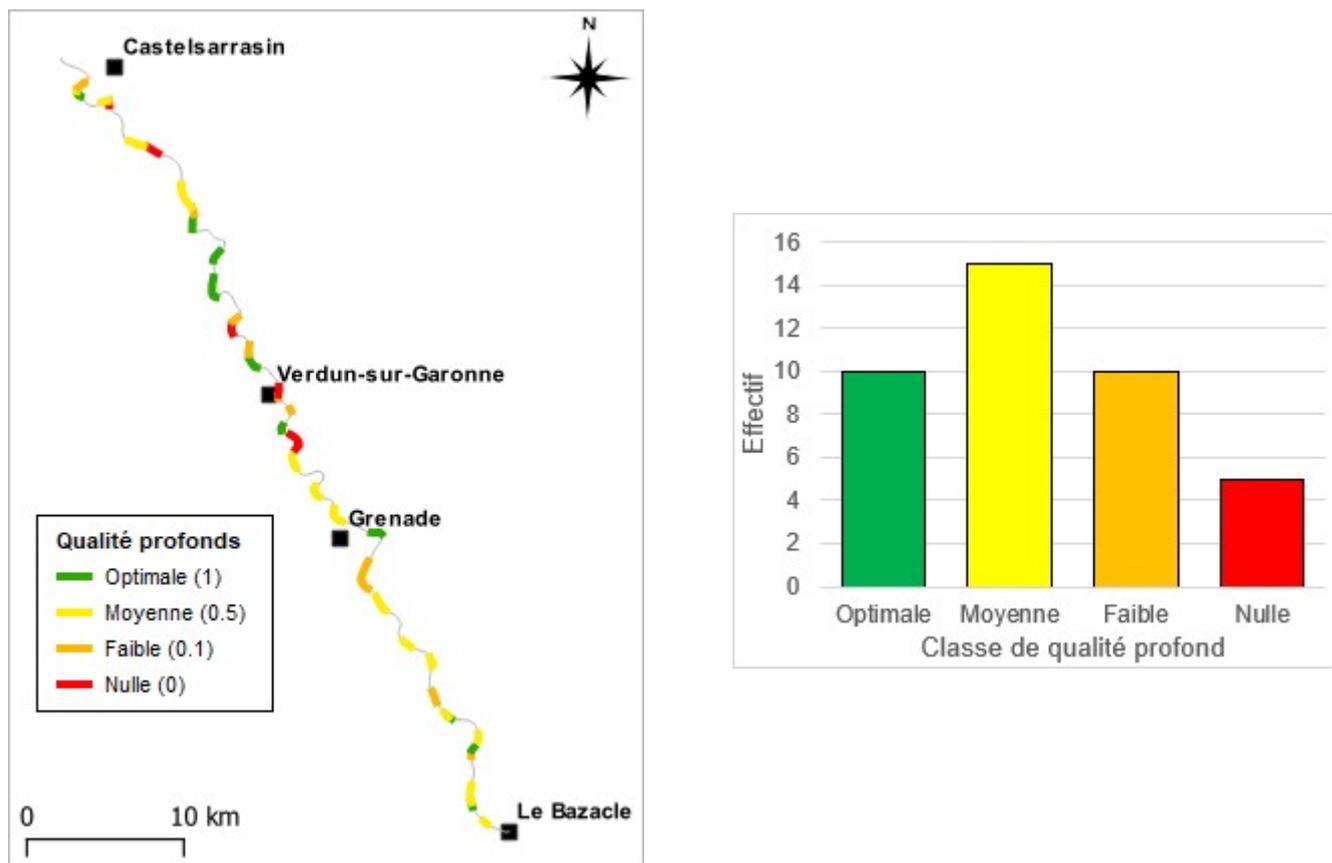


Figure 19 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité.

Les profonds de qualité moyenne dominent l'effectif (n=15). Ils sont rencontrés en moyenne tous les 3.9 km et sont également inégalement répartis le long du linéaire.

Enfin, il y a 15 profonds de qualité faible ou nulle. Ils sont principalement rencontrés autour de Verdun/Garonne.

4.2.2.3. *Présence d'abris hydrauliques*

De gros abris hydrauliques ont été rencontrés dans 29 des 40 profonds recensés (72.5% de l'effectif). Les profonds avec abris sont répartis de façon homogène le long du linéaire, il n'y a pas de secteur particulièrement pénalisé par l'absence d'abris.

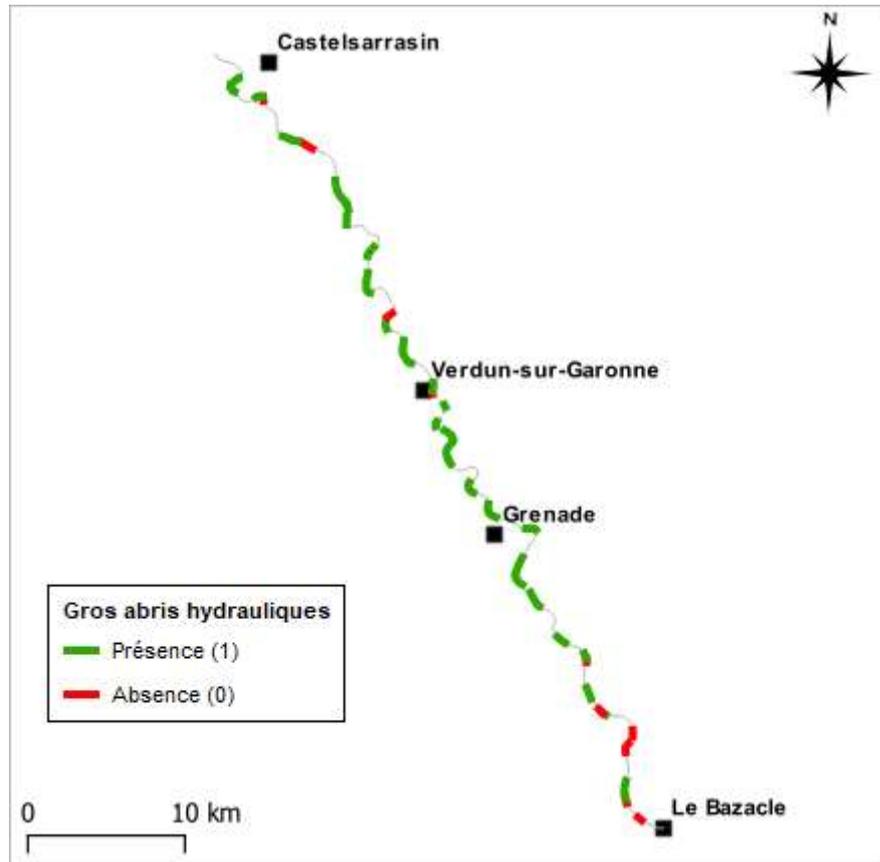


Figure 20 : Localisation des profonds de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62 en fonction de la présence de gros abris hydrauliques.

4.2.2.4. *Qualité du substrat dominant*

La moitié des profonds sont situés sur un substrat dominé à plus de 75% par la dalle (qualité faible). Trois secteurs se distinguent de ce point de vue :

- en amont de Grenade les profonds sont presque tous de faible qualité de substrat (n=13/15),
- entre Grenade et Verdun-sur-Garonne tous les profonds sont de bonne qualité de substrat (n=8),
- en aval de Verdun/Garonne avec un mélange de profond de bonne qualité de substrat (n=10) et de faible qualité (n=7).

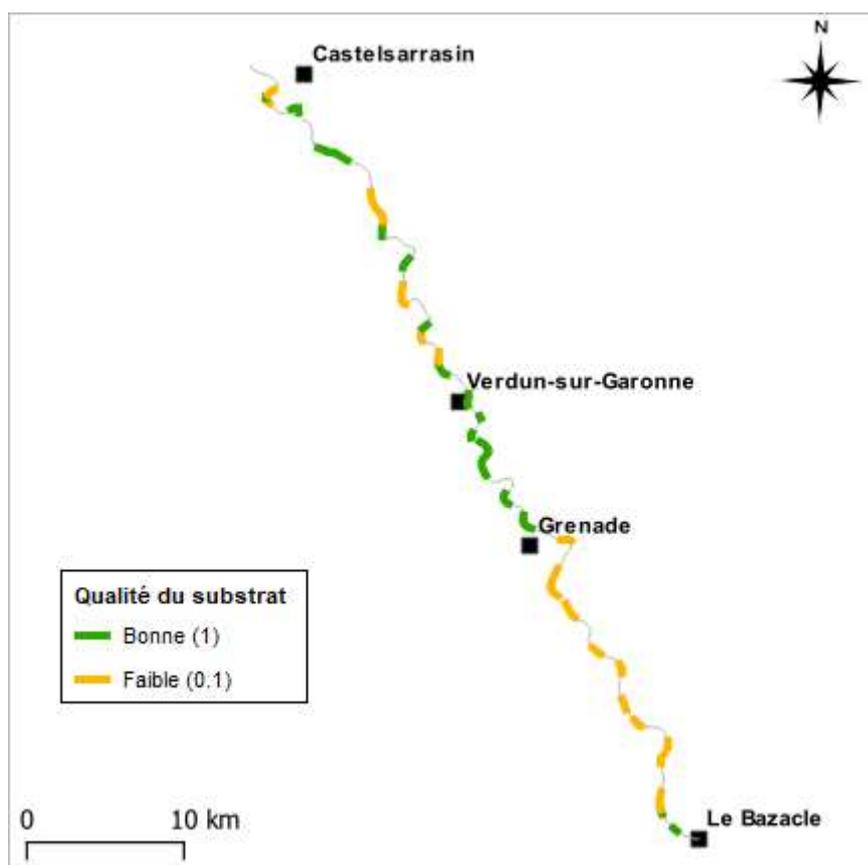


Figure 21 : Localisation des profonds de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62 en fonction de la qualité de leur substrat.

4.2.2.5. Qualité des zones de repos/refuge

➤ Qualité des zones refuge avec les 3 paramètres précédents

La majorité des profonds (60%) peuvent être qualifiés de faible (n=10) à très faible (n=14) qualité en termes de zone de repos/refuge.

Seuls 4 profonds (10%) peuvent être considérés comme des zones de refuge idéales, c'est-à-dire avec une qualité de profondeur et de substrat maximale ainsi que la présence d'abris hydrauliques. Ils sont situés autour de Verdun-sur-Garonne. 7 autres (17.5%) peuvent être considérés comme des zones de repos/refuge de bonne qualité. Enfin 5 sont considéré de qualité moyenne (12.5%).

En considérant uniquement les zones de repos/refuge de très bonne et bonne qualité (note>0.5), les 11 zones sont espacées en moyenne de 5.1 km et ne sont pas réparties de manière homogène : la distance minimale entre deux de ces profonds est de 100 m et la distance maximale de 18.5 km. Aucun profond de bonne qualité de repos/refuge n'est présent entre Grenade et le Bazacle.

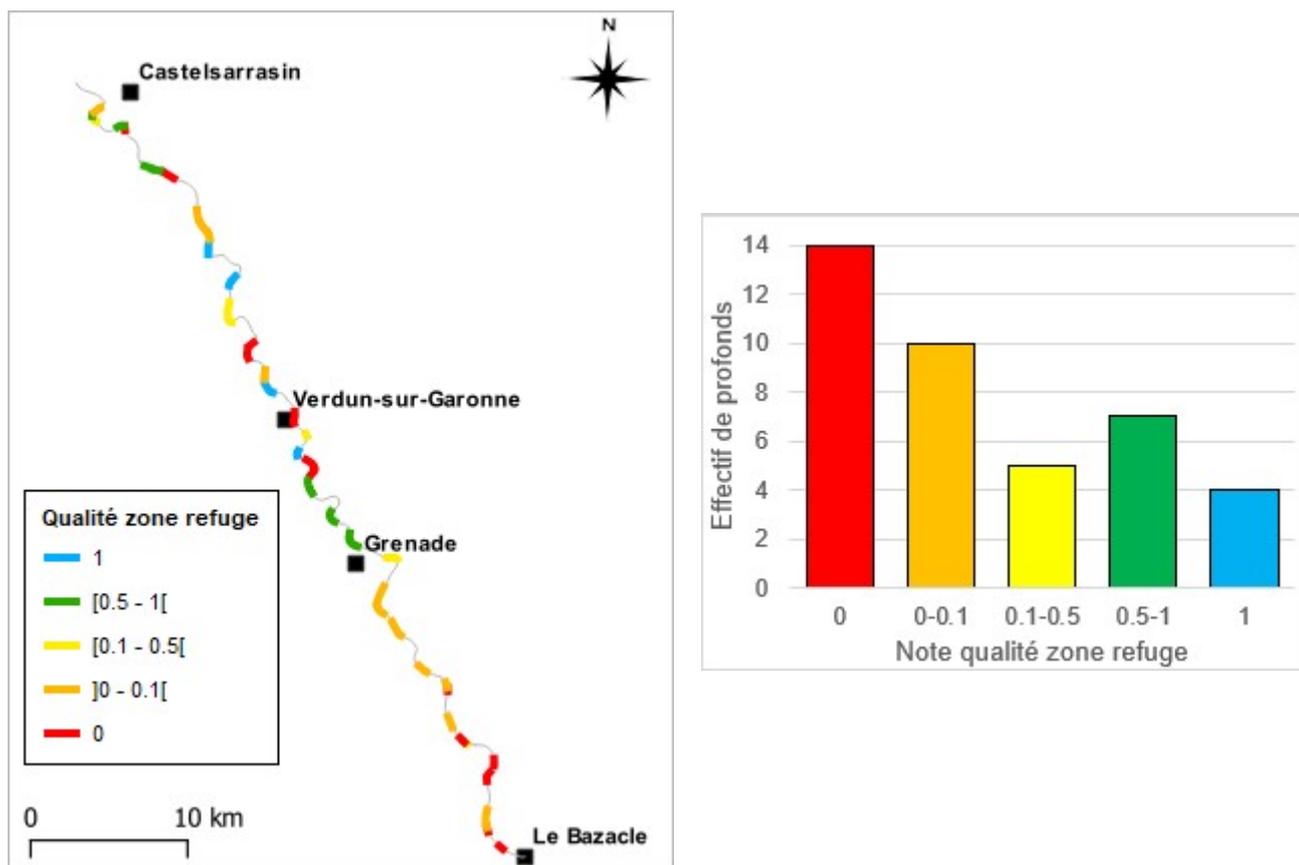


Figure 22 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité en tant que zone de repos/refuge.

➤ *Qualité des zones refuge sans prendre en compte la qualité du substrat*

En ne considérant plus l'indice de qualité du substrat, la moitié des profonds peuvent être qualifiés de bonne (n=12, 30%) à très bonne (n=8, 20%) qualité en termes de zone de repos/refuge. Ces 20 zones sont espacées en moyenne de 2.9 km (0 à 6.4 km).

14 profonds (35%) peuvent être considérés comme des zones de refuge de mauvaise qualité, et 6 (15%) de qualité moyenne.

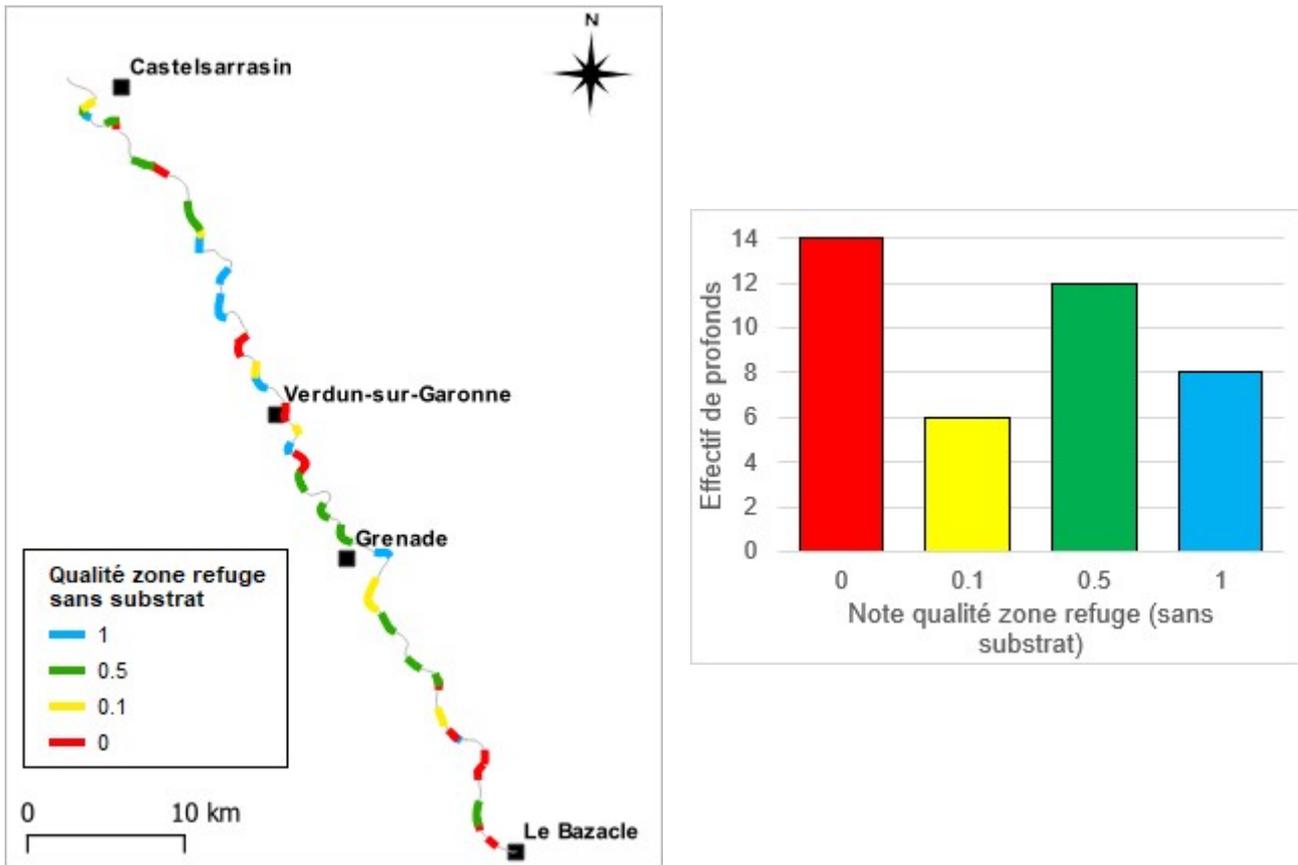


Figure 23 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité en tant que zone de repos/refuge.

4.2.3. LES SECTEUR POTENTIELLEMENT COMPLIQUÉ AU FRANCHISSEMENT

4.2.3.1. Les faciès courant sur substrat de dalle dominant

En tout, 151 faciès courant (en dehors des chenaux lotiques assimilé dans notre analyse a des profonds) représentant 60.6% du linéaire ont été identifiés. Parmi eux, 54 (35.8%) s'écoulent sur un substrat dominant de dalle, soit un linéaire cumulé de 16.0 km (21.7% du tronçon).

Les plats courants sur dalle représentent la majorité de l'effectif (n=31) et du linéaire ($l_{tot}=11.8$ km), leur longueur moyenne est de 380 m. Viennent ensuite les radiers sur dalle (n=11, $l_{tot}=2.2$ km, $l_{moy}=202$ m) et des rapides sur dalle (n=10, $l_{tot}=2.1$ km, $l_{moy}=206$ m).

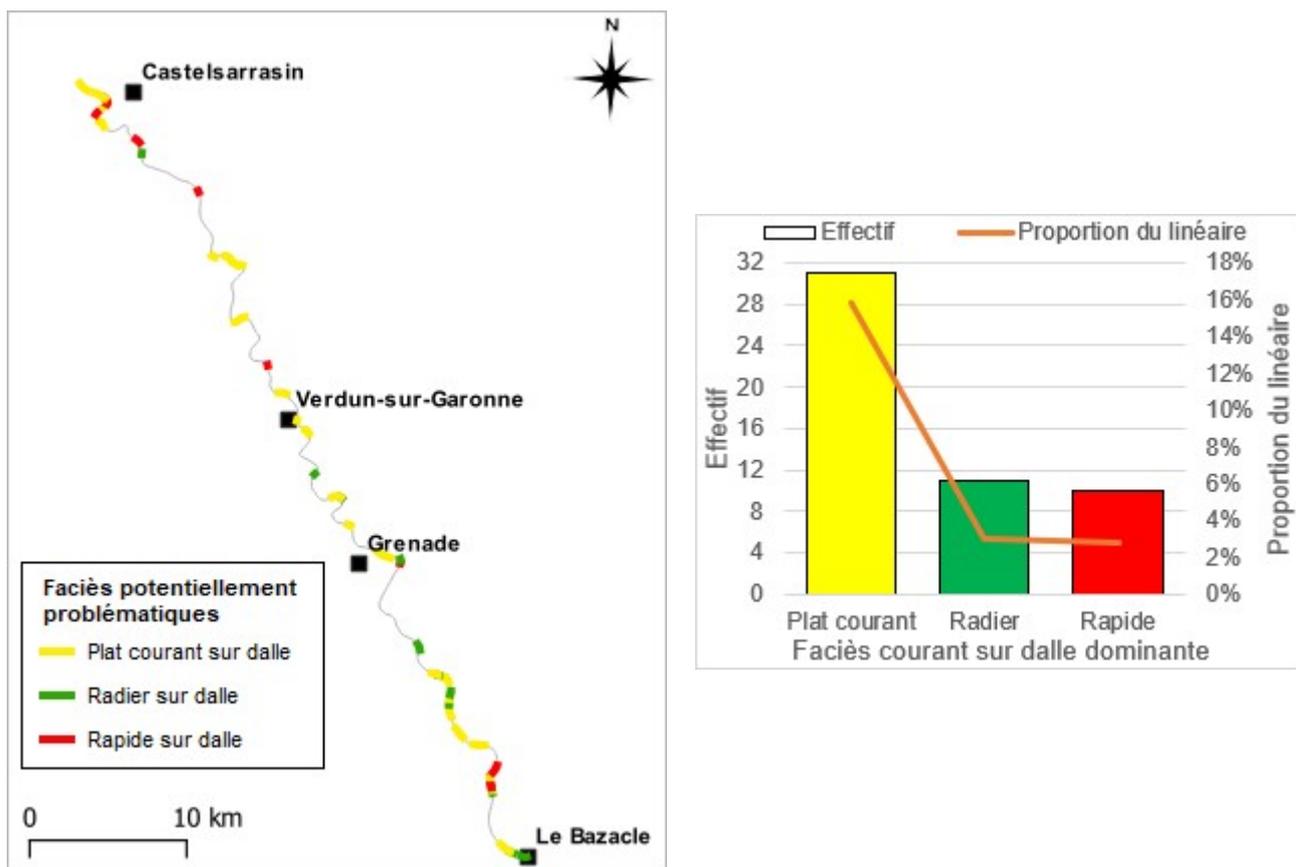


Figure 24 : Localisation et distribution des faciès courant sur substrat dominant de dalle de la Garonne entre le Bazacle et le pont de l'A62.

4.2.3.2. Les chutes

Deux chutes, créées par des affleurements de dalle qui traversent l'intégralité du lit de la Garonne, ont été recensées. D'une hauteur de 40 cm et 50 cm elle ne semblent pas poser de difficultés particulières pour le franchissement des saumons.

4.2.4. ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON MALAUSE-BAZACLE CES DERNIÈRES DÉCENNIES

4.2.4.1. Synthèse bibliographique

A partir de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, la morphologie de la moyenne Garonne Toulousaine a significativement été modifiée par les activités anthropiques (extraction de granulats en lit mineur, fixation des berges, construction de barrage hydroélectriques en amont) qui ont conduit à une incision importante du lit de la rivière.

Steiger et al. (2000) ont effectué une synthèse des données de quantification de l'incision de la Garonne sur ce tronçon depuis 1920. L'enfoncement moyen du lit est estimé à 1.6 m au cours de la période 1920-1986 (2.4 cm/an) avec une accentuation du phénomène entre 1960 et 1980 qui a conduit localement à des enfoncements du lit allant jusqu'à plus de 4 m. Cette incision a consisté dans un premier temps à l'évacuation du tapis alluvial (épaisseur estimée entre 1.5 et 3 m en moyenne en 1960), puis au surcreusement du substratum molassique. À partir des années 1990, l'incision se poursuit localement mais cette dernière reste toutefois plus modeste voire nulle notamment en raison de la fixation du profil sur le fond rocheux (Jantzy et al., 2017).

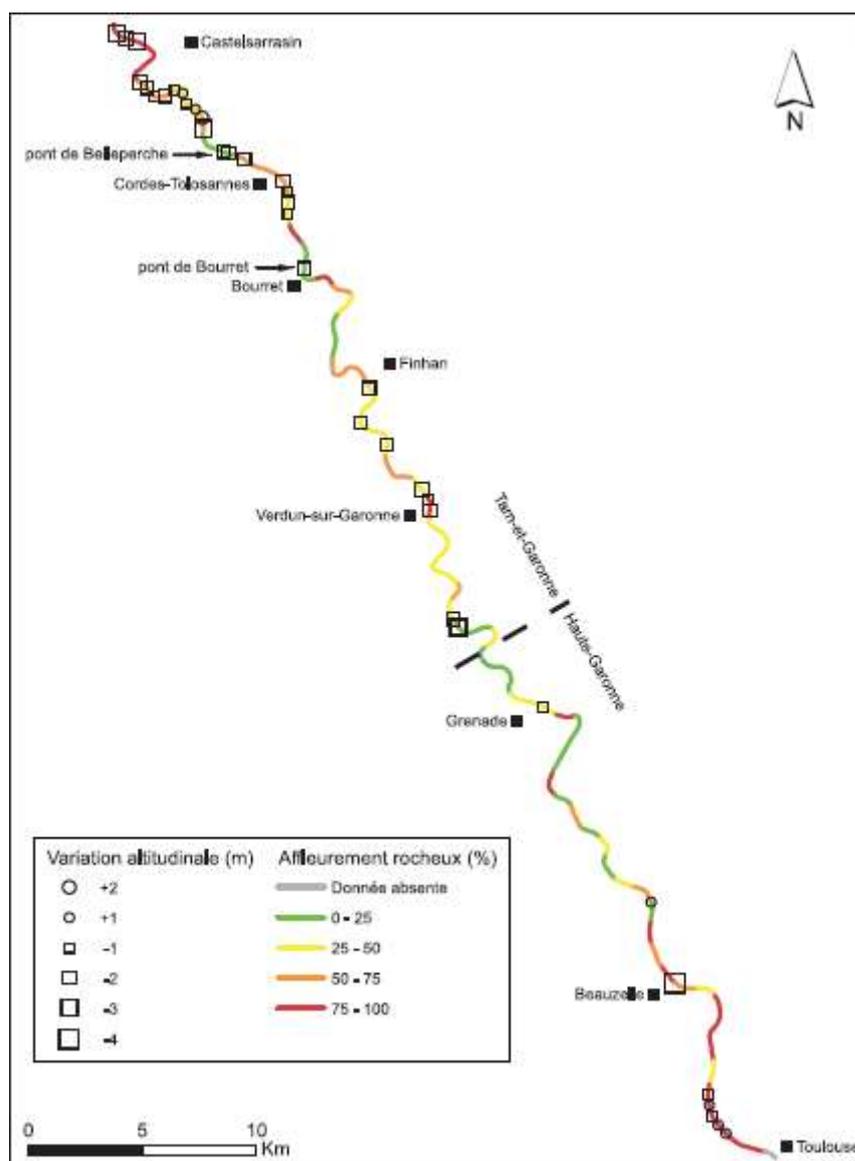


Figure 25 : Évolution verticale du fond du lit entre les années 1960 et 1980 pour différents points de la Garonne (Steiger et al., 2000) et pourcentage d'affleurement molassique par rapport à la superficie du chenal par tronçon de 1 km (Delmouly et al., 2007) (source : Jantzy et al., 2017).

L'enfoncement du lit a entraîné un décapage intégral de la charge alluviale en de multiple endroit. Globalement, pour le secteur entre la confluence avec le Tarn et Toulouse, la proportion en graviers-galets est passée de 70% dans les années 1990 (Sauvage, 1999) à 50% en 2006 (Delmouly et al., 2007 ; Figure 25).

David (2016) a étudié l'évolution morphologique de la Garonne moyenne toulousaine (de Toulouse à la confluence du Tarn) en utilisant 4 jeux de cartes géoréférencés : carte anonyme de 1868, cartes IGN des années 1940, des années 1970 et scan 25 des années 2000.

Différents indices géomorphométriques descriptif du chenal de la Garonne et des îles et bancs ont été relevés pour chaque jeu de donnée.

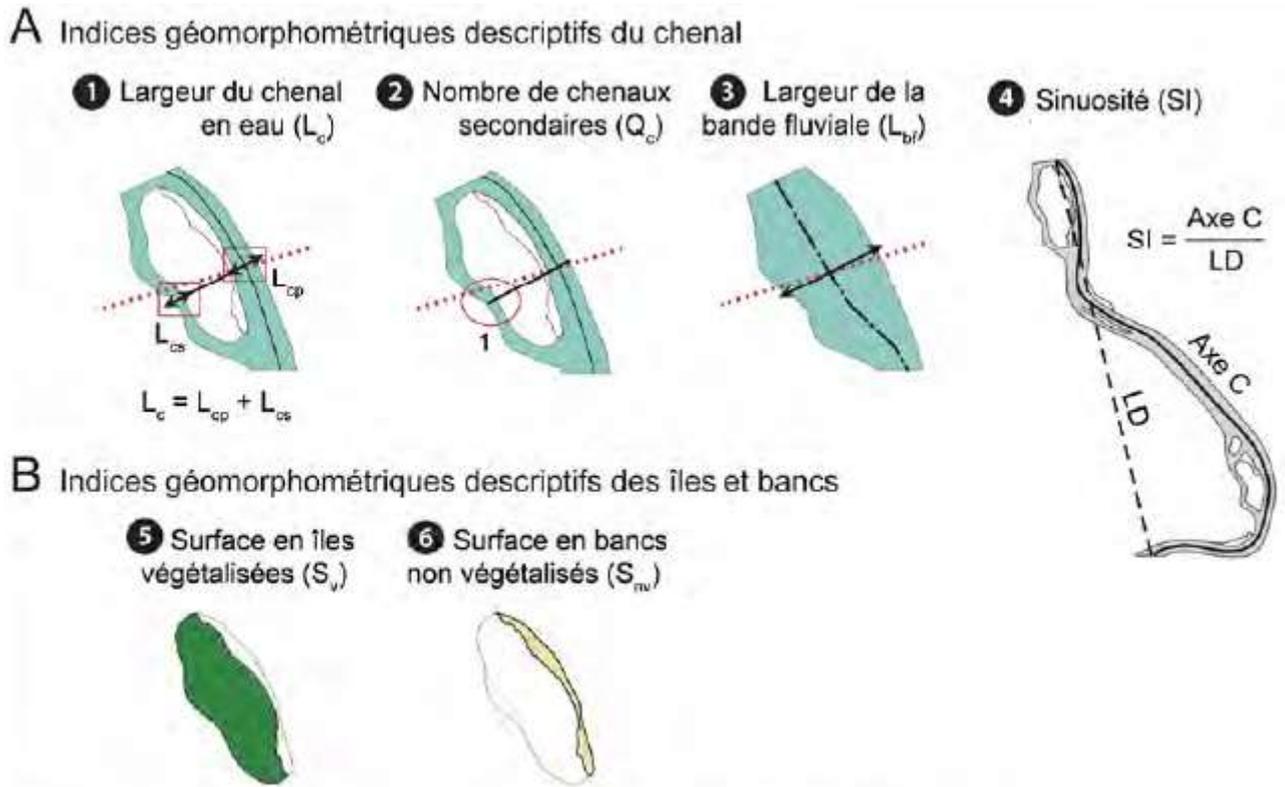


Figure 26 : Méthode de calcul des indices géomorphométriques (selon David, 2016).

A l'échelle du tronçon, l'évolution des indices liés au chenal et l'évolution des indices liés aux îles et bancs révèlent une homogénéisation des formes alluviales tout au long de la période 1868-2000.

L'indice de sinuosité a légèrement baissé (de 1.33 à 1.27), avec un rythme plus soutenu entre les années 1940 et les années 1970. Malgré ce phénomène la Garonne reste dans l'intervalle des cours d'eau à chenaux dits fortement sinueux.

Les surfaces en îles et en bancs ont connu une évolution plus significative. En 1868, les îles et les bancs couvraient des surfaces respectives de 3,7 km² et 3,0 km² (soit 21 et 17% de la bande fluviale) alors que dans les années 2000, ces surfaces n'atteignaient plus que 0,4 et 0,3 km² respectivement (6% de la bande fluviale au total). La surface totale perdue au cours de la période d'étude de 130 ans correspond à 3,3 km² pour les îles (90% de la surface initiale) et 2,6 km² pour les bancs (88% de la surface initiale). La réduction de la surface occupée par les îles a débuté dès le début de la période d'étude et a été progressive jusqu'aux années 2000. La réduction de la surface occupée par les bancs n'a débuté qu'après les années 1940 et a été particulièrement forte entre les années 1940 et les années 1970.

De plus, une réduction du nombre de chenaux secondaires et de la largeur de la bande fluviale ont également eu lieu. En effet, en 1868, 33% des transects de mesure recoupaient au moins un bras secondaire, contre seulement 8% dans les années 2000 et la bande fluviale présentait une largeur moyenne de 237 m contre seulement 137 m dans les années 2000. La largeur du chenal en eau est restée relativement stable tout au long de la période d'étude, avec une légère réduction entre 1868 et les années 1940, puis une tendance à l'élargissement à la fin de la période, probablement corrélée à la réduction des surfaces en bancs.

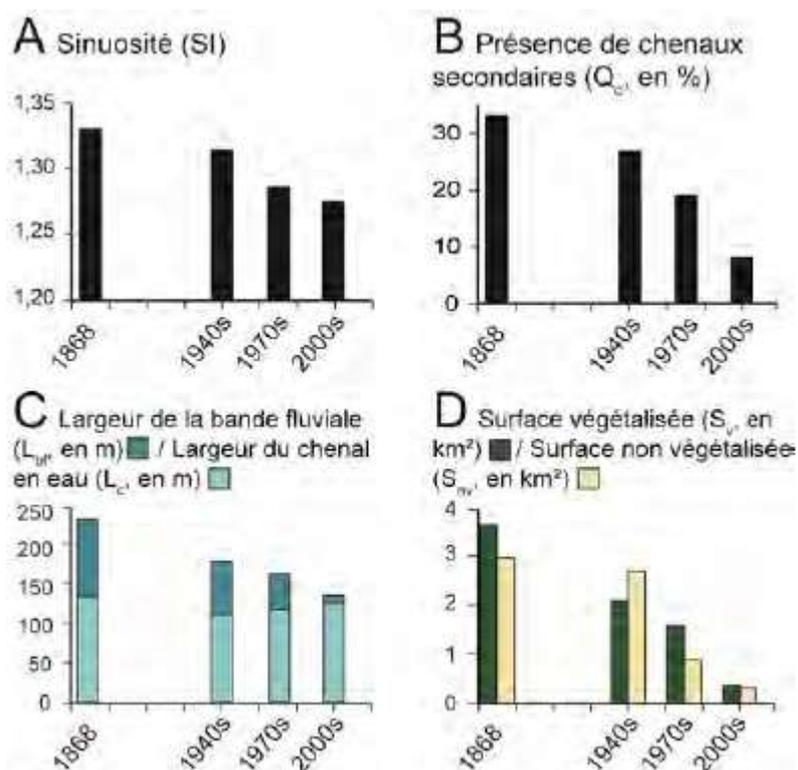


Figure 27 : Evolution de la sinuosité, de la présence de chenaux secondaires, de la largeur de la bande fluviale et des surfaces des îles et des bancs de la Garonne entre 1868 et les années 2000 (David, 2016).

Tableau 6 : Taux d'évolution des variables mesurées/calculées à l'échelle du linéaire (David, 2016).

	1868-1940	1940-1970	1970-2000	1868-2000
Taux d'évolution (valeurs brutes)				
Sinuosité (SI, SI/an)	-0,0002	-0,0010	-0,0004	-0,0004
Surface végétalisée (S_v , km ² /an)	-0,022	-0,017	-0,041	-0,025
Surface non végétalisée (S_{nv} , km ² /an)	-0,004	-0,061	-0,018	-0,020
Taux d'évolution (valeurs moyennes)				
Largeur de la bande fluviale (L_{bf} , m/an)	-0,79	-0,53	-0,90	-0,76
Largeur du chenal en eau (L_c , m/an)	-0,32	+0,23	+0,27	-0,06

4.2.4.2. Évolution de la largeur du lit des secteurs d'arrêt et de dévalaison des saumons au cours des dernières décennies

➤ Secteurs d'arrêts et de dévalaison des saumons :

Les données de dévalaison et d'arrêt des saumons des études de radiopistage de 2002 à 2004 ont été récupérées et traitées.

L'analyse porte sur 45 dévalaisons effectuées par 31 individus. Elle exclue les dévalaisons générées par le blocage des individus en aval de l'ouvrage du Bazacle. 21 de ces 45 dévalaisons ont été définitives, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas été suivies d'une action de montaison. Les amplitudes estimées de ces dévalaisons vont de 1.8 à 58.6 km pour une médiane de 6.8 km.

Les arrêts d'une durée estimée à plus de 3 jours ont également été étudiés. L'analyse porte sur 46 arrêts, effectués par 33 saumons, dont 10 ont été définitifs (pas de reprise de la migration), d'une

durée moyenne comprise entre 3.1 et 95.5 jours pour une médiane de 10.3 jours. Les arrêts générés par l'ouvrage du Bazacle n'ont pas été pris en compte.

Le tronçon de la Garonne du pont de l'A62 au barrage du Bazacle a été découpé en sous-tronçon de 5 km, et les arrêts et dévalaison qui ont eu lieu dans chaque sous-tronçon ont été dénombrés.

Les proportions d'arrêts et de dévalaison sont les plus importants dans les 15 premiers kilomètres en amont de la retenue de Malause. En effet, c'est dans ces 15 km que 58.7% des arrêts et 48.9% des dévalaisons ont été constatées.

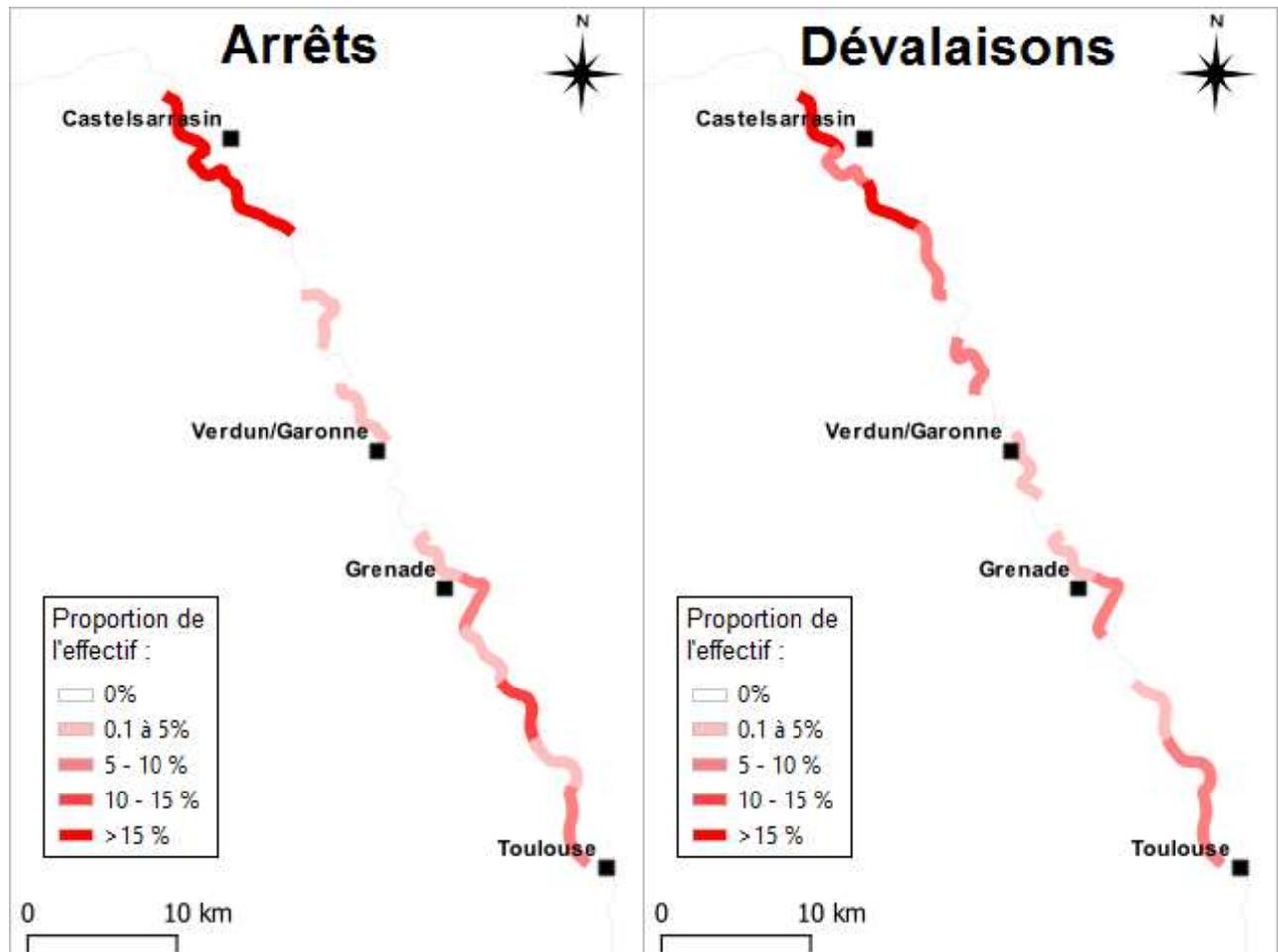


Figure 28 : Proportion de l'effectif de saumon ayant effectué un arrêt ou une dévalaison par tronçon de 5 km entre le pont de l'A62 et le Bazacle.

Les 15 derniers kilomètres du tronçon ont également vu de nombreux arrêts (21.7% des arrêts) et dévalaison (20% des dévalaisons).

➤ *Évolution de la largeur et du débit unitaire des principaux secteurs d'arrêt et de dévalaison :*

La comparaison de la bande active de la partie aval du tronçon ont été réalisées avec les ortho-photos de l'IGN de 1947 et de 2018. Pour la partie amont ce sont les ortho-photos de l'IGN de 1946 et de 2018 qui ont été utilisées.

Après avoir détourné la surface de la bande active de la Garonne pour les différentes campagnes de l'IGN, des mesures de la largeur de cette bande ont été effectuées à intervalles réguliers pour les deux secteurs.

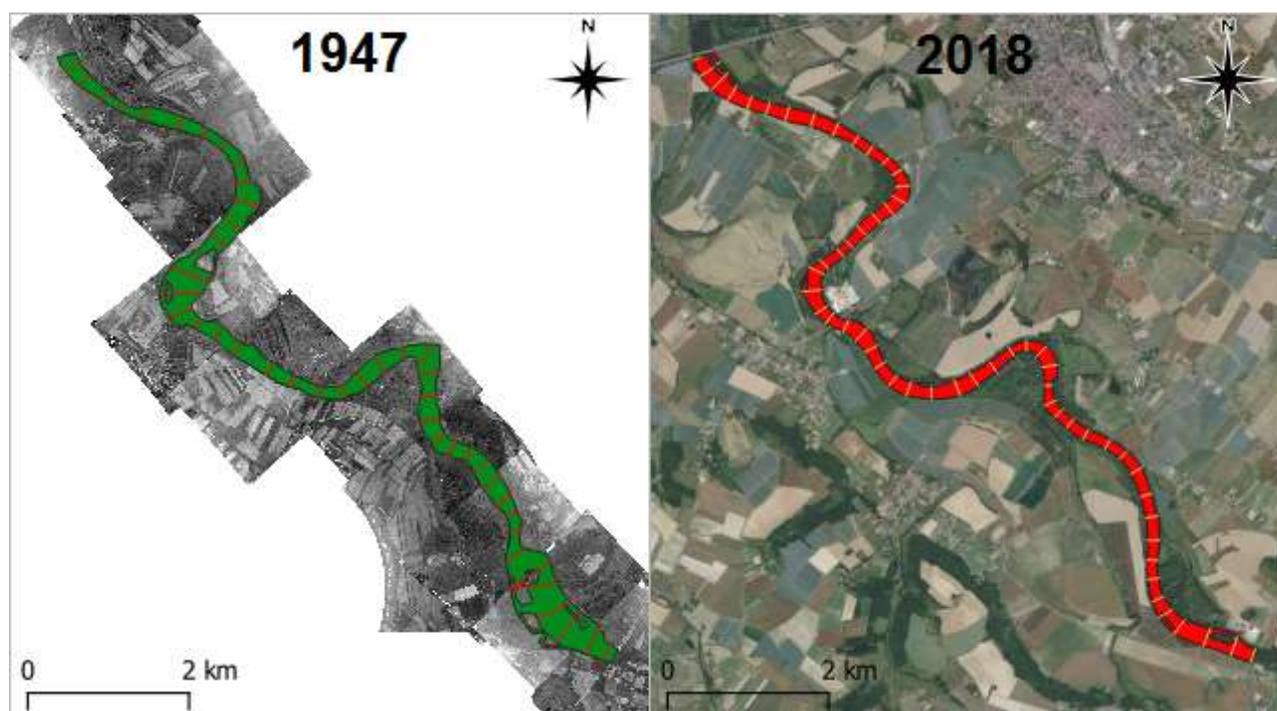


Figure 29 : Evolution de la bande active de la Garonne entre 1947 et 2018 entre le pont de l'A62 et le pont de Belleperche.

En 1947, la largeur moyenne de la bande active de la Garonne des 10 km aval du tronçon Malause-Bazacle était de 170 m, en 2018 elle n'était plus que de 114 m, soit une réduction de 56 m (-33.1%).

En 1946, la largeur moyenne de la bande active de la Garonne des 16 km amont du tronçon Malause-Bazacle était de 167 m, en 2018 elle n'était plus que de 133 m, soit une réduction de 34 m (-20.3%).

Le débit unitaire (débit par mètre de largeur) médian de la partie aval du tronçon Malause-Bazacle est passé de 1.25 m³/s/m en 1947 à 1.95 m³/m (en considérant que la totalité de la bande active est mise en eau pour ce débit), soit une augmentation de 56%. Pour les débits les plus forts (Q90), le débit unitaire passe de 2.60 à 4.07 m³/s/m.

Tableau 7 : Evolution du débit unitaire de la partie aval du tronçon de la Garonne entre le pont de l'A62 et le Bazacle entre 1947 et 2018.

Débit unitaire 1947	Avril	Mai	Juin	Avril-Juin	Débit unitaire 2018	Avril	Mai	Juin	Avril-Juin
Q50	1.93	1.26	0.60	1.25	Q50	3.01	1.98	0.94	1.95
Q75	2.33	1.83	0.80	1.91	Q75	3.65	2.86	1.25	2.98
Q90	2.77	2.79	1.23	2.60	Q90	4.33	4.36	1.92	4.07

Pour la partie amont du tronçon, le débit unitaire médian a augmenté de 25.6%, passant de 1.27 m³/s/m à 1.59 m³/m. Pour les débits les plus forts (Q90), il est passé de 2.65 à 3.32 m³/s/m.

Tableau 8 : Evolution du débit unitaire de la partie amont du tronçon de la Garonne entre le pont de l'A62 et le Bazacle entre 1947 et 2018.

Débit unitaire 1946	Avril	Mai	Juin	Avril-Juin	Débit unitaire 2018	Avril	Mai	Juin	Avril-Juin
Q50	1.96	1.29	0.61	1.27	Q50	2.46	1.62	0.76	1.59
Q75	2.37	1.87	0.81	1.94	Q75	2.98	2.34	1.02	2.44
Q90	2.82	2.84	1.25	2.65	Q90	3.54	3.56	1.57	3.32

5. DISCUSSION - CONCLUSION

Le tronçon de la Garonne situé entre la fin de la retenue de Malause et l'ouvrage du Bazacle a subi de profondes modifications morphologiques au cours du XX^{ème} siècle. Ainsi, entre le début du 20^{ème} siècle, période où le saumon fréquentait encore potentiellement naturellement le fleuve, et la période actuelle, où un programme de réintroduction de l'espèce est en cours, le lit de la Garonne s'est incisé en moyenne de plus de 1.6 m. Ce phénomène peut être directement relié aux extractions de granulats (1960-1985), aux travaux de stabilisation des berges (enrochement, épis, suppression de méandre, 1960-1984) et à la construction de nombreux barrage pour la production d'hydroélectricité qui ont bloqué le flux sédimentaire provenant de l'amont (principalement de 1940 à 1965). Il en résulte une légère baisse de la sinuosité du lit, une rétraction de la bande alluviale, une baisse importante de la surface des îles et des bancs alluviaux, et une occupation de 50% du lit mineur par des affleurements molassiques.

Ces importantes modifications morphologiques questionnent les conditions de migration des saumons, d'autant que le taux de transfert des poissons entre l'aval et l'amont de ce tronçon est faible (de l'ordre de 30% entre Golfech et le Bazacle). Des questions se posent 1) sur les habitats utilisables par le saumon pour se reposer lors de sa migration ou se réfugier lors des crues et 2) sur la présence de secteur difficilement franchissable.

Les investigations de terrain ont mis en évidence que 32% du linéaire de la Garonne entre Malause et le Bazacle est constitué de faciès profonds, potentiellement utilisables par les saumons pour se reposer lors de leur migration ou se réfugier lors des pics de crues. Une tentative d'évaluation de la qualité de ces profonds en tant que zone de repos/refuge a été réalisée en croisant leurs caractéristiques de profondeur (profondeur moyenne, profondeur maximale), la présence ou l'absence de gros abris hydrauliques et la prédominance de la dalle. Il en résulte que seuls 33% de ces profonds peuvent être considérés comme des zones de repos/refuge de bonne qualité. En moyenne, le tronçon dispose de 11 zones de bonne qualité qui sont espacées de 5.4 km. Elles sont inégalement réparties sur le linéaire avec aucune zone dans la partie amont du tronçon.

Il y a malheureusement peu de connaissances sur les caractéristiques d'un tronçon « fonctionnel » pour la migration des saumons. Ainsi il est difficile de savoir si la densité et la qualité des zones de repos/refuge de ce tronçon de la Garonne sont suffisantes ou limitantes pour assurer un transit « normal » des poissons.

La reconnaissance du tronçon a aussi permis de valider le fait qu'aucun obstacle naturel, lié à l'apparition d'affleurement de dalle en travers du lit de la Garonne, n'est potentiellement infranchissable pour les saumons. Par contre, il a été mis en évidence d'importants linéaires de faciès courant où l'eau s'écoule sur le substratum molassique (13.3 km, soit 20.6% du linéaire reconnu). Bien que ces zones ne soient pas infranchissables du point de vue des capacités de nage des saumons, l'accumulation de secteurs s'écoulant sur un substrat plutôt lisse doit engendrer des efforts plus importants pour les poissons lors de leur franchissement. Des auteurs ont également mis en évidence que des comportements à priori anormaux pour un poisson qui cherche à remonter un cours d'eau, c'est-à-dire des dévalaisons de plusieurs kilomètres, ont lieu plus fréquemment dans les secteurs à forte dominance de dalle.

Enfin il faut aussi prendre en compte que les évolutions de la morphologie du tronçon ces dernières décennies le rendent potentiellement plus énergivore pour les saumons, avec une diminution de la rugosité générale du fond (affleurement de dalle, disparition d'îles et de bancs, disparition de méandres) et une augmentation du débit unitaire liée à la contraction du lit du fleuve.

Tous ces paramètres font se poser des questions quant aux capacités des saumons à franchir ce secteur sachant qu'ils ont déjà dépensé une partie de l'unique stock d'énergie dont ils disposent pour arriver jusqu'à Golfech et franchir l'ouvrage, et que les zones de repos de qualité du tronçon peuvent parfois être relativement espacées.

Ce travail permet de disposer d'une cartographie précise des zones de repos et des secteurs potentiellement problématiques aux franchissements du tronçon de la Garonne entre Malause et le

Bazacle. Il peut permettre d'orienter les futurs opérateurs des suivis comportementaux des saumons à orienter leurs suivis s'ils décident d'étudier l'utilisation des zones de repos par les poissons ou l'effet des faciès courant sur affleurements de dalle.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Bardonnnet, A., Baglinière, J.-L., 2000. Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57, 497–506. <https://doi.org/10.1139/f99-226>
- Bau, F., Breinig, T., Jourdan, H., Croze, O., 2005. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en amont de Golfech. Deuxième campagne (suivi 2003) (No. RA05.01). GHAAPPE.
- Bau, F., Croze, O., Delmouly, L., Moreau, N., Alesina, R., 2007. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en aval & en amont de Golfech. Quatrième campagne (suivi 2005) (No. RA07.03). GHAAPPE.
- Bau, F., Moreau, N., Croze, O., Breinig, T., Jourdan, H., 2006. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en amont de Golfech. Troisième campagne (suivi 2004) (No. RA06.03). GHAAPPE.
- Cailleux, A., n.d. Limites dimensionnelles et noms des fractions granulométriques.
- Cohendet, F., 1993. Le saumon de l'Allier. Ecole National Vétérinaire de Toulouse.
- Courret, D., Tomanova, S., Carry, L., Bosc, S., 2020. Bilan des connaissances sur l'efficacité des dispositifs des franchissement de Golfech, du Bazacle et du Ramier sur la Garonne pour le saumon atlantique et sur le taux de transfert entre Golfech et le Bazacle. OFB et MIGADO.
- Crisp, D.T., 1993. The environmental requirements of salmon and trout in fresh water. *Freshwater Forum* 3, 176–202.
- Croze, O., Bau, F., Breinig, T., 2004. Suivi par radiopistage de la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne en amont de Golfech. Première campagne (suivi 2002) (No. RA04.06). GHAAPPE.
- David, M., 2016. Dynamique fluviale de la Garonne à l'anthropocène: trajectoire d'évolution du tronçon fluvial compris entre les confluences de l'Ariège et du Tarn (Garonne toulousaine, 90 km). Université Toulouse le Mirail, Toulouse.
- Delmouly, L., Croze, O., Bau, F., Moreau, N., 2007. Etude de la franchissabilité de l'aménagement hydroélectrique de Golfech/Malause par le saumon atlantique : Suivi 2006 et synthèse 2005-2006 (No. RA07.07). GHAAPPE.
- Delmouly, L., Moreau, N., Croze, O., Le Barh, R., 2007. Cartographie du substrat de la garonne (de la retenue de St-Nicols-de-la-Grave à Toulouse) et influence sur le comportement de saumons atlantiques en remontée (No. GHAAPPE RA07.05).
- Gueguen, J., Prouzet, P., 1994. Le saumon atlantique. IFREMER.
- Jantzi, H., Carozza, J.-M., Probst, J.-L., Valette, P., 2017. Ajustements géomorphologiques du chenal de la moyenne Garonne en aval de Toulouse au cours des 200 dernières années (sud-ouest, France). *geomorphologie* 23. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11692>
- Malavoi, J.R., Souchon, Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 357–372. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002040>
- Sauvage, S., 1999. Modélisation hydrobiogéochimique de la Garonne à l'étiage estival : cas de l'azote entre Toulouse et Agen (120 kilomètres). Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse.
- Steiger, J., Corenblit, D., 2000. Dynamique fluviale de la Garonne toulousaine., Les études de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Agence de l'eau Adour-Garonne.

Les données figurant dans ce document ne pourront être exploitées de quelque manière que ce soit, sans l'autorisation écrite préalable de MI.GA.DO. et de ses partenaires financiers.

Opération financée par :



Autres partenaires :



Association MIGADO

18 ter rue de la Garonne - 47520 LE PASSAGE D'AGEN - Tel : 05 53 87 72 42 - mail : contact@migado.fr

www.migado.fr

