

Etude des conditions de migration des saumons atlantiques sur la Garonne entre l'aval de Golfech et l'amont du Bazacle

Année 2022

L.Carry, S.Gracia, O.Menchi, M.Lefèvre, S. Bosc, ECOGEA



M I G A D O

Etude des conditions de migration du saumon atlantique sur la Garonne

MPESG22

- **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 2022

Remerciements :

Les équipes de MIGADO et d'ECOGEA tiennent à remercier ici :

- l'ensemble du personnel EDF de l'usine de Golfech, en particulier Christophe Moretti (cadre d'exploitation) et le chef d'usine Jean-Christophe Magne, pour avoir contribué au bon déroulement de l'étude,
- Vincent Mataix (EDF CIH Toulouse), pour sa participation au Copil Technique et ses conseils avisés.
- Romain Roy et Eric de Oliveira (EDF R&D) pour leur participation au Copil technique et leur analyse technique
- le pôle d'Ecohydraulique - OFB de Toulouse (Dominique Courret, Sylvie Tomanova, Olivier Mercier) pour nous avoir prêté le matériel supplémentaire nécessaire au bon déroulement de cette étude, pour l'installation d'une station fixe radio dans les locaux de Toulouse et pour leur participation au Copil technique et leur analyse technique permettant d'optimiser au mieux les résultats de cette étude.
- Les financeurs de cette étude : l'Agence de l'Eau Adour Garonne, La DREAL Occitanie et EDF Hydro Sud Ouest.

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
3.2.1.4	La rivière de contournement de Malause.....	21
3.3	Aménagements hydroélectriques du secteur de Toulouse	22
3.3.1	Chaussée du Bazacle (RD+RG)	22
3.3.1.1	Passes à poissons	23
3.3.1.2	Dévalaison	25
3.3.2	Aménagement hydroélectrique du Ramier.....	25
3.3.2.1	Passes à poissons	27
3.3.2.2	Dévalaison	28
3.3.1	Aménagement hydroélectrique de la Cavaletade.....	28
3.3.1.1	Passes à poissons	28
3.3.1.2	Dévalaison	29
4.	MATERIEL ET METHODE.....	30
4.1	La période d'étude	30
4.2	Le matériel biologique	30
4.2.1	Piégeage du matériel biologique.....	30
4.2.2	Modalités de marquage, de stabulation et de lâcher	30
4.2.2.1	Anesthésie.....	30
4.2.2.2	Biométrie et prélèvements	31
4.2.2.3	Marquage :.....	31
4.2.2.4	Mise en poche et transport pour lâcher	33
4.2.2.5	Hygiène :	34
4.3	Les conditions environnementales au cours de la période d'étude	34
4.3.1	Les débits.....	34
4.3.2	Débits et fonctionnement des ouvrages suivis.....	34
4.3.2.1	Malause-Golfech	34
4.3.2.2	Bazacle	35
4.3.3	La température.....	35
4.4	Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de télémétrie acoustique..	35
4.4.1	Principe.....	35
4.4.2	Matériel utilisé	36
4.4.2.1	Emetteurs.....	36
4.4.2.2	Hydrophones.....	37
4.4.2.3	Déchargements des hydrophones	38
4.4.3	Localisation des zones de suivis	39
4.5	Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de radiotélémétrie	41
4.5.1	Principe.....	41
4.5.2	Matériel utilisé	41
4.5.2.1	Emetteurs.....	41
4.5.2.2	Stations d'enregistrement	42
4.5.3	Localisation des zones de détection.....	43

4.6	Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technologie RFID	48
4.6.1	Principe.....	48
4.6.2	Equipement des sites	49
4.6.2.1	Ouvrage de Golfech.....	49
4.6.2.2	Ouvrage du Bazacle.....	50
4.7	Suivi mobile des déplacements de poissons.....	52
5.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'ETUDE	54
5.1	Débits.....	54
5.2	Analyse de l'année 2022 par rapport aux chroniques historiques	57
5.3	Température de l'eau	59
6.	RESULTATS AUX STATIONS DE CONTROLE ET PIEGEAGE.....	59
6.1	Station de contrôle de Golfech	59
6.1.1	Fonctionnement de l'ascenseur à poissons de Golfech	59
6.1.2	Le saumon atlantique	60
6.1.2.1	Comportement dans le système de franchissement	61
6.1.3	Le silure	62
6.1.4	Comportement des silures dans le canal de transfert et prédation :.....	63
6.2	Station de contrôle du Bazacle.....	64
6.3	Données du piégeage	66
7.	RESULTATS CONCERNANT LE SUIVI PAR TELEMETRIE.....	68
7.1	Devenir des 26 saumons marqués.....	69
7.2	Comportement des saumons au niveau du complexe Golfech-Malause.....	73
7.2.1	Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech	73
7.2.2	Incursions dans le tronçon court-circuité de Malause-Golfech.....	76
7.2.3	Incursions dans le canal de fuite de l'usine de Golfech.....	76
7.2.4	Résultats du suivi prédation (pour les poissons n'ayant pas atteint l'ouvrage de Golfech)...	79
7.2.5	Détections des poissons en aval proche de l'ascenseur à poissons	81
7.2.6	Temps de blocage à l'aval de l'ascenseur de Golfech	82
7.2.7	Détections des poissons au niveau des deux entrées de l'ascenseur à poissons.....	83
7.2.7.1	Analyses des détections radio.....	83
7.2.7.2	Analyses des détections acoustiques.....	89
7.2.7.3	Analyses des détections RFID.....	90
7.2.7.4	Analyse des cycles de l'ascenseur	95
7.2.8	Résultats du suivi prédation (pour les poissons ayant atteint l'ouvrage de Golfech)	96
7.2.9	Comportement des poissons suivis en amont de l'ASP (canal de transfert et canal d'amenée) 97	
7.2.10	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison - zoom sur le canal d'amenée 98	
7.3	Comportement des saumons entre Malause et Toulouse	102
7.3.1	Comportement général.....	102
7.4	Comportement des saumons au niveau du Bazacle.....	104
7.4.1	Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique du Bazacle.....	104
7.4.2	Comportement général des saumons au niveau du Bazacle.....	106
7.4.3	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison au Bazacle.....	107
7.4.4	Résultats du suivi prédation (pour les poissons ayant atteint l'ouvrage du Bazacle)	112
7.5	Synthèse globale du suivi des saumons avec et sans tag prédation.....	114
8.	Discussion / Conclusion / PERSPECTIVES	116
9.	Bibliographie.....	118
10.	Annexes.....	120

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 Carbone).....	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 : Plan technique du dispositif de franchissement mis en place (EDF, Thomas PIQUET, 2022)	21
Figure 6 : Schéma d'implantation de la passe à bassins et de la passe à ralentisseurs du Bazacle (d'après DARTIGUELONGUE, 2019)	24
Figure 7 : Vue aérienne globale des deux bras de la Garonne à Toulouse et localisation des différents aménagements hydroélectriques.....	26
Figure 8 : Schéma de la passe à bassins de la centrale du Ramier.....	27
Figure 9 : Schéma d'implantation de la centrale de la Cavaletade (source : Vinci).....	28
Figure 10 : Principe de la télémétrie acoustique	36
Figure 11 : Schéma des différentes zones de suivis en amont et en aval du barrage de Golfech.....	39
Figure 12 : Principe du radiopistage en milieu aquatique (d'après BARAS et CHERRY, 1990).	41
Figure 13 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site de Golfech	44
Figure 14 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site du Bazacle.....	46
Figure 15 : Principe de fonctionnement du système RFID de CIPAM	48
Figure 16 : Schéma de l'implantation des antennes RFID dans l'enceinte de l'ascenseur de Golfech	50
Figure 17 : zoom sur l'entrée de la passe à bassins du Bazacle	51
Figure 18 : 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)	53
Figure 19 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Lamagistère (chronique de 1966 à 2022).....	54
Figure 20 : Débits moyens journaliers de la Garonne et du Tarn pendant la période d'étude	55
Figure 21 : Débits classés de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude	56
Figure 22 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude	56
Figure 23 : Débits classés du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude.....	57
Figure 24 : Comparaison des débits de la Garonne à Lamagistère depuis 1967.....	58
Figure 25 : Hydrologie et thermie de la Garonne au cours du suivi 2022.....	59
Figure 26 : Répartition du temps de fonctionnement et des causes d'arrêt de l'ASP en 2022 (en %)	60
Figure 27 : Fonctionnement de l'ASP et contrôle de saumons en fonction du débit de la Garonne ...	60
Figure 28 : Comparaison du temps de transit des saumons dans le canal de transfert en fonction de la période d'arrivée dans le système (jour/nuit)	62
Figure 29 : Evolution des passages de silures à Golfech en 2022	62
Figure 30 : Pourcentages cumulés des effectifs de saumons et de silures par semaine pour l'année 2022.....	63

Figure 31 : Nombre d'aller-retour par silures dans le canal de transfert mis en corrélation avec les passages de silures et de saumons en 2022	63
Figure 32 : Effectifs cumulés de saumons Atlantique contrôlés aux stations de Golfech et du Bazacle	65
Figure 33 : Comparaison de la répartition hebdomadaire des passages de saumons à Golfech, à Malause et au Bazacle avec la répartition des piégeages/marquages pour le suivi télémétrique.....	66
Figure 34 : Répartition des franchissements et des piégeage/marquages à Golfech, ainsi que des franchissements au Bazacle en fonction des débits de la Garonne	67
Figure 35 : 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.)	68
Figure 36 : Cartographie des différents secteurs et les différents codes utilisés dans l'analyse du devenir des individus marqués (points kilométrique)	69
Figure 37 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en amont du complexe Malause-Golfech.....	71
Figure 38 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en aval du complexe Malause-Golfech	72
Figure 39 : Fonctionnement des 3 groupes de l'usine hydroélectrique de Golfech durant la saison de migration 2022	73
Figure 40 : Répartition des configurations d'usine à Golfech en fonction du nombre de groupes en fonctionnement	73
Figure 41 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés à Golfech	74
Figure 42 : Représentation des jours de déversement au barrage de Malause	75
Figure 43 : Horaires d'entrée et de sortie des poissons suivis dans le canal de fuite	78
Figure 44 : Répartition des durées d'incursion (délai entrée-sortie)	78
Figure 45 : Comparaison des débits dans le canal de fuite lors des incursions dans le canal et répartition de ces débits sur l'intégralité du suivi.....	79
Figure 46 : 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..	84
Figure 47 : Comparaison du nombre de détections au niveau de l'entrée 2 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	86
Figure 48 : Hauteurs de chute aux deux entrées de l'ASP en fonction du débit turbiné à Golfech	87
Figure 49 : 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.....	88
Figure 50 : Hauteurs de chute moyennes enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors des enregistrements à l'antenne RFID GO20000	88
Figures 51 : Détections des saumons aux antennes radio et RFID de l'ASP de Golfech pour les individus ayant franchi l'aménagement	94
Figure 52 : Nombre de cycles quotidien effectués par l'ascenseur de Golfech lors de la saison de migration 2022	95
Figure 53 : Temps de parcours dans le canal d'amenée en fonction du débit turbiné	99
Figure 54 : Vitesses de nage pour chaque SAT entre deux stations de réception acoustique (calculés à partir de la dernière détection aval et de la première détection amont).....	100
Figure 55 : Vitesses de nage des saumons marqués en fonction du débit turbiné dans chaque section du canal d'amenée	100

Figure 56 : Répartition des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée.....	101
Figure 57 : Proportion des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée.....	101
Figure 58 : 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 suivis en 2022. Comparaison à l'ensemble des données depuis 2020.	103
Figure 59 : Rythme de migration entre la retenue de Malause et l'aménagement du Bazacle et étapes intermédiaires (Belleperche et Grenade/Garonne)	103
Figure 60 : Fonctionnement des 7 groupes de l'usine hydroélectrique du Bazacle durant la saison de migration 2022.....	104
Figure 61 : Répartition des configurations d'usine au Bazacle en fonction du nombre de groupes en fonctionnement.....	104
Figure 62 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés au Bazacle	105
Figure 63 : Représentation des jours de déversement au barrage du Bazacle.....	105
Figure 64 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus ayant franchi l'aménagement.....	108
Figure 65 : Détections des saumons aux antennes RFID du Bazacle en fonction du débit de la Garonne et de la hauteur de chute à l'entrée de la passe à bassins pour les individus ayant franchi l'aménagement.....	109
Figure 66 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus n'ayant pas franchi l'aménagement	111
Figure 67 : Chronologie des évènements de suivi liés au saumon 48501_04.....	112
Figure 68 : Chronologie des évènements de suivi liés au saumon 48501_09.....	113

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des transmetteurs V5D (données fabricant).....	36
Tableau 2 : Caractéristiques des transmetteurs V5-2H (données fabricant).....	37
Tableau 3 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés	42
Tableau 4 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation.....	50
Tableau 5 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation.....	52
Tableau 6 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude.....	54
Tableau 7 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude	54
Tableau 8 : Coefficients d'hydraulicité du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude	55
Tableau 9 : Bilan historique des effectifs de saumons Atlantique contrôlés à Golfech depuis 1993... 61	
Tableau 10 : Caractéristiques des 8 silures extraits du canal de transfert lors des vidanges effectuées en 2022	64
Tableau 11 : Evolution du taux de transfert des saumons sur la Garonne entre Golfech et le Bazacle entre 1994 et 2022.....	65
Tableau 12 : Synthèse des poissons piégés et marqués à Golfech au cours du suivi 2022.....	68
Tableau 13 : Détails des détections des poissons marqués en aval de l'aménagement de Golfech..	70
Tableau 14 : Répartition horaires des 8 configurations d'usine rencontrées entre le 1 ^{er} mars et le 30 juin 2022	74
Tableau 15 : Récapitulatif des incursions réalisées par les poissons marqués dans le canal de fuite de l'usine de Golfech.....	77
Tableau 16 : Détails des prédatons concernant les individus n'ayant pas repris de migration vers l'amont.....	80
Tableau 17 : Détails des configurations d'usine lors des différentes incursions de saumons marqués au pied de l'usine de Golfech.....	81
Tableau 18 : Détails des délais de présentation à l'ASP après le lâcher de chaque poisson et temps de blocage en aval de celui-ci.....	83
Tableau 19 : Détails des détections radio à l'entrée 1 et à l'entrée 2 de l'ascenseur en fonction des configurations d'usine	84
Tableau 20 : Détails de la répartition des détections radio lorsque le G3 fonctionne et lorsqu'il est à l'arrêt	85
Tableau 21 : Comparaison des temps de détection entre les antennes radio et les hydrophones acoustiques aux entrées 1 et 2 de l'ascenseur.....	89
Tableau 22 : Nombre de détections brutes* à chaque antenne RFID au niveau de l'ASP.....	90
Tableau 23 : Détails des différentes incursions de saumons marqués au niveau des antennes RFID des entrées 1 et 2 de l'ascenseur.....	91
Tableau 24 : Détails des dernières incursions dans l'enceinte de l'ascenseur en fonction des cycles de l'ascenseur à poissons.....	95
Tableau 25 : Détails des prédatons concernant les 4 individus prédatés à proximité du complexe Malause/Golfech	97
Tableau 26 : Tableau bilan du devenir des poissons équipés ou non de tags prédatons acoustiques	115

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 de la rivière de Malause pendant la phase de travaux.....	22
Photo 12 : Vue de la section en passe à bassin du dispositif de franchissement de Malause.....	22
Photo 13 : Vue aérienne du barrage du Bazacle au cœur de Toulouse (source Géoportail).....	23
Photo 14 : Vue de la passe à bassins du Bazacle	25
Photo 15 : Vue de la passe à ralentisseurs du Bazacle.....	25
Photo 16 : Vue aérienne de l'usine et de la passe à bassins de la centrale du Ramier	27
Photo 17 : Turbine VLH (source : MJ2 Technologies)	28
Photo 18 : Vue aval de l'aménagement de la Cavaletade (source : MJ2 Technologies)	29
Photo 19 : Vues des bassins de la passe à poissons avec implantation des rugosités de fond (source : Farcimar).....	29
Photo 20 : Bâche en forme de civière utilisée pour l'anesthésie des poissons	31
Photo 21 : Incision au scalpel sur le flanc du poisson.....	32
Photo 22 : Insertion du tag à l'aide d'une pince plate	32
Photo 23 : Tag RFID de 32 mm fixé sur l'antenne de l'émetteur radio	32
Photo 24 : Marquage avec un émetteur radio par insertion stomacale	33
Photo 25 : Lâcher d'un saumon marqué dans le vivier flottant	34
Photo 26 : Vue subaquatique d'un saumon marqué au moment de son lâcher	34
Photo 27 : Transmetteur acoustique	36
Photo 28 : Transmetteur acoustique (source : Innovasea)	37
Photo 29 : Exemples d'installation d'hydrophone avec son lest	38
Photo 30 : Emetteur radio (1) utilisé pour le marquage des saumons atlantiques adultes [tag acoustique (2) et tag RFID (3)]	42
Photo 31 : Exemples d'installation de récepteur-enregistreurs utilisés à Golfech (à gauche) et au Bazacle (à droite)	43
Photo 32 : Installation de station d'enregistrement radio autonome	44
Photo 33 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine du Ramier.....	47
Photo 34 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine du Ramier	47

Photo 35 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade	47
Photo 36 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade	47
Photo 37 : Type de marque utilisée (PIT-Tag)	48
Photo 38 : Coffrets d'enregistrement CIPAM	48
Photo 39 : Antenne GO10000 à l'entrée 1 de l'ascenseur	49
Photo 40 : Antenne GO20000 à l'entrée 2 de l'ascenseur	49
Photo 41 : antenne RFID GO12000, installée entre l'entrée 1 et l'entrée 2 de l'ascenseur à poissons	50
Photo 42 : Antenne BA10000, au niveau de l'entrée de la PAB	51
Photo 43 : Antenne BA20000 (vue depuis l'amont)	51
Photo 44 : Récepteur acoustique de type VR100 de marque Vemco (source : Innovasea)	52
Photo 45 : Contrôle à la station vidéo du Bazacle des saumons 48501_04 (a.) et 48501_09 (b.).....	106

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Descriptif global des stations d'enregistrement (Radio/Acoustique/RFID).....	120
Annexe B : Abaque des vitesses d'écoulement	121
Annexe C : Zoom sur l'appellation des PK au niveau du secteur de Golfech (PK_GAR et PK_GOL)	122

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'aloise 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. Mais 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 2022-2027) 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 5 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 de l'ascenseur à poissons. 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 5 seuils intermédiaires sont équipés de passes de conception ancienne et la montaison des poissons n'est actuellement pas possible, 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 de l'ascenseur, 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 faits prédatés 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 éventuel 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 franchissement 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.

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'aménagement 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).

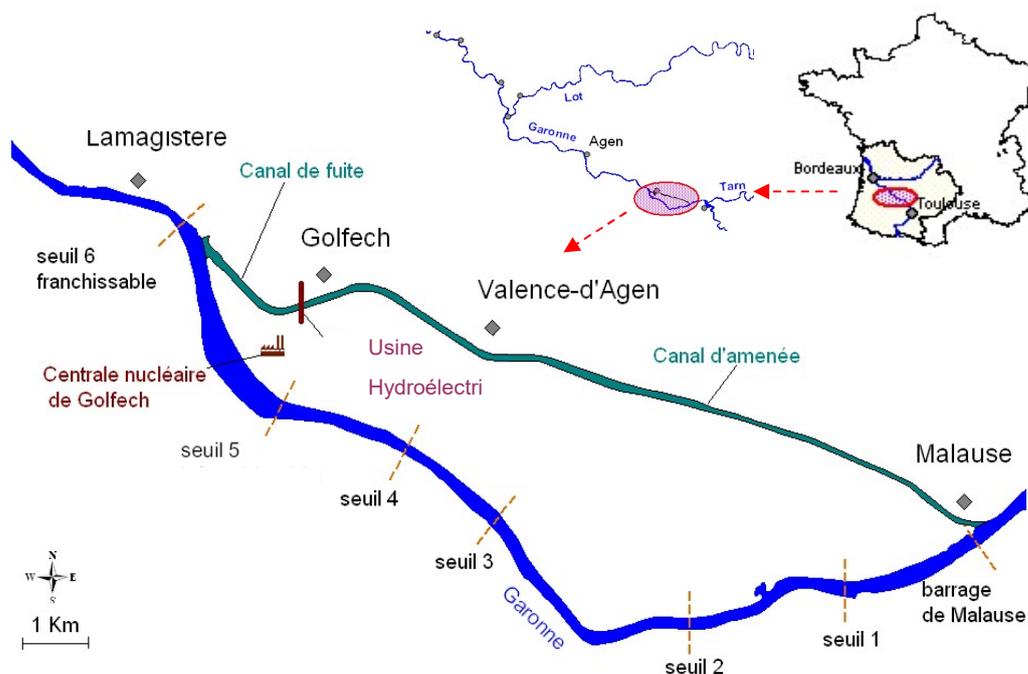


Figure 2 : Localisation du site d'étude : Malause-Golfech

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

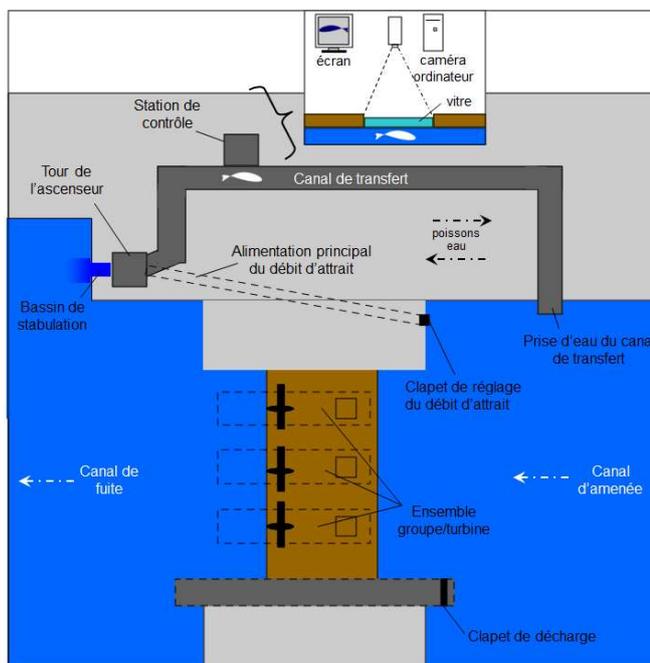


Figure 3 : Schéma en vue aérienne du site hydroélectrique de Golfech.

(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

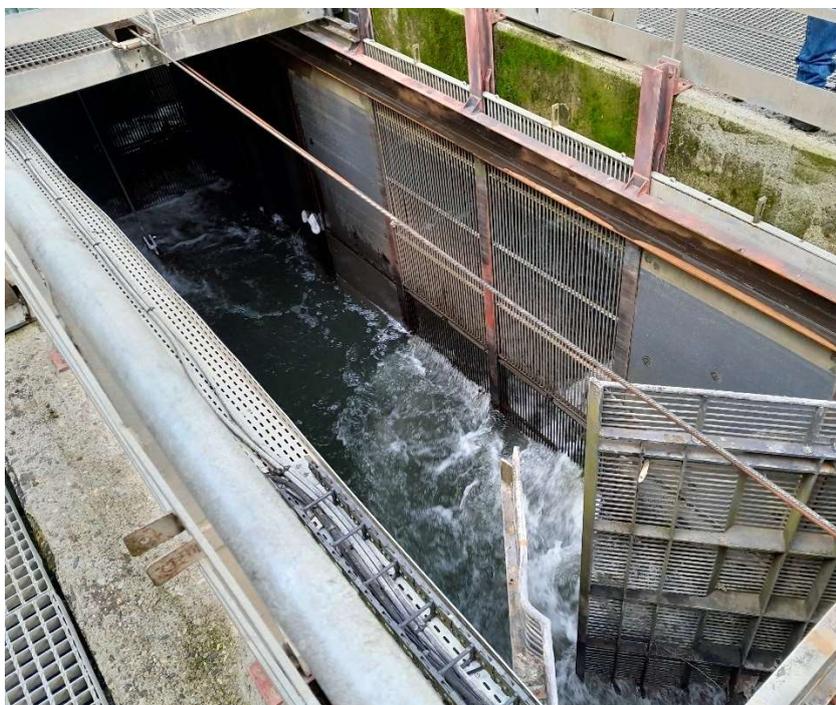


Photo 7 : Système de grille anti-retour du bassin de stabulation

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.

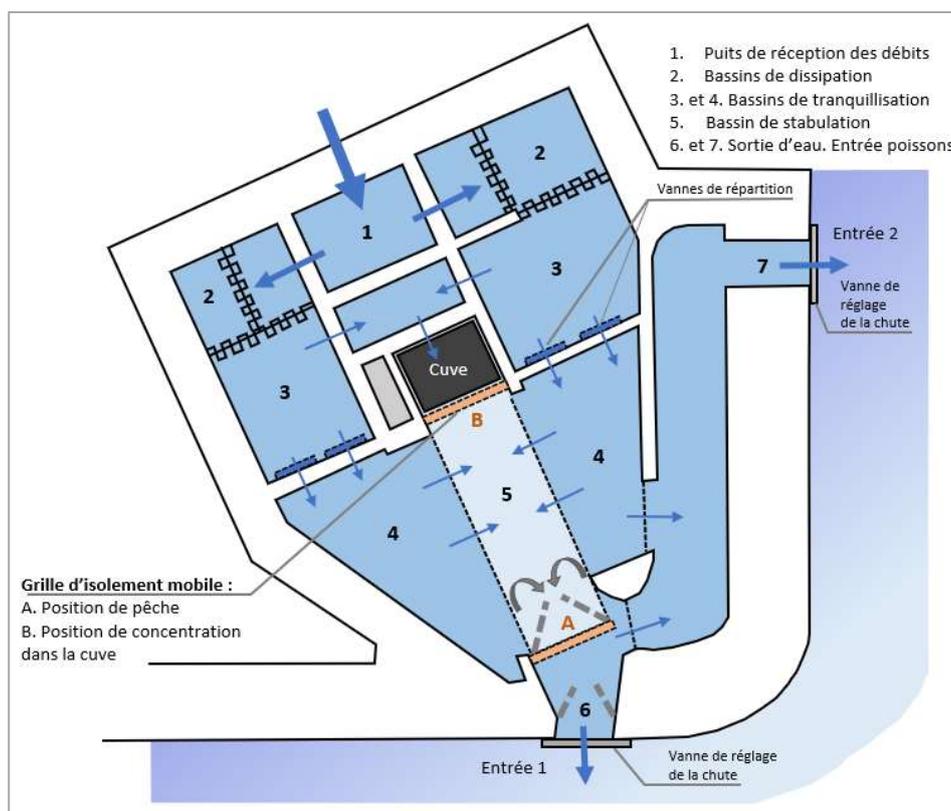


Figure 4 : Schéma de la partie basse de l'ascenseur de Golfech et de son fonctionnement (modifié d'après TRAVADE et al., 1992)

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

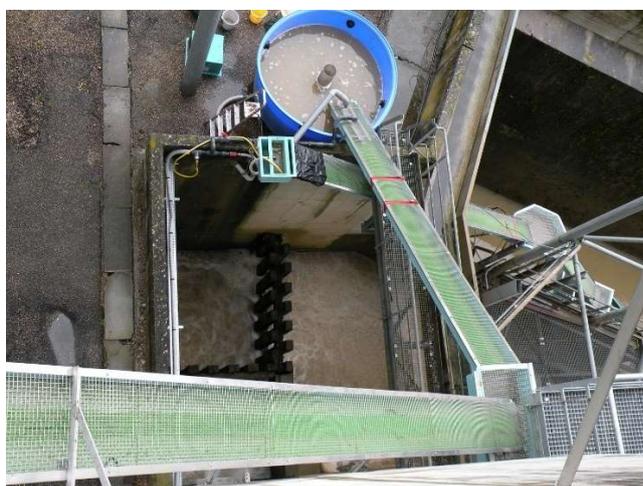


Photo 10 : Partie amont de la passe à anguilles

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 que depuis l'automne 2020, des turbinages partiels à l'usine de Golfech, déclenchés via un modèle de prédiction de pics de dévalaison d'anguilles, 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, 2021, 2022 et 2023).

3.2.1.4 La rivière de contournement de Malause

Depuis l'hiver 2021-2022, un nouvel ouvrage de franchissement existe au niveau du barrage de Malause avec la mise en service d'une rivière de contournement, située en rive droite du barrage (Figure 5).

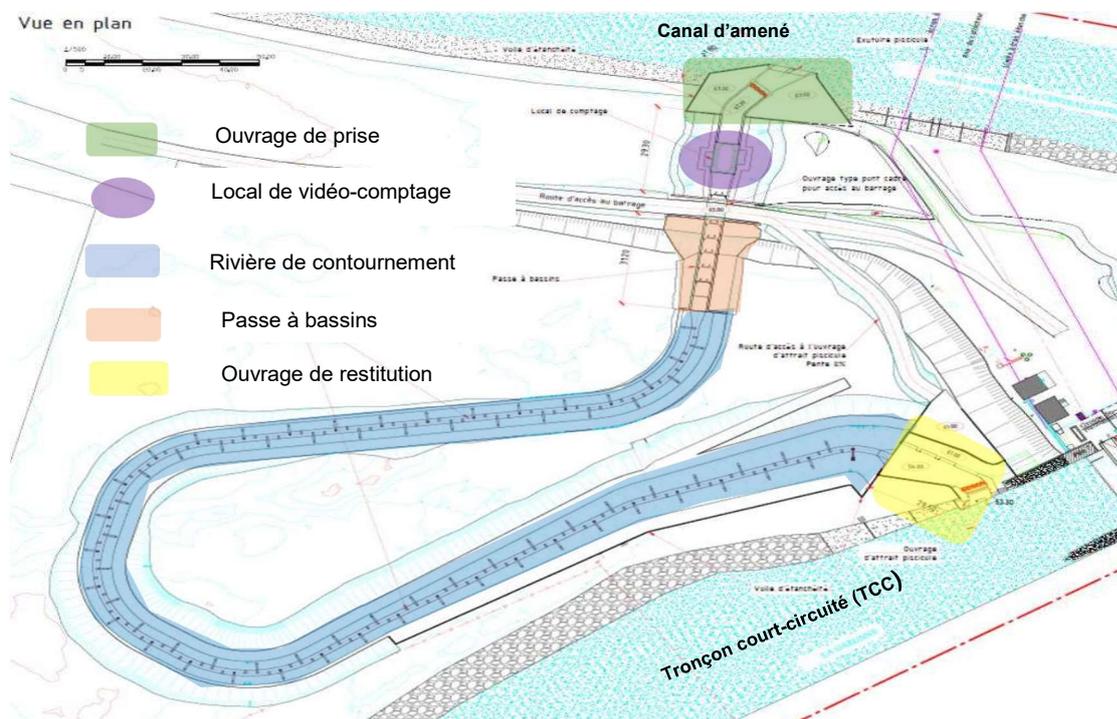


Figure 5 : Plan technique du dispositif de franchissement mis en place (EDF, Thomas PIQUET, 2022)

Ce nouveau dispositif de franchissement est un système mixte composé d'une rivière artificielle, comportant des épis alternés et des macro-rugosités, d'environ 450 mètres de long à section trapézoïdale sur l'aval (largeur de fond de 2 m et pente moyenne de 1,5 %) et d'une passe à bassins à 2 fentes verticales, composée de 7 bassins de 5 m de long et 4 m de large chacun, sur la partie amont du dispositif. La profondeur des bassins est de 2,1 m et la hauteur de chute entre chaque bassin est de 20 cm. Une station de vidéo-comptage permettant d'assurer la maintenance de l'ouvrage et le suivi biologique des espèces piscicoles a été installée au niveau de cette passe à bassins afin de profiter d'un niveau d'eau convenable au niveau des vitres de contrôle. La station est constituée de 2 vitres face à face permettant une vision totale des poissons utilisant la passe. D'un point de vue technique, la largeur du passage à la vitre est de 55 cm avec une hauteur d'eau de 2,2 m, pour une vitesse d'écoulement de 1,2 m/s. La station est équipée du système de vidéo comptage HIZKIA Informatique.

Le dispositif est alimenté via le canal d'amenée de l'usine de Golfech grâce à une prise d'eau dimensionnée pour injecter $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dans l'ouvrage de franchissement. Il est également important de noter que pour les poissons, la sortie de l'ouvrage s'effectue par cette prise d'eau. L'entrée piscicole de la rivière de contournement ainsi que la restitution de l'eau se trouve au pied du barrage de Malause, en rive droite. Le débit de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ n'est pas suffisant pour optimiser l'attractivité de ce dispositif. Un débit d'attrait supplémentaire de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est donc injecté à basse vitesse au travers une grille fine en aval du dispositif, au niveau de la restitution aval. Ce débit de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est, en amont du dispositif, turbiné par un groupe Kaplan à axe vertical (distributeur et pâles fixes, puissance 680 kW) Le débit d'attrait total de l'ouvrage est donc de $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Photo 11 : Vue aérienne de la rivière de Malause pendant la phase de travaux
(source : EDF)



Photo 12 : Vue de la section en passe à bassins à 2 fentes verticales du dispositif de franchissement de Malause
(source : OFB)

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 $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. 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 13) 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 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (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 $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ soit 47 % du module, pour une puissance maximale de 3000 KW. L'usine est équipée de 7 turbines Francis pouvant turbiner de 10 à $14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En rive gauche, une centrale souterraine est exploitée par un producteur autonome, avec un débit d'équipement de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 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 ($1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), quelques centaines de mètres en amont du barrage.



**Photo 13 : 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 6 et Photo 14), 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 $15,75 \text{ m}^3$). 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 régulée par une vanne asservie (consigne enregistrée à 25 cm). Le débit dans la passe à bassins est compris entre 1 et $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ selon le niveau d'eau amont. Un débit d'attrait complémentaire de 2 à $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 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 $4,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 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).

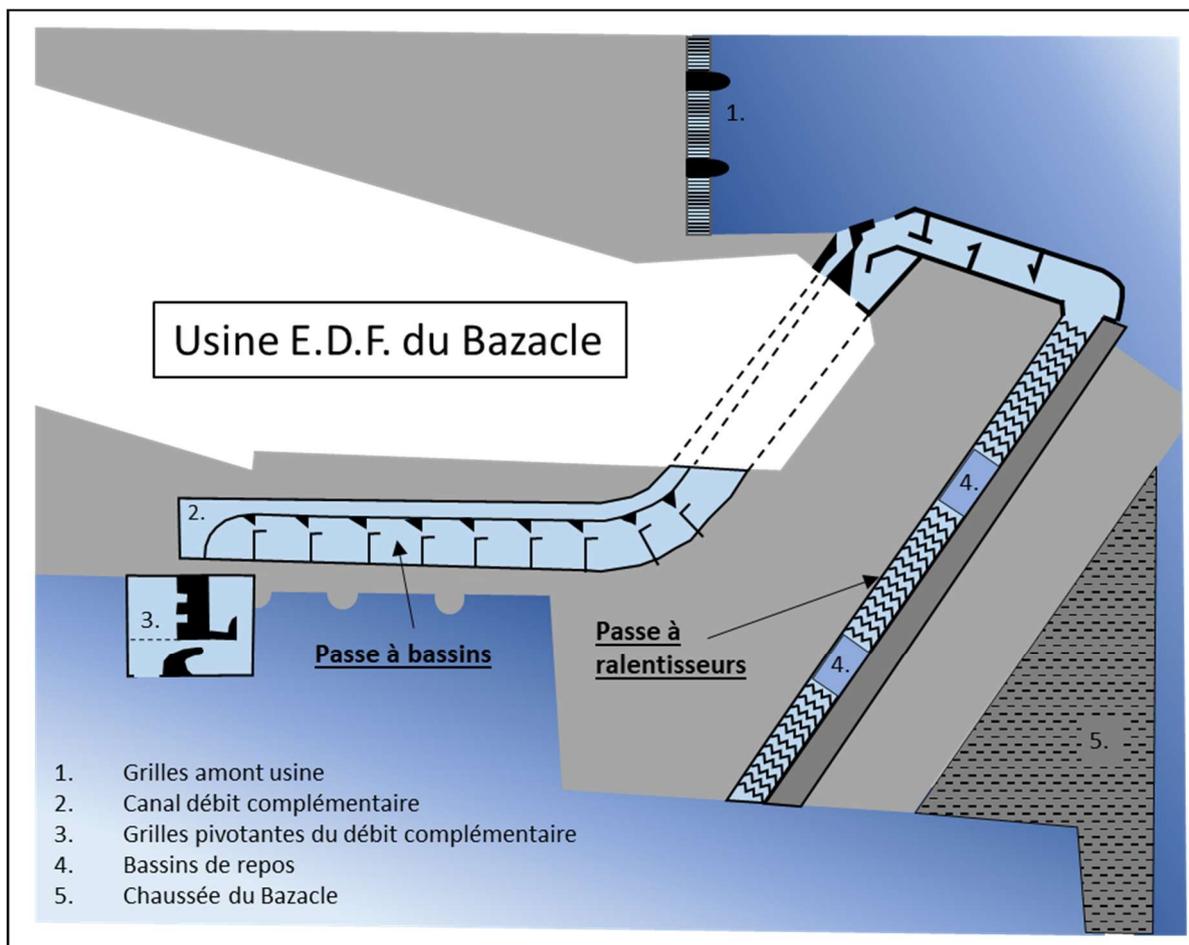


Figure 6 : Schéma d'implantation de la passe à bassins et de la passe à ralentisseurs du Bazacle (d'après DARTIGUELONGUE, 2019)

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 6 et Photo 15). 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 14 : Vue de la passe à bassins du Bazacle



Photo 15 : 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 $160 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, soit 84% du module de la Garonne ($187 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$), et est équipée de 3 groupes Kaplan et 3 groupes Francis de $23 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ chacun et de 2 groupes bulbe à hélices de $11 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ 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 7) servant de retenue et de canal d'amenée, et le bras rive gauche, dit « inférieur » constituant le tronçon court-circuité.

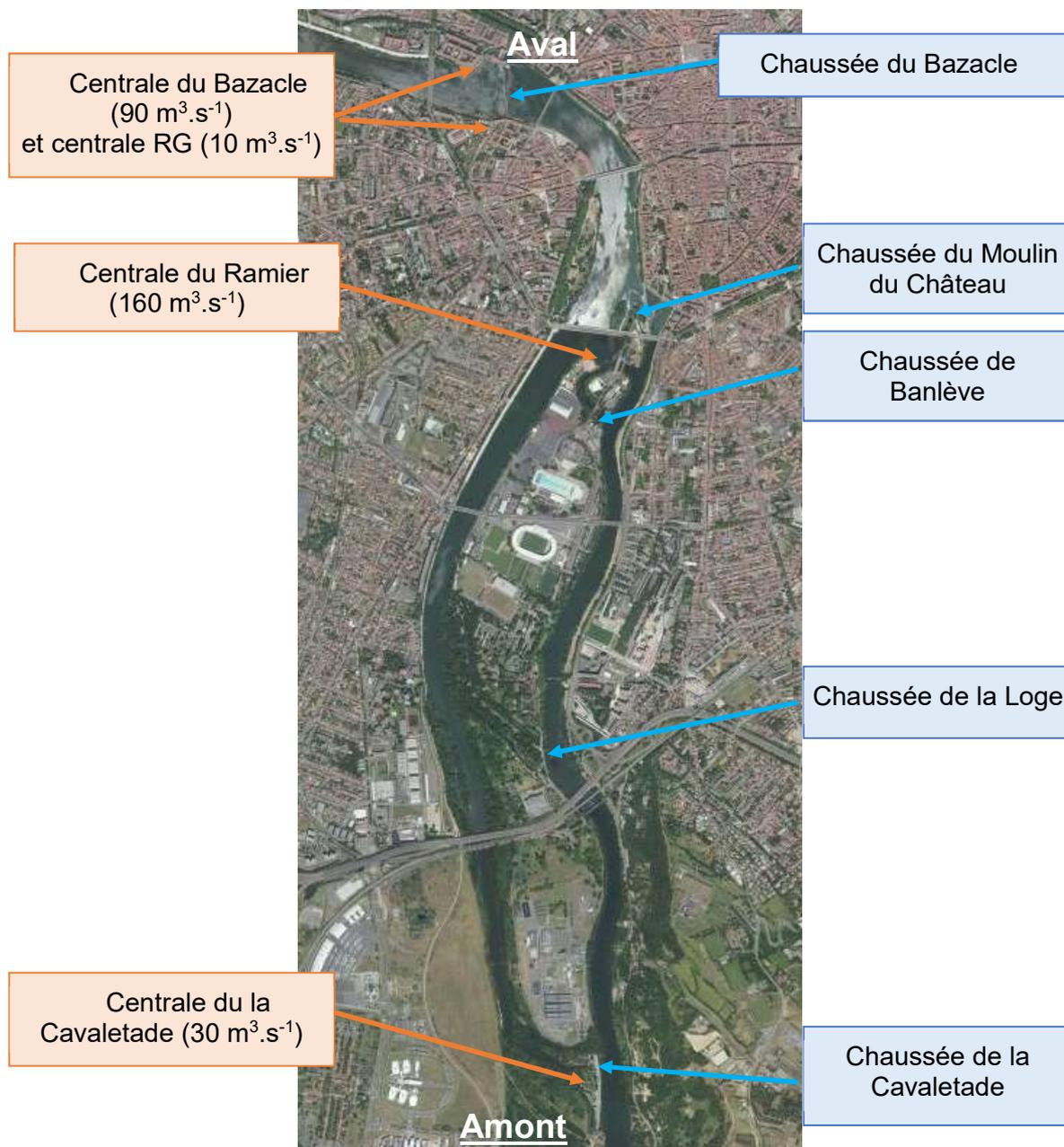


Figure 7 : Vue aérienne globale des deux bras de la Garonne à Toulouse et localisation des différents aménagements hydroélectriques

Les deux bras sont séparés par plusieurs seuils, appelés également « chaussées ». On retrouve donc de l'amont vers l'aval (Figure 7) : 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 8 et Photo 16). 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 ($160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

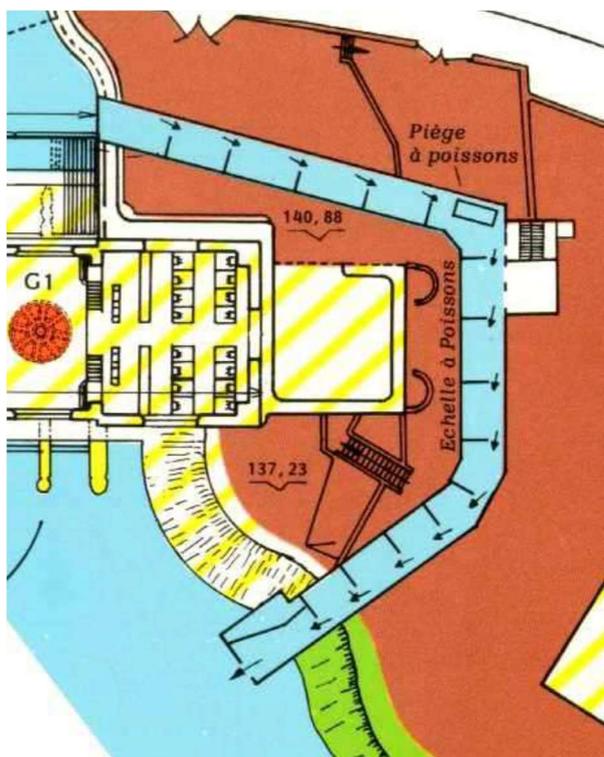


Figure 8 : Schéma de la passe à bassins de la centrale du Ramier



Photo 16 : 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 8 et Photo 16). 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

Concernant le plan de grille de l'usine, lors du renouvellement de concession en 2007¹, les autorités ont préconisé au concessionnaire des barreaux espacés de 3 cm, sur une hauteur de 3 m en partie supérieure et sur toute la hauteur du plan de grille au droit des groupes bulbes. Un espacement de 5,5 cm sur le reste de la grille étant suffisant. Pour les dispositifs de franchissement, il a également été conseillé d'augmenter le débit de la passe à poissons pour le faire passer d'environ $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (la sortie amont de la passe se trouvant au droit rive gauche du plan de grille, la passe peut également servir à la dévalaison). Une vanne de défeuillage existante au droit rive droite du plan de grille de l'usine devait également être asservie pour la dévalaison avec un débit de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Après échange avec l'exploitant, l'ensemble des recommandations ont été mises en place mais nous ne possédons aucun document confirmant les dispositifs exacts actuellement en place vis à vis de la dévalaison. Il conviendra de vérifier que ces différentes préconisations soient effectivement en place.

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 9). 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 17). La hauteur de chute turbinée est de 3,33 m.

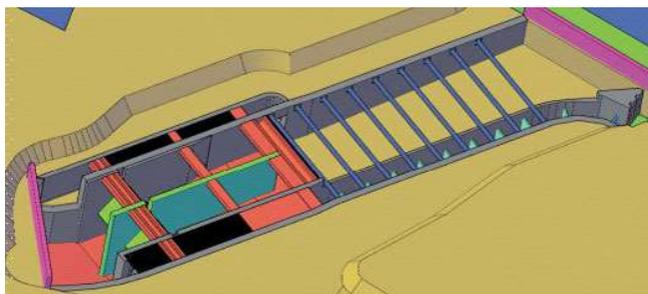


Figure 9 : Schéma d'implantation de la centrale de la Cavaletade (source : Vinci)



Photo 17 : 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 9). Le débit transitant dans la passe à bassins est de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sans adjonction de débit d'attrait complémentaire, 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.

¹ Préfecture de la Haute-Garonne, arrêté N°59 du 01/10/2007.



Photo 18 : Vue aval de l'aménagement de la Cavaletade avec l'entrée de la passe à bassins à droite de la sortie des turbines (source : MJ2 Technologies)



Photo 19 : 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 18 et Photo 19). 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 m³). Les bassins possèdent une unique fente de 0,4 m 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 (petits plots béton).

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 ichthyocompatibles suite à différents tests réalisés sur différentes espèces de poissons (pour plus de détails, voir 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 2021-2022 afin d'être opérationnelles lors des premiers passages de saumons au niveau du piège de Golfech.

Le premier saumon a été contrôlé à Golfech le 18 février 2022. Le piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur a été en fonctionnement du 22 février au 13 juin 2022 et le premier individu piégé a été capturé le 22 février pour un transport sur l'Ariège.

Le premier saumon utilisé pour le suivi télémétrique a été capturé le 11 mars 2022 (soit 20 jours plus tôt qu'en 2021 : 31 mars). A la date du 31 mars 2022, 7 individus étaient déjà marqués. Le dernier saumon marqué a été relâché le 02 juin (1^{er} juin en 2021). 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 de la Garonne. 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 2022, le dernier saumon a été contrôlé à Golfech le 07 juin. Le suivi des poissons marqués s'est déroulé jusqu'au début du mois de juillet.

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 2022, la période de piégeage a débuté le 22 février et s'est terminée le 13 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 bêche (civière) opaque remplie d'un bain anesthésiant.



Photo 20 : 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 (<math><1\text{cm}^2</math>) 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 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.



Photo 21 : Incision au scalpel sur le flanc du poisson



Photo 22 : Insertion du tag à l'aide d'une pince plate

- **Emetteur radio** (cf. § 4.5.2) et **marquage RFID avec pit-tag 32 mm** : afin de supprimer une étape et une perforation, le pit-tag RFID n'est plus inséré à l'aide d'un pistolet-seringue dans le muscle parallèlement à la nageoire dorsale. Cette année, la marque RFID a été fixée sur l'antenne de l'émetteur radio en amont direct de l'émetteur à l'aide de gaine thermo-rétractable (Photo 23). L'émetteur radio est ensuite inséré de façon habituelle par voie buccale dans l'estomac à l'aide d'un tube pousseur en PVC, puis l'antenne souple est ressortie par un opercule afin qu'elle « gêne » le moins possible le poisson.

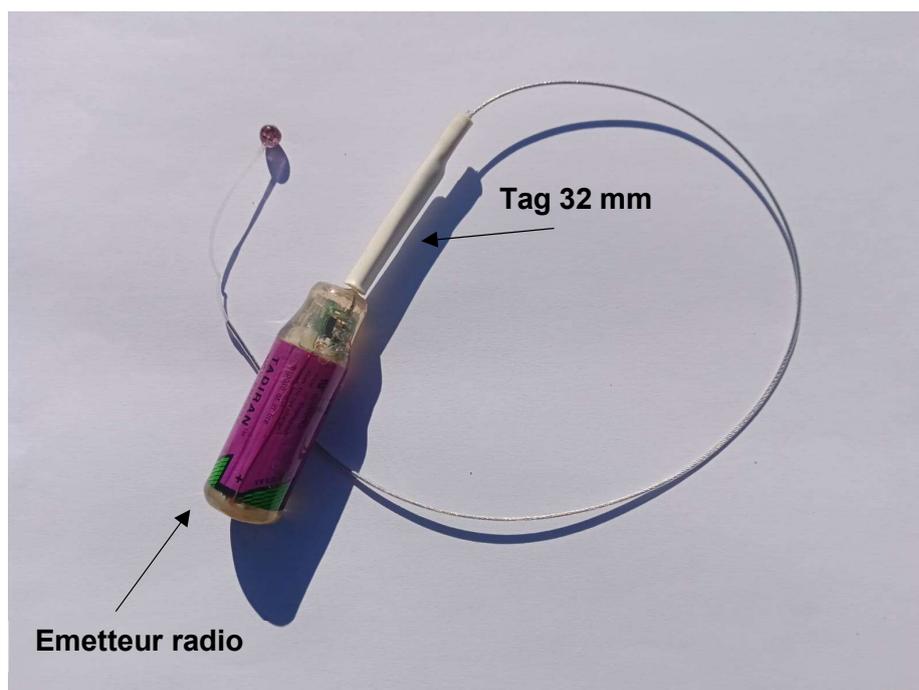


Photo 23 : Tag RFID de 32 mm fixé sur l'antenne de l'émetteur radio dans une gaine thermo-rétractable



Photo 24 : 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 Tricaïne 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 hermétiquement 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 25 et Photo 26). 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 25 : Lâcher d'un saumon marqué dans le vivier flottant



Photo 26 : 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 les différentes vannes segment (en $m^3.s^{-1}$),
- La cote amont du plan d'eau de Malause (en m NGF),
- Le débit turbiné au niveau du débit d'attrait de la rivière de contournement du barrage de Malause (en $m^3.s^{-1}$),
- Les débits turbinés par les différents groupes de l'usine hydroélectrique (en $m^3.s^{-1}$),
- Le débit évacué par le clapet de décharge de l'usine (en $m^3.s^{-1}$),
- 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 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$),
- 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 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$).

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 deux 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 Carbonne,
- 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 10). 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).

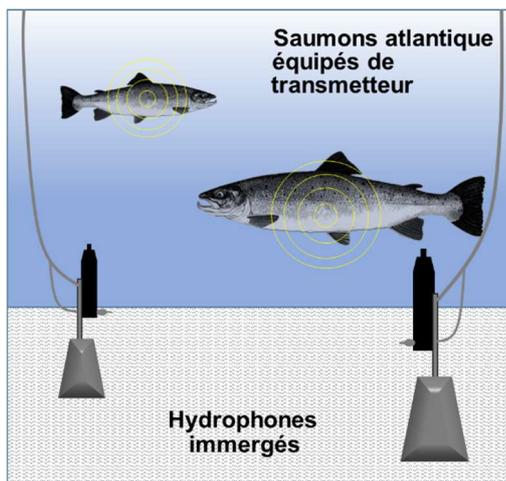


Figure 10 : Principe de la télémétrie acoustique

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 Lamagistère (PK GAR_211,6). 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 Innovasea-Vemco®, émettant à 180 kHz, ont été choisis. Comme lors des suivis précédents (2020 et 2021), le tag prédation V5D (Photo 27) a été utilisé, mais cette saison, des émetteurs simples (non prédation) V5-2H (Photo 28) ont également été choisis. En effet, un peu moins coûteux, l'achat de ces émetteurs était prévu afin d'augmenter le nombre de poissons marqués.

Au sein de la fréquence 180 kHz, 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 et Tableau 2), 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 27 : Transmetteur acoustique V5D

Modèle	V5D		
Fréquence (kHz)	Référence codage	Power (L/H)	Pings (min - max)
180	A180-1704	H	30 - 50
Longueur (mm)	∅ (mm)	Poids dans l'air (g)	Capacité batterie garantie (jr)
12,7	5,6	0,68	86

Tableau 1 : Caractéristiques des transmetteurs V5D (données fabricant)

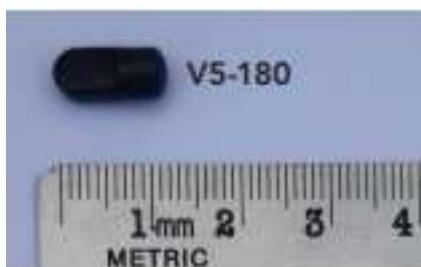


Photo 28 : Transmetteur acoustique V5-2H (source : Innovasea)

Modèle	V5-2H		
Fréquence (kHz)	Référence codage	Power (L/H)	Pings (min - max)
180	A180-1702	H	30 - 50
Longueur (mm)	∅ (mm)	Poids dans l'air (g)	Capacité batterie garantie (jr)
12,7	5,7	0,74	115

Tableau 2 : Caractéristiques des transmetteurs V5-2H (données fabricant)

Concernant le tag prédation, au-delà de suivre la position d'un individu, il 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 d'un prédateur comme le 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. 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 29). 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 Boé, en amont d'Agen, 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 29 : 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 relèves 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

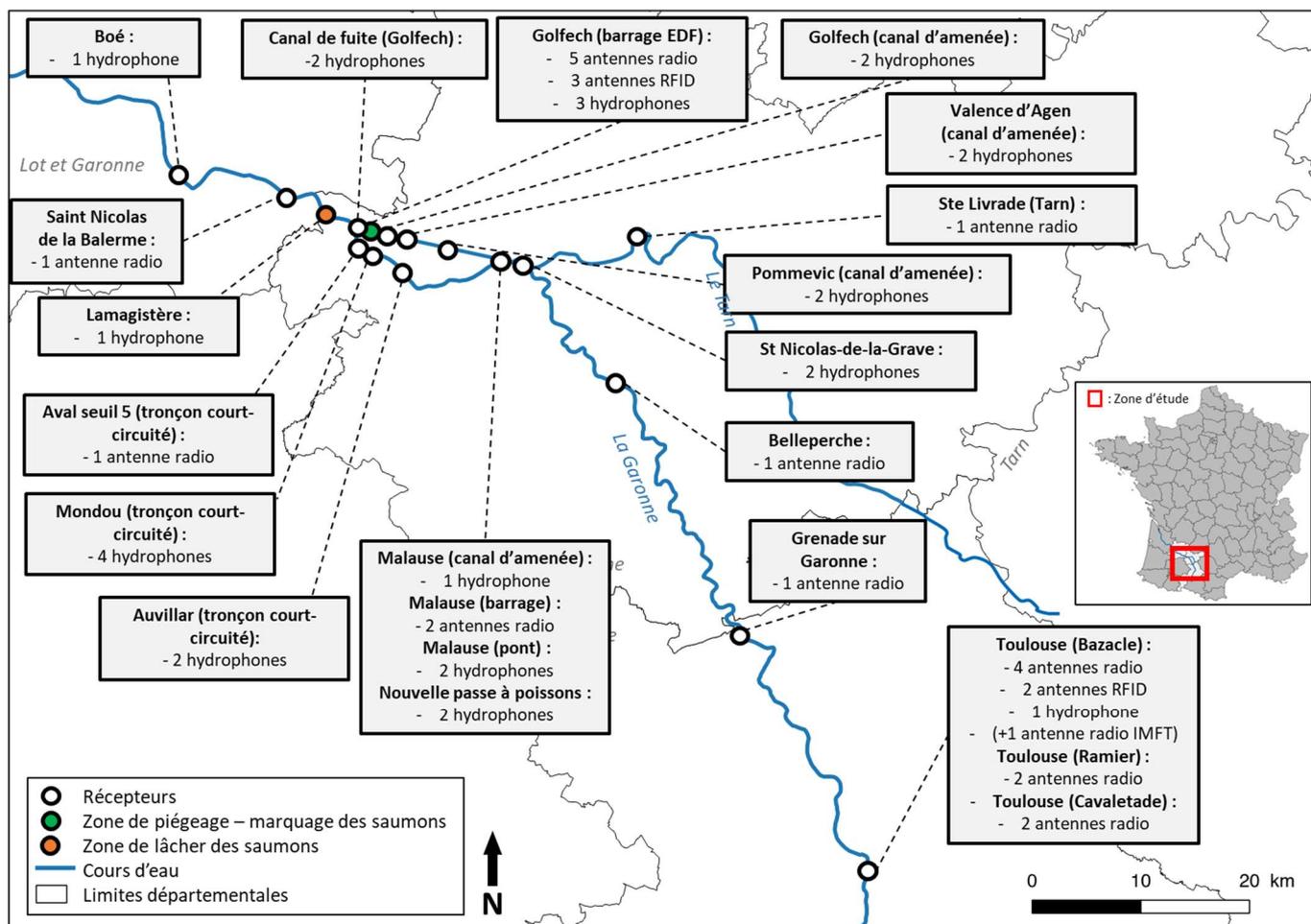


Figure 11 : Schéma des différentes zones de suivis en amont et en aval du barrage de Golfech

Neuf zones de suivis ont été définies entre l'aval de l'ouvrage de Golfech et Toulouse (Figure 11). 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 en aval du point de lâcher (PK GAR_211,6). Différentes stations d'enregistrement ont été réparties sur le linéaire de la Garonne afin de détecter les éventuelles dévalaisons des poissons suivis. Ainsi [1 hydrophone] est installé en aval direct du point de lâcher au pont de Lamagistère (PK GAR_211,5). Cette zone est 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. Une seconde station a été installée pour ce suivi 2022, [1 hydrophone] au niveau du pont de Boé (PK GAR_191,2), à l'amont immédiat du seuil de Beauregard.
- 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 2022, les poissons, capturés au niveau de l'ascenseur de Golfech, seront relâchés à Lamagistère, à 3,6 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 [3 hydrophones], le premier hydrophone se situe en sortie du canal de transfert de l'ascenseur (PK GOL_2,3) au niveau de la vanne de tête (vanne 2200) ce qui permet de connaître l'heure de sortie du canal de transfert et d'entrée dans le canal d'amenée. Ensuite, 2 hydrophones se situent à l'amont de l'usine hydroélectrique de Golfech. 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 2022, 2 hydrophones ont été installés en aval des piles du pont de la D953 (PK GOL_2,5), 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.
- Zone 7 [2 hydrophones] => équipement de la rivière de contournement au barrage de Malause.

→ Amont du barrage de Malause

- Zone 8 [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 Zone 8' [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 9 [1 hydrophone], 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 12 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

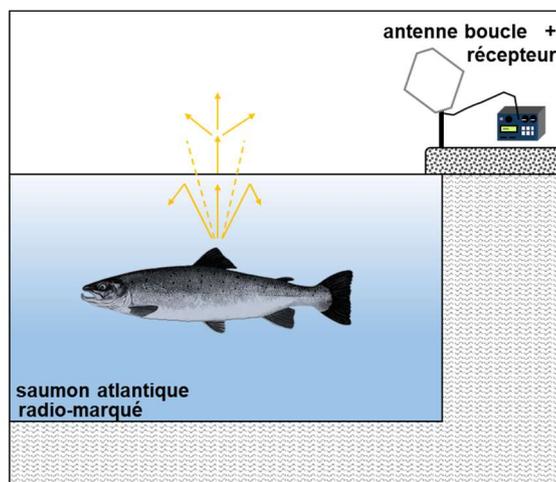


Figure 12 : Principe du radiopistage en milieu aquatique (d'après BARAS et CHERRY, 1990).

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 radio ou encore leur durée de vie. Par ailleurs, le signal transmis par l'émetteur radio 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 30 ; Tableau 3) 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 1980 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 3 ci-après.

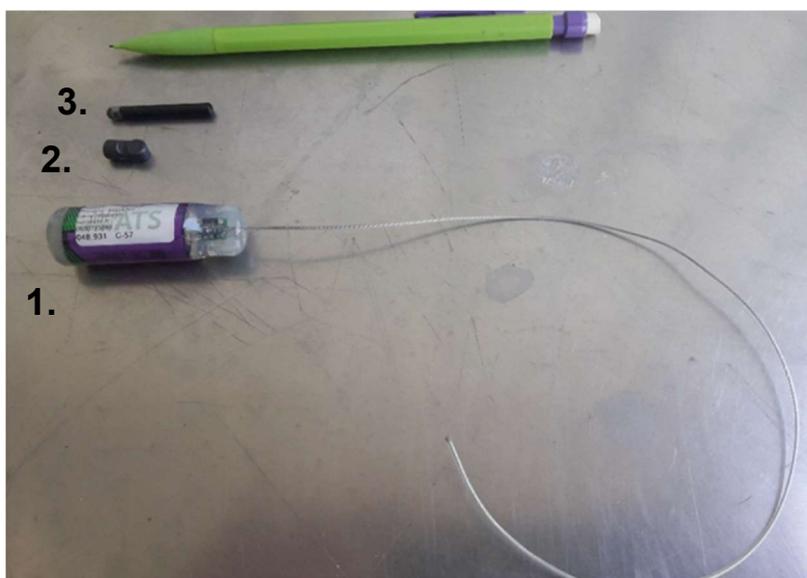


Photo 30 : Emetteur radio (1) utilisé pour le marquage des saumons atlantiques adultes [tag acoustique (2) et tag RFID (3)]

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

Tableau 3 : 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 31), 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 31 : 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 5 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 aval du seuil 5 dans le TCC au niveau de la rive gauche (*PK GAR_214*). Nouvelle installation pour ce suivi 2022 (Photo 32), cette station autonome (alimentée par un panneau solaire) permet de contrôler les incursions éventuelles de poissons dans le TCC mais qui seraient bloqués en aval du seuil 5. Avec la nouvelle passe à poissons située au niveau du barrage de Malause et sa mise en service pour la saison de migration 2022, il était important de pouvoir détecter l'entrée des poissons marqués dans le TCC.



Photo 32 : Installation de station d'enregistrement radio autonome

→ Ouvrage de Golfech

- Zone 4 [5 enregistreurs], située au niveau de l'ascenseur (Figure 13), 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 deux antennes avec brin immergé ont été positionnées au niveau du piège de l'ascenseur. Le premier a été installé dans la nasse du piège (GOLPIEGE), afin de tenter de détecter si les poissons marqués entrent ou ressortent de la nasse, et le second 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.

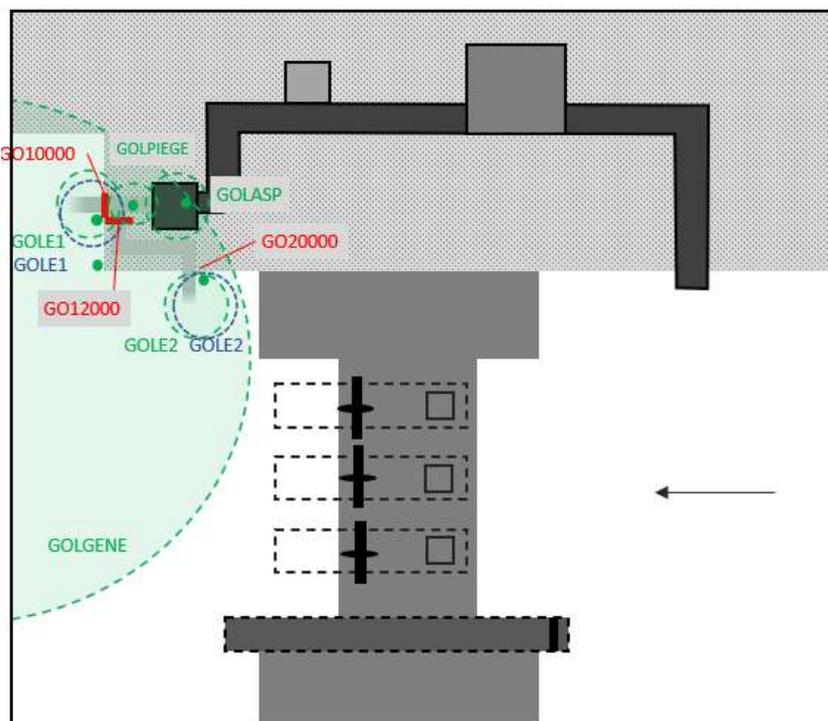


Figure 13 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site de Golfech

→ 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 pour détecter les éventuels saumons bloqués au pied du barrage.

→ 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 trois 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*], sur la Garonne au niveau de l'abbaye de Belleperche (*PK GAR_249,3*), la station est équipée d'une antenne boucle aérienne.
- Zone 8 [1 *enregistreur*], au niveau de Grenade sur Garonne (*PK GAR_285,5*), la station est équipée d'une antenne boucle aérienne et se situe sur la Garonne, une vingtaine de kilomètres en aval de Toulouse. Cette station a été installée pour le suivi 2022.

→ Ouvrage du Bazacle

- Zone 9 [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 14). 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.

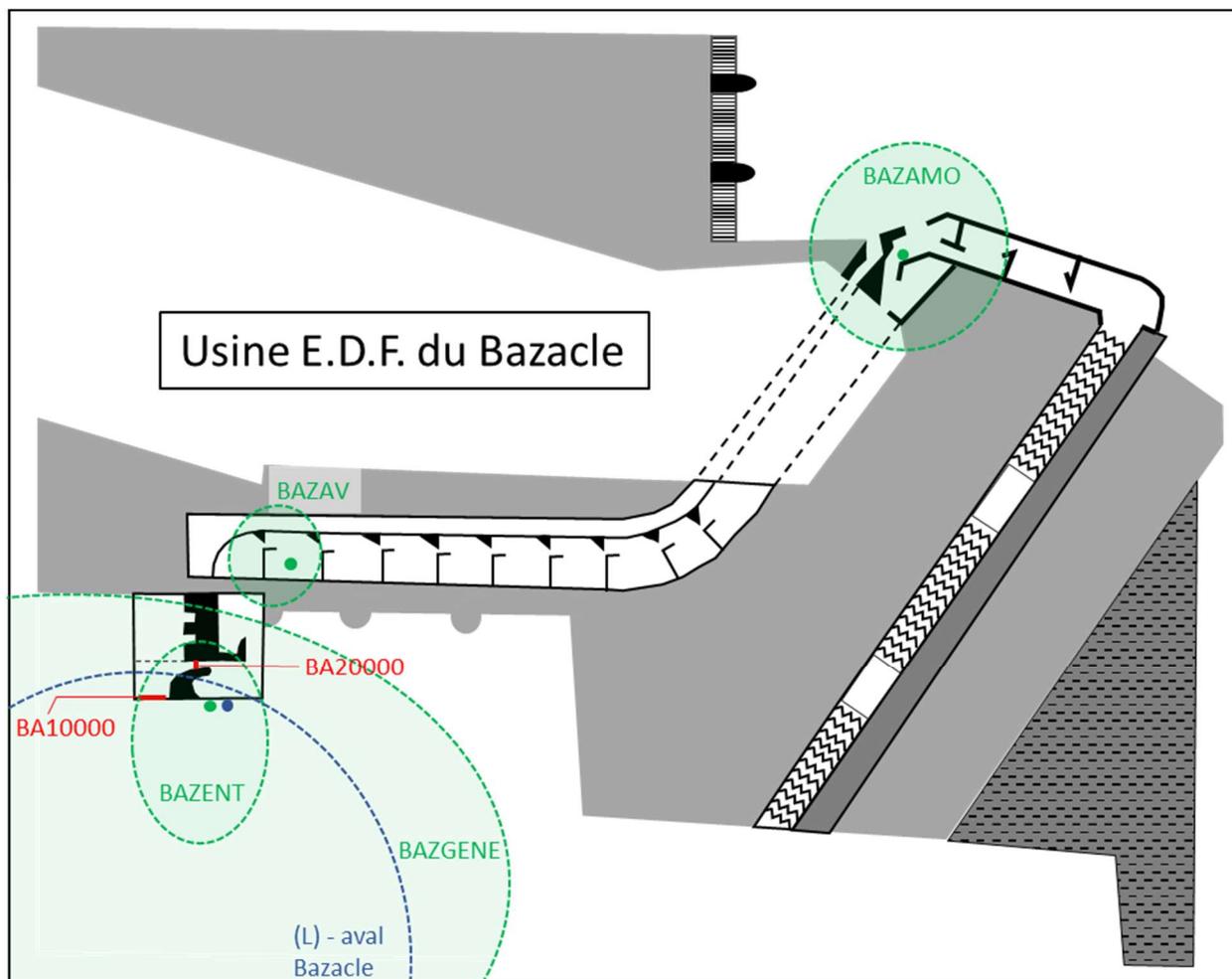


Figure 14 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site du Bazacle

➔ Amont barrage du Bazacle

- Zone 10 [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 33), permettant de détecter l'arrivée de poissons suivis et de connaître le délai de blocage 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 34). Cela permet de confirmer le franchissement par l'ouvrage de montaison.



Photo 33 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine du Ramier



Photo 34 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine du Ramier

- Zone 11 [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 12 [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.



Photo 35 : Antenne aval (antenne boucle) installée à l'entrée de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade



Photo 36 : Antenne amont (antenne brin) installée en amont de la passe à poissons de l'usine de la Cavaletade

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 blocage au pied de l'ouvrage avant de trouver le dispositif de franchissement (Photo 35). 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 36).

- Zone 13 [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 37) 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 15). 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 38), inséré 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.

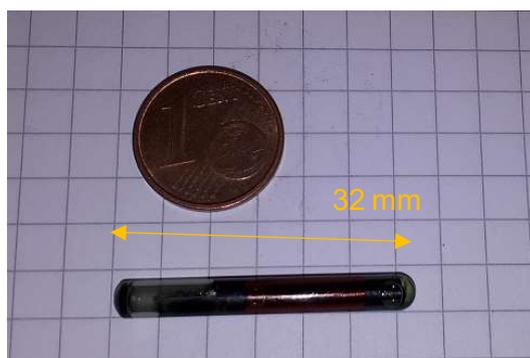


Photo 37 : Type de marque utilisée (PIT-Tag)



Photo 38 : Coffrets d'enregistrement CIPAM

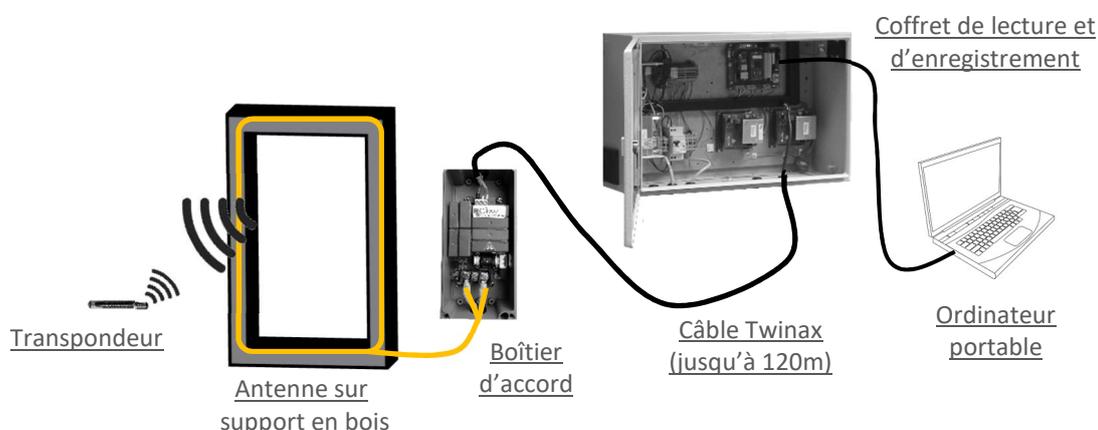


Figure 15 : Principe de fonctionnement du système RFID de CIPAM

Le suivi consiste donc à marquer, à l'aide de transpondeurs, les saumons déjà équipés de marques acoustiques et radio. Les poissons, relâchés en aval 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 2 coffrets lecteur-enregistreurs Basic développés par CIPAM. Au total, 3 antennes ont été déployées sur le site afin de déterminer le comportement des poissons au niveau de l'ascenseur :

- 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 39).
- Une antenne installée à l'amont proche de la vanne de l'entrée 2 (appelée **GO20000**). Cette antenne à 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 40).



Photo 39 : Antenne GO10000 à l'entrée 1 de l'ascenseur



Photo 40 : Antenne GO20000 à l'entrée 2 de l'ascenseur

- Une troisième antenne (**GO12000**) se trouve à l'intersection entre l'entrée 1 et l'entrée 2 à l'aval de la nasse du piège de l'ascenseur (Figure 16 et Photo 41). Cette antenne permet d'analyser et de déterminer si les allers-retours entre l'entrée 1 et l'entrée 2 se font par l'intérieur ou par l'extérieur de l'ascenseur. Elle mesure 3 m x 1,5 m et a été installée puis mise en service au cours du suivi 2021.

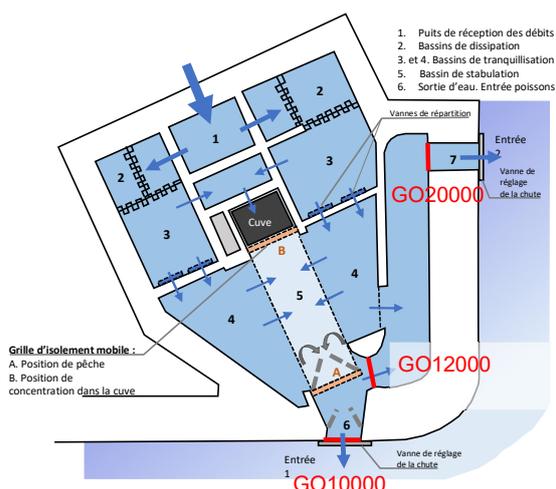


Figure 16 : Schéma de l'implantation des antennes RFID dans l'enceinte de l'ascenseur de Golfech

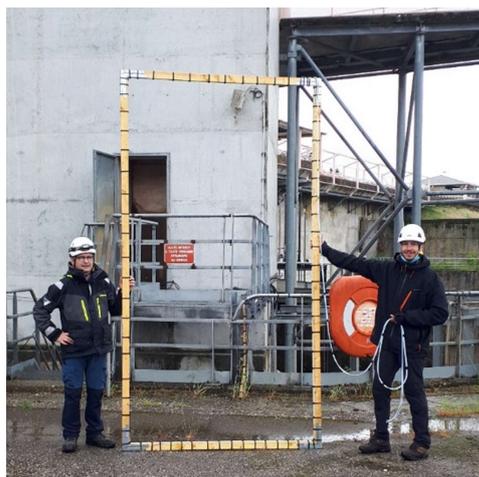


Photo 41 : antenne RFID GO12000, installée entre l'entrée 1 et l'entrée 2 de l'ascenseur à poissons

Après installation et réglages, 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. 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
GO12000	40 cm amont / 50 cm aval

Tableau 4 : 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 14) :

- 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 42).
- 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 43) 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 17).

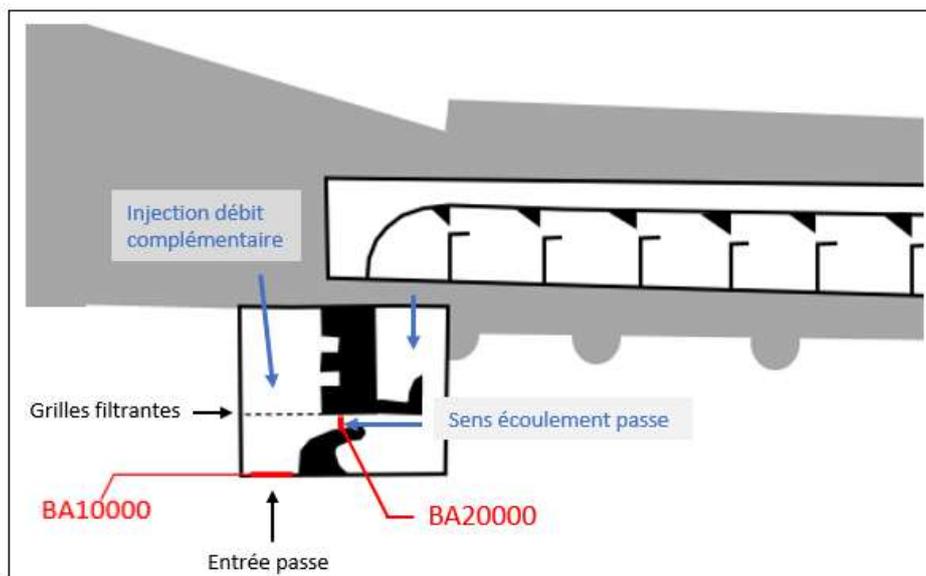


Figure 17 : zoom sur l'entrée de la passe à bassins du Bazacle



Photo 42 : Antenne BA10000, au niveau de l'entrée de la PAB



Photo 43 : 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 5. 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 5 : 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 mobile des déplacements de poissons

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 le plus souvent soit une source d'énergie, 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 mobiles 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 44) 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 mobiles permettent par ailleurs de profiter pleinement de l'option « prédation » des marques acoustiques, car le changement de code ne s'effectue pas forcément au droit direct d'une station fixe.



Photo 44 : Récepteur acoustique de type VR100 de marque Vemco (source : Innovasea)

La sonde multidirectionnelle utilisée 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 18). Une fois détecté, la sonde acoustique est plongée dans l'eau en coupant le moteur de l'embarcation, afin de détecter puis décoder le tag acoustique.

Il est important de signaler que lors des suivis mobiles, 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 prédateur 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 pour certains poissons 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.

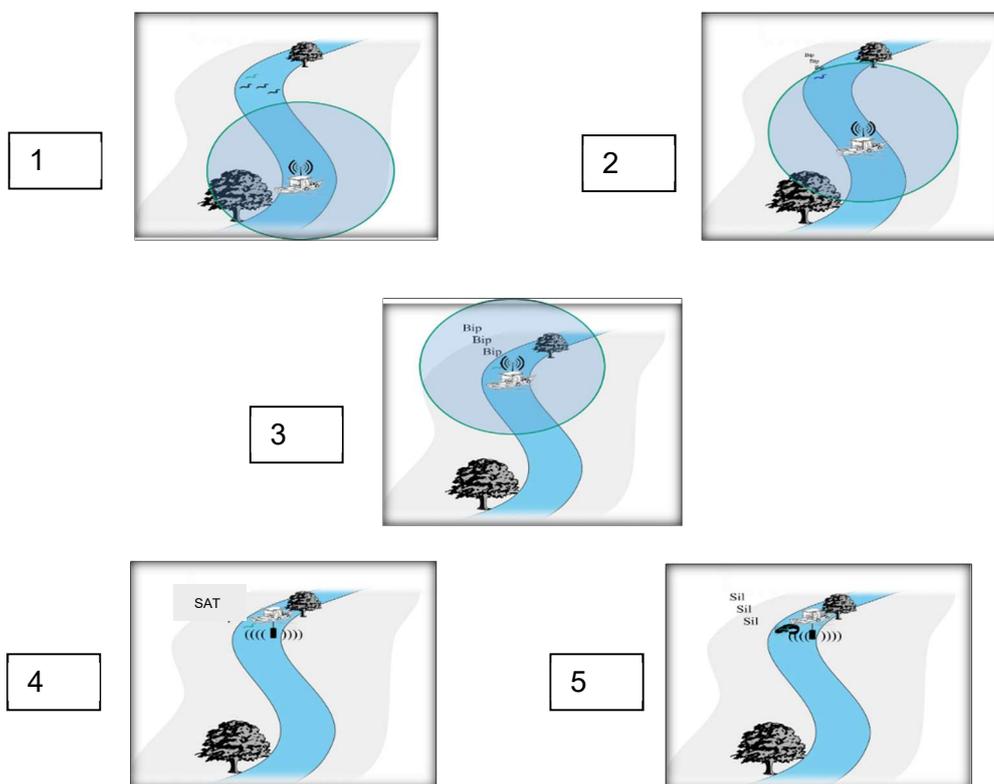


Figure 18 : Schéma expliquant la technique de suivi de tags acoustiques « prédation » dans un grand milieu (1 : Navigation sur le cours d'eau – 2 : Repérage de l'émetteur radio – 3 : Approche au plus près de l'individu détecté – 4 et 5 : Mise en place du récepteur acoustique et détection du code prédaté ou non)

5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'ETUDE

5.1 Débits

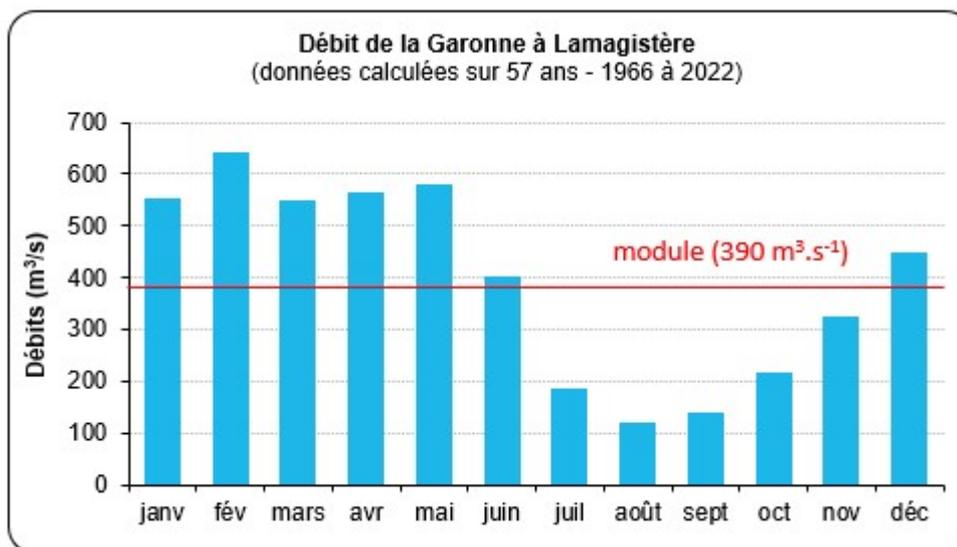


Figure 19 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Lamagistère (chronique de 1966 à 2022)

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 intervient en août et peut être très prononcé (Figure 19).

Garonne à Lamagistère							
Station n°O6140010 - Module = 390 m³/s							
Données calculées sur 57 ans (1966-2022)							
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m³/s)	555	636	546	559	574	391	184
Q moy. Mensuel de l'étude 2022 (m³/s)	774.9	354.9	507.6	435.7	332.5	144.4	73.2
Coefficient d'hydraulicité 2022	▲ 1.40	▼ 0.56	■ 0.93	■ 0.78	▼ 0.58	▼ 0.37	▼ 0.40

Tableau 6 : 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 113 ans (1910-2022)							
	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 2022 (m³/s)	349	119	166	208	217	91.1	53.2
Coefficient d'hydraulicité 2022	▲ 1.83	▼ 0.56	■ 0.76	■ 0.77	▼ 0.64	▼ 0.33	▼ 0.37

Tableau 7 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude

La station hydrométrique de Lamagistère est située environ 3 km en aval de l'usine hydroélectrique de Golfech. Le complexe Malause-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 53 ans (1970-2022)						
		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 2022 (m ³ /s)		204.9	116.7	244.9	135.2	57.4	24.3	22.3
Coefficient d'hydraulicité 2022		0.91	0.45	1.21	0.70	0.34	0.25	0.48

Tableau 8 : Coefficients d'hydraulicité du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude

Au cours du premier semestre 2022, l'hydrologie de la Garonne au niveau de la station de Lamagistère a présenté un mois de janvier à l'hydrologie particulièrement importante puis une fin d'hiver et un printemps à l'hydrologie déficitaire (Tableau 6).

L'évolution des débits est quasi identique sur la Garonne au niveau de Toulouse (Tableau 7).

Concernant le Tarn (Tableau 8), la tendance est légèrement différente, avec un mois de janvier à l'hydrologie moins prononcée et à l'inverse un mois de mars à l'hydrologie plus prononcée que sur la Garonne. En revanche, d'avril à juin, l'hydrologie du Tarn a présenté également un déficit marqué (notamment le mois de juin qui atteint à peine 25 % de la moyenne de référence).

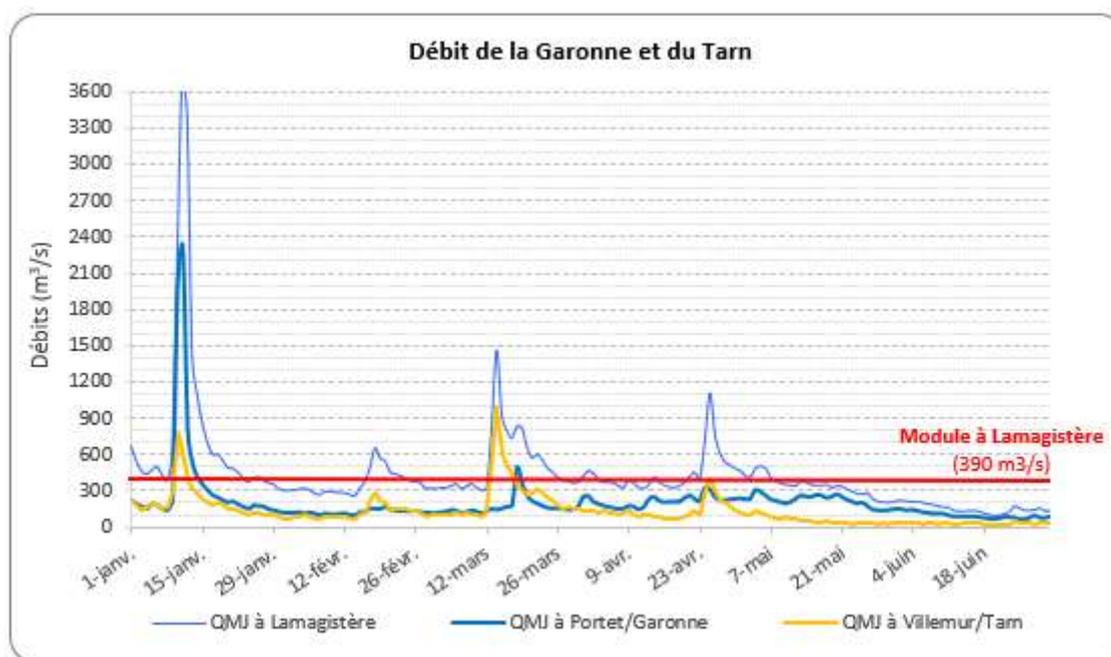


Figure 20 : Débits moyens journaliers de la Garonne et du Tarn pendant la période d'étude

Sur les courbes de débits moyens journaliers des 3 stations (Figure 20), on observe la crue du mois de janvier ($Q_{mj}=3670 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) à Lamagistère le 11 janvier (débit moyen journalier de la crue biennale de $2400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), puis des débits plutôt stables et faibles, avec seulement 3 coups d'eau significatifs au cours du printemps. Pour la station de Lamagistère, le coup d'eau du 18 février (Q_{mj} de $643 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 1,6 fois le module, le coup d'eau du 14 mars (Q_{mj} de $1452 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 3,7 fois le module et le coup d'eau du 25 avril (Q_{mj} de $1100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 2,8 fois le module.

Concernant le Tarn à la station de Villemur/Tarn, la crue du 11 janvier (Q_{mj} de $627 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 4,5 fois le module, puis le coup d'eau du 18 février (Q_{mj} de $285 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 2 fois le module, le coup d'eau du 14 mars (Q_{mj} de $995 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 7,1 fois le module et le coup d'eau du 25 avril (Q_{mj} de $405 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) représente 2,9 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 plutôt déficitaire, excepté lors de la crue de janvier.

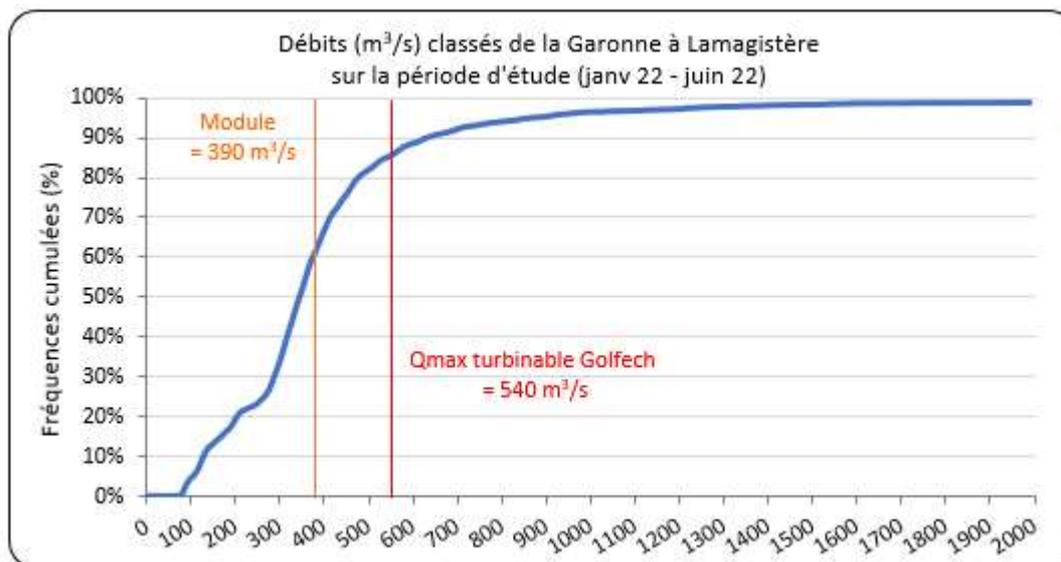


Figure 21 : Débits classés de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude

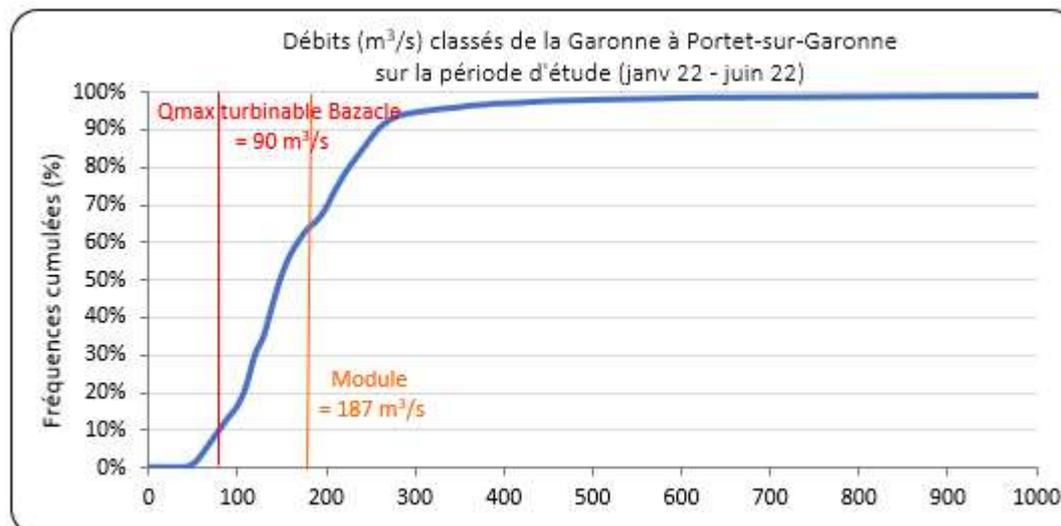


Figure 22 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude

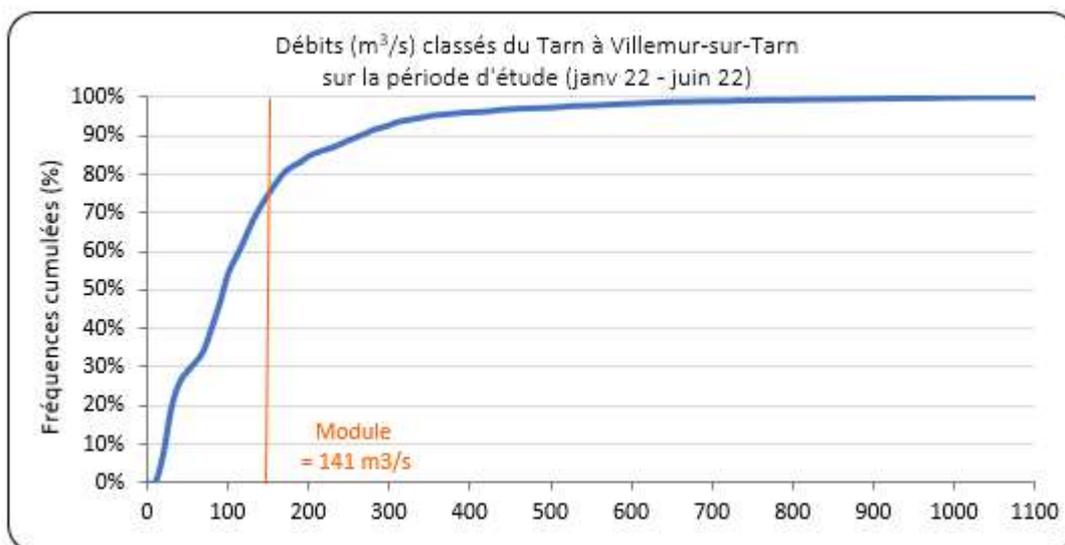


Figure 23 : Débits classés du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude

Le module de la Garonne à Lamagistère est de 390 m³/s. Cette valeur a été dépassée seulement 36,3 % du temps d'étude (Figure 21). Les débits à Lamagistère ont été inférieurs au maximum turbinable à l'usine de Golfech pendant 85 % du temps, ce qui signifie que seulement 15 % 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) 35 % du temps (Figure 22). Les débits à Portet-sur-Garonne ont été supérieurs au maximum turbinable à l'usine du Bazacle 86,5 % du temps, ce qui signifie des déversements importants au niveau de la chaussée du Bazacle sur la majeure partie de l'étude, l'usine du Bazacle étant faiblement équipée (48%) par rapport au module de la Garonne.

En ce qui concerne les débits du Tarn, ils ont été supérieurs au module (141 m³/s) seulement 28,7 % du temps d'étude (Figure 23).

5.2 Analyse de l'année 2022 par rapport aux chroniques historiques

Le débit moyen journalier lors du premier semestre 2022 est resté globalement inférieur à la moyenne des valeurs observées sur les cinquante dernières années (Figure 24), excepté lors des coups d'eau de mars et avril. Par rapport au suivi 2021, le mois de février a été bien plus sec, mais les mois de mars et avril ont présentés des débits supérieurs. A partir du mois de mai, les débits sont semblables au suivi 2021 et le mois de juin 2022 a présenté des débits très faibles, encore plus faibles qu'en 2021, proches des débits les plus faibles observés à cette époque par rapport à la période de référence.

Comme pour 2021, la crue importante enregistrée en début d'année (février pour 2021 et janvier pour 2022) 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 2022 correspond donc à une année présentant une crue majeure en sortie d'hiver, suivie d'un printemps particulièrement sec.

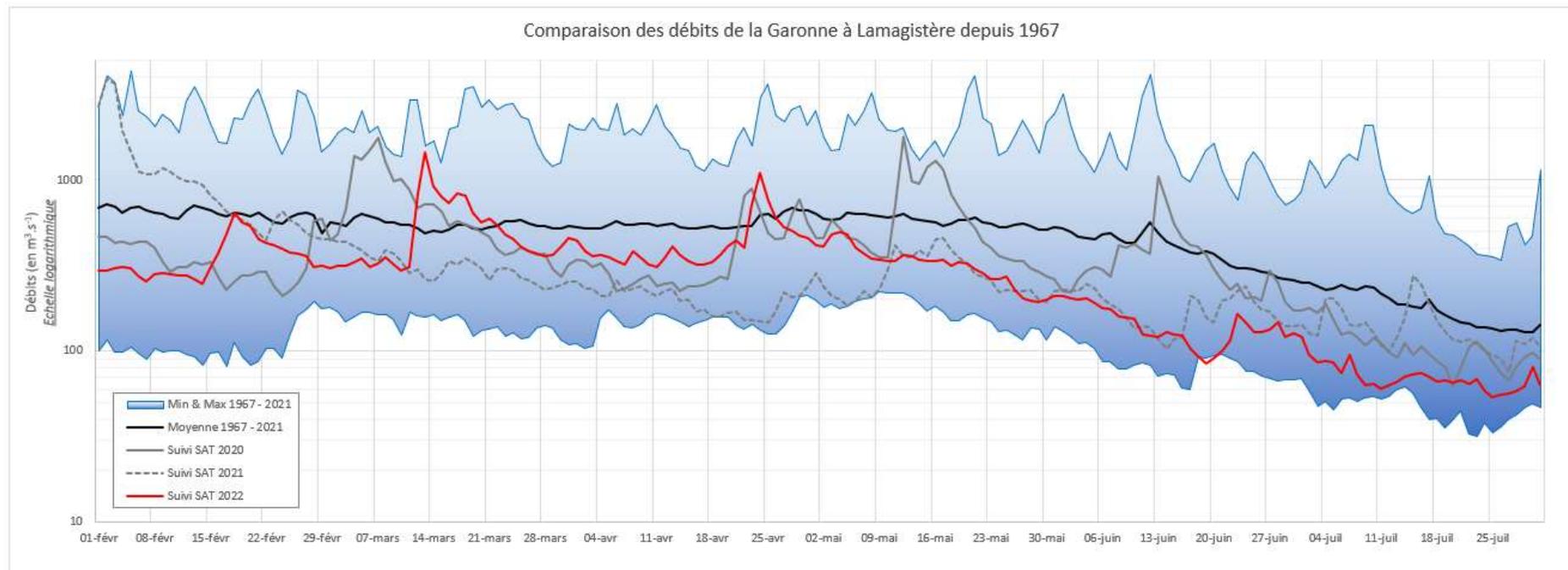


Figure 24 : Comparaison des débits de la Garonne à Lamagistère depuis 1967

5.3 Température de l'eau

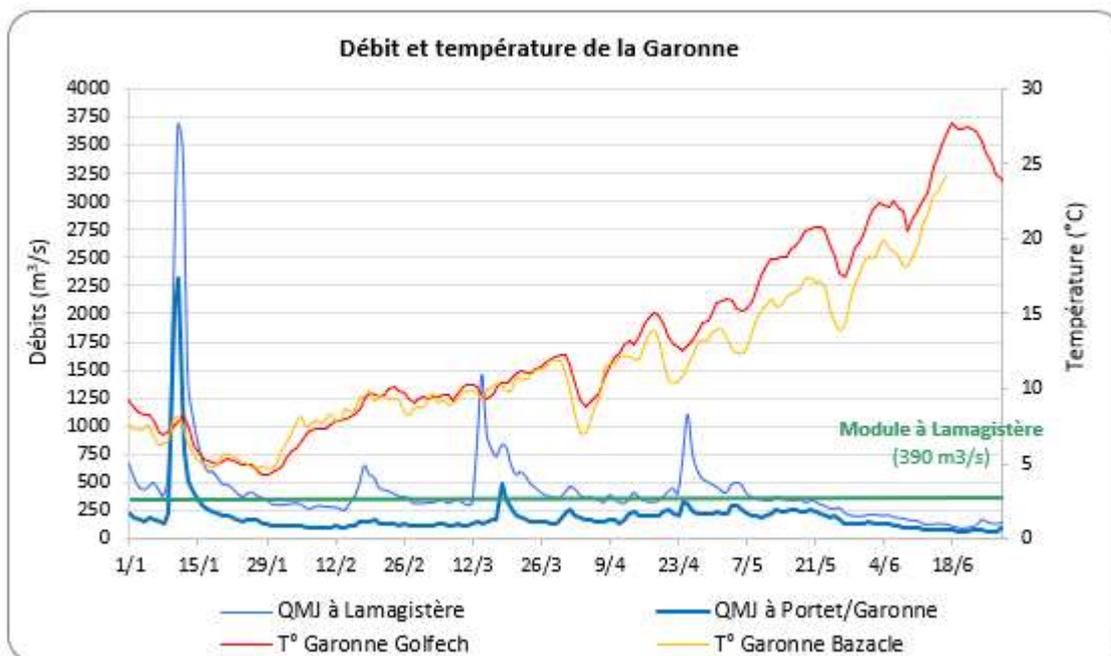


Figure 25 : Hydrologie et thermie de la Garonne au cours du suivi 2022

Pour les températures, l'eau de la Garonne a dépassé les 10°C à Golfech à partir du 10 mars et a augmenté progressivement pour atteindre 15°C à la fin du mois d'avril, puis la température de l'eau a atteint les 20°C dès le 18 mai (Figure 25). Concernant la migration des saumons, les températures de l'eau à Golfech ont donc été globalement favorables uniquement jusqu'à la fin mai.

6. RESULTATS AUX STATIONS DE CONTROLE ET PIEGEAGE

6.1 Station de contrôle de Golfech

6.1.1 Fonctionnement de l'ascenseur à poissons de Golfech

Au cours de la période durant laquelle des franchissements de saumon atlantique ont été enregistrés à Golfech en 2022 (18 février - 03 juin), le dispositif de franchissement a fonctionné 85% du temps théorique (2167h sur 2544h). Les arrêts de l'ascenseur sont systématiquement consignés et classés selon 4 classes : **crue**, **entretien**, **volontaire** et **panne** (Figure 26). Les arrêts durant les crues sont inévitables, ils sont le fait même de la conception de l'ouvrage de franchissement, calé pour fonctionner jusqu'à des débits atteignant deux fois le module (environ 900 m³/s à Golfech).

Une panne de l'ascenseur, dû à une rupture du câble de la cuve à conduit à un arrêt conséquent du système (de 156h soit 6% du temps théorique) en avril (Figure 26 et Figure 27). Cependant, la cause principale d'arrêt, au cours de ce suivi, reste les crues et coups d'eau qui ont conduit à des arrêts de l'ascenseur en mars et en avril. Cela représente 213h (soit 8%). La remise en service de l'ascenseur, suite à l'entretien annuel, a eu lieu le 18 février et le premier saumon a franchi l'ascenseur seulement 10h après.

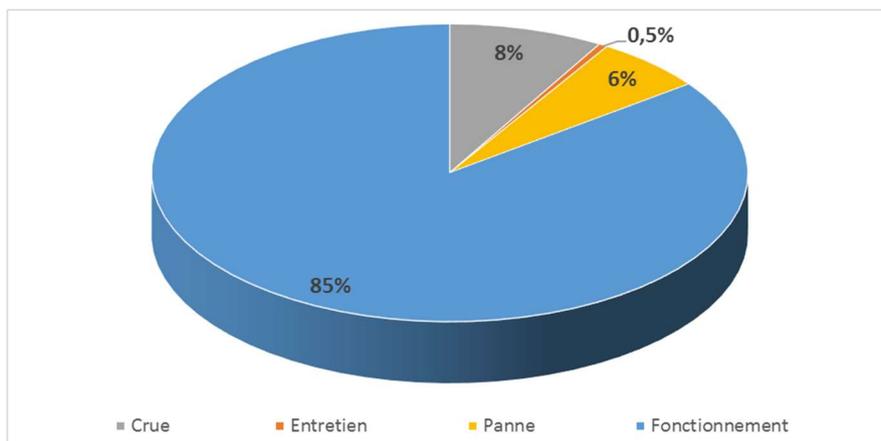


Figure 26 : Répartition du temps de fonctionnement et des causes d'arrêt de l'ASP en 2022 (en %)

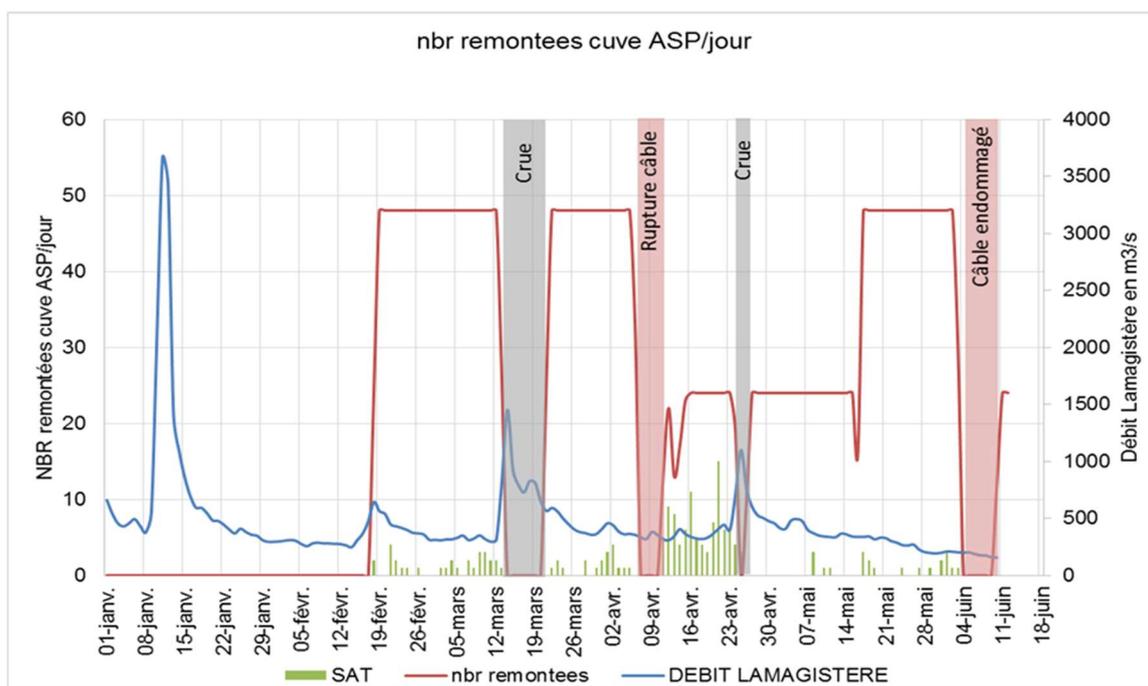


Figure 27 : Fonctionnement de l'ASP et contrôle de saumons en fonction du débit de la Garonne

6.1.2 Le saumon atlantique

L'année 2022 a vu l'enregistrement de 166 individus de saumons atlantique à la station de contrôle vidéo de Golfech. Les deux premiers individus ont été contrôlés le 18 février 2022 pour une température de l'eau de 9,4°C. Puis la migration a véritablement débuté au mois de mars, avec 29 saumons filmés (soit une moyenne de quasiment 1 ind./jr). Aucun poisson n'a été contrôlé après le 07 juin (température de l'eau > 22°C). Cette année, la migration a donc été très condensée avec 67 % des effectifs (111 sur 166) contrôlés sur le seul mois d'avril et 80 % (134 sur 166) contrôlés en mars et avril. Sur cette période de 61 jours, 134 saumons ont été contrôlés, soit une moyenne de 2,2 ind./jr. On notera au mois d'avril, plusieurs journées avec plus de 10 poissons contrôlés, notamment le 16 avril avec 11 individus (température de l'eau de 14,3°C) et le 21 avril avec 12 individus (température de l'eau de 13,4°C).

La température de l'eau élevée à la fin du mois de mai ($T^{\circ}\text{C} > 22^{\circ}\text{C}$), conjuguée aux faibles débits observés ($< 200 \text{ m}^3/\text{s}$) semblent avoir stoppé la dynamique de migration.

Concernant le devenir des poissons, les individus non marqués pour l'étude sont pour la majorité transportés sur la rivière Ariège. Lors du suivi 2021, en plus des 24 individus marqués et suivis (25 %), 37 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 1 individu a été prédaté dans le canal de transfert (1 %). Au final, 29 saumons n'avaient pu être capturés, principalement en raison de leur passage nocturne à l'ascenseur, et avaient donc rejoint la Garonne amont (30 %). Pour cette campagne 2022, 26 saumons ont été marqués (15,5 %), 92 ont été transportés sur l'Ariège (55 %), 5 ont rejoint le centre de reconditionnement de Bergerac (3 %) en raison de leur état sanitaire peu satisfaisant et 4 individus sont morts ou ont été prédatés dans le canal de transfert (2,5%). Finalement, 39 saumons n'ont pu être capturés cette année, principalement en raison de leur passage nocturne à l'ascenseur, et ont donc rejoint la Garonne amont (24 %).

Avec 166² individus, l'effectif contrôlé en 2022 est très proche de celui contrôlé en 2020 (166 pour 168) et presque le double de l'effectif 2021. Il se situe proche de la moyenne des effectifs contrôlés à Golfech depuis 1993 qui est de 157 saumons (Tableau 9).

Année	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Effectif	166	96	168	141	77	86	149	219	142	51	133
Année	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
Effectif	165	100	71	204	150	128	45	126	86	351	599
Année	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993			
Effectif	436	255	90	62	115	117	137	46			

Tableau 9 : Bilan historique des effectifs de saumons Atlantique contrôlés à Golfech depuis 1993

A titre informatif, en 2022, 5 saumons ont été contrôlés à la nouvelle station vidéo de Malause. On retrouve un saumon marqué, relâché dans le TCC (**48501_54**), parmi ces 5 poissons.

6.1.2.1 Comportement dans le système de franchissement

En 2022, le temps de transit des saumons à l'intérieur du canal de transfert de Golfech a été analysé. Celui-ci peut être influencé par l'heure d'arrivée des individus dans le système. En effet comme l'indique la Figure 28, les saumons empruntant l'ascenseur en journée franchissent rapidement le canal de transfert (75 % des transferts inférieurs à 2h30 et 100 % inférieurs à 5h). Lorsque les saumons arrivent dans le canal de transfert en fin de journée, ils se mettent au repos et reprennent leur migration au petit matin (stabulation dans le canal de transfert allant jusqu'à 8h30).

² Le poisson **48501_54** a été piégé à la station de contrôle de Golfech mais relâché dans le TCC. Il a ensuite franchi la nouvelle passe de Malause. Cet individu est donc comptabilisé deux 2 fois dans les effectifs : une fois à Golfech avant son piégeage et une fois à Malause lors de son franchissement en amont du barrage.

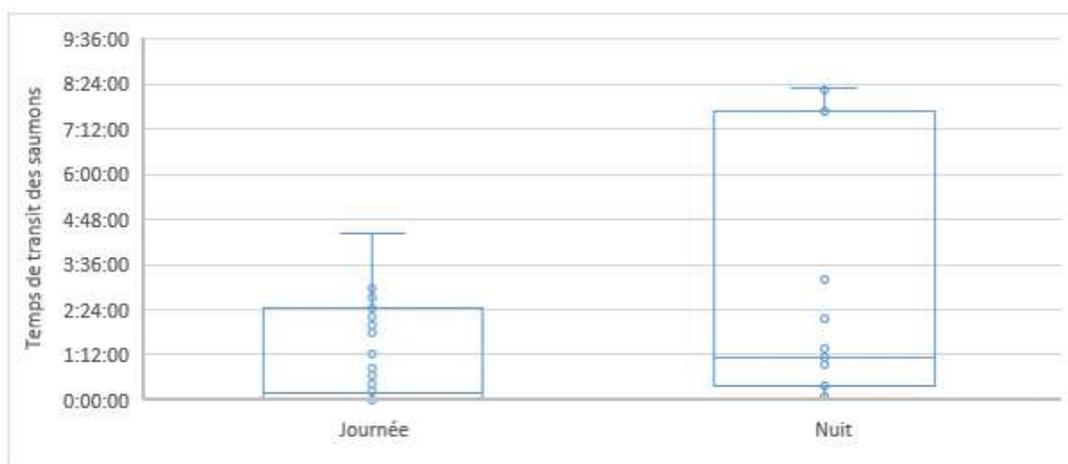


Figure 28 : Comparaison du temps de transit des saumons dans le canal de transfert en fonction de la période d'arrivée dans le système (jour/nuit)

6.1.3 Le silure

Cette année 439 silures ont emprunté le dispositif de franchissement de Golfech (Figure 29). Le premier est arrivé de façon presque concomitante avec l'ouverture du dispositif (et l'arrivée des deux premiers saumons), le 19 février. Les passages restent faibles jusqu'à fin avril. Après la crue du 24 avril, leur présence s'intensifie sans toutefois que l'on observe des comportements de stagnation/d'accoutumance au système, et cela jusqu'à fin juillet. Enfin, d'août à octobre, ce sont les mêmes silures qui font des va et vient à l'intérieur du canal de transfert.

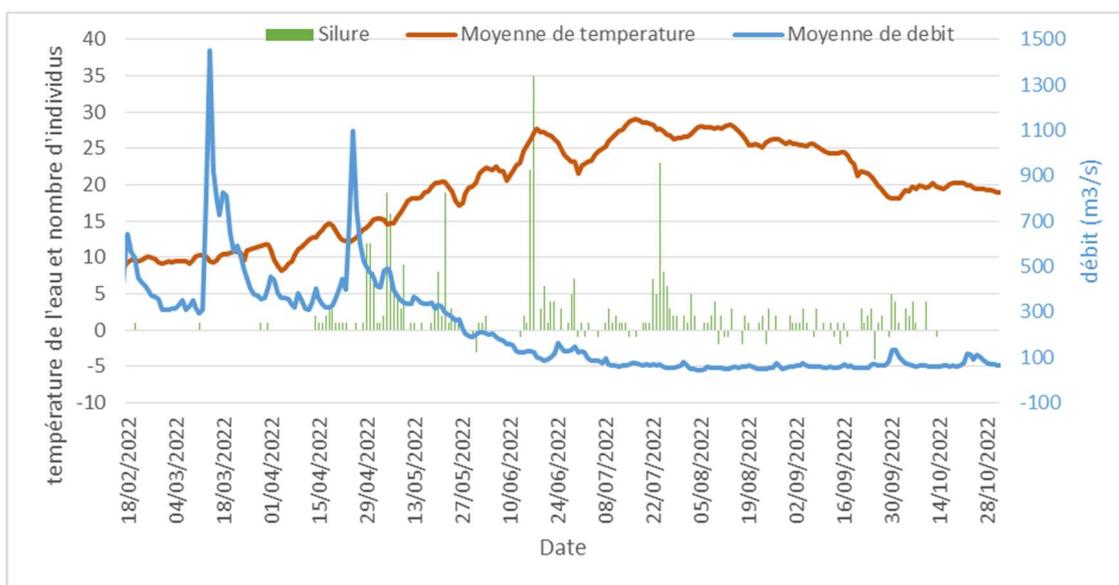


Figure 29 : Evolution des passages de silures à Golfech en 2022

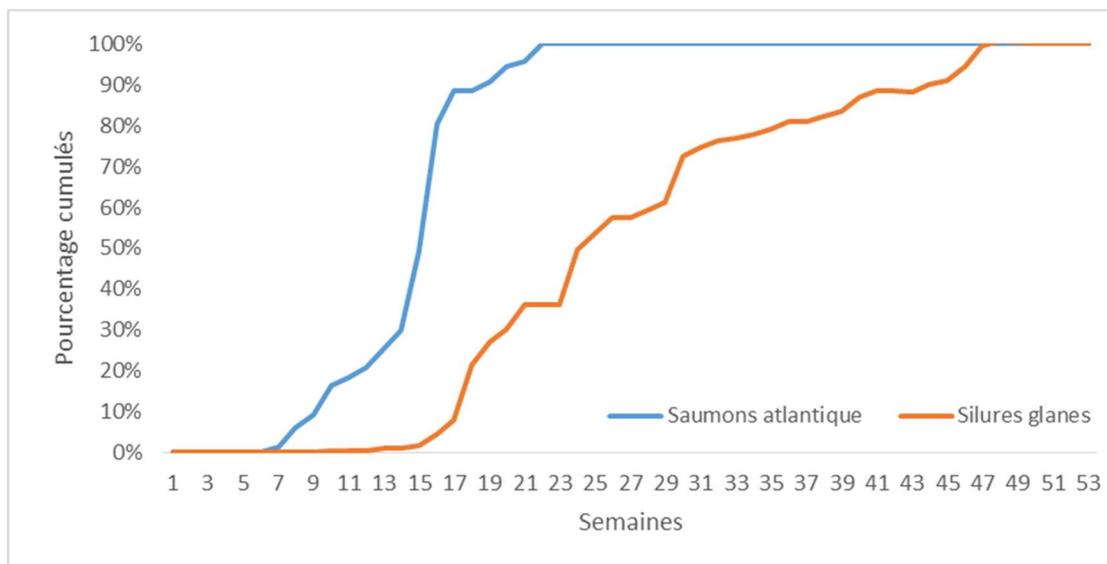


Figure 30 : Pourcentages cumulés des effectifs de saumons et de silures par semaine pour l'année 2022

Les pourcentages cumulés des effectifs de l'année 2022 (Figure 30) révèlent que les saumons arrivent tôt dans la saison et que l'effectif maximal a été rapidement atteint (en 15 semaines) contrairement aux silures qui se sont présentés plus tardivement (9 semaines plus tard pour le premier pic) mais atteignent également plus tardivement leur effectif maximal de l'année (en 40 semaines environ).

Parmi les 439 silures observés à la station de contrôle de Golfech, 159 individus (soit 36 %) ont transité à travers le système au cours de la période où des franchissements de saumons ont été enregistrés (du 18/02/2022 au 07/06/2022).

6.1.4 Comportement des silures dans le canal de transfert et prédation :

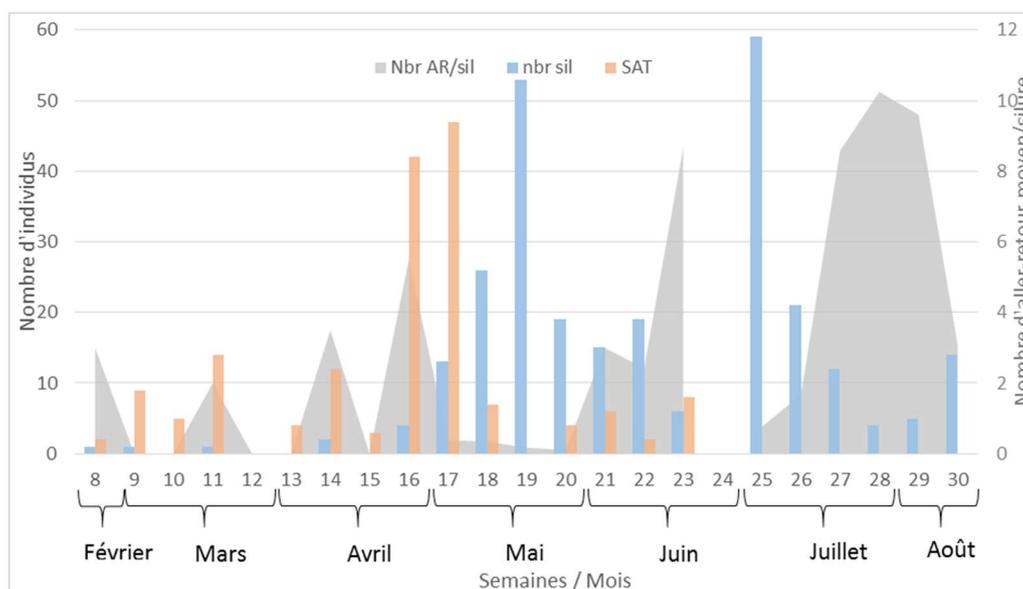


Figure 31 : Nombre d'aller-retour par silures dans le canal de transfert mis en corrélation avec les passages de silures et de saumons en 2022

La Figure 31 présente la répartition des passages de silures et de saumons dans le système au cours de la saison 2022, ainsi que le nombre d'aller-retour moyen par silure dans le canal de transfert sur la même période. Ce dernier a été analysé afin de mieux appréhender le comportement des silures dans le canal de transfert.

En premier lieu on observe **1)** un décalage dans le temps de la présence des deux espèces (Figure 30). Les saumons sont arrivés plus tôt que les silures et lorsque la présence de silures s'est intensifiée, le pic de migration du saumon était presque terminé et **2)** on observe qu'entre la semaine 8 (février) et la semaine 22 (mi-juin), le nombre d'aller-retour moyen par silure est relativement faible (2 allers-retours en moyenne) alors que cette période correspond à une forte affluence des saumons. Durant ces mois, les silures empruntant l'ouvrage ont tendance à passer plus rapidement (exception faite de certains individus dit « stagnants » qui sont retirés du système). Par la suite, au cours des mois d'été, le nombre d'allers-retours augmente car quelques silures sont devenus résidents et circulent à l'intérieur du canal de transfert.

Plus globalement, on constate sur la Figure 31, que les semaines de fort passage de silures, à l'image des semaines 19 et 25, ne présentent pas d'aller-retour. Les silures ne s'arrêtent pas dans le système lors de ces pics migratoires et posent probablement moins de problèmes aux autres espèces.

Si les deux premiers points semblent indiquer que globalement les silures ayant franchi Golfech en période de passage des saumons ont eu peu d'impact dans le système lors de ce suivi 2022, certains ont malgré tout dû être évacués en raison de leur comportement d'acclimatation à l'ouvrage.

Date	Semaine	Num. Vidange	Taille (cm)	Destination	Contenus stomacaux	Sexe
30/03/2022	14	1	188	valorisation	-	M
14/04/2022	16	2	163	valorisation	SAT	M
14/04/2022	16	2	194	valorisation	SAT	M
02/05/2022	19	3	159	valorisation	-	F
02/05/2022	19	3	204	valorisation	-	M
20/05/2022	21	4	177	valorisation	-	F
20/05/2022	21	4	210	valorisation	CHE 35 cm	M
01/06/2022	23	5	152	valorisation	-	F

Tableau 10 : Caractéristiques des 8 silures extraits du canal de transfert lors des vidanges effectuées en 2022

Cette saison, ce sont donc 8 silures qui ont été évacués et valorisés (Tableau 10). Ces 8 silures représentent 1.8% de l'ensemble des individus ayant emprunté l'ouvrage et leur taille est comprise entre 152 et 210 cm (moyenne : 181cm).

Bien que le protocole de vidange ait été effectué et que très peu de silures (au regard du nombre annuel) aient été problématiques, deux saumons ne se sont jamais présentés à la vitre de contrôle vidéo et ont subi une prédation : les individus ont été retrouvés, le 14 avril, lors de l'analyse des contenus stomacaux des silures extraits du canal de transfert. Cette date correspond à une semaine de pic de migration de saumons.

6.2 Station de contrôle du Bazacle

En 2022, 14 saumons ont été enregistrés au total comme franchissant l'ouvrage du Bazacle, dont 2 poissons radiomarqués (**48501_04** et **48501_09**). Ce nombre est faible,

indépendamment du nombre total de poissons à l'amont de l'aménagement de Malause/Golfech. Les individus ont été contrôlés entre le 15/04 et le 12/06.

En parallèle du contrôle des saumons, 41 individus de silure ont été observés à la station du Bazacle au cours de l'année 2022 (63 en 2021, 32 en 2020, 21 en 2019, 58 en 2018 et 30 en 2017).

En connaissant le nombre de saumons à l'amont des ouvrages de Golfech/Malause et le nombre d'individus contrôlés au Bazacle, il est possible de calculer le taux de transfert entre les 2 ouvrages. En 2022, 14 saumons ont été contrôlés au Bazacle sur les 48 passés à l'amont de Golfech-Malause qui se répartissent comme suit : 39 individus non piégés pour transport sur l'Ariège et 4 individus non-marqués contrôlés à la nouvelle passe de Malause et 5 individus marqués ayant franchi le complexe Golfech-Malause (4 à l'ascenseur de Golfech et 1 à la nouvelle passe de Malause). Ceci représente donc un taux de transfert de 29 %. Le Tableau 11 reprend l'évolution du taux de transfert des saumons entre Golfech et l'amont du Bazacle qui varie de 9 % à 53 %, avec une moyenne de 29 % sur la période 1994-2022.

Année	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	
Nbr de SAT en amont de Golfech	48	33	151	34	62	45	84	136	90	43	116	
Nbr de SAT contrôlés au Bazacle	14	3	60	8	8	14	37	46	14	13	21	
Taux de transfert	29%	9%	39%	24%	13%	31%	44%	34%	16%	30%	18%	
Année	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	
Nbr de SAT en amont de Golfech	152	92	59	183	137	119	37	118	88	351	599	
Nbr de SAT contrôlés au Bazacle	50	24	22	73	31	47	10	33	28	121	123	
Taux de transfert	33%	26%	37%	40%	23%	39%	27%	28%	32%	34%	21%	
Année	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994					
Nbr de SAT en amont de Golfech	436	255	90	62	115	117	134					
Nbr de SAT contrôlés au Bazacle	73	40	37	10	61	37	55					
Taux de transfert	17%	16%	41%	16%	53%	32%	41%					

Tableau 11 : Evolution du taux de transfert des saumons sur la Garonne entre Golfech et le Bazacle entre 1994 et 2022

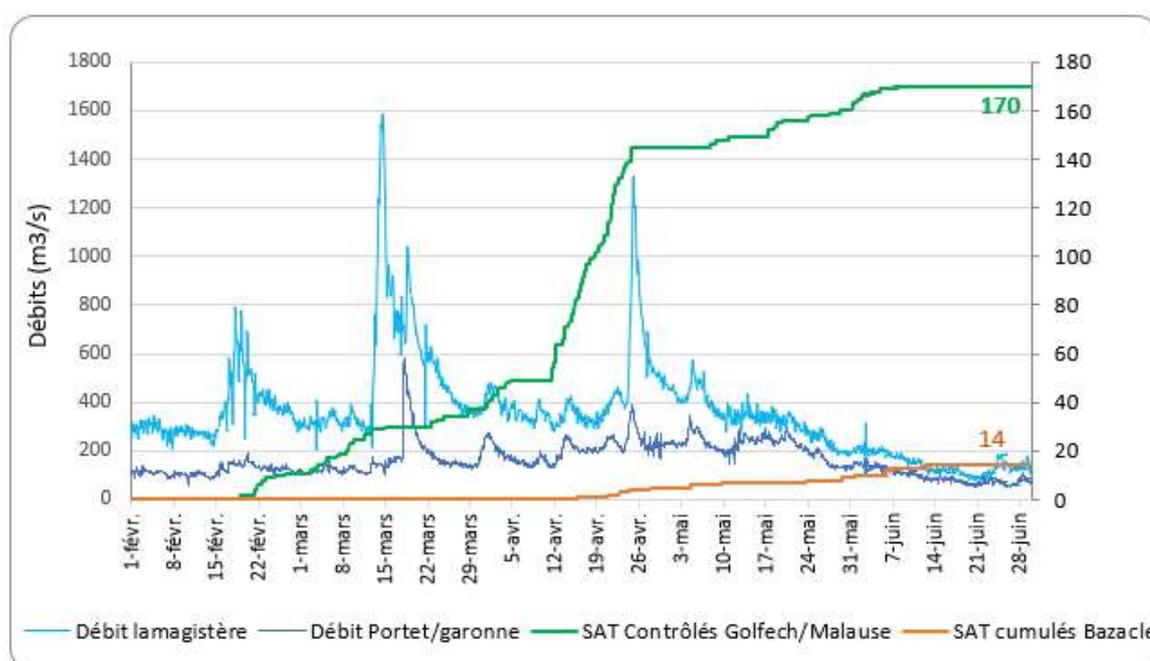


Figure 32 : Effectifs cumulés de saumons Atlantique contrôlés aux stations de Golfech et du Bazacle

La Figure 32 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). Les effectifs ont évolué de manière progressive et continue à partir du mois de février et jusqu'à mi-avril à Golfech. A partir de là, et jusqu'à la crue du 24 avril, la fréquence des contrôles a considérablement augmentée. Après la crue, les contrôles ont subi un arrêt marqué de 13 jours avant de reprendre le 07 mai. A partir de cette date, les contrôles ont repris une progression lente mais régulière pendant 1 mois et le dernier saumon a été filmé le 07 juin. Seulement 8 individus ont été contrôlés au mois de juin, et aucune reprise de migration ne sera observée après la période estivale à Golfech. Au niveau du Bazacle, les effectifs n'ont jamais vraiment décollé et le bilan de l'année 2022 est de seulement 14 franchissements, avec 5 contrôles en avril, 4 en mai et 5 en juin.

6.3 Données du piégeage

Au cours de l'année 2022, 166 saumons au total ont été recensés à la station de contrôle de Golfech et 5 à la nouvelle station de contrôle de Malause (4 non-marqués et 1 marqué). La campagne de piégeage mise en place pour les besoins de ce suivi a permis de capturer 26 d'entre eux (soit 15,5 % des individus passés à Golfech), entre les mois de mars et juin. Parmi ces 26 saumons, il n'y a aucun castillon (individu d'1 hiver de mer), tous les poissons contrôlés en 2022 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 effectifs à la station vidéo de Golfech ont entraîné l'arrêt des piégeages de saumons pour le marquage.

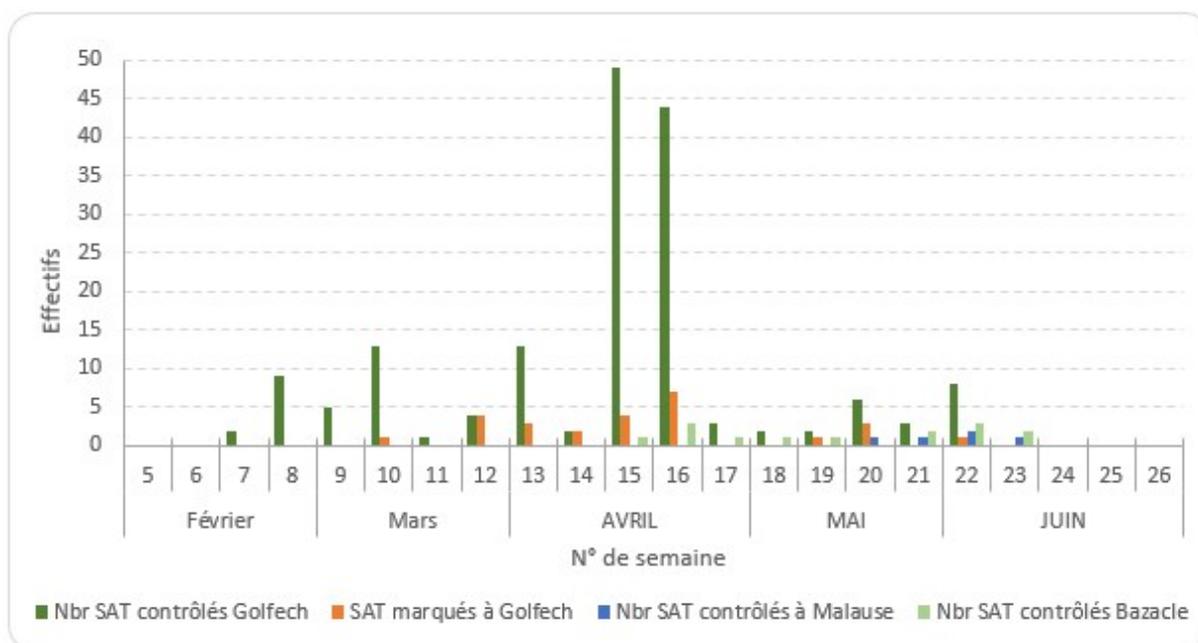


Figure 33 : Comparaison de la répartition hebdomadaire des passages de saumons à Golfech, à Malause et au Bazacle avec la répartition des piégeages/marquages pour le suivi télémétrique

La Figure 33 et la Figure 34 montrent que la migration de saumons atlantique 2022 a été essentiellement concentrée sur les mois de mars et avril avec 79 % (134 sur 170) de l'effectif total contrôlé à Golfech et Malause. Concernant les piégeages et les marquages de saumons, 16 saumons sur les 26 marqués au total, ont été équipés d'émetteurs au mois d'avril (62 %) et 5 au mois de mars (19 %). Globalement, les dates de marquage pour le suivi télémétrique correspondent aux périodes principales de contrôle des saumons à la station vidéo de Golfech.

On notera également les 5 contrôles de saumon à la nouvelle passe de Malause : 2 à la fin du mois de mai et 2 au début de mois de juin et le 5^{ème} le 4 juin (correspondant à un individu radiomarké lâché dans le TCC).

Les contrôles de poissons au Bazacle se répartissent avec 5 contrôles en avril, 4 en mai et 5 en juin, soit 14 individus au total, dont 2 radiomarkés.

Au total, les 26 poissons piégés puis marqués ont été capturés sur 17 sessions de piégeage (Tableau 12), qui se sont déroulées pour des débits de Garonne à Lamagistère compris entre 207 et 544 m³.s⁻¹ (Figure 34). La majorité des poissons a été piégée sur des débits à Lamagistère faibles (inférieurs au module) et stables, seuls 4 individus ayant été piégés lors d'une baisse de débit notable (après le coup d'eau de mars).

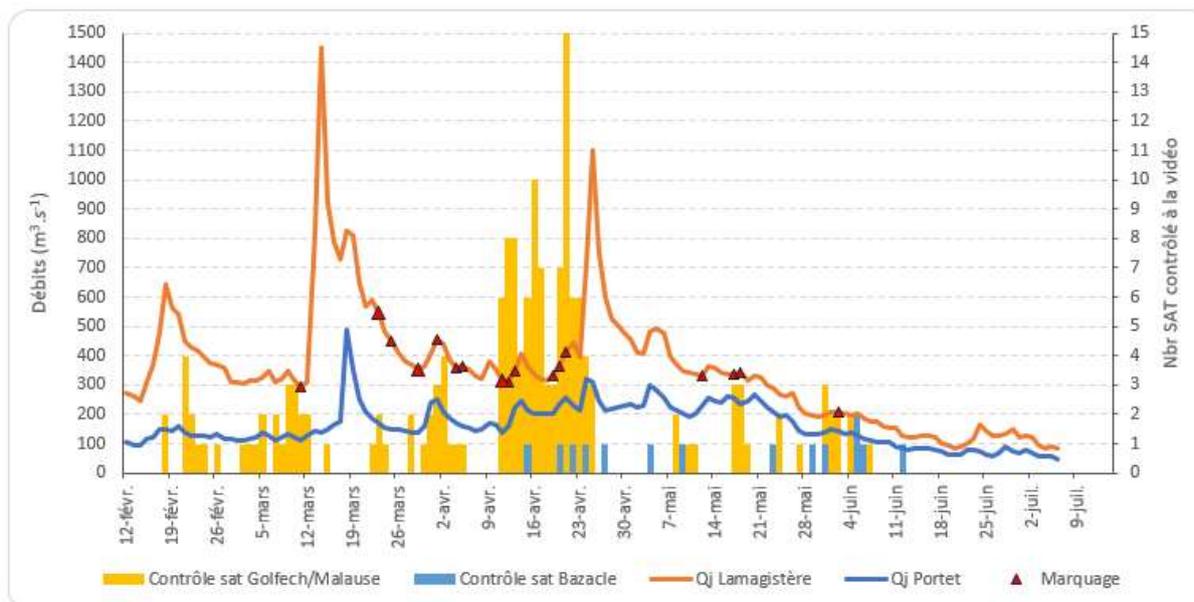


Figure 34 : Répartition des franchissements et des piégeage/marquages à Golfech, ainsi que des franchissements au Bazacle en fonction des débits de la Garonne

Le détail de la Figure 35 montre que 75 % des piégeages et des contrôles vidéo ont été réalisés pour des débits à Lamagistère inférieurs à 400 m³.s⁻¹ et que la majeure partie des contrôles vidéo se sont déroulés entre 315 m³.s⁻¹ et 400 m³.s⁻¹ et la plupart des marquages de poissons ont été réalisés entre 330 et 400 m³.s⁻¹. Concernant les débits journaliers du premier semestre à Lamagistère, le 3^{ème} quartile est de 450 m³.s⁻¹ et la médiane est de 350 m³.s⁻¹.

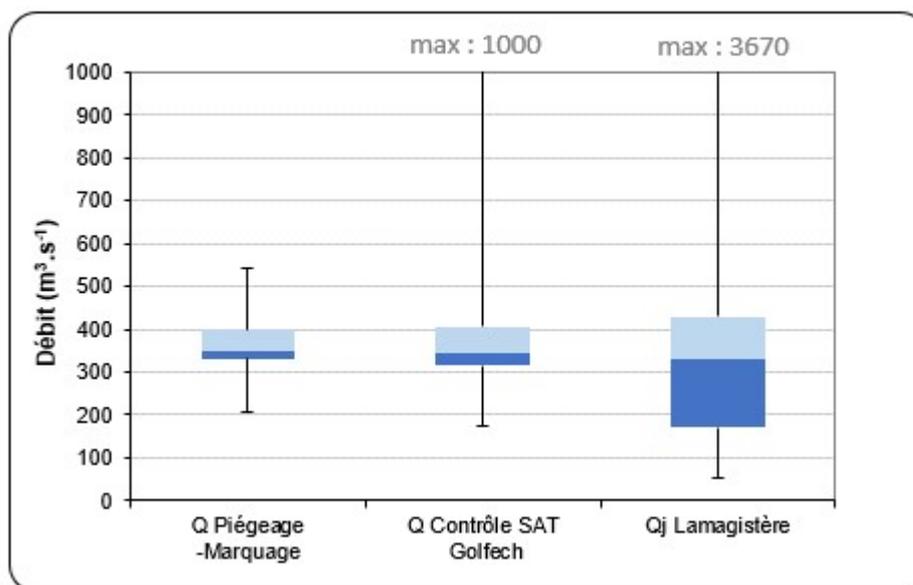


Figure 35 : Répartition des débits de piégeage et de contrôle à la vidéo des saumons par rapport au débit de Lamagistère (1^{er} janv. au 31 juil.)

N° poisson	Date	Code lot	Radio		Acoustique	Tiris	Date heure lâcher	Lieu de lâcher	Taille	Adipeuse
			Freq.	Code						
1	11/03/2022	SAT22GAR0	48501	0	1144	8000F9EE941A7689	11/03/2022 14:30	Lamagistère	83	oui
2	23/03/2022	SAT22GAR1	48501	1	57604	8000F9EE941A7578	23/03/2022 10:00	Lamagistère	80.9	oui
3	23/03/2022	SAT22GAR2	48501	2	1145	8000F9EE941A7779	23/03/2022 10:00	Lamagistère	83.6	oui
4	23/03/2022	SAT22GAR3	48501	3	57605	8000F9EE941A77C0	23/03/2022 11:20	Lamagistère	77.5	oui
5	25/03/2022	SAT22GAR4	48501	4	1146	8000F9EE941A7B43	25/03/2022 14:45	Lamagistère	83	oui
6	29/03/2022	SAT22GAR5	48501	5	57606	8000F9EE941A8DC2	29/03/2022 11:45	Lamagistère	77.5	oui
7	29/03/2022	SAT22GAR6	48501	6	1147	8000F9EE941A72D7	29/03/2022 11:25	Lamagistère	77.5	oui
8	01/04/2022	SAT22GAR9	48501	9	57607	8000F9EE941A7453	01/04/2022 09:00	Lamagistère	78.2	oui
9	04/04/2022	SAT22GAR10	48501	10	1148	8000F9EE941A76E2	04/04/2022 13:30	Lamagistère	77.5	oui
10	05/04/2022	SAT22GAR12	48501	12	1149	8000F9EE941D92A2	05/04/2022 09:00	Lamagistère	78.9	oui
11	11/04/2022	SAT22GAR25	48501	25	57608	8000F9EE941D945D	11/04/2022 13:40	Lamagistère	76.8	oui
12	11/04/2022	SAT22GAR26	48501	26	1150	8000F9EE941A75E2	11/04/2022 14:00	Lamagistère	77.5	oui
13	12/04/2022	SAT22GAR27	48501	27	57609	8000F9EE941A8E61	12/04/2022 11:00	Lamagistère		oui
14	13/04/2022	SAT22GAR28	48501	28	1151	8000F9EE941D9430	13/04/2022 11:25	Lamagistère		oui
15	19/04/2022	SAT22GAR31	48501	31	57611	8000F9EE941A797A	19/04/2022 10:00	Lamagistère	78.9	oui
16	19/04/2022	SAT22GAR29	48501	29	57610	8000F9EE941A7642	19/04/2022 09:30	Lamagistère	76.8	oui
17	19/04/2022	SAT22GAR30	48501	30	1152	8000F9EE941A7ADA	19/04/2022 09:50	Lamagistère	81.6	oui
18	21/04/2022	SAT22GAR34	48501	34	1155	8000F9EE941A7726	21/04/2022 10:20	Lamagistère	79.6	oui
19	20/04/2022	SAT22GAR33	48501	33	1154	8000F9EE941A7207	20/04/2022 15:20	Lamagistère	73.4	oui
20	20/04/2022	SAT22GAR32	48501	32	1153	8000F9EE941A7086	20/04/2022 15:00	Lamagistère	73.4	oui
21	21/04/2022	SAT22GAR37	48501	37	56612	8000F9EE941D9597	21/04/2022 10:30	Lamagistère	76.8	oui
22	12/05/2022	SAT22GAR50	48501	50	1156	8000F9EE941A7546	12/05/2022 11:45	Lamagistère	79	oui
23	17/05/2022	SAT22GAR51	48501	51	57613	8000F9EE941D91D2	17/05/2022 11:30	Lamagistère	80.1	oui
24	17/05/2022	SAT22GAR52	48501	52	1157	8000F9EE941A7925	17/05/2022 13:30	Lamagistère	74.4	oui
25	18/05/2022	SAT22GAR53	48501	53	57614	8000F9EE941A706E	18/05/2022 00:00	Lamagistère	78.5	oui
26	02/06/2022	SAT22GAR54	48501	54	1158	8000F9EE941A7830	02/06/2022 11:30	Lamagistère	73.7	oui

Tableau 12 : Synthèse des poissons piégés et marqués à Golfech au cours du suivi 2022

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 36). 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).

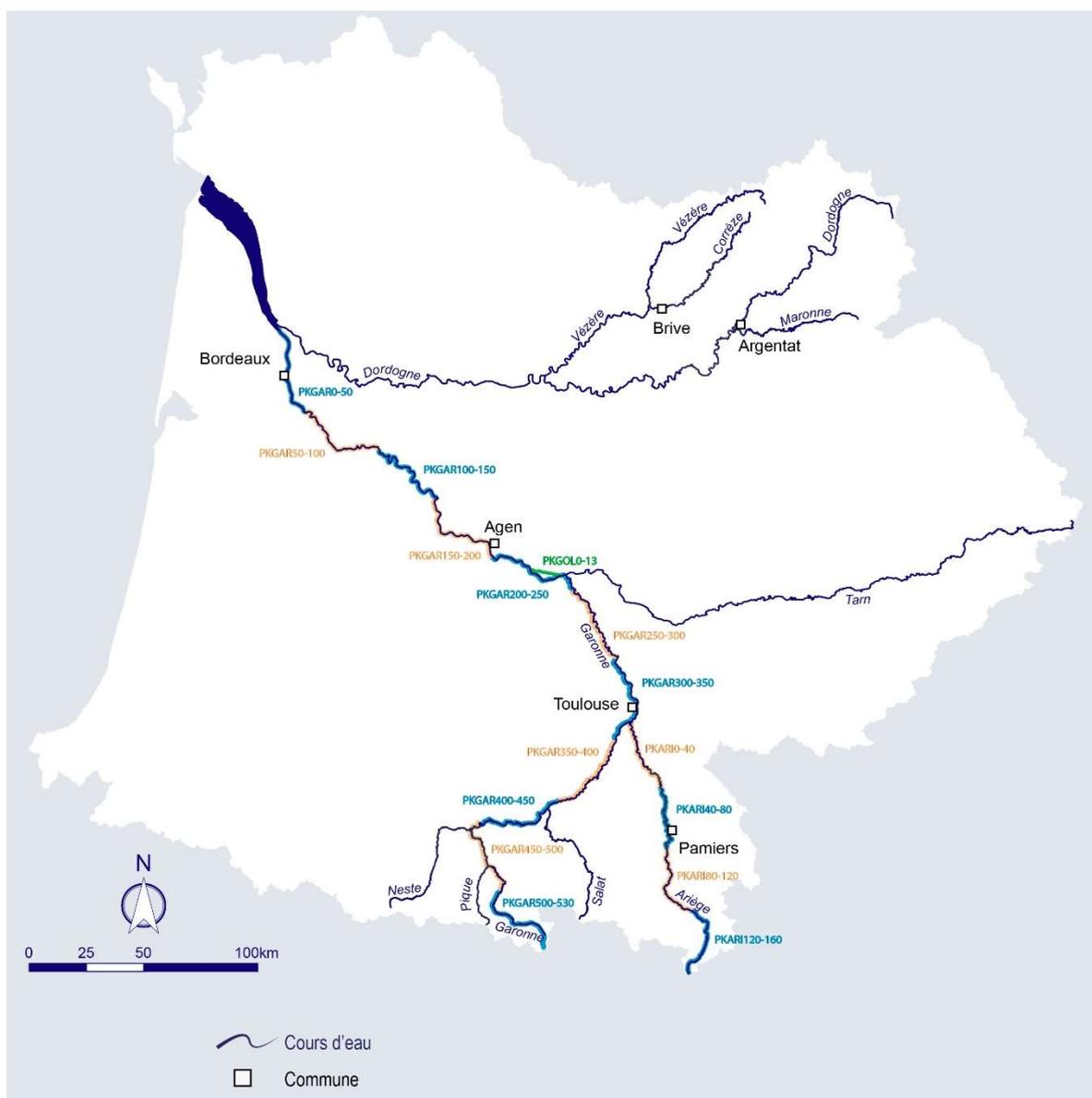


Figure 36 : Cartographie des différents secteurs et les différents codes utilisés dans l'analyse du devenir des individus marqués (points kilométrique)

7.1 Devenir des 26 saumons marqués

26 saumons ont été capturés à l'aide du piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur à poissons de Golfech. Ces 26 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 Lamagistère, *PK GAR_211,4*, soit 3,5 km en aval de l'aménagement (excepté le saumon **48501_54** qui a été lâché dans le TCC de Golfech en amont du seuil 1 *PK GAR_225,8*). Pour rappel, les marquages de poissons se sont étalés entre le 11 mars 2022 et le 02 juin 2022. Le suivi de ces poissons a été effectué pour la majorité jusqu'au début du mois de 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	
25*	12 sur 25	48%	12 sur 25	48%	12 sur 25	48%	10 sur 25	40%	5 sur 25	20%

**25 individus ont été lâchés en aval de l'ascenseur, le 26^{ème} individu a été lâché dans le TCC, en amont du seuil 1, il ne fait donc pas parti de cette analyse.*

Tableau 13 : Détails des détections des poissons marqués en aval de l'aménagement de Golfech

Parmi les 25 individus suivis en aval de l'ascenseur de Golfech, 12 ont effectué au moins une incursion dans le canal de fuite de l'usine (soit 48 %) (Tableau 13). La totalité de ces poissons a atteint le pied de l'ascenseur de Golfech (12 sur 25, soit 48 %).

Parmi les 12 poissons détectés en aval de l'ascenseur, 12 ont été enregistrés au moins à une des deux entrées de l'ascenseur (12 sur 25, soit 48 %). Sur ces 12 poissons qui se sont approchés des entrées de l'ascenseur, 10 ont réalisé au moins 1 incursion dans une des deux entrées (10 sur 12, soit 83 % et 10 sur 25, soit 40 %). Concernant les 2 poissons qui n'ont pas réalisé d'incursions, le poisson **48501_28** a dévalé significativement en amont du seuil de Beauregard (*PK GAR_190,5*) après son unique incursion en aval de l'ouvrage. L'individu **48501_51** a réalisé 2 incursions distinctes dans le canal de fuite dans la même journée (19 mai) jusqu'à l'aval de l'ouvrage avant de dévaler également de manière significative (*PK GAR_155*).

Enfin, parmi les 10 poissons ayant réalisé des incursions aux entrées, 5 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 **48501_01**, **48501_04**, **48501_05**, **48501_09** et **48501_25**. Les 5 poissons qui n'ont finalement pas franchi l'ascenseur ont, soit dévalé de manière notable (**48501_29**) en aval du point de lâcher (*PK GAR_205,8*), soit ont subi une prédation dans la zone aval du barrage. En effet, les poissons **48501_02** et **48501_06** ont effectué chacun une seule incursion dans la zone de l'antenne radio GOLGENE (respectivement 5h13min et 6h32min) avant de subir dans les jours suivant une prédation. Le saumon **48501_12** a effectué 7 incursions dans le canal de fuite sur une période de 14 jours et s'est présenté à chaque fois dans la zone de l'antenne GOLGENE. Lors de ces 7 incursions, le saumon s'est approché des entrées de l'ascenseur sans jamais y pénétrer. Comme les 2 poissons précédents, ce saumon a subi une prédation dans les jours suivant sa dernière incursion alors qu'il n'était pas ressorti du canal de fuite. Enfin, le saumon **48501_26**, dont l'émetteur prédation n'a pas fonctionné, a effectué 4 incursions dans le canal de fuite et a été détecté à 3 reprises dans la zone de l'antenne GOLGENE. Après analyse des données et du comportement de l'individu suivi, il semble que le poisson se soit fait prédater, dans la zone aval du barrage, à partir du 22 avril.

Concernant les 5 poissons ayant franchi l'ouvrage de Golfech, 4 sont arrivés jusqu'à l'usine du Bazacle à Toulouse (**48501_01**, **48501_04**, **48501_09** et **48501_25**) alors que le dernier n'est pas sorti du canal de transfert de l'ascenseur (**48501_05**), a priori la prédation n'est pas la cause de cet échec. Parmi les 4 poissons arrivés au Bazacle, seulement 2 ont franchi cet aménagement via la passe à poissons puis ont traversé l'agglomération de Toulouse en empruntant le site de la Cavaletade pour le poisson **48501_09** et par le site du Ramier pour le

poisson **48501_04**. Le premier individu a même atteint l'ouvrage de Carbonne, situé sur la Garonne à une quarantaine de kilomètres en amont de Toulouse (*PK GAR_361*) et a été piégé au niveau de l'ascenseur prévu pour la montaison et a été transféré sur l'Ariège au niveau de Varilhès (*PK ARI_79,9*). Le second poisson s'est quant à lui engagé sur l'axe Ariège et a atteint Auterive jusqu'au *PK ARI_24*. Ce poisson sera ensuite perdu pendant plusieurs jours avant de dévaler jusqu'à Toulouse.

Le poisson **48501_01** est arrivé le 03 mai en aval de l'ouvrage du Bazacle et y est resté jusqu'à la fin du suivi sans le franchir. Le poisson **48501_25** est resté 15 jours en aval de la chaussée du Bazacle avant de redévaler jusque dans le canal d'amenée de Golfech où ce dernier finira son parcours.

Pour ce suivi 2022, aucun poisson suivi ne s'est engagé sur l'axe Tarn. En ce qui concerne les 13 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.

En fin de suivi (02 juin), le dernier poisson marqué **48501_54** a été relâché dans le TCC en amont du seuil 1. Ce poisson a rapidement franchi la rivière de contournement au barrage de Malause puis a rejoint l'aval du seuil du Bazacle (*PK GAR_315,7*).

Les résultats détaillés concernant l'ensemble des poissons sont exposés à partir du paragraphe 7.2 et les Figure 37 et Figure 38 présentent la position la plus amont de chaque individu suivi pendant la campagne 2021.

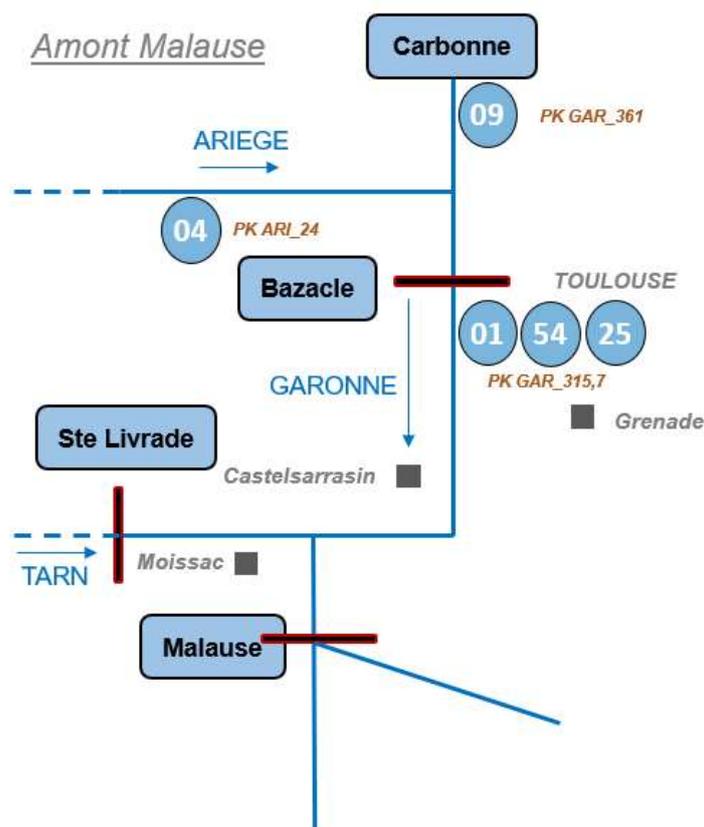


Figure 37 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en amont du complexe Malause-Golfech

Au final, seulement 6 individus marqués ont dépassé le PK de l'aménagement de Golfech (5 franchissements de Golfech et 1 franchissement de Malause via le TCC). 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 38, que 7 individus ont pour PK_{max} l'aval immédiat de l'usine de Golfech et 13 individus n'ont pas repris leur migration après le marquage et le lâcher, et n'ont donc pas dépassé le PK du point de lâcher.

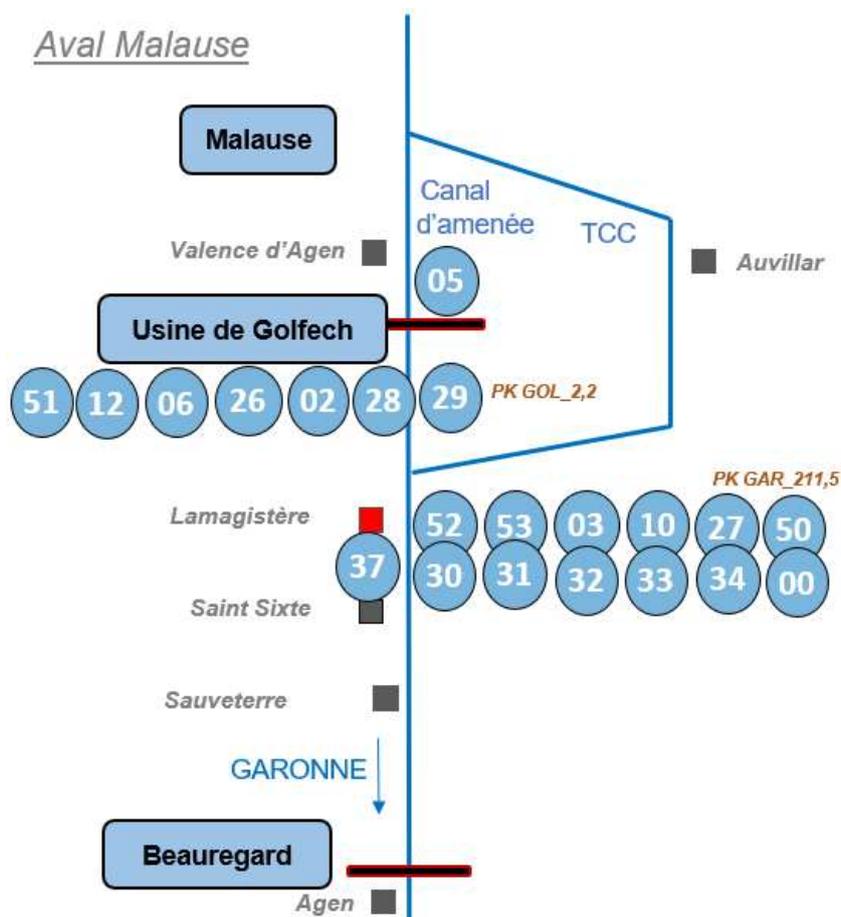


Figure 38 : Schéma bilan de la position la plus amont de chaque poisson suivi sur le secteur en aval du complexe Malause-Golfech

7.2 Comportement des saumons au niveau du complexe Golfech-Malause

7.2.1 Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech

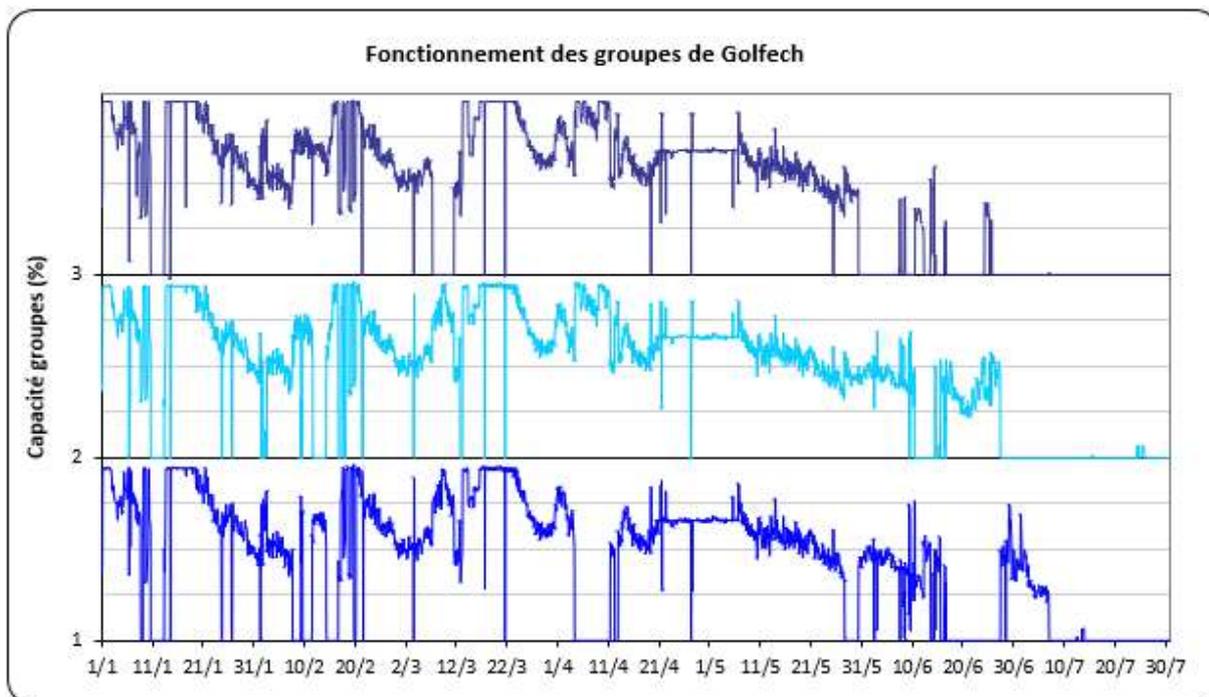


Figure 39 : Fonctionnement des 3 groupes de l'usine hydroélectrique de Golfech durant la saison de migration 2022

Lors de ce suivi 2022, les 3 groupes de l'usine étaient disponibles et ont fonctionné normalement. Sur la période de suivi réalisée (mars à juin), aucun arrêt significatif d'usine n'est à signaler (Figure 39). Les débits de la rivière ont permis un fonctionnement homogène de l'usine jusqu'à la fin du mois d'avril. La chute importante des débits de la Garonne a entraîné ensuite la baisse globale du débit turbiné, tout en gardant un fonctionnement homogène à 3 groupes. Le premier arrêt significatif de groupe est enregistré à partir du 27 mai (fonctionnement à 2 groupes) puis à partir du 12 juin, seul 1 groupe était en fonctionnement (groupe 2). On notera un arrêt de l'usine à partir du 7 juillet en raison des trop faibles débits entrant.

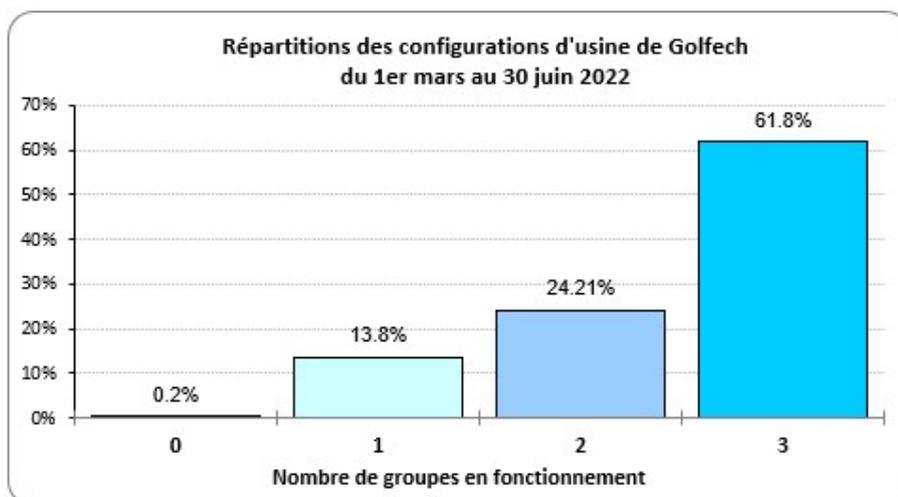


Figure 40 : Répartition des configurations d'usine à Golfech en fonction du nombre de groupes en fonctionnement

Si l'on observe les configurations d'usine sur la période de suivi des poissons radiomarqués (ici mars-juin), la configuration à 3 groupes représente 61,8 % et la configuration à 2 groupes représente 24,2 % du temps (Figure 40), soit 86 % du temps pour ces 2 configurations. Les configurations à 1 groupe ont, elles, représenté 13,8 % du temps de ce suivi. Les arrêts d'usine ne représentent que 0,2 % du temps. Concernant le suivi des poissons par télémétrie, 23 poissons marqués ont été relâchés alors que l'usine fonctionnait avec 3 groupes et 3 poissons relâchés lorsque l'usine fonctionnait à 2.

Au cours de l'étude, outre les arrêts d'usine relativement rares et ne représentant que 6h (Tableau 14), 7 autres configurations ont été observées. Tout d'abord, les configurations avec l'usine fonctionnant à un seul groupe représentent 403 heures de fonctionnement avec une faible utilisation des groupes 1 et 3 seuls (respectivement 137h et 15h de fonctionnement). La configuration avec seulement le groupe 2 a été enregistrée pendant 251h, soit 8,5 % du suivi. Les configurations à 2 groupes comprennent la configuration avec les groupes 2 et 3 (280h), la configuration avec les groupes 1 et 2 (366h) ainsi que la configuration avec les groupes 1 et 3 (63h). Enfin, la configuration la plus sollicitée est celle avec les 3 groupes de l'usine (1810h) puisqu'elle représente près de 61,8 % du temps de suivi.

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
	6	15	251	280	137	63	366	1810

Tableau 14 : Répartition horaires des 8 configurations d'usine rencontrées entre le 1^{er} mars et le 30 juin 2022

Le débit moyen horaire turbiné sur la période étudiée (mars-juin) en 2022 est compris entre 50 m³/s et 512,5 m³/s. Les débits inférieurs à 390 m³.s⁻¹ turbiné représentent 87,7 % du temps d'étude (Figure 41) et l'usine a turbiné des débits supérieurs au module pendant 12,7 % du temps. Les débits turbinés supérieurs à 500 m³.s⁻¹ ne représentent que 4,1 % du temps.

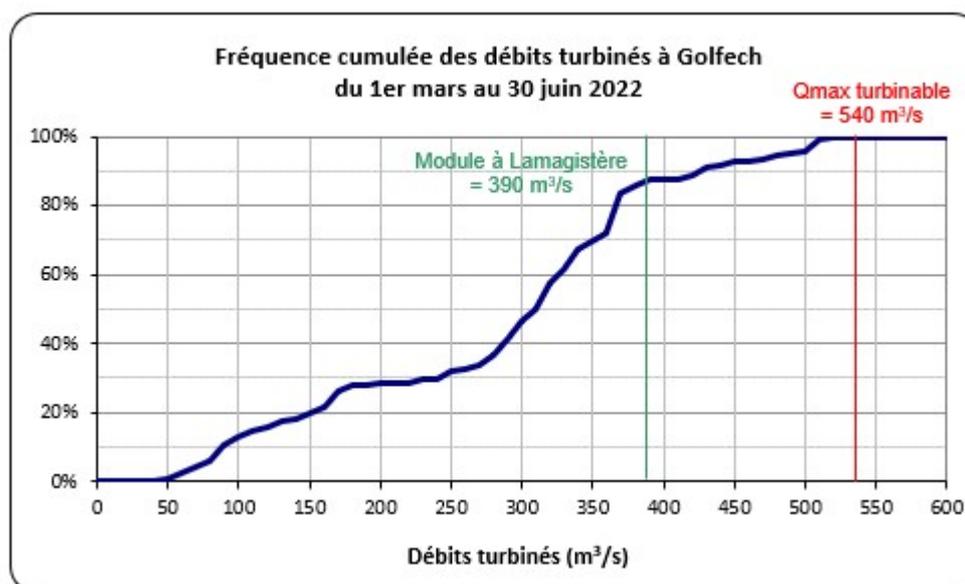


Figure 41 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés à Golfech

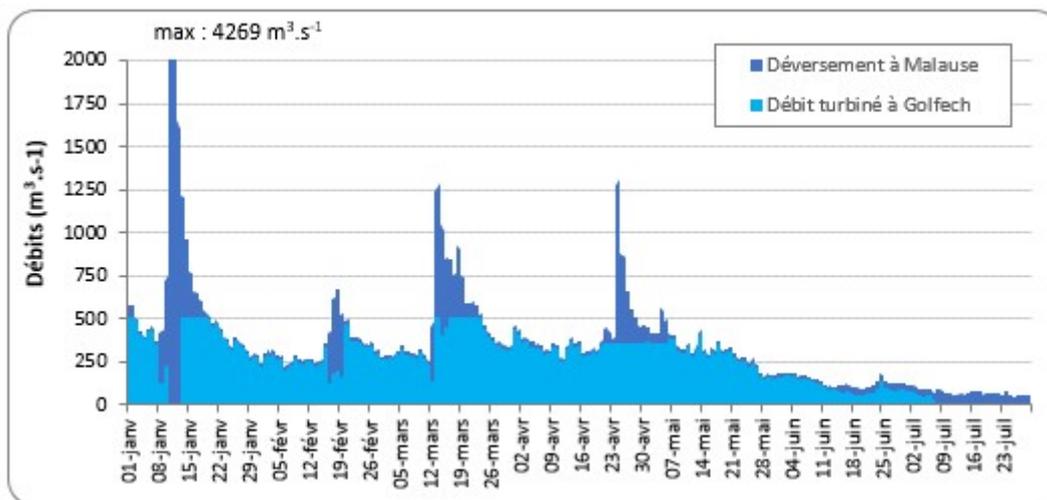


Figure 42 : Représentation des jours de déversement au barrage de Malause

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 42.

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 20 m³/s du 15 octobre au 14 juin. Durant le reste de l'année, cette valeur est portée à 40 m³/s, le complément étant alors réalisé par l'un des clapets du barrage. 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 très épisodiques au cours du premier semestre 2022. Au mois de janvier, une crue significative (débit horaire maximum déversé au barrage de 4270 m³.s⁻¹, le 12 janvier à 01h), a entraîné 12 jours de déversements consécutifs et au mois de février, un petit coup d'eau a entraîné 4 jours de déversement au barrage (Figure 42).

Pendant le suivi des saumons marqués, à partir du mois de mars, deux épisodes de coups d'eau sont à noter. Lors du premier coup d'eau en mars (débit horaire maximum déversé au barrage de 1100 m³.s⁻¹, le 14 mars à 14h), 11 jours de déversements consécutifs ont été enregistrés. Un seul saumon a été marqué avant ce coup d'eau (**48501_00**, le 11 mars), les autres seront marqués après le 23 mars, c'est-à-dire après la décrue. Le deuxième coup d'eau fin avril (débit horaire maximum déversé de 945 m³.s⁻¹, le 25 avril à 00h) a entraîné 10 jours de déversements consécutifs au barrage. Au total, 20 poissons sur 26 ont été marqués entre ces 2 coups d'eau. Ces périodes de déversements importants peuvent potentiellement attirer des poissons dans le TCC, voire causer la dévalaison de certains individus.

A partir du 14 juin, il est possible d'observer sur la Figure 42 l'augmentation du débit réservé (40 m³.s⁻¹). A partir du 07 juillet et l'arrêt de l'usine, tout le débit entrant transite par le barrage et le TCC.

Sur l'ensemble des données de suivi, 15 % des déversements ont été supérieurs à 100 m³.s⁻¹ sur la période janvier-juillet et 16 % supérieurs à 100 m³.s⁻¹ sur la période mars-juin.

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

Lors du précédent suivi (2021), deux individus marqués se sont engagés et ont terminé leur suivi dans le TCC de Malause. 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. Afin de mieux appréhender les incursions de poissons marqués dans le TCC, une antenne radio a été installée en rive droite en aval du seuil 5, premier obstacle rencontré dans le TCC (zone 3 : cf. § 4.5.3).

Pendant le suivi 2022, seulement 2 poissons ont été détectés dans le TCC, en aval du seuil 5 notamment, ce qui signifie qu'aucun poisson marqué n'a franchi ce premier seuil aval au cours de ce suivi pour s'engager plus en amont dans le TCC vers le barrage de Malause.

Le poisson **48501_01** a été marqué et lâché le 23 mars et s'est présenté quelques heures plus tard au pied de l'usine avant de redescendre en aval de la confluence avec le TCC en fin de journée. Le lendemain, 24 mars, ce poisson s'est engagé dans le TCC et a été enregistré au niveau de l'antenne du seuil 5 pendant environ 30 minutes. Lors de cette incursion dans le TCC, la température de l'eau de la Garonne était de 11,1°C et le débit dans le TCC était de 20 m³.s⁻¹ (fin des déversements au barrage le 23 mars à 17h, puis retour au débit réservé) pour un débit total à Lamagistère de 470 m³.s⁻¹. Deux heures après ces détections, le poisson s'est engagé à nouveau dans le canal de fuite afin de rejoindre l'aval de l'usine. Suite à cette tentative, le poisson a redévalé dans la même journée jusqu'à Lamagistère où il stagnera jusqu'au 18 avril. Pendant cette période, aucune autre tentative n'a été observée via le TCC. A cette date, le poisson a rejoint à nouveau le canal de fuite et le pied de l'usine. Ce saumon franchira l'ascenseur de Golfech le 20 avril après un ultime aller-retour dans le canal de fuite.

Le poisson **48501_12** s'est engagé dans le TCC dans la nuit du 20 avril (quelques minutes de détection sur l'enregistreur en aval du seuil 5). Cette détection intervient entre deux incursions côté usine : sortie du canal de fuite le 19 avril et remontée dans ce même canal le 21 avril. Cette incursion dans le TCC apparaît 15 jours après le lâcher du poisson, période pendant laquelle le poisson a été présent par intermittence à l'aval de l'usine. Lors de cette incursion dans le TCC, la température de l'eau de la Garonne était de 14,3°C et le débit dans le TCC était de 20 m³.s⁻¹ pour un débit total à Lamagistère de 365 m³.s⁻¹. Suite à ce début de tentative via le TCC, le saumon continuera à réaliser des allers-retours entre l'usine et la confluence TCC-canal de fuite avant de se faire prédaté dans le canal de fuite ou au pied de l'usine.

Il existe un autre poisson rencontré dans le TCC lors de ce suivi 2022. Il s'agit du poisson **48501_54**. Mais ce dernier a été volontairement lâché, après marquage, en amont du seuil 1 du TCC (le seuil le plus amont). Ce lâcher a été réalisé en fin de suivi (03 juin, dernier poisson marqué) afin d'observer le comportement d'un saumon au niveau de la nouvelle rivière de contournement de Malause. Le seuil se situe 2,2 km en aval du Barrage de Malause. Ce saumon a rejoint très rapidement le pied du barrage et l'entrée du dispositif de franchissement après sa remise à l'eau (environ 1 heure). Ce dernier est resté environ 17,5 h en aval du barrage et au niveau de l'entrée du dispositif avant de s'y engager. Pendant toute cette période, la température de l'eau de la Garonne était de 22,5°C et le débit dans le TCC était de 20 m³.s⁻¹ pour un débit total à Lamagistère de 189 m³.s⁻¹. Une fois entré, il lui a fallu 1h40 pour parcourir la rivière de contournement et les différents bassins de la passe, et se retrouver en amont de de la passe.

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

Comme lors de la campagne 2021, 2 hydrophones étaient installés pour ce suivi en aval du canal de fuite de l'usine de Golfech. Ces hydrophones permettent 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 situés à environ 1.5 km en amont de ces 2 hydrophones.

La moyenne observée sur l'ensemble des poissons, quel que soit leur devenir, est de 9 jours entre première et dernière incursion (médiane : 6,5 jours ; 1^{er} quartile : 0,7 jours ; 3^{ème} quartile : 15 jours). Au final, même les individus ayant franchi l'ascenseur présentent des délais pouvant être importants, allant jusqu'à 26 jours. Ces délais importants témoignent notamment des difficultés qu'ils ont à s'approcher au plus près et à pénétrer dans le dispositif de franchissement.

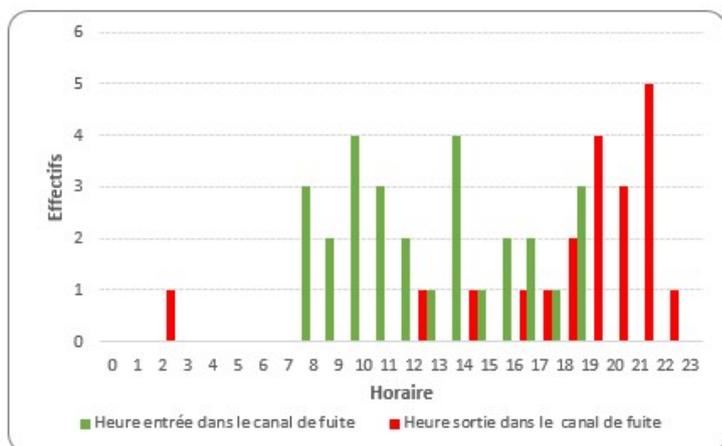


Figure 43 : Horaires d'entrée et de sortie des poissons suivis dans le canal de fuite

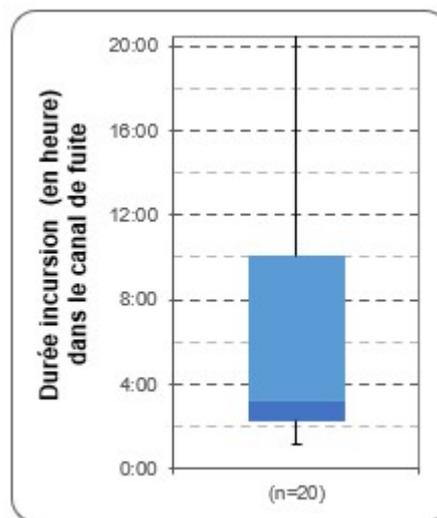


Figure 44 : Répartition des durées d'incursion (délai entrée-sortie)

La répartition des horaires d'entrée et de sortie du canal de fuite est représentée sur la Figure 43. Les entrées dans le canal de fuite se répartissent de 8h à 19h et la majorité se situe entre 8h et 15h (19 sur 28 soit 68 %). A l'inverse, les sorties se répartissent de 12h à 2h et la majorité en fin de journée puisque 16 sorties sur 20 (soit 80 %) s'observent entre 17h et 22h.

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 44. Ces durées sont de 1h03 à 10,5 jours avec 50 % comprises entre 2h15 et 10h04 (médiane : 3h14). 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 45), il n'apparaît aucune différence entre les entrées et les sorties. Les débits sont majoritairement compris 280 et 350 m³.s⁻¹, gamme de débits correspondant à la gamme 1^{er} quartile-médiane (25 % - 50 %) de l'ensemble des conditions rencontrées tout au long du suivi 2022.

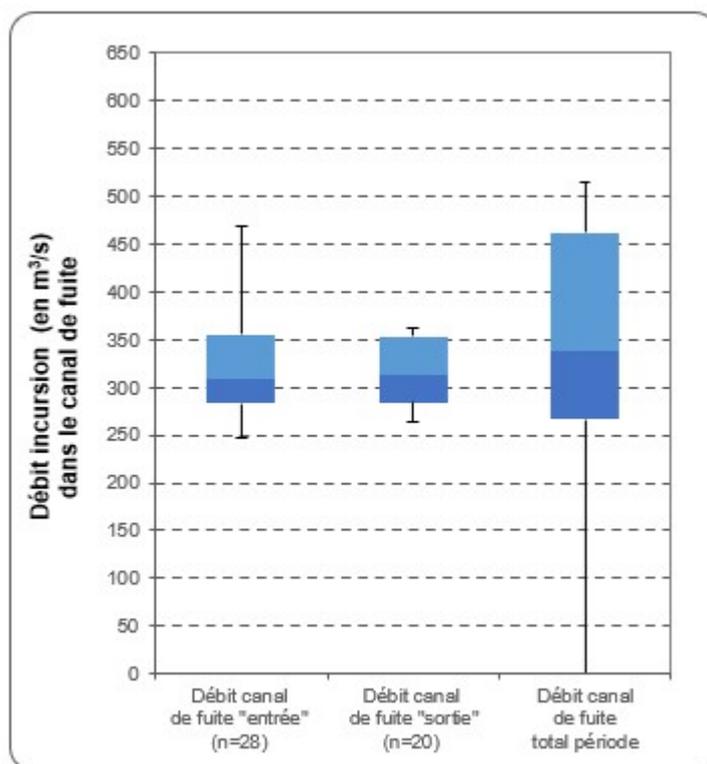


Figure 45 : Comparaison des débits dans le canal de fuite lors des incursions dans le canal et répartition de ces débits sur l'intégralité du suivi

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

Dans le paragraphe 7.2.3, le Tableau 15 présente les 12 individus ayant repris leur migration vers l'amont et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine. Ainsi, sur les 25 poissons équipés d'émetteurs lâchés à l'aval de Golfech, 13 n'ont, à priori, pas repris leur migration après leur marquage. Tous ont été lâchés à Lamagistère (*PK GAR_211,5*) et l'intégralité de ces poissons a dévalé rapidement après le lâcher (dans les 24 premières heures).

Parmi ces 13 individus, 4 (soit 31 % - **48501_37**, **48501_50**, **48501_52** et **48501_53**) ont dévalé au final jusqu'au niveau de Saint Nicolas de la Balerne (*PK GAR_205,8*), 4 (soit 31 % - **48501_03**, **48501_27**, **48501_32** et **48501_33**) ont dévalé en aval du seuil de Beauregard (*PK GAR_191*), 3 (soit 23 % - **48501_30**, **48501_31** et **48501_34**) ont atteint Couthures sur Garonne (*PK GAR_113*) et le poisson **48501_10** a continué sa dévalaison en aval de Couthures sur Garonne, point de contrôle le plus aval de ce suivi. Seul le saumon **48501_00** ne présente aucune donnée de dévalaison plus en aval que Lamagistère.

ID_poisson	Temps entre lâcher et prédation	PK prédation	distance pts de lâcher
48501_27	<i>pas de tag prédation !</i>	158	53.5
48501_30	-	113	98.5
48501_31	<i>pas de tag prédation !</i>	124	87.5
48501_32	7jr 02h	158	53.5
48501_33	-	181	30.5
48501_34	<i>émetteur HS</i>	124	87.5
48501_50	5jr 17h	205.8	5.7

Tableau 16 : Détails des prédatons concernant les individus n'ayant pas repris de migration vers l'amont

Parmi les 13 individus n'ayant pas repris de migration vers l'amont, 7 ont été pointés comme morts lors des différents suivis manuels effectués (Tableau 16). Parmi ces poissons, 2 n'étaient pas équipés de tag prédation (**48501_27** et **48501_31**). Le poisson **48501_34** en était équipé mais celui-ci s'est révélé hors service lors des détections sur le terrain (le poisson semble avoir été marqué avec le tag prédation déjà déclenché). Enfin, parmi les 4 poissons restants, 2 n'ont pas pu être décodés sur le terrain (**48501_30** et **48501_33**). En effet, lorsque les recherches s'effectuent en bateau, il n'est pas toujours possible de s'immobiliser à la verticale du tag le temps nécessaire pour qu'il soit décodé. Ainsi, au final, seulement 2 tags prédation ont permis de connaître le moment où les individus se sont faits prédatés (**48501_32** et **48501_50**). Le tag de ces poissons a déclenché respectivement 7 jours et 5,7 jours après leur lâcher, 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). Le saumon **48501_32** a dévalé 50 km en aval de Lamagistère avant de se faire prédaté. Le *PK GAR_158* se situe environ 30 km en aval du seuil de beauregard au niveau de la confluence avec la Baïse, affluent rive gauche de la Garonne. Pour l'individu **48501_50**, il a été prédaté au niveau de Saint Nicolas de la Balerne, puis le prédateur, vraisemblablement un silure, est remonté jusqu'au pied du barrage de Golfech.

Concernant le devenir des 6 autres poissons n'ayant pas repris de migration vers l'amont, le poisson **48501_00** est resté 24h en aval du point de lâcher avant de disparaître et de ne plus être retrouvé. Marqué le 11 mars, cette disparition peut être liée au coup d'eau survenu quelques jours après son marquage (c.f. § 7.2.1). Un autre poisson a très vite disparu et n'a plus été retrouvé en suivi manuel (**48501_03**). Marqué le 23 mars, son dernier pointage datant du même jour, confirme son passage en aval du seuil de Beauregard, soit environ 20 km en aval de son point de lâcher. Le saumon **48501_37**, marqué le 21 avril, a très vite dévalé après son lâcher. Il a été enregistré jusqu'au 24 avril à Saint Nicolas de la Balerne avant de ne plus être retrouvé. Le poisson **48501_10**, marqué le 04 avril, a franchi le seuil de Beauregard le 15 avril et a été enregistré le 24 avril 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 ne semble pas avoir subi de prédation avant cette date. Les saumons **48501_52** et **48501_53** ont dévalé respectivement jusqu'au *PK GAR_183* et *PK GAR_167*. Ces deux poissons ont été suivis jusqu'au mois de juin (sans déclenchement du tag prédation pour le poisson **48501_52**), mais il n'est pas possible de conclure avec certitude sur le devenir de ces individus.

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 ; 3		
48501_01	1	159		100 %		503	564
	2	376		100 %		456	473
	3	222		100 %		277	310
	4	1444	5 %	95 %		315	346
total	4	2201	3%	97%		-	-
48501_02	1	313		100%		340	370
total	1	313		100%		-	-
48501_04	1	2161		100 %		366	397
	2	313		100 %		403	433
	3	961		100 %		427	452
	4	80		100 %		352	384
	5	684		30 %	70 %	319	353
	6	361			100 %	303	333
total	6	4560		83 %	17 %	-	-
48501_05	1	73		100%		311	342
	2	426		100 %		318	352
total	2	499		100%		-	-
48105_06	1	386		100%		356	823
total	1	386		100%		-	-
48501_09	1	93		100%		445	465
total	1	93		100%		-	-
48105_12	1	59			100 %	327	355
	2	18		100 %		289	319
	3	415		100 %		276	311
	4	435	40%	60 %		301	332
	5	511		100 %		361	415
	6	14		100 %		351	394
	7	82		100 %		358	888
total	7	1534	11 %	85%	4 %	-	-
48501_25	1	6		100 %		277	311
	2	102			100 %	279	309
total	2	108		5 %	95 %	-	-
48501_26	1	37		100 %		278	304
	2	299		100 %		300	333
	3	457		100 %		277	312
	4	508	31 %	69 %		294	326
	5	354		100 %		333	366
	6	605		100 %		360	412
	7	518		100 %		356	445
total	7	2778	6 %	94%		-	-
48501_28	1	42		100 %		347	379
total	1	42		100 %		-	-
48501_29	1	12		100 %		301	336
	2	67		100 %		304	336
	3	89		100 %		358	435
total	3	168		100 %		-	-
48501_51	1	153		100 %		253	293
	2	58		100 %		274	311
total	2	211		100 %		-	-

Tableau 17 : 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 12 saumons ayant entamé un mouvement vers l'amont et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine de Golfech, tous ont été détectés par l'antenne radio générale localisée en aval de l'ouvrage de Golfech, c'est-à-dire dans un rayon de 200 m en aval de l'ascenseur. Le détail du temps cumulé des incursions de chaque poisson et les conditions hydrologiques (configurations usine et débit canal de fuite) lors de ces incursions sont rapportés dans le Tableau 17.

Il apparaît une hétérogénéité dans le nombre d'incursions réalisé par individu. Ainsi, 4 poissons (soit 33 %) ont réalisé 1 seule incursion et 3 poissons (25 %) ont réalisé 2 incursions en aval de l'usine et enfin 5 individus (soit 42 %) ont effectué plus de 2 incursions, avec un maximum de 7 incursions pour les poissons **48501_12** et **48501_26**. En ce qui concerne les durées des incursions, celles-ci sont également très hétérogènes allant de simplement 6 min à plus de 2160 minutes, soit plus de 36h de présence dans la zone de réception de l'antenne (médiane : 299 minutes, 1^{er} quartile : 73 minutes et 3^{ème} quartile : 435 minutes).

Pour les 5 individus ayant franchi l'ascenseur, le nombre total d'incursions va de 1 à 6, pour des durées totales de présence cumulée dans la zone de 93 minutes à 4560 minutes (76h).

La configuration d'usine la plus représentée est la configuration à 3 groupes. En effet, cette configuration représente 89 % de l'ensemble des détections dans la zone GOLGENE qui correspond à l'antenne générale aval usine. En parallèle, l'utilisation de cette configuration représente 62 % du temps de suivi (du 1^{er} mars au 30 juin), ce qui explique le fait de retrouver principalement les poissons suivis lors de l'utilisation de cette configuration.

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 45). Ils se répartissent de 253 à 503 m³.s⁻¹ avec une médiane de 319 m³.s⁻¹ (1^{er} quartile : 294 m³.s⁻¹ et 3^{ème} quartile : 358 m³.s⁻¹). Si l'on regarde les 5 poissons qui ont emprunté l'ascenseur et franchi l'ouvrage (pour rappel : **48501_01** ; **48501_04** ; **48501_04** ; **48501_09** et **48501_25**), le débit moyen turbiné de la dernière incursion est compris entre 279 m³.s⁻¹ et 445 m³.s⁻¹ (médiane 315 m³.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 12 saumons ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine, tous 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 12 individus que nous avons évalué le temps de blocage induit par l'usine de Golfech (temps écoulé entre les premières et les dernières détections de chaque poisson à l'antenne radio générale, Tableau 18).

	Date de lâcher	1ère détection GOLGENE	Délais de retour dans zone ASP	Dernière détection GOLGENE	Temps de blocages aval ASP
1	23/03/2022 11:00	23/03/2022 16:34	5h34min	20/04/2022 12:33	27jr19h
2	23/03/2022 11:00	14/04/2022 11:32	22jr00h	17/04/2022 22:06	03jr10h
4	25/03/2022 15:45	25/03/2022 20:06	4h21min	06/04/2022 04:41	11jr08h
5	29/03/2022 11:45	29/03/2022 15:08	3h23min	15/04/2022 22:27	17jr07h
6	29/03/2022 11:25	29/03/2022 11:40	0h15min	24/04/2022 20:00	26jr08h
9	01/04/2022 10:00	01/04/2022 12:37	2h37min	02/04/2022 08:42	20h05min
12	05/04/2022 09:45	10/04/2022 15:35	05jr05h	24/04/2022 19:45	14jr04h
25	11/04/2022 14:40	11/04/2022 17:25	2h45min	13/04/2022 09:05	01jr15h
26	11/04/2022 14:40	11/04/2022 19:14	4h34min	24/04/2022 18:05	12jr22h
28	13/04/2022 12:00	13/04/2022 18:15	6h15min	13/04/2022 19:06	0h51min
29	19/04/2022 10:45	19/04/2022 13:34	2h49min	22/04/2022 19:29	03jr05h
51	17/05/2022 11:52	19/05/2022 09:53	01jr22h	19/05/2022 20:56	11h03min

Tableau 18 : 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 12 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 15 minutes pour le plus rapide et 22 jours pour le plus lent. D'autre part, les temps de blocages induits par la présence de l'usine de Golfech varient de 51 minutes à plus de 27 jours.

Pour l'ensemble de ces poissons, il n'apparaît pas de lien entre le délai de retour et le temps de blocage à l'aval de l'ouvrage. Ainsi, un poisson ayant un court délai de retour peut avoir un temps de blocage important (par exemple **48501_06**) et inversement, un poisson avec un long délai de retour peut avoir un temps de blocage assez faible (par exemple **48501_02**). Il apparaît une légère différence de délai entre les poissons ayant franchi l'ouvrage (médiane : 3h23min ; 1^{er} quartile : 2h45min ; 3^{ème} quartile : 4h21min) et les poissons n'ayant pas réussi à franchir l'ouvrage (médiane : 6h15min ; 1^{er} quartile : 3h41min ; 3^{ème} quartile : 13h55min). Toutefois, le poisson **48501_06** possède un délai de retour très rapide (15 min) mais il n'a finalement pas franchi l'ascenseur. Il existe également une légère différence pour les temps de blocage, mais avec des temps de blocage supérieurs pour les poissons passés à l'amont (médiane : 11jr08h ; 1^{er} quartile : 01jr15h ; 3^{ème} quartile : 17jr07h) par rapport aux poissons qui ne sont pas passés (médiane : 03jr10h ; 1^{er} quartile : 01jr20h ; 3^{ème} quartile : 13jr13h).

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

Les 12 saumons détectés dans le champ de l'antenne GOLGENE ont aussi 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.

Si l'on s'intéresse aux débits lors des détections aux deux entrées (Figure 46), 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. Les détections au niveau de chaque antenne ont été réalisés dans des conditions de débits identiques.

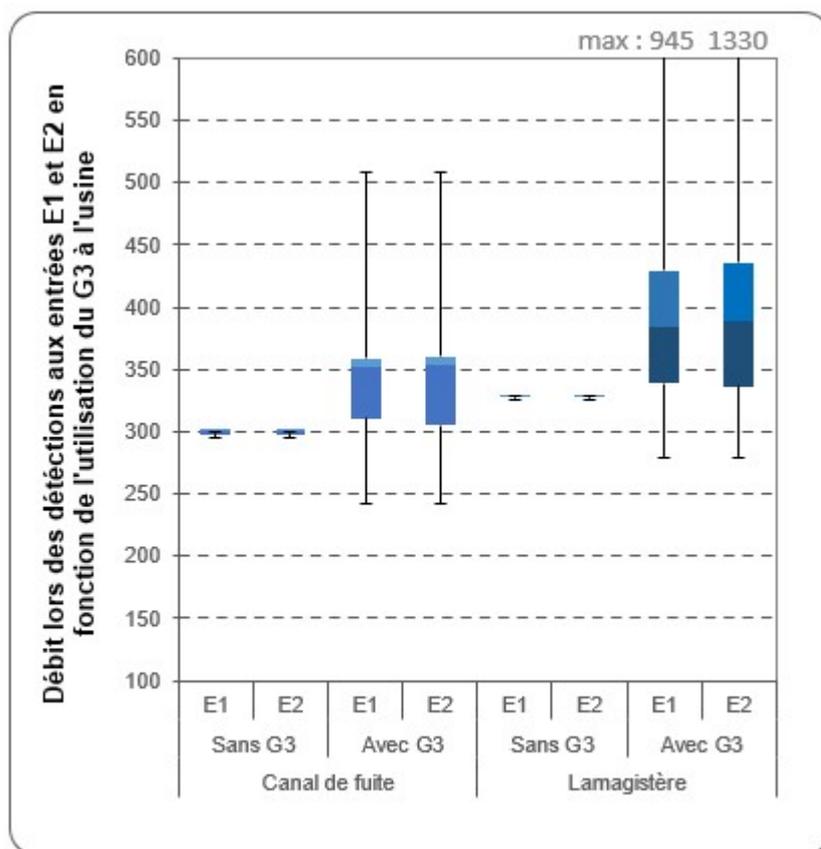


Figure 46 : Répartition des débits de la Garonne à Lamagistère et des débits turbinés à l'usine de Golfech au moment des détections radio aux entrées 1 et 2 de l'ascenseur à poissons

Le détail du temps cumulé des incursions de chaque poisson par rapport au fonctionnement du groupe 3 sont rapportés dans le Tableau 19. 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_01	2201	22	596	618	33	730	763	45%	55%	63%
48101_02	313	0	99	99	0	153	153	39%	61%	81%
48101_04	5003	0	663	663	0	1982	1982	25%	75%	53%
48101_05	11988	0	1430	1430	143	8288	8431	15%	85%	82%
48101_06	392	0	112	112	0	262	262	30%	70%	95%
48101_09	1091	0	16	16	0	471	471	3%	97%	45%
48101_12	1534	94	494	588	30	470	500	54%	46%	71%
48101_25	1265	0	54	54	0	929	929	5%	95%	78%
48101_26	2260	57	734	791	69	726	795	50%	50%	70%
48101_28	42	0	8	8	0	11	11	42%	58%	45%
48101_29	168	0	67	67	0	63	63	52%	48%	77%
48101_51	211	0	5	5	0	22	22	19%	81%	13%

Tableau 19 : 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, chaque saumon s'est présenté au moins une fois à chaque entrée et la très grande majorité des détections a été enregistrée avec le groupe 3 en fonctionnement (Tableau 19). Nous avons vu que cette année, les configurations sans le

groupe 3 en fonctionnement ont été peu rencontrées, ainsi seulement 3 individus ont réalisés des approches aux entrées 1 et 2 lorsque le groupe 3 était à l'arrêt et 1 individu supplémentaire a été enregistré au niveau de l'entrée 2 uniquement avec le groupe 3 à l'arrêt.

La durée de présence à proximité des entrées par rapport à la présence au pied de l'ouvrage (antenne GOLGENE) est comprise entre 13 % pour le saumon **48501_51** et 95 % pour le poisson **48501_06**. Cela signifie, pour ce dernier poisson, qu'il a passé quasiment l'intégralité de son temps de présence sur site à proximité de l'une des deux entrées du système.

Il semble que la durée de fréquentation des entrées diminue au cours de la saison de suivi (Tableau 19). 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 **48501_28** (marqué le 13 avril). Dans le détail, 98 % des détections au niveau des entrées ont été enregistrées avant le 26 avril alors que 81 % des poissons étaient marqués à cette date (21 sur 26). Cette date correspond à un coup d'eau. Il apparaît donc une faible présence de poissons marqués au pied de l'ouvrage après cette date (un non-retour dans le canal de fuite pour les poissons présents avant cette date et une non-migration vers l'amont pour les poissons lâchés après cette date).

	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_01	2201	22	33	E2 (60 %)	596	730	E2 (55 %)
48101_02	313	0	0	-	99	153	E2 (61 %)
48101_04	5003	0	0	-	663	1982	E2 (75 %)
48101_05	11988	0	143	E2 (100 %)	1430	8288	E2 (85 %)
48101_06	392	0	0	-	112	262	E2 (70 %)
48101_09	1091	0	0	-	16	471	E2 (98 %)
48101_12	1534	94	30	E1 (76 %)	494	470	E1 (49 %)
48101_25	1265	0	0	-	54	929	E2 (94 %)
48101_26	2260	57	69	E2 (55 %)	734	726	E1 (50,5 %)
48101_28	42	0	0	-	8	11	E2 (58 %)
48101_29	168	0	0	-	67	63	E1 (51,5 %)
48101_51	211	0	0	-	5	22	E2 (81,5 %)

Tableau 20 : Détails de la répartition des détections radio lorsque le G3 fonctionne et lorsqu'il est à l'arrêt

Cette année, les durées de présence à l'entrée 2 sont supérieures aux durées de présence à l'entrée 1 pour 10 individus sur 12 (Tableau 20). Seuls les poissons **48501_12** et **48501_29** ont passé plus de temps proche de l'entrée 1. On remarque également que les 5 poissons ayant réussi à franchir l'ouvrage, ont passé plus de temps à proximité de l'entrée 2.

Ainsi, afin de pouvoir observer l'éventuelle influence de l'utilisation de groupe 3 sur l'entrée 2 (la plus proche de la sortie des turbines et notamment du groupe 3), les détections à l'entrée 2 de l'ascenseur 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 l'entrée 2 a été élaborée (Figure 47) 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 2.

Ainsi, pour chaque classe de fonctionnement du groupe 3 choisie (i), l'indice de sélection D_i 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.

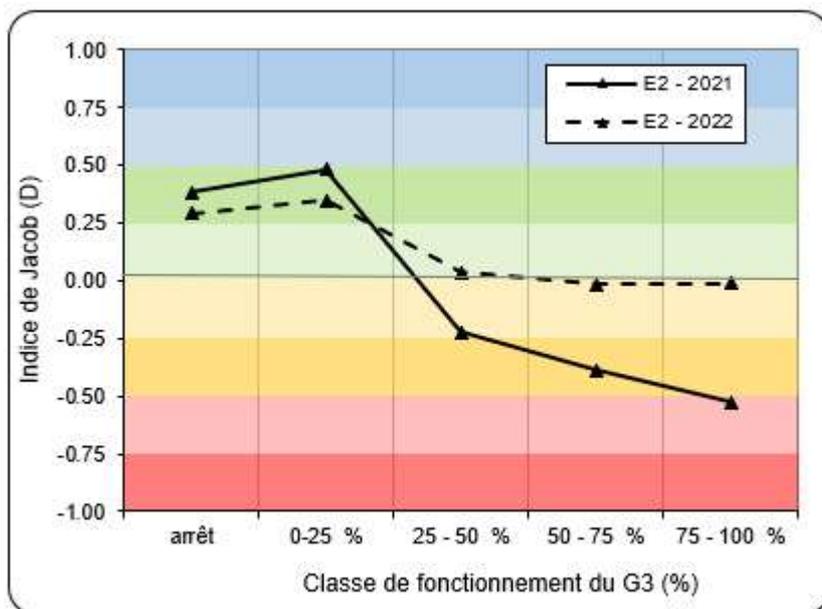


Figure 47 : Comparaison du nombre de détections au niveau de l'entrée 2 de l'ascenseur par rapport au nombre de poissons suivis présents dans le canal de fuite et en fonction du taux d'utilisation du groupe 3 de l'usine

L'indice de Jacob varie en fonction des classes de fonctionnement du G3 lors des détections à l'entrée 2 de l'ASP (Figure 47). Pour cette entrée, en 2022, il apparaît une sélection modérée lorsque le groupe 3 est arrêté ou peu utilisé (<25 %). Lorsque le taux d'utilisation du groupe 3 augmente, une indifférence apparaît progressivement et cela même au-delà d'une puissance de fonctionnement supérieure à 75 %. En 2021, il apparaissait 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 augmentait, un évitement modéré apparaissait progressivement pour atteindre un évitement important au-delà d'une puissance de 75 %.

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 30 cm pour l'entrée 1, ce qui aboutit généralement à une hauteur de chute de l'ordre de 10 à 30 cm pour l'entrée 2.

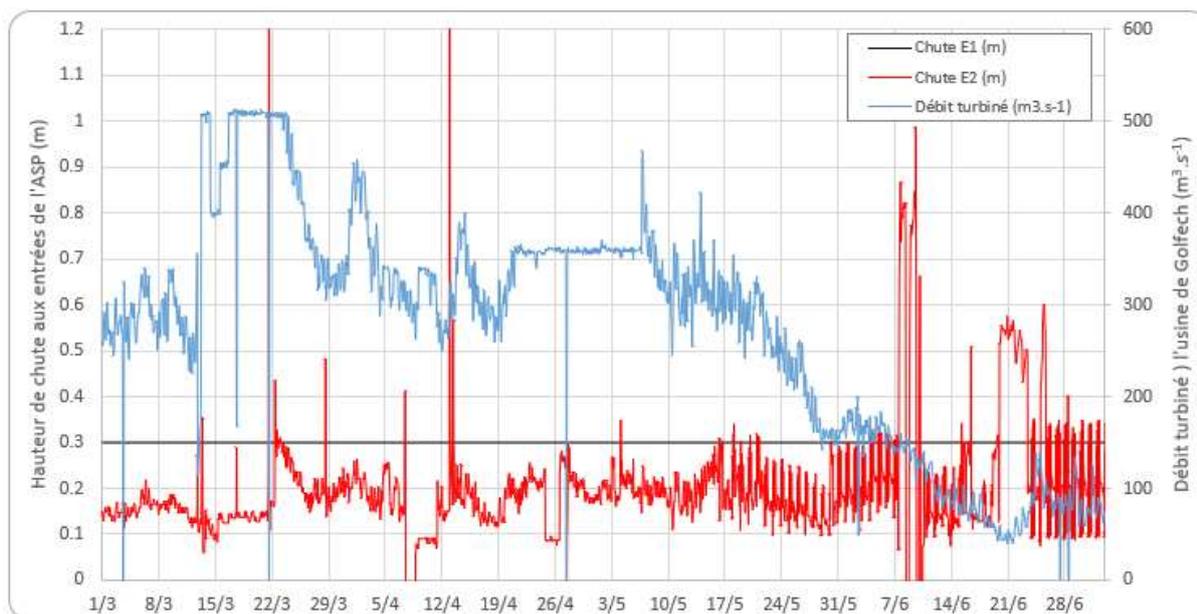


Figure 48 : Hauteurs de chute aux deux entrées de l'ASP en fonction du débit turbiné à Golfech

La Figure 48 montre la régulation de la hauteur de chute de l'entrée 2 de janvier à juin. La variation de la hauteur de chute de l'entrée 1 n'est pas visible sur les enregistrements (consigne à 30 cm rentrée manuellement dans l'automate par Migado).

Hors coup d'eau ou phase d'arrêt de l'ascenseur pour avarie, les hauteurs de chute au niveau de l'entrée 2 varient globalement sur la saison entre 10 et 30 cm, ces valeurs étant acceptables vis-à-vis des exigences des saumons.

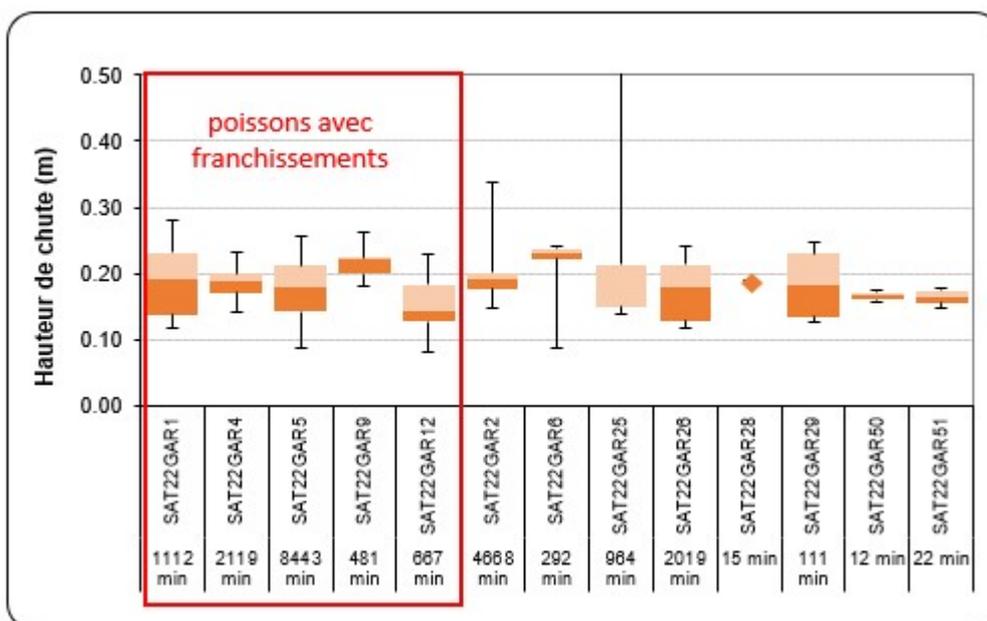


Figure 49 : Hauteurs de chute enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors de la présence de chaque poisson dans la zone de l'antenne GOLE2

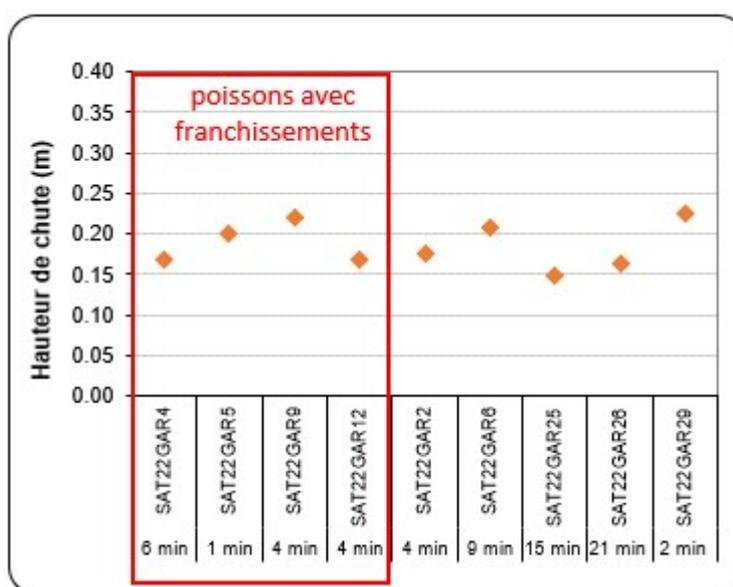


Figure 50 : Hauteurs de chute moyennes enregistrées au niveau de l'entrée 2 de l'ASP lors des enregistrements à l'antenne RFID GO20000

Il est possible d'observer sur la Figure 49 les hauteurs de chute au niveau de chaque entrée lors de l'enregistrement radio des individus suivis dans la zone de l'entrée 2. Les hauteurs enregistrées varient globalement entre 12 et 23 cm et sont centrées autour de 18 cm, que ce soit pour les poissons ayant franchi l'aménagement ou non. La Figure 50 présente les hauteurs de chute moyennes enregistrées au niveau de l'entrée 2 lorsque les poissons ont franchi l'antenne RFID installée dans l'échancrure de l'entrée concernée. Les observations sont comparables à celles fournies par les données radio et aucune différence n'apparaît entre les poissons ayant franchi l'ouvrage et les poissons n'ayant pas réussi à franchir l'ascenseur.

Les hauteurs de chute aux deux entrées de l'ascenseur sont donc 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

Lorsque l'on observe l'ensemble des données enregistrées par les hydrophones au niveau des entrées 1 et 2 (Tableau 21), il apparait que tous les poissons détectés en radio au niveau des 2 entrées de l'ouvrage de montaison (cf. § 7.2.7.1) ont été détectés au moins une fois par les hydrophones. Pour les 12 poissons qui ont été enregistrés par les 2 technologies, de grosses différences apparaissent avec un large sous échantillonnage pour la technologie acoustique (entre 1 % et 61 % par rapport à la radio). Seulement un poisson (**48501_51**) a des résultats entre les 2 technologies identiques (27min d'enregistrement en radio et 27min d'enregistrement en acoustique). Au total, 10 individus sur 12 ont un temps d'enregistrement aux hydrophones inférieur à 40 % par rapport aux antennes radio.

Les durées de détections aux antennes radio sont supérieures aux durées des détections acoustiques des hydrophones car elles sont moins sensibles dans la configuration testée ici, à savoir les entrées de dispositif de franchissement avec du courant, des turbulences et des bulles, susceptibles de perturber la détection acoustique. Les récepteurs acoustiques permettent essentiellement ici de contrôler les tags prédation.

	total radio (E1 et E2) en min	total acoustique (E1 et E2) en min	ratio hydro/radio
48501_01	1381	134	10%
48501_02	252	95	38%
48501_04	2645	1	0%
48501_05	9861	103	1%
48501_06	374	28	7%
48501_09	487	5	1%
48501_12	1088	221	20%
48501_25	983	5	1%
48501_26	1586	962	61%
48501_28	19	2	11%
48501_29	130	42	32%
48501_51	27	27	100%

Tableau 21 : Comparaison des temps de détection entre les antennes radio et les hydrophones acoustiques aux entrées 1 et 2 de l'ascenseur

7.2.7.3 Analyses des détections RFID

	Franchissement	Antenne E1	Antenne intermédiaire	Antenne E2
1.	SAT22GAR1	x	21	
2.	SAT22GAR2		4	33
3.	SAT22GAR4	x	1	18
4.	SAT22GAR5	x		1
5.	SAT22GAR6			35
6.	SAT22GAR9	x		51
7.	SAT22GAR12		11	11
8.	SAT22GAR25	x	5	36
9.	SAT22GAR26		81	180
10.	SAT22GAR29			12

Tableau 22 : 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.**

Avant d'observer les données du Tableau 22, il est important de signaler qu'un problème est survenu en cours d'étude au niveau du coffret d'enregistrement de l'antenne RFID intermédiaire. En effet, l'antenne n'a enregistré qu'un seul poisson (**48501_04**), détecté le 26 mars et le 05 avril. On peut donc affirmer que l'antenne était fonctionnelle jusqu'à la date du 05 avril. Avant cette date, un seul saumon marqué s'est retrouvé dans l'enceinte de l'ascenseur : il s'agit du saumon **48501_09** qui a franchi l'ouvrage le 1^{er} avril. Ce poisson aurait dû être enregistré par l'antenne intermédiaire. Les 10 autres individus étaient tous présents après le 05 avril alors que l'antenne était potentiellement hors-service.

Parmi les 12 saumons enregistrés aux antennes radio et aux hydrophones des entrées 1 et 2 de l'ASP, seuls 10 (soit 83 % et 10 sur 25 poissons lâchés à l'aval de l'usine, soit 40 %) ont été détectés par les antennes RFID installées dans les ouvertures du génie civil de chaque entrée (Tableau 22).

Le saumon **48501_28** a été enregistré moins de 19 minutes par les antennes radio et seulement 2 minutes par l'hydrophone E1 mais pas aux antennes RFID. Il en est de même pour le poisson **48501_51** enregistré 27 minutes proche des entrées par les antennes radio et les hydrophones. Ces 2 saumons se sont donc présentés à proximité immédiate des entrées 1 et 2 alors que le G3 était en fonctionnement (débit turbiné de l'ordre de 345 m³.s⁻¹ pour le poisson **48501_28** et compris entre 250 et 275 m³.s⁻¹ pour le poisson **48501_51**) mais ils ne se sont vraisemblablement pas engagés dans le dispositif jusqu'aux antennes RFID.

Parmi les 10 poissons détectés par les antennes RFID, 5 ont ensuite validé leur franchissement à l'amont via l'ascenseur (soit 50 %). Malgré des temps de présence conséquents enregistrés au niveau des antennes radio, les durées de détections aux antennes

RFID sont plutôt faibles, ce qui implique des incursions³ rares malgré des temps de présence élevés à proximité des entrées. Parmi ces 10 poissons ayant franchi les entrées :

- 6 ont réalisé leurs tentatives lors d'une seule journée (**48501_02**, **48501_05**, **48501_06**, **48501_09** et **48501_29**) pour une durée totale de présence dans l'enceinte de l'ascenseur allant de 1min à 66min,
- 3 ont réalisé leurs tentatives sur 2 journées (**48501_01**, **48501_04** et **48501_12**) pour une durée totale de présence dans l'enceinte de l'ascenseur allant de 1min à 166min,
- et enfin 1 individu a réalisé des tentatives sur 8 journées différentes (**48501_26**) pour une durée totale de présence dans l'enceinte de l'ascenseur allant de 1min à 410 min, pour un total de d'environ 20h (Tableau 23).

Les sommes des incursions par les entrées 1 ou 2 sont homogènes puisque 31 ont été enregistrées à l'entrée 1 et 33 à l'entrée 2. En revanche, pour les 5 individus marqués qui ont réussi à franchir l'ascenseur, 4 incursions finales sur 5 ont été effectuées par l'entrée 2. On notera également que la majorité des enregistrements RFID se sont déroulés lorsque l'usine fonctionnait à 3 groupes.

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 ; -	1 ; 2 ; 3	- ; 2 ; 3			
48501_01	1	18/04/22	166	1	-	100 %	-	3	0	-
	2	19/04/22	1	1	-	100 %	-	1	0	E1
total	2		167			100 %				
48501_02	1	14/04/22	60	2	-	100 %	-	1	1	-
total	1		60			100 %				
48501_04	1	26/03/22	91	2	-	100 %	-	1	3	-
	2	05/04/22	10	2	-	-	100 %	0	1	E2
total	2		101			90 %	10 %			
48501_05	1	15/04/22	1	2	-	100 %	-	0	1	E2
total	1		1			100 %				
48501_06	1	24/04/22	66	2	-	100 %	-	0	4	-
total	1		66			100 %				
48501_09	1	01/04/22	7	2	-	100 %	-	0	1	E2
total	1		7			100 %				
48501_12	1	18/04/22	1	2	-	100 %	-	0	1	-
	2	19/04/22	12	1	100 %	-	-	2	0	-
total	2		13		92 %	8 %				
48501_25	1	12/04/22	64	2	-	-	100 %	0	2	E2
total	1		64				100 %			
48501_26	1	17/04/22	24	2	-	100 %	-	0	1	-
	2	18/04/22	1	1	-	100 %	-	1	0	-
	3	19/04/22	1	1	-	100 %	-	1	0	-
	4	20/04/22	137	1	-	100 %	-	2	0	-
	5	21/04/22	410	1	-	100 %	-	7	8	-
	6	22/04/22	383	1	-	100 %	-	9	5	-
	7	23/04/22	133	1	-	100 %	-	2	3	-
	8	24/04/22	133	1	-	100 %	-	1	1	-
total	8		1222			100 %				
48501_29	1	22/04/22	4	2	-	100 %	-	0	1	-
total	1		4			100 %				

Tableau 23 : Détails des différentes incursions de saumons marqués au niveau des antennes RFID des entrées 1 et 2 de l'ascenseur

³ 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 **48501_29** a été détecté 12 fois par l'antenne RFID E2 sur une plage temporelle continue de 4 minutes).

En ce qui concerne ces 10 poissons, les scénarii sont hétérogènes. En effet, on observe des poissons franchissant l'ouvrage lors de leur première présentation alors que d'autres ont eu besoin de plusieurs tentatives et à l'inverse, des poissons qui n'ont pas réussi à franchir l'ascenseur malgré plusieurs tentatives ou qui abandonnent après leur première tentative.

- **48501_01** : ce poisson s'est présenté pour la première fois aux antennes RFID de l'ascenseur le 18 avril. Ce jour-là, le poisson a été enregistré à 3 reprises au niveau de l'entrée 1. Le poisson s'est représenté 24h plus tard, le 19 avril, et est entré dans l'enceinte de l'ascenseur par l'entrée 1 lors de sa première approche. Le poisson ne ressortira plus et franchira l'ascenseur environ 2h plus tard.
- **48501_02** : cet individu s'est présenté aux antennes RFID le 14 avril et semble être entré dans l'enceinte de l'ascenseur par l'entrée 2. Le poisson est resté environ 1h à proximité du piège avant de ressortir par l'entrée 1. Ce poisson reviendra quelques jours plus tard en aval du barrage mais ne se représentera plus aux entrées.
- **48501_04** : ce poisson s'est présenté une première fois aux antennes RFID le 26 mars. Le poisson est entré par l'entrée 2 puis a navigué à l'intérieur de l'enceinte de l'ascenseur pendant environ 1h30 avec plusieurs approches du piège. Le poisson est ressorti probablement par l'entrée 2 après ce temps d'exploration. Cet individu est resté après cela plusieurs jours en aval du barrage sans ressortir du canal de fuite. Il s'est représenté 10 jours plus tard à l'entrée 2 le 05 avril. Le poisson est entré dans l'enceinte de l'ascenseur alors que le groupe 1 était à l'arrêt. Le poisson a navigué entre les 2 entrées pendant environ 1h avant de franchir définitivement l'ascenseur.
- **48501_05** : ce poisson n'a été enregistré aux antennes RFID qu'une seule fois, le 15 avril. Il est entré dans le système via l'entrée 2. Il est resté environ 2h30 dans l'enceinte de l'ascenseur avant de rentrer définitivement dans la nasse du piège. Lors de cette unique incursion, l'usine fonctionnait avec ses 3 groupes.
- **48501_06** : cet individu s'est présenté à l'antenne RFID de l'entrée 2 le 24 avril. Après plusieurs tentatives d'entrée, il parvient à proximité de la nasse du piège où il restera environ 30 minutes avant de ressortir par l'entrée 2. Cette tentative s'est déroulée lors de l'augmentation générale des débits du 24 avril et l'ascenseur sera arrêté le soir même pour plusieurs jours. Ce poisson se retirera quelques jours de l'aval de l'ouvrage pendant le coup d'eau avant de se faire prédater entre le canal de fuite et l'usine.
- **48501_09** : ce poisson s'est présenté une unique fois à l'entrée 2 de l'ascenseur le 01 avril. Il est entré dans le système lors de cette première présentation et a été capturé par la nasse du piège moins de 15 minutes plus tard. Lors de cette tentative, les 3 groupes de l'usine étaient en fonctionnement.
- **48501_12** : le poisson s'est présenté aux antennes RFID le 18 avril comme le poisson **48501_01**. Il a été détecté à l'entrée 2 sans pour autant rentrer dans le système. Le lendemain, 19 avril, il se représente à l'ascenseur, cette fois au niveau de l'entrée 1, alors que le groupe 3 de l'usine est à l'arrêt. Le poisson est resté environ 10 minutes à proximité de la nasse avant de ressortir définitivement de l'enceinte. Le poisson reviendra plusieurs fois en aval de l'ouvrage sans se présenter aux entrées et finira par se faire prédater quelques jours après le coup d'eau du 24 avril.
- **48501_25** : ce poisson s'est présenté une unique fois à l'entrée 2 de l'ascenseur le 12 avril. Il est entré dans le système et a été capturé par la nasse du piège moins de 20 minutes plus tard. Lors de cette tentative, le groupe 1 de l'usine était à l'arrêt.
- **48501_26** : ce poisson s'est présenté pour la première fois aux antennes RFID le 17 avril. Il est entré dans le système par l'entrée 2, y est resté une vingtaine de minutes sans s'approcher de la nasse du piège. Il est ressorti également par l'entrée 2. Il s'est représenté ensuite 3 jours de suite à l'entrée 1 sans entrer dans l'enceinte de l'ascenseur. Il continuera de revenir les jours suivants et à faire des aller-retours entre les 2 entrées sans franchir l'ascenseur malgré quelques présentations dans la nasse. Il finira par se faire prédater à proximité de l'ouvrage le 24 avril.
- **48501_29** : ce poisson s'est présenté une unique fois à l'entrée 2 de l'ascenseur le 22 avril mais sans pénétrer dans le système. Quelques heures plus tard, il a dévalé le

canal de fuite et sera détecté quelques jours plus tard à plusieurs kilomètres en aval de l'ouvrage. Ce poisson ne reprendra jamais sa migration vers l'amont.

Les Figures 51 proposent 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 **48501_01** s'est présenté pour la première fois en aval de l'ouvrage le 23 mars, soit quelques heures après son marquage. Il s'est présenté le 23 puis le 24 mars sans s'approcher des entrées de l'ascenseur, puis a dévalé en aval du canal de fuite pendant plusieurs semaines avant de revenir au pied de l'ouvrage le 18 avril. On notera que durant cette période (entre le 25 mars et le 11 avril), les enregistrements de saumons à la station de contrôle ont été faibles à nuls (entre le 6 et le 10 avril, l'ascenseur a été arrêté en raison de la rupture du câble de celui-ci). Il s'est replié en aval du canal de fuite la nuit suivante et s'est représenté au pied de l'ouvrage de franchissement le lendemain 19 avril. Cette tentative se conclura par un succès et le poisson passera à l'amont.

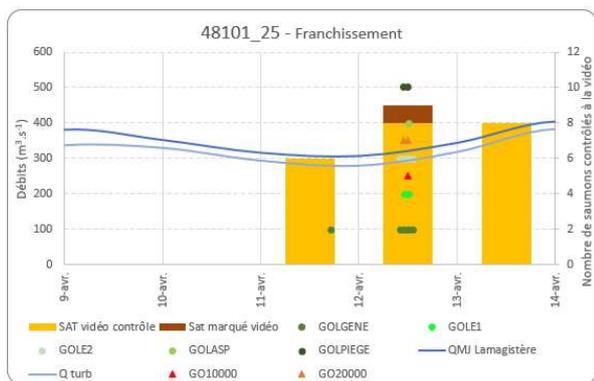
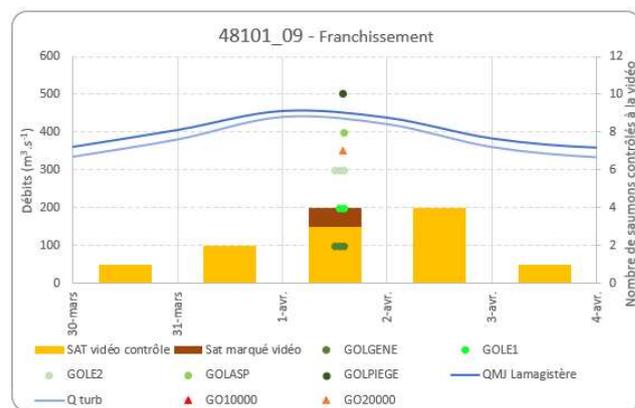
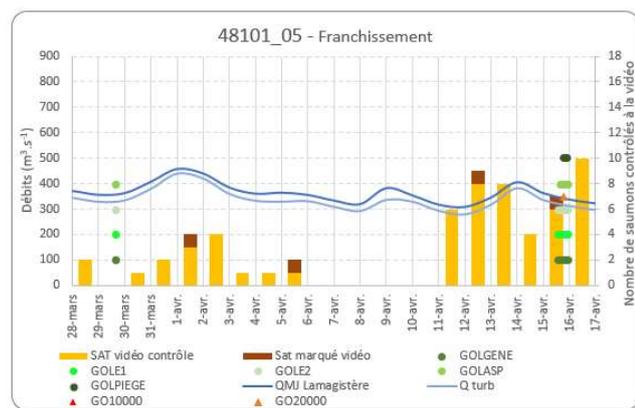
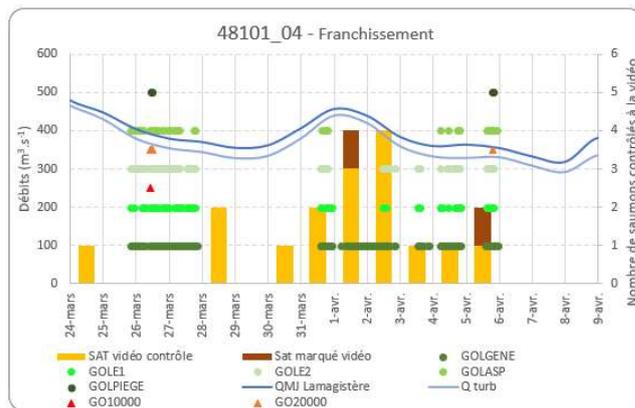
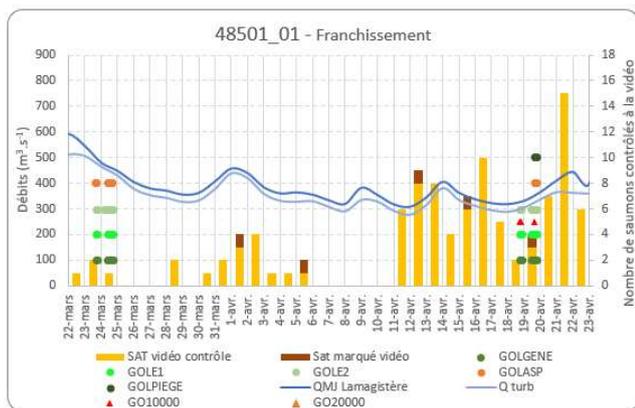
Le poisson **48501_04** a été marqué le 24 mars. Il s'est présenté dès le lendemain au pied de l'usine et s'est approché des entrées le 26 mars. Le poisson est resté à proximité du barrage jusqu'au 28 mars puis s'est retiré quelques jours mais sans sortir du canal de fuite. Il s'est représenté le 31 mars et est à nouveau resté plusieurs jours en aval de l'usine, avec des conditions de débits stables, sans tenter de rentrer dans l'enceinte de l'ascenseur jusqu'au 05 avril où le poisson a réalisé une tentative d'entrée dans l'ouvrage qui s'est soldée par un succès. Peu de poissons non-marqués ont été contrôlés sur cette période.

Le poisson **48501_05**, marqué le 29 mars, 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 (Figures 51). Après cette tentative, le poisson a dévalé le canal de fuite et il ne s'est représenté que le 15 avril en aval de l'ouvrage, soit 17 jours plus tard. Le poisson a réussi à franchir l'ouvrage le jour-même, après quelques heures au pied de l'usine. Ce poisson est passé à l'amont pendant une période où des poissons non-marqués étaient observés. Le débit turbiné lors de la journée de franchissement était d'environ $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Le poisson **48501_09** a été marqué le 1er avril. Il s'est présenté en aval de l'usine quelques heures plus tard et est rentré directement dans l'enceinte de l'ascenseur qu'il franchira avec succès moins de 6h après son lâcher. Le jour du franchissement, le débit turbiné était supérieur à $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Le poisson **48501_25**, marqué le 11 avril, a fait une courte apparition au pied de l'usine le soir-même sans tentative d'incursion dans l'enceinte de l'ascenseur. Après être sorti du canal de fuite la nuit du 11 au 12 avril, il se représente au pied de l'ouvrage le 12 avril, trouve l'entrée de l'enceinte de l'ascenseur après 3h de présence au pied de l'usine et réussit à franchir l'ascenseur lors de sa première incursion. Le débit turbiné lors de la journée de franchissement était d'environ $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

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.



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

Au final, on notera que l'ensemble des détections RFID (poissons avec franchissement et poissons sans franchissement) se sont déroulées avant le 24 avril, date du coup d'eau à $1400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Après cette date, les poissons déjà présents dans la rivière ont soit dévalé, soit ils sont revenus en aval de l'ouvrage mais sans prospector de manière efficace pour trouver les entrées de l'ascenseur. Concernant les poissons marqués après cette date (**48501_50**, **48501_51**, **48501_52** et **48501_53**), s'ils sont parvenus au pied de l'usine, aucun n'a réussi à pénétrer dans l'enceinte de l'ascenseur.

7.2.7.4 Analyse des cycles de l'ascenseur

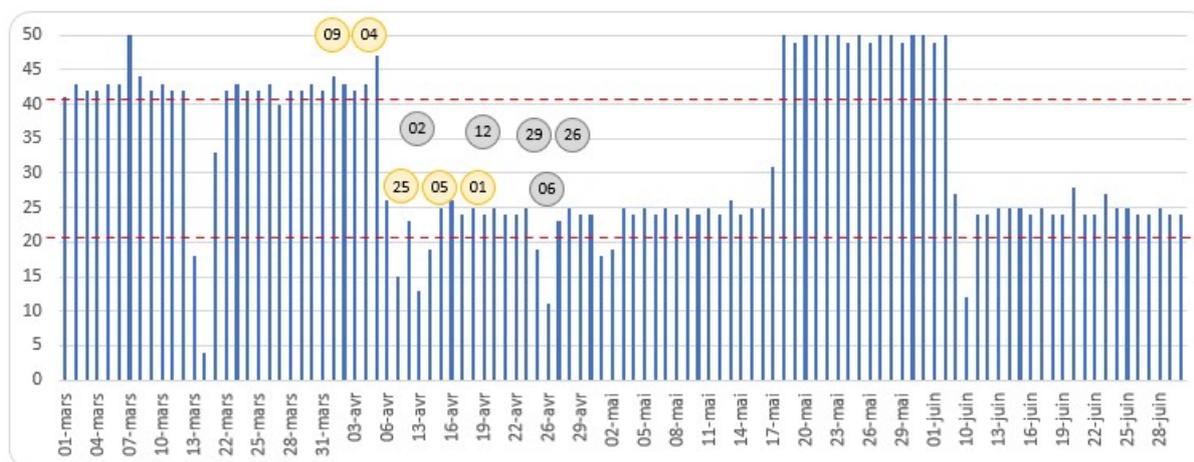


Figure 52 : Nombre de cycles quotidien effectués par l'ascenseur de Golfech lors de la saison de migration 2022

Afin de mieux comprendre le comportement des poissons suivis dans l'enceinte de l'ascenseur, en complément de l'analyse des enregistrements radio, RFID et acoustique, il est intéressant d'étudier le rythme des remontées de l'ascenseur de Golfech. La Figure 52 présente le nombre de remontées de cuve quotidiennes lors de la saison de migration 2022. On y observe lors du mois de mars, une quarantaine de remontées par jour, ce qui correspond à des cycles de 30min entre 7h et 22h et à des cycles de 1h la nuit (ce rythme est adopté pour favoriser la montaison de l'anguille la nuit par la rampe spécifique). Suite à la rupture du câble acier supportant la cuve de l'ascenseur et à sa réparation provisoire, le cycle est passé à 1h toute la journée au début du mois d'avril. La réparation définitive de ce câble a été effectuée à la mi-mai et les cycles sont ensuite repassés à 30min en journée et à 1h la nuit.

Au final, pour les 5 poissons ayant franchi l'ascenseur, 2 ont réussi leur franchissement alors que les cycles étaient de 30min au mois de mars (**48501_09** et **48501_04**) et 3 alors que les cycles étaient de 1h au mois d'avril (**48501_25**, **48501_05** et **48501_01**), alors qu'en parallèle, les 5 non-franchissements des autres poissons suivis entrés dans le système se sont produits alors que les cycles étaient de 1h.

Poissons	Date dernière incursion	Heure d'incursion	n°entrée pour entrée	Heure de franchissement	Heure de sortie	n°entrée pour sortie	Durée dans l'enceinte de l'ASP	Heures cycles ASP
SAT22GAR1	19/04/2022	16:42	1	19:23	-	-	02:41	16:36 / 17:35 / 18:34 / 19:23
SAT22GAR2	14/04/2022	17:37	2	-	18:30	1	00:53	17:34 / 18:33
SAT22GAR4	26/03/2022	10:30	2	-	12:02	2	01:32	11:19 / 11:48 / 12:17
	05/04/2022	19:15	2	20:31	-	-	01:16	19:33 / 20:02 / 20:31
SAT22GAR5	15/04/2022	19:44	2	22:27	-	-	02:43	20:07 / 21:06 / 22:05 / 22:27
SAT22GAR6	24/04/2022	18:16	2	-	19:22	2	01:06	17:39 / 18:38
SAT22GAR9	01/04/2022	15:26	2	15:50	-	-	00:24	15:21 / 15:50
SAT22GAR12	19/04/2022	11:28	1	-	11:40	1	00:12	11:02 / 12:33
SAT22GAR25	12/04/2022	12:08	2	12:42	-	-	00:34	11:43 / 12:42
SAT22GAR26	21/04/2022	13:04	2	-	16:56	2	03:52	13:56 / 14:55 / 15:54 / 16:53 / 17:52
SAT22GAR29	22/04/2022	18:29	2	-	19:21	2	00:52	18:27 / 19:26

Tableau 24 : Détails des dernières incursions dans l'enceinte de l'ascenseur en fonction des cycles de l'ascenseur à poissons

En plus de la fréquence de fonctionnement de l'ascenseur, il est possible de connaître l'heure réelle de chaque cycle. Ainsi, il est possible de les associer aux données RFID enregistrées au cours de l'étude. Cela permet de savoir, pour chaque poisson ayant pénétré dans l'enceinte de l'ascenseur, si un ou plusieurs cycles se sont déroulés lors de sa présence dans le système.

Pour les 5 poissons ayant franchi l'ascenseur, on observe 2 individus avec un franchissement direct lors de leur première présentation. Il s'agit des saumons **48501_09** (24 minutes de présence dans le système) et **48501_25** (34 minutes de présence dans le système). Les poissons **48501_01** et **48501_05** ont également effectué une seule incursion dans l'enceinte de l'ascenseur, mais sont restés plusieurs heures au sein de celui-ci, temps au cours duquel plusieurs cycles d'ascenseur ont eu lieu. Le premier a été enregistré 2h41 dans le système entre son entrée par l'entrée 1 et son piégeage dans la cuve, au bout du 3^{ème} cycle. Le second a été enregistré 2h43 après son entrée par l'entrée 2 et a été piégé au bout de 4 cycles successifs. Enfin, le saumon **48501_04** qui a réalisé 2 incursions significatives dans l'enceinte de l'ascenseur espacées de 10 jours. La première incursion, enregistrée le 26 mars et réalisée par l'entrée 2, a duré 1h32 avec 2 cycles d'ascenseur recensés dans ce laps de temps. La seconde incursion, qui s'est soldée par un franchissement, a été enregistrée le 05 avril. Le poisson est resté 1h16 dans l'enceinte de l'ascenseur et a été piégé au bout de 3 cycles successifs.

Concernant les poissons n'ayant pas franchi l'ascenseur, on observe 1 individu (**48501_02**) avec une unique présentation qui est resté 53min dans l'enceinte de l'ascenseur. Ce poisson est arrivé quelques minutes après un cycle et est ressorti du système également quelques minutes avant le cycle suivant. Il n'y avait donc aucune possibilité d'être piégé au cours de ces 53 minutes. Le poisson **48501_26** a réalisé plusieurs présentations au droit du système entre le 17 et le 21 avril. Le 21 avril, il est entré par l'entrée 2 et a réalisé plusieurs aller-retours entre les 2 entrées. Au moins 4 cycles successifs se sont déroulés pendant la présence de ce poisson. Il est finalement ressorti après quasi 4h de présence dans le système. Enfin, 2 autres poissons sont entrés dans l'enceinte de l'ascenseur : le saumon **48501_12** a réalisé une incursion de seulement 12 minutes et le saumon **48501_29** de 52 minutes. Ces temps de présence n'ont pas permis d'être présents lors d'un cycle de l'ascenseur. Enfin, le poisson **48501_06** a réalisé une incursion le 24 avril (jour de montée de la cote aval). Il est entré à 18h16, un cycle a été enregistré à 18h38 puis l'ascenseur a été arrêté en raison du coup d'eau. Le poisson ressortira de l'enceinte à 19h22 et ne se représentera plus à l'ascenseur, alors que ce dernier ne redémarrera que 48 plus tard, le 26 avril à 14h.

Au final, parmi les 5 poissons étant entrés dans l'ascenseur mais n'ayant pas franchi le dispositif, il y a donc au final 2 saumons (**48501_02** et **48501_29**) qui ont pénétré dans l'enceinte de l'ascenseur quelques minutes après un cycle et en sont ressortis également quelques minutes avant le cycle suivant, cycles qui étaient à ce moment-là de 1h. La situation aurait potentiellement pu être différente avec des cycles de 30 minutes.

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

Parmi les 12 individus ayant présenté une reprise de migration vers l'amont (cf. Tableau 15, § 7.2.3) et ayant pénétré dans le canal de fuite de l'usine, 5 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 qu'ils se trouvaient à proximité du complexe de Malause/Golfech et certains ont subi leur prédation alors que les poissons étaient en dévalaison.

ID_poisson	Temps entre lâcher et prédation	PK prédation	Distance pts de lâcher
48501_02	25jr 04h	215.2	-3.6
48501_06	32jr 09h	215.2	-3.6
48501_12	23jr	213.1	-1.5
48501_26	-	215.2	-3.6

Tableau 25 : Détails des prédatons concernant les 4 individus prédatés à proximité du complexe Malause/Golfech

Parmi les 5 poissons, 4 appartiennent à la première catégorie 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 (Tableau 25).

La prédation du poisson **48501_02** est intervenue le 17 avril soit 25 jours après son lâcher et s'est déroulée dans le canal de fuite. Concernant le poisson **48501_06**, la prédation a été détectée le 30 avril, quelques jours après le coup d'eau du 24 avril, soit 32 jours après marquage. La prédation s'est également déroulée dans le canal de fuite lors de la baisse de débit. Le saumon **48501_12** a été prédaté le 27 avril, quelques jours après le coup d'eau du 24 avril. Le déclenchement du tag s'est effectué dans la zone de réception des hydrophones situés en aval du canal de fuite, juste en amont de la confluence avec le TCC. Enfin concernant le poisson **48501_26**, les données du tag son inexploitable car celui-ci s'est déclenché au moment du marquage du saumon. Cependant, ce poisson présente un changement de comportement assez net autour du 22 avril alors qu'il explorait la zone de l'ascenseur et l'émetteur de ce poisson ne quittera plus cette zone à partir du 24 avril. La probable prédation de ce poisson est intervenue une vingtaine de jours après son marquage.

Enfin, le saumon **48501_28** a été marqué le 13 avril. Il a exploré la zone de l'ascenseur dans les 24h suivant son lâcher. Il a ensuite progressivement dévalé, d'abord jusqu'au point de lâcher, puis à Saint-Nicolas-de-la-Balerm (6 km en aval de Lamagistère) qu'il quittera lors du coup d'eau du 24 avril. Ce poisson sera retrouvé le 05 mai en amont du seuil de Boé, soit une quinzaine de kilomètres en aval du point de lâcher, avec le tag prédation déclenché. La prédation date du 28 avril.

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 **48501_29** se situe au niveau du *PK GAR_205*, soit 6km en aval de son point de lâcher et au moment du coup d'eau du 24 avril. Il est possible que ce poisson ait dévalé pendant cet épisode hydrologique. Le poisson **48501_51** a été détecté au *PK GAR_155* le 02 juin lors d'un suivi en bateau. Le tag prédation n'a pas été détecté comme déclenché mais à la vue du pointage de ce poisson, il a été considéré comme mort (sans savoir s'il a été prédaté au préalable ?).

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 5 individus marqués ont franchi l'ascenseur au cours du suivi 2022. Parmi ces 5 poissons ayant emprunté l'ascenseur, seuls 4 individus sont sortis du canal de transfert. Le 5^{ème} poisson (**48501_05**) a été retrouvé mort dans le canal de transfert, en aval de la vitre de contrôle, lors d'une vidange du canal sans trace d'agression ou de prédation.

Pour les 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 16h55min et

20h33min (n=3 individus, le tag acoustique du poisson **48501_04** n'a pas fonctionné). Ces 3 individus ont tous passé une nuit dans le canal de transfert avant d'en sortir le lendemain. Le piège n'étant pas en place durant la nuit, ces poissons étaient libres de sortir du canal de transfert. Les 3 individus ont décidé d'attendre le lendemain pour reprendre leur migration vers l'amont.

Le délai entre le dernier enregistrement des poissons marqués à la vitre de contrôle et la première détection dans le canal d'amenée est relativement court et inférieur à 10 minutes pour l'ensemble des 3 saumons (respectivement 7min06, 5min29 et 7min46). 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 53. Seulement 3 poissons peuvent être étudiés car l'émetteur acoustique du poisson **48501_04** n'a pas fonctionné.

Les temps de transit sont compris entre 3h43min pour l'individu le plus rapide et 5h47min pour le plus lent. Le débit moyen turbiné pour ces 3 trajets est compris entre 306 m³.s⁻¹ pour l'individu le plus rapide et 424 m³.s⁻¹ pour l'individu le plus lent (ce qui représente 56 à 78 % du débit maximum turbinale). Le débit maximum observé dans le canal d'amenée pour un saumon lors de son déplacement vers l'amont est de 444 m³.s⁻¹ au moment de sa sortie du canal de transfert (**48501_09**). A 300 m³.s⁻¹, les vitesses moyennes d'écoulement sont comprises entre 0,4 m/s sur la partie aval du canal et 0,81 m/s sur la partie amont, alors qu'à 400 m³.s⁻¹, elles sont de 0,53 m/s sur la partie aval et de 1,07 m/s sur la partie amont (pour plus de détails, voir COURRET et al., 2020).

Le poisson **48501_25** présente deux durées de montaison, en effet après être arrivé à l'amont du canal d'amenée et avoir rejoint l'aval de l'ouvrage du Bazacle, ce poisson a dévalé l'intégralité de la centaine de kilomètres entre Golfech et le Bazacle en une dizaine de jours. La dévalaison de l'intégralité du canal d'amenée s'est effectué en 12h (Figure 53). Malgré des conditions d'écoulement identiques lors de sa deuxième remontée, ce poisson a mis plus de 7 jours pour parcourir l'intégralité du canal d'amenée et arriver à l'amont une seconde fois. Malgré ces efforts, le poisson a ensuite redévalé une partie du canal et a terminé son suivi au niveau du pont de Pommevic le 22 mai. Il ne bougera plus jusqu'à la fin de la campagne de suivi.

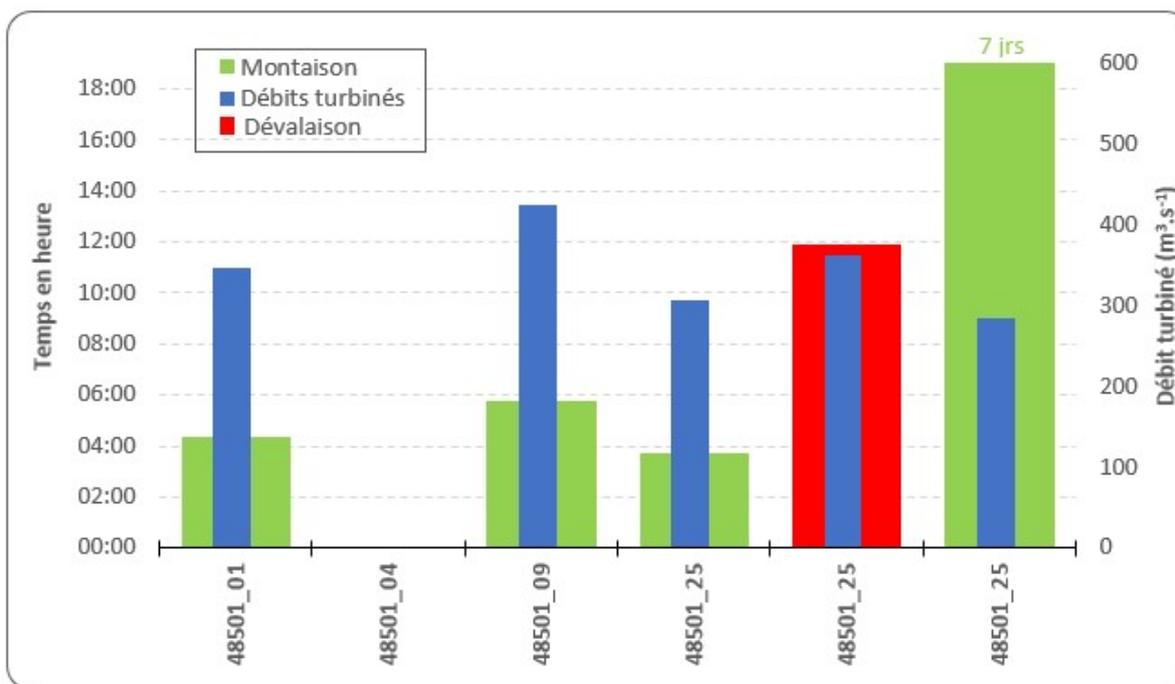


Figure 53 : Temps de parcours dans le canal d'amenée en fonction du débit turbiné

Les parcours des 3 saumons étudiés ont été accomplis avec des variations de débits dans le canal relativement faibles, allant de $-38,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à $+24,2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Lors de la dévalaison du poisson **48501_25**, une augmentation du débit entonné de $33 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a été enregistrée et une baisse du débit de $64 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ lors de sa tentative de remontée, le débit turbiné passant de $315 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à $251 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

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.

Les vitesses de nage estimées pour 3 des 4 poissons suivis sont présentées sur la Figure 54 (pour rappel, pas de données pour le poisson **48501_04**). Globalement, malgré des différences de débit dans le canal (compris entre 300 et $440 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ lors de la présence des poissons suivis), les vitesses de nage sont homogènes et sont comprises entre 1 m/s et $1,4 \text{ m/s}$. La vitesse du courant dans le canal accélère sur la partie amont en raison de sa section moins large, cette tendance se retrouve chez 2 des 3 poissons (**48501_01** et **48501_09**) pour lesquels la vitesse de nage augmente également vers l'amont du canal. Le poisson **48501_25**, lui, présente une diminution de la vitesse entre le premier et le second secteur avant de réaugmenter sur le 3^{ème} secteur, le plus amont.

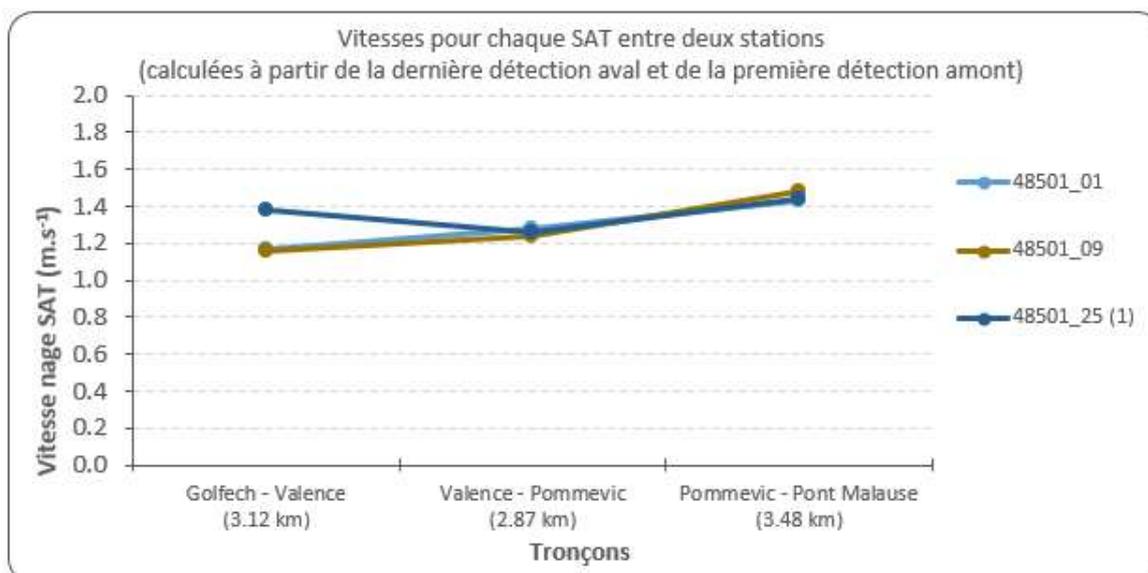


Figure 54 : Vitesses de nage pour chaque SAT entre deux stations de réception acoustique (calculés à partir de la dernière détection aval et de la première détection amont)

Pour les 3 saumons dont nous disposons des données cette année, les vitesses de nage estimées n'augmentent pas significativement avec l'augmentation du débit turbiné (Figure 55). Ainsi, à vitesse de nage équivalente et pour des phases d'arrêt de même ordre de durée, un saumon empruntant le canal d'amenée pour un débit turbiné plus fort aura tendance à mettre plus de temps à le parcourir. C'est le cas pour le poisson **48501_09** qui a été le plus lent à parcourir le canal d'amenée (5h47) pour un débit turbiné moyen de 424 m³.s⁻¹.

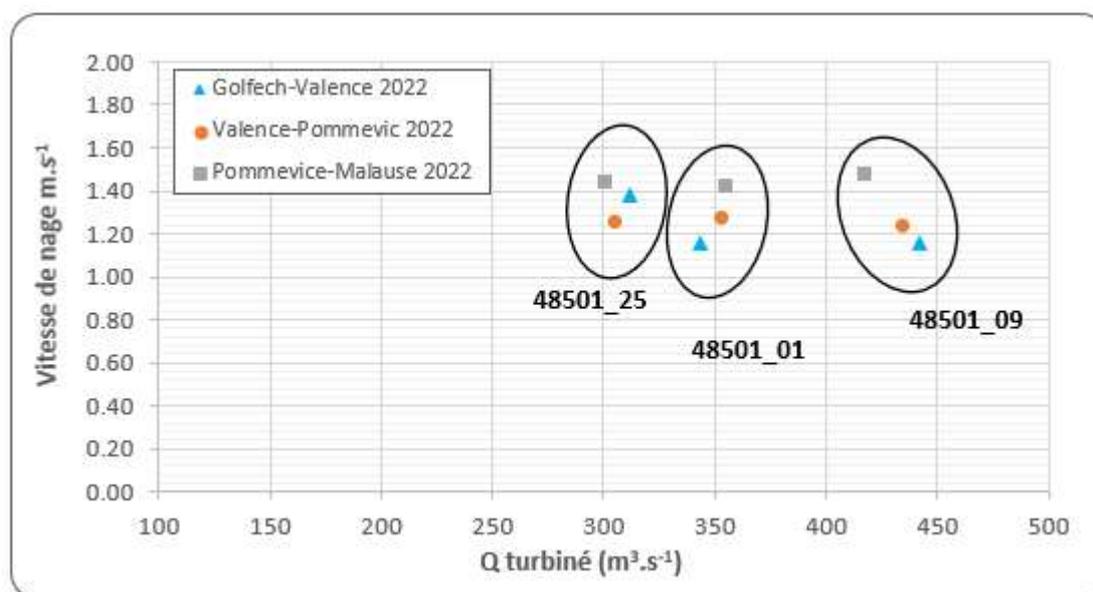


Figure 55 : Vitesses de nage des saumons marqués en fonction du débit turbiné dans chaque section du canal d'amenée

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 54 minutes et 1h34 (moyenne : 1h14). Pour le second secteur (Valence-Pommevic), les temps de transit sont

compris entre 59 minutes et 1h20 (moyenne : 1h07). Et enfin pour le dernier secteur (Pommevic-Pont de Malause), les temps de transit sont compris entre 1h25 et 2h15 (moyenne : 1h48) (Figure 56). Ces éléments confirment l'homogénéité par secteur évoquée précédemment.

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. Le temps de sortie du canal de transfert est compris entre 2min et 3min (enregistrement Vanne 2200) pour les 3 poissons suivis. Les durées médianes au niveau des 4 ponts sont respectivement de l'aval vers l'amont de 2min, 6min, 5min et 7min (Figure 56). Le temps d'enregistrement maximum au niveau d'un pont est de 14min cette année (saumon **48501_09** à Pommevic). Lors du suivi 2022, la progression des 3 saumons marqués ne présente pas de phases d'interruptions particulières.

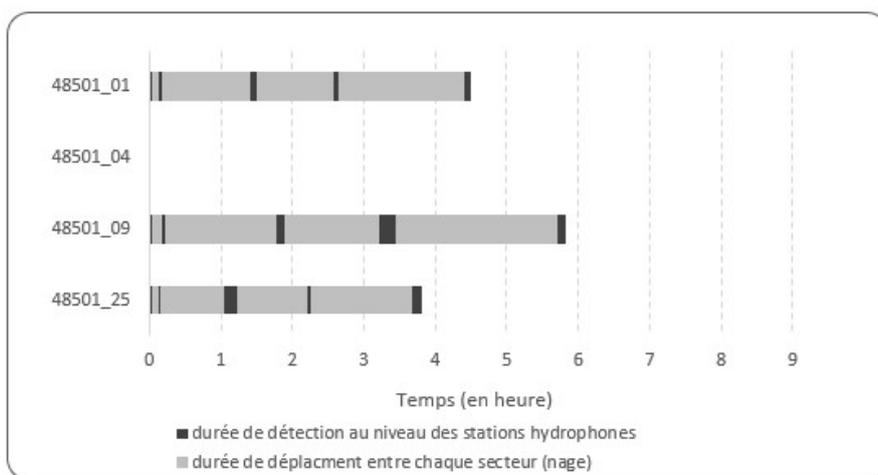


Figure 56 : Répartition des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée

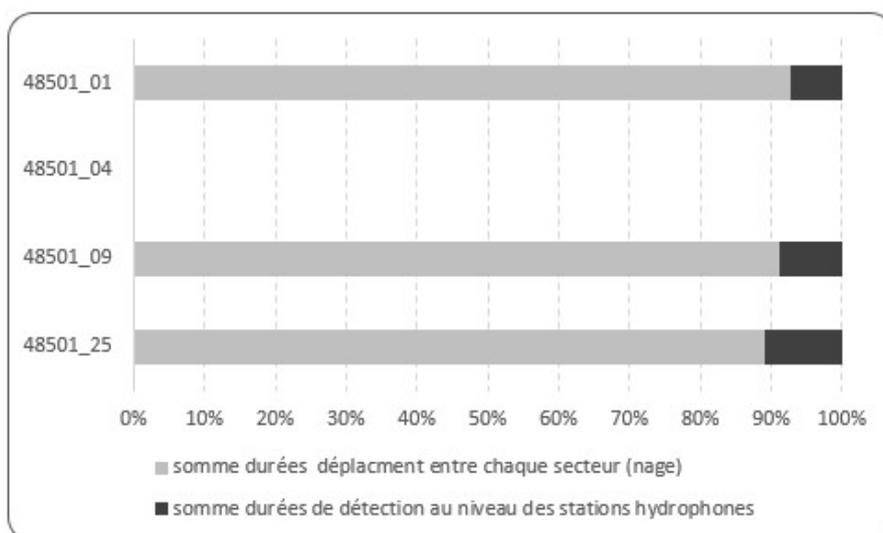


Figure 57 : Proportion des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée

Les enregistrements au niveau des stations fixes, correspondant aux phases de fort ralentissement et/ou d'arrêt des poissons, représentent de 7 % à 11 % du temps alors que les

phases de déplacements entre stations représentent 89 % à 93 % du temps (Figure 57). Lors de leur transit dans le canal d'amenée, les 3 saumons suivis en 2022 ont donc été la très grande majorité du temps en mouvement et les phases d'arrêt/repos sont très courtes.

7.3 Comportement des saumons entre Malause et Toulouse

7.3.1 Comportement général

Parmi les 26 saumons suivis, nous avons vu précédemment que seuls 5 individus ont franchi l'ascenseur de Golfech et 4 ont continué leur progression vers l'amont (**48501_01**, **48501_04**, **48501_09** et **48501_25**). Ces quatre poissons ont tous emprunté le canal d'amenée jusqu'au barrage de Malause avant de poursuivre leur déplacement sur la Garonne amont. Les 4 poissons ont tous atteint Toulouse et l'ouvrage du Bazacle.

En plus de ces poissons, un dernier poisson a été lâché dans le TCC en amont du seuil 1. Ce poisson a franchi avec succès la nouvelle rivière de contournement et la nouvelle passe du barrage de Malause. Ce poisson a également continué sa progression vers l'amont et a atteint le Bazacle.

Cette année encore, aucun saumon suivi n'a emprunté l'axe Tarn. Au total, 5 individus sur 26 (soit 19 %) ont donc rejoint le Bazacle.

- **Zoom sur le poisson 48501_54**

Le poisson **48501_54** a été lâché dans le TCC, en amont du seuil 1, afin d'observer son comportement au niveau de la nouvelle rivière de contournement de Malause. C'est le seul poisson de ce suivi à avoir été lâché dans le TCC et c'est le dernier poisson marqué de ce suivi, le 03 juin. Ce poisson a été lâché le 03 juin à 12h au-dessus du seuil 1. Il a rejoint l'aval du barrage de Malause en 45 min (pour environ 2,2 km) et s'est très rapidement approché de l'entrée de la rivière de contournement (première détection à 13h08). Cependant, le poisson a hésité un moment en restant plus de 9h dans la zone de réception de l'hydrophone installé à l'entrée de la rivière. Le poisson est ensuite retourné au pied du barrage avant de se représenter à l'entrée de la rivière vers 4h du matin. Il s'engagera finalement dans la rivière à 17h40, soit environ 29h après sa première détection. Le trajet jusqu'à la passe à bassins a duré environ 1h et la durée de franchissement des différents bassins est de 45 minutes avant de rejoindre la sortie de la passe à l'amont du canal d'amenée.

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

Outre le saumon **48501_54** lâché dans le TCC le 03 juin en amont du seuil 1, 4 autres individus marqués ont rejoint l'ouvrage du Bazacle à Toulouse. Il s'agit de poissons marqués en début de suivi : les saumons **48501_01**, **48501_04**, **48501_09** et **48501_25** marqués entre le 23 mars et le 11 avril (avant la crue du 24 avril) et qui ont respectivement franchi l'ascenseur de Golfech les 19/04, 05/04, 01/04 et 12/04.

En 2022, le temps de transfert entre le barrage de Malause (sortie canal d'amenée) et l'arrivée en aval du Bazacle (Figure 58) est compris entre 4jr19h (**48501_25**) et 12,5jr (**48501_01**). Pour le poisson **48501_04**, dont le tag acoustique n'a pas fonctionné, nous disposons d'un pointage manuel dans le canal d'amenée au niveau de Pommevic le 06 avril à 7h. Ce poisson a été détecté pour la première fois au Bazacle le 20 avril à 10h30. Il est donc possible d'affirmer que le temps de transfert de ce poisson est inférieur à 14jr.

La distance entre la sortie du canal d'amenée et le barrage du Bazacle est de 85 km. La vitesse moyenne de transfert est donc de l'ordre de 0,75 km/h (17,7 km/jr) pour le poisson le plus rapide en 2022 et de l'ordre de 0,3 km/h (6,8 km/jr) pour le plus lent.

Ces temps observés en 2022 sont comparables à ceux des suivis précédents (2020 et 2021). Ainsi, sur l'ensemble des données récoltées, la durée du transfert jusqu'au Bazacle est

comprise entre 3,7jr et 19,6jr (médiane : 7,8jr), ce qui correspond à des vitesses moyennes allant de 4,3 km/jr à 23 km/jr.

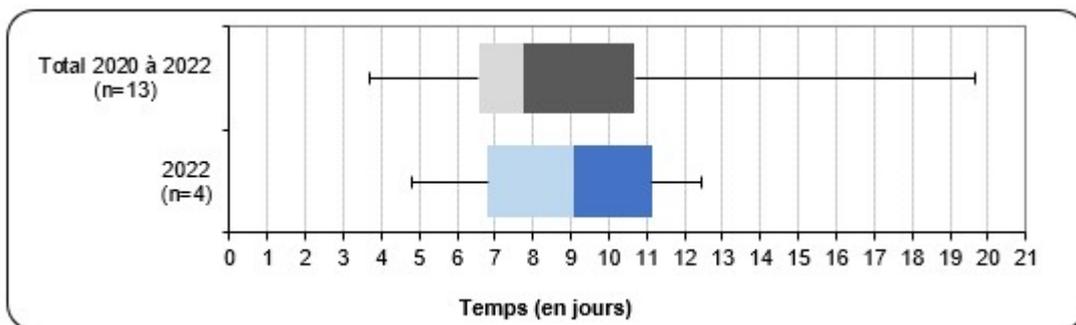


Figure 58 : Répartition des temps de transfert entre la sortie du canal d'amenée de Golfech et l'arrivée à l'aval du Bazacle pour les poissons suivis en 2022. Comparaison à l'ensemble des données depuis 2020.

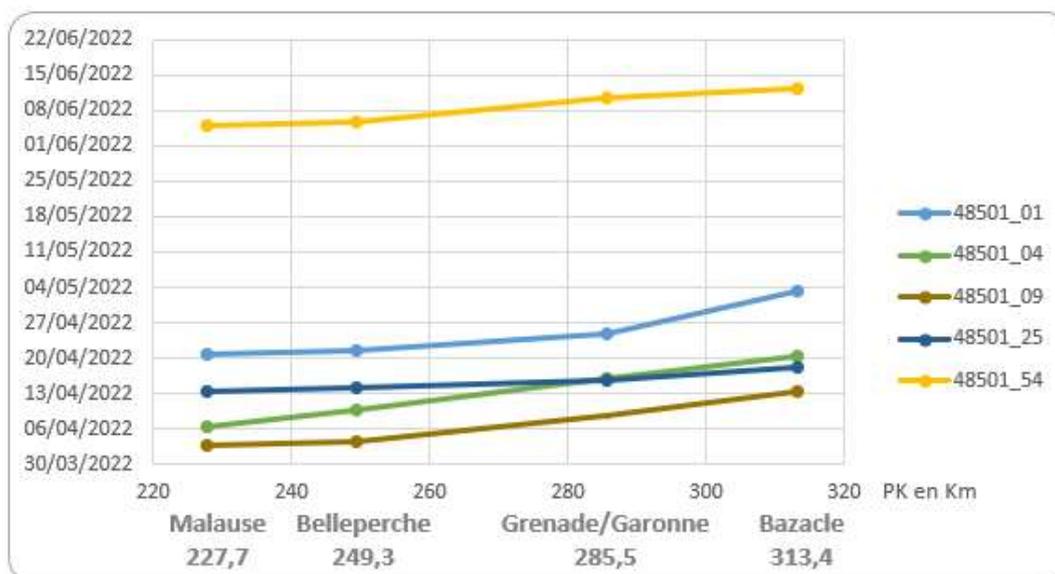


Figure 59 : Rythme de migration entre la retenue de Malauser et l'aménagement du Bazacle et étapes intermédiaires (Belleperche et Grenade/Garonne)

Cette année, deux stations d'enregistrement radio se situaient entre la retenue de Malauser et l'aménagement du Bazacle : il s'agit de la station de Belleperche (PK GAR_249,3) et de Grenade/Garonne (PK GAR_285,5). Le secteur entre Malauser et Belleperche apparaît comme le plus rapide à parcourir (sortie de la retenue de Malauser) alors que le secteur qui nécessite le plus de temps pour être parcouru semble être celui des derniers kilomètres entre Grenade/Garonne et Toulouse (Figure 59).

7.4 Comportement des saumons au niveau du Bazacle

7.4.1 Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique du Bazacle

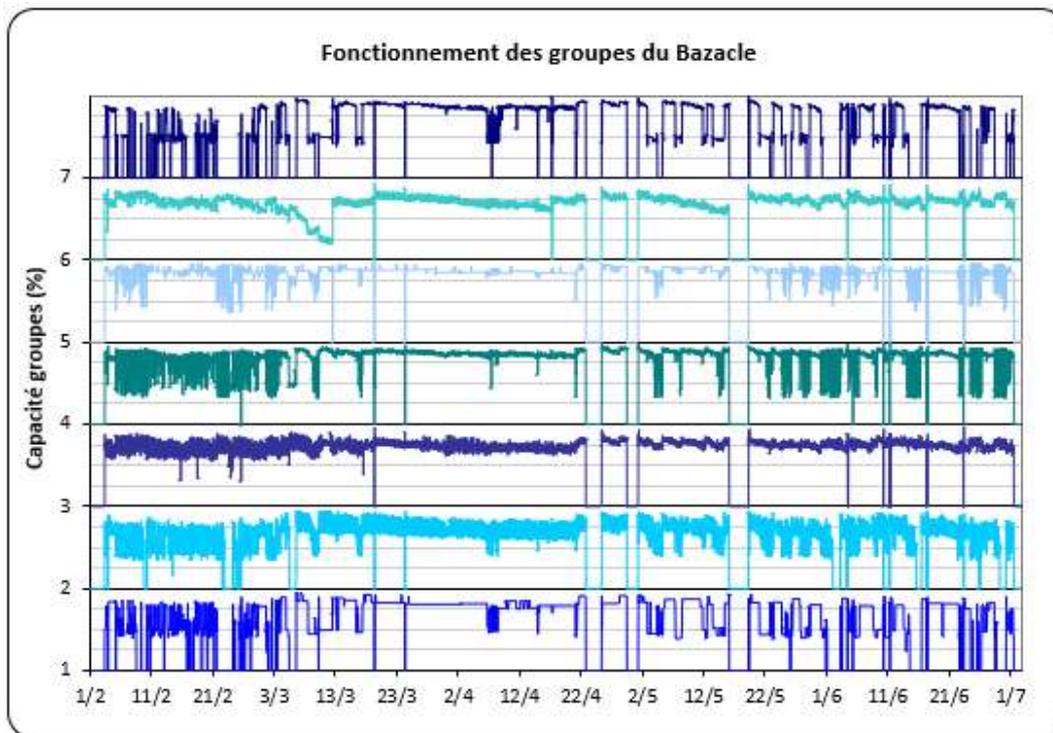


Figure 60 : Fonctionnement des 7 groupes de l'usine hydroélectrique du Bazacle durant la saison de migration 2022

Au cours de ce suivi 2022, les 7 groupes de l'usine étaient disponibles et ont fonctionné normalement. Sur la période suivie (février à juin), on note quelques arrêts d'usine notables (Figure 60). Deux arrêts (du 22 au 25 avril et du 29 avril au 1^{er} mai) sont liés au coup d'eau de la fin du mois d'avril. Un arrêt significatif a également eu lieu du 16 au 19 mai. En observant la Figure 60, 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.

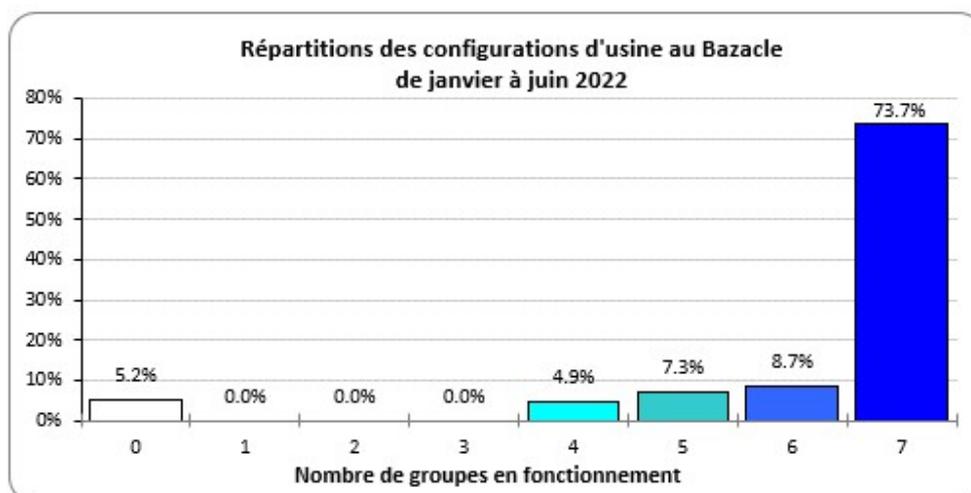


Figure 61 : Répartition des configurations d'usine au Bazacle en fonction du nombre de groupes en fonctionnement

Les configurations à 7 groupes représentent 73,7 % du temps de fonctionnement sur la période de suivi et les arrêts d'usine représentent 5,2 % du temps total (Figure 61). Les configurations de 4 à 6 groupes ont fonctionné chacune entre 4,9 et 8,7 %, représentant au total 20,9 % du temps. Les configurations à 1, 2 et 3 groupes n'ont jamais été observées lors de ce suivi.

Le débit moyen horaire turbiné sur la période étudiée en 2022 est compris entre 16 m³/s et 90 m³/s. Les débits inférieurs à 50 m³.s⁻¹ turbiné ne représentent que 10 % du temps d'étude (Figure 62) et les débits supérieurs à 70 m³.s⁻¹ turbiné représentent 60 % du temps. Le débit d'équipement est bien inférieur au module de la Garonne à Portet/Garonne (186 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 87 % du temps supérieur au débit d'équipement.

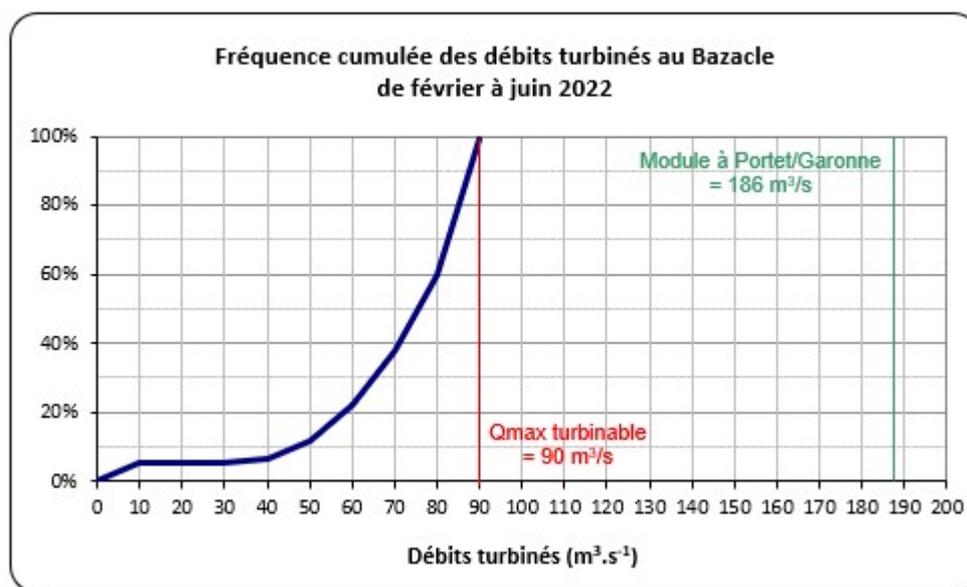


Figure 62 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés au Bazacle

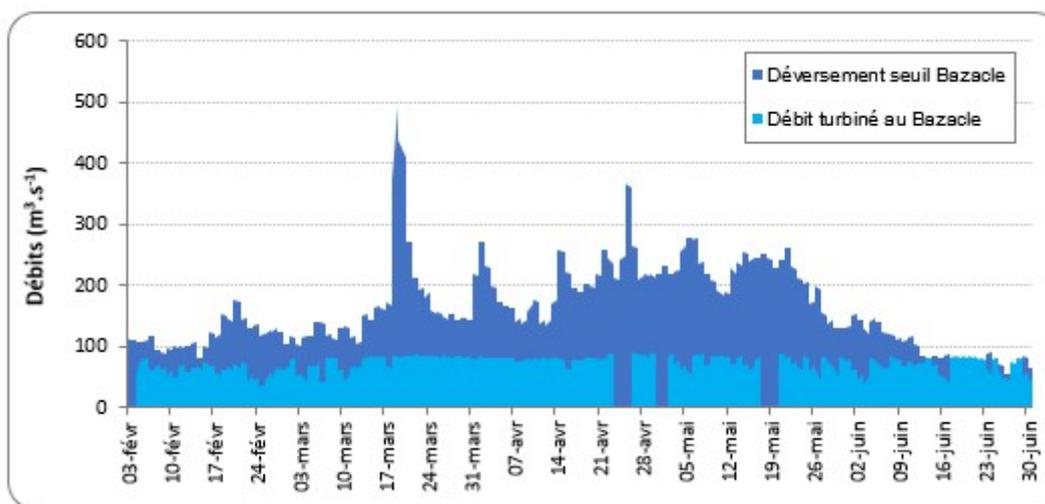


Figure 63 : Représentation des jours de déversement au barrage du Bazacle

La différence entre le débit de la Garonne à Portet/Garonne et le débit turbiné à l'usine du Bazacle correspond approximativement au débit déversé sur le seuil du Bazacle, représenté par l'aire bleu foncé sur la Figure 63.

Les déversements sur la chaussée du Bazacle ont été présents tout au long du suivi, ceci en lien avec le débit d'équipement de l'usine (de l'ordre de la moitié du module). Sur l'ensemble du suivi, les déversements observés sont répartis de quelques mètres cubes à un débit moyen horaire de quasiment $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ lors de la crue du 17 et 18 mars. Lors du coup d'eau de la fin du mois d'avril, avec un débit maximum horaire déversé de $387 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ enregistré le 24 avril, l'usine a été arrêtée, l'intégralité du débit de la rivière a donc été déversée par la digue.

7.4.2 Comportement général des saumons au niveau du Bazacle

Parmi les 26 poissons étudiés, nous avons vu précédemment que seuls 6 ont franchi l'aménagement de Golfech-Malause (5 par l'ascenseur de Golfech, 1 par la nouvelle passe de Malause) et que 5 ont finalement atteint l'ouvrage du Bazacle à Toulouse. Il s'agit des poissons **48501_01**, **48501_04**, **48501_09**, **48501_25** et **48501_54**.

Concernant l'avenir de ces 5 poissons, deux ont franchi l'aménagement du Bazacle et pour les 3 autres, l'un a stoppé sa migration au pied de l'aménagement, un second a dévalé et le troisième s'est fait prédater en aval de l'aménagement du Bazacle.

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

Il s'agit des poissons **48501_04** et **48501_09**. Ces poissons marqués n'ont pas franchi l'aménagement du Bazacle par la passe à ralentisseurs mais bien par la passe à bassins. Cette année, 14 saumons ont été contrôlés à la station vidéo du Bazacle dont 2 poissons marqués (pour rappel, en 2021, 3 saumons ont été contrôlés 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).

Le premier poisson, **48501_04**, a présenté un délai d'arrivée au Bazacle relativement long (14 jours) après son franchissement de Golfech. A l'inverse, le délai de franchissement de l'ouvrage du Bazacle est relativement court, avec 2,3 jours enregistrés entre la première détection en aval (20 avril à 10h30) et le contrôle à la station vidéo (22 avril à 18h17 – Photo 45). Une heure après ce franchissement, ce poisson s'est présenté au pied de l'ouvrage du Ramier situé 1,6 km en amont du seuil du Bazacle. Le saumon est ensuite resté une quarantaine d'heures en aval de l'ouvrage avant de le franchir par la passe à bassins (le 24 avril à 12h10). Dans la même journée, il est détecté plus en amont dans le bras supérieur à proximité de l'ouvrage de la Cavaletade. Le poisson sera retrouvé 15 jours plus tard (le 09 mai) en aval du premier seuil d'Auterive (*PK ARI_24*). Il y restera bloqué jusqu'au 19 mai avant de disparaître. Ce poisson sera à nouveau détecté à Toulouse dans le bras supérieur de la Garonne le 28 juin au niveau de l'antenne située à l'IMFT (500m en amont du Ramier), confirmant une dévalaison de l'individu. Aucun enregistrement n'a été observé par la suite au niveau de la passe du Ramier ou du Bazacle.

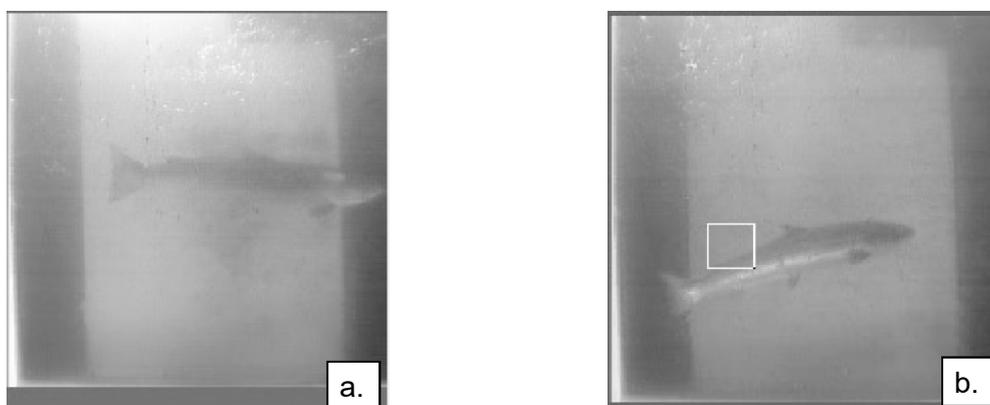


Photo 45 : Contrôle à la station vidéo du Bazacle des saumons 48501_04 (a.) et 48501_09 (b.)

Le second poisson, **48501_09**, a rejoint le Bazacle 11 jours après sa sortie du canal de transfert de Golfech. Le délai de franchissement de l'ouvrage du Bazacle a été long puisque cet individu a été enregistré plus de 26 jours entre sa première détection en aval (13 avril à 7h00) et le passage à la station de contrôle vidéo (09 mai à 17h42 - Photo 45). Suite à ce franchissement, ce 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 (3h19). Le saumon est ensuite resté 17h en aval de l'ouvrage avant de le franchir par la passe à bassins (le 10 mai à 14h37). 3 jours plus tard, le poisson a été détecté sur la Garonne en aval de l'ouvrage de Carbonne (*PK GAR_363,5*). Le poisson a mis 3 jours avant de franchir l'ouvrage de franchissement où il a été piégé (16 mai à 17h40). Il sera ensuite transporté le 17 mai sur l'Ariège au niveau de Varilhès (*PK ARI_79*). Le poisson a été détecté proche du point de lâcher jusqu'à la fin du mois de juin. A partir du mois de septembre, il a été retrouvé en aval de l'usine hydroélectrique de Guilhot (*PK ARI_70*) et il n'en a pas bougé jusqu'au 10/01/2023 (saumon probablement mort).

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

Le saumon **48501_01** a mis 12,5 jours pour atteindre le Bazacle après son franchissement de l'ouvrage de Golfech (20 avril - 03 mai). Ce poisson a été enregistré en aval de l'aménagement du Bazacle à partir du 03 mai et s'est approché de l'entrée de la passe à bassins entre le 03 mai et le 08 mai. Après cette date, il est resté en aval de l'usine, dans la zone de détection de l'antenne générale mais sans jamais tenter de s'approcher de l'entrée de la passe à bassins. Ce poisson sera pointé en aval de l'usine du Bazacle, côté rive droite jusqu'à la fin du suivi.

Le saumon **48501_25** est arrivé très rapidement au Bazacle après la sortie du canal d'amenée de Golfech (4,8 jours). Ensuite, il a été détecté en aval de l'aménagement du Bazacle du 18 avril au 03 mai. Pendant cette période, il s'est approché de manière très ponctuelle de l'entrée de la passe à bassins mais sans effectuer de réelle tentative pour y pénétrer (pas de détection aux antennes RFID). Ce poisson n'a pas été retrouvé au Bazacle après le 03 mai. Il a été de nouveau capté par la station de Grenade/Garonne le 09 mai, confirmant une dévalaison. Le 10 mai, il est enregistré à la station de Belleperche et, enfin, le 13 mai, il est capté à l'entrée du canal d'amenée de Golfech (tag prédation non déclenché). Quelques heures plus tard, ce dernier est retrouvé en amont direct de l'usine, à l'aval du canal d'amenée. Il y restera environ 24h avant de remonter jusqu'au pont de Pommevic, toujours dans le canal d'amenée, un peu plus de 6 km en amont de l'usine de Golfech. Il est toujours capté par les hydrophones en place mais son tag prédation n'a jamais déclenché (cf. § 7.2.10).

Le poisson **48501_54** est le dernier saumon marqué lors de ce suivi. Il a été marqué et relâché le 03 juin dans le TCC en amont du seuil 1 (soit le seuil le plus amont du TCC situé environ 2,2 km en aval du barrage de Malause). Ce poisson a franchi la nouvelle rivière de contournement du barrage le 04 juin. Il a ensuite dépassé Belleperche (*PK GAR_249,3*) le 05 juin et Grenade/Garonne (*PK GAR_285,5*) le 10 juin. Il sera détecté ensuite le 12 juin en aval du barrage du Bazacle. Dès le 13 juin, son tag acoustique est détecté comme prédaté. En remontant à l'heure de déclenchement du tag, il semble que la prédation se soit déroulée avant l'arrivée du poisson en aval du Bazacle. Le tag sera enregistré en aval de l'usine jusqu'au 14 juin avant de disparaître et de ne plus être retrouvé en suivi manuel.

7.4.3 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison au Bazacle

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

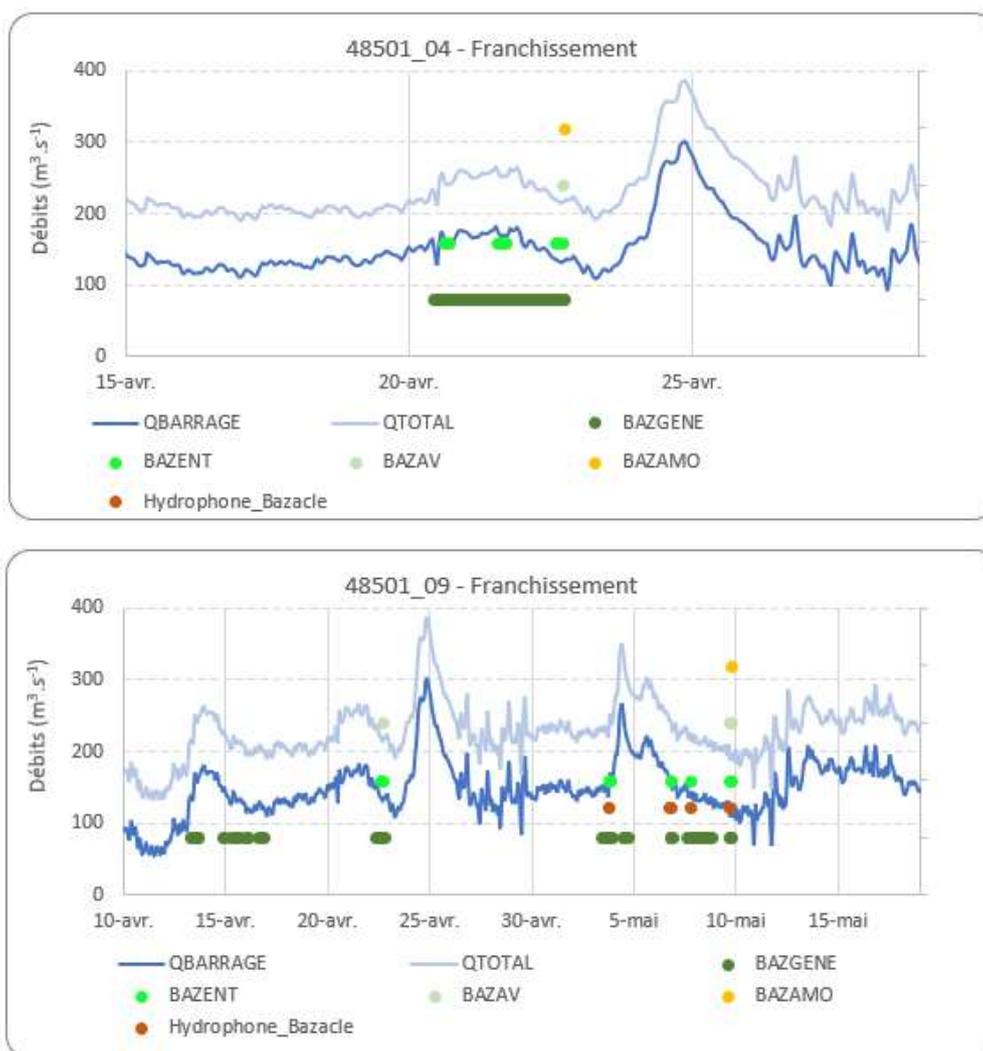


Figure 64 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus ayant franchi l'aménagement

La Figure 64 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 **48501_04** est arrivé en aval de l'ouvrage le 20 avril avec un Q_{mj} de $234 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Lors de ses jours de présence, les débits ont varié entre 210 et $270 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. L'individu s'est approché 2 fois de l'entrée (détection à l'antenne radio BAZENT : une fois le jour d'arrivée et une fois le 21 avril) mais sans entrer dans l'entrée (aucune détection aux antennes RFID). Lors de la troisième tentative le 22 avril, le poisson est entré dans la passe et a franchi l'intégralité de la passe avec succès. On observe des enregistrements aux antennes radio BAZENT et BAZAV ainsi que des enregistrements au niveau des 2 antennes RFID. Le poisson sera donc contrôlé à la vidéo le 22 avril à 18h17 (Photo 45). Le débit de la Garonne était de $220 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au moment du franchissement.

Sur la période de présence de ce poisson en aval de l'aménagement, on notera le franchissement de 2 saumons non-marqués contrôlés le 15 avril et le 20 avril. Après le franchissement du poisson **48501_04** le 22 avril, 2 autres saumons non-marqués ont franchi l'ouvrage le 24 et 27 avril.

Concernant le poisson **48501_09**, il a été enregistré pour la première fois en aval de l'aménagement du Bazacle le 13 avril, alors que le débit de la Garonne était de $216 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Du 13 au 16 avril, l'individu a été enregistré en aval de l'ouvrage mais sans s'approcher de l'entrée de la passe à bassins (détection uniquement sur l'antenne radio générale). Le 22 avril, jour de franchissement du poisson **48501_04**, ce saumon s'est approché de la passe (faible détection aux antennes BAZENT et BAZAV) mais sans réaliser d'incursion dans la passe (aucune détection RFID). Après cette tentative, aucun enregistrement de ce poisson sur site ne sera réalisé jusqu'au 03 mai. Pour rappel, un coup d'eau a été enregistré le 24 avril. Entre le 03 et le 09 mai, le poisson est quasiment détecté tous les jours sur site et effectue 3 approches de la passe mais sans y pénétrer (les 03, 06 et 07 mai, pour des débits de la Garonne respectivement de 220, 245 et $225 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Lors de la tentative du 09 mai, le poisson a franchi l'intégralité de la passe avec succès (enregistrements aux antennes radio BAZENT et BAZAV et aux 2 antennes RFID). Le poisson est contrôlé à la vidéo le 09 mai à 17h43 (Photo 45). Le débit de la Garonne était de $189 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au moment du franchissement.

Sur la période de présence de ce poisson en aval de l'aménagement, on notera le franchissement de 5 saumons non-marqués (contrôlés les 15, 20, 24, 27 avril et 04 mai) et du saumon marqué **48501_04** le 22 avril.

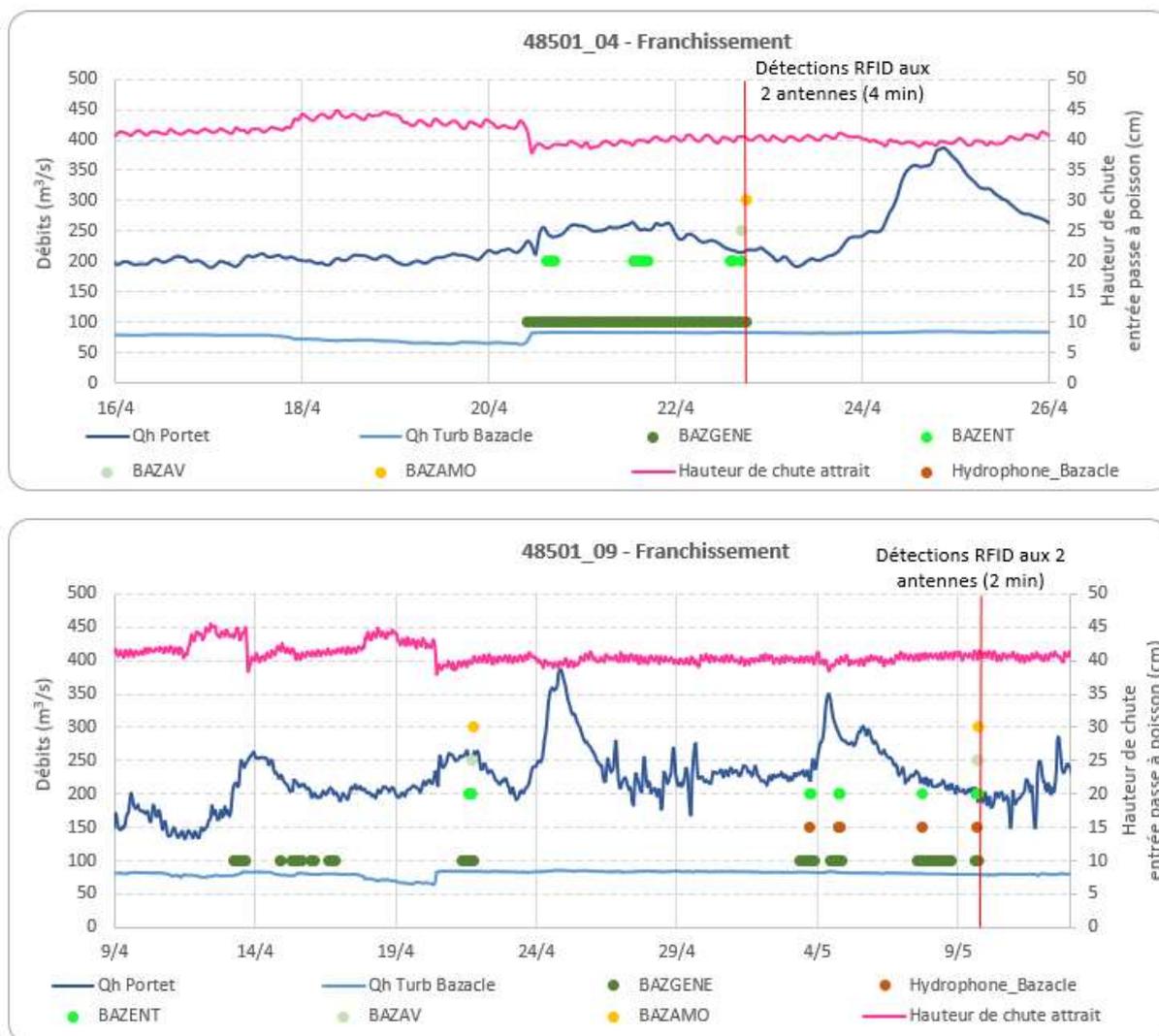


Figure 65 : Détections des saumons aux antennes RFID du Bazacle en fonction du débit de la Garonne et de la hauteur de chute à l'entrée de la passe à bassins pour les individus ayant franchi l'aménagement

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 65 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 **48501_04**, les hauteurs de chute à l'entrée de la passe sur sa période de présence sont restées centrées autour de 40 cm de chute. Comme cela a été expliqué sur la Figure 64, après deux approches en aval de l'ouvrage, le poisson s'est présenté à l'entrée de la passe puis y a pénétré le 22 avril (enregistré par les 2 antennes RFID durant 4 minutes), avec une hauteur de chute à l'entrée de la passe de l'ordre de 40 cm. Cette première et unique tentative s'est donc soldée par un succès de franchissement avec un débit de la Garonne de $220 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Concernant le poisson **48501_09**, les hauteurs de chute à l'entrée de la passe sur sa période de présence sont restées centrées autour de 40 à 45 cm de chute. Ce poisson, présent plus de 26 jours en aval de l'aménagement a rencontré diverses conditions de débit, comprises entre $150 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $450 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Lors de la première approche du poisson, les débits étaient d'environ $250 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour une chute de 40 cm. Mais aucun enregistrement RFID n'a été observé, le poisson n'est donc pas entré dans la passe. Le poisson semble s'être replié quelques jours après le coup d'eau du 24 avril. Il se représente au barrage à partir du 03 mai. Cependant, malgré plusieurs approches de l'ouvrage enregistrées par les antennes radio, le poisson ne fera une tentative d'entrée que le 09 mai avec un débit de la Garonne inférieur à $200 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et une chute à l'entrée de la passe de 40 cm. L'entrée dans la passe est validée par l'enregistrement aux deux antennes RFID.

Si le franchissement du poisson **48501_04** n'a, à priori, pas posé de problème et a été relativement rapide (2.3 jours), le saumon **48501_09** a eu plus de difficultés, malgré une présence sur site en même temps que le poisson **48501_04** et des conditions de franchissement identiques avant le coup d'eau du 24 avril. Ainsi, malgré des hauteurs de chute en entrée de passe à bassins correctement régulées et des débits déversés plutôt modérés, il semble que l'attractivité générale de la passe à bassins ne soit pas optimale pour certains saumons.

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

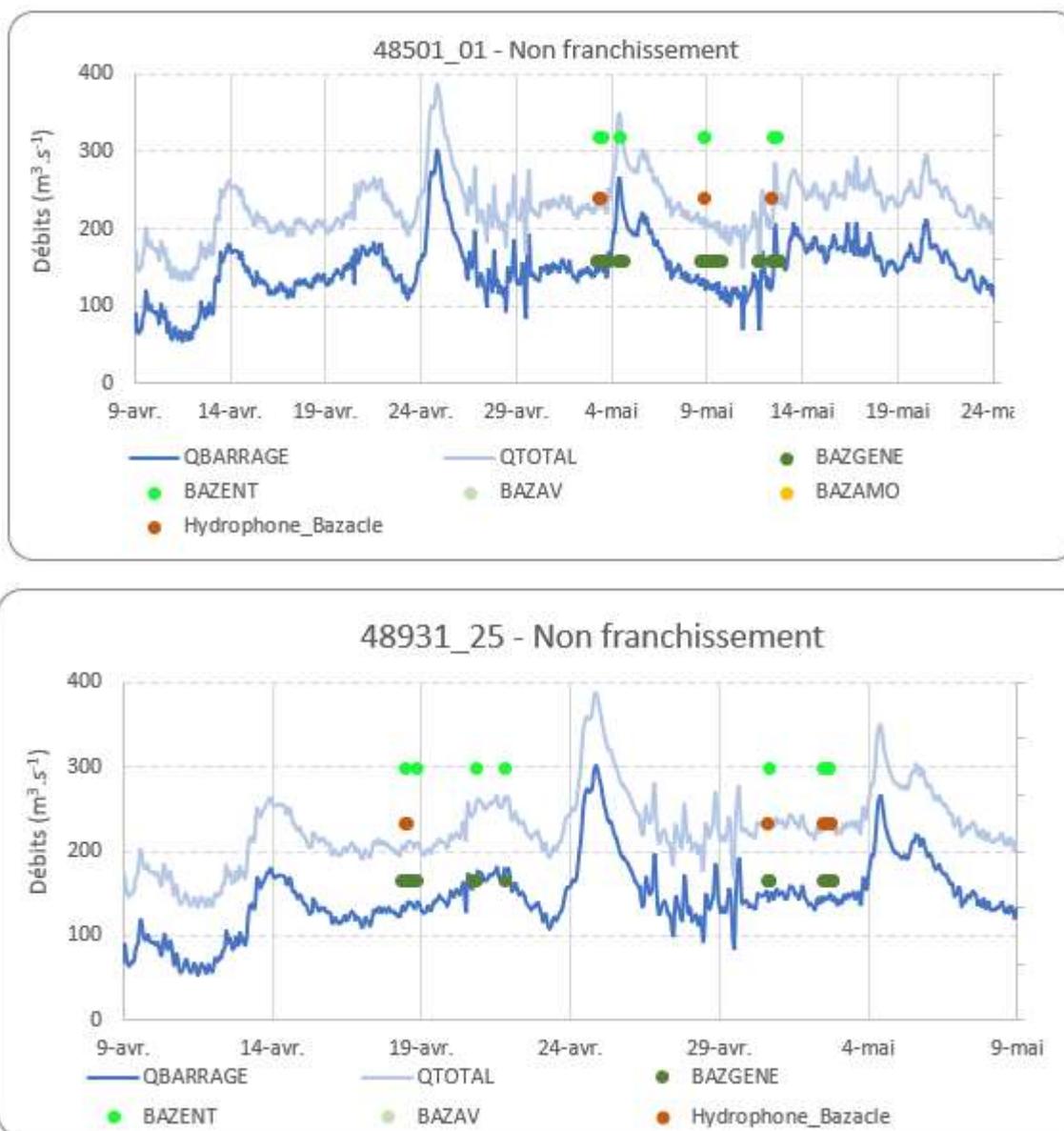


Figure 66 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus n'ayant pas franchi l'aménagement

Comme expliqué au paragraphe 7.4.2, les poissons **48501_01**, **48501_25** et **48501_54** ont atteint l'aval de l'aménagement du Bazacle mais sans parvenir à le franchir. Le poisson **48501_54** a été prédaté avant son arrivée sur site, les données enregistrées en aval de l'aménagement ne correspondent donc plus aux déplacements d'un saumon et ne seront pas présentées ici.

Les poissons **48501_01**, **48501_25** étaient présents sur site en même temps que les individus **48501_04** et **48501_09** analysés précédemment, et donc dans les mêmes conditions hydrologiques (Figure 66).

Dans le détail, le poisson **48501_01** a été enregistré sur site, proche de l'aménagement de franchissement entre le 03 et le 12 mai. Les enregistrements montrent une prospection active à proximité immédiate de la passe à bassins mais sans pénétrer dans le dispositif. Ce poisson est pourtant présent sur la même période que le poisson **48501_09** (qui lui franchira la passe

à bassins le 09 mai). Après le 14 mai, ce poisson est toujours présent sur site, légèrement plus en aval mais il continuera malgré tout à se faire enregistrer par l'antenne générale et l'hydrophone installés sur site. Toutefois, ce poisson ne possède pas de tag avec l'option prédation, il n'est donc pas possible de conclure sur son devenir au-delà du 12 mai. Concernant les franchissements des autres saumons au Bazacle sur cette période, un poisson non-marqué a été contrôlé le 04 mai et le poisson **48501_09** a été contrôlé le 09 mai. Après cette date, aucun saumon n'a été contrôlé jusqu'au 23 mai.

Le saumon **48501_25** a été présent à proximité de la passe à bassins entre le 18 avril et le 03 mai. Au cours de cette période, il s'est approché de l'entrée de la passe à bassins avant le coup d'eau du 24 avril et après celui-ci mais sans pénétrer dans le dispositif. Après le 03 mai, ce saumon ne sera plus détecté sur site. Il sera repointé le 09 mai à Grenade/Garonne avant de constater, quelques jours plus tard, sa dévalaison jusqu'à l'aménagement de Golfech. Au niveau du franchissement des autres saumons sur la période, 4 individus ont été enregistrés à la vidéo entre le 20 et le 27 avril (3 non-marqués et le poisson **48501_04**), puis 2 individus entre le 04 et 09 mai.

7.4.4 Résultats du suivi prédation (pour les poissons ayant atteint l'ouvrage du Bazacle)

Au final, 5 poissons marqués ont terminé leur migration au niveau de Toulouse et du secteur du Bazacle.

Parmi ces 5 poissons, on retrouve les poissons **48501_01**, **48501_09** et **48501_25** qui étaient équipés de tag acoustique sans l'option prédation. Parmi ces 3 poissons, 1 a franchi l'aménagement du Bazacle (**48501_09**), 1 a dévalé jusqu'à l'ouvrage de Golfech (**48501_25**) et le dernier (**48501_01**) est resté jusqu'à la fin du suivi en aval direct de l'aménagement du Bazacle. Il est peu probable que ce saumon ait été prédaté dans cette période puisque le tag radio et le tag acoustique ont été enregistrés de manière synchrone et n'étaient donc pas séparés.

Ensuite, on retrouve le poisson **48501_04**, qui possédait un tag acoustique avec l'option prédation. Malheureusement, ce tag n'a pas fonctionné et aucune information acoustique n'a pu être enregistrée sur l'ensemble de la durée de suivi de cet individu. Toutefois, l'individu a franchi l'ouvrage et s'est engagé sur l'Ariège, ce qui laisse penser que son comportement était bien celui d'un saumon vivant.

Enfin, le dernier individu (**48501_54**) était bien équipé d'un tag prédation qui s'est déclenché quelques heures après l'arrivée du saumon sur le site du Bazacle. Les données du tag indiquent qu'il a été prédaté avant son arrivée au Bazacle, ce qui signifie que le poisson enregistré en aval du Bazacle n'est pas un saumon, mais très certainement un silure. Le tag a été enregistré en aval de l'aménagement pendant environ 24h avant de ne plus être capté ni retrouvé malgré les suivis manuels en aval. Le tag a sans doute été expulsé par le prédateur après digestion.

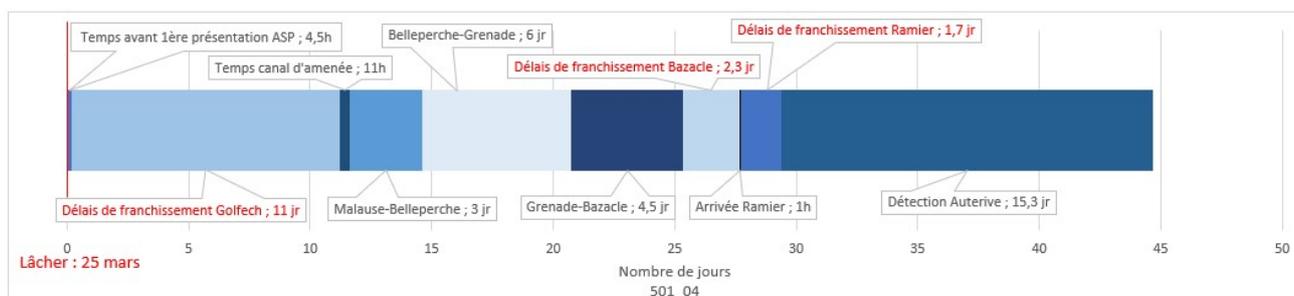


Figure 67 : Chronologie des événements de suivi liés au saumon 48501_04

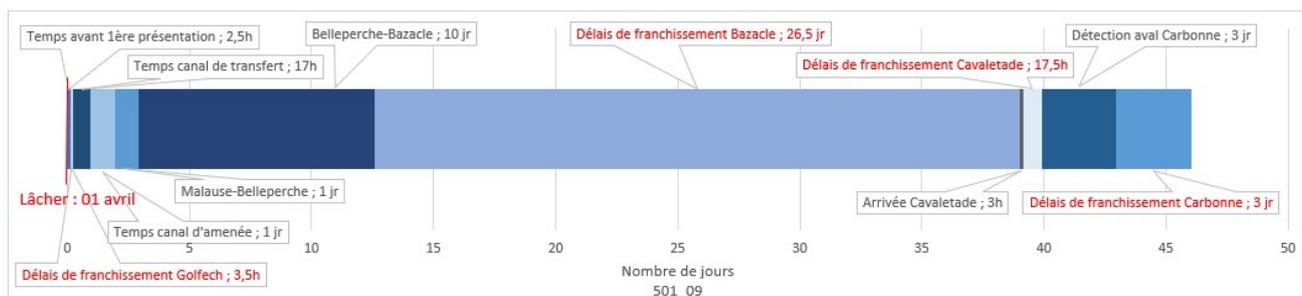


Figure 68 : Chronologie des événements de suivi liés au saumon 48501_09

Les Figure 67 et Figure 68 présentent l'enchaînement des événements correspondant au suivi des poissons **48501_04** et **48501_09** entre le moment de leur lâcher et de leur dernier pointage connu, correspondant au parcours entre Lamagistère (*PK GAR_211,6*) et Auterive (*PK ARI_24*) pour le premier, soit un trajet de 137 km et au parcours entre Lamagistère et Carbone (*PK GAR_361*) pour le second soit un trajet de 153 km.

Tout d'abord, le poisson **48501_04** a été remis à l'eau après marquage le 25 mars et le poisson **48501_09** le 1^{er} avril (débits proches de $450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et température égale à $11,5^\circ\text{C}$). Ils se sont ensuite présentés très rapidement en aval de l'ouvrage de Golfech (4,5 h pour le premier et 2,5 h pour le second). En revanche, alors que le poisson **48501_09** n'a eu besoin que de 3,5h pour franchir l'ouvrage de montaison, le saumon **48501_04** présente un délai de franchissement de 11 jours. La vie en rivière de ces poissons avant leur capture n'est pas connue, notamment le temps de blocage lié à leur premier franchissement, mais le cumul de toutes ces phases peut rapidement être important.

Les temps de franchissement de l'ascenseur ainsi que le parcours du canal sont rapides (de quelques heures à 17h entre le franchissement de l'ascenseur et la sortie du canal d'aménée). La remontée du canal d'aménée et la sortie de la retenue de Malause est comprise entre 11 h pour le saumon **48501_04** et 1 jour pour le saumon **48501_09**. Les 24 km séparant Malause de Belleperche ont été parcourus en 1 jour pour le **48501_09** et en 3 jours pour le **48501_04**. Au final, le délai pour atteindre Toulouse a été de 11 jours pour le premier poisson et de 7,5 jours pour le second (temps de transferts comparables à ceux des saumons suivis depuis 2020).

Pour le saumon **48501_04**, le blocage au pied de l'ouvrage du Bazacle n'a été que de 2,3 jours. Le temps de franchissement de la passe à bassins a été de 55 min, et le transfert jusqu'à l'usine du Ramier a été de 1 heure. Ce poisson est ensuite resté bloqué 1,7 jours en aval de l'ouvrage du Ramier avant de le franchir par la passe à bassins en 32 minutes. Le poisson sera ensuite détecté sur l'Ariège au niveau d'Auterive 15 jours après le franchissement de l'ouvrage du Ramier dans Toulouse. Ce saumon restera bloqué au pied du seuil d'Auterive pendant environ 11 jours avant de ne plus être détecté sur l'axe Ariège. Il sera capté plus tard au niveau du bras supérieur dans Toulouse, signifiant une dévalaison.

Une fois arrivé au pied de la chaussée du Bazacle, le poisson **48501_09** est resté bloqué 26,5 jours avant de passer à l'amont de l'aménagement. Le temps de franchissement de la passe à poissons a été de 40 min, et le transfert jusqu'à la Cavaletade d'à peine 3 heures. Le poisson est ensuite resté bloqué 17,5 h en aval de l'usine de la Cavaletade avant de passer à l'amont de l'aménagement. Ce poisson sera ensuite retrouvé en aval de l'ouvrage de Carbone, soit 42 km plus en amont, 3 jours plus tard. Le poisson a franchi l'ouvrage de montaison de cet aménagement au bout de 3 jours où il sera capturé avant d'être transporté sur la rivière Ariège.

Si l'on fait la somme de toutes les séquences enregistrées lors de la progression de chacun de ces deux poissons, on enregistre 44,5 jours entre le lâcher du poisson **48501_04** à Lamagistère (*PK GAR_211,6*) et sa détection à Auterive (*PK ARI_24*), soit 137 km de linéaire

et 43 jours pour le poisson **48501_09** entre son lâcher à Lamagistère et sa capture à Carbonne (*PK GAR_361*), soit 153 km. Sur l'ensemble des séquences, la vitesse de progression est donc en moyenne inférieure à 4 km par jour pour chaque poisson (3,1 pour le saumon **48501_04** et 3,5 pour le saumon **48501_09**), ce qui est faible.

Les temps de blocage cumulé au pied des ouvrages de montaison représentent 30,25 jours (0,15 jr à Golfech, 26,5 jr au Bazacle et 0,6 jr à la Cavaletade et 3 jr à Carbonne), ce qui représente 70 % du temps de suivi pour le poisson **48501_09**. Seulement 30 % de son temps correspond donc à des phases de progression active vers l'amont. Ce temps cumulé atteint 15 jours (11 jr à Golfech, 2,3 jr au Bazacle et 1,7 jr au Ramier) pour le poisson **48501_04**, soit 34 % du temps de suivi de l'individu. Cela signifie que 66 % du temps observé correspond à des phases de progression active vers l'amont.

7.5 Synthèse globale du suivi des saumons avec et sans tag prédation

Lors de ce suivi 2022, 25 saumons ont été équipés de marque acoustique et relâchés en aval de l'ascenseur à poissons de Golfech à Lamagistère (3,6 km en aval de l'ASP). Parmi ces 25 poissons, 14 avaient un tag acoustique avec l'option prédation. En complément, le dernier poisson **48501_54**, lâché dans le TCC en aval du barrage de Malausse était également équipé d'un tag acoustique avec l'option prédation. Au total, sur les 26 saumons marqués lors de ce suivi, 15 étaient équipés de tag prédation, soit 58 % des poissons suivis.

Parmi ces 15 individus, 3 doivent être retirés de l'analyse. Le poisson **48501_04** a perdu son tag peu de temps après son retour à l'eau. Il a franchi l'ascenseur de Golfech puis le Bazacle et s'est engagé sur l'axe Ariège. Malgré une dévalaison en fin de suivi (28 juin), ce poisson était bien vivant lors des franchissements d'aménagements et ne s'est pas fait prédater sur l'Ariège. Le poisson **48501_26** a son tag prédation qui s'est déclenché au moment du marquage. Il est resté bloqué en aval de l'ascenseur jusqu'au coup d'eau du 24 avril. Par la suite, l'émetteur de ce poisson a été à nouveau enregistré dans la zone de l'ascenseur mais avec un comportement différent d'un migrateur en prospection active, faisant penser à une prédation probable par un silure. Enfin, le poisson **48501_34** a été marqué avec le tag prédation déjà déclenché. Il a très vite dévalé après son lâcher (pointages réguliers en suivi manuel) jusqu'au *PK GAR_124* (environ 10 km en amont de Couthures sur Garonne). Après plusieurs semaines, ce poisson a été déclaré mort, mais sans savoir s'il a été prédaté ou non.

Parmi les 12 poissons ayant un tag prédation fonctionnel, 7 ont terminé le suivi avec le tag prédation déclenché (donc prédatés), soit 58 % (Tableau 26). Cependant, ce chiffre est à nuancer selon le comportement des individus :

- 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 »). **6 saumons appartiennent à cette catégorie et 2 se sont fait prédater (48501_32 et 48501_50), soit 33 %.** Concernant les 4 autres poissons, l'un a dévalé à l'aval de Couthures sur Garonne (*PK GAR_113*) et n'a plus été recherché en suivi manuel (**48501_10**). Deux autres individus (**48501_30** et **48501_33**) ont été retrouvés en suivi manuel et distingués comme morts (mais non prédatés) et enfin le dernier (**48501_52**) était décrit comme vivant lors de son dernier pointage en suivi manuel (tag prédation non déclenché).
- Les individus ayant repris un comportement de migration vers l'amont. **5 individus appartiennent à cette catégorie. Parmi ces poissons, 4 ont terminé le suivi avec le tag prédation déclenché (80 %).** Au sein de cette catégorie, 1 poisson s'est finalement fait prédater alors qu'il redévalait après s'être présenté au pied de l'aménagement de Golfech (**48501_28**) et 3 poissons (**48501_02**, **48501_06** et **48501_12**) se sont fait prédater alors qu'ils évoluaient à proximité de l'ouvrage de franchissement (en aval de l'usine ou dans l'enceinte de l'ascenseur). Le cinquième individu (**48501_00**) n'a jamais

été retrouvé en suivi manuel ni enregistré sur une station fixe après le coup d'eau du 24 avril.

- Les individus ayant franchi le complexe Malause/Golfech. Cela concerne **1 individu pour ce suivi 2022**. Il s'agit du poisson **48501_54** qui s'est fait prédater lors de son arrivée à Toulouse et avant les premières détections du tag en aval de l'aménagement du Bazacle.

Tags prédation	Pk final	Vivant/mort	Prédation confirmée	Tags non prédation	Pk final	Vivant/mort	Prédation confirmée
48501_00	-	non retrouvé	-	48501_01	313.4	?	?
48501_02	215	mort	oui	48501_03	-	non retrouvé	-
48501_04*	315.6	vivant	non	48501_05	215	mort	?
48501_06	215	mort	oui	48501_09	70 (Ariège)	vivant	non
48501_10	-	aval secteur suivi	-	48501_25	221.9	mort	?
48501_12	215	mort	oui	48501_27	158	mort	?
48501_26**	215	mort	oui	48501_29	205.8	non retrouvé	-
48501_28	196	mort	oui	48501_31	124	mort	?
48501_30	124	mort	non	48501_37	-	non retrouvé	-
48501_32	158	mort	oui	48501_51	155	mort	?
48501_33	181	mort	non	48501_53	167	mort	?
48501_34**	124	mort	?				
48501_50	215	mort	oui				
48501_52	183	vivant	non				
48501_54	313.5	mort	oui				

* perte tag

** tag HS

Tableau 26 : Tableau bilan du devenir des poissons équipés ou non de tags prédatations acoustiques

Concernant les 11 poissons qui n'avaient pas de tag prédation (Tableau 26), nous avons 3 individus (**48501_03**, **48501_29** et **48501_37**) qui n'ont pas été retrouvés en suivi manuel et dont nous ne connaissons pas le devenir (27 %) et 1 individu (**48501_09**) qui a atteint Carbone sur la Garonne amont (9 %). Les 7 autres poissons (64 %) ont tous été déclarés comme morts avant la fin du suivi. Il n'est pas possible de savoir si ces poissons ont été prédatés ou sont morts de mort « naturelle ». Parmi ces 7 poissons, le poisson **48501_05** a été retrouvé mort dans le canal de transfert après son franchissement de l'ascenseur, sans trace apparente de prédation. Le poisson **48501_25** a redévalé le canal d'aménée de Golfech après avoir atteint l'aménagement du Bazacle, pour stabuler définitivement au pont de Pommevic. Le poisson **48501_01** a atteint le Bazacle et a fini le suivi en aval de cet ouvrage. Les 4 derniers poissons (**48501_27**, **48501_31**, **48501_51** et **48501_53**) ont tous dévalé en aval du point de lâcher. Le poisson le plus aval a été perdu au *PK GAR_124* (environ 10 km en amont de Couthures sur Garonne).

8. CONCLUSION / PERSPECTIVES

Parmi les 26 saumons marqués en 2022, 25 ont été lâchés en aval de Golfech et 1 saumon, en fin de saison (3 juin) a été lâché en amont du seuil 1 dans le tronçon court-circuité, en aval de la rivière de contournement.

Sur les 25 saumons lâchés en aval de Golfech, 12 se sont présentés dans le canal de fuite de l'usine hydroélectrique et l'ont remonté jusqu'aux abords de l'ouvrage de franchissement. Bien que 10 individus soient parvenus à entrer dans le dispositif de franchissement et ce majoritairement par l'entrée 2, seulement 5 sont parvenus à le franchir. Ainsi en 2022, l'attractivité de l'ascenseur à poissons pour le saumon peut être évaluée à 83% (10/12), sa franchissabilité de 50% (5/10) et son efficacité globale de 42 % (5/12).

Par ailleurs, les 13 autres saumons ont dévalé après marquage. Parmi eux, 7 ont été lâchés au début de la crue du 25 avril et 4 environ 15 jours après la remise en service de l'ascenseur à poissons. Par ailleurs, aucun passage de saumons à la station vidéo n'a été observé durant les 10 jours suivant cette crue.

Sans minimiser les biais de comportement qui peuvent être provoqués par le marquage (stress) ou par le protocole (marquage d'individus ayant déjà franchi l'ouvrage avec plus ou moins de difficultés), il semblerait que les conditions environnementales lors du lâché influent sur la faculté des individus à revenir au droit de l'ouvrage de Golfech.

Après analyse des résultats du comportement des 12 individus au droit de l'ascenseur à poissons de Golfech, il semblerait que :

- L'utilisation à plus de 50 % du groupe 3 ait une influence négative sur l'attractivité des 2 entrées. Ceci avait déjà été évoqué dans la note concernant les réglages de l'ascenseur avec fonctionnement de la 2^e entrée produite par ECOGEA pour EDF en 2013.
- Les individus qui pénètrent dans l'enceinte de franchissement ressortent, pour 50 % d'entre eux, alors même qu'ils se sont présentés une ou plusieurs fois à proximité des portes anti-retour, sans avoir été « poussés » dans la cuve de l'ascenseur à poissons, alors même qu'un voire plusieurs cycles de remontées se sont déclenchés lors de leur présence.

Ainsi, une visite de terrain a eu lieu le 6 décembre 2022 (pôle éco hydraulique de l'OFB, MIGADO, ECOGEA) ayant pour but 1) de vérifier visuellement les écoulements dans l'enceinte de l'ascenseur à poissons en fonction de différentes configurations (débit d'attrait, ouverture des portes anti-retour, fonctionnement à 1 ou 2 entrées de l'ascenseur à poissons) et 2) de proposer des mesures pour améliorer l'efficacité du système de franchissement dès 2023. Suite à cette visite, une note commune a été rédigée (pour plus de détails, voir Courret et al, 2023) et plusieurs mesures ont été proposées, dont les deux principales sont :

- **Fonctionnement séquentiel des entrées de l'ascenseur à poissons avec entrée 2 ouverte lorsque le groupe 3 ne fonctionne pas à plus de 50 % sinon, entrée 1 ouverte,**
- **Demande faite à EDF de prioriser le fonctionnement des 3 groupes de l'usine en fonction des débits avec pour objectif de réduire le fonctionne du groupe 3 à 50 % autant que faire se peut.**

En outre, il a également été envisagé d'**adapter les cycles de l'ascenseur à poissons en passant éventuellement la fréquence de remontée de la cuve à 10 mn au lieu de 30 mn, le système de franchissement étant prévu pour fonctionner à cette cadence. L'ouverture entres les portes anti-retour est conservée à 40 cm, comme en 2021 et 2022**

Enfin, des améliorations des écoulements ont été également préconisées, notamment en installant des déflecteurs en amont du virage de l'entrée 2.

Devenir des individus ayant franchi Golfech :

Parmi les 5 saumons ayant franchi l'ouvrage, un individu est malheureusement mort dans le canal de transfert lors de son second passage. Les 4 autres sont rapidement arrivés au Bazacle et se sont approchés de la passe mais seuls 2 saumons ont pénétré puis franchi la passe à poissons et ont pu continuer leur migration vers les zones de reproduction (50 % d'efficacité globale du système).

Enfin, la moitié des individus étant équipés de tag prédation, il a été possible d'estimer l'impact du silure sur la migration de l'échantillon marqué avec, en résultats bruts, 58 % des saumons qui se sont fait prédater. Dans le détail, il a été observé que :

- Les individus qui ne reprennent pas la migration de montaison après marquage sont retrouvés prédaturés à 33 % mais relativement longtemps après marquage, ce sont des individus peu actifs et surement faibles et vulnérables.
- Les individus qui reprennent la migration mais échouent au franchissement de l'ascenseur (échec entrée dans le dispositif, échec franchissement), se sont fait prédater à 80 % (4 sur 5 équipés de ce tag en 2022). La prédation s'est faite entre 3 et 40 jours après s'être présentés en aval de Golfech.
- La prédation est quasiment nulle lors de la migration de montaison sur le secteur « amont Golfech – aval Bazacle » (1 individu marqué le 2/06 en 2022, et qui a été détecté prédaturé lors de son arrivée sur le site du Bazacle).

Ces résultats montrent 1) que la prédation est forte et prégnante en aval de Golfech et 2) qu'elle serait plus la conséquence d'un problème de franchissement plutôt que la cause. Les résultats de 2022, qui ont permis d'affiner le comportement des individus dans l'enceinte de l'ASP, montrent que sur les 5 saumons prédaturés au droit de Golfech, 4 étaient parvenus à pénétrer jusqu'aux portes anti-retour de l'ascenseur avant d'échouer dans leur tentative de franchissement.

Proposition pour 2023 : les membres du COPIL s'accordent pour dire que la prédation, qui est réelle sur le site de Golfech, est certainement la conséquence d'un problème de franchissement (retard ou échec). Les individus qui migrent doivent « s'échapper » rapidement vers l'amont, sans échouer lors de leurs tentatives de franchissement. Les pistes d'amélioration proposées précédemment devraient permettre de limiter la prédation au droit de Golfech. Par ailleurs, le COPIL propose de ne plus marquer d'individus avec les tags prédatations acoustiques, les résultats de ces dernières années, sur cette thématique, étant suffisants. Ce choix nécessite d'affiner la réception automatique en remplaçant des récepteurs acoustiques par des récepteurs radios. Enfin, pour palier au relativement faible nombre de saumons ayant pénétré puis franchi l'ascenseur, le COPIL propose d'acquérir davantage de données sur le comportement des poissons dans l'enceinte de l'ASP en marquant en RFID et en radio des espèces holobiotiques (barbeau, chevesne et brème commune) piégées à Golfech puis relâchées après marquage quelques centaines de mètres en aval de l'ASP.

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.
- COURRET D., RICHARD S., MATAIX V., ROY R., LAGARRIGUE T., CARRY L., GRACIA S. & TRAVADE F., 2023**. Proposition de nouvelles consignes de gestion de l'ascenseur à poissons de Golfech pour en améliorer le fonctionnement, 33p.
- 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, 2013**. Ascenseur à poissons de Golfech. Réglages de l'ascenseur avec fonctionnement de la deuxième entrée. Note suite aux visites du 25/03/2011, 12/07/2011, 21/03/2013 et 22/08/2013. Note pour E.D.F. – C.I.H.
- 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 pour MIGADO.
- 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.
- FREY A. et LAGARRIGUE T., 2022**. Suivi de la dévalaison de l'anguille argentée au niveau de l'aménagement hydroélectrique E.D.F. de Golfech. Résultats de l'hiver 2021-2022. 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.

- PREFECTURE DE LA HAUTE-GARONNE, 2010.** Arrêté accordant à la ville de Toulouse l'exploitation de la chute du Ramier du Château pour l'installation et le fonctionnement des usines hydroélectriques sur la Garonne. N°59, 01/10/2007.
- 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.
- IUCN 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.
- 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.

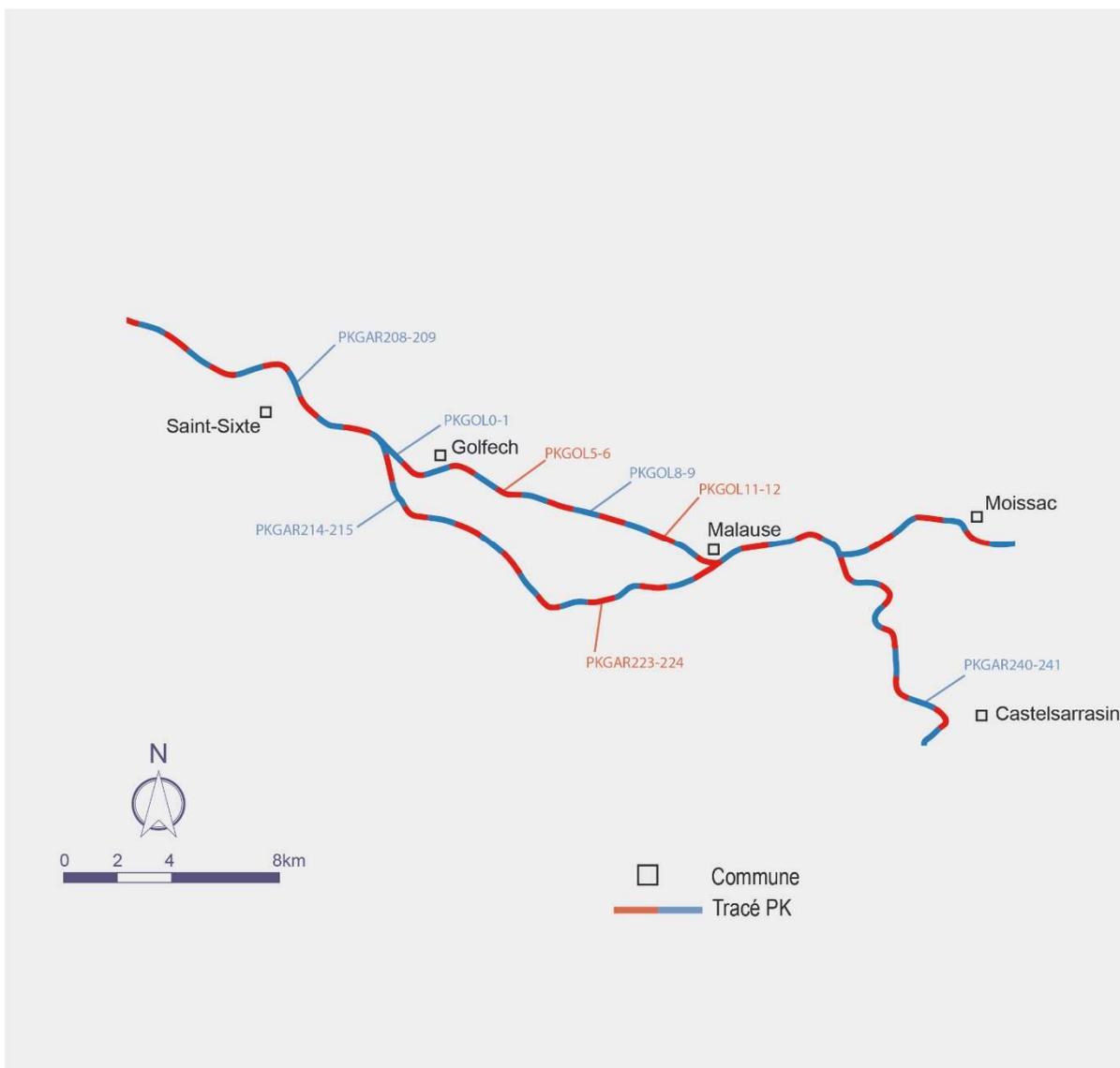
10. ANNEXES

N°	Site	Technologie	Localisation	Antenne	Nom antenne	Modèle	PK	Remarque
1	Aval secteur suivi	Radio	quai Couthures sur Garonne	COUTHURES	-	R4500C	113	Antenne boucle
2	Agen	Acoustique	amont seuil Beauregard	Beauregard	Garonne aval	A180-1702	191.2	pile de pont
3	St Nicolas de la Balermie	Radio	Jardin particulier RG	ST NICO	-	R4500C	205.8	Antenne boucle
4	Lamagistère	Acoustique	Pont routier	Lamagistère	-	A180-1702	211.5	Lest béton
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 boucle
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	Nasse piège ASP	GOLASP	R4500C	215.25	Brin
16	Aval Asp	Radio	Aval ASP	Cuve ASP	GOLPIEGE	R4500C	215.25	Brin
17	Amont Asp	Acoustique	Canal transfert	Vanne 2200	V2200	A180-1702	215	Lest
18	TCC	Radio	aval Seuil 5	Seuil5	TCC	R4500C	214	Antenne boucle
19	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	Pont canal RG	-	A180-1702	215.6	Lest
20	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	Pont canal RD	-	A180-1702	215.6	Lest
21	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RDD	-	A180-1702	217.6	Lest béton
22	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RD	-	A180-1702	217.6	Lest béton
23	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RG	-	A180-1702	217.6	Lest béton
24	TCC	Acoustique	Pont routier	Pont de Mondou RGG	-	A180-1702	217.6	Lest béton
25	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	pont Valence RD	-	A180-1702	218.9	Lest
26	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	pont Valence RG	-	A180-1702	218.9	Lest
27	TCC	Acoustique	Pont routier	Auvillar RD	-	A180-1702	220.4	Lest béton
28	TCC	Acoustique	Pont routier	Auvillar RG	-	A180-1702	220.4	Lest béton
29	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	pont Pommevic RD	-	A180-1702	221.9	Lest
30	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	pont Pommevic RG	-	A180-1702	221.9	Lest
31	Canal d'aménée	Acoustique	Pont routier	pont Malausa	-	A180-1702	225.5	Lest
32	Nouvelle PAP Malausa	Acoustique	bassin PAP	aval PAP	PAP_MALAV	A180-1702	227.6	Lest
33	Nouvelle PAP Malausa	Acoustique	bassin PAP	amont PAP	PAP_MALAMO	A180-1702	227.6	Lest
34	TCC	Radio	Barrage RD	aval Barrage RD	MALBARRD	R4500C	227.7	Antenne boucle
35	TCC	Radio	Barrage RG	aval Barrage RG	MALBARRG	R4500C	227.7	Antenne boucle
36	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	Malausa RD	-	A180-1702	228.5	Tube PVC 4m
37	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	Malausa RG	-	A180-1702	228.5	Tube PVC 4m
38	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	St Nicolas de la Grave RD	-	A180-1702	232.1	Lest béton
39	Garonne amont	Acoustique	Pont routier	St Nicolas de la Grave RG	-	A180-1702	232.1	Lest béton
40	Saint Livrade	Radio	Usine Sainte Livrade	Aval Sainte Livrade	STLIV	R4500C	-	Antenne boucle
41	Garonne amont	Radio	Abbaye de Belleperche	BELLEPERCHE	BELLEPERCHE	R4500C	249.3	Antenne boucle
42	Grenade sur Garonne	Radio	Mise à l'eau RG	GRENADE	GRENADE	R4500C	285.5	Antenne boucle
43	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	Générale aval	BAZGENE	R4500C	313.4	Antenne boucle
44	Bazacle	Acoustique	Passé à poissons	Aval PAP	-	A180-1702	313.6	Lest
45	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	entrée extérieur	BAZAV	R4500C	313.6	Brin
46	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	aval bassins	BAZENT	R4500C	313.6	Brin
47	Bazacle	Radio	Aval Bazacle	amont vitre	BAZAMO	R4500C	313.6	Brin
48	Bazacle	RFID	Aval Bazacle	Entrée PAP	BAZ10000	Damona 2.0 (usb)	313.6	Cadre bois
49	Bazacle	RFID	Aval Bazacle	1ère fente	BAZ20000	Damona 2.0 (usb)	313.6	Cadre bois
50	Ramier	Radio	Passé à poissons	Aval passé à poissons	RAMAVAL	R4500C	315.3	Antenne boucle
51	Ramier	Radio	Passé à poissons	Dernier bassin PAP	RAMAMO	R4500C	315.3	Brin
52	IMFT Toulouse	Radio	Terrasse IMFT	Bras supérieur Garonne	IMFT	R4500C	315.6	Antenne boucle
53	Cavaletade	Radio	Passé à poissons	Aval passé à poissons	CAVAVAL	R4500C	319.5	Antenne boucle
54	Cavaletade	Radio	Passé à poissons	Dernier bassin PAP	CAVAMONT	R4500C	319.6	Brin
55	Carbonne	Radio	Usine	Aval Usine	CARB	R4500C	363.5	Antenne boucle

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)

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



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.