

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

Année 2020

ECOGEA, S. Bosc, L. Carry, S. Gracia, O. Menchi, S. Hadj-Abed



M I G A D O

REMERCIEMENTS

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

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

Equipe de travail MIGADO

S Bosc, L Carry, O Menchi, S Gracia, S Hadj-Abed, A Nars, P Tardieu.

Equipe de travail ECOGEA

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

ETUDE DES CONDITIONS DE MIGRATION DU SAUMON ATLANTIQUE SUR LA GARONNE

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



La Garonne à Beauzelle (SMEAG)

Rapport ECOGEA R200352

ECOGEA

ETUDES ET CONSEILS
EN GESTION DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE

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

Février 2021

TABLE DES MATIERES

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

LISTE DES FIGURES

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

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

LISTE DES TABLEAUX

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

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

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

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

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

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

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

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

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

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

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

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

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

3.1. LE SECTEUR D'ÉTUDE

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

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

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

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

3.2. HYDROLOGIE

3.2.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

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

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

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

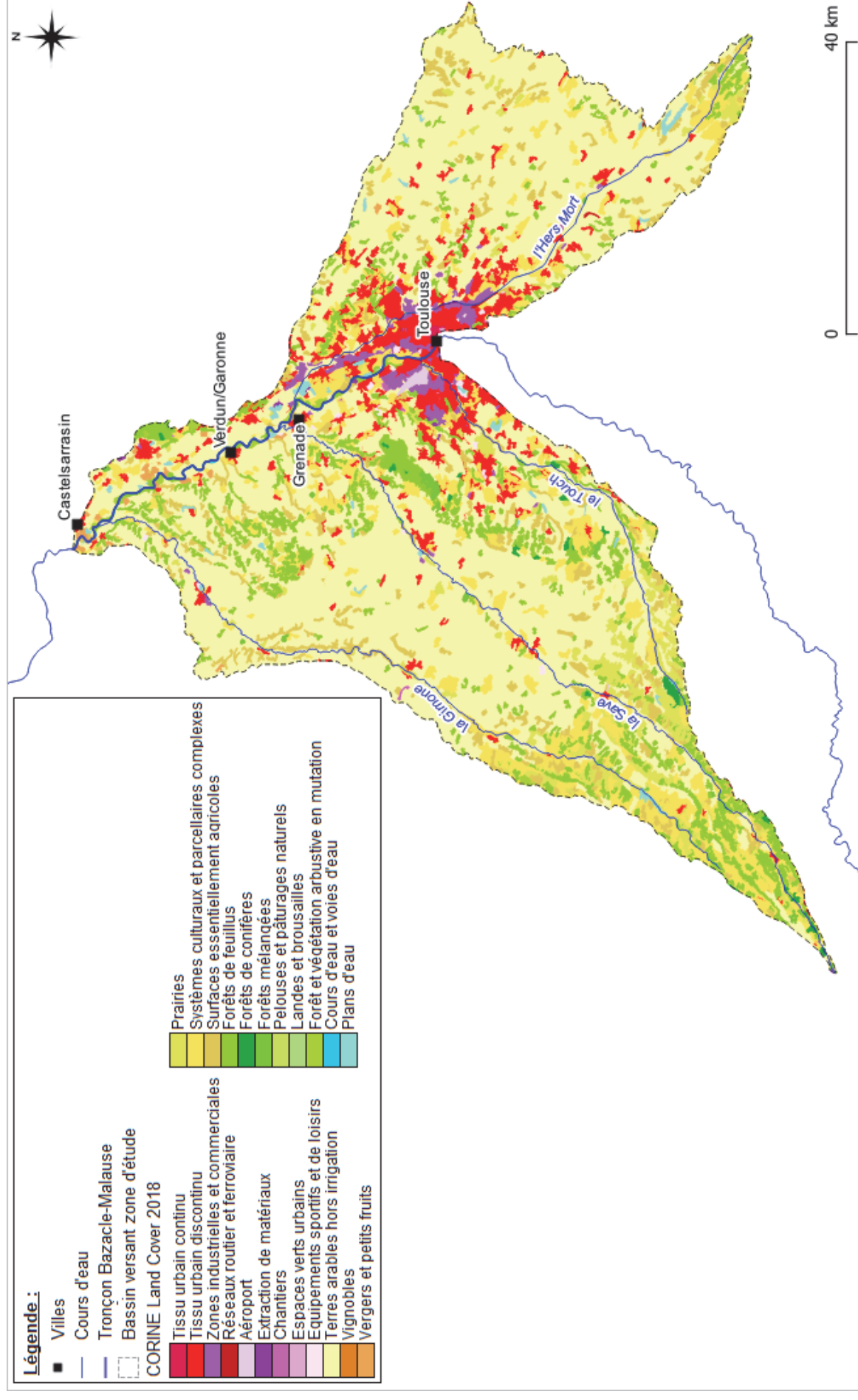


Figure 1 : Présentation du bassin versant de la zone d'étude.

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

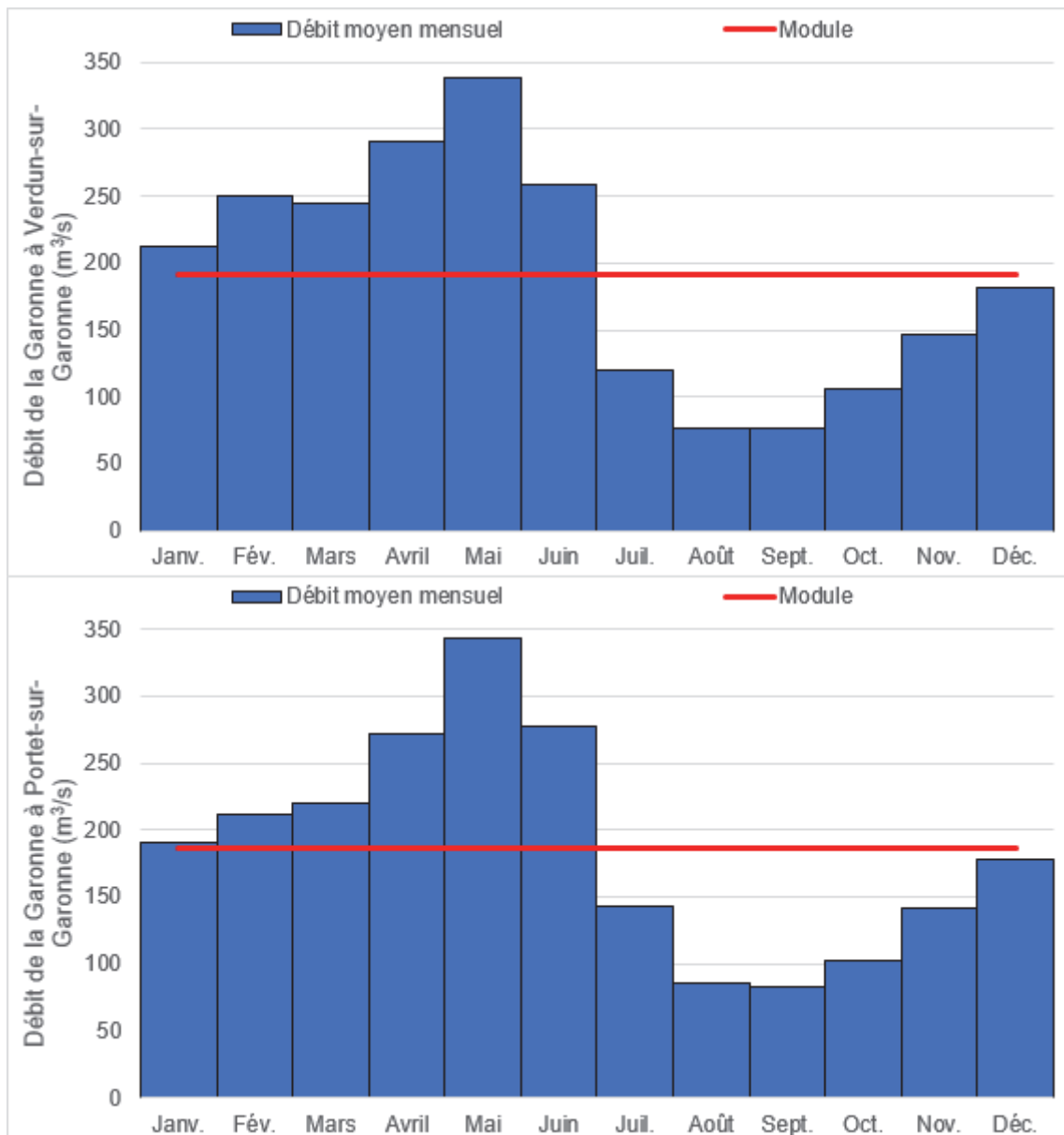


Figure 2 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Portet-sur-Garonne pour la période 1910-2020 (en haut) et Verdun-sur-Garonne (en bas) pour la période 1972-2020 (Banque Hydro).

3.2.2. HYDROLOGIE DE LA PÉRIODE DE MIGRATION

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

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

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

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

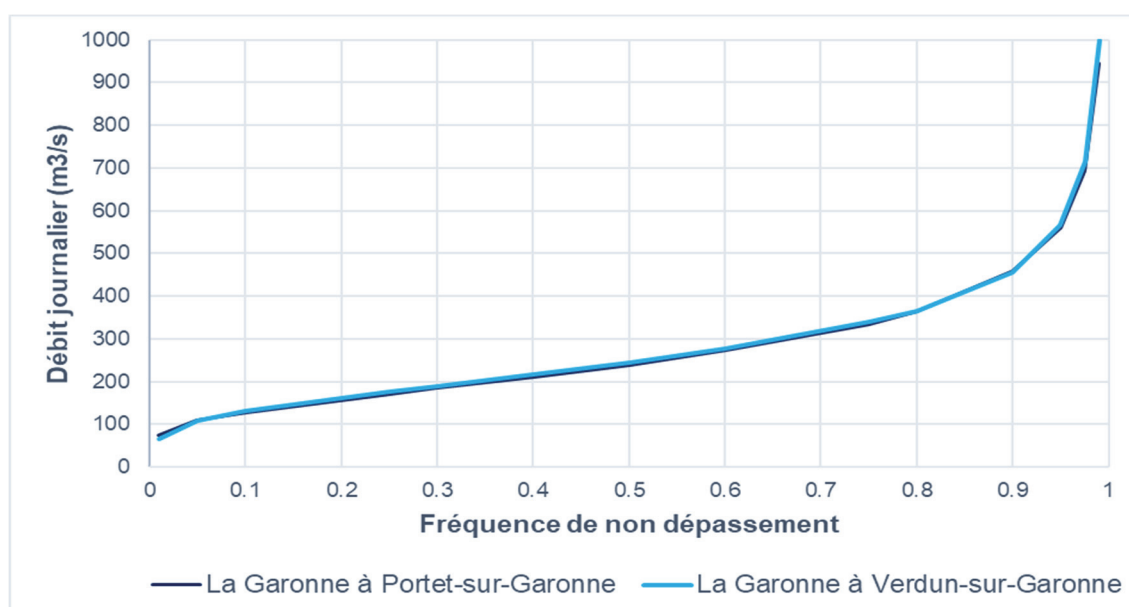


Figure 3 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne et Verdun-sur-Garonne durant la saison de migration (mars-juin) (Banque Hydro).

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

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

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

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

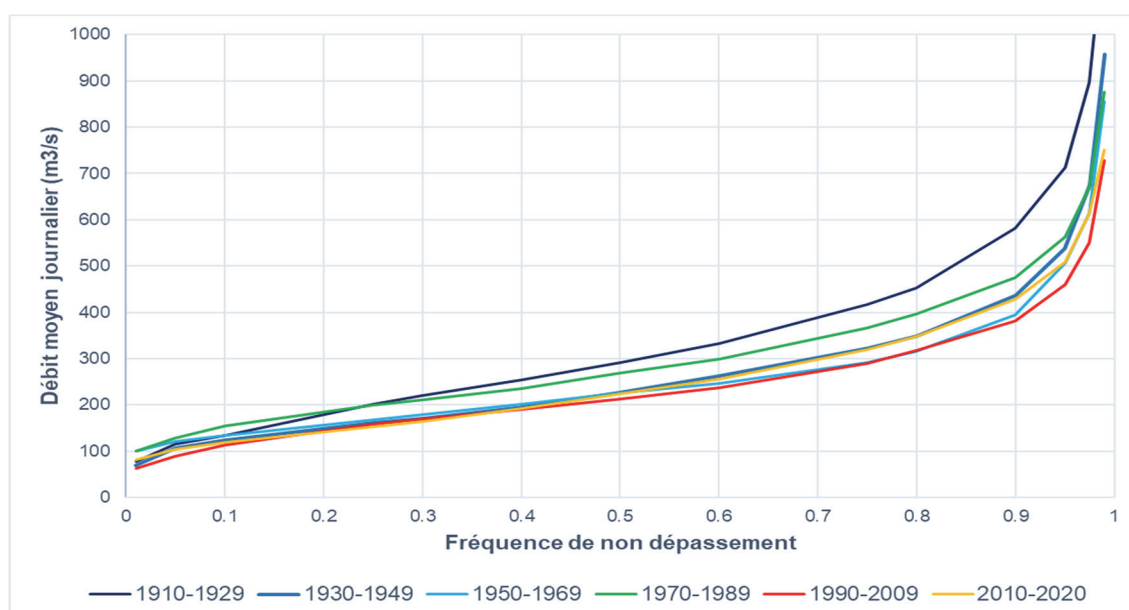


Figure 4 : Débits classés de la Garonne à Portet/Garonne durant la saison de migration (mars-juin) par période de 20 ans (Banque Hydro).

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

3.2.3. HYDROLOGIE DE LA PÉRIODE D'ARRÊT MIGRATOIRE

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

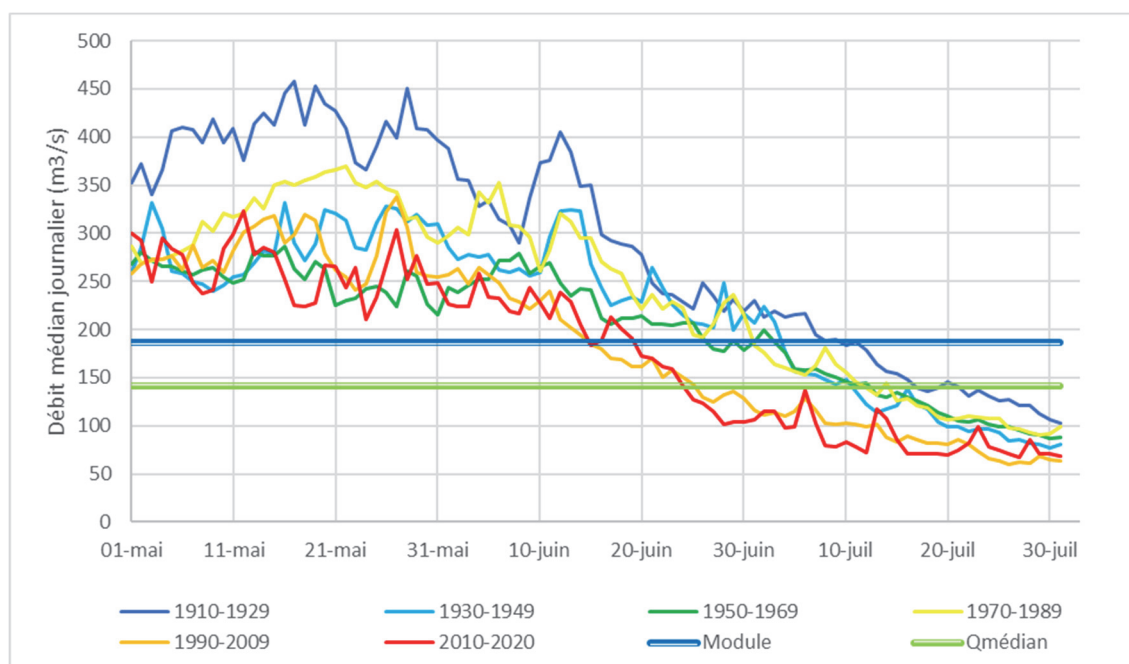


Figure 5 : Evolution des débits médians journaliers de début mai à fin juillet par période de 20 ans à Portet-sur-Garonne.

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

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

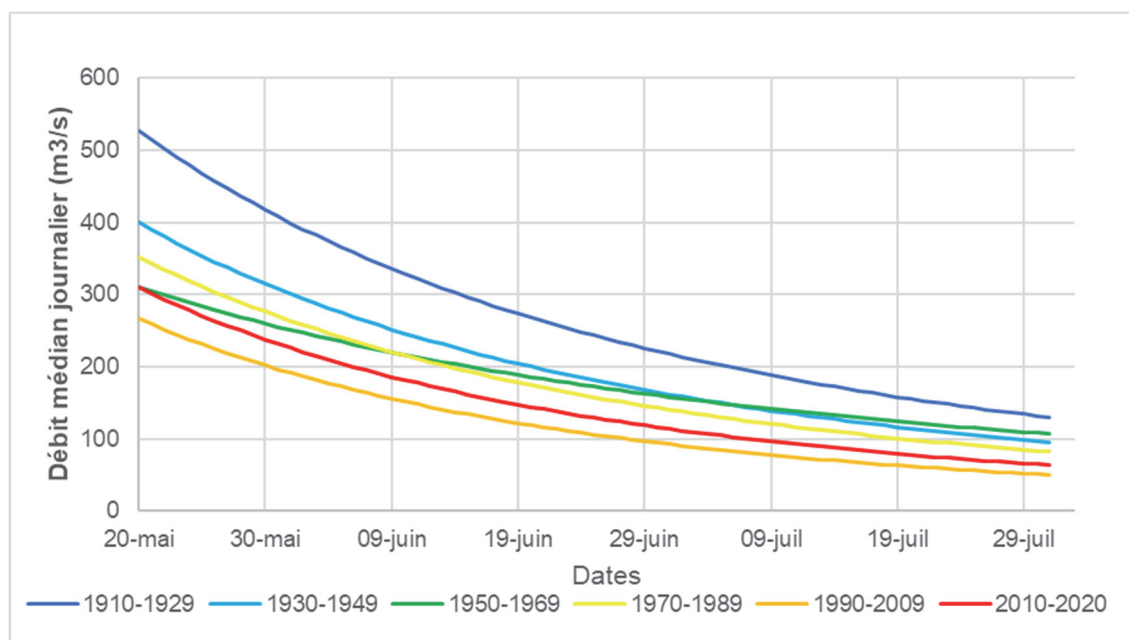


Figure 6 : Courbes de tarissement modélisées des débits médians journaliers de mi-mai à fin juillet par période de 20 ans à Portet-sur-Garonne.

3.2.4. ANALYSE DES CRUES

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

3.2.4.1. Méthodologie

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

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

- Bassin versant d'altitude $>400 \text{ m}$,
- Bassin versant d'altitude entre $150\text{-}400 \text{ m}$,
- Bassin versant d'altitude $<150 \text{ m}$.

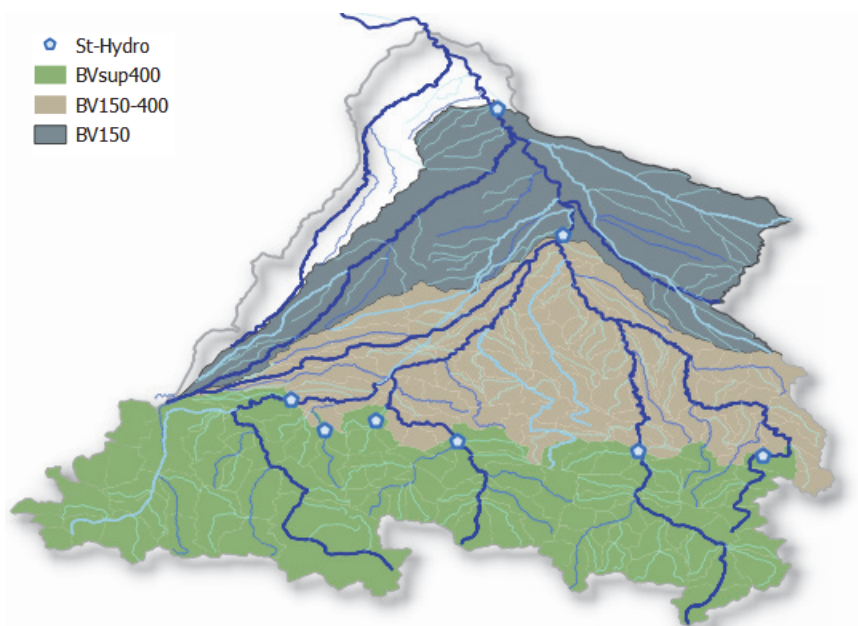


Figure 7 : Position des stations hydrométriques retenues associés aux différents bassins versants (<150 m ; 150-400 m ; >400m).

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

- Pour le BV $>400 \text{ m}$: Somme de [la Garonne à Valentine, le Ger à Aspet, l'Arbas, le Salat à St-Lizier, L'Ariège à Foix et l'Hers Vif au Peyrat] soit $5\,080 \text{ km}^2$ (37%),
- Pour le BV 150 à 400 m : la Garonne à Portet-sur-Garonne – [débits du BV $>400 \text{ m}$] soit $4\,805 \text{ km}^2$ (35%),
- Pour le BV $<150 \text{ m}$: la Garonne à Verdun-sur-Garonne – Garonne à Portet-sur-Garonne soit $3\,707 \text{ km}^2$ (27%).

3.2.4.2. Résultats

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

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

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

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

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

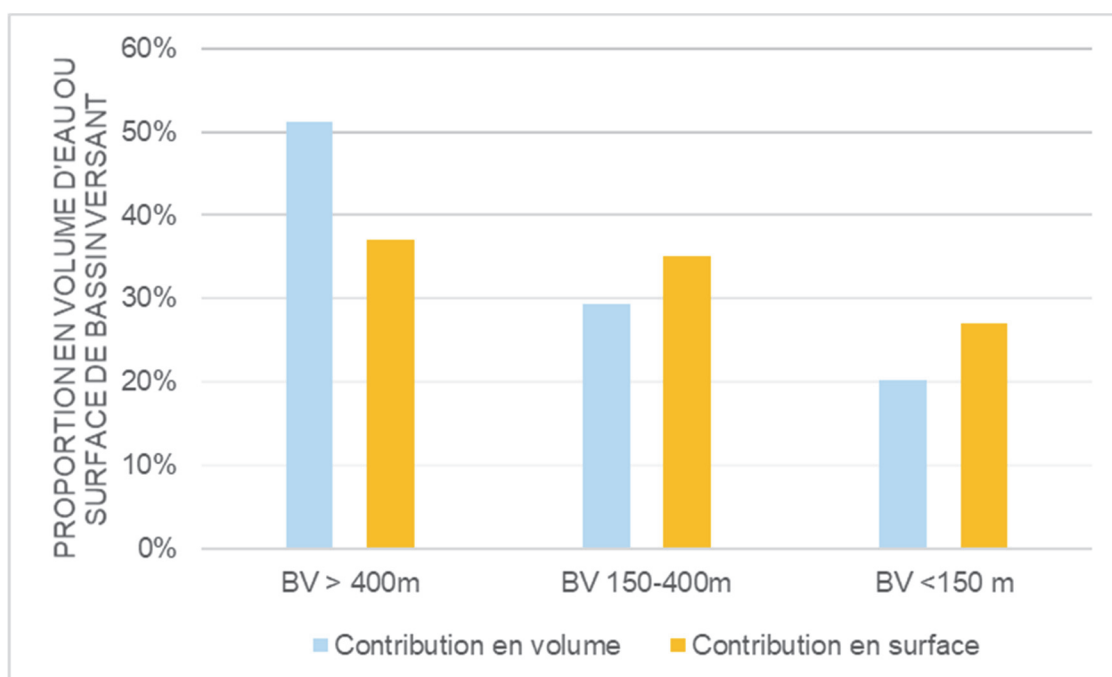


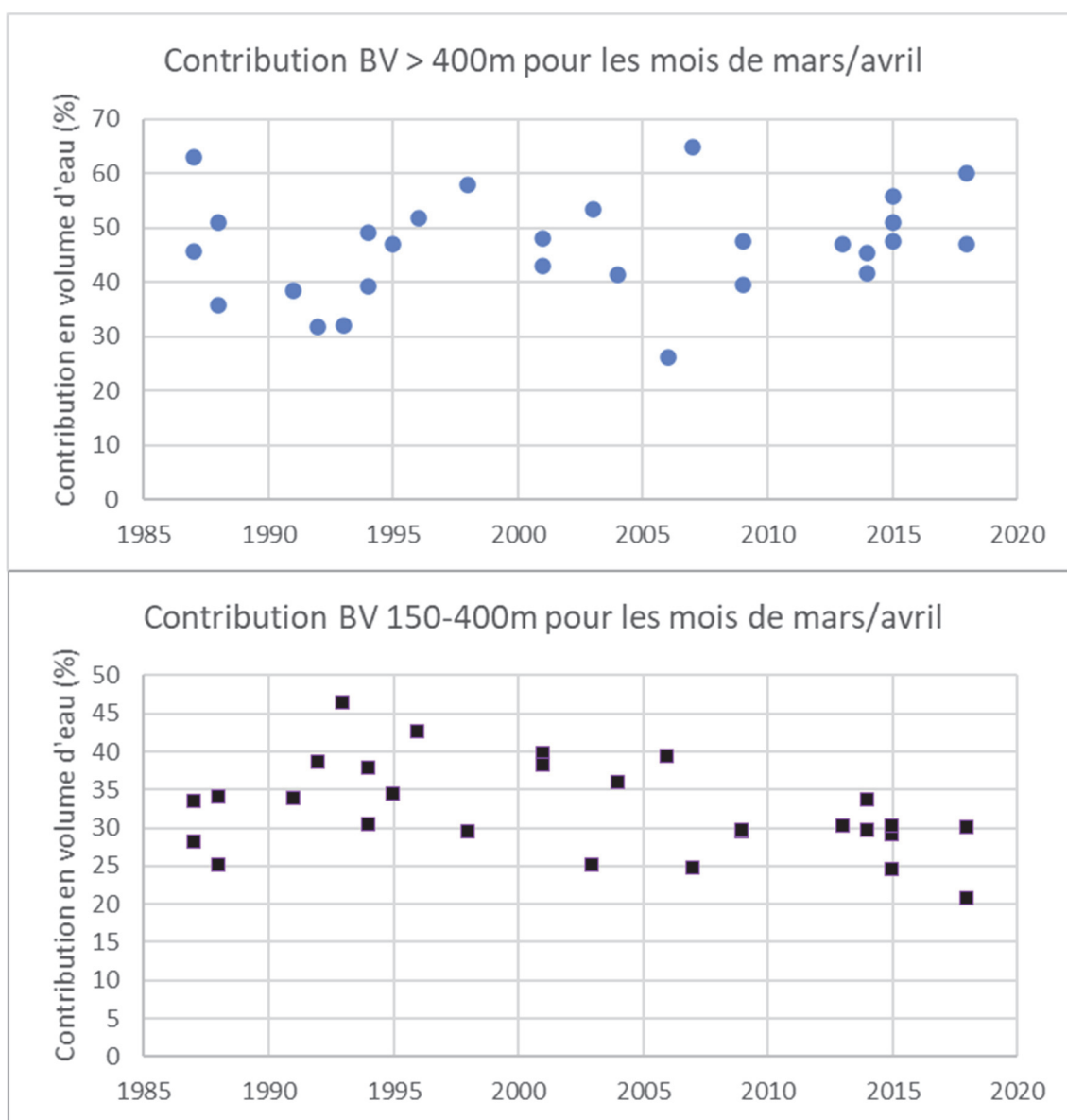
Figure 8 : Contributions moyennes en volume d'eau des différents bassins versants de la Garonne à Verdun-sur-Garonne comparativement à la part de surface de ces différents bassins.

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

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

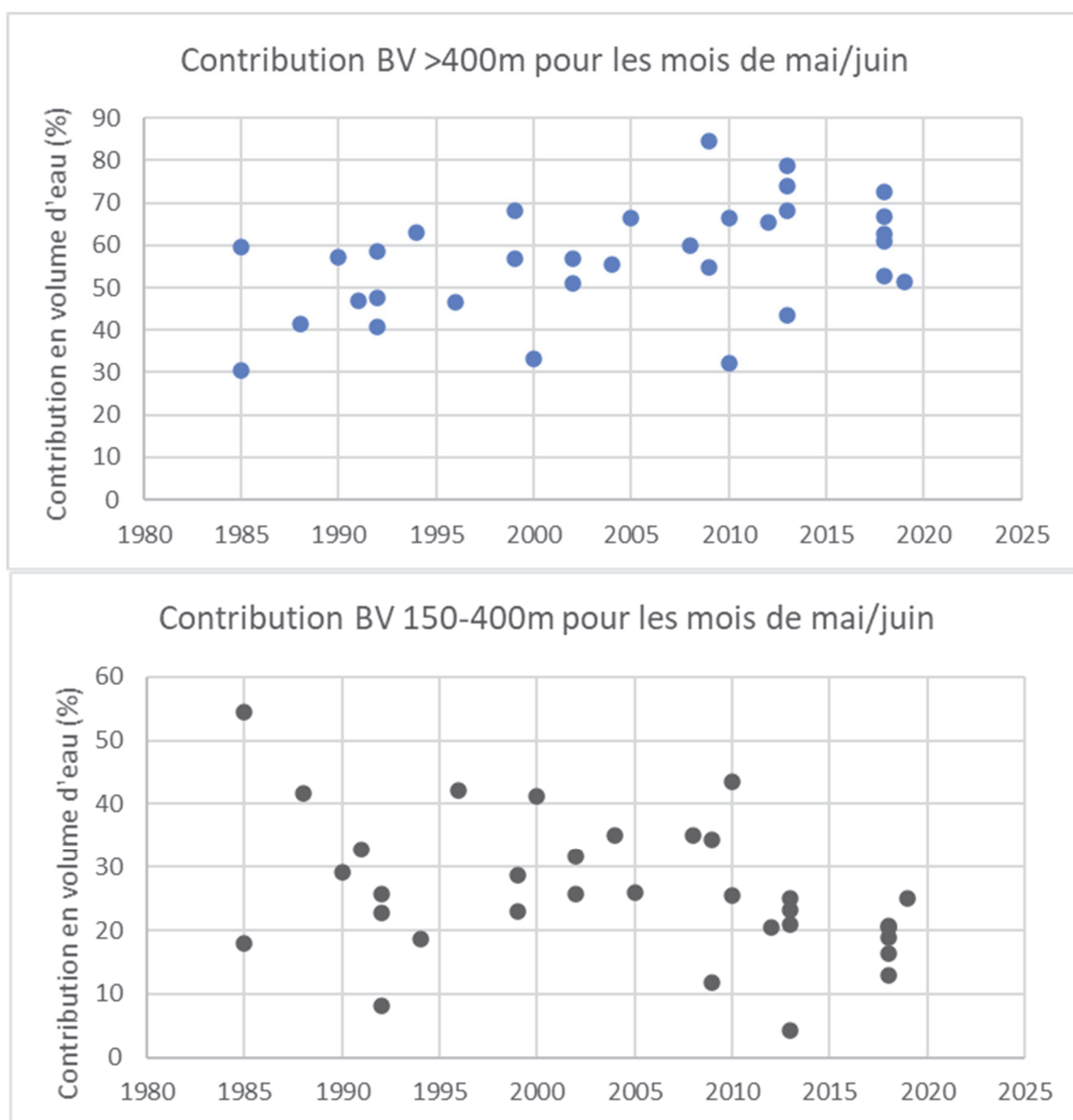
La part jouée par les parties aval des bassins versants avec une plus forte anthropisation n'est pas négligeable dans les crues de la Garonne en aval de Toulouse. Avec plus de 50% des volumes d'eau écoulés provenant de ces zones, il est possible que la qualité des eaux de ces événements soient altérées.

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



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

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



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

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

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

3.3. THERMIE

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

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

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

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

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

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

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

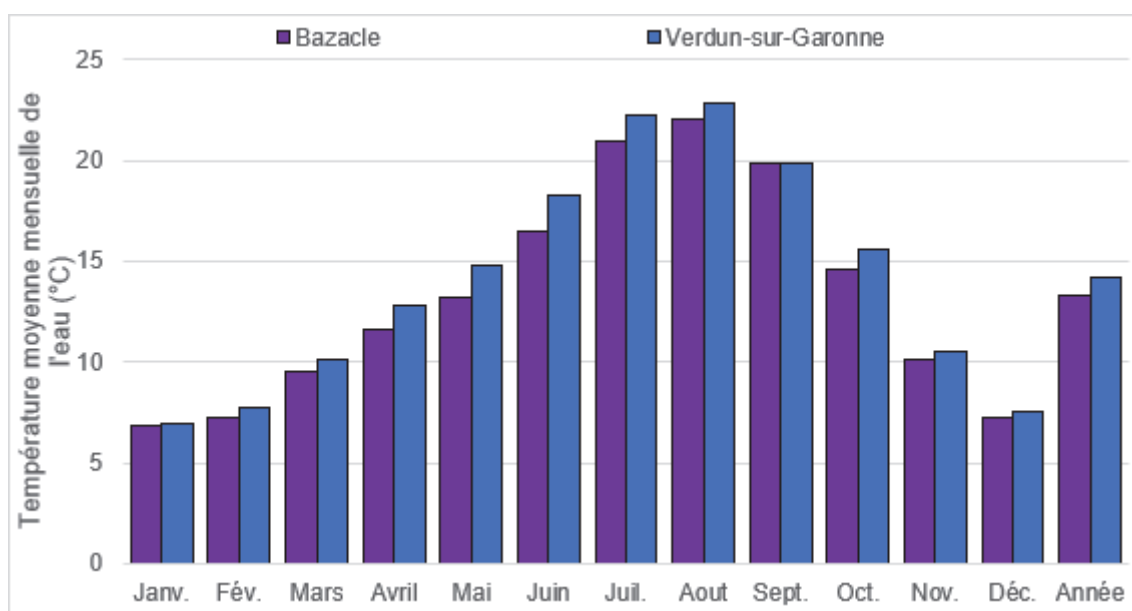


Figure 13 : Température moyenne mensuelle de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne pour la période 2007-2020 (Données MIGADO).

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

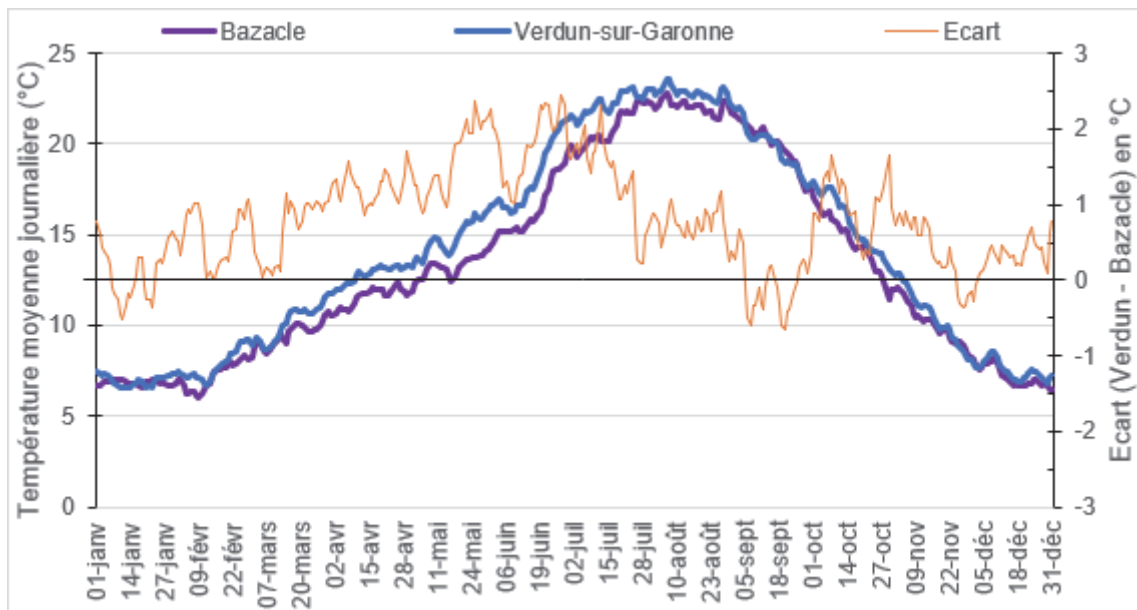


Figure 14 : Température moyenne journalière de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne et écart entre les deux stations pour la période 2007-2020 (Données MIGADO).

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

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

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

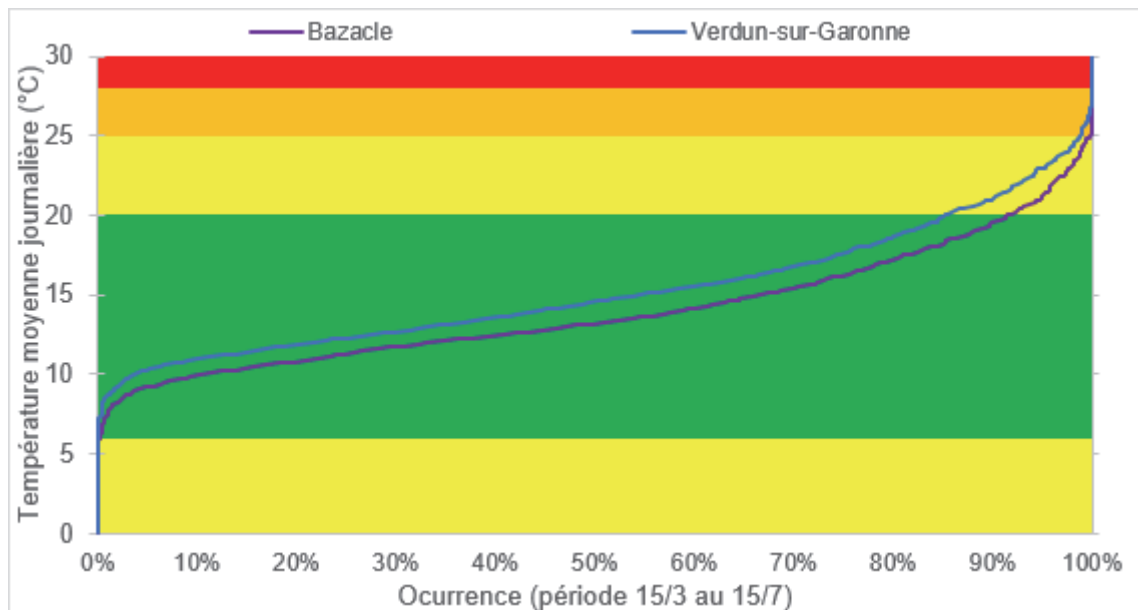


Figure 15 : Températures classées de la Garonne au Bazacle et à Verdun-sur-Garonne du 15 mars au 15 juillet pour la période 2007-2020. La zone verte délimite la plage thermique favorable à la migration [6-20]°C, la zone jaune la plage thermique avec des déplacements limités, la zone orange l'apparition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

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

4. MORPHOLOGIE

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

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

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

4.1. MÉTHODOLOGIE

4.1.1. LES HABITATS DE REPOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.1.1.2. Migration du saumon et habitat de repos/refuge

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

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

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

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

➤ *Paramètres relevés sur le terrain :*

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

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

A chaque fois qu'une zone profonde est rencontrée :

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

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

➤ *Traitement des données :*

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

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

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

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

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

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

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

4.1.2. LES SECTEURS POTENTIELLEMENT DIFFICILES POUR LE FRANCHISSEMENT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.1.2.2. Identification des secteurs potentiellement compliqués au franchissement

➤ Paramètres relevés sur le terrain :

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

A chaque fois qu'une zone courante est rencontrée :

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

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

➤ *Traitement des données :*

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

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

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

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

4.2. RÉSULTATS

4.2.1. DESCRIPTION DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT

Les reconnaissances terrain ont été réalisées du 24 au 28 août 2020, durant 3 journées. Lors des prospections le débit moyen journalier de la Garonne a varié de 42.7 m³/s à 48.4 m³/s, soit des débits de l'ordre du Q_{MNA5}.

L'intégralité du tronçon de la Garonne compris entre la base de loisir « les Quinze sols » à Beauzelle (mise à l'eau impossible plus en amont) et le pont de l'A62 ont été parcourus, soit 87% du linéaire du tronçon Malause-Bazacle (64.6 km sur les 74 km du tronçon).

Les faciès d'écoulement sont dominés par les plats courants, qui représentent à eux seuls 43.3% du linéaire prospecté. Les chenaux lenticulaires sont présents sur 22.9% du linéaire et les radiers sur 16.5%. Les autres types de faciès représentent les 17.3% restant.

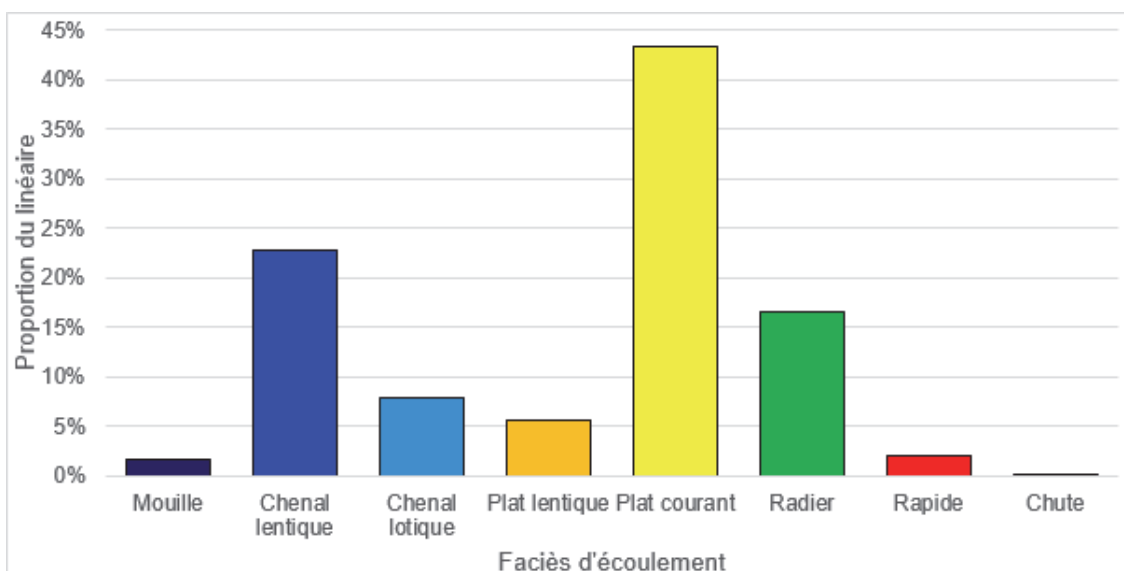


Figure 16 : Faciès d'écoulement de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62.

4.2.2. LES HABITATS DE REPOS/REFUGE

4.2.2.1. *Les faciès profonds*

En tout, 33 faciès profonds représentant 32.4% du linéaire ont été identifiés.

En moyenne, les faciès profonds sont présents tous les 2 kms de cours d'eau et ils sont répartis de façon assez homogène.

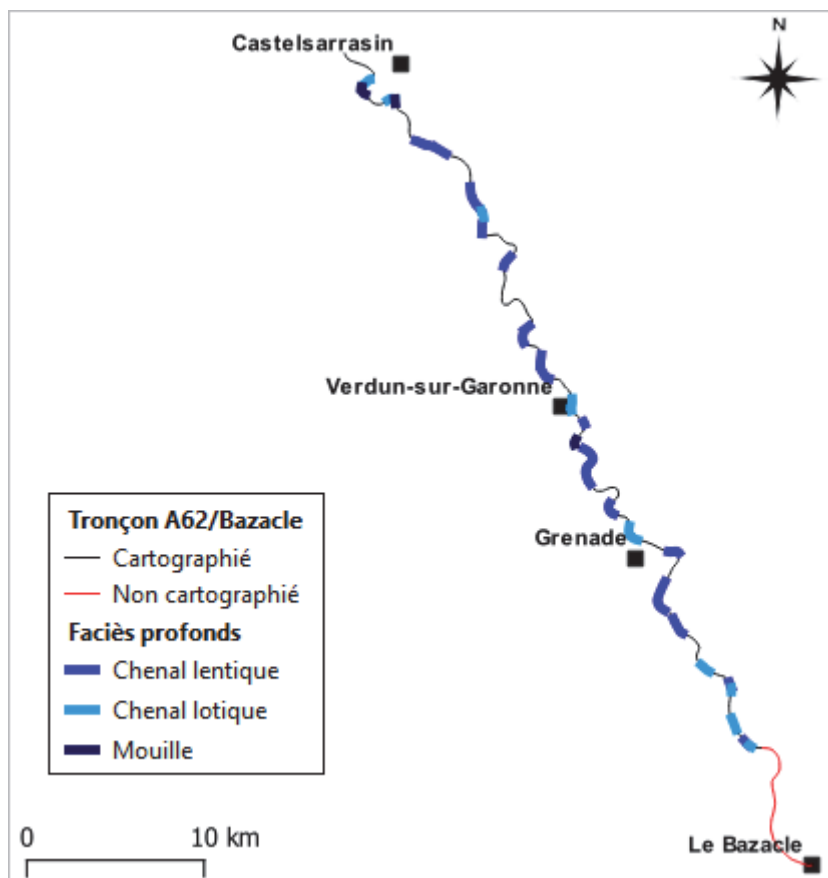


Figure 17 : Localisation des faciès profonds sur la Garonne entre Beuzelle et le pont de l'A62.

Les faciès de profondeur moyenne comprise entre 2 et 3 m dominent l'échantillon avec 72.3% de l'effectif. Il n'y a que 2 faciès de profondeur moyenne supérieure à 4 m. Par contre la distribution des profonds selon leur profondeur maximale est plus équilibrée, avec respectivement 36.4%, 27.3% et 27.3% de l'effectif ayant une profondeur maximale <3 m, entre 3 et 4 m et entre 4 et 5 m. Seuls 3 profonds (9.1%) dépassent 5 m de fond.

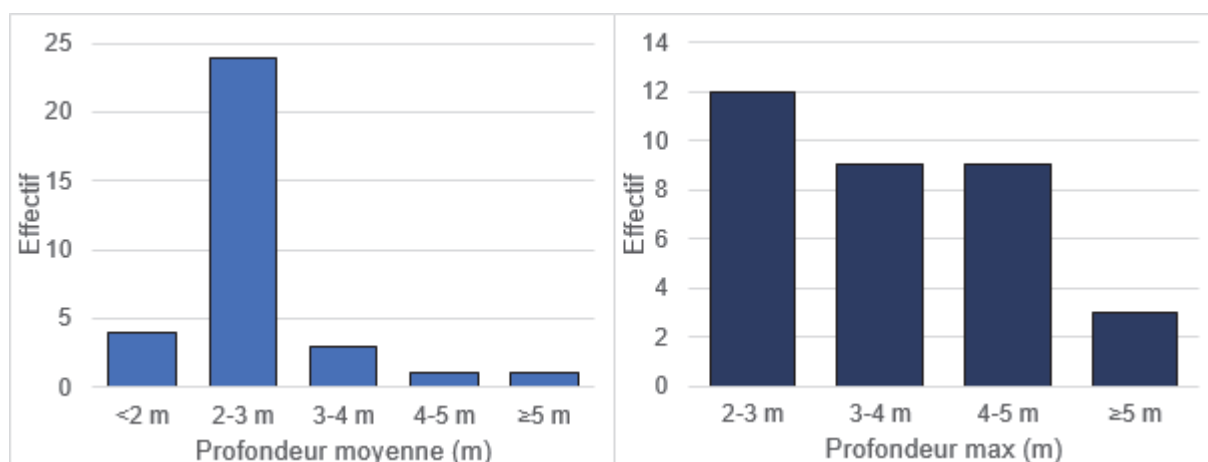


Figure 18 : Distribution des profondeurs de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur profondeur moyenne et leur profondeur maximale.

4.2.2.2. Qualité des profondeurs

Il n'y a que 7 profondeurs dont la classe de qualité est optimale. Ils sont rencontrés en moyenne tous les 8.7 km. Ils sont inégalement répartis le long du linéaire (distance minimale entre profondeurs de qualité optimale = 0.7 km, distance maximale = 15.3 km), leur concentration étant plus forte autour du secteur de Verdun-sur-Garonne.

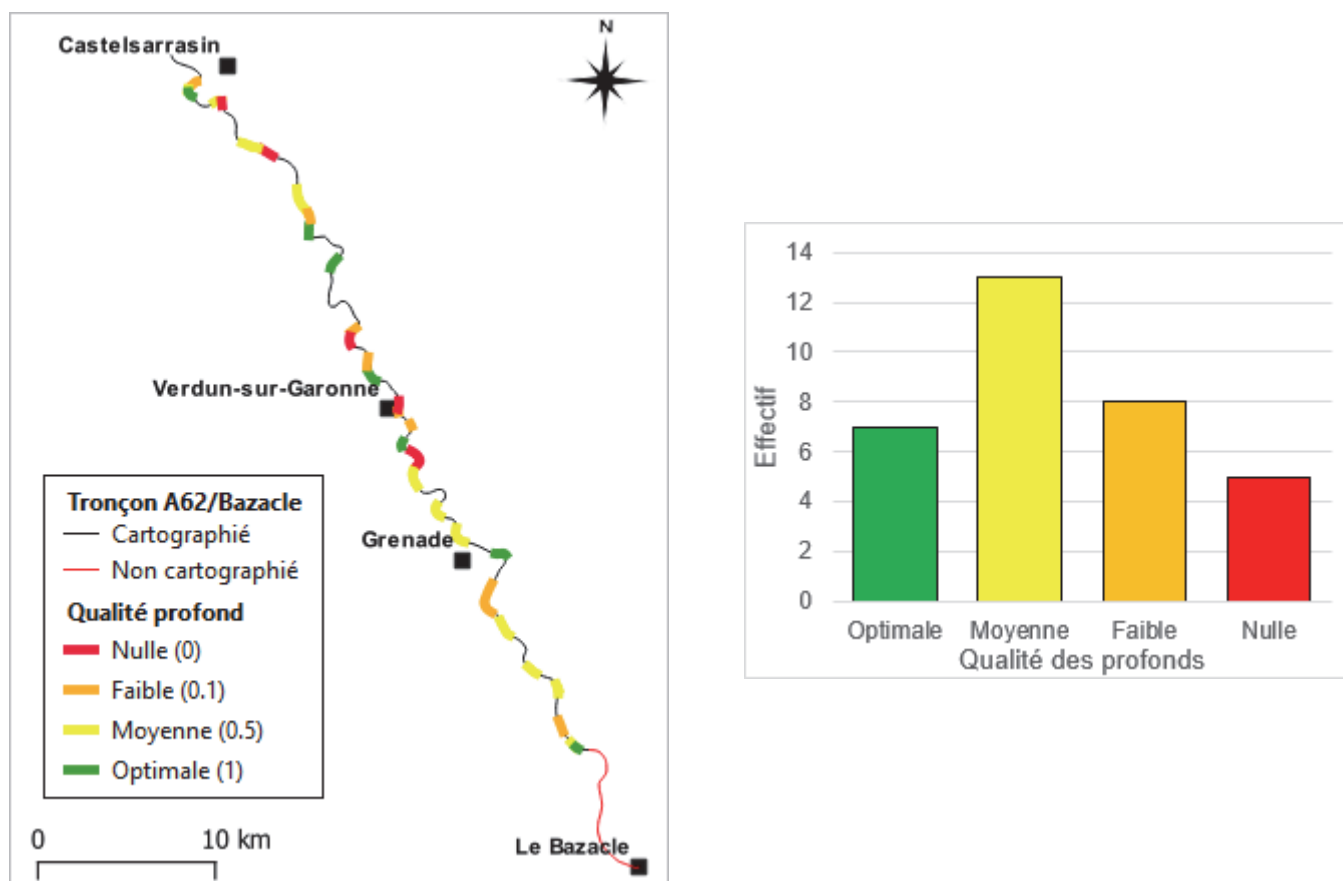


Figure 19 : Localisation et distribution des profondeurs de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité.

Les profondeurs de qualité moyenne dominent l'effectif (n=13). Ils sont rencontrés en moyenne tous les 4.9 km et sont également inégalement répartis le long du linéaire.

Enfin, il y a 13 profonds de qualité faible ou nulle. Ils sont principalement rencontrés autour de Verdun/Garonne.

4.2.2.3. *Présence d'abris hydrauliques*

De gros abris hydrauliques ont été rencontrés dans 27 des 33 profonds recensés (82% de l'effectif). Les profonds avec abris sont répartis de façon homogène le long du linéaire, il n'y a pas de secteur particulièrement pénalisé par l'absence d'abris.

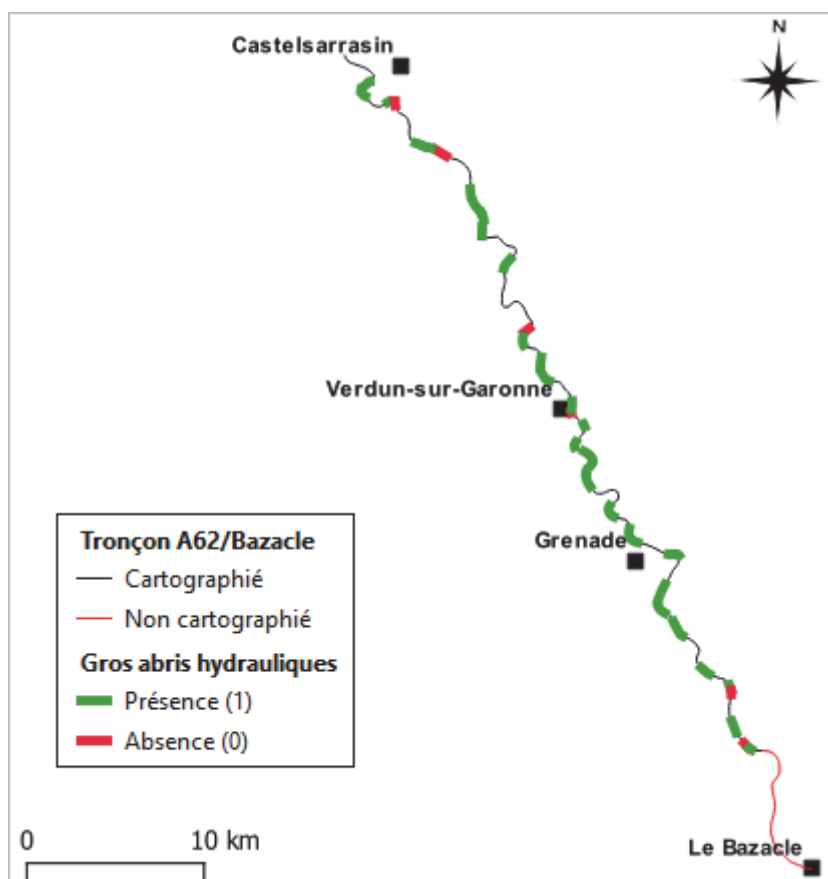


Figure 20 : Localisation des profonds de la Garonne entre Beuzelle et le pont de l'A62 en fonction de la présence de gros abris hydrauliques.

4.2.2.4. *Qualité du substrat dominant*

Près de la moitié des profonds (45.5%) sont situés sur un substrat dominé à plus de 75% par la dalle (qualité faible).

Trois secteurs se distinguent de ce point de vue :

- en amont de Grenade les profonds sont tous de faible qualité de substrat (n=9),
- entre Grenade et Verdun-sur-Garonne tous les profonds sont de bonne qualité de substrat (n=9),
- en aval de Verdun/Garonne avec un mélange de profonds de bonne qualité de substrat (n=9) et de faible qualité (n=6).

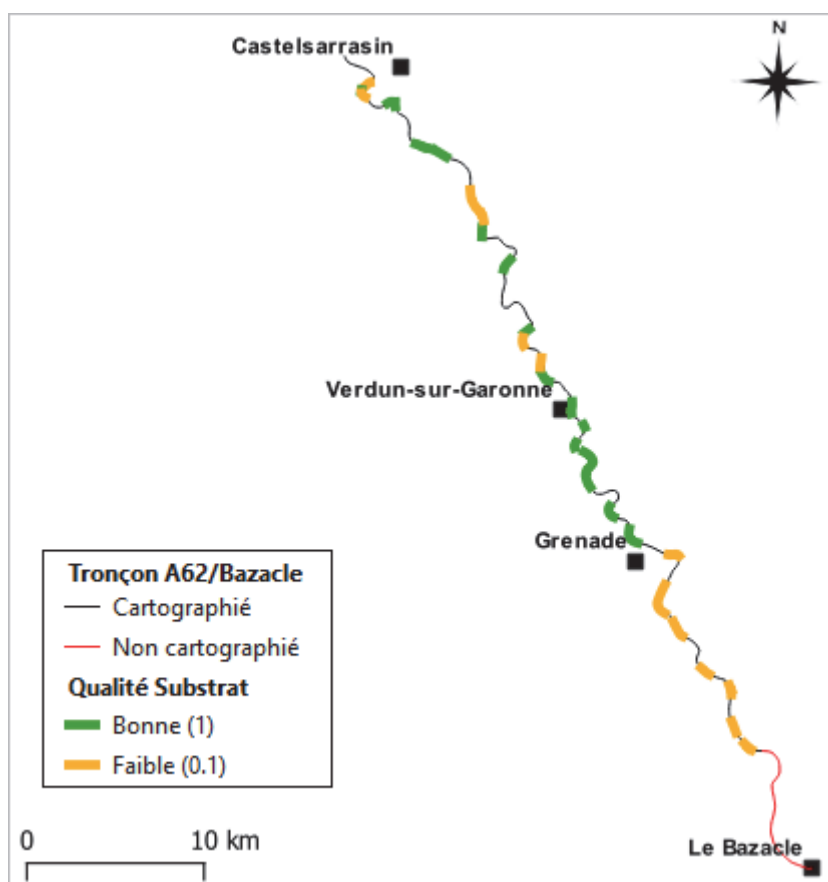


Figure 21 : Localisation des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 en fonction de la qualité de leur substrat.

4.2.2.5. Qualité des zones de repos/refuge

➤ Qualité des zones refuge avec les 3 paramètres précédents

La majorité des profonds (54.5%) peuvent être qualifiés de faible (n=9) à très faible (n=9) qualité en termes de zone de repos/refuge.

Seuls 4 profonds (12.1%) peuvent être considérés comme des zones de refuge idéales, c'est-à-dire avec une qualité de profondeur et de substrat maximale ainsi que la présence d'abris hydrauliques. Ils sont situés autour de Verdun-sur-Garonne. Sept autres (21.2%) peuvent être considérés comme des zones de repos/refuge de bonne qualité. Enfin 4 sont considéré de qualité moyenne (12.1%).,

En considérant uniquement les zones de repos/refuge de très bonne et bonne qualité (note>0.5), les 11 zones sont espacées en moyenne de 5.4 km et ne sont pas réparties de manière homogène : la distance minimale entre deux de ces profonds est de 500 m et la distance maximale de 19 km. Aucun profond de bonne qualité de repos/refuge n'est présent entre Grenade et Beauzelle.

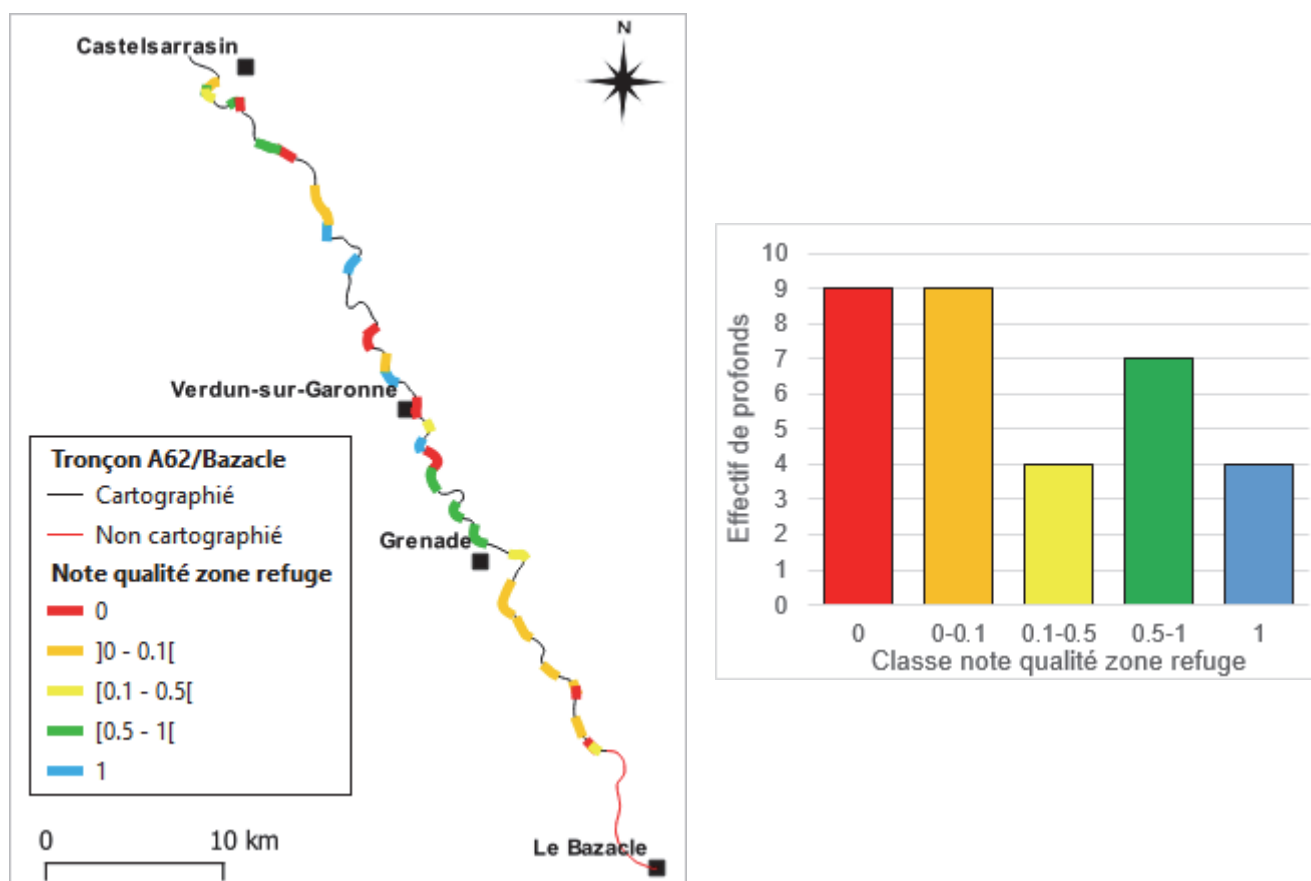


Figure 22 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité en tant que zone de repos/refuge.

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

En ne considérant plus l'indice de qualité du substrat, plus de la moitié des profonds peuvent être qualifiés de bonne ($n=11$, 21.2%) à très bonne ($n=7$, 33.3%) qualité en termes de zone de repos/refuge. Ces 18 zones sont espacées en moyenne de 3.6 km (0.3 à 9.8 km).

9 profonds (27.2%) peuvent être considérés comme des zones de refuge de mauvaise qualité, et 6 (18.2%) de qualité moyenne.

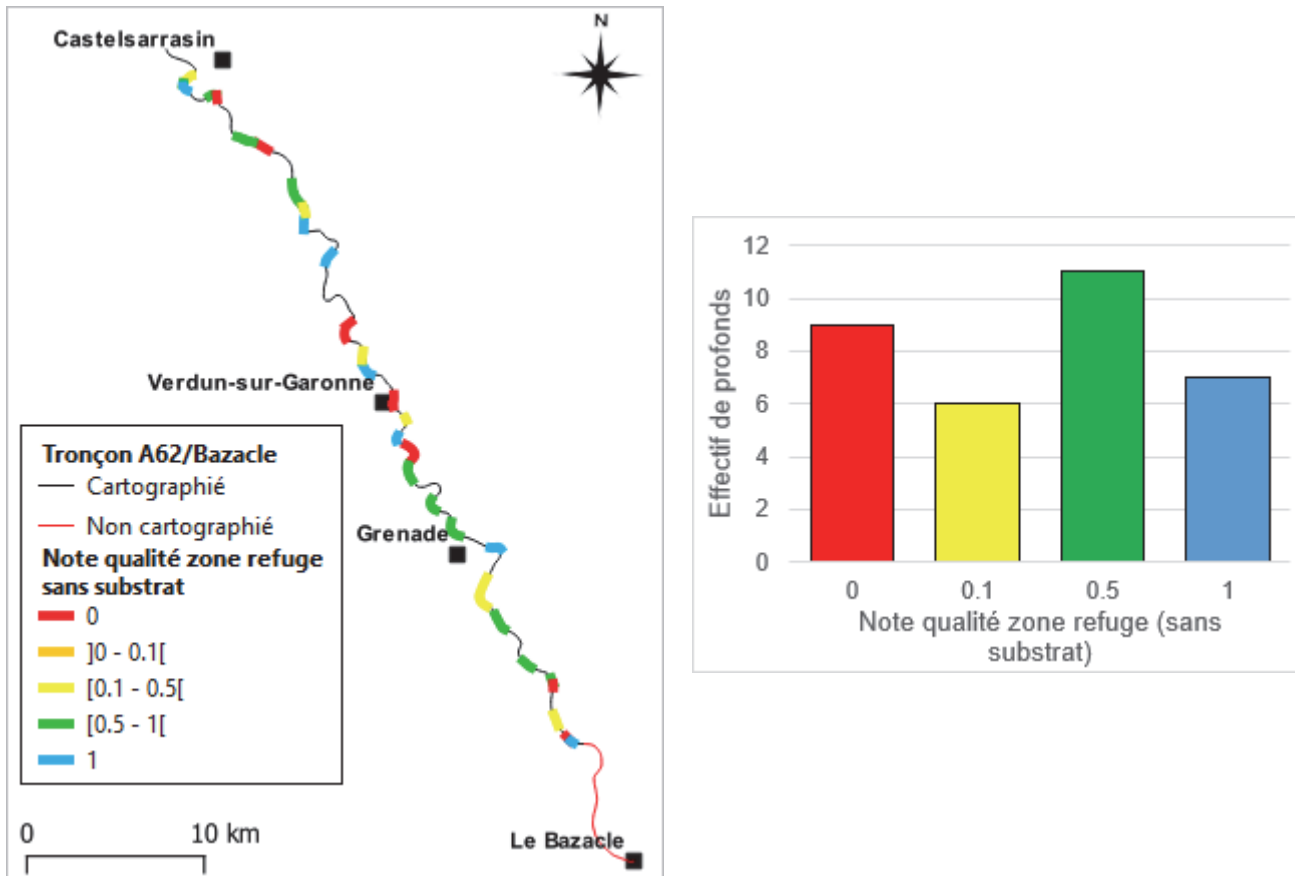


Figure 23 : Localisation et distribution des profonds de la Garonne entre Beauzelle et le pont de l'A62 selon leur classe de qualité en tant que zone de repos/refuge.

4.2.3. LES SECTEUR POTENTIELLEMENT COMPLIQUÉ AU FRANCHISSEMENT

4.2.3.1. Les faciès courant sur substrat de dalle dominant

En tout, 131 faciès courant (en dehors des chenaux lotiques assimilés dans notre analyse a des profonds) représentant 61.9% du linéaire ont été identifiés. Parmi eux, 41 (31.3%) s'écoulent sur un substrat dominant de dalle, soit un linéaire cumulé de 13.3 km (20.6% du tronçon).

Les plats courants sur dalle représentent la majorité de l'effectif (n=27) et du linéaire ($l_{tot}=10.8$ km), leur longueur moyenne est de 400 m. Viennent ensuite les radiers sur dalle (n=8, $l_{tot}=1.4$ km, $l_{moy}=176$ m) et des rapides sur dalle (n=6, $l_{tot}=1.1$ km, $l_{moy}=187$ m).

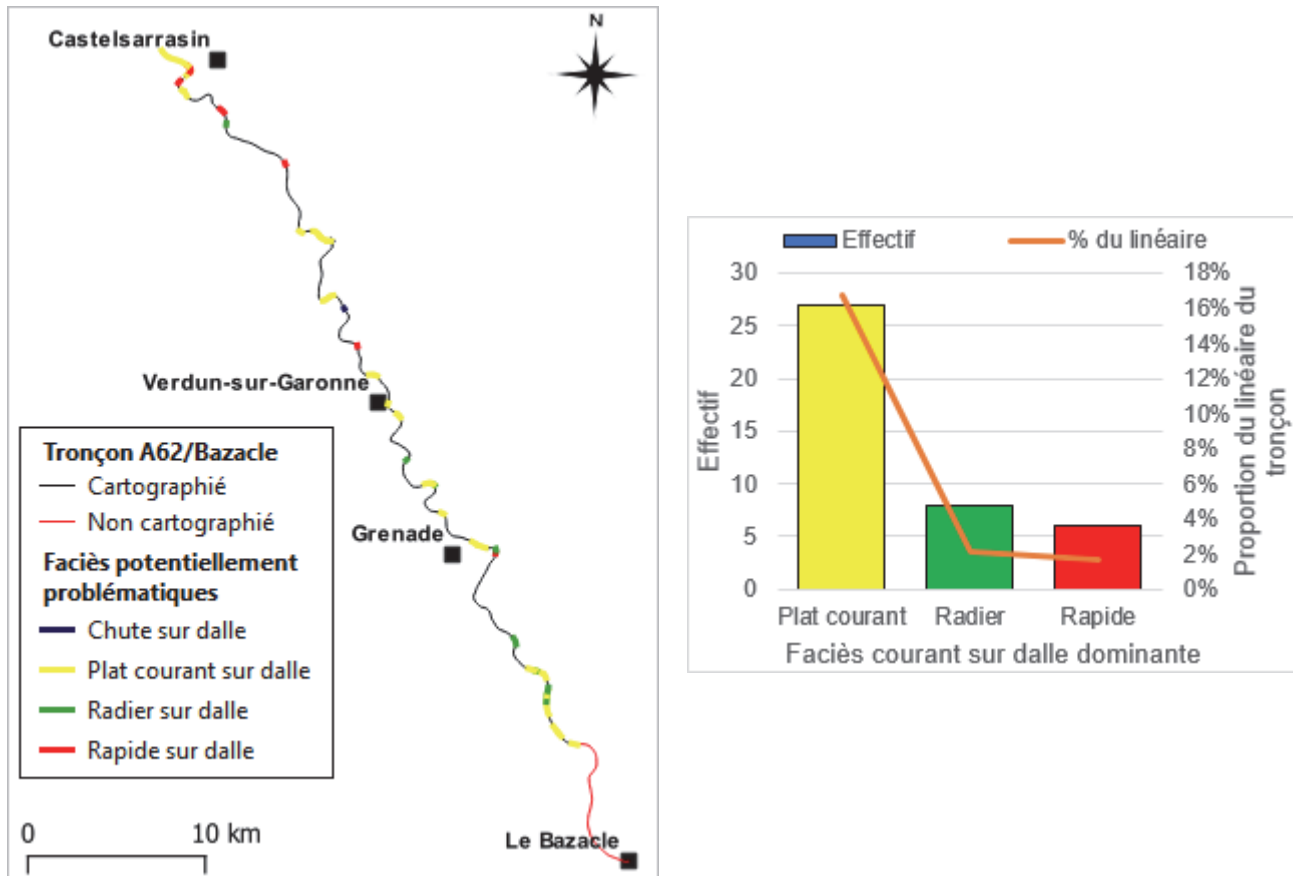


Figure 24 : Localisation et distribution des faciès courant sur substrat dominant de dalle de la Garonne entre Beuzelle et le pont de l'A62.

4.2.3.2. Les chutes

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

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

4.2.4.1. Synthèse bibliographique

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

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

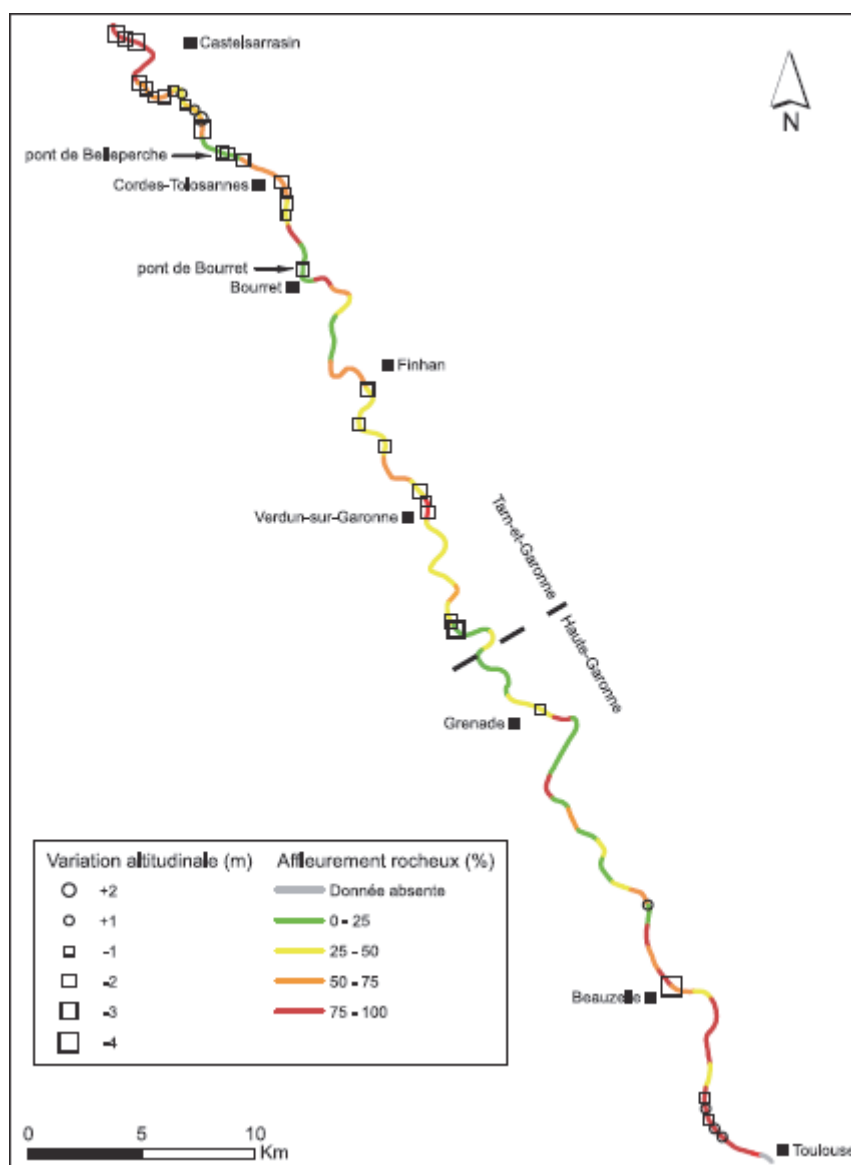


Figure 25 : Évolution verticale du fond du lit entre les années 1960 et 1980 pour différents points de la Garonne (Steiger et al., 2000) et pourcentage d'affleurement molassique par rapport à la superficie du chenal par tronçon de 1 km (Delmouly et al., 2007) (source : Jantzy et al., 2017).

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

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

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

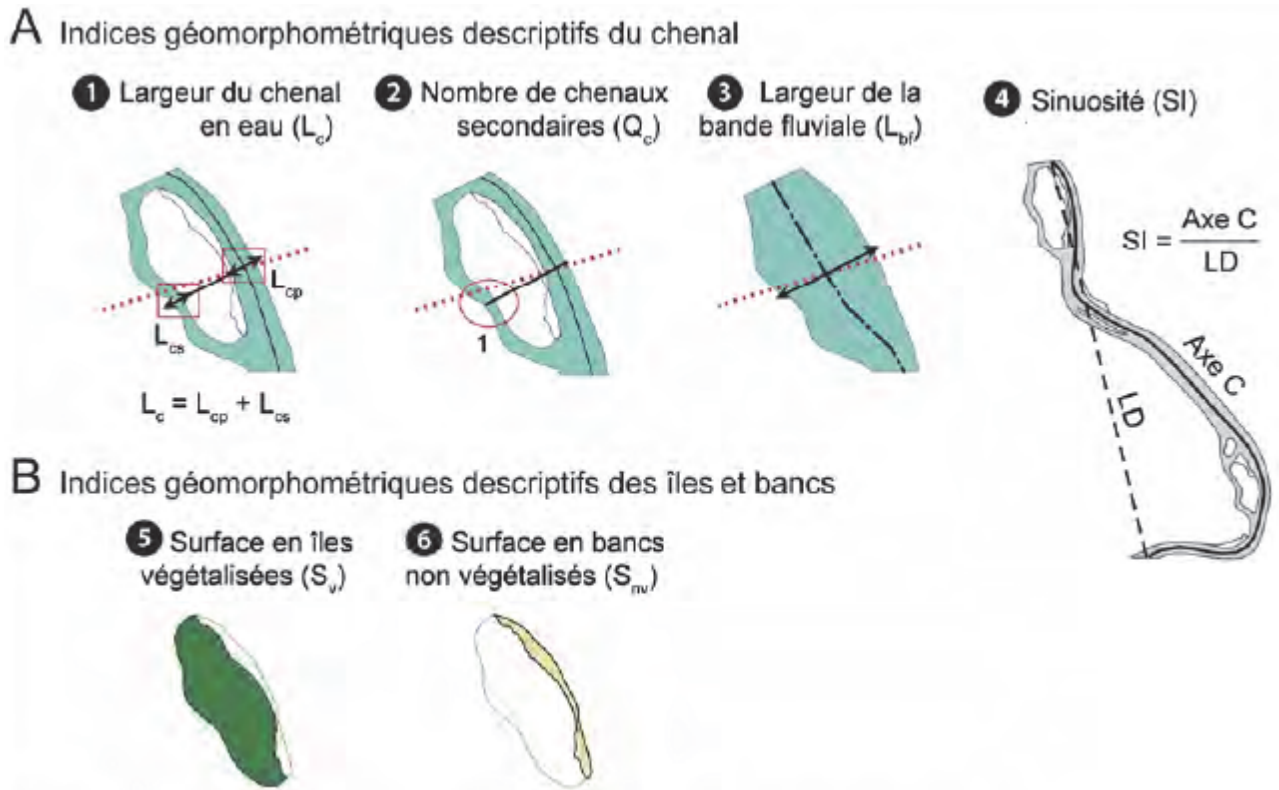


Figure 26 : Méthode de calcul des indices géomorphométriques (selon David, 2016).

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

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

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

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

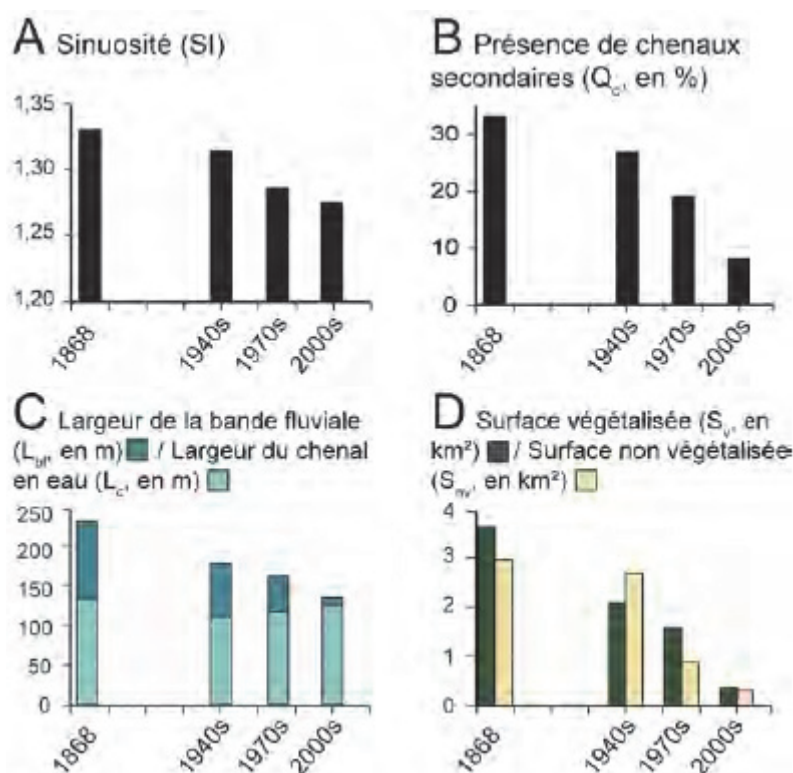


Figure 27 : Evolution de la sinuosité, de la présence de chenaux secondaires, de la largeur de la bande fluviale et des surfaces des îles et des bancs de la Garonne entre 1868 et les années 2000 (David, 2016).

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

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

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

➤ Secteurs d'arrêts et de dévalaison des saumons :

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

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

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

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

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

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

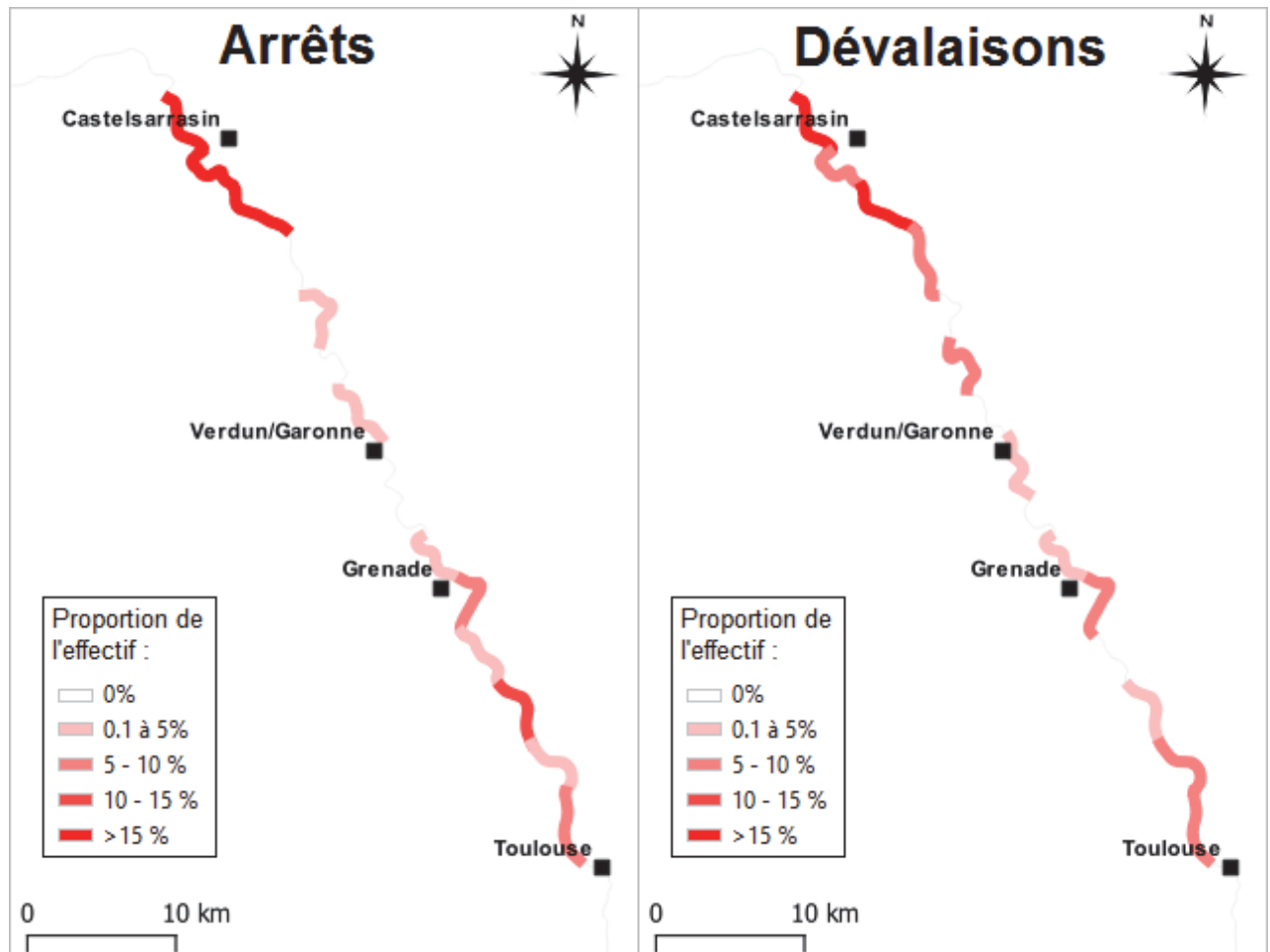


Figure 28 : Proportion de l'effectif de saumon ayant effectué un arrêt ou une dévalaison par tronçon de 5 km entre le pont de l'A62 et le Bazacle.

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

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

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

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

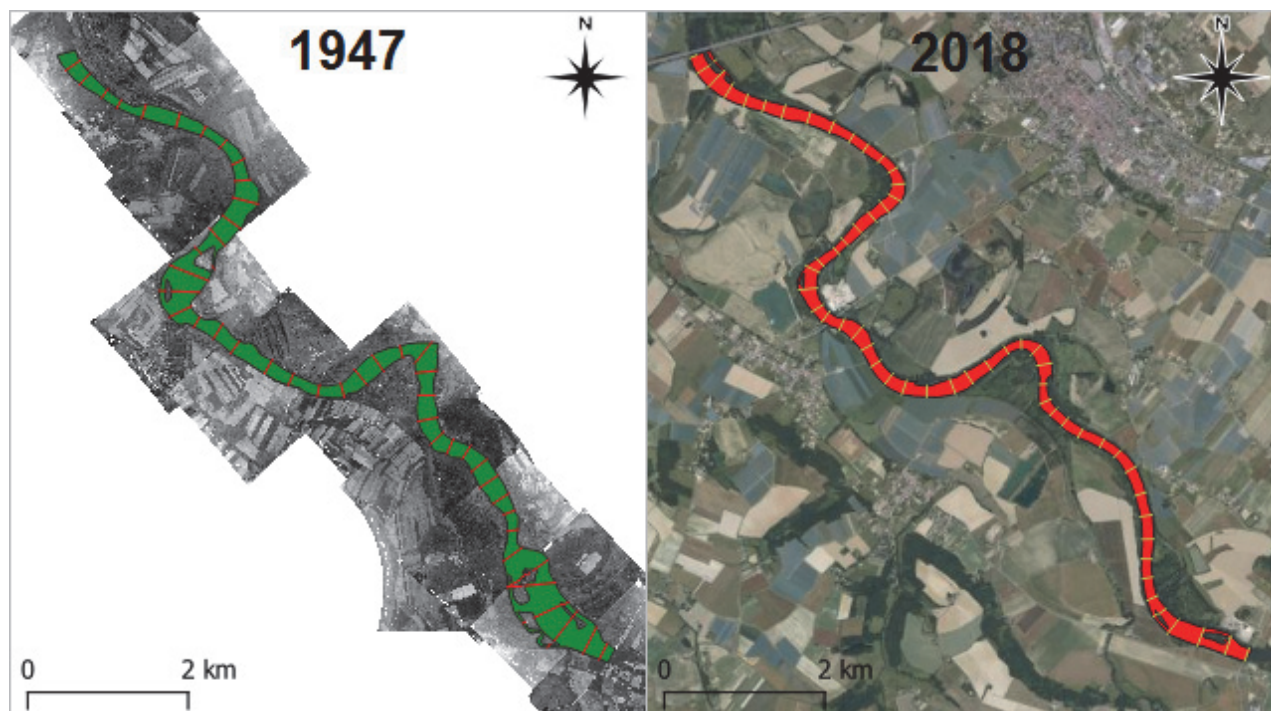


Figure 29 : Evolution de la bande active de la Garonne entre 1947 et 2018 entre le pont de l'A62 et le pont de Belleperche.

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

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

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

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

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

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

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

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

5. DISCUSSION - CONCLUSION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. BIBLIOGRAPHIE

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

Etude des conditions de migration du saumon atlantique sur la Garonne

- Etude de l'efficacité des dispositifs de franchissement 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.



Rédacteurs :
A. Frey
T. Lagarrigue

Rapport ECOGEA
n° E200352

Version définitive
Avril 2021

SOMMAIRE :

1. INTRODUCTION.....	4
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	10
3. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE	12
3.1 Le bassin de la Garonne.....	12
3.2 L'aménagements hydroélectrique de Malause-Golfech	13
3.2.1 Dispositifs de franchissement du complexe Malause-Golfech	15
3.2.1.1 Ascenseur à poissons.....	15
3.2.1.2 Passe à anguilles.....	18
3.2.1.3 Dévalaison	19
3.3 Aménagements hydroélectriques du secteur de Toulouse	19
3.3.1 Chaussée du Bazacle (RD+RG).....	19
3.3.1.1 Passes à poissons.....	20
3.3.1.2 Dévalaison	22
3.3.2 Aménagement hydroélectrique du Ramier.....	22
4. MATERIEL ET METHODE	23
4.1 La période d'étude	23
4.2 Le matériel biologique.....	23
4.2.1 Piégeage du matériel biologique.....	23
4.2.2 Modalités de marquage, de stabulation et de lâcher	23
4.2.2.1 Anesthésie	23
4.2.2.2 Biométrie et prélèvements.....	24
4.2.2.3 Marquage :	24
4.2.2.4 Hygiène :.....	26
4.3 Les conditions environnementales au cours de la période d'étude	26
4.3.1 Les débits.....	26
4.3.2 Débits et fonctionnement des ouvrages suivis	26
4.3.2.1 Malause-Golfech	26
4.3.2.2 Bazacle.....	27
4.3.3 La température.....	27
4.4 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de télémétrie acoustique .	27
4.4.1 Principe.....	27
4.4.2 Matériel utilisé	28
4.4.2.1 Emetteurs	28
4.4.2.2 Hydrophones	29
4.4.2.3 Déchargements des hydrophones.....	29
4.4.3 Localisation des zones de suivis	30
4.5 Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique de radiotélémétrie.....	31
4.5.1 Principe.....	31
4.5.2 Matériel utilisé	32
4.5.2.1 Emetteurs	32
4.5.2.2 Stations d'enregistrement.....	33
4.5.3 Localisation des zones de détection.....	34

4.6	Suivi des déplacements de poissons à l'aide de la technique RFID	37
4.6.1	Principe.....	37
4.6.2	Equipement des sites	38
4.6.2.1	Ouvrage de Golfech.....	38
4.6.2.2	Ouvrage du Bazacle	39
5.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'ETUDE.....	42
5.1	Débits.....	42
5.2	Analyse de l'année 2020 par rapport aux chroniques historiques	46
5.3	Température de l'eau.....	48
6.	RESULTATS AUX STATIONS DE CONTROLE ET PIEGEAGE	49
6.1	Station de contrôle de Golfech	49
6.2	Station de contrôle du Bazacle.....	52
6.3	Données du piégeage	53
7.	RESULTATS CONCERNANT LE SUIVI PAR TELEMETRIE	56
7.1	Devenir des 18 saumons marqués	57
7.2	Comportement des saumons au niveau du complexe Golfech-Malause Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech.....	60
7.2.1	Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech	60
7.2.2	Comportement général.....	63
7.2.3	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison (zoom sur le canal d'amenée) 64	64
7.2.4	Résultats du suivi prédation	70
7.3	Comportement des saumons entre Malause et Toulouse.....	70
7.3.1	Comportement général.....	70
7.3.2	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison	72
7.3.3	Résultats du suivi prédation	75
7.4	Comportement des saumons au niveau du Bazacle	76
7.4.1	Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique du Bazacle	76
7.4.2	Comportement général.....	78
7.4.3	Influence des paramètres environnementaux sur la montaison	80
7.4.4	Devenir des saumons en amont du Bazacle.....	83
7.4.5	Résultats du suivi prédation	84
7.5	Synthèse globale du suivi des tags prédation	84
8.	Discussion / Conclusion.....	87
9.	Bibliographie.....	90
10.	Annexes	91

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du bassin Garonne-Dordogne et localisation des stations de contrôle MI.GA.DO sur la Garonne (Golfech, Bazacle et Carbonne)	12
Figure 2 : Localisation du site d'étude : Malause-Golfech.....	13
Figure 3 : Schéma en vue aérienne du site hydroélectrique de Golfech.....	15
Figure 4 : Schéma de la partie basse de l'ascenseur de Golfech et de son fonctionnement (modifié d'après TRAVADE et al., 1992)	17
Figure 5 : Schéma d'implantation de la passe à bassins et de la passe à ralentisseurs du Bazacle (d'après DARTIGUELONGUE, 2019)	21
Figure 6 : Principe de la télémétrie acoustique	28
Figure 7 : Schéma des différentes zones de suivis en amont et en aval du barrage de Golfech	30
Figure 8 : Principe du radiopistage en milieu aquatique (d'après BARAS et CHERRY, 1990).	32
Figure 9 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), et RFID (rouge) sur le site de Golfech	34
Figure 10 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site du Bazacle.....	36
Figure 11 : Principe de fonctionnement du système RFID de CIPAM	37
Figure 12 : 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).....	41
Figure 13 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Lamagistère (chronique de 1966 à 2020)	42
Figure 14 : Débits moyens journaliers de la Garonne et du Tarn pendant la période d'étude	44
Figure 15 : Débits classés de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude.....	45
Figure 16 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude.....	45
Figure 17 : Débits classés du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude	45
Figure 18 : Comparaison des débits de la Garonne à Lamagistère depuis 1967	47
Figure 19 : Evolution du rang du jour J en 2020 comparé aux 53 dernières années (période 1967-2020)	48
Figure 20 : Hydrologie et thermie de la Garonne au cours du suivi 2020	48
Figure 21 : Evolution des passages de saumons et silures à Golfech entre le 15 mars et le 15 juillet 2020 en fonction du débit de la Garonne (Bouyssonnie et al., 2021).....	51
Figure 22 : Effectifs cumulés de saumons Atlantique contrôlés aux stations de Golfech et du Bazacle	53
Figure 23 : Comparaison de la répartition hebdomadaire des passages de saumons à Golfech et au Bazacle avec la répartition des piégeages/marquages pour le suivi télémétrique	54
Figure 24 : Répartition des franchissements et des piégeage/marquages à Golfech, ainsi que des franchissements au Bazacle en fonction des débits de la Garonne	55

Figure 25 : 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.)	55
Figure 26 : Cartographie des différents secteurs et les différents codes utilisés dans l'analyse du devenir des individus marqués (points kilométrique).....	56
Figure 27 : Schéma bilan de la dernière position connue des saumons radiomarqués.....	59
Figure 28 : Fonctionnement des 3 groupes de l'usine hydroélectrique de Golfech durant la saison de migration 2020.....	60
Figure 29 : Répartition des configurations d'usine à Golfech en fonction du nombre de groupes en fonctionnement	61
Figure 30 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés à Golfech.....	61
Figure 31 : Représentation des jours de déversement au barrage de Malause	62
Figure 32 : Délais entre le lâcher des poissons marqués dans le canal de transfert et la première détection dans le canal d'amenée	63
Figure 33 : Répartition de la durée de présence dans le canal de transfert et en amont de l'usine de Golfech pour les saumons marqués.....	64
Figure 34 : Temps de parcours dans le canal d'amenée en fonction du débit turbiné.....	65
Figure 35 : Variation du débit turbiné lors de la progression dans le canal d'amenée.....	66
Figure 36 : Répartition des débits turbinés dans le canal d'amenée de Golfech pour les poissons ayant parcouru celui-ci en montaison et en dévalaison.....	66
Figure 37 : Vitesses de nage pour chaque SAT entre deux stations (calculés à partir de la dernière détection aval et de la première détection amont).....	67
Figure 38 : Vitesse de nage des saumons marqués en fonction du débit turbiné dans chaque section du canal d'amenée	68
Figure 39 : Répartition des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée.....	69
Figure 40 : Proportion des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée.....	69
Figure 41 : Répartition des temps de transfert entre la sortie du canal d'amenée de Golfech et l'arrivée à l'aval du Bazacle pour les 7 poissons suivis ayant atteint cet ouvrage.....	71
Figure 42 : Date de marquage des SAT en fonction des débits de la Garonne à Lamagistère et à Portet /Garonne	72
Figure 43 : Date et débit de la dernière localisation connue des poissons ayant présenté un mouvement de dévalaison ou une perte de signal	73
Figure 44 : Caractérisation des débits lors des dernières détection avant dévalaison ou des dernières détections des poissons dévalant.....	74
Figure 45 : Fonctionnement des 7 groupes de l'usine hydroélectrique du Bazacle durant la saison de migration 2020.....	76
Figure 46 : Répartition des configurations d'usine au Bazacle en fonction du nombre de groupes en fonctionnement	77
Figure 47 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinées au Bazacle	77
Figure 48 : Représentation des jours de déversement au barrage du Bazacle	78
Figure 49 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus ayant franchi l'aménagement	80

Figure 50 : Détections des saumons aux antennes RFID du Bazacle et contrôle vidéo pour les individus ayant franchi l'aménagement 81

Figure 51 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus n'ayant pas franchi l'aménagement..... 82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des transmetteurs (données fabricant) 28

Tableau 2 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés..... 33

Tableau 3 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation 39

Tableau 4 : Distances de détection des antennes mesurées lors de l'installation 40

Tableau 5 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude 42

Tableau 6 : Coefficients d'hydraulicité de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude 43

Tableau 7 : Coefficients d'hydraulicité du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude 43

Tableau 8 : Bilan historique des effectifs de saumons Atlantique contrôlés à Golfech depuis 1993..... 49

Tableau 9 : Bilan des passages annuels de saumon atlantique et de silures à Golfech et bilan des vidanges du canal de transfert depuis 2017 50

Tableau 10 : Evolution du taux de transfert des saumons sur la Garonne entre Golfech et le Bazacle entre 1994 et 2020 52

Tableau 11 : Synthèse des poissons piégés et marqués à Golfech au cours du suivi 2020 .55

Tableau 12 : Tableau bilan du devenir des tags prédation acoustiques 85

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Vue aérienne du barrage de Malause (source : EDF) 14

Photo 2 : Vue aval RD du barrage de Malause (source : malause.fr)..... 14

Photo 3 : Vue aval du barrage-usine de Golfech 14

Photo 4 : Vue aérienne du barrage-usine de Golfech et du canal d'amenée (source : EDF) 14

Photo 5 : Vue de l'ascenseur à poisson et du canal de transfert 15

Photo 6 : Nouveau système anti-retour au niveau de l'entrée 1 16

Photo 7 : Système de grille anti-retour du bassin de stabulation 16

Photo 8 : Vitre de la station de contrôle au niveau du canal de transfert de Golfech..... 18

Photo 9 : Partie aval de la passe à anguilles 18

Photo 10 : Partie amont de la passe à anguilles 18

Photo 11 : Vue aérienne du barrage du Bazacle au cœur de Toulouse (source Géoportail)20

Photo 12 : Vue de la passe à bassins du Bazacle 22

Photo 13 : Vue de la passe à ralentisseurs du Bazacle	22
Photo 14 : Bâche en forme de civière utilisé pour l'anesthésie des poissons	24
Photo 15 : Tag RFID de 32 mm et son pistolet de marquage	25
Photo 16 : Incision au scalpel sur le flanc du poisson	25
Photo 17 : insertion du tag à l'aide d'une pince plate	25
Photo 18 : Marquage avec un émetteur radio par insertion stomacale	26
Photo 19 : Transmetteur acoustique	28
Photo 20 : Hydrophone et exemple d'installation d'hydrophone avec son lest	29
Photo 21 : Emetteur radio (1) utilisé pour le marquage des saumons atlantiques adultes [tag acoustique (2) et tag RFID (3)]	33
Photo 22 : Exemples d'installation de récepteur-enregistreurs utilisés à Golfech (à gauche) et au Bazacle (à droite).....	34
Photo 23 : Type de marque utilisée (PIT-Tag)	37
Photo 24 : Coffrets d'enregistrement CIPAM	37
Photo 25 : Antenne GO10000 à l'entrée 1 de l'ascenseur	38
Photo 26 : Antenne GO20000 à l'entrée 2 de l'ascenseur	38
Photo 27 : Antenne BA10000, au niveau de l'entrée de la PAB	40
Photo 28 : Antenne BA20000 (vue depuis l'amont)	40
Photo 29 : Récepteur acoustique de type VR100 de marque Vemco (source : Innovasea) ..	41
Photo 30 : Contrôle à la station vidéo du Bazacle du saumon 48931_04 le 20 avril 2020 à 18h52.....	79

LISTE DES ANNEXES

Annexe A : Descriptif global des stations d'enregistrement (Radio/Acoustique/RFID)	91
Annexe B : Abaque des vitesses d'écoulement	92
Annexe C : Zoom sur l'appellation des PK au niveau du secteur de Golfech (PK_GAR et PK_GOL)	93

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 leur cycle biologique. 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 (par exemple la Garonne ou la Dordogne).

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

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

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

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

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

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

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

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

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

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

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

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

En termes d'objectif, il n'apparaît pas possible de dissocier l'analyse de l'efficacité des dispositifs de franchissement et l'étude des impacts du silure par prédation et /ou

effarouchement. En effet, les silures semblent présents au pied des obstacles visés par l'étude ou bien s'y présentent au moment de la fenêtre de migration des saumons. Par conséquent, le protocole de l'étude englobera également **les éventuels impacts du silure par prédation et/ou effarouchement** sur la migration et la progression des saumons.

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

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

Dans un deuxième temps, l'étude évaluera également :

- **Le taux de 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.

En complément de la présente étude, **une seconde étude sera menée en parallèle afin d'étudier la morphologie du tronçon Malause-Bazacle**. L'objectif de ce volet sera de caractériser les conditions hydromorphologiques de migration du saumon en s'appuyant sur l'évaluation de la qualité des habitats de repos et celle des conditions hydrauliques de franchissement (disponibilité et qualité des zones de repos et/ou secteurs difficilement franchissables).

L'année 2020 a été globalement perturbée par la crise sanitaire liée à la COVID-19. Ce suivi 2020 a donc subi également quelques perturbations dans sa réalisation. Si la majorité des installations télémétriques ont pu être installées au cours de l'hiver, la mise en place d'un confinement à partir de la mi-mars a modifié le nombre d'opérateurs disponibles pour la réalisation du suivi, ainsi que leur mobilité. Après quelques modifications du protocole d'étude, le piégeage et le marquage des saumons a pu être réalisé mais l'effectif de 30 individus marqués n'a pas été atteint. De plus, afin de réduire les déplacements des opérateurs, la décision a été prise de relâcher les poissons marqués dans le canal de transfert de l'ascenseur et non en aval de Golfech. Ainsi, l'un des objectifs principaux consistant en l'évaluation du taux de franchissement de l'aménagement de Golfech n'a pas pu être réalisé. Il a été décidé également de ne pas suivre les ouvrages du Ramier et de la Cavaletade à Toulouse car ces derniers n'ont pas pu être équipés en stations d'enregistrements avant la période de confinement. Par conséquent, les taux de franchissement au niveau de ces deux aménagements (objectifs secondaires) n'ont pas pu être évalués.

3. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

3.1 Le bassin de la Garonne

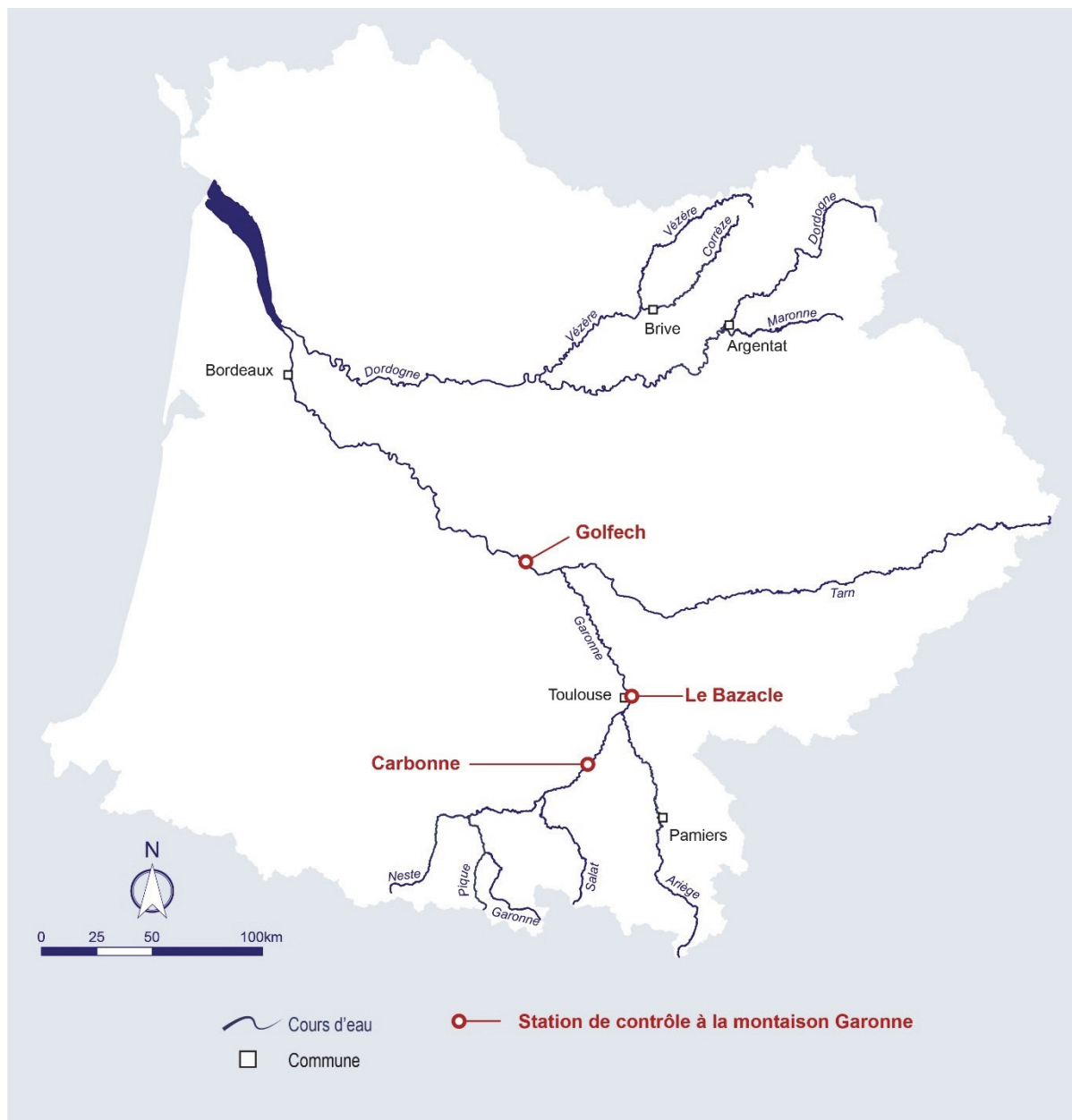


Figure 1 : Situation géographique du bassin Garonne-Dordogne et localisation des stations de contrôle MI.GA.DO sur la Garonne (Golfech, Bazacle et Carbonne)

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 sa confluence 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).

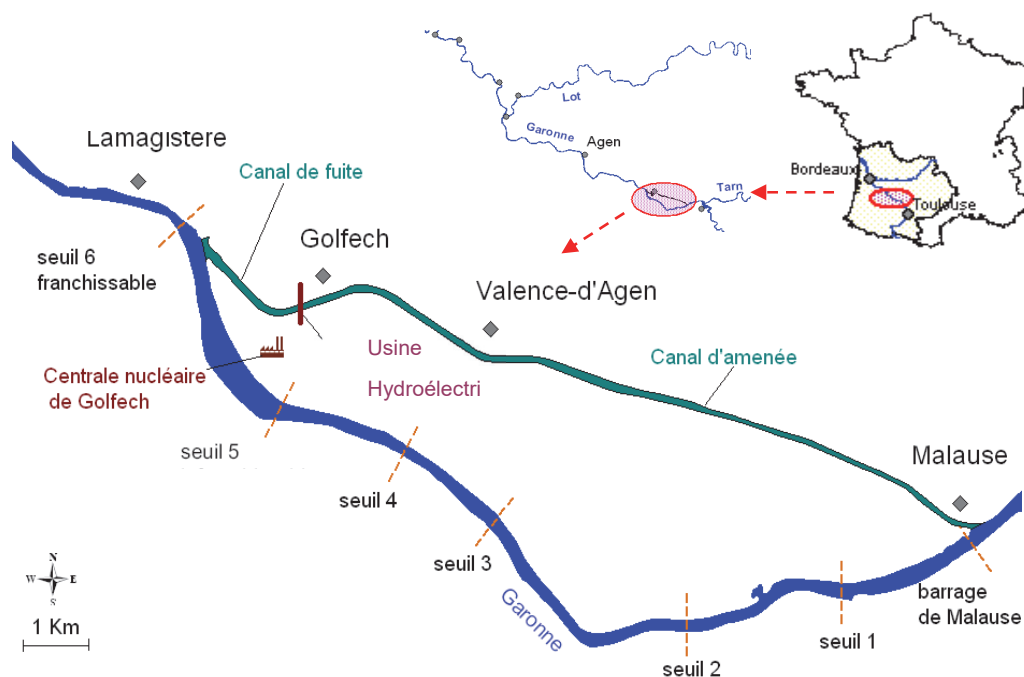


Figure 2 : Localisation du site d'étude : Malause-Golfech

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 Beauregard 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'aménée
(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

A 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

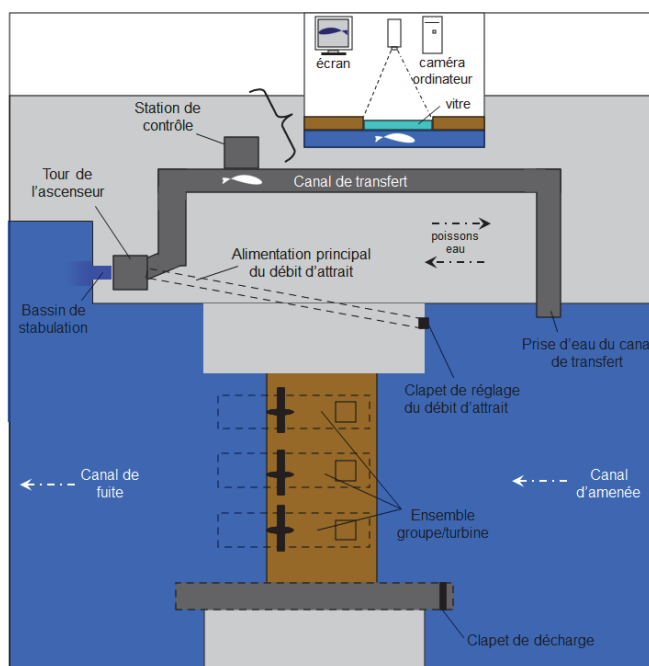


Figure 3 : Schéma en vue aérienne du site hydroélectrique de Golfech.

(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'aménée.

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

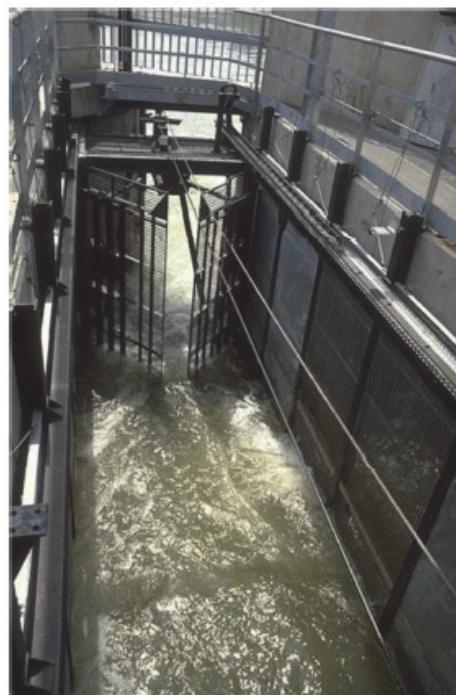


Photo 7 : Système de grille anti-retour du bassin de stabulation

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.

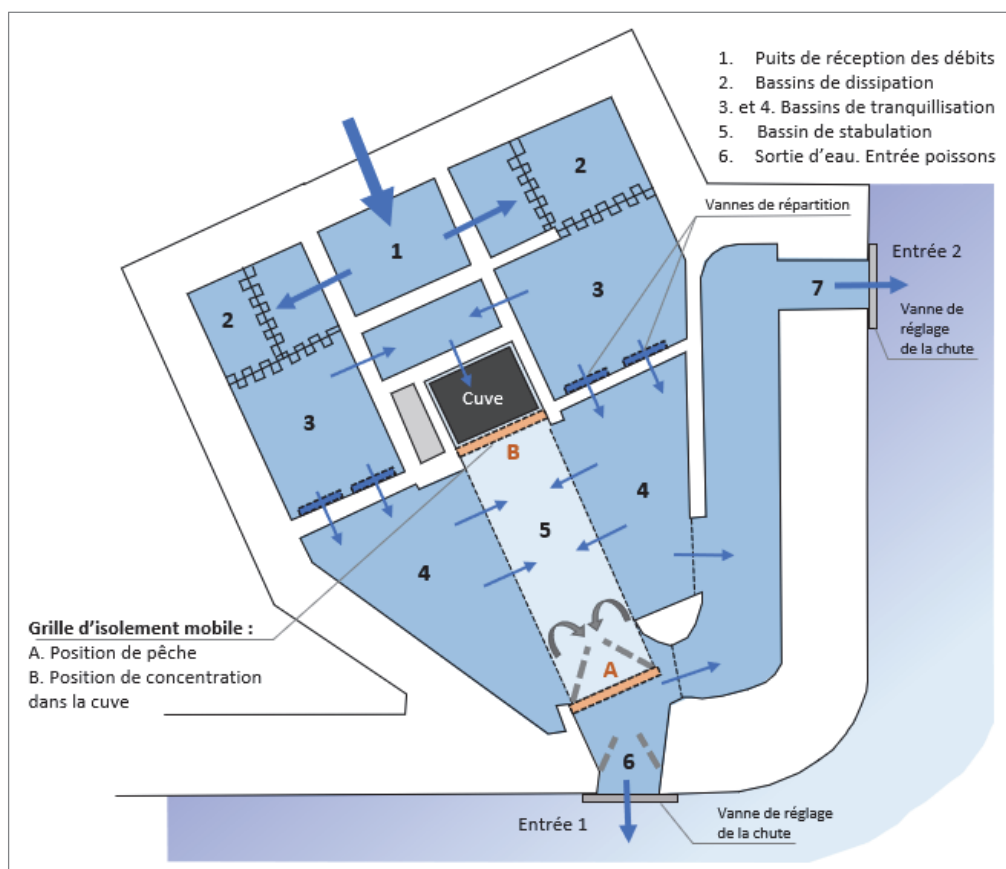


Figure 4 : Schéma de la partie basse de l'ascenseur de Golfech et de son fonctionnement (modifié d'après TRAVADE et al., 1992)

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 résistivité (permettant le comptage des individus) et sont alors déversées directement dans le canal de transfert.

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

3.2.1.3 Dévalaison

Concernant la dévalaison, aucun dispositif spécifique n'existe pour le moment sur le site de Golfech, que ce soit au niveau du barrage de Malause, comme à l'usine de Golfech. A noter toutefois qu'à partir de l'automne 2020, des essais de turbinage partiels à l'usine de Golfech devraient être mis en œuvre pour permettre la dévalaison par le barrage des anguilles en migration.

3.3 Aménagements hydroélectriques du secteur de Toulouse

3.3.1 Chaussée du Bazacle (RD+RG)

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

Une centrale hydroélectrique d'E.D.F. est implantée en rive droite. Le débit d'exploitation est de 90 m³.s⁻¹ soit 47 % du module, pour une puissance maximale de 3000 KW. L'usine est équipée de 7 turbines Francis pouvant turbiner de 10 à 14 m³.s⁻¹. En rive gauche, une centrale souterraine est exploitée par un producteur autonome, avec un débit d'équipement de 10 m³/s, 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, quelques centaines de mètres en amont du barrage.

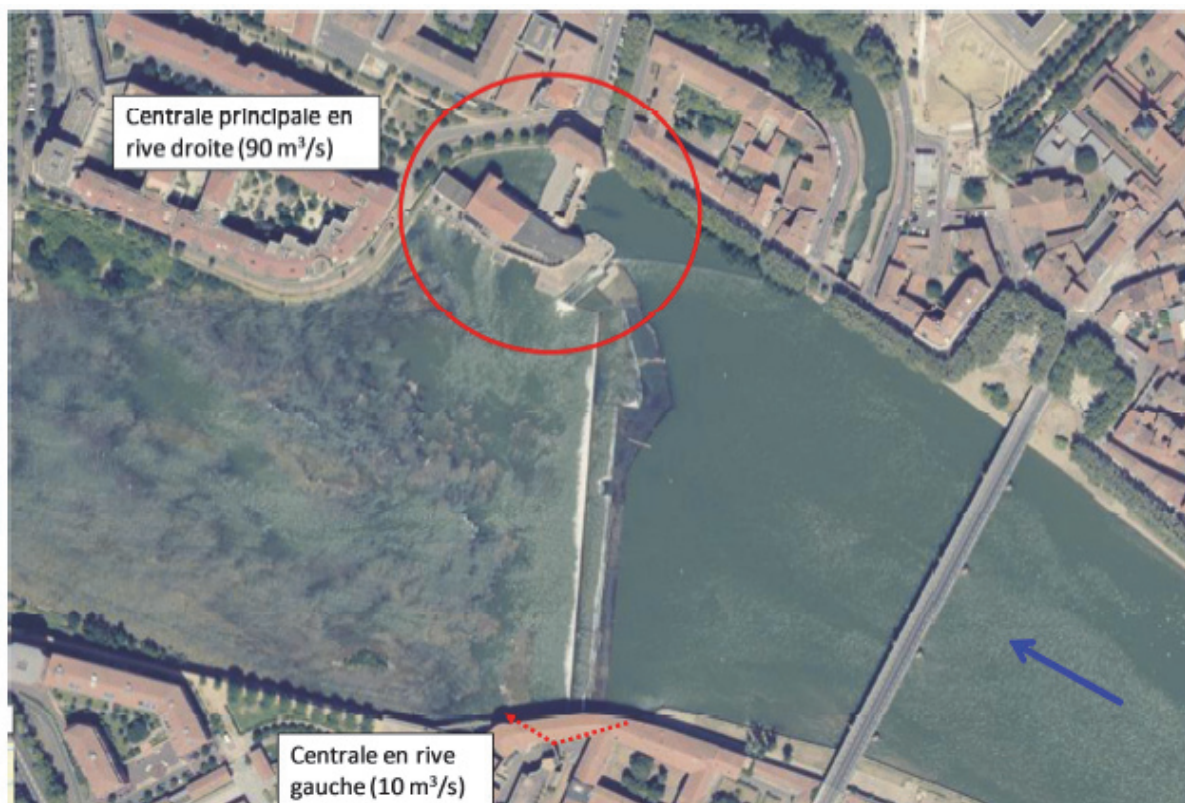


Photo 11 : Vue aérienne du barrage du Bazacle au cœur de Toulouse (source Géoportail)

3.3.1.1 Passes à poissons

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

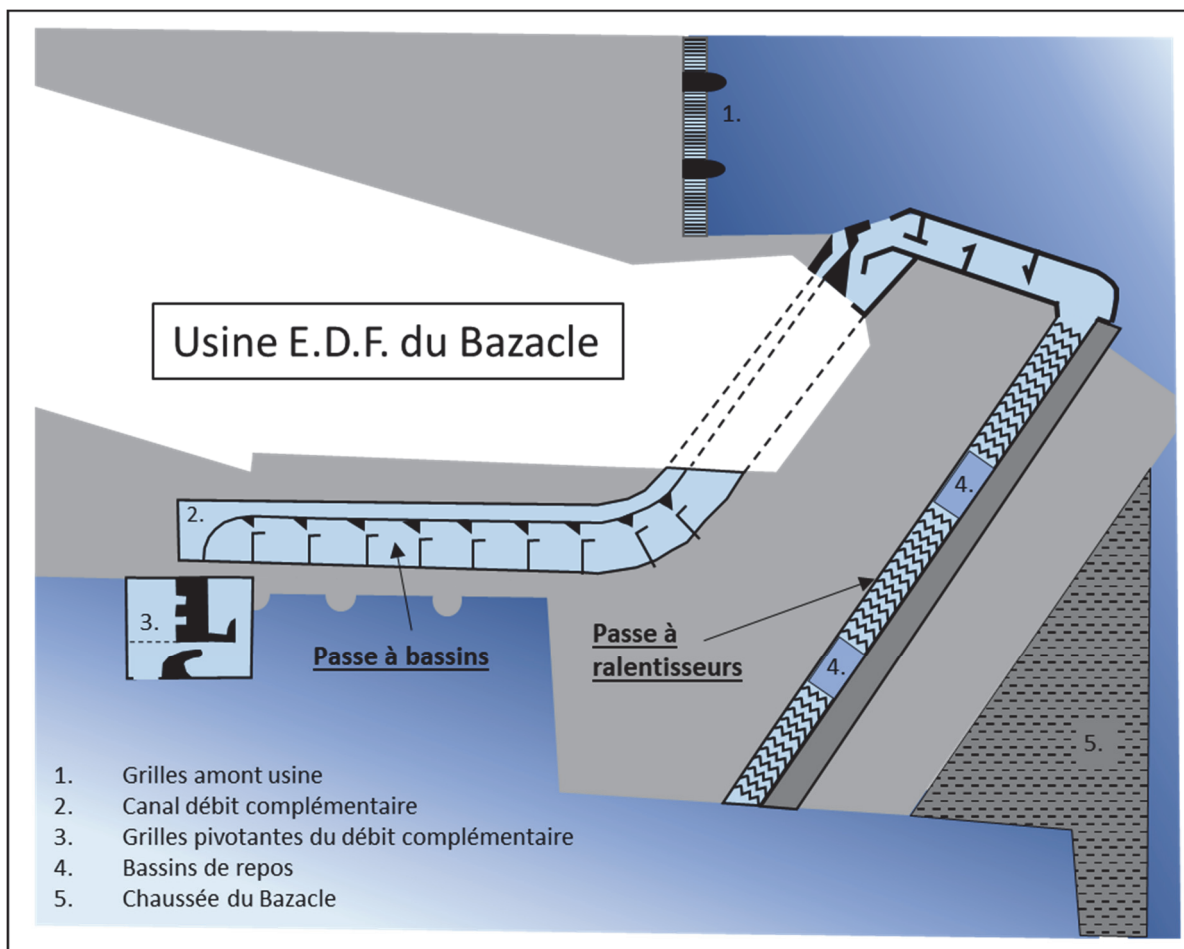


Figure 5 : Schéma d'implantation de la passe à bassins et de la passe à ralentisseurs du Bazacle (d'après DARTIGUELONGUE, 2019)

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



Photo 12 : Vue de la passe à bassins du Bazacle



Photo 13 : Vue de la passe à ralentisseurs du Bazacle

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

3.3.1.2 Dévalaison

Concernant la dévalaison, comme sur le site de Golfech, 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

En amont du Bazacle, il existe un autre aménagement hydroélectrique conséquent sur la Garonne dans sa traversée de Toulouse : il s'agit de l'aménagement du Ramier. Il ne sera toutefois pas présenté en détails ici.

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 2019-20 afin d'être opérationnelles lors des premiers passages de saumon au niveau du piège de Golfech.

Le premier saumon a été contrôlé à Golfech le 12 février 2020 et le piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur a été en fonctionnement du 06 mars au 30 juin 2020. Ainsi, le premier individu a été capturé le 14 mars, mais en raison de la crise sanitaire liée au COVID-19, des modifications de protocole ont été nécessaires liées à l'application d'un nouveau protocole sanitaire autorisant la présence d'un unique opérateur sur le site de piégeage.

Le premier saumon utilisé pour le suivi a été capturé le 09 avril et le dernier le 04 juin. La décision a été prise de ne pas poursuivre les marquages au-delà de cette date en raison des températures ayant déjà dépassées les 20°C. Depuis le début des années 2000, la période de mars à juin représente à Golfech 70 % du stock contrôlé (Carry et al., 2020). Le suivi des poissons marqués s'est déroulé jusqu'au 31 juillet. Quelques pointages ponctuels ont été effectués après cette date afin de confirmer la localisation de certains émetteurs.

4.2 Le matériel biologique

4.2.1 Piégeage du matériel biologique

D'une manière générale, le piégeage est effectué en présence d'un technicien sur site. Ainsi, hors cas particulier (COVID-19, opération exceptionnelle, ...), le piège est armé de 5h à 22h du lundi au vendredi et de 8h à 20h les samedis, dimanches et jours fériés. En 2020, la période de piégeage a débuté le 06 mars et s'est terminée le 30 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 réception.
- 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 époussette adaptée (largeur 70 cm et mailles 4 mm) puis transférés dans une bêche (civière) opaque remplie d'un bain anesthésiant.



Photo 14 : Bâche en forme de civière utilisé 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 tricaine à 10% (100g de poudre de tricaine 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 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 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 RFID avec pit-tag 32 mm** : après désinfection de la zone à la Bétadine, insertion (à l'aide du pistolet adéquat et d'une aiguille neuve) de la marque dans le muscle, parallèle à la nageoire dorsale afin que lors du passage dans une antenne, la puce soit perpendiculaire au plan de l'antenne pour optimiser la détection.



Photo 15 : Tag RFID de 32 mm et son pistolet de marquage

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



Photo 16 : Incision au scalpel sur le flanc du poisson



Photo 17 : insertion du tag à l'aide d'une pince plate

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





Photo 18 : 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) puis relâché dans la nasse piège pour le réveil.

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 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 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 EDF de Golfech a pu mettre à disposition un fichier de données au pas de temps horaire regroupant le fonctionnement de différents organes de l'usine de Golfech et du barrage de Malause pouvant caractériser le fonctionnement de l'ouvrage :

- La position des vannes segment du barrage de Malause (en m),
- Le débit transitant par ces différentes vannes segment (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

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

4.3.2.2 Bazacle

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

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

Une centrale d'enregistrement permet également de recueillir en libre accès les informations qui concernent le fonctionnement de la passe à poissons du Bazacle, avec comme données disponibles la hauteur d'eau au niveau du débit d'attrait complémentaire (en m) ainsi que la 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 continue 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 des chroniques trop longues 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 6). 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).

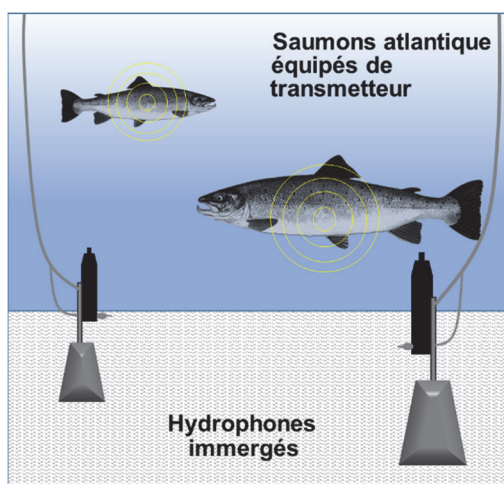


Figure 6 : Principe de la télémétrie acoustique

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 dans le canal de transfert en amont de l'ascenseur, de sorte qu'ils n'aient pas à franchir l'ouvrage. Le suivi par repérage et enregistrement automatique de leurs déplacements permet d'identifier et d'étudier le parcours réalisé par les poissons.

4.4.2 Matériel utilisé

4.4.2.1 Emetteurs

Des transmetteurs codés Vemco®, émettant à 180 kHz, ont été choisis et en particulier le tag prédation V5D (Photo 19). Au sein de cette fréquence, chaque transmetteur émet un code différent. Cette technologie permet de lâcher un nombre assez important de poissons simultanément. Le poids des émetteurs ne dépasse pas 2 % du poids total des poissons marqués (Tableau 1), comme préconisé par BARAS (2001). L'émission des « pings » de chaque émetteur est aléatoire toutes les 30 à 50 secondes. Ainsi, il n'y a théoriquement pas de problème de collision de marque si plusieurs transmetteurs se retrouvent dans la même zone d'enregistrement.



Photo 19 : Transmetteur acoustique

Modèle	V5D		
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	5,6	0,68	86

Tableau 1 : Caractéristiques des transmetteurs (données fabricant)

Le tag prédation, au-delà de suivre la position d'un individu, permet de fournir une information directe sur la prédation éventuelle de l'individu marqué. Une fois ingéré par le prédateur, la proie est digérée dans l'estomac grâce aux acides 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. La durée de vie des batteries permet théoriquement de suivre les individus sur environ 3 mois.

Ce type de tag permettra de détecter une éventuelle prédation sur le saumon de la part du silure dans la zone d'étude (canal de fuite de Golfech, canal de transfert de l'ascenseur, canal d'amenée, aval Bazacle ou milieu naturel). Ce type de marquage sur les saumons suivis permettra ainsi de quantifier cette prédation et de localiser les zones sensibles à la prédation.

4.4.2.2 Hydrophones

Les stations d'enregistrement sont composées de récepteurs-enregistreurs VR2W-180kHz de marque Vemco (Photo 20). 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 20 : Hydrophone et exemple 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, seules 4 relèves ont été effectuées à partir du début du mois de mai (après la période de déconfinement suite à la crise sanitaire) : la première a été programmée le 14 mai, la seconde les 27 et 28 mai, la troisième n'a été programmée que le 16 juin et une dernière relève (correspondant à la relève définitive de tous les hydrophones) s'est déroulée le 17 juillet.

4.4.3 Localisation des zones de suivis

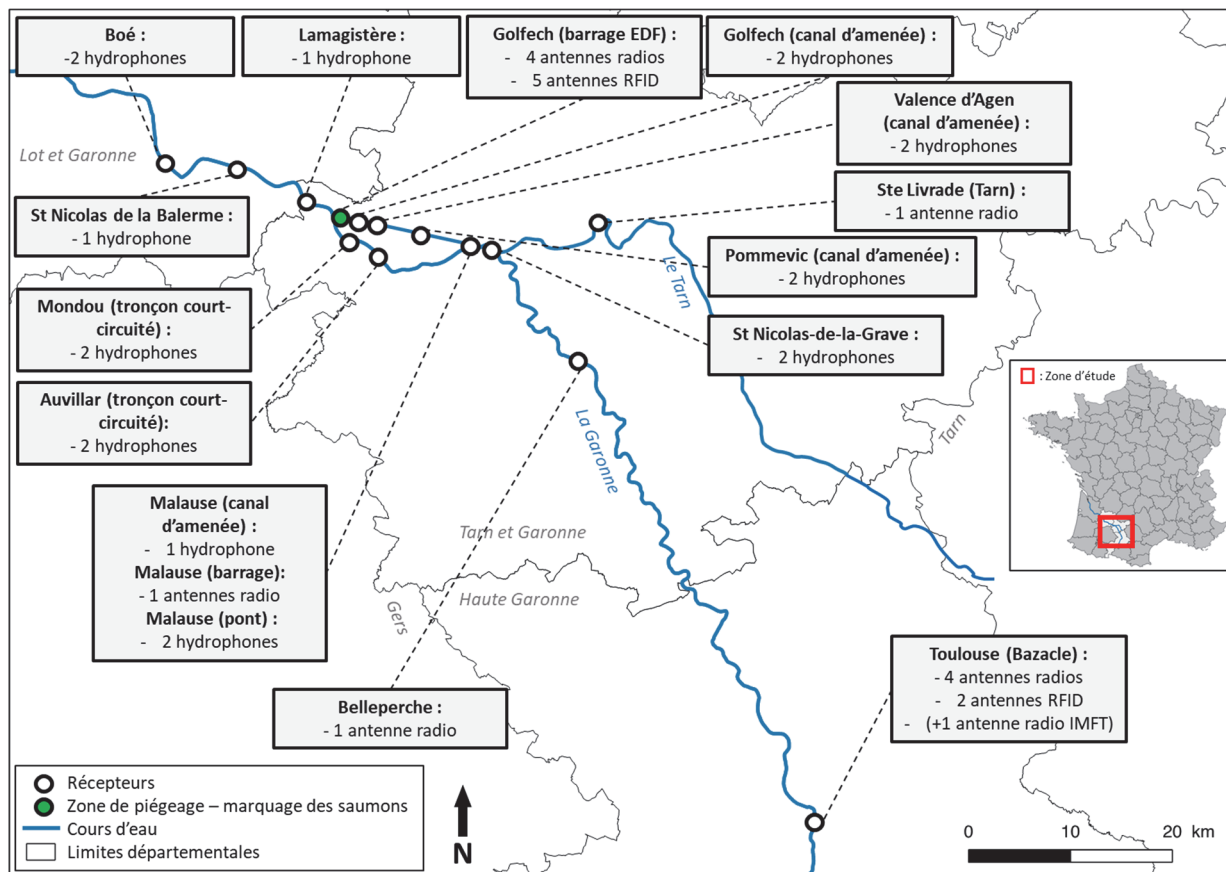


Figure 7 : Schéma des différentes zones de suivis en amont et en aval du barrage de Golfech

Huit zones de suivis ont été définies entre l'aval de l'ouvrage de Golfech et Toulouse (Figure 7). Chacune de ces zones est suivie par 1 à 5 hydrophones en fonction de la configuration du site. Les zones de suivis ont été définies ainsi :

→ Aval de l'ouvrage de Golfech

- Zone 3 [1 hydrophone], à l'aval de la confluence entre le canal de fuite et le TCC au niveau de Lamagistère (pK -3,3). La zone 3 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.
- Zone 2 [1 hydrophone], à Saint Nicolas de la Balerne, 6 km en aval de Lamagistère (pK -9,1). La zone 2 est également couverte par un seul hydrophone (une unique pile de pont étant disponible au milieu de la rivière).

- Zone 1 [2 hydrophones], à l'aval du secteur de suivi, au niveau de Boé (pK -18,5), correspondant à la station de contrôle la plus aval du secteur d'étude.

Pour ce suivi 2020, les poissons, capturés au niveau de l'ascenseur de Golfech, seront relâchés dans le canal de transfert de Golfech en amont de l'ouvrage de franchissement (pK 0). Les zones 1,2 et 3 ont été mises en place principalement pour détecter d'éventuelles dévalaisons de la part des individus suivis.

→ Secteur du complexe hydroélectrique de Golfech-Malause

- Zone 4 [2 hydrophones] (pK 0), à l'amont de l'usine hydroélectrique de Golfech, pour enregistrer les poissons sortant du canal de transfert et s'engageant dans le canal d'amenée. Des difficultés d'enregistrement ont été constatées au droit de l'usine de Golfech lors de précédents suivis biologiques (FREY, 2020). Différents tests de détection ont permis de conclure à une interférence du « bruit » généré par l'usine sur la réception des hydrophones. Il s'est avéré que la réception était meilleure au niveau du pont de la D953, situé environ 250 m en amont de l'usine. Pour ce suivi 2020, 2 hydrophones ont été installés en aval des piles du pont de la D953, positionnés sous la surface.
- Zone 5 [5 hydrophones], l'ensemble du linéaire du canal d'amenée a été équipé au niveau des différents ponts traversant le canal. Ainsi, 2 hydrophones ont été installés au pont de Valence d'Agen (pK 3,4), 2 hydrophones au pont de Pommevic (pK 6,3) et 1 hydrophone (car une seule pile de pont disponible) au pont de Malause (pK 9,8).
- Zone 6 [2 hydrophones] (pK 3) et Zone 6' [2 hydrophones] (pK 0), correspondent au TCC, respectivement à Auvillar et au pont de Mondou au niveau du seuil 5. Ces hydrophones ont aussi la possibilité d'enregistrer des poissons dévalant ayant franchi le barrage de Malause.

→ Amont du barrage de Malause

- Zone 7 [2 hydrophones], sur la partie aval de la retenue de Malause, quelques centaines de mètres en amont du barrage de Malause (pK 11,5) et Zone 7' [2 hydrophones] sur la partie amont de la retenue (pK 15), dernière zone avant la séparation entre la Garonne et le Tarn.
- Zone 8 [1 hydrophone], au cours du suivi, un hydrophone supplémentaire a été ajouté et installé à Toulouse au niveau de l'entrée de la passe à poissons de l'usine du Bazacle (pK 98,5) afin de mieux appréhender les approches des poissons suivis ou leur blocage au pied de la digue du Bazacle.

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 8).

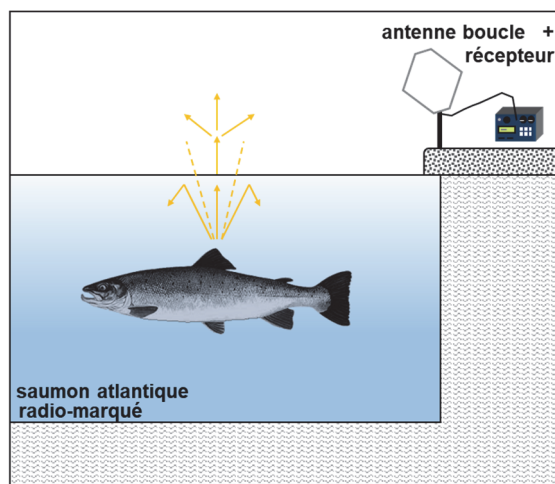


Figure 8 : Principe du radiopistage en milieu aquatique (d'après BARAS et CHERRY, 1990).

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

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

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

4.5.2 Matériel utilisé

4.5.2.1 Emetteurs

Les radio-émetteurs ATS® (Advanced Telemetry Systems) choisis pour ce suivi (Photo 21 ; Tableau 2) correspondent au modèle F1840C. Ce modèle codé permet, comme pour les tags acoustiques, de suivre un plus grand nombre de poissons simultanément, principalement lorsque ceux-ci se retrouvent au même endroit au même moment. Les émetteurs utilisés ont une durée de vie garantie par le constructeur d'environ 465 jours, ce qui permet une durée de suivi théorique de 15 mois.

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

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

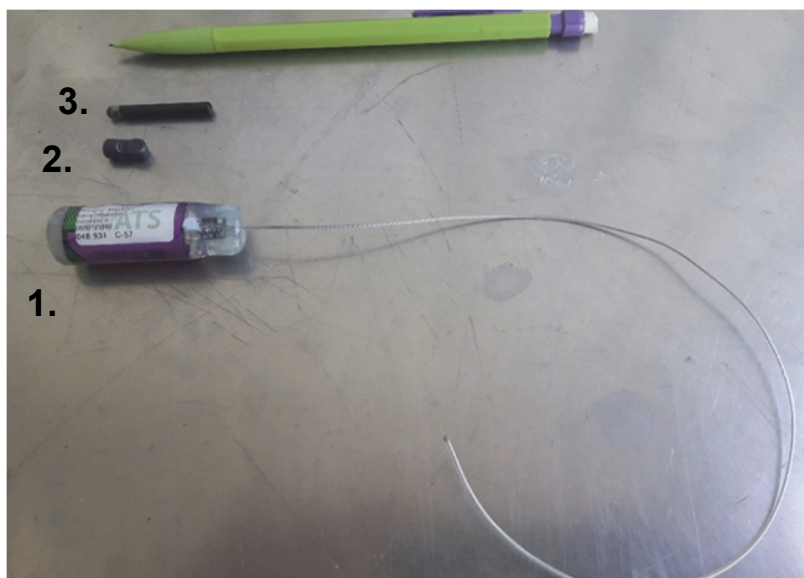


Photo 21 : Emetteur radio (1) utilisé pour le marquage des saumons atlantiques adultes [tag acoustique (2) et tag RFID (3)]

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

Tableau 2 : Caractéristiques constructeur des radio-émetteurs utilisés

4.5.2.2 Stations d'enregistrement

Les stations de réception fixes, composées de récepteur-enregistreurs (modèle ATS R4500C) couplés à une alimentation 220V/12V de 2A (Photo 22), 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, 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 22 : Exemples d'installation de récepteur-enregistreurs utilisés à Golfech (à gauche) et au Bazacle (à droite)

4.5.3 Localisation des zones de détection

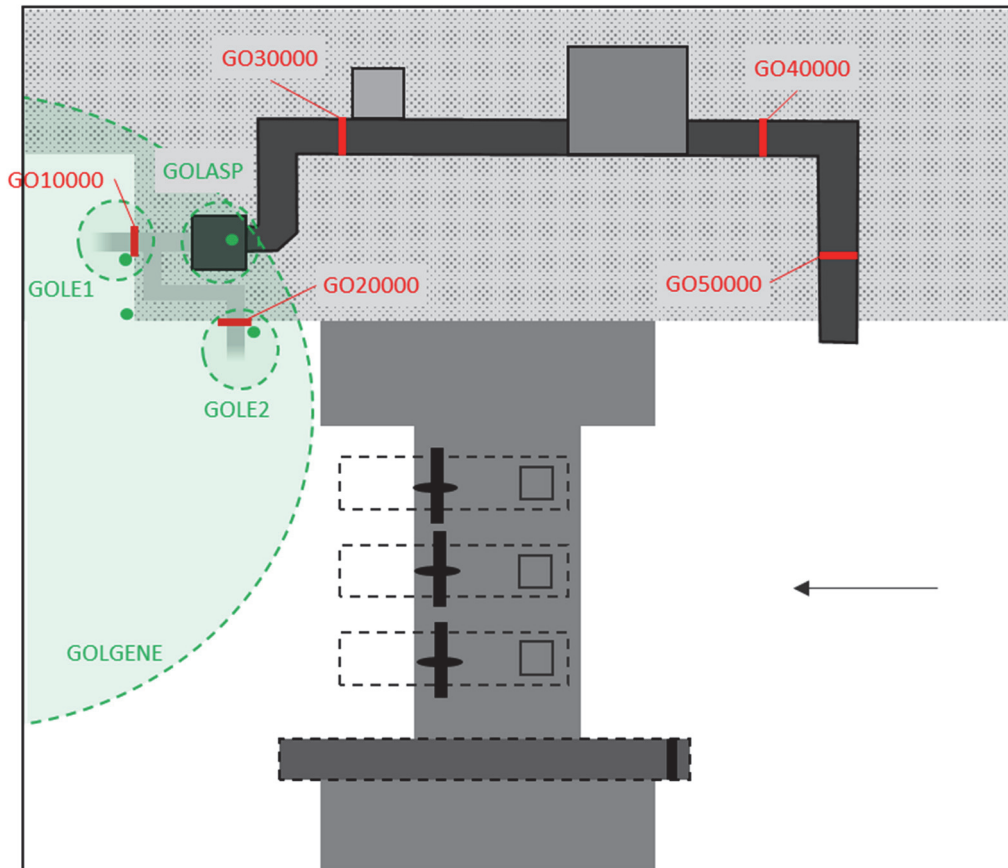


Figure 9 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), et RFID (rouge) sur le site de Golfech

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

→ Ouvrage de Golfech

- Zone 1 [4 *enregistreurs*], située au niveau de l'ascenseur (Figure 9), cette zone permet d'appréhender le comportement des poissons lors de l'approche de l'ascenseur et de leur entrée dans celui-ci. Une antenne boucle dite « générale » (**GOLGENE**) couvre toute la largeur de la Garonne en pied d'usine et de l'ascenseur. Une antenne brin immergée a été installée au niveau de chaque entrée (**GOLE1** et **GOLE2**) et enfin une antenne brin immergée a été positionnée au fond de la tourelle de l'ascenseur (**GOLASP**) afin de confirmer la présence d'un poisson marqué dans la cuve de levage de l'ascenseur.

→ Ouvrage de Malause

- Zone 2 [1 *enregistreur*], située en aval direct du barrage de Malause, en rive droite. Composée d'une antenne boucle aérienne, cette station ne couvre que la moitié de la rivière. L'installation d'une autre antenne était prévue en rive gauche afin de couvrir toute la largeur de la rivière, mais les restrictions sanitaires rencontrées en début de suivi n'ont pas permis son installation.

→ Secteur entre Malause et Toulouse

- Zone 3 [1 *enregistreur*], le tronçon entre les derniers hydrophones de la retenue de Malause et l'aval du Bazacle mesure environ 80 km. Afin d'avoir des renseignements sur ce long linéaire, il a été décidé d'ajouter une station d'enregistrement avec une antenne boucle aérienne au niveau de l'abbaye de Belleperche (pk 35), soit 17 km en amont de la dernière station acoustique. Cette station a été installée le 29 mai 2020.
- Zone 4 [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 installées au niveau du seuil et de l'usine de Ste Livrade (pK 31,5), situés 13 km en amont de la dernière station acoustique. Cette station a été installée le 27 avril 2020.

→ Ouvrage du Bazacle

- Zone 5 [4 *enregistreurs*], située au niveau des passes à poissons de l'usine du Bazacle, cette zone permet d'appréhender le comportement des poissons à l'approche de celles-ci et de confirmer leur franchissement (Figure 10). 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 les poissons ayant emprunté la passe à ralentisseurs située à proximité. Une cinquième station était prévue en aval rive gauche de la chaussée du Bazacle mais n'a pas pu être installée cette année. Cette station est toujours prévue pour le suivi 2021.

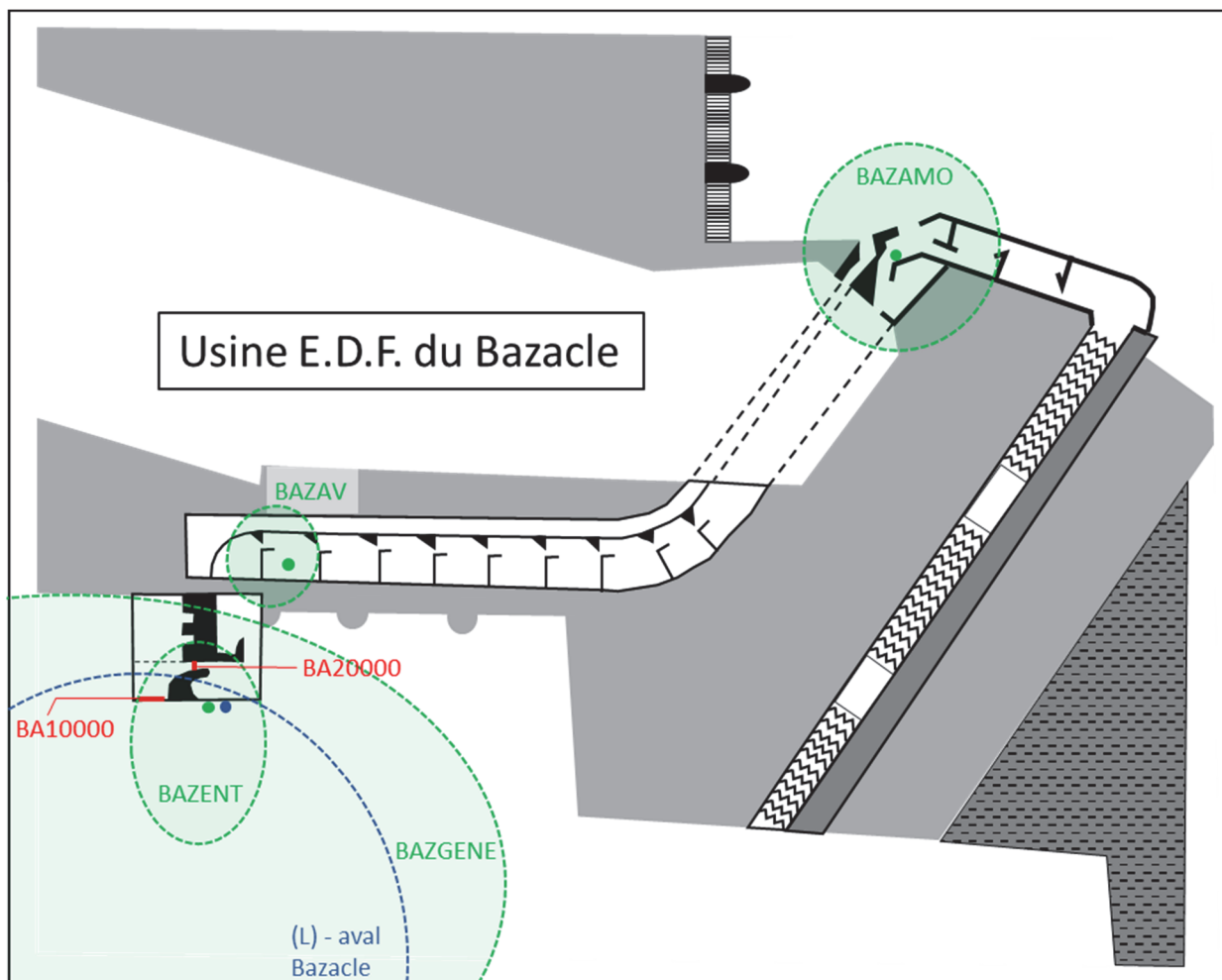


Figure 10 : Schéma des différentes zones d'enregistrements radio (vert), acoustique (bleu) et RFID (rouge) sur le site du Bazacle

➔ Amont barrage du Bazacle

- Zone 6 [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 en amont de l'usine du Ramier.
- Zone 7 [1 enregistreur], une dernière zone d'enregistrement a été installée au pied du barrage de Carbonne (pK 145) 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 technique 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 23) 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 11). 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 24), monté dans un coffret métallique pour plus de résistance en cas d'installation en extérieur. L'enregistreur couplé à l'antenne relève et enregistre la date et l'heure du passage du poisson marqué.

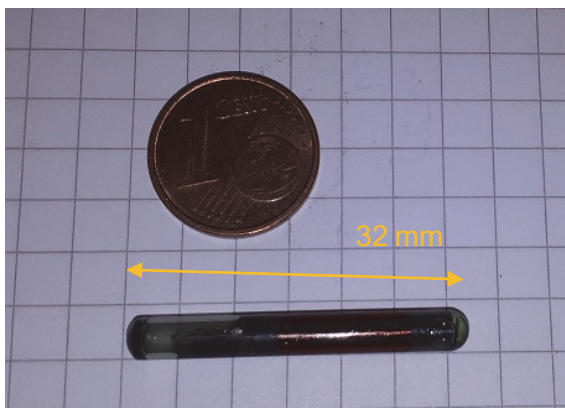


Photo 23 : Type de marque utilisée (PIT-Tag)

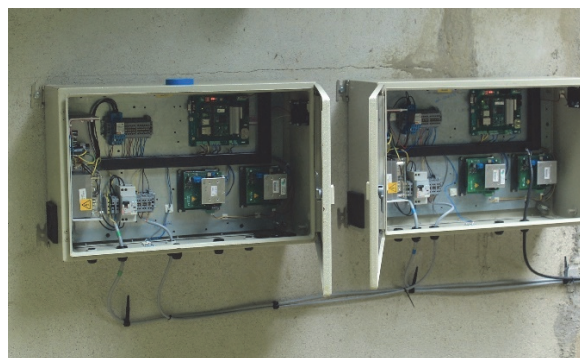


Photo 24 : Coffrets d'enregistrement CIPAM

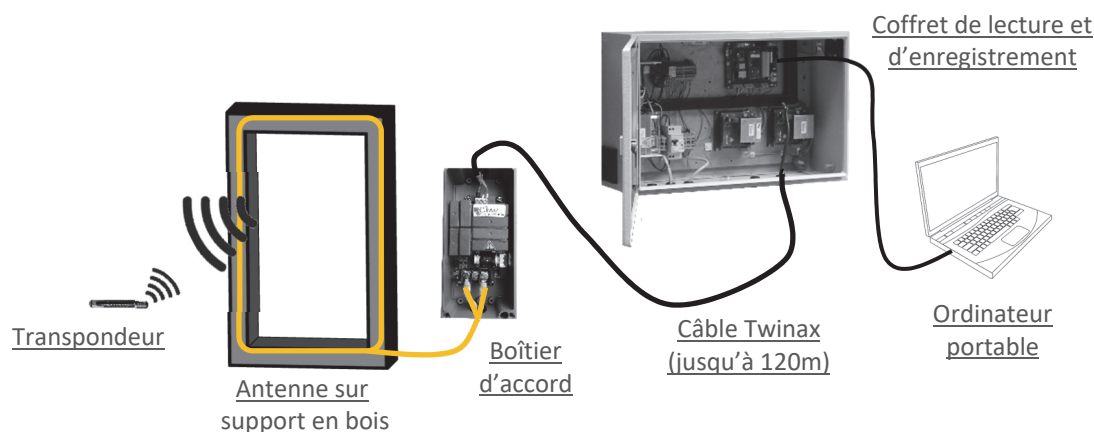


Figure 11 : Principe de fonctionnement du système RFID de CIPAM

Le suivi consiste donc à marquer, à l'aide de transpondeurs, les saumons déjà équipés de marques acoustiques et radios. Les poissons, relâchés dans le canal de transfert de Golfech, seront contrôlés au cours de leurs déplacements au niveau des ouvrages de franchissement en des endroits précis et localisés. L'ensemble des installations permettra également de suivre toutes les autres espèces équipées de transpondeur 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 3 coffrets lecteur-enregistreurs Basic développés par CIPAM. Au total, 5 antennes ont été déployées sur le site afin de déterminer le comportement des poissons et de déduire l'entrée empruntée au niveau de l'ascenseur (Figure 9) :

- Une antenne est installée dans l'échancrure 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 25).
- Une antenne dans l'échancrure 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 12).



Photo 25 : Antenne GO10000 à l'entrée 1 de l'ascenseur



Photo 26 : Antenne GO20000 à l'entrée 2 de l'ascenseur

- Une troisième antenne a été installée en aval de la vitre de la station de contrôle vidéo située au milieu du canal de transfert (**GO30000**). Cette antenne permet de contrôler les poissons ayant emprunté l'ascenseur et se présentant à la vitre de contrôle. Il est ainsi possible de savoir si l'individu filmé est marqué ou non en comparant les heures de passage à l'antenne et à la vitre. L'antenne est une boucle du même câble qui mesure 2,2 m x 0,5 m.
- La quatrième antenne se situe dans le canal de transfert en amont du piège (**GO40000**). Les poissons marqués étant relâchés au niveau du piège, cette antenne permet de valider leur progression vers l'amont et vers la sortie du canal de transfert. Elle permet également de savoir si les poissons effectuent des allers-retours dans le canal de transfert. L'antenne mesure 2,2 m x 2,1 m.

- La dernière antenne se situe au niveau de la sortie du canal de transfert (GO50000). Cette antenne permet de valider la sortie du canal de transfert et le passage vers le canal d'amenée. Cette antenne mesure 2,2 m x 2,1 m.

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

Antenne	Distance de détection de part et d'autre de l'antenne
	Marque PIT-Tag 32 mm
GO10000	30 cm amont / jusqu'à l'anti-retour
GO20000	40 cm amont / 40 cm aval
GO30000	30 cm amont / 30 cm aval
GO40000	30 cm amont / 30 cm aval
GO50000	30 cm amont / 30 cm aval

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

4.6.2.2 Ouvrage du Bazacle

Le matériel utilisé sur la passe à bassins du Bazacle est identique à celui de l'ascenseur de Golfech. On y retrouve un coffret enregistreur connecté à 2 antennes installées à l'entrée de la passe à bassins (Figure 10) :

- La première antenne est installée dans l'échancrure de l'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 27).
- La seconde antenne est installée au niveau de la première fente de la passe (BA20000) en amont de l'injection du débit complémentaire. Cette antenne permet de valider l'entrée dans l'ouvrage et la progression vers l'amont (Photo 28).



Photo 27 : Antenne BA10000, au niveau de l'entrée de la PAB



Photo 28 : Antenne BA20000 (vue depuis l'amont)

Après installation et réglage, les antennes ont été testées et les distances de détection des antennes mesurées (avec des marques de 32 mm). Les distances obtenues de part et d'autre de chaque antenne sont reportées dans le Tableau 4. La proximité des deux antennes a contraint à dégrader la distance de détection de l'antenne BA20000 afin que son champ magnétique n'interfère pas avec celui de BA10000 ou que des individus 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	20 cm amont / 20 cm aval
BA20000	20 cm amont / 20 cm aval

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

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

4.7 Suivi des déplacements de poissons manuellement

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

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

Les suivis à pied et en voiture sont réalisés grâce à la technique radio avec un récepteur de type R4500C. Pour les suivis effectués en bateau, deux récepteurs sont embarqués : un récepteur radio R4500C et un récepteur acoustique de type VR100 (Photo 29) 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 et les coordonnées GPS de la marque. Ces suivis manuels permettent par ailleurs de profiter pleinement de l'option « prédation » des marques acoustiques car il apparaît assez peu probable qu'un changement de code s'effectue au droit d'une station fixe.



Photo 29 : Récepteur acoustique de type VR100 de marque Vemco (source : Innovasea)

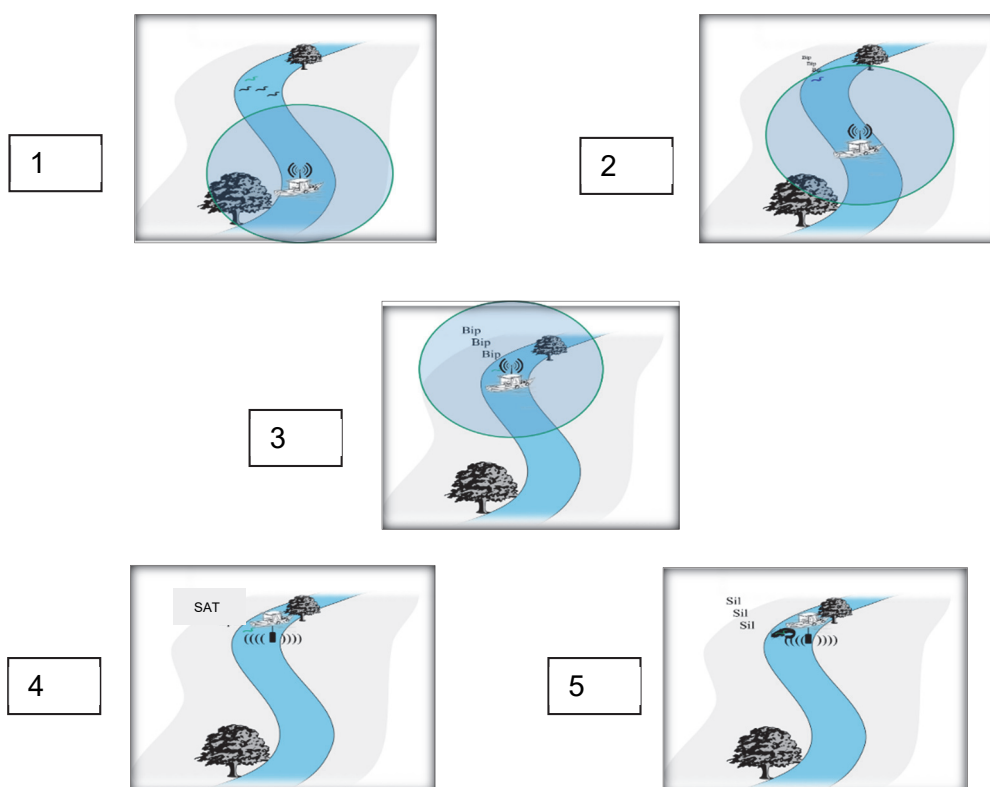


Figure 12 : Schéma expliquant la technique de suivi de tags acoustiques « prédation » dans un grand milieu (1 : Navigation sur le cours d'eau – 2 : Repérage de l'émetteur radio – 3 : Approche au plus près de l'individu détecté – 4 et 5 : Mise en place du récepteur acoustique et détection du code prédaté ou non)

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 (Figure 12). Une fois détecté, la sonde acoustique est plongée dans l'eau en coupant le moteur de l'embarcation. La figure ci-dessus reprend schématiquement le protocole de suivi.

Il est important de signaler que lors des suivis manuels, la marque acoustique peut ne pas être détectée. Ce cas de figure peut s'expliquer parce que l'individu marqué a été prédaté et que le tag acoustique a été expulsé du corps du silure par les voies naturelles. Mais nous avons également constaté, lors de cette étude, que la non détection de la marque acoustique après un repérage radio pouvait provenir de la perte de la marque du fait d'une mauvaise implantation au moment du marquage. 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.

5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'ETUDE

5.1 Débits

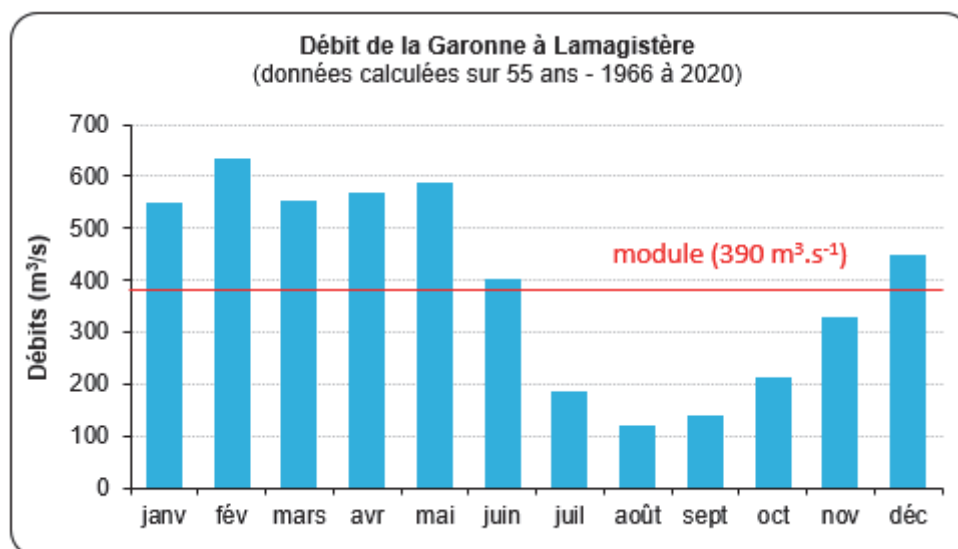


Figure 13 : Débits moyens mensuels de la Garonne à Lamagistère (chronique de 1966 à 2020)

Le régime hydrologique de la Garonne à l'aval de Golfech est caractérisé par de fortes eaux au cours de l'hiver, liées aux précipitations (essentiellement sous forme de pluie), qui se renforcent au printemps par la fonte des neiges. L'étiage estival peut être très prononcé (Figure 13).

		Garonne à Lamagistère						
		Station n°O6140010 - Module = 390 m³/s						
		Données calculées sur 55 ans (1966-2020)						
		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m³/s)		547	632	551	567	584	399	185
Q moy. Mensuel de l'étude 2019/2020 (m³/s)		454	344	680	381	593	347.0	110
Coefficient d'hydraulicité 2019/2020		0.83	0.54	1.23	0.67	1.02	0.87	0.59

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

Garonne à Portet-sur-Garonne							
Station n°O1900010 - Module = 187 m ³ /s							
Données calculées sur 111 ans (1910-2020)							
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m ³ /s)	190	211	220	272	343	277	143
Q moy. Mensuel de l'étude 2019/2020 (m ³ /s)	151	105	243	246	287	177.0	75.1
Coefficient d'hydraulicité 2019/2020	0.79	0.50	1.10	0.90	0.84	0.64	0.53

Tableau 6 : 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 Malausse-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 = 141 m ³ /s							
Données calculées sur 51 ans (1970-2020)							
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.
Q moy. Mensuel de référence (m ³ /s)	223	254	204	194	168	96.2	46.9
Q moy. Mensuel de l'étude 2019/2020 (m ³ /s)	198	146	225	93	204	131.0	29.2
Coefficient d'hydraulicité 2019/2020	0.89	0.57	1.10	0.48	1.21	1.36	0.62

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

L'hydrologie de la Garonne au niveau de la station de Lamagistère a présenté un régime très hétérogène au cours du premier semestre 2020, alternant des mois en déficit par rapport à la moyenne de référence (les mois de février, avril et juillet) et des mois en excédent par rapport à cette moyenne (le mois de mars) (Tableau 5). Les mois en déficit sont très en deçà des débits de référence avec, pour février et juillet, des débits atteignant seulement 54 % et 59 % de la moyenne. Pour le mois de février, ceci est la conséquence d'un mois sec et sans chute de neige en amont du bassin. Les mois de mars et mai présentent une hydrologie soutenue, conséquence d'importantes précipitations, alors que le mois d'avril, chaud et ensoleillé, a eu une hydrologie légèrement déficitaire par rapport à la moyenne historique.

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

Concernant le Tarn (Tableau 7), la tendance est également identique, avec une alternance de mois à l'hydrologie soutenue et d'autres en déficit marqué (notamment les mois de février et d'avril). Contrairement à la Garonne, l'hydrologie du Tarn en mai et juin a été abondante et supérieure aux débits de référence avec des coefficients d'hydraulicité respectifs de 1,21 et 1,36.

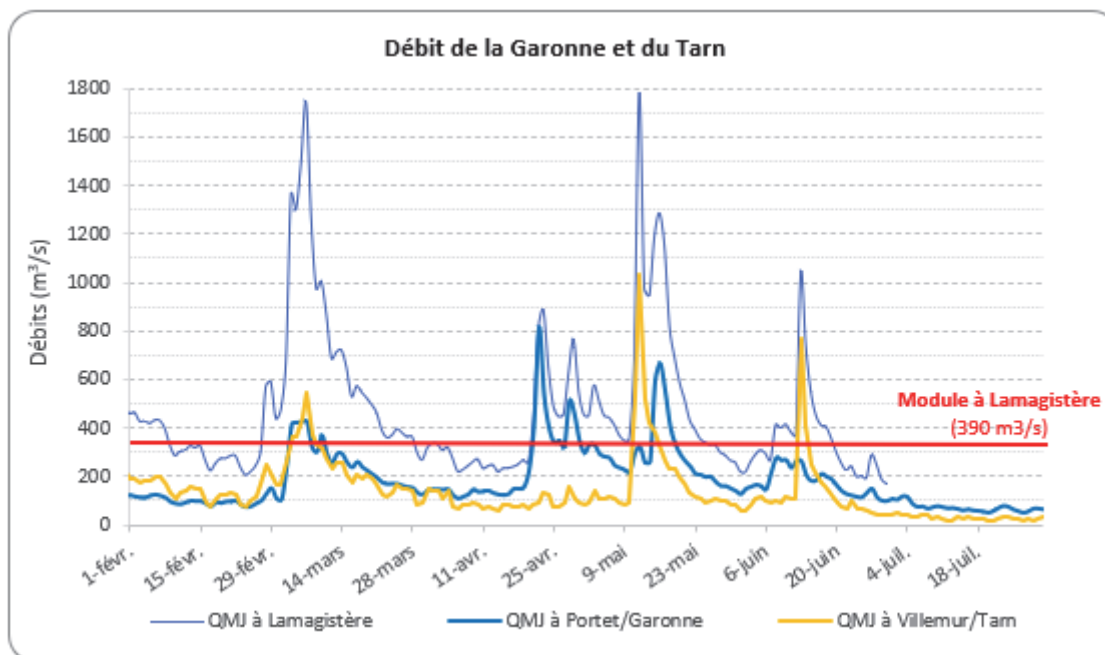


Figure 14 : Débits moyens journaliers de la Garonne et du Tarn pendant la période d'étude

Sur les courbes de débits moyens journaliers des 3 stations (Figure 14), on observe finalement des débits assez stables et plutôt faibles (inférieurs aux modules respectifs) entrecoupés de plusieurs coups d'eau tout au long du premier semestre. Pour la station de Lamagistère, 6 coups d'eau majeurs ont été recensés (la valeur du débit moyen journalier de la crue biennale étant de $2400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) :

- 24 janvier (non présenté sur Figure 14) : $1128 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 3 fois le module,
- 07 mars : $1742 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 4,5 fois le module,
- 23 avril : $891 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 2,3 fois le module,
- 12 mai : $1783 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 4,5 fois le module,
- 16 mai : $1287 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 3,3 fois le module,
- 13 juin : $1040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 2,7 fois le module.

Concernant le Tarn à la station de Villemur/Tarn, 3 coups d'eau significatifs ont été enregistrés (la valeur du débit moyen journalier de la crue biennale étant de $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) :

- 07 mars : $548 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 3,8 fois le module,
- 12 mai : $1030 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 7,3 fois le module,
- 13 juin : $771 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 5,2 fois le module.

Au final, le régime hydrologique des 2 rivières aura été assez proche tout au long de l'étude, pour une hydrologie atypique alternant des débits plancher et l'enchaînement de coups d'eau remarquables tout au long du suivi.

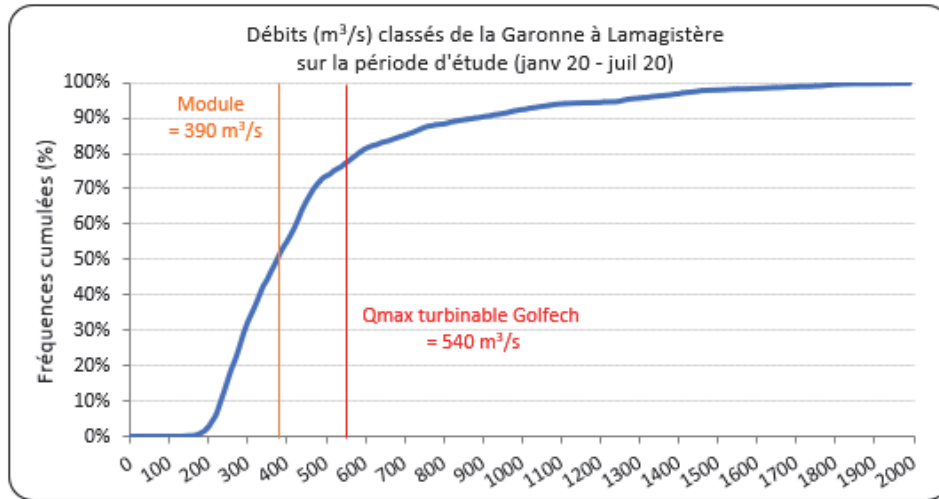


Figure 15 : Débits classés de la Garonne à Lamagistère pendant la période d'étude

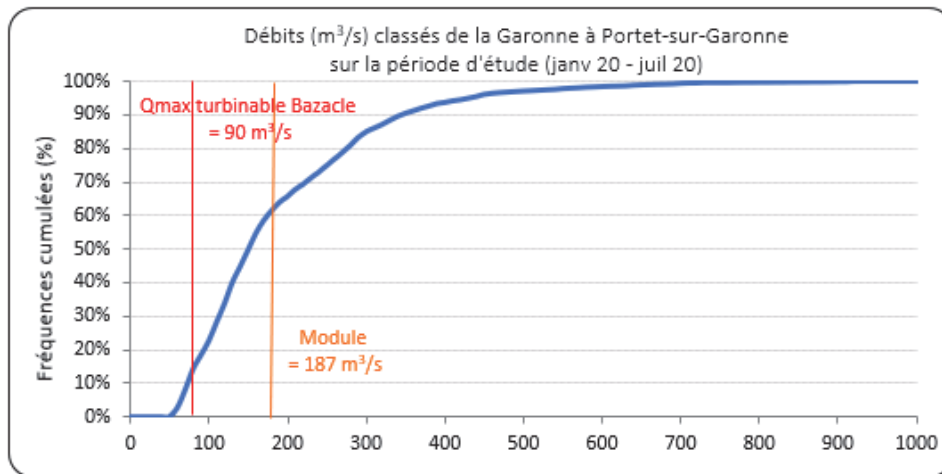


Figure 16 : Débits classés de la Garonne à Portet-sur-Garonne pendant la période d'étude

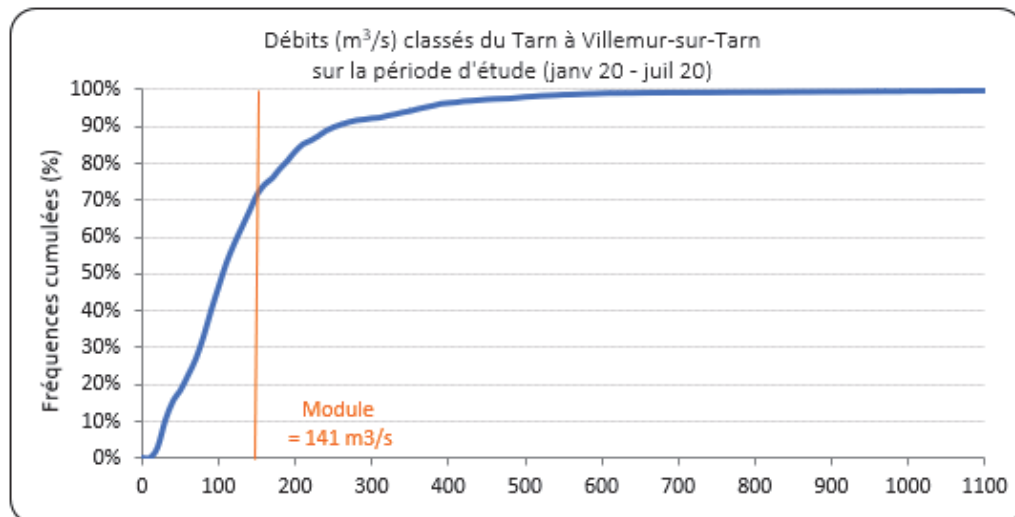


Figure 17 : Débits classés du Tarn à Villemur-sur-Tarn pendant la période d'étude

Le module de la Garonne à Lamagistère est de 390m³/s. Cette valeur a été dépassée 47 % du temps d'étude (Figure 15). Les débits à Lamagistère ont été inférieurs au maximum turbinable à l'usine de Golfech 76 % du temps, ce qui signifie que 24 % 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) 36 % du temps (Figure 16). Les débits à Portet-sur-Garonne ont été supérieurs au maximum turbinable à l'usine du Bazacle 82 % du temps, ce qui signifie des déversements importants au niveau de la chaussée du Bazacle quasi tout au long de l'étude.

En ce qui concerne les débits du Tarn, ils ont été supérieurs au module (141 m³/s) 33 % du temps d'étude, ce qui est finalement peu (Figure 17).

5.2 Analyse de l'année 2020 par rapport aux chroniques historiques

Le débit moyen journalier lors du premier semestre 2020 est resté globalement inférieur à la moyenne des valeurs observées sur les cinquante dernières années (Figure 18). Celui-ci a été supérieur à la moyenne uniquement lors des 5 coups d'eau remarquables (07 mars ; 23 avril ; 12 et 16 mai ; 13 juin). On notera également que les coups d'eau du 07 mars et du 12 mai atteignent des valeurs maximales par rapport à l'ensemble de la chronique alors que les coups d'eau du 23 avril et du 13 juin sont plus modérés.

Afin de confirmer ces observations, la Figure 19 replace le rang de chaque débit moyen journalier de l'année 2020 par rapport aux 54 années comparées. On y remarque que les deux premiers coups d'eau cités (07 mars et 12 mai) ont respectivement les 53^{ème} et 54^{ème} rang soit les plus importants pics enregistrés à ces dates sur la chronique. Les pics du 23 avril et 13 juin ont respectivement les 49^{ème} et 50^{ème} rang, c'est-à-dire qu'ils font partie des 5 plus grandes valeurs de débits enregistrées à ces dates.

Ce qu'il est également important d'observer sur la Figure 19, c'est l'intensité des coups d'eau avec le rapport entre le débit plancher avant les coups d'eau et le débit maximal de ces coups d'eau. Pour le premier coup d'eau du 07 mars, on part d'un débit plancher au rang 5 le 24 février, puis pour le coup d'eau du 23 avril, un débit plancher au rang 3 le 16 avril. Concernant le coup d'eau du 12 mai, le débit plancher est de rang 14 le 10 mai et enfin, pour le coup d'eau du 13 juin, le débit plancher est de rang 2 au 02 juin.

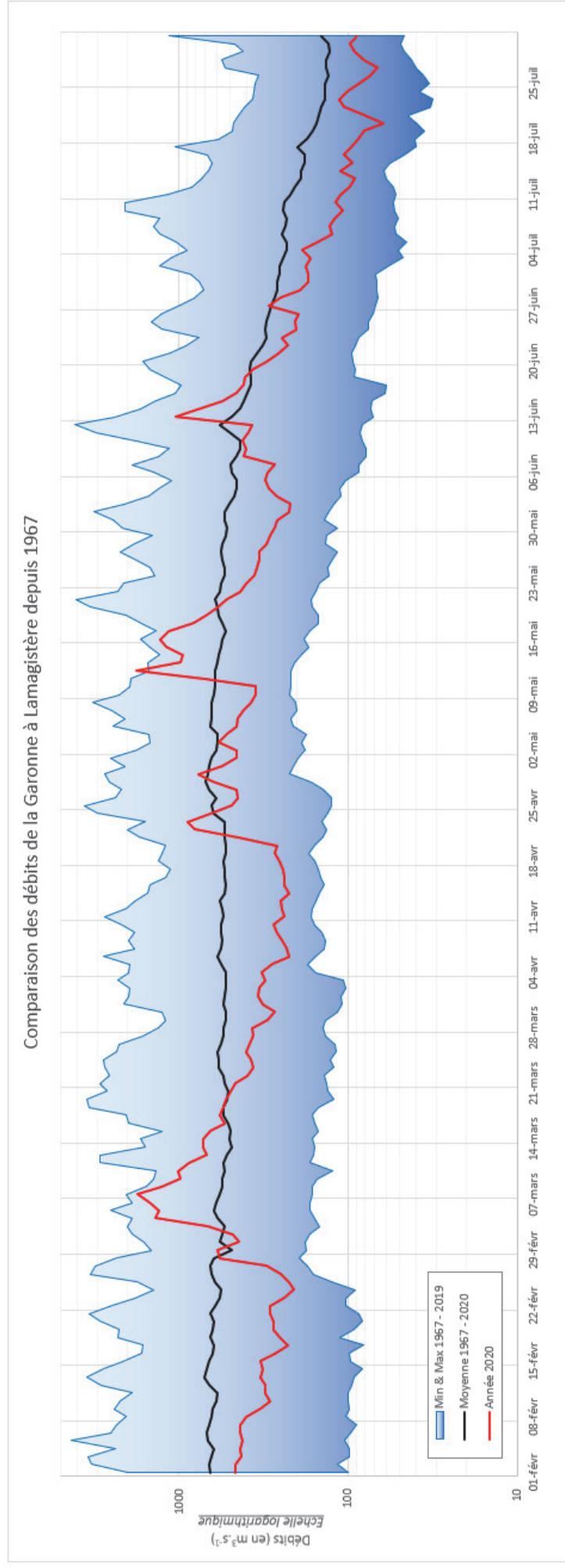


Figure 18 : Comparaison des débits de la Garonne à Lamagistère depuis 1967

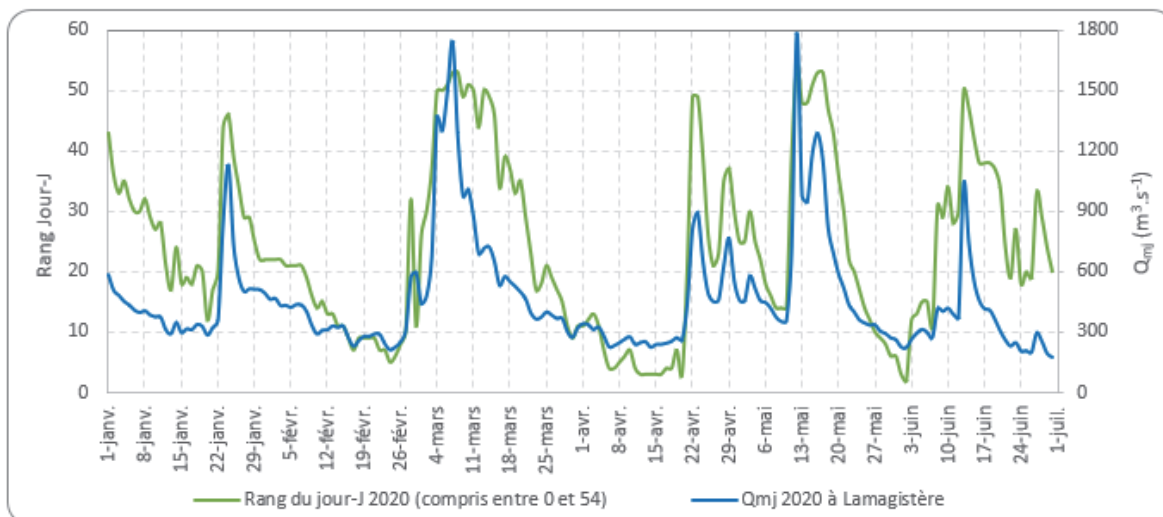


Figure 19 : Evolution du rang du jour J en 2020 comparé aux 53 dernières années (période 1967-2020)

Cela signifie que les coups d'eau majeurs de ce premier semestre 2020 font partie des plus importants sur la période de suivi et que l'intensité de ces derniers est accentuée par les faibles débits enregistrés les jours et semaines précédant les pics. Le phénomène de récurrence également, avec 6 coups d'eau majeurs en 6 mois, fait entrer le premier semestre 2020 et la période de suivi dans une année atypique à l'hydrologie particulièrement contrastée.

5.3 Température de l'eau

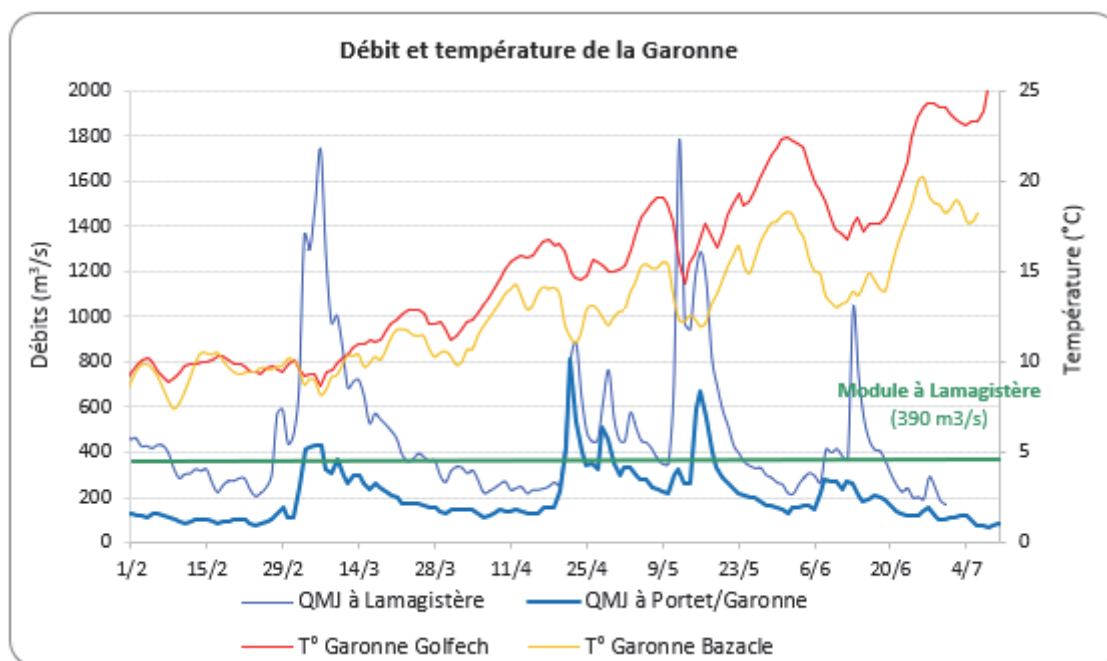


Figure 20 : Hydrologie et thermie de la Garonne au cours du suivi 2020

Pour les températures, l'eau de la Garonne a dépassé les 10°C à la moitié du mois de mars et a augmenté progressivement pour atteindre 15°C à partir de la mi-avril. Les coups d'eau rencontrés en avril et en mai ont légèrement ralenti cette augmentation mais la température

de l'eau a atteint les 20°C à partir de la fin du mois de mai au niveau de Golfech alors que cette température ne sera jamais dépassée au Bazacle jusqu'au début du mois de juillet.

6. RESULTATS AUX STATIONS DE CONTROLE ET PIEGEAGE

6.1 Station de contrôle de Golfech

6.1.1 Le saumon atlantique

L'année 2020 a vu l'enregistrement de 168 individus de saumon atlantique à la station de contrôle vidéo de Golfech. Les deux premiers individus ont été contrôlés le 13 février 2020 pour une température de l'eau proche de 10°C. La migration n'a pas été continue et régulière tout au long de la saison. On peut caractériser 3 périodes distinctes : du 13 février (date des premiers poissons contrôlés) au 31 mars avec 17 saumons filmés, soit une moyenne de 0,35 ind./jr, puis du 1^{er} au 23 avril avec 112 individus comptabilisés, soit 4,8 ind./jr et enfin la période du 24 avril au 31 juillet avec 35 poissons contrôlés, soit une moyenne de 0,37 ind./jr. On notera au mois d'avril un pic journalier le 12/04 avec 15 saumons contrôlés et 35 poissons entre le 10 et le 12 avril.

Le coup d'eau du 23 avril (environ 900 m³.s⁻¹), cumulé à ceux des 12 et 16 mai (environ 1800 m³.s⁻¹ et 1300 m³.s⁻¹), semblent avoir stoppé la dynamique de migration.

Concernant le devenir des poissons, il était prévu initialement de transporter ceux non marqués pour l'étude sur la rivière Ariège. En 2019, 100 saumons ont ainsi été transférés sur l'Ariège et 6 ont rejoint le centre de reconditionnement de Bergerac en Dordogne, soit 75 % du stock contrôlé. En raison de la crise sanitaire liée à la COVID-19, l'effort de piégeage prévu en 2020 pour le transfert des poissons sur l'Ariège n'a pas pu être mis en place comme initialement prévu. Au final, seulement 16 poissons sur les 168 contrôlés à Golfech ont été capturés et déversés sur l'Ariège, principalement en fin de saison de migration (15 individus sur 16 prélevés entre le 28 mai et le 26 juin). Aucun poisson n'a rejoint le centre de reconditionnement de Bergerac lors du suivi 2020 et 1 individu est mort après piégeage.

Avec 168 individus, ce nombre de saumons contrôlés en 2020 est relativement important comparé aux précédentes années et représente la meilleure année de migration depuis 2015. Le Tableau 8 récapitule les effectifs de saumon contrôlés à la station de Golfech depuis 1993.

année	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
effectif	168	141	77	86	149	219	142	51	133	165	100
année	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999
effectif	71	204	150	128	45	126	86	351	599	436	255
année	1998	1997	1996	1995	1994	1993					
effectif	90	62	115	117	134	46					

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

6.1.2 Le silure

Le contrôle des migrations des espèces amphibiotiques a permis de mettre en évidence sur la station de contrôle une activité migratoire parfois intense chez les espèces holobiotiques. En 2020, la population de silures à Golfech reste très significative avec 774 individus contrôlés alors même que l'ascenseur à poissons a été arrêté à de nombreuses reprises, notamment pendant la période de migration.

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

Ainsi, depuis 2016, un protocole d'enlèvement des silures à Golfech a été mis en place afin de limiter leur présence dans le dispositif de franchissement et donc leur impact, tout en garantissant un fonctionnement optimal du dispositif pour la migration des autres espèces. L'ensemble des évolutions du protocole et de cette gestion sont à retrouver dans BOUYSSONNIE et al. (2021) mais il faut retenir 1) que le canal de transfert est vidangé de manière régulière sur la période 15 mars-15 juin, 2) que les silures capturés lors de ces vidanges sont évacués du canal de transfert et placés en stabulation avant d'être donnés à des pêcheurs professionnels habilités à les valoriser et 3) que la mise en place d'un système anti-retour au niveau de la grille située à l'amont du canal de transfert, permet le passage de tous les poissons dans le sens aval-amont et empêche les silures de l'emprunter dans le sens amont-aval.

	Effectif saumon atlantique	Effectif silure	Nombre vidanges canal transfert	Période vidanges	Nombre silures capturés	% silure capturés / effectif total
2017	86	550	52	mars - juin	67	12%
2018	77	409	35	18 avril - 11 juillet	47	11%
2019	141	581	35	01 avril - 26 juin	52	9%
2020	168	774	8	12 mai - 15 juillet	14	2%

Tableau 9 : Bilan des passages annuels de saumon atlantique et de silures à Golfech et bilan des vidanges du canal de transfert depuis 2017

En 2020, les opérations de gestion du silure dans le canal de transfert se sont déroulées du 12 mai au 15 juillet (Tableau 9). En raison de la crise sanitaire liée à la covid-19, les vidanges n'ont pas pu débuter au 15 mars, comme initialement prévu (autorisation par arrêté préfectoral du 15 mars au 15 juillet 2020). En effet, les équipes de MI.GA.DO. ont fonctionné en effectifs réduits du fait du confinement imposé entre le 17 mars et le 11 mai.

Entre le 12 mai et le 15 juillet, seulement 8 vidanges du canal de transfert ont été effectuées et 14 silures ont été capturés et valorisés par les pêcheurs professionnels sur les 774 individus ayant empruntés le dispositif de franchissement, soit environ 2 % des individus.

Cependant, la migration du saumon atlantique en 2020, susceptible d'être impactée par la présence du silure, a été également fortement influencée par les débits de la Garonne. En effet, 78 % des passages de saumons (130 individus sur 168) ont été observés avant la crue du 22 avril. Dans le même temps, « seulement » 144 silures ont été contrôlés (Figure 21). Pendant cette période, la très grande majorité de ces silures n'a fait que transiter par le canal de transfert en sortant très rapidement du dispositif de franchissement la nuit. Sur ces 144 silures, seulement 2 individus ont fait de nombreux allers- retours dans le canal de transfert à partir du 20 avril dont 1 ayant probablement prédaté un saumon marqué pour la réalisation de ce suivi. Ainsi, une vidange a été réalisée exceptionnellement le 24/04 pour sortir du système de franchissement les silures perturbateurs identifiés.

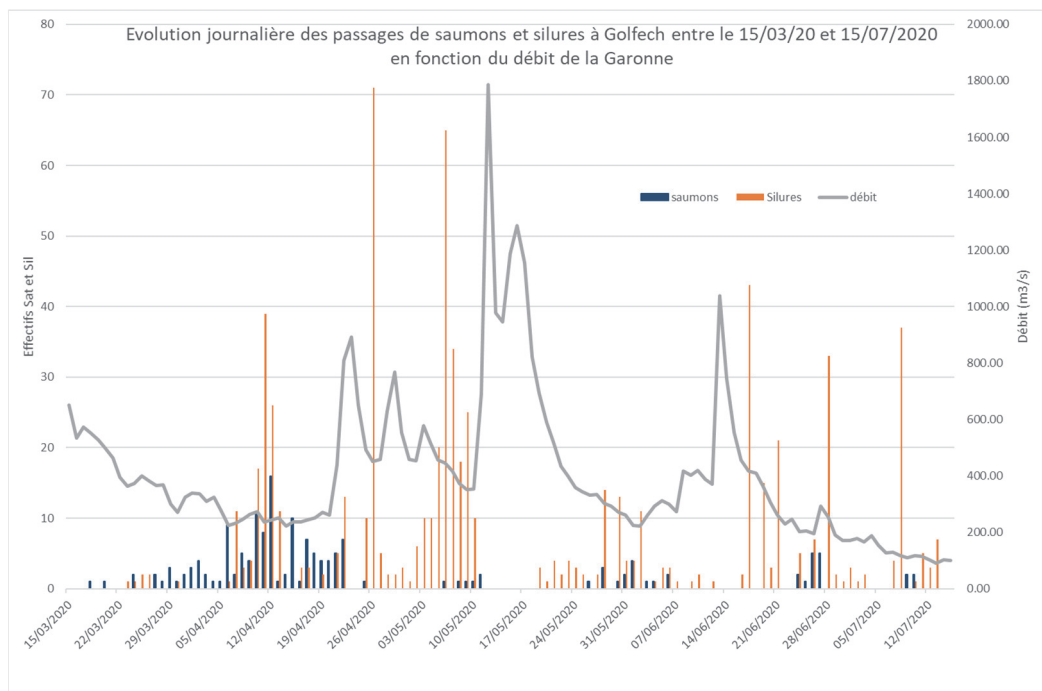


Figure 21 : Evolution des passages de saumons et silures à Golfech entre le 15 mars et le 15 juillet 2020 en fonction du débit de la Garonne (Bouyssonnie et al., 2021)

6.1.3 Fonctionnement de l'ascenseur à poissons de Golfech

Concernant le fonctionnement du dispositif de franchissement de Golfech en 2020, sur la période principale de migration au niveau du site (15 février-15 juillet), l'ascenseur à poissons a fonctionné 80 % du temps théorique (2918,5h sur 3648h). Les arrêts de l'ascenseur sont systématiquement consignés et classés selon 4 classes : Crue, Entretien, Volontaire et Panne. Certains arrêts, comme les crues, sont inévitables et sont le fait même de la conception de l'ouvrage de franchissement, calé pour fonctionner jusqu'à des débits atteignant 2 fois le module (environ 900 m³/s à Golfech).

Au cours de ce suivi 2020, de nombreux coups d'eau ont été rencontrés et ont ainsi entraîné des arrêts de l'ascenseur à poissons entre mars et juin. Ces crues n'ont pas été de très forte intensité (1700 m³.s⁻¹ le 7 mars, 1000 m³.s⁻¹ le 23 avril, 1700 m³.s⁻¹ le 12 mai, 1040 m³.s⁻¹ le 13 juin) mais ont perturbé le fonctionnement de l'ouvrage de franchissement avec au total 437h d'arrêt associées aux crues pendant la période de migration, soit 12 %.

La seconde cause d'arrêt de l'ascenseur (8 % sur la période de migration) est liée à la gestion du complexe Malause-Golfech et de la centrale nucléaire à proximité. Les faibles débits observés à partir du 13 juillet (< = 80 m³.s⁻¹), couplés aux fortes températures de l'eau (> 26°C) ont posé de gros problèmes de gestion des dispositifs de franchissements car, à cette époque de l'année, le débit réservé dans le tronçon court-circuité de Golfech est de 40 m³.s⁻¹. Mais en parallèle, le débit minimum turbinable à l'usine est de 35-40 m³.s⁻¹ et le débit minimum dans le canal de fuite doit être de 10 m³.s⁻¹ pour pallier les contraintes de pompage de la centrale nucléaire. Ainsi, lorsque le débit entrant est inférieur à 80 m³.s⁻¹, le débit pouvant transiter jusqu'à l'usine n'excède pas 40 m³.s⁻¹ et est insuffisant pour transiter par une turbine alors même que 10 m³.s⁻¹ doivent alimenter le canal de fuite. Cette situation est récente (2019) puisqu'avant cette date, le débit réservé était de 20 m³.s⁻¹. Il a donc été décidé, dans un premier temps, de délivrer les 10 m³.s⁻¹ par le clapet de l'ascenseur à poissons, dégradant de fait son fonctionnement mais également l'attractivité de la passe à anguilles.

Après discussions entre MI.GA.DO. et le personnel E.D.F. de l'usine hydroélectrique, ces 10 m³.s⁻¹ ont été délivrés quelques nuits par semaine par le clapet de décharge de l'usine pour

permettre de faire fonctionner correctement les ouvrages de franchissement (ascenseur et passe à anguille). Cependant, ce clapet est un organe de sécurité de l'usine et n'est pas adapté « en routine » à cette utilisation, nécessitant une veille de la part du personnel E.D.F. Une solution pérenne, ne dégradant pas le fonctionnement des dispositifs de franchissement, devra être trouvée à l'avenir.

6.2 Station de contrôle du Bazacle

En 2020, 60 saumons ont été enregistrés au total comme franchissant l'ouvrage du Bazacle, dont 4 poissons radiomarqués. C'est le nombre le plus important sur ce site depuis 2008 avec 73 saumons. Le premier individu a été contrôlé le 29 février 2020 pour une température de l'eau proche de 10°C. Comme pour la station de Golfech, le rythme des franchissements a été très hétérogène au cours de la saison de migration. Entre le 29 février et le 31 mars, 1 seul saumon a été contrôlé, soit une moyenne de 0,03 ind./jr. Du 1^{er} avril au 23 avril, 42 poissons ont été filmés, soit une moyenne de 1,8 ind./jr. Enfin, du 24 avril au 31 juillet, seuls 17 poissons ont été contrôlés soit 0,18 ind./jr. Le 20 avril, un maximum de 6 saumons a été contrôlé pendant la même journée.

En parallèle du contrôle des saumons, 31 individus de silure ont été observés à la station du Bazacle au cours de l'année 2020 (21 en 2019, 58 en 2018 et 30 en 2017).

En connaissant le nombre de saumons à l'amont de l'ouvrage de Golfech et le nombre d'individus contrôlés au Bazacle, il est possible de calculer le taux de transfert entre les 2 ouvrages. En 2020, 60 saumons ont été contrôlés au Bazacle sur les 152 passés à l'amont de Golfech (c'est-à-dire non piégés et transportés sur l'Ariège), soit un taux de transfert de 39 %. Le Tableau 10 reprend l'évolution du taux de transfert des saumons entre Golfech et l'amont du Bazacle. Le taux de transfert moyen varie de 13 % à 53 %, avec une moyenne de 29 % sur la période 1994-2019. En 2020, ce taux de 39 % est légèrement supérieur à la moyenne et reste le meilleur depuis 2008, si l'on excepte 2016 et ses 44% mais avec seulement 84 individus à Golfech.

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

Tableau 10 : Evolution du taux de transfert des saumons sur la Garonne entre Golfech et le Bazacle entre 1994 et 2020

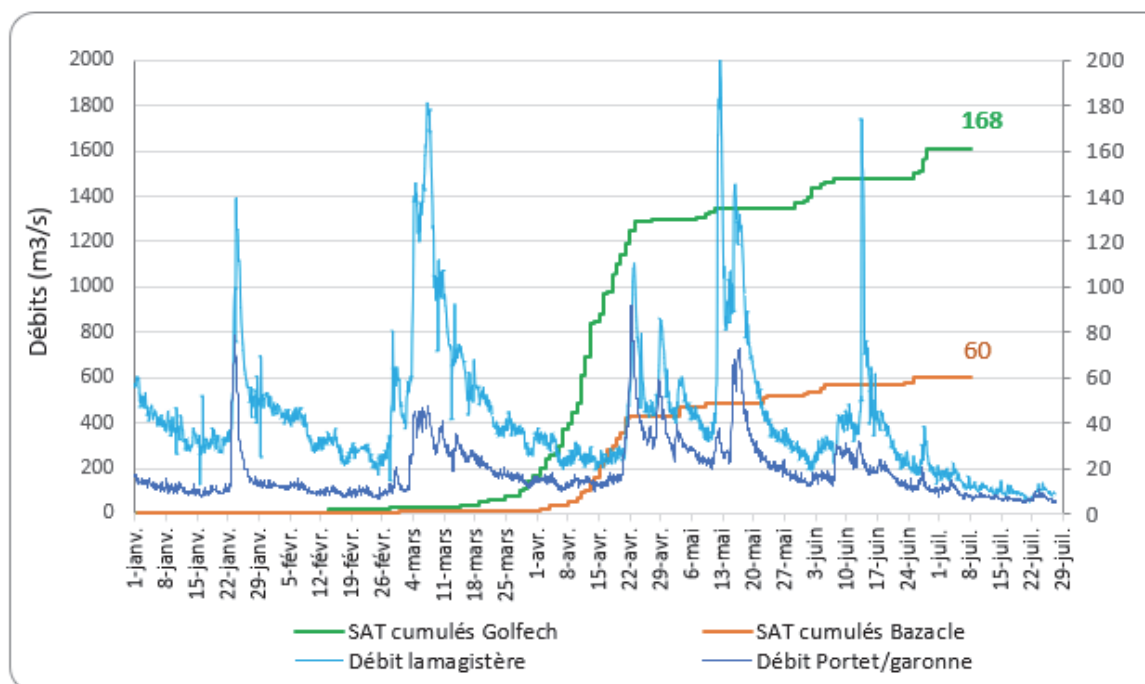


Figure 22 : Effectifs cumulés de saumons Atlantique contrôlés aux stations de Golfech et du Bazacle

La Figure 22 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). On y observe une allure de courbe proche mais avec des effectifs différents. Jusqu'au 20 avril environ, la progression des effectifs est forte et similaire sur les deux stations mais avec logiquement un décalage dans le temps de 2 semaines (40 individus contrôlés au 07 avril à Golfech, chiffre atteint le 20 avril au Bazacle). A partir de cette date et du coup d'eau du 23 avril, la progression de la courbe des effectifs est très ralentie et ce au niveau des 2 stations de contrôle. Il faudra attendre plusieurs semaines (début juin) pour une reprise plus significative à Golfech alors que la progression restera peu marquée au Bazacle.

L'écart entre les 2 stations est de 78 individus le 20 avril, il est supérieur à 100 à la fin du mois de juillet.

6.3 Données du piégeage

Au cours de l'année 2020, 168 saumons au total ont été recensés à la station de contrôle de Golfech. La campagne de piégeage mise en place au cours de ce suivi a permis de capturer 18 d'entre eux (soit 11 % des individus passés à Golfech), entre les mois d'avril et juin. La majorité des marquages a été effectuée au mois d'avril (15 sur 18, soit 83 %). Parmi les 18 saumons, seul le dernier, capturé le 04 juin est un castillon (1 hiver de mer) de 67 cm. En raison de la baisse des débits et de l'augmentation de la température de l'eau, il a été décidé de ne pas poursuivre les piégeages pour marquages au-delà de cette date.

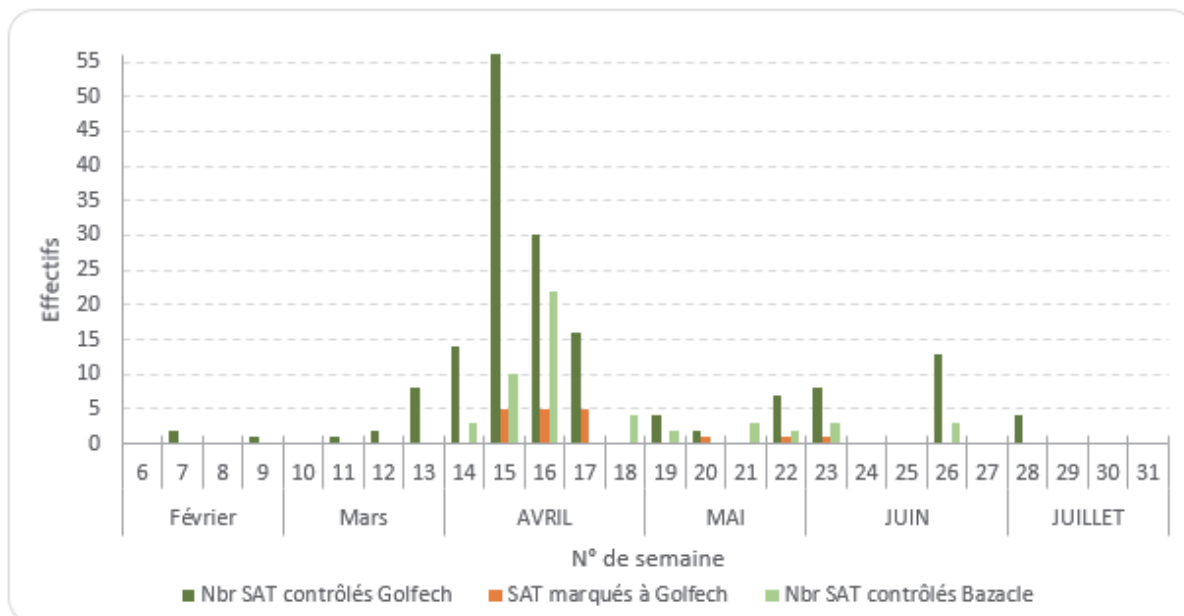


Figure 23 : Comparaison de la répartition hebdomadaire des passages de saumons à Golfech et au Bazacle avec la répartition des piégeages/marquages pour le suivi télémétrique

La Figure 23 et la Figure 24 montrent que la migration de saumons atlantique 2020 a été essentiellement concentrée sur le mois d'avril avec 71 % (120 sur 168) de l'effectif total contrôlé à Golfech et 65 % (39 sur 60) pour la station du Bazacle. Concernant les piégeages et les marquages de saumons, 15 saumons sur les 18 marqués au total, ont été équipés d'émetteur au mois d'avril. Globalement, les dates de marquage pour le suivi télémétrique correspondent aux périodes principales de contrôle des saumons à la station vidéo de Golfech.

Au total, les 18 poissons piégés ont été capturés sur 10 sessions de piégeage (Tableau 11), qui se sont déroulées pour des débits à Lamagistère compris entre 240 et 700 $m^3.s^{-1}$ (Figure 24). La majorité des poissons a été piégée sur des débits à Lamagistère stables, seuls 3 individus ont été piégés lors de hausses de débit : 2 poissons lors de la session du 21 avril (440 $m^3.s^{-1}$) et 1 poisson lors de la session du 11 mai (697 $m^3.s^{-1}$).

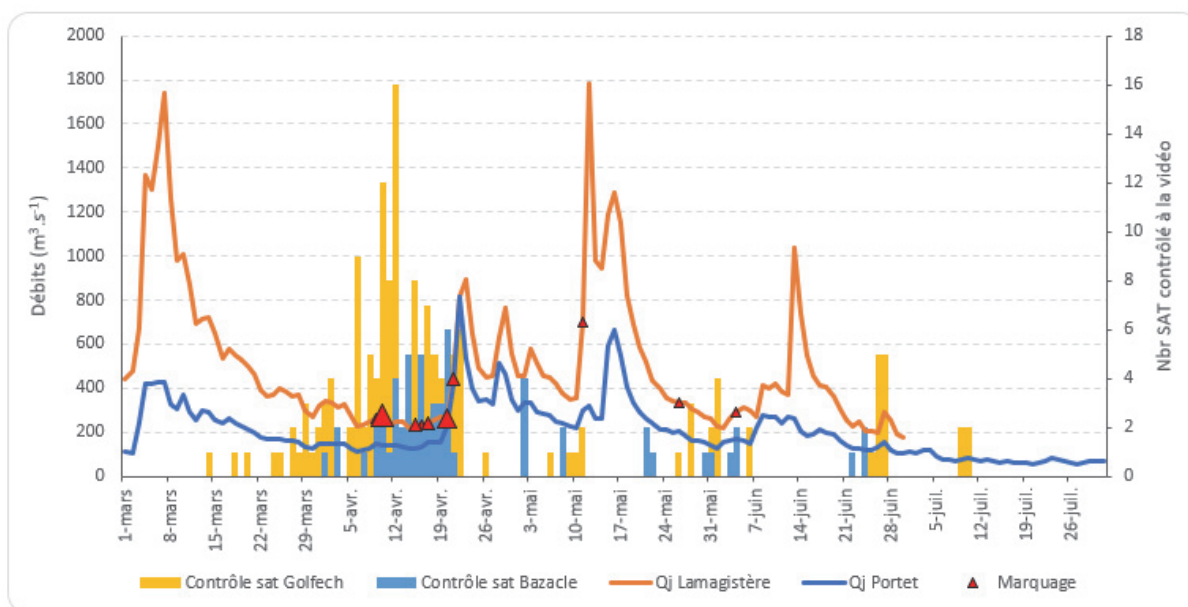


Figure 24 : Répartition des franchissements et des piégeage/marquages à Golfech, ainsi que des franchissements au Bazacle en fonction des débits de la Garonne

Le détail de la Figure 25 montre que 75 % des piégeages et des contrôles vidéo ont été réalisés pour des débits à Lamagistère inférieurs à 350 m³.s⁻¹ et que la majeure partie d'entre eux ont été effectués pour des débits proches de 300 m³.s⁻¹. Concernant les débits journaliers du premier semestre, 50 % sont compris entre 250 m³.s⁻¹ et 500 m³.s⁻¹ avec un maximum journalier enregistré de 1783 m³.s⁻¹ (le 12 mai 2020) ce qui exprime une grande hétérogénéité des débits sur cette période.

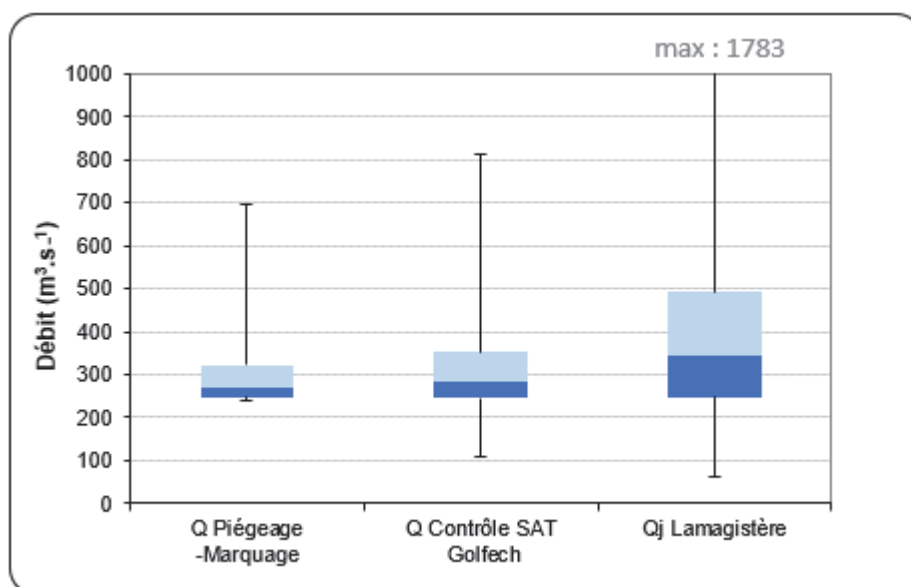


Figure 25 : Répartition des débits de piégeage et de contrôle à la vidéo des saumons par rapport au débit de Lamagistère (1^{er} janv. au 31 juil.)

N° poisson	Date	Code lot	Tag radio		Tag acoustique non prédaté	Tag acoustique prédaté	Tag RFID	Date et heure lâcher	Lieu de lâcher	Taille (en cm)
			Freq.	Code						
SAT_1	09/04/2020	SAT20GAR0	48931	0	52288	52289	8000F9EE941A7404	09/04/2020 19:15	Canal transfert Golfech	85
SAT_2	10/04/2020	SAT20GAR1	48931	1	52290	52291	8000F9EE941A756F	10/04/2020 10:00	Canal transfert Golfech	77
SAT_3	10/04/2020	SAT20GAR2	48931	2	52292	52293	8000F9EE941D9386	10/04/2020 10:00	Canal transfert Golfech	73
SAT_4	10/04/2020	SAT20GAR3	48931	3	52294	52295	8000F9EE941A795A	10/04/2020 10:00	Canal transfert Golfech	80
SAT_5	10/04/2020	SAT20GAR4	48931	4	52296	52297	8000F9EE941A79D0	10/04/2020 10:00	Canal transfert Golfech	81
SAT_6	15/04/2020	SAT20GAR5	48931	5	52298	52299	8000F9EE941D942A	15/04/2020 15:30	Canal transfert Golfech	76
SAT_7	15/04/2020	SAT20GAR6	48931	6	52300	52301	8000F9EE941A79CE	15/04/2020 15:30	Canal transfert Golfech	78
SAT_8	16/04/2020	SAT20GAR7	48931	7	52302	52303	8000F9EE941A8DD1	16/04/2020 09:30	Canal transfert Golfech	70
SAT_9	17/04/2020	SAT20GAR9	48931	9	52304	52305	8000F9EE941A74F8	17/04/2020 12:15	Canal transfert Golfech	83
SAT_10	17/04/2020	SAT20GAR10	48931	10	52306	52307	8000F9EE941A7953	17/04/2020 21:00	Canal transfert Golfech	78
SAT_11	20/04/2020	SAT20GAR12	48931	12	52308	52309	8000F9EE941A77B5	20/04/2020 08:30	Canal transfert Golfech	75
SAT_12	20/04/2020	SAT20GAR30	48931	30	52310	52311	8000F9EE941A7697	20/04/2020 17:45	Canal transfert Golfech	78
SAT_13	20/04/2020	SAT20GAR51	48931	51	52314	52315	8000F9EE941A7A7D	20/04/2020 19:15	Canal transfert Golfech	81
SAT_14	21/04/2020	SAT20GAR33	48931	33	52312	52313	8000F9EE941A72F3	21/04/2020 09:00	Canal transfert Golfech	78
SAT_15	21/04/2020	SAT20GAR58	48931	58	52316	52317	8000F9EE941A8E3D	21/04/2020 09:00	Canal transfert Golfech	81
SAT_16	11/05/2020	SAT20GAR52	48931	52	52318	52319	8000F9EE941A799E	11/05/2020 10:45	Canal transfert Golfech	75
SAT_17	26/05/2020	SAT20GAR53	48931	53	52384	52385	8000F9EE941D92F7	26/05/2020 18:35	Canal transfert Golfech	76
SAT_18	04/06/2020	SAT20GAR25	48931	25	52386	52387	8000F9EE941A7457	04/06/2020 08:40	Canal transfert Golfech	67

Tableau 11 : Synthèse des poissons piégés et marqués à Golfech au cours du suivi 2020

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 26). 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 Garonne, Tarn et 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).

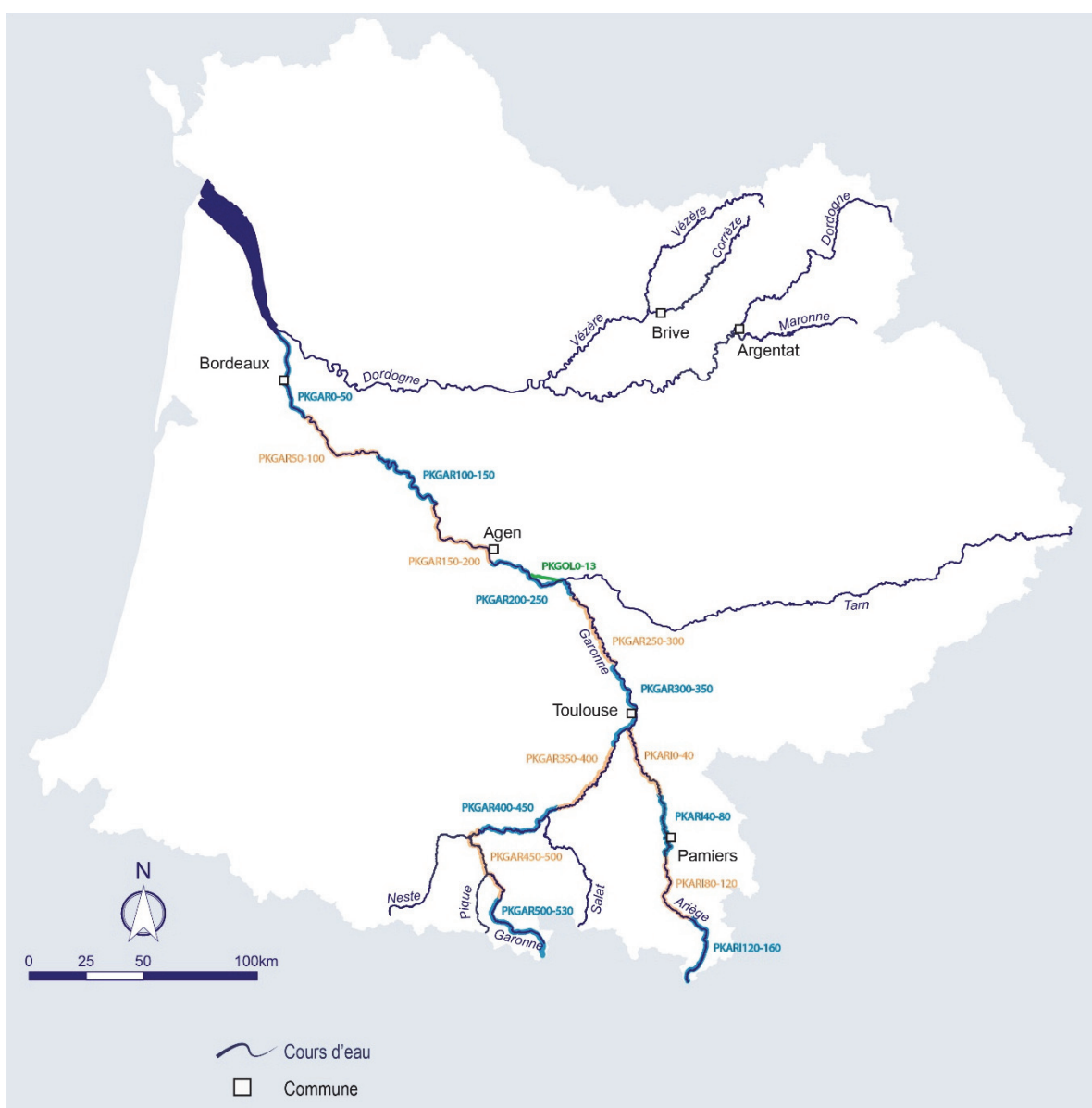


Figure 26 : Cartographie des différents secteurs et les différents codes utilisés dans l'analyse du devenir des individus marqués (points kilométriques)

7.1 Devenir des 18 saumons marqués

18 saumons ont été capturés à l'aide du piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur à poissons de Golfech. Ces 18 saumons ont tous été marqués avec 3 types d'émetteurs (radio, acoustique et RFID), comme expliqué au paragraphe 4.2.2. et relâchés dans le canal de transfert de l'ascenseur. Pour rappel, les marquages de poissons se sont étalés entre le 09 avril 2020 et le 04 juin 2020. Le suivi de ces poissons a été effectué pour la majorité jusqu'au début de l'automne.

Parmi ces 18 individus marqués, un poisson n'est jamais ressorti du canal de transfert. Il s'agit du poisson avec le tag radio **48931_10**. Ce poisson, marqué le 17 avril, a des mouvements de va et vient dans le canal de transfert enregistrés jusqu'au 22 avril. Le poisson a été retrouvé dans ce canal lors d'une vidange le 24 avril. Il semble avoir subi l'attaque d'un silure puisqu'une seule partie du corps a été retrouvée non digérée, avec le tag radio à proximité sur le fond du canal. Après évacuation du silure du canal de transfert, le tag prédation acoustique n'a plus été capté dans le canal de transfert.

Le poisson **48931_33** a perdu son tag acoustique dans le canal de transfert après son lâcher. Ce poisson a malgré tout pu être suivi grâce à son émetteur radio. Marqué le 21 avril, il a été détecté comme sorti du canal de transfert, puis pointé en suivi manuel à l'amont de l'usine de Golfech dans le canal d'amenée. Il semble ne pas avoir dépassé le pont de la D953. Ce poisson a été capté sans mouvement apparent à partir du 24 avril entre la sortie du canal de transfert et l'amont de l'usine. Le dernier pointage date du 02 octobre. Si le corps de ce poisson n'a jamais été retrouvé, il semble qu'il soit mort peu de temps après sa sortie du canal de transfert, sans que l'on puisse incriminer pour autant une prédation par un silure.

Ces 2 poissons ne seront pas intégrés au traitement global des données de suivi des poissons. L'analyse des déplacements se fera donc sur un total des 16 individus. On notera également un problème pour le mode opératoire concernant l'insertion des tags acoustiques, puisque, outre le poisson **48931_33**, nous avons observé une perte du tag acoustique pour les poissons **48931_12** et **48931_30**. Constaté en cours d'étude, des modifications ont été apportées au mode opératoire lors du marquage afin de s'affranchir de ces pertes de tag (cf. § 4.2.2). A ces problèmes de perte de tag s'ajoute également la non activation avant insertion des tags acoustiques pour les poissons **48931_03** et **48931_04**. Comme tous les poissons ont également été équipés de tags radio et RFID, il a été tout de même possible de suivre les mouvements et le devenir de ces 2 individus.

Parmi les 16 poissons marqués suivis, 100 % ont quitté le canal de transfert et 100 % ont emprunté le canal d'amenée reliant le barrage de Malause à l'usine de Golfech. Les résultats détaillés concernant ces poissons sont exposés à partir du paragraphe 7.2.2 et la Figure 27 représente la position finale de chaque individu suivi pendant la campagne 2020.

A la fin de la période de suivi (31/07/20), 13 saumons étaient encore détectés lors des tournées de suivi manuel (13 sur 16, soit 81 %). La dernière position connue de chaque individu est représentée sur la Figure 27. Ainsi, le poisson **48931_30** se situe dans le canal de fuite de l'usine de Golfech, au niveau de la prise d'eau du CNPE (*PK GOL_1,65*). Ce poisson est détecté au même endroit depuis le début du mois de mai (marqué le 20 avril) et avait atteint l'amont de la retenue de Malause avant de redévaler par le canal de fuite. Les poissons **48931_12** et **48931_07** se trouvent dans le tronçon court-circuité (respectivement *PK GAR_220,7* et *PK GAR_213,9*) après être passés en dévalaison par le barrage de Malause pour le premier ou par l'usine puis en remontant par le TCC pour le second.

L'émetteur **48931_09** est localisé dans la retenue de Malause, en aval du pont de St Nicolas de la Grave (*PK GAR_231,1*). Il est impossible de savoir s'il s'agit d'un poisson ou d'un émetteur mais seul le tag radio est détecté à cet endroit. Etant donné les cas d'expulsion de tag acoustique rencontrés sur d'autres individus, il n'est pas possible de vérifier s'il s'agit d'une prédation.

Aucun poisson ne semble s'être engagé sur le Tarn, et 4 ont fini leurs déplacements sur l'axe Garonne entre la retenue de Malause et Toulouse. Parmi ces 4 poissons, 2 n'étaient plus vivants : pour le **48931_02**, l'émetteur radio a été retrouvé au niveau de la confluence d'un petit affluent (l'Aussonnelle - *PK GAR_297,5*), mais sans trace du cadavre du poisson et pour le **48931_25**, le tag acoustique a été détecté au niveau de Castelferrus (*PK GAR_245,7*) avec le code prédation activé. Le poisson **48931_58** était pointé en fin de suivi dans la retenue de Malause (*PK GAR_234,2*) et le poisson **48931_06** en amont du pont de Grenade (*PK GAR_287,2*).

Enfin, parmi les 7 poissons ayant atteints l'aménagement du Bazacle, 3 poissons ont fini le suivi en aval du seuil (**48931_00**, **48931_03** et **48931_05**) (*PK GAR_313,6*). Le saumon **48931_04** a franchi le Bazacle puis s'est engagé sur l'Ariège (dernière détection à l'aval du premier seuil d'Auterive le 27 mai) avant de redévaler sur la Garonne pour finalement s'arrêter dans Toulouse entre les aménagements du Bazacle et du Ramier (*PK GAR_315,5*). Pour finir, un dernier poisson (**48931_53**) a passé Toulouse et s'est engagé sur la Garonne amont jusqu'au barrage de Carbonne. Ce poisson a été piégé au niveau de l'ascenseur prévu pour la montaison et a été transféré sur l'Ariège au niveau de Varilhes (*PK ARI_79,9*). Les 2 derniers poissons ont dévalé suite à un coup d'eau. Le poissons **48931_01**, qui a effectué une tentative d'entrée dans la passe à bassins du Bazacle sera retrouvé quelques jours plus tard en aval de l'aménagement de Golfech (*PK GOL_2,2*) avant de ne plus être retrouvé en suivi manuel. Le poisson **48931_02**, qui a réussi à franchir la passe à bassins du Bazacle, sera également détecté quelques jours plus tard à une dizaine de kilomètres en aval de Toulouse (*PK GAR_297,5*).

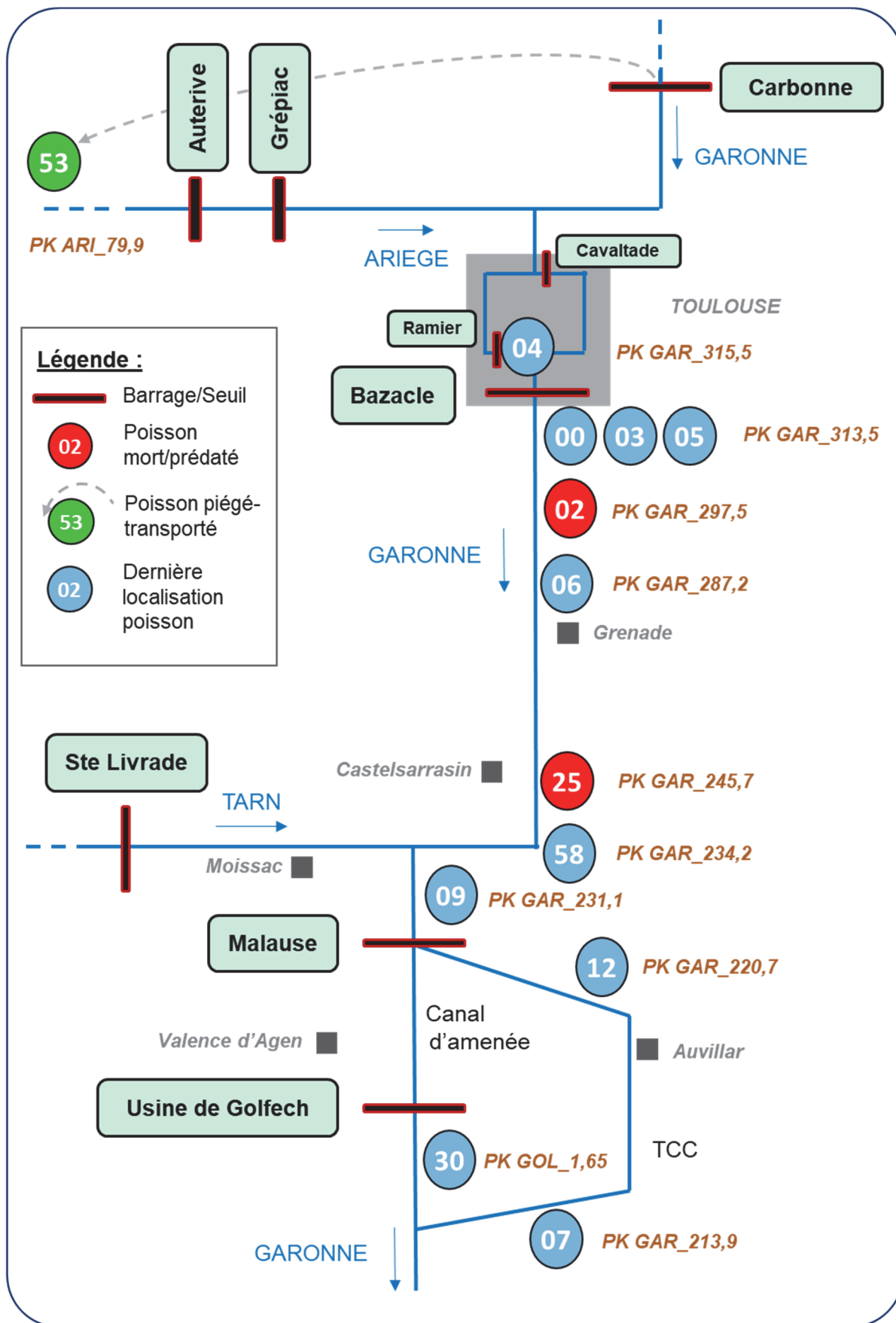


Figure 27 : Schéma bilan de la dernière position connue des saumons radiomarqués

7.2 Comportement des saumons au niveau du complexe Golfech-Malause Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech

7.2.1 Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech

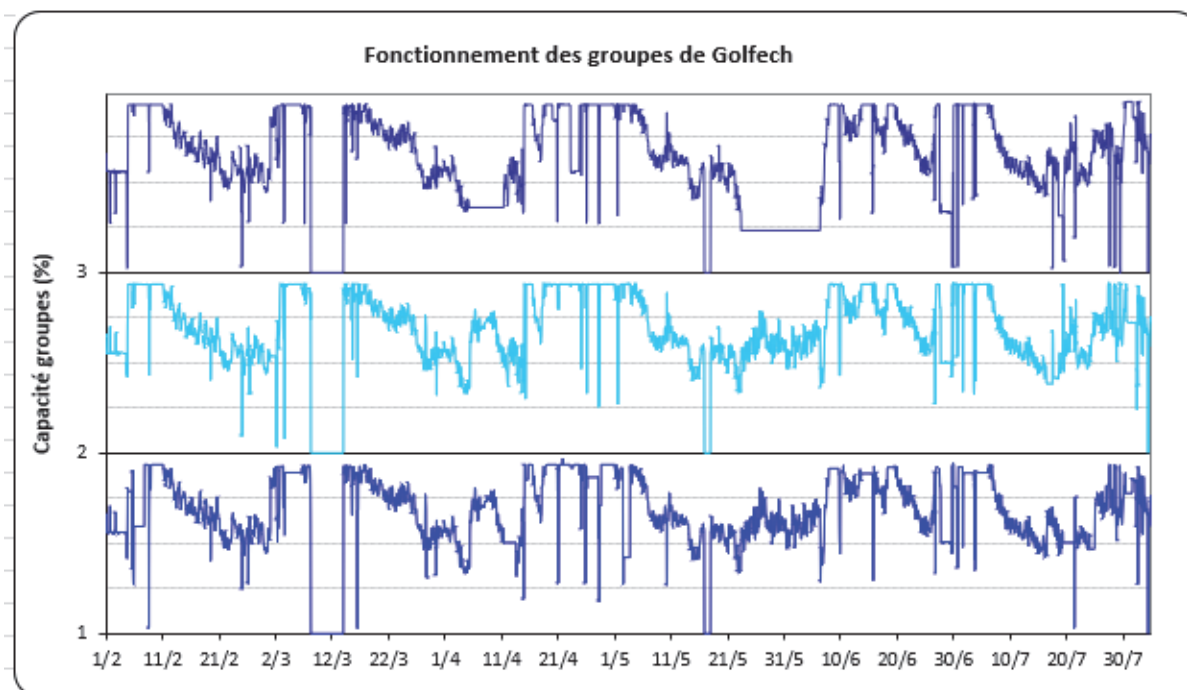


Figure 28 : Fonctionnement des 3 groupes de l'usine hydroélectrique de Golfech durant la saison de migration 2020

Lors de ce suivi 2020, les 3 groupes de l'usine étaient disponibles et ont fonctionné normalement et simultanément. Sur la période observée (février à juillet), deux arrêts majeurs d'usine ont été recensés lors des 2 plus forts coups d'eau : le premier coup d'eau du 07 mars avec un arrêt de 6 jours entre le 08 et le 14 mars et le second coup d'eau du 16 mai avec un arrêt lors de la journée du 17 mai (Figure 28). Lors des autres coups d'eau, l'usine a subi des ralentissements mais pas d'arrêt complet.

Les configurations à 3 groupes représentent plus de 96 % du temps de fonctionnement sur la période de suivi et les arrêts d'usine représentent moins de 4 % du temps total (Figure 29). Les configurations à 1 et 2 groupes n'ont quasi pas été rencontrées lors de ce suivi. Concernant le suivi des poissons par télémétrie, l'ensemble des poissons marqués ont été relâchés alors que l'usine fonctionnait avec 3 groupes.

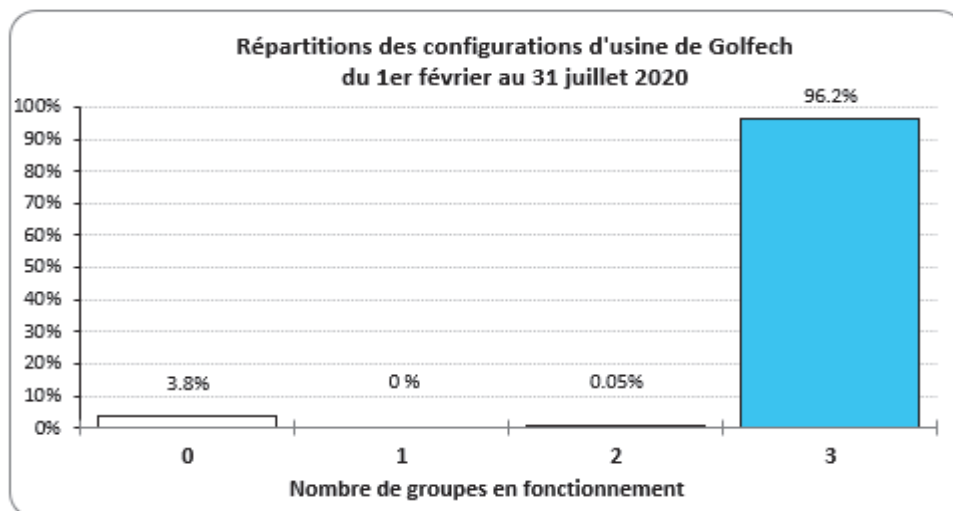


Figure 29 : Répartition des configurations d'usine à Golfech en fonction du nombre de groupes en fonctionnement

Le débit moyen horaire turbiné sur la période étudiée en 2020 est compris entre 128 m³/s et 511 m³/s. Les débits inférieurs à 250 m³.s⁻¹ turbinés ne représentent que 10 % du temps d'étude (Figure 30) et l'usine a turbiné des débits supérieurs au module pendant 42 % du temps. Les débits turbinés supérieurs à 500 m³.s⁻¹ ne représentent que 9 % du temps.

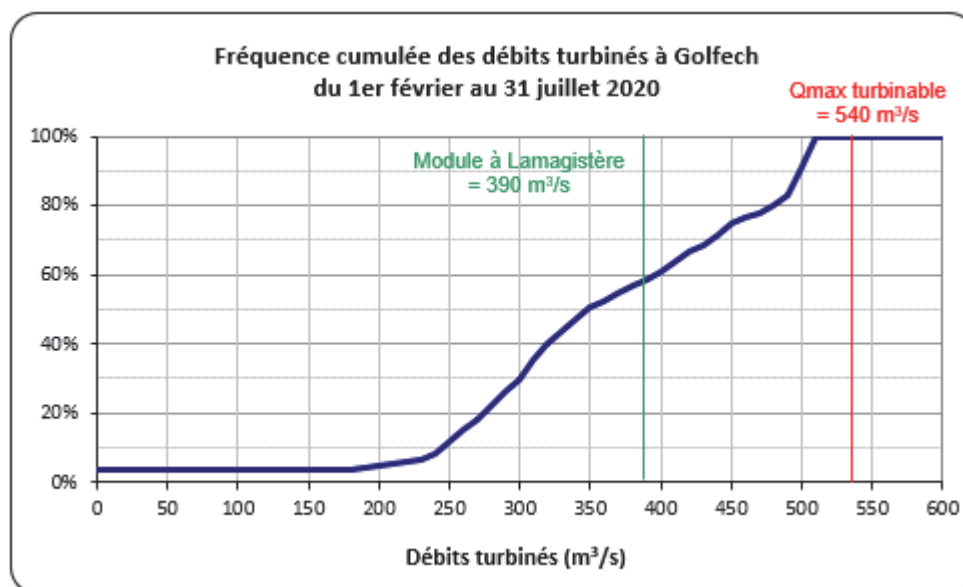


Figure 30 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés à Golfech

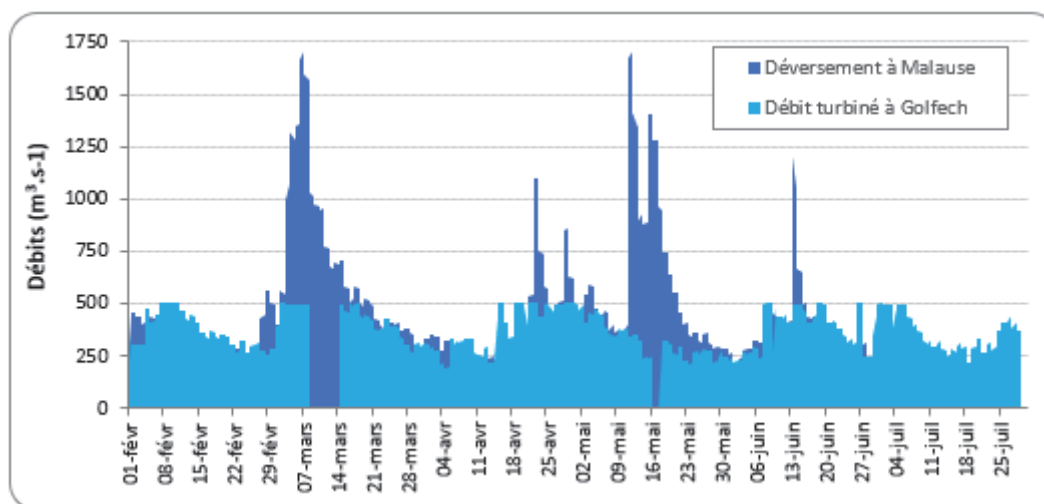


Figure 31 : Représentation des jours de déversement au barrage de Malause

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 31.

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 est alors réalisé par l'un des clapets du barrage. Lorsque le débit de la Garonne devient supérieur au débit turbinable de l'usine, l'excédent est alors réparti sur les vannes du barrage. Lorsque les débits entrants augmentent de manière importante, ce sont d'abord les clapets du barrage de Malause qui évacuent en surface (chacun peut évacuer 175 m³/s). Ensuite, ce sont les vannes segments qui prennent le relais. Cela signifie que pour les débits déversés faibles à moyens, les déversements à Malause s'effectuent en surface par les clapets et que seuls les plus forts débits sont évacués par le fond via les vannes segment.

Les périodes de déversements à Malause ont été relativement importantes lors de ce suivi, puisque les débits supérieurs au débit d'équipement de l'usine (540 m³/s) ont représenté 19,5 % du temps de suivi (Figure 31). Les déversements ont été très hétérogènes sur l'ensemble du suivi, allant de quelques dizaines de mètres cubes à un débit moyen horaire de 1683 m³.s⁻¹ le 12 mai. C'est pendant les coups d'eau du 07 mars et du 12 au 16 mai que les déversements ont été les plus importants en raison de l'amplitude de débit et des arrêts d'usine. Lors du coup d'eau du 07 mars, les débits transitant dans le TCC ont été supérieurs à 500 m³.s⁻¹ à partir du 04 mars et jusqu'au 14 mars avec un pic moyen horaire de 1410 m³.s⁻¹ le 07 mars. Pour la crue du 12 mai, les déversements dans le TCC ont été supérieurs à 500 m³.s⁻¹ du 11 au 18 mai avec deux pics de débits, le premier de 1683 m³.s⁻¹ le 12 mai et le second de 1300 m³.s⁻¹ le 16 mai. Pendant ces phases de coup d'eau, le débit du canal d'amenée est fortement diminué (la cote de ce dernier est généralement abaissée) avec en moyenne deux cent mètres cubes transitant encore par l'usine (hors arrêts usine). Ces très importants débits dans le TCC peuvent impacter l'efficacité des hydrophones installés dans le TCC (Auvillar et Mondou) puisque l'installation a été calibrée par rapport au débit de plein bord de la rivière et perdent en efficacité en cas de sortie du lit de la rivière.

7.2.2 Comportement général

Initialement prévu en aval de l'aménagement de Golfech, tous les lâchers de poissons ont été réalisés en amont de l'ascenseur à poissons, dans le canal de transfert, afin de limiter les déplacements liés à la crise sanitaire (COVI-19). Ainsi, les 18 poissons marqués ont été relâchés au niveau du piège dans le canal de transfert.

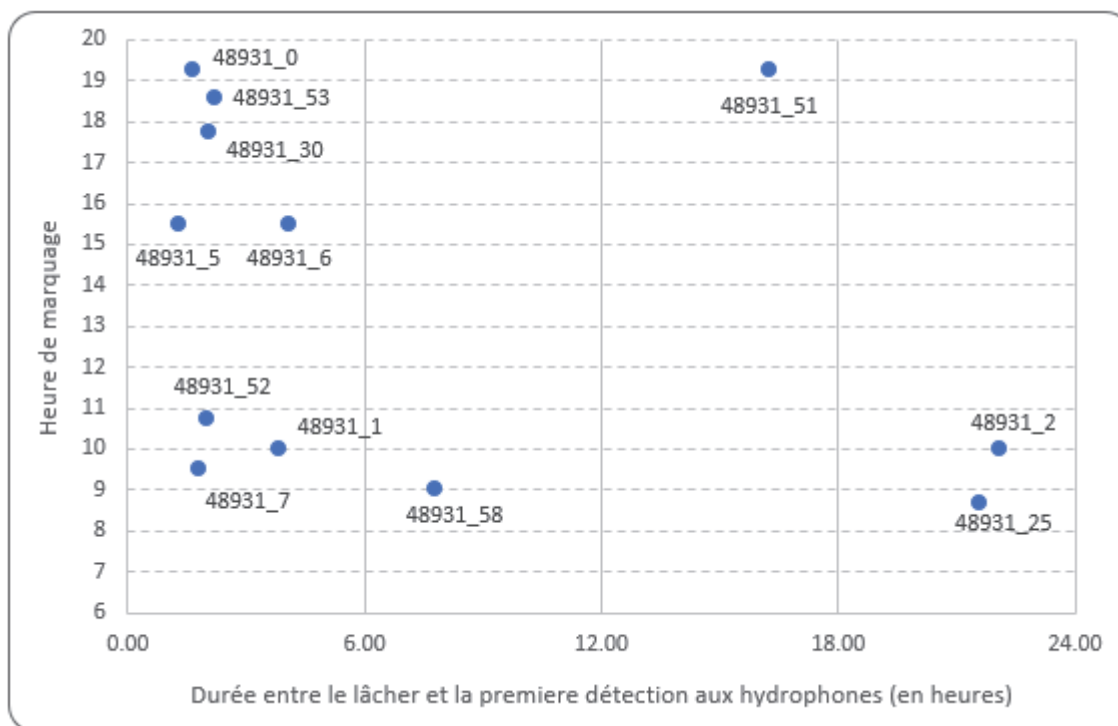


Figure 32 : Délais entre le lâcher des poissons marqués dans le canal de transfert et la première détection dans le canal d'amenée

Sur l'ensemble des 18 poissons lâchés, 17 sont sortis du canal de transfert (soit 94 %). En effet, le poisson **48931_10** s'est fait prédater dans le canal de transfert. Ce cas sera détaillé dans le paragraphe 7.2.4. Parmi les 17 poissons sortis du canal de transfert, il a été possible de calculer le délai entre le lâcher des poissons marqués dans le canal de transfert et la première détection dans le canal d'amenée pour 12 d'entre eux (1 poisson est exclu du traitement de données en raison de son comportement **48931_33** (cf. § 7.1), 2 poissons n'avaient pas leur tag acoustique activé : **48931_03** et **48931_04**, et 2 poissons ont perdu leur tag acoustique avant d'arriver aux premiers hydrophones : **48931_09** et **48931_12**). Pour ces 12 poissons, le temps de reprise de migration suite au marquage est globalement inférieur à 24h et majoritairement inférieur à 6h (Figure 32). 3 individus ont un délai supérieur à 15h, soit 25 %. La Figure 32 montre également que l'heure de piégeage et de marquage ne semble pas influencer sur la reprise de migration.

Dans le détail, ce temps de reprise de migration peut être décomposé en temps passé dans le canal de transfert et temps passé dans le canal d'amenée en amont de l'usine de Golfech et en aval du pont de la D953. En effet, la présence des antennes RFID dans le canal de transfert permet de connaître le moment où les poissons sortent de celui-ci, mais aussi les éventuelles dévalaisons ou aller-retours effectués au sein de celui-ci.

Un dysfonctionnement du boîtier d'accord des antennes amont du canal de transfert (GO40000 et GO50000) rencontré en début d'étude n'a pas permis d'obtenir des données sur l'ensemble des poissons marqués. Les restrictions de déplacement liées aux conditions sanitaires du printemps 2020 n'ont pas permis une remise en service immédiate du système

RFID. Malgré tout, des données sont disponibles pour 6 poissons (Figure 33) et permettent de dégager une tendance sur le comportement de ces poissons.

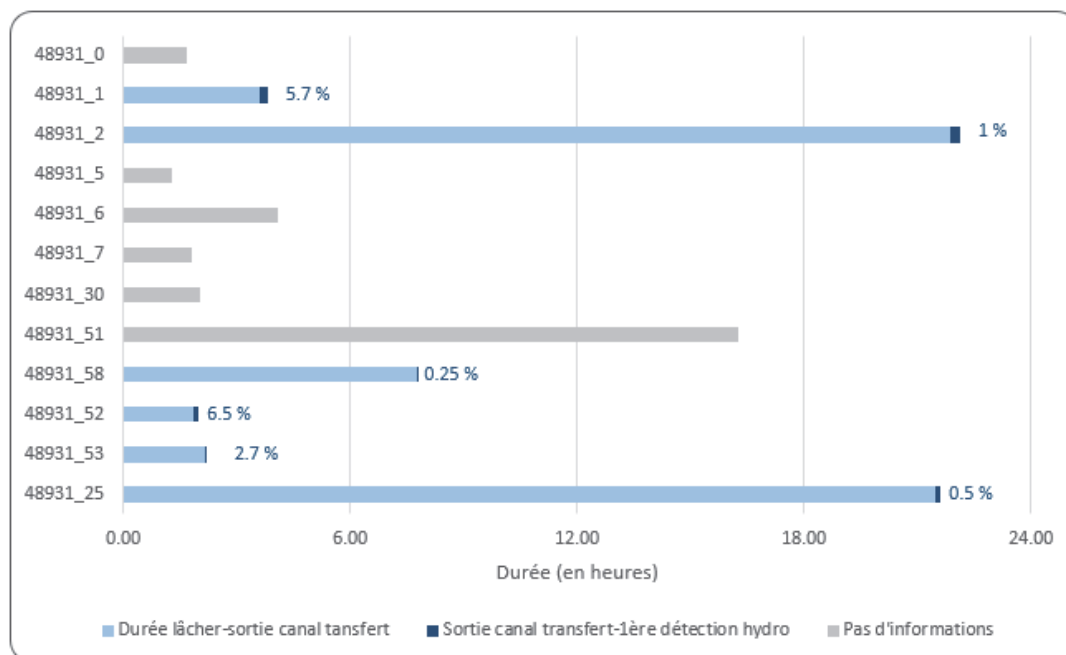


Figure 33 : Répartition de la durée de présence dans le canal de transfert et en amont de l'usine de Golfech pour les saumons marqués

Pour les 6 poissons dont les données RFID sont disponibles, il apparaît nettement que la majorité du délai avant reprise de migration s'effectue dans le canal de transfert (temps de récupération après marquage notamment). Pour ces 6 poissons (Figure 33), le temps passé dans le canal de transfert représente de 93,5 % à 99,8 % du délai avant détection dans le canal d'amenée (cela représente des durées de 2h à 22h selon les poissons). Une fois engagés dans le canal d'amenée, les poissons ne semblent pas hésiter et entament directement leur migration vers l'amont du canal.

Pour les 3 poissons ayant une reprise de migration supérieure à 15h, 2 présentent des informations RFID. Ce délai est lié à un temps de présence important dans le canal de transfert, respectivement 21h52min pour le poisson **48931_02** et 21h28 pour le poisson **48931_25**. Comme évoqué précédemment, ces 2 poissons non pas stagné en sortie de canal de transfert et ont repris leur mouvement vers l'amont.

7.2.3 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison (zoom sur le canal d'amenée)

Parmi les 17 poissons marqués sortis du canal, le poisson **48931_33** ne sera pas pris en compte dans les traitements suivants. L'immobilité de son émetteur en amont de l'usine laisse présager une mort rapide après sa sortie du canal de transfert. La perte de son tag prédation dans le canal de transfert ne permet pas de conclure à une prédation en sortie de ce même canal. Nous raisonnerons ainsi sur 16 individus tout au long des analyses.

Parmi ces 16 saumons, tous ont atteint l'amont du canal d'amenée. Nous disposons de données précises uniquement sur 12 poissons en raison de 2 pertes de tag acoustique et de 2 tags acoustiques non-activés.

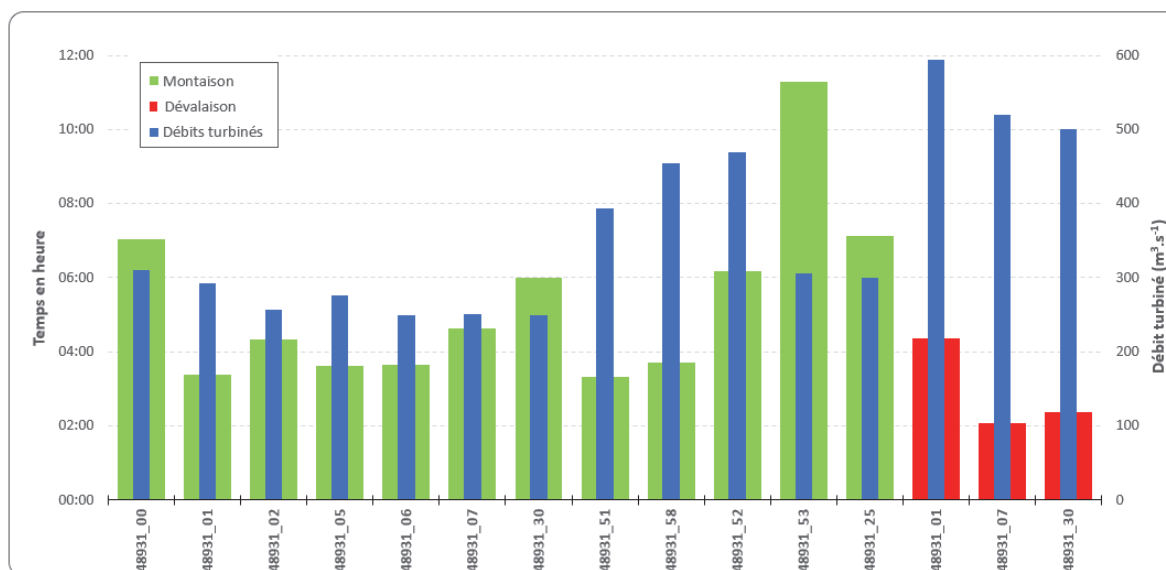


Figure 34 : Temps de parcours dans le canal d'amenée en fonction du débit turbiné

Les données de ces 12 poissons sont présentées sur la Figure 34. On y voit le temps de parcours entre l'aval et l'amont du canal d'amenée en fonction du débit turbiné transitant dans le canal. Les temps de transit sont compris entre 3h19min pour l'individu le plus rapide et 11h17min (médiane : 4h30min). Le débit moyen turbiné pour ces 12 trajets est de 317 m³.s⁻¹, ce qui représente environ 58 % du débit maximum turbinable, et seulement 3 saumons ont évolué dans le canal avec un débit moyen turbiné supérieur à 380 m³.s⁻¹. Les poissons ont donc évolué dans des conditions contraignantes mais pas les plus difficiles. A 320 m³.s⁻¹, les vitesses d'écoulement sont comprises entre 0,44 m/s sur la partie aval du canal à 0,8 m/s sur la partie amont.

Il est également possible d'observer sur la Figure 34 la durée de parcours dans le canal d'amenée pour 3 poissons en mouvement de dévalaison (**48931_01**, **48931_07** et **48931_30**). Ces 3 poissons ont dévalé sur le même pic de crue (23 avril). Ils ont ainsi dévalé le canal rapidement (entre 2h08min et 4h22min). Le débit transitant dans le canal d'amenée au moment de ces dévalaisons est supérieur à 500 m³.s⁻¹ et atteint quasiment 600 m³.s⁻¹ pour le poisson **48931_01**.

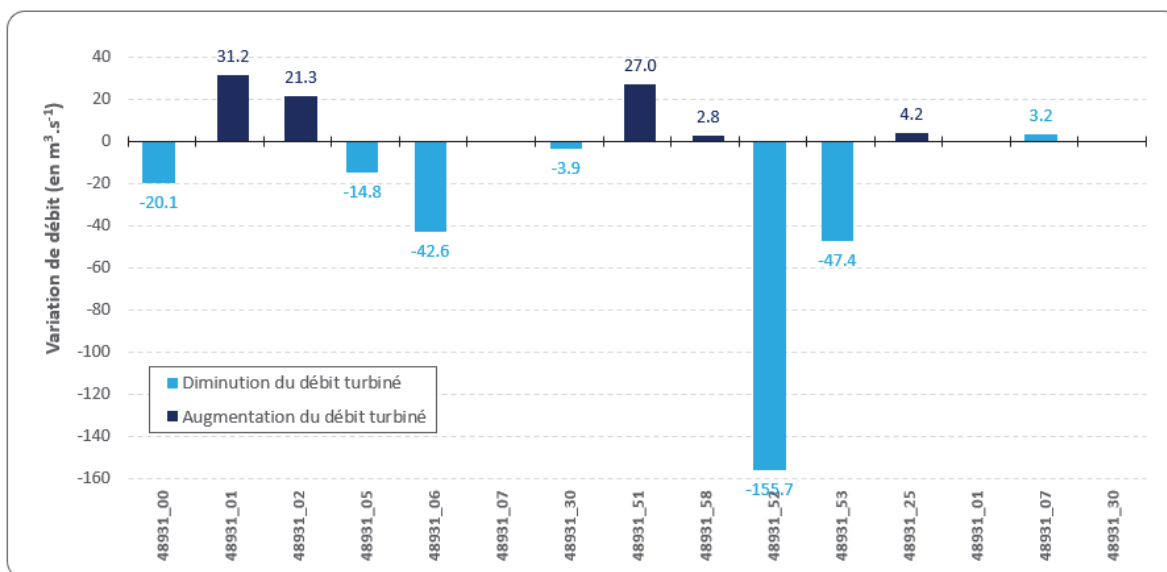


Figure 35 : Variation du débit turbiné lors de la progression dans le canal d'amenée

Afin de compléter les informations de la Figure 34, il est possible d'observer les variations de débits transitant dans le canal d'amenée au cours des franchissements des poissons suivis. Exceptée une seule variation significative pour le poisson **48931_52** avec une baisse de 156 m³.s⁻¹ (passage de 547 m³.s⁻¹ lors du début du parcours à 392 m³.s⁻¹ lors de l'arrivée en amont du canal), les variations de débit au cours du temps sont de faible amplitude (<20 m³.s⁻¹ en moyenne).

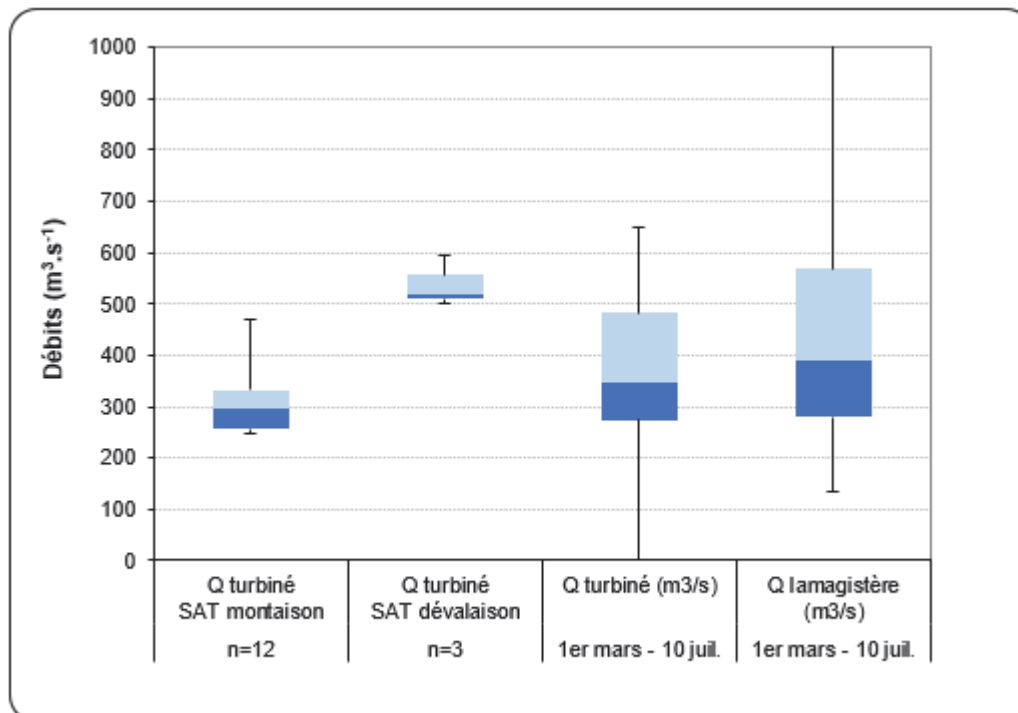


Figure 36 : Répartition des débits turbinés dans le canal d'amenée de Golfech pour les poissons ayant parcouru celui-ci en montaison et en dévalaison

La Figure 36 permet de résumer les gammes de débits turbinés rencontrés lors de la montaison et de la dévalaison des saumons marqués. Lorsque l'on compare les débits rencontrés par les poissons en montaison à la répartition des débits turbinés sur l'ensemble du suivi, il apparaît que les situations rencontrées correspondent à des moments d'écoulement moyen, alors que les conditions de dévalaison restent sur des débits turbinés proches du maximum.

Connaissant les débits transitant dans le canal d'amenée et la géométrie de celui-ci, il est possible de calculer 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 de calculer la vitesse de nage des poissons étudiés grâce à la durée de transit sur chaque portion du canal.

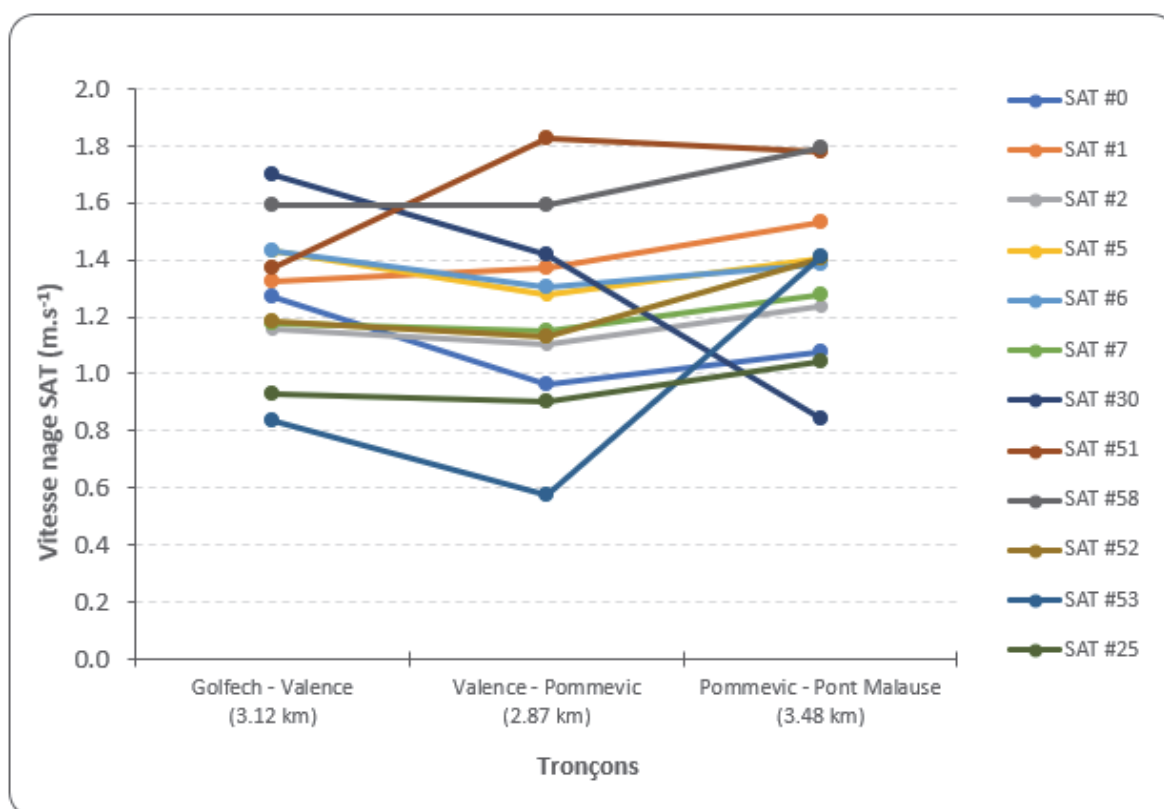


Figure 37 : Vitesses de nage pour chaque SAT entre deux stations (calculées à partir de la dernière détection aval et de la première détection amont)

Les vitesses de nage calculées pour les 12 poissons étudiés sont présentées sur la Figure 37. Ces vitesses ont été calculées indépendamment sur chaque secteur du canal afin de prendre en compte les différences de vitesse d'écoulement propre à chaque tronçon. Globalement, les vitesses de nage sont homogènes pour chaque individu et sont comprises entre 0,8 m/s et 1,8 m/s. Il y a une tendance à l'augmentation de la vitesse de nage au cours de la progression vers l'amont, ce qui est cohérent avec l'accélération de la vitesse du courant dans le canal sur la partie amont. 3 poissons sortent du schéma présenté par l'ensemble des individus étudiés, il s'agit des poissons **48931_30**, **48931_51** et **48931_53**. Le poisson **48931_30** est le seul dont la vitesse a significativement chuté sur le dernier tronçon, passant de 1,42 m/s à 0,84 m/s. Lors du parcours de Pommevic au pont de Malause de ce poisson, le débit a augmenté de 40 m³.s⁻¹ dans le canal d'amenée. Le poisson **48931_51** est le seul dont la vitesse a augmenté entre le tronçon 1 et 2, passant de 1,37 m/s à 1,83 m/s (vitesse la plus élevée enregistrée pour l'ensemble des poissons). Les conditions de débits sont restées

stables pour ce poisson de Golfech à Pommevic. Enfin, le poisson **48931_53** a présenté une accélération très importante entre le tronçon 2 et 3, passant de 0,58 m/s à 1,41 m/s (soit un facteur 2,5). Pour ce poisson, les conditions de débits ont légèrement augmenté sur la fin du trajet avec une augmentation de 20 m³.s⁻¹ dans le canal d'amenée.

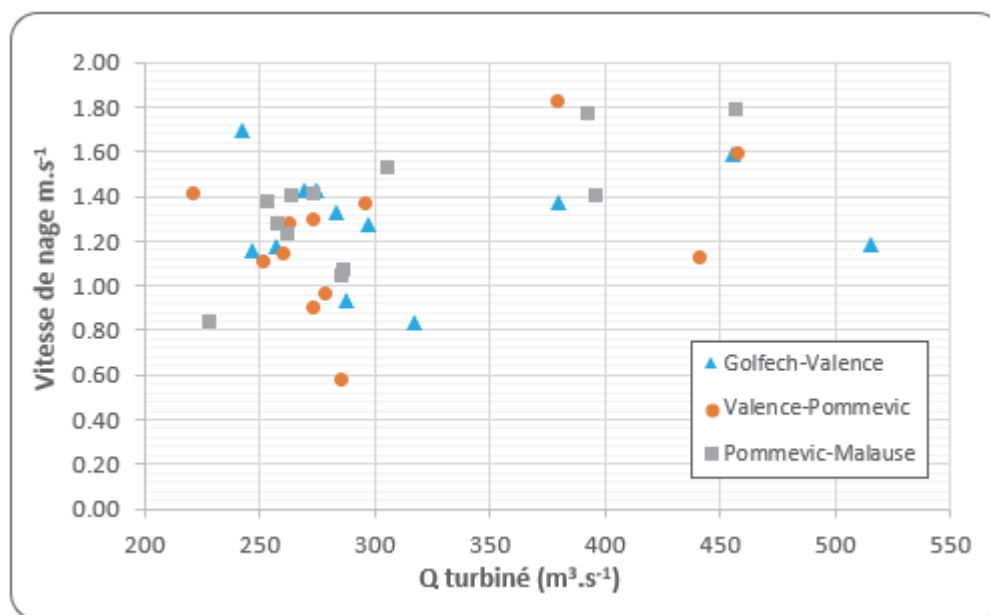


Figure 38 : Vitesse de nage des saumons marqués en fonction du débit turbiné dans chaque section du canal d'amenée

La relation entre le débit turbiné transitant dans le canal d'amenée et la vitesse de nage des poissons suivis est représentée sur la Figure 38. Pour les secteurs aval (Golfech-Valence et Valence-Pommevic), il n'apparaît pas d'influence du débit turbiné sur les vitesses de nage. En revanche, malgré les faibles effectifs pour des débits turbinés supérieurs à 300 m³.s⁻¹, une légère influence de ce débit turbiné semble apparaître sur le secteur Pommevic-Malause, avec une augmentation des vitesses de nage. Cette observation est en lien avec la section plus restreinte du canal sur ce secteur et l'accélération des vitesses de courant.

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 38 minutes et 2h11 (moyenne : 1h08). Pour le second secteur (Valence-Pommevic), les temps de transit sont compris entre 38 minutes et 5h08 (moyenne : 1h24). Et enfin pour le dernier secteur (Pommevic-Pont de Malause), les temps de transit sont compris entre 1h12 et 3h33 (moyenne : 1h50) (Figure 39). Si les déplacements apparaissent globalement homogènes au niveau de leur durée, seul le poisson **48931_53** sort du lot avec un temps de déplacement (8h37min) équivalent au double de moyenne des autres poissons (4h00min).

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. Ces durées sont de l'ordre de quelques minutes pour chaque station, excepté pour les individus **48931_00** et **48931_53** qui ont été enregistrés respectivement 1h38 et 1h47 au niveau du pont de Valence d'Agen. Les durées médianes au niveau des 4 ponts sont respectivement de l'aval vers l'amont de 2min, 12min, 14min et 8min (Figure 39).

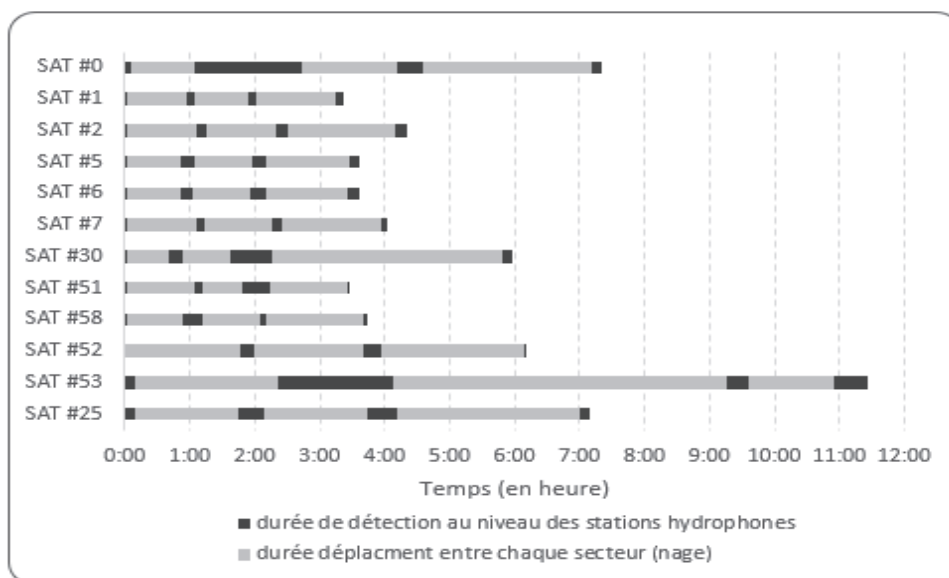


Figure 39 : Répartition des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée

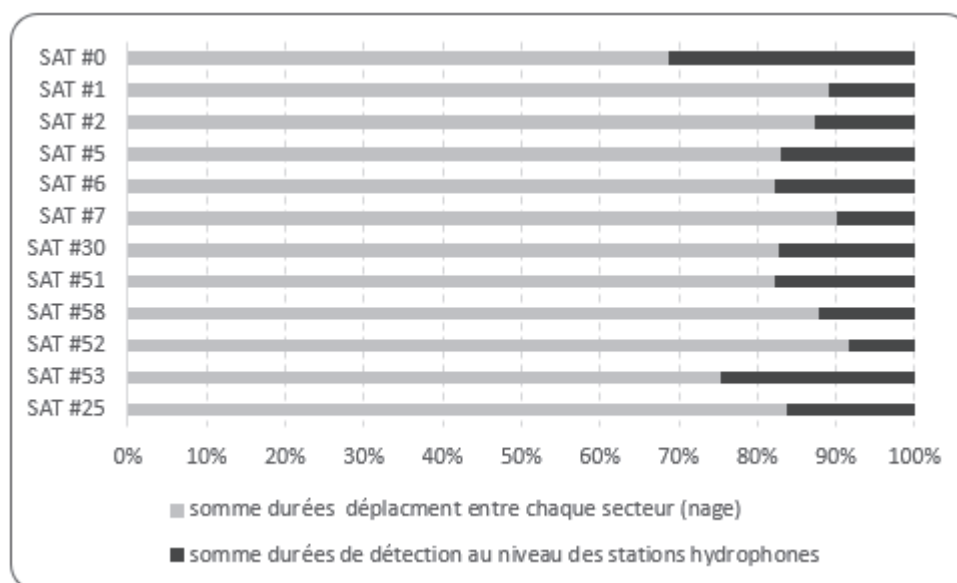


Figure 40 : Proportion des temps de déplacement et d'enregistrement au niveau des stations fixes d'enregistrement dans le canal d'amenée

Si l'on regroupe les durées de déplacement inter secteurs et les durées d'enregistrement au niveau des stations fixes (Figure 40), ces dernières représentent, en valeur médiane 17 % du temps de transit des poissons dans le canal d'amenée (min. : 8 % et max. : 31 %).

7.2.4 Résultats du suivi prédation

Sur le secteur du complexe Malause-Golfech, plusieurs observations ont pu être réalisées grâce au marquage des poissons avec des tags prédation.

Tout d'abord, sur l'ensemble des 18 individus marqués et relâchés dans le canal de transfert de l'ascenseur à poissons, 17 ont été enregistrés comme sortis de ce même canal (17 sur 18, soit 95 %). Le poisson en question (**48931_10**), qui n'est pas sorti du canal de transfert, a été marqué le 17 avril. Ce poisson a effectué des mouvements de va et vient dans le canal de transfert pendant plusieurs jours (enregistrements jusqu'au 22 avril). Le poisson a été retrouvé mort dans ce canal lors d'une vidange le 24 avril. Il a subi l'attaque d'un silure et une seule partie de son corps a été retrouvée non digérée, avec le tag radio à proximité sur le fond du canal mais sans présence du tag prédation acoustique. Le silure présent dans le canal de transfert a été évacué vers l'aval (le silure ne semble pas avoir ingéré le tag prédation) et le tag prédation n'a pas été retrouvé dans le canal malgré la vidange.

Dans un second temps, parmi les 17 saumons sortis du canal de transfert, 1 seul n'a pas entamé de progression dans le canal d'amenée (**48931_33**). Marqué le 21 avril, le poisson a été capté comme se déplaçant en amont de l'usine de Golfech (entre l'usine et le pont de la D953) jusqu'au 24 avril. A partir de cette date, il a continué à être capté en radio en amont de l'usine mais sans mouvement apparent (poisson capté encore le 02 octobre). Si le corps de ce poisson n'a jamais été retrouvé, il semble qu'il soit mort peu de temps après sa sortie du canal de transfert. Malheureusement, il est impossible d'avoir l'information prédation pour ce poisson car son tag acoustique a été retrouvé dans le canal de transfert (perte du tag peu de temps après son lâcher).

Concernant le reste du suivi sur ce secteur, les 16 poissons ayant entamé leur migration dans le canal d'amenée ont achevé leur progression dans le canal sans subir d'attaque. Concernant le devenir des poissons marqués sur ce secteur, 3 poissons ont été non-retrouvés au cours des suivis : les poissons **48931_01**, **48931_51** et **48931_52** (dévalaisons ?). Lors du dernier pointage connu de ces poissons, les tags prédation acoustique n'étaient pas déclenchés. Ensuite, 4 poissons ont terminé leur progression sur ce secteur : le saumon **48931_09** en aval de la retenue de Malause, le saumon **48931_30** dans le canal de fuite et les poissons **48931_07** et **48931_12** dans le TCC de Golfech. Ces 4 poissons ont pu être contrôlés régulièrement à l'aide de la sonde acoustique portable (VR100). Pour ces 4 individus, aucun signal n'a pu être détecté, signifiant une éjection de tag. Malheureusement, une fois l'émetteur radio et l'émetteur acoustique séparés, il n'est pas possible de connaître le devenir des individus (perte du tag acoustique, prédation et simple détection tag radio, etc...).

7.3 Comportement des saumons entre Malause et Toulouse

7.3.1 Comportement général

Parmi les 16 poissons étudiés, nous avons vu précédemment que tous ont emprunté le canal d'amenée jusqu'au barrage de Malause. Afin de décrire au mieux les comportements de chacun des individus, nous avons classé le devenir des poissons en 3 groupes : le premier concerne les poissons ayant atteint l'ouvrage du Bazacle, le second traite des poissons ayant stoppé leur migration de montaison sur le secteur Golfech-Bazacle et le troisième regroupe les poissons qui ont entamé leur migration mais qui ont par la suite dévalé.

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

Parmi les 16 poissons suivis, 7 ont finalement atteint l'ouvrage du Bazacle à Toulouse (soit 44 %). Il s'agit des poissons **48931_00**, **48931_01**, **48931_02**, **48931_03**, **48931_04**, **48931_05** et **48931_53**. Les 6 premiers sont les 6 premiers poissons marqués lors de cette étude (marquage entre le 09 et le 15 avril) et le septième a été marqué le 26 mai.

La Figure 41 représente la durée de transit entre le barrage de Malause (sortie canal d'amenée) et l'arrivée en aval du Bazacle. Ces temps se répartissent entre 5,4 jours pour le poisson le plus rapide (**48931_00**) et 19,6 jours pour la durée la plus longue (**48931_05**). La médiane est de 7,7 jours

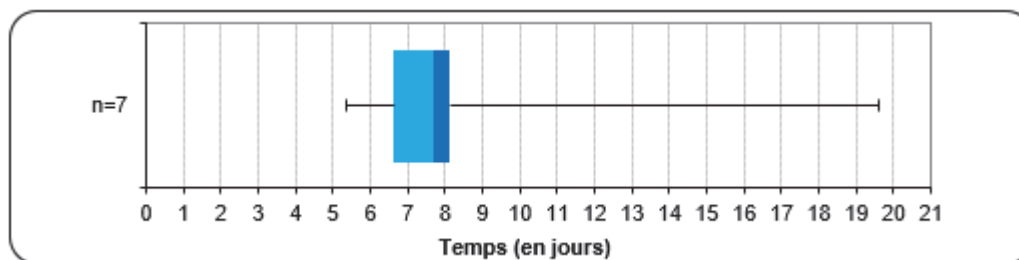


Figure 41 : Répartition des temps de transfert entre la sortie du canal d'amenée de Golfech et l'arrivée à l'aval du Bazacle pour les 7 poissons suivis ayant atteint cet ouvrage

Concernant le devenir de ces 7 poissons, 4 ont franchi l'ouvrage et 3 sont restés à l'aval de celui-ci. Le détail complet du comportement des poissons au niveau de l'ouvrage du Bazacle sera abordé dans le paragraphe 7.4.

- **Poissons avec arrêt en cours de migration**

Cette catégorie concerne 4 individus qui ont interrompu leur mouvement vers l'amont sans jamais le reprendre. Il s'agit du **poisson 48931_06**, marqué le 15 avril et enregistré comme sortant de la retenue de Malause le 16 avril. Il n'a pas été retrouvé avant le 05 juin lors d'un suivi en bateau en amont de Grenade-sur-Garonne au niveau du pk 76,5. Présent au même endroit le 11 juin, ce poisson n'a pas repris sa route vers l'amont.

Le poisson **48931_25**, marqué le 04 juin a été enregistré comme sortant de la retenue de Malause le 05 juin. Le pointage suivant date du 16 juin au niveau de Castelferrus (pk 31,5) avec le tag prédation déclenché. Ce poisson sera abordé plus en détails dans la partie 7.3.3. mais il n'a plus jamais bougé de ce point kilométrique.

Le poisson **48931_51** a été marqué le 20 avril et a quitté la retenue de Malause le 21 avril. Ce poisson n'a plus jamais été retrouvé après cette date, que ce soit sur le secteur amont ou aval de Golfech.

Pour finir, le devenir du poisson **48931_52** est semblable au poisson précédent. Il a été marqué le 11 mai et est sorti du canal d'amenée le même jour. Ce poisson semble avoir stabulé en amont direct du barrage de Malause jusqu'au 12 mai et les dernières lignes d'enregistrement radio laissent penser qu'il aurait dévalé dans le tronçon court-circuité mais n'a pas été retrouvé par la suite en suivi manuel ou au niveau des stations d'enregistrement du TCC.

- **Poissons ayant dévalé après épisode de montaison**

Un autre groupe de poissons a stoppé sa migration, avant de dévaler par la suite. Cela concerne le poisson **48931_07**, marqué le 16 avril et qui a quitté la retenue de Malause à la même date. Le 23 avril, ce poisson a été recapté dans la retenue et a dévalé jusqu'au pont amont du canal d'amenée. Quelques heures plus tard, ce poisson ressort de la retenue en amont de Saint Nicolas de la Grave. 2 jours plus tard, ce poisson dévale à nouveau la retenue de Malause et cette fois l'intégralité du canal d'amenée et est capté le même jour en aval de l'ascenseur de Golfech. Ce poisson sera capté jusqu'au 29 avril en aval de l'usine, avant d'être retrouvé le 26 mai dans le TCC entre le seuil 5 et le seuil 6. Ce poisson ne bougera plus jusqu'au dernier pointage du 02 octobre.

Le poisson **48931_09** a été marqué le 17 avril. Le 18 avril il est enregistré à l'amont du canal d'amenée et capté en suivi manuel le 21 avril au pk 42 au niveau de l'îlot du virage de Bourret. Quelques jours plus tard, le 24 avril, le poisson est capté à nouveau en amont du canal d'amenée. A partir du 27 mai, le tag est localisé au pk 16,5, quelques centaines de mètres en amont de barrage de Malause. Aucun mouvement ne sera observé jusqu'au dernier suivi du 02 octobre.

Le saumon **48931_12**, marqué le 20 avril, est enregistré en amont du canal d'amenée le même jour. Le 23 avril il est à nouveau capté en amont du barrage de Malause et franchi ce dernier vers le TCC le même jour. Il sera retrouvé le 28 mai dans le TCC en amont du pont d'Auvillar (amont seuil 3) grâce à son tag radio mais son tag acoustique n'est pas détecté. Aucun nouveau mouvement n'est enregistré jusqu'à l'arrêt du suivi.

Le saumon **48931_30** a été marqué le 20 avril et quitte la retenue de Malause le 21 avril. Le 22 il est capté en amont de cette même retenue et dévale l'intégralité du canal d'amenée. Ce poisson sera capté pendant 2 jours à l'amont direct de l'usine de Golfech avant d'être capté le 25 avril en aval de l'ouvrage. Il restera au pied de l'aménagement jusqu'au 1^{er} mai. L'individu sera ensuite détecté au niveau de la prise d'eau du CNPE mais ne bougera plus jusqu'à la fin du suivi.

Pour finir, le poisson **48931_58** a été marqué le 21 avril et sort de la retenue de Malause le même jour. Le 24 avril, il est détecté en radio en amont direct de l'usine de Golfech. Sa dévalaison n'a pas été enregistrée par les hydrophones du canal d'amenée. L'individu semble donc avoir éjecté son tag acoustique. Le poisson ne sera retrouvé que le 27 mai en amont de la retenue de Malause (pk 23). Aucune évolution n'est à noter jusqu'au terme du suivi.

7.3.2 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison

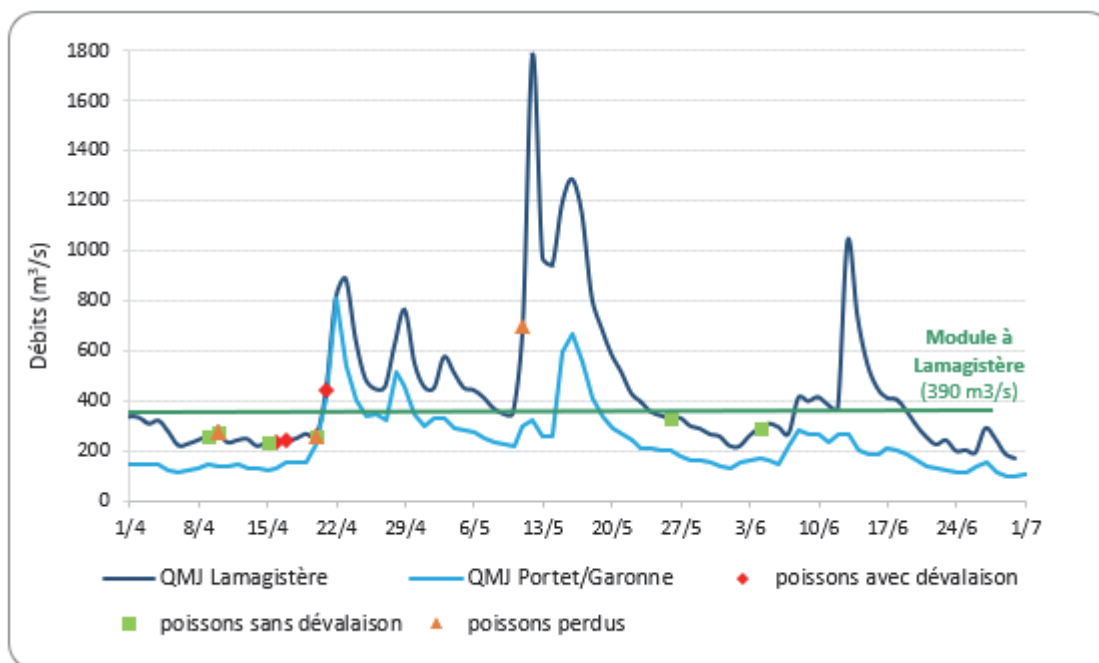


Figure 42 : Date de marquage des SAT en fonction des débits de la Garonne à Lamagistère et à Portet /Garonne

Après analyse de l'hydrologie, 3 phases de coup d'eau ressortent au cours de la période de marquage et de suivi : un premier coup d'eau le 23 avril avec un débit maximum horaire

enregistré de $891 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, un second coup d'eau le 12 mai (Q_{max} horaire de $1783 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) et un troisième coup d'eau le 13 juin (Q_{max} horaire de $1040 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$).

Parmi les 16 poissons suivis, 13 (soit 81 %) ont été marqués avant le premier coup d'eau. Le premier marquage a été effectué le 09 avril, soit 14 jours avant le pic de débit, et le dernier date du 21 avril, soit 2 jours avant le pic mais déjà sur la montée des eaux. Sur ces 13 poissons, 7 d'entre eux ont présenté un mouvement de dévalaison (**48931_01, 02, 07, 09, 12, 30 et 58**) et 2 ont été perdus au cours du suivi (**48931_01** et **48931_51**). Puis 1 poisson a été marqué la 11 mai, soit la veille du coup d'eau du 12 mai. Ce poisson a été perdu à l'issue de ce coup d'eau. Enfin, 2 poissons ont été marqués avant le coup d'eau du 13 juin, ces poissons ont été marqués le 26 mai et le 04 juin, soit respectivement 17 et 9 jours avant le pic de débit. Le premier poisson (**48931_53**) a poursuivi sa migration vers l'amont et a atteint le Bazacle le 02 juin. Le coup d'eau du 13 juin provient essentiellement du bassin du Tarn et n'a pas été enregistré en amont de la confluence. Ainsi ce poisson n'a pas rencontré ce coup d'eau et est resté du 02 au 24 juin au pied de l'ouvrage du Bazacle avant de finir par le franchir. Le second poisson (**48931_25**), marqué le 04 juin, a quitté la retenue de Malause de 05 juin. Ce poisson sera retrouvé le 16 juin en suivi manuel (*PK GAR_245,7*) mais avec le tag prédation déclenché.

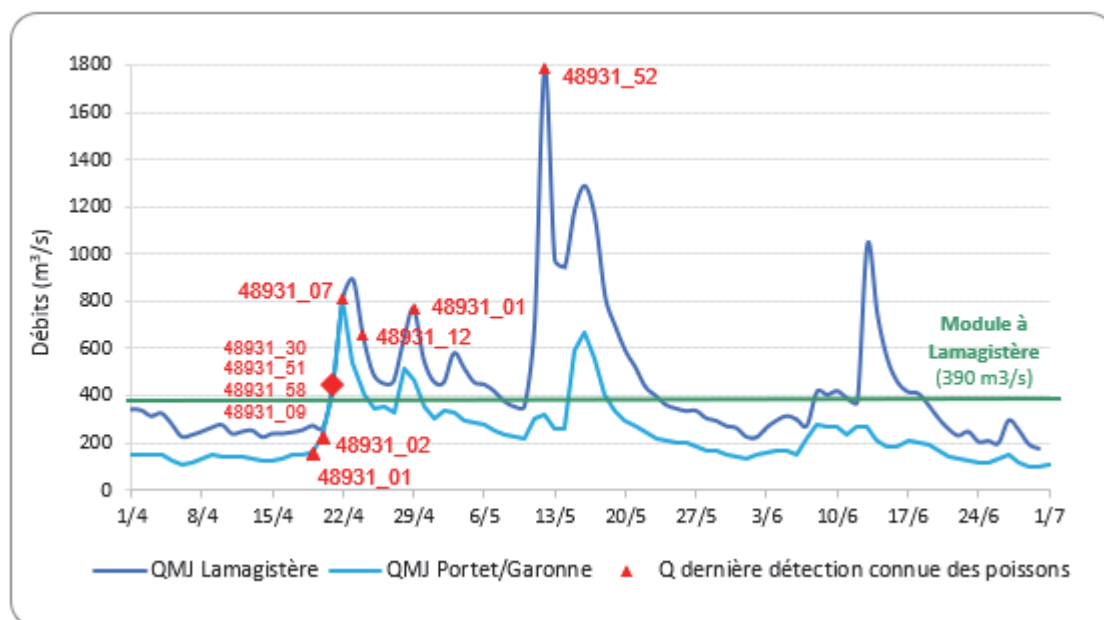


Figure 43 : Date et débit de la dernière localisation connue des poissons ayant présenté un mouvement de dévalaison ou une perte de signal

Sur l'ensemble du suivi 2020, 10 cas de dévalaison et/ou de perte de signal ont été observés : 6 poissons ont présenté des mouvements de dévalaison, 2 n'ont plus été retrouvés en suivi manuel et un dernier poisson a présenté une dévalaison avant de ne plus être retrouvé en suivi. Ces 10 situations sont présentées sur la Figure 43 avec le débit enregistré lors de la dernière position connue de chaque poisson.

Parmi ces 9 poissons, 2 dévalaisons ont été observées après le franchissement de l'aménagement du Bazacle. La dernière position connue de chaque poisson correspond à la sortie de la passe à poisson du Bazacle enregistrée le 19 avril pour le premier (**48931_01**) et le 20 avril pour le second (**48931_02**), soit quelques jours avant le coup d'eau du 23 avril. Parmi ces 2 poissons, un seul a été enregistré par les antennes du Bazacle dans le sens de dévalaison (enregistré sur site le 24 avril, soit 5 jours après le franchissement enregistré le 19 avril). Le second poisson a été retrouvé plus de 45 jours après son franchissement, environ

16 km en aval de l'aménagement. Après avoir dévalé jusqu'à l'aménagement de Golfech, le poisson **48931_01** a été enregistré du 28 au 29 avril en aval de l'aménagement puis n'a plus jamais été retrouvé après cette date.

4 autres poissons ont dévalé suite à la montée de l'hydrologie de la Garonne du 23 avril. Les poissons **48931_07**, **48931_12** et **48931_30** avaient atteint l'amont de la retenue de Malause mais n'avaient pas été repointés en suivi manuel avant de dévaler. Le poisson **48931_09** avait atteint, lui, le *PK GAR_256,6* le 21 avril au niveau du virage de Bourret, avant de redévaler et d'être détecté le 24 avril en amont du canal d'amenée. En ce qui concerne le poisson **48931_58**, il a également atteint l'amont de la retenue de Malause avant de dévaler suite au coup d'eau du 23 avril. Suite à ce mouvement de dévalaison, le poisson a été retrouvé en amont de l'usine de Golfech dans le canal d'amenée. La particularité de ce poisson est d'avoir repris un mouvement vers l'amont puisqu'il sera retrouvé un mois plus tard dans la retenue de Malause (*PK GAR_234,2*) sans plus jamais se redéplacer.

Le signal du poisson **48931_51** a été enregistré pour la dernière fois le 21 avril dans la retenue de Malause avant d'être définitivement perdu. Et enfin, le signal du poisson **48931_52** a également été perdu, mais le 12 mai, lors du coup d'eau majeur rencontré au cours de ce suivi. Le dernier positionnement connu de ce poisson correspond à un enregistrement au niveau de l'antenne située au barrage de Malause. Il est possible que ce poisson ait dévalé par le TCC sans avoir été enregistré (débit très important) ou que le poisson ait perdu son tag acoustique avant d'atteindre les hydrophones du TCC.

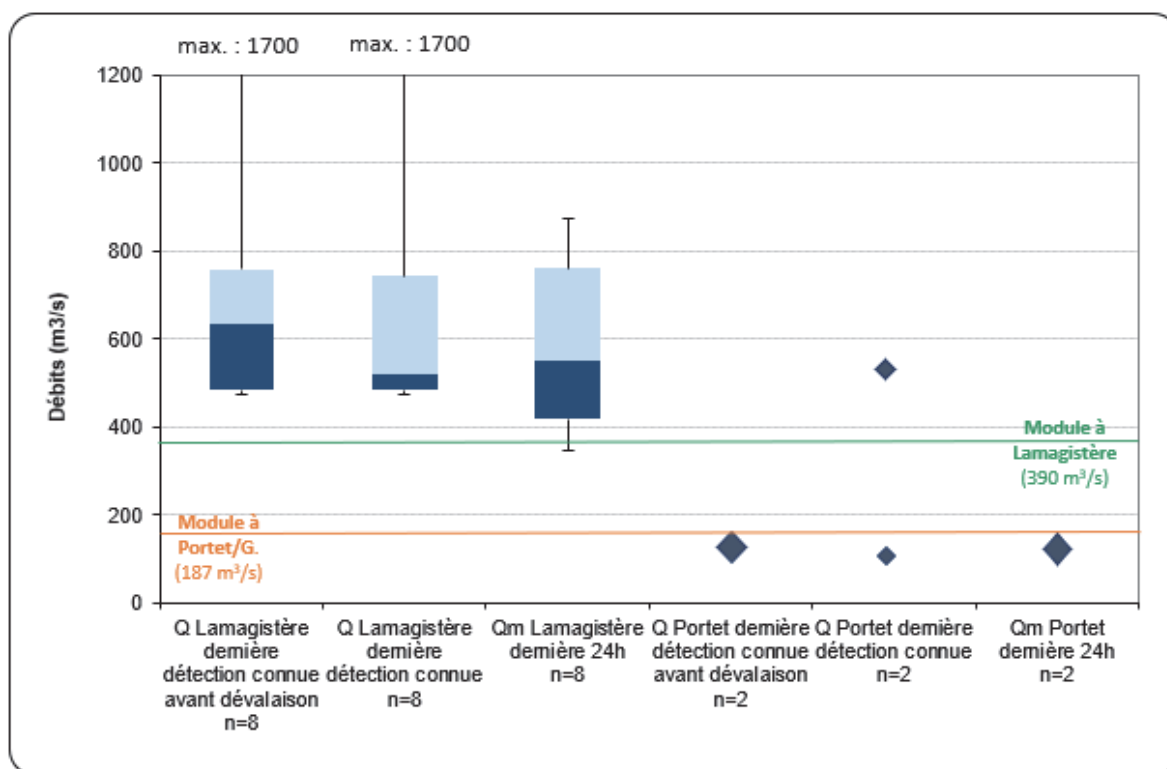


Figure 44 : Caractérisation des débits lors des dernières détection avant dévalaison ou des dernières détections des poissons dévalant

La Figure 44 permet de visualiser, pour les poissons ayant dévalé ou les poissons perdus, le débit observé lors de la dernière détection avant dévalaison et le débit observé, à titre de comparaison, de la dernière détection (certains poissons ont été repointés ou enregistrés après leur mouvement de dévalaison).

Pour les poissons ayant dévalé sur la partie aval du secteur de suivi (aval de Toulouse), le débit lors du dernier pointage connu avant dévalaison est compris entre 500 et 750 m³.s⁻¹, soit 1,3 à 2 fois le module, et peut atteindre 1700 m³.s⁻¹. La gamme de débit concernant le dernier pointage connu (en cours de dévalaison ou après dévalaison) reste dans la même gamme (500 à 750 m³.s⁻¹). Si l'on observe la moyenne des débits sur les 24h précédents le dernier pointage avant dévalaison, elle est comprise entre 420 et 760 m³.s⁻¹.

Pour les dévalaisons observées au niveau du Bazacle, ce sont les débits au niveau de Portet-sur-Garonne qui ont été analysés. Le dernier enregistrement des 2 poissons concernés correspond à des débits inférieurs au module. Ces débits correspondent au moment des franchissements du Bazacle. L'un des 2 poissons a été capté par l'antenne générale du Bazacle lors de son passage en dévalaison. A ce moment-là, le débit était de 530 m³.s⁻¹, soit quasiment 3 fois le module.

7.3.3 Résultats du suivi prédation

Au cours de ce suivi, 4 poissons ont terminé leur progression sur le secteur entre Malause et Toulouse.

Le poisson **48931_58** a arrêté sa progression vers l'amont dans la retenue de Malause, en amont de la confluence avec le Tarn. Malgré un pointage régulier une fois trouvé, aucun signal acoustique n'a pu être détecté, il semblerait que ce poisson ait également expulsé le tag prédation acoustique.

En revanche, le saumon **48931_25**, a été détecté au niveau de Castelferrus (*PK GAR_245,7*) le 16 juin avec son code acoustique impair : signifiant une prédation récente. Cette détection intervient 12 jours après le marquage du poisson (4 juin) et 11 jours après sa sortie de la retenue de Malause (dernière enregistrement le 05 juin à Saint-Nicolas de la Grave). Une prédation est donc avérée sur cet individu, mais les tags utilisés lors du suivi 2020 ne permettent pas de connaître le délai depuis la prédation (évolution des émetteurs et information possible lors du suivi 2021).

Le poisson **48931_06** a stoppé sa migration au niveau de Grenade (*PK GAR_287,2*) mais n'a pu être contrôlé à l'aide de la sonde acoustique portable (VR100). L'information de prédation n'est donc pas connue pour ce poisson.

Enfin, l'émetteur radio **48931_02** à été retrouvé au cours du suivi au niveau de la confluence avec l'Aussonnelle (*PK GAR_297,5*). Si la mort de ce poisson a été également actée, l'absence du cadavre du poisson et l'absence du tag acoustique ne permettent pas de connaître la raison de cette mort.

7.4 Comportement des saumons au niveau du Bazacle

7.4.1 Fonctionnement de l'ouvrage hydroélectrique du Bazacle

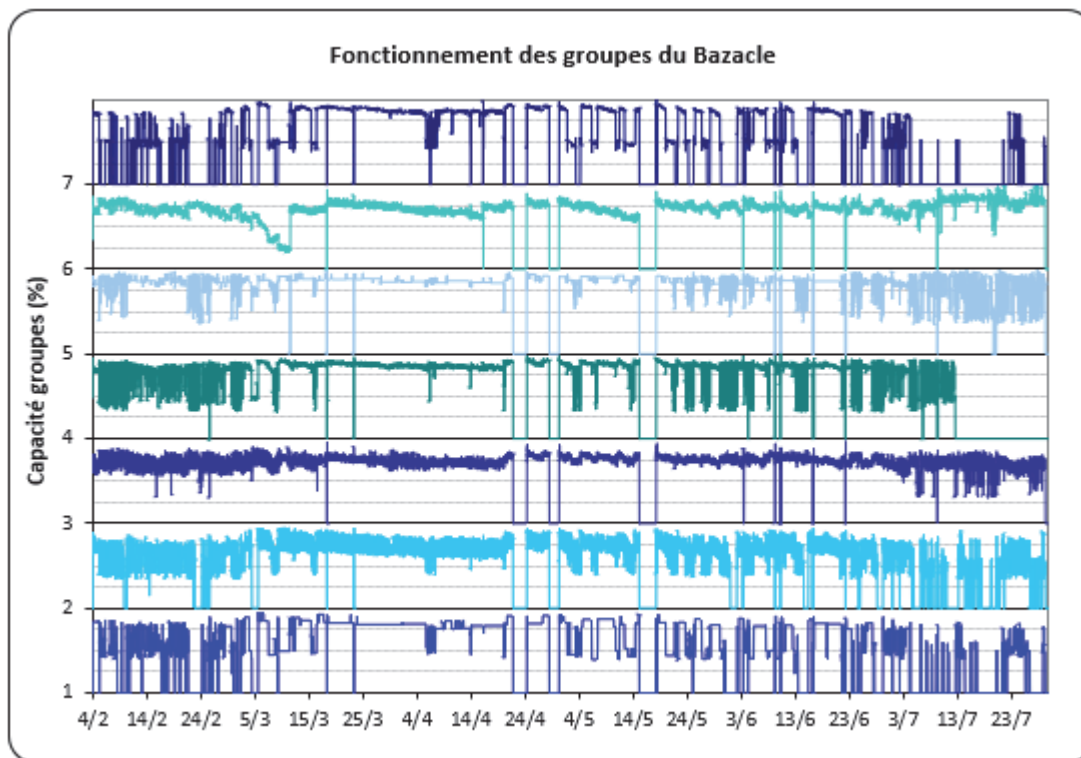


Figure 45 : Fonctionnement des 7 groupes de l'usine hydroélectrique du Bazacle durant la saison de migration 2020

Au cours de ce suivi 2020, les 7 groupes de l'usine étaient disponibles et ont fonctionné normalement. Sur la période suivie (février à juillet), trois arrêts majeurs d'usine ont été recensés (Figure 45) : les deux premiers lors des coups d'eau du 24 et du 28 avril, avec des arrêts respectifs de 3 jours et 2 jours, puis un arrêt de 3 jours lors du coup d'eau du 15 mai. D'autres arrêts, plus ponctuels (en moyenne entre 1 et 3 heures) sont observables sur des montées de débit (18 mars, 9 juin, 16 juin et 22 juin). En observant la Figure 45, d'importantes variations quotidiennes sont observables sur certains groupes. Il semble que les groupes 1 et 7 servent à réguler le débit total turbiné en fonction du débit de la rivière. A moindre échelle, les groupes 2 et 4 ont également cette fonction mais sur des plus petites amplitudes.

Les configurations à 7 groupes représentent 63 % du temps de fonctionnement sur la période observée et les arrêts d'usine représentent 4,4 % du temps total (Figure 46). Les configurations de 4 à 6 groupes ont fonctionné chacune entre 9 et 10 %, représentant au total 28,5 % du temps. Les configurations à 1, 2 et 3 groupes ont été très peu rencontrées.

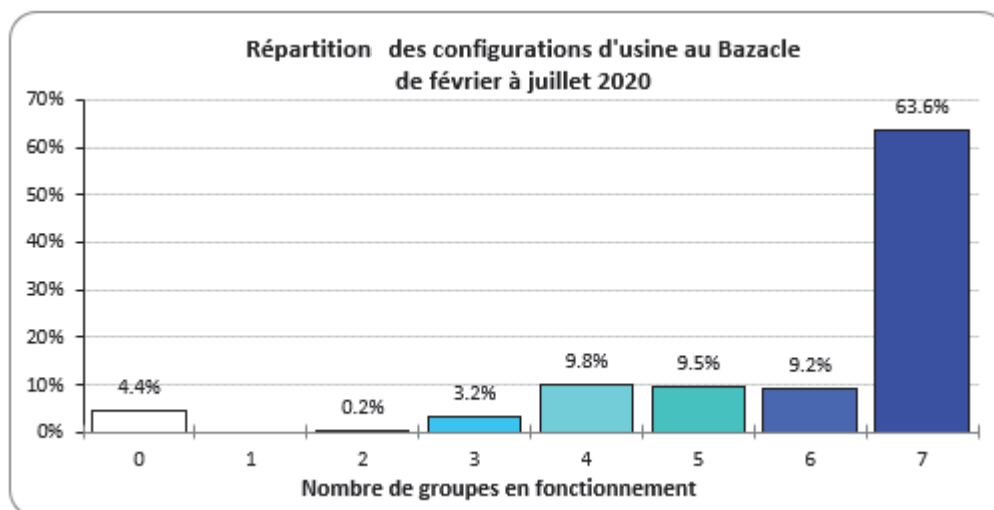


Figure 46 : Répartition des configurations d'usine au Bazacle en fonction du nombre de groupes en fonctionnement

Le débit moyen horaire turbiné sur la période étudiée en 2020 est compris entre 17 m³/s et 90 m³/s. Les débits inférieurs à 50 m³.s⁻¹ turbinés représentent 20 % du temps d'étude (Figure 47) et les débits supérieurs à 70 m³.s⁻¹ turbinés représentent 55 % du temps ce qui signifie un fonctionnement soutenu de l'usine au cours du premier semestre. Le débit d'équipement est bien inférieur au module de la Garonne à Portet/Garonne, 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 82 % du temps supérieur au débit d'équipement, ce qui explique son important taux d'utilisation.

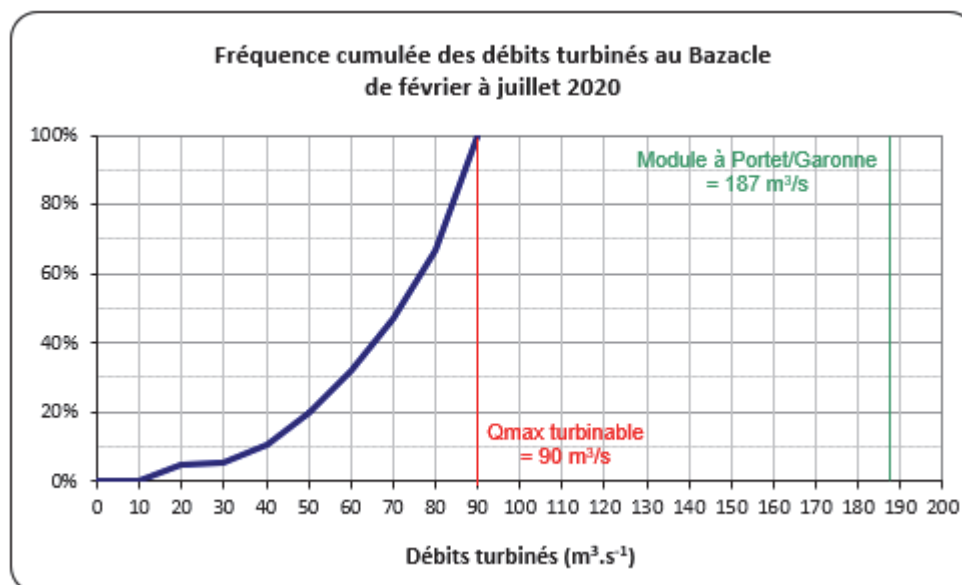


Figure 47 : Fréquence cumulée des débits horaires turbinés au Bazacle

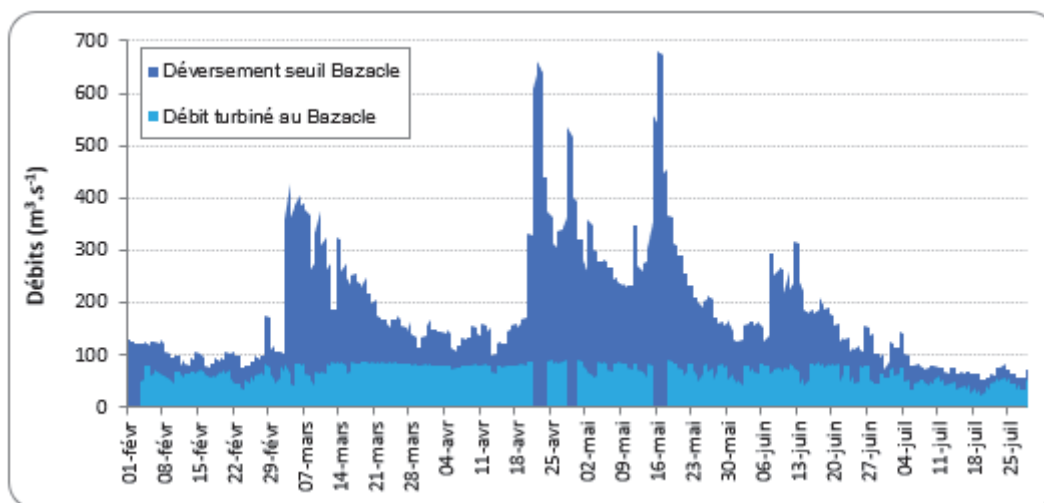


Figure 48 : Représentation des jours de déversement au barrage du Bazacle

La différence entre le débit de la Garonne à Portet/Garonne et le débit turbiné à l'usine du Bazacle correspond au débit déversé sur le seuil du Bazacle, représenté par l'aire bleu foncé sur la Figure 48.

Les déversements sur la chaussée du Bazacle ont été constants tout au long du suivi. Ceci est principalement lié au débit d'équipement de l'usine (de l'ordre de la moitié du module). Les déversements ont été très hétérogènes sur l'ensemble du suivi, allant d'une dizaine de mètres cubes à un débit moyen horaire de $921 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 22 avril. Au niveau du Bazacle, le coup d'eau du 07 mars n'a pas été aussi important qu'à l'aval de la confluence du Tarn, le débit maximum horaire déversé a été de $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Les trois plus gros déversements ont été observés lors des coups d'eau du 22 avril (débit horaire max. déversé : $920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), du 28 avril (débit horaire max. déversé : $591 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et du 16 mai (débit horaire max. déversé : $726 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

7.4.2 Comportement général

Parmi les 16 poissons étudiés, nous avons vu précédemment que 7 ont finalement atteint l'ouvrage du Bazacle à Toulouse (soit 44 %). Il s'agit des poissons **48931_00**, **48931_01**, **48931_02**, **48931_03**, **48931_04**, **48931_05** et **48931_53**.

Afin de décrire au mieux les comportements de chacun des individus, nous avons classé le devenir des poissons en 2 groupes : le premier concerne les poissons ayant franchi l'aménagement du Bazacle et le second traite des poissons ayant stoppé leur migration en aval de l'aménagement du Bazacle.

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

Il s'agit des poissons **48931_01**, **48931_02**, **48931_04** et **48931_53**. Nous précisons ici qu'aucun poisson marqué n'a franchi l'aménagement du Bazacle par la passe à ralentisseurs, tous ont emprunté la passe à bassins. A titre d'information, parmi les 60 saumons contrôlés à la station vidéo du Bazacle en 2020, aucun n'a emprunté la passe à ralentisseurs. Depuis 1989, le taux de franchissement par la passe à ralentisseurs est de 8,5 % pour les salmonidés (85 saumons pour 1003 franchissements) (COURRET et al., 2020).

Les 3 premiers ont rapidement franchi l'ouvrage après leur marquage (délai inférieur à 10 jours pour les 3 individus) et après leur arrivée en aval de l'aménagement (en moyenne 24h entre leur arrivée sur site et leur contrôle vidéo à la station de contrôle). Les poissons **48931_01** et **48931_02** ont malheureusement par la suite dévalé suite au coup d'eau du 23

avril : le premier a dévalé en aval du secteur de suivi puisqu'il est même passé à l'aval de l'aménagement de Golfech. Le second est resté sur le secteur Golfech-Bazacle (retrouvé le 05 juin) mais la mort de ce poisson a été confirmée le 17 juin après avoir retrouvé son émetteur radio. Le poisson **48931_04** est resté introuvable pendant presque 1 mois après son franchissement du Bazacle. Il a été retrouvé le 13 mai (soit 25 jours après son dernier pointage) sur l'axe Ariège, au niveau du pont de Grépiac (*PK ARI_16*). Le poisson a été pointé régulièrement pendant 6 jours entre le seuil et le pont de Grépiac, indiquant des difficultés à franchir cet ouvrage. Le 26 mai, ce poisson a été retrouvé dans Auterive (*PK ARI_24*) et pointé pendant 48h à l'aval immédiat du 1^{er} seuil dans le village, avant de disparaître à nouveau sans être retrouvé en amont ou en aval d'Auterive. Il sera finalement enregistré le 18 juin au niveau du bras supérieur de Garonne dans Toulouse et pointé le lendemain en aval de l'usine de Ramier, sa dernière localisation connue.



Photo 30 : Contrôle à la station vidéo du Bazacle du saumon 48931_04 le 20 avril 2020 à 18h52

En ce qui concerne le poissons **48931_53**, marqué en fin de suivi (26 mai), il a atteint Toulouse et le Bazacle le 02 juin, soit 7 jours après son marquage. Il a été enregistré 22 jours en aval de l'aménagement du Bazacle avant de finalement le franchir (le 24 juin). Il sera ensuite détecté puis piégé à Carbonne (*PK GAR_363,5*) et transporté sur l'Ariège au niveau de Varilhes (*PK ARI_79*). Son dernier pointage a été localisé aux environs de Crampagna.

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

Il s'agit des poissons **48931_00**, **48931_03** et **48931_05**.

Les 2 premiers sont rapidement arrivés en aval de l'aménagement du Bazacle après leur marquage (respectivement 6 et 7 jours pour chaque poisson) comme pour les poissons **48931_01** et **48931_02**. En revanche, ces poissons n'ont jamais franchi l'ouvrage et ont été enregistrés en aval proche jusqu'à la fin du suivi. Le poisson **48931_05** a, quant à lui, mis une vingtaine de jours pour atteindre le Bazacle après son marquage (15 avril – 05 mai). Le poisson a été enregistré à proximité de la l'entrée de la passe à bassins du Bazacle mais sans jamais tenter d'y pénétrer. Le poisson sera pointé en aval des turbines du Bazacle jusqu'à la fin du suivi.

7.4.3 Influence des paramètres environnementaux sur la montaison

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

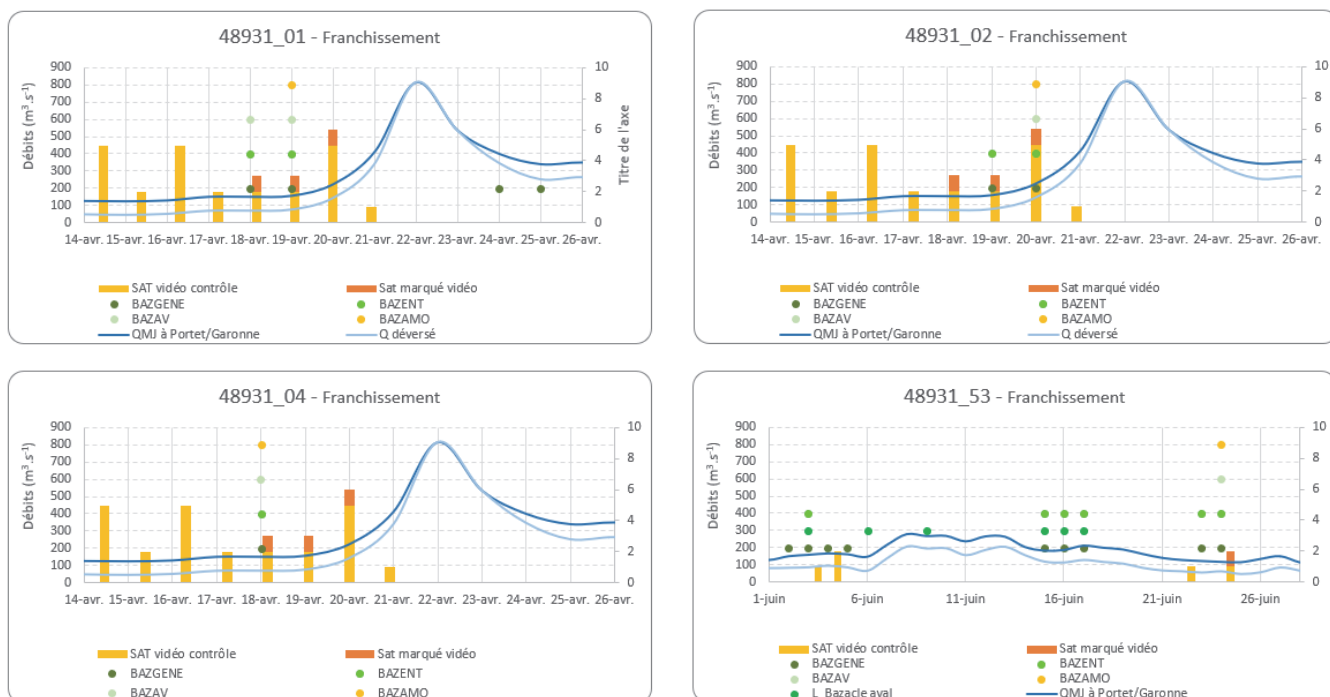


Figure 49 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus ayant franchi l'aménagement

La Figure 49 propose d'observer les détections quotidiennes aux antennes radio des enregistreurs du Bazacle en fonction du débit moyen journalier de la Garonne à Portet-sur-Garonne, ainsi que les débits déversés sur la chaussée. Ainsi, pour les 4 individus passés à l'amont de l'obstacle, 2 comportements différents se dégagent.

Le premier concerne les poissons **48931_01**, **48931_02** et **48931_04**. Ces 3 individus sont arrivés en aval de l'ouvrage entre le 18 et le 19 avril et ont mis entre 24h et 48h pour trouver l'entrée de la passe à bassins et pour la franchir avec succès. Les débits de la Garonne étaient compris à ces dates entre 160 m³.s⁻¹ (18 et 19 avril) et 225 m³.s⁻¹ (20 avril) pour des débits déversés de 80 à 145 m³.s⁻¹ (le débit turbiné est d'environ 80 m³.s⁻¹). Les enregistrements sur l'antenne générale du poisson **48931_01** les 24 et 25 avril correspondent à des enregistrements au moment de sa dévalaison. Le débit moyen journalier sur ces deux journées était compris entre 340 m³.s⁻¹ et 400 m³.s⁻¹ (pour des déversements compris entre 260 m³.s⁻¹ et 350 m³.s⁻¹). On remarque également, que ces trois poissons se sont présentés en aval de l'ouvrage de franchissement en même temps que des poissons non-marqués (et enregistrés par la suite à la station de contrôle vidéo).

Ensuite, le poisson **48931_53** est arrivé en aval du Bazacle le 02 juin. Il a été enregistré sur site du 02 au 06 juin, tout comme quelques poissons non-marqués. Les débits étaient compris entre 150 m³.s⁻¹ et 170 m³.s⁻¹ sur cette période. Les débits ont subi une légère hausse

entre le 06 juin et le 15 juin (débit atteignant $280 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sur cette période, avec une moyenne de $235 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Le poisson semble s'être éloigné de l'aménagement pendant cette période, malgré quelques détections le 09 juin à l'hydrophone installé en aval de passe¹. Ce poisson a refait une incursion en pied d'ouvrage entre le 15 et le 17 juin. Aucun poisson non-marqué n'a été contrôlé à la vidéo sur cette période. Le poisson est à nouveau détecté le 23 juin et franchira la passe à bassins finalement le 24 juin avec un Q_{mj} de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, alors que trois poissons non-marqués ont été contrôlés sur la même période.



Figure 50 : Détections des saumons aux antennes RFID du Bazacle et contrôle vidéo pour les individus ayant franchi l'aménagement

L'entrée de la passe à bassins du Bazacle a été équipée d'antennes RFID (voir § 4.6) pour pouvoir analyser finement les tentatives d'incursion à l'entrée de la passe au regard des conditions de débit dans la rivière et des conditions d'écoulement dans la passe. Malheureusement, des problèmes sont apparus sur l'appareil gérant les enregistrements des informations de la passe à bassins et il nous est impossible de connaître la hauteur de chute au niveau de l'entrée de la passe pour l'intégralité du suivi 2020. Suite à ce constat, des démarches ont été entreprises en automne 2020 afin de résoudre ce problème.

En l'absence des données de fonctionnement de la passe, la Figure 50 présente les débits de la Garonne et les débits turbinés entre la première détection des poissons aux antennes RFID et l'enregistrement à la station de contrôle vidéo. Les poissons **48931_02** et **48931_04**

¹ L'hydrophone, intitulé L_Bazacle aval, a été mis en place au cours du mois de mai suite à l'analyse des premiers poissons. Aucune donnée n'est donc disponible pour les poissons précédant cette installation, ce qui est le cas des poissons **48931_01**, **48931_02** et **48931_04**.

n'ont qu'une seule incursion enregistrée au niveau de l'antenne BA1 (correspondant à l'entrée de la passe), ce qui signifie que l'unique tentative s'est soldée par un succès (le 20/04 à 17h09 pour le premier et le 18/04 à 18h09 pour le second). L'incursion du poisson **48931_02** a duré mois d'1 minute à l'antenne BA1 et 4 minutes pour le poisson **48931_04**. Pour le premier poisson, le débit moyen horaire de la Garonne au moment de l'incursion dans la passe était de $305 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (pour $85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ turbinés à l'usine). Pour le second poisson, le débit était proche de $160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (pour $82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ turbinés à l'usine). Une fois dans la passe, le poisson **48931_02** a franchi les différents bassins de la passe en 2h40min avant d'arriver à la vitre de contrôle. Il a fallu 36 minutes à l'individu **48931_04** pour effectuer la même distance.

Concernant le saumon **48931_01**, plusieurs incursions ont été enregistrées avant son franchissement définitif. En effet, une première tentative a été observée le 18 avril à 11h38, soit 1h30 après les premiers enregistrements radio de l'individu sur site. Le poisson est entré dans la passe et a franchi les 2 antennes RFID (BA1 et BA2). Le poisson est resté 1h10 en amont de l'antenne BA2, située en amont de l'injection du débit d'attrait, mais en aval de l'antenne radio BAZAV, située au niveau du virage en aval de la travée de bassins, avant de ressortir de la passe (12h51). Lors de cette première incursion, le débit de la Garonne était de $135 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Le lendemain, le 19 avril, le poisson a effectué une seconde incursion de 8 minutes. Cette incursion s'est finalement soldée par le succès de franchissement ($Q_{\text{Garonne}} 172 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Le poisson **48931_01** a été contrôlé à la vidéo 20 minutes après son enregistrement à l'entrée de la passe.

Le poisson **48931_53**, malgré les 22 jours de présence en aval de l'ouvrage, n'a effectué qu'une seule tentative d'entrée dans la passe, tentative qui s'est conclue par un succès de franchissement (le 24/06 à 11h26). Cette incursion a duré au total 17 minutes avec un débit global de $124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Le poisson **48931_53** a franchi les différents bassins de la passe en 2h40min avant d'arriver à la vitre de contrôle.

• **Poissons n'ayant pas franchi l'aménagement du Bazacle**

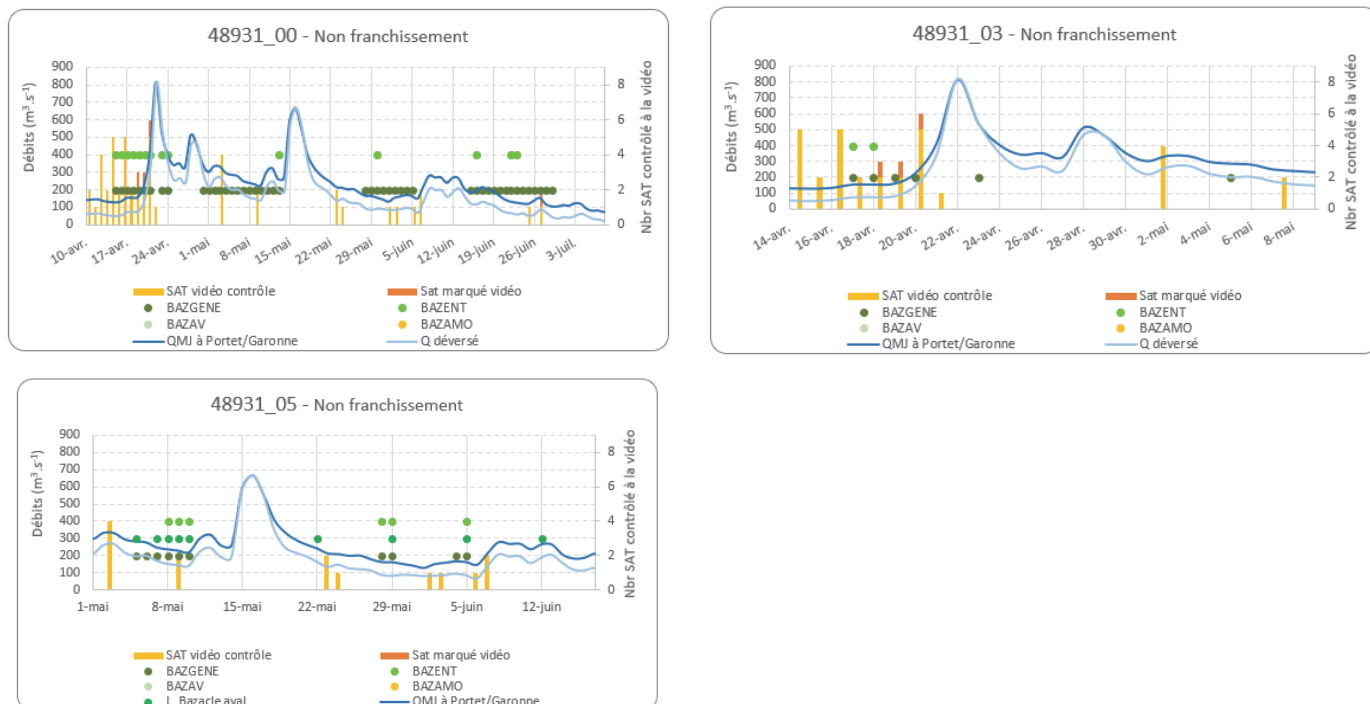


Figure 51 : Détections des saumons aux antennes radio du Bazacle pour les individus n'ayant pas franchi l'aménagement

Comme expliqué au paragraphe 7.4.2, les poissons **48931_00**, **48931_03** et **48931_05** ont atteint l'aval de l'aménagement du Bazacle mais sans parvenir à le franchir. Les poissons **48931_00** et **48931_03** sont arrivés sur site en même temps que les individus **48931_01**, **48931_02** et **48931_04** analysés précédemment, et donc dans les mêmes conditions hydrologiques (Figure 51). Ils sont arrivés sur site alors que de nombreux saumons non-marqués étaient enregistrés à la station vidéo.

Le poisson **48931_00** a été enregistré sur site du 15 avril au 29 juin, soit pendant 2,5 mois. Les enregistrements montrent une prospection apparemment active à proximité de l'entrée de la passe à bassins lors des 10 premiers jours de présence et même pendant le coup d'eau du 23 avril. Mais lors du coup d'eau de la semaine suivante, le poisson a disparu des enregistrements, montrant un retrait du poisson. Lors de cette augmentation des débits, on observe également l'absence de franchissement de poissons non-marqués. Au cours de cette première phase de présence, aucune détection n'a toutefois été observée dans la passe à bassins, au niveau des antennes RFID. Le poisson réapparaît le 1^{er} mai au niveau de l'antenne générale du site, mais pas à proximité de la passe. Le poisson est enregistré jusqu'au coup d'eau du 16 mai où il disparaît à nouveau, tout comme les poissons non-marqués. Les enregistrements du poisson reprennent à partir du 28 mai et il sera régulièrement pointé en aval de l'usine, avec quelques épisodes de prospection plus active au niveau de l'entrée de la passe à bassins autour du 20 juin.

Le saumon **48931_03** a été présent à proximité de la passe à bassins entre le 17 et le 23 avril. Au cours de cette période, il s'est approché à 2 reprises de l'entrée de la passe à bassins le 17 et le 18 avril mais aucune détection n'a été observée dans le dispositif, au niveau des antennes RFID. Après le coup d'eau du 23 avril, il est enregistré de manière épisodique à l'antenne radio générale du site. Il a finalement été pointé de manière plus précise le 23 juin en aval rive gauche de la chaussée, au niveau de la restitution de la turbine. Ce poisson n'a plus effectué de déplacement jusqu'à la fin du suivi.

Le poisson **48931_05**, marqué le 10 avril, n'a été enregistré en aval du Bazacle qu'à partir du 05 mai, soit un temps de transfert entre Golfech et le Bazacle de 25 jours. Le saumon a présenté des phases de prospections actives lors de sa première semaine de présence en aval du site (aucune entrée dans le dispositif car aucune détection au niveau des antennes RFID toutefois). Le poisson disparaît du 10 au 22 mai, et il est enregistré de manière épisodique jusqu'au 12 juin, date du dernier enregistrement sur site, alors que quelques rares poissons non-marqués sont contrôlés entre le 20 mai et le 10 juin. Le poisson sera retrouvé quelques jours plus tard en suivi manuel, 2,5 km en aval et n'effectuera plus de mouvement jusqu'à la fin du suivi.

7.4.4 Devenir des saumons en amont du Bazacle

Au final, parmi les 4 poissons ayant franchi l'aménagement du Bazacle, 2 individus ont dévalé quelques jours après leur franchissement et seulement 2 individus ont poursuivi leur migration vers l'amont (**48931_04** et **48931_53**).

Concernant le premier (**48931_04**), il n'a pas été retrouvé pendant 25 jours après son franchissement. L'absence de station d'enregistrement en amont du Bazacle au moment du franchissement de cet ouvrage n'a pas permis de savoir si le poisson avait continué sa progression ou s'il avait dévalé suite au coup d'eau de la fin du mois d'avril. Après différentes recherches en aval de Toulouse et sans détection en amont de Toulouse au barrage de Carbonne sur l'axe Garonne, les recherches se sont tournées vers l'axe Ariège. Ainsi, le poisson a bien été retrouvé sur l'axe Ariège le 13 mai, au niveau du pont de Grépiac (*PK ARI_16*). Il a été pointé tous les jours du 13 au 19 mai entre le pont de Grépiac et l'aval du seuil de Grépiac, montrant les difficultés à franchir cet ouvrage. Puis le poisson a été pointé le 26 mai depuis le pont d'Auterive (*PK ARI_24*). Le franchissement de l'obstacle de Grépiac semble faire suite à un redémarrage de la centrale hydroélectrique et à l'appel d'eau en aval de celle-ci favorisant l'attrait au niveau de la passe à poissons de l'aménagement. Le poisson

48931_04 sera détecté pendant 48h dans Auterive, en aval proche du premier seuil, avant que son signal ne soit à nouveau perdu. Les différentes prospections en amont d'Auterive resteront vaines. Le poisson sera finalement enregistré dans Toulouse le 18 juin au niveau du bras supérieur de Garonne (station d'enregistrement radio installée au niveau de l'I.M.F.T. sur l'île du Ramier entre temps). Le poisson sera pointé le lendemain, le 19 juin, en aval de l'usine de Ramier. Ce sera sa dernière localisation connue.

En ce qui concerne le poissons **48931_53**, son franchissement de l'aménagement du Bazacle a été validé le 24 juin, après 22 jours de présence en aval de l'ouvrage. Ce poisson n'a pas été enregistré dans le bras supérieur, mais il sera détecté le 03 juillet en aval de l'ouvrage de Carbonne (*PK GAR_363,5*) et sera capturé lors du passage à l'amont de celui-ci par l'ascenseur à poissons. L'individu a ensuite été transporté sur l'Ariège le 06 juillet au niveau de Varilhes (*PK ARI_79*), au même endroit que les saumons piégés à Golfech et non utilisés pour ce suivi. Ce poisson a été pointé à plusieurs reprises entre juillet et novembre aux environs de Crampagna mais l'émetteur radio a été localisé toujours au même endroit entre le 13 juillet et le 20 novembre, ce qui signifie sans doute que ce poisson n'était plus en vie.

7.4.5 Résultats du suivi prédation

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 **48931_03** et **48931_04** dont les tags prédation acoustique n'ont pas été activés au moment du marquage. Il est donc impossible de connaître le devenir de ces poissons. Pour rappel, le poisson **48931_03** a terminé sa progression au pied du Bazacle, en rive gauche et le poisson **48931_04** a franchi l'aménagement du Bazacle et s'est ensuite engagé sur l'axe Ariège pour finalement redévaler jusqu'à Toulouse et arrêter sa progression en aval de l'ouvrage du Ramier.

Les poissons **48931_00** et **48931_05** ont également stoppé leurs déplacements au pied du seuil du Bazacle. Le saumon **48931_05** a été enregistré jusqu'à la fin du suivi grâce à l'hydrophone situé en aval de l'ouvrage. Son code acoustique n'est jamais passé impair, ce qui signifie que ce poisson n'a pas subi de prédation. A l'inverse, le poisson **48931_00** n'a jamais été enregistré par l'hydrophone présent en aval de l'ouvrage malgré la proximité supposée du poisson et de son émetteur radio. Il semble donc que ce poisson ait également perdu le tag acoustique au cours de sa progression.

Le dernier individu (**48931_53**) est le saumon qui a rejoint Carbonne et qui a été transféré sur l'Ariège. Le devenir de ce poisson n'a pas été contrôlé une fois sur l'Ariège, mais ce poisson n'a pas subi de prédation de façon certaine jusqu'à sa capture au niveau de l'ouvrage de Carbonne.

7.5 Synthèse globale du suivi des tags prédation

Lors de ce suivi 2020, 18 saumons ont été équipés de marque prédation acoustique et relâchés en amont de l'ascenseur à poissons de Golfech. Parmi ces 18 poissons, 2 ont été marqués sans activation du tag prédation (**48931_03** et **48931_04**). Aucune information sur la prédation éventuelle n'est donc disponible pour ces 2 individus qui ne seront donc pas pris en compte dans les analyses.

Parmi les 16 poissons suivis, 7 ont présenté une absence d'émission lors de leur pointage à l'aide de la sonde acoustique portable (VR100) (Tableau 12), ce qui signifie une perte, une expulsion ou un dysfonctionnement du tag en question (7 sur 16, soit 44 %). Cette perte de tag est la conséquence probable d'une mauvaise insertion de l'émetteur au cours du marquage pour au moins 3 poissons (**48931_09**, **48931_12** et **48931_33**). Cette constatation, apparue en début de suivi, a été prise en compte et a entraîné une modification de

l'implantation de l'émetteur afin de s'assurer que celui-ci soit bien dans la cavité générale du poisson. Les 4 autres émetteurs radio (**48931_00**, **48931_07**, **48931_30** et **48931_58**) ont été retrouvés sans association du tag acoustique alors que des données ont été enregistrées en début de suivi par les hydrophones du canal d'amenée, ce qui signifie une perte du tag acoustique plus tardive au cours de l'étude. Il n'est malheureusement pas possible de connaître le devenir de ces poissons, c'est-à-dire si les 2 émetteurs (radio et acoustique) ont été séparés suite à une prédation ou simplement suite à une mauvaise insertion du tag acoustique.

Ensuite, 3 poissons (3 sur 16, soit 19 %) n'ont plus été retrouvés lors des suivis manuels, il est donc impossible de connaître leur devenir par rapport à la prédation et 1 poisson localisé n'a pu être contrôlé à l'aide de la sonde portable.

Sur les 5 poissons restants, 2 avaient toujours leur tag prédation avec un code pair en fin de suivi, synonyme de non-prédation (**48931_05** en aval du Bazacle et **48931_53** capturé à Carbonne et transporté sur l'Ariège). 2 autres ont été retrouvés morts (**48931_02** et **48931_10**) sans leur tag prédation. Il n'est donc pas possible de connaître les raisons de la mort de ces 2 poissons.

Enfin, le dernier poisson (**48931_25**) a été retrouvé avec le code de sa marque acoustique impair, ce qui signifie que le poisson a été prédaté, en aval de Castelferrus (*PK GAR_245,7*), 12 jours après son marquage. La version des émetteurs prédation utilisée pour ce suivi ne permet pas de connaître le moment de prédation, nous savons seulement qu'elle est intervenue entre le 05 juin (sortie du poisson de la retenue de Malause) et le 16 juin (pointage lors d'une descente en bateau du secteur de suivi). Les émetteurs qui seront utilisés lors du suivi 2021 devraient permettre de récupérer l'information sur le moment du déclenchement du tag.

Poisson	Devenir du tag prédation acoustique
48931_03	non activé
48931_04	non activé
48931_00	poisson retrouvé sans tag
48931_07	poisson retrouvé sans tag
48931_09	poisson retrouvé sans tag
48931_12	poisson retrouvé sans tag
48931_30	poisson retrouvé sans tag
48931_33	poisson retrouvé sans tag
48931_58	poisson retrouvé sans tag
48931_06	non contrôlé
48931_01	poisson non retrouvé en suivi
48931_51	poisson non retrouvé en suivi
48931_52	poisson non retrouvé en suivi
48931_02	poisson mort retrouvé sans tag
48931_10	poisson mort retrouvé sans tag
48931_25	PREDATION (impair)
48931_05	ok (pair)
48931_53	ok (pair)

Tableau 12 : Tableau bilan du devenir des tags prédation acoustiques

A la vue du Tableau 12, il est difficile d'annoncer un pourcentage de prédation sur l'ensemble des individus de l'étude (nombreuses pertes de marques, poissons non contrôlés, etc...). Il est uniquement possible d'affirmer que 2 poissons se sont faits prédater alors qu'ils semblaient encore actifs : le premier dans le canal de transfert de Golfech et le second en amont de la retenue de Malause, dans le cours de la Garonne.

8. DISCUSSION / CONCLUSION / PERSPECTIVES

Préambule :

En préambule, il est important de souligner que le déroulement de l'étude a dû être adapté en raison de la crise sanitaire liée à la covid-19 dès le début du printemps. En effet, les premiers marquages de poissons ont été décalés dans le temps (premier poisson marqué le 9 avril) en raison de la réorganisation nécessaire par rapport au personnel mobilisable en période de confinement. L'objectif de 35 saumons marqués n'a pu être atteint puisque seuls 18 saumons ont pu être équipés et suivis jusqu'à la fin du mois de juillet. De plus, en raison des restrictions de déplacements, il a été décidé de modifier un des objectifs principaux de l'étude en suivant uniquement les poissons marqués à l'amont du site de Golfech. Ainsi, l'efficacité de l'ascenseur à poissons de Golfech n'a pas pu être évaluée en 2020. Cet objectif sera bien évidemment central lors du prochain suivi 2021. Malgré ces ajustements, la quantité de données et d'informations recueillis dans le canal d'amenée de Golfech et sur le secteur Malause-Bazacle est importante et permet d'apporter des éléments de réponse aux autres objectifs de l'étude (taux de transfert du canal d'amenée, taux de transfert jusqu'à Toulouse et taux de franchissement de l'aménagement du Bazacle).

Nous rappelons également que ce présent rapport est un rapport d'étape concernant la première année de suivi d'une étude qui va se poursuivre encore pendant 2 ans. Le traitement et les analyses réalisés sont pour le moment principalement descriptifs et les points abordés en discussion seront donc essentiellement techniques.

A partir du démarrage des piégeages début avril, 18 saumons ont été capturés pour cette étude et marqués avec des émetteurs radios, acoustiques et RFID (17 PHM et 1 castillon). L'ensemble de ces poissons ont été relâchés au niveau du piège situé dans le canal de transfert de l'ascenseur à poissons de Golfech et ont été suivis en amont de Golfech.

Parmi les 18 saumons marqués, 1 individu n'est pas sorti du canal de transfert en raison d'une prédation de la part d'un silure (1 sur 18 soit 5,5 %). Pour les 17 individus sortis du canal de transfert, 1 seul n'a pas entamé de migration vers l'amont et a stagné en amont proche de l'usine hydroélectrique. Ce poisson est sans doute mort mais il est impossible de définir la date et la cause de celle-ci. En ce qui concerne les 16 autres poissons, 100 % ont atteint l'amont du canal d'amenée de l'usine de Golfech.

Concernant le devenir des saumons entre Golfech et Toulouse, le taux de transfert de l'ensemble des poissons radiomarqués en 2020 est de 39 % (7 sur 18). Si l'on tient compte uniquement des poissons arrivés à l'amont du canal d'amenée, le taux de transfert est de 43,7 % (7 sur 16). De plus, on notera qu'aucun poisson marqué et suivi ne s'est engagé sur l'axe Tarn.

Le devenir des 9 poissons qui n'ont pas atteint le Bazacle est très hétérogène. En effet, 2 poissons ont stoppé leur migration sur le secteur en amont de Malause (1 dans la retenue de Malause et 1 sur le secteur de Garonne libre au niveau de Grenade sur Garonne), 1 poisson s'est fait prédater par un silure quelques kilomètres en amont de la retenue de Malause, 4 poissons ont dévalé lors des crues rencontrées aux mois d'avril et mai, alors qu'ils avaient entamé leur migration sur le secteur et enfin, 2 individus n'ont jamais été retrouvés en suivi manuel suite aux crues (dévalaisons ?).

Au niveau de l'ouvrage du Bazacle, 4 individus ont finalement franchi l'aménagement sur les 7 arrivés au pied de celui-ci, soit 57 % de franchissements. Si l'on considère les saumons ayant franchi Golfech, et non pas seulement ceux arrivés au pied du Bazacle, le taux de franchissement des saumons marqués est de 4 sur 18 soit 22 %, alors qu'il est de 56 sur 133, soit 42 %, pour les poissons contrôlés aux deux stations vidéo. Ainsi, le taux de franchissement du Bazacle par les poissons marqués est inférieur à celui des poissons non-marqués.

L'échantillonnage tardif pour le marquage, conjugué à une précocité des passages en début de saison 2020 (78 % de l'effectif de saumon contrôlé à Golfech avant le mois de mai) pourraient expliquer au moins en partie cette différence.

Enfin, sur les 4 poissons ayant franchi l'aménagement du Bazacle, 2 individus ont dévalé quelques jours seulement après leur franchissement. Ces mouvements de dévalaison ont été observés lors de hausses significatives de débit. L'un de ces 2 poissons a dévalé en aval de Golfech et n'a pas repris de migration vers l'amont. Le second a été retrouvé plusieurs semaines après sa dévalaison, mort au niveau de la confluence d'un petit affluent quelques kilomètres en aval de Toulouse. Pour les 2 poissons n'ayant pas dévalé, 1 poisson a continué sa migration sur l'axe Ariège et a pu être suivi jusqu'à Auterive. Ce poisson a ensuite dévalé jusqu'à Toulouse avant de stopper ses mouvements au pied de l'usine du Ramier. Le second a poursuivi sur l'axe Garonne jusqu'au barrage de Carbonne où il a été piégé puis transporté sur l'Ariège sur un secteur favorable à la reproduction (amont Varilhes).

Au niveau du suivi des tags acoustiques, en lien avec la prédation exercée par le silure, seule 1 prédation a été détectée sur le secteur de Garonne libre en amont de la retenue de Malause. La prédation a été constatée 12 jours après le marquage du poisson. Une seconde prédation par un silure a eu lieu dans le canal de transfert après marquage du saumon mais elle a été identifiée suite à une vidange du canal et non par l'intermédiaire du tag prédation. Ainsi, cela fait 2 poissons sur 18 prédatés avec certitude par le silure (11 %). Il n'est malheureusement pas possible de conclure sur le devenir d'un certain nombre de poissons dont l'émetteur radio a été retrouvé mais non accompagné du tag acoustique. La limitation du nombre de suivis manuels réalisés, en raison des restrictions sanitaires, ainsi que des soucis rencontrés en début de marquage, ont très certainement diminué la portée des informations concernant ce suivi des tags prédation.

Au cours de ce suivi 2020, l'impact de l'hydrologie a été notable à plusieurs niveaux. De nombreux coup d'eau ont accompagné la saison de migration d'avril à juin, avec 4 hausses de débit notables comprises entre 2 et 5 fois le module alors que les débits de base étaient faibles. Ces coups d'eau ont perturbé la progression vers l'amont des poissons suivis en engendrant des arrêts de migration pour certains ou des dévalaisons pour d'autres. L'ensemble de ces arrêts et de ces dévalaisons a été irréversible pour les poissons suivis. Entre ces coups d'eau, les débits de la Garonne ont été faibles, avec des débits largement inférieurs au module à Portet-sur-Garonne ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Ces faibles débits ont potentiellement impacté la progression des poissons. Les variations de débits d'amplitudes importantes observées au cours de la saison de migration ont également impacté la migration des poissons non-marqués. En effet, lors des coups d'eau significatifs, d'une part le fonctionnement de l'ascenseur de Golfech et de la passe à bassins du Bazacle ont été fortement perturbés, entraînant des arrêts de fonctionnement plus ou moins prolongés. D'autre part, même après la remise en service des dispositifs, les reprises de migration après ces coups d'eau entre avril et juin ont été lentes puisqu'il a fallu attendre parfois plus de 10 jours avant d'avoir de nouvelles présentations de saumons (mais aussi d'holobiotiques) aux stations vidéo de Golfech et du Bazacle.

En conclusion, la campagne de suivi 2020 a permis d'acquérir un nombre important de données et d'informations sur le comportement des poissons à l'amont de l'aménagement de Golfech, ceci malgré le contexte sanitaire. Il s'avère néanmoins nécessaire d'attendre les enseignements des futurs suivis 2021 et 2022 pour compléter ces observations. Une attention particulière sera portée au comportement migratoire des saumons en aval de l'aménagement de Golfech, afin d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage de franchissement.

Enfin, malgré les restrictions de déplacements, le suivi a pu être assuré dans un premier temps grâce au réseau de stations fixes mis en place en amont de l'étude. Ce réseau a montré son efficacité au niveau des aménagements suivis (Malause-Golfech, Bazacle) mais a aussi montré certaines limites dans les parties « libres » de la Garonne. Il sera intéressant lors du

prochain suivi de combler certains « trous » dans le maillage de stations fixes, d'augmenter significativement la fréquence des suivis mobiles et de zoomer sur certains secteurs potentiellement difficiles à franchir mis en évidence, soit par des arrêts/dévalaisons de saumons marqués, soit mis en relief par l'étude morphologique du tronçon Malause-Bazacle menée également en 2020 et qui sera complétée en 2021.

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 ichtyologiques 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 Golfech, du Bazacle et de Carbonne et de la reproduction de la grande Alose sur la Garonne en aval de Golfech – Année 2020.
- BROWN R.S., OLDENBURG E.W., SEABURG A.G., COOK K.V., SKALSKI J.R., EPPARD M. & DETERS K.A., 2013**. Survival of seaward-migrating PIT and acoustic-tagged juvenile Chinook salmon in the Snake and Columbia Rivers: an evaluation of length-specific tagging effects. *Animal Biotelem*, 1:8.
- CARRY L., DELPEYROUX J.M. et BOSCH S., 2015**. Etude des rythmes de migration des espèces amphibiotes et holobiotiques de la Garonne au niveau de la station de contrôle de Golfech au cours de l'année 2014. MI.GA.DO. 22G-15-RT.
- CARRY L., BOUYSSONNIE W., TARDIEU P. et OTALORA B., 2019**. Etude des rythmes de migration au niveau de la station de contrôle de Golfech et de la reproduction de la grande alose sur la Garonne – Année 2018.
- CARRY L., BOUYSSONNIE W., TARDIEU P. et OTALORA B., 2020**. Etude des rythmes de migration au niveau des stations de contrôle de Golfech, du Bazacle et de Carbonne et de la reproduction de la grande alose sur la Garonne en aval de Golfech – Année 2019.
- COURRET D., TOMANOVA S., CARRY L. & BOSCH S., 2020**. Bilan des connaissances sur l'efficacité des dispositifs de franchissements de Golfech, du Bazacle et du Ramier sur la Garonne pour le saumon atlantique et sur le taux de transfert entre Golfech et le Bazacle, 42p.
- CROZE O., 2008**. Impact des seuils et barrages sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) : caractérisation et modélisation des processus de franchissement. *PhD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2008*.
- CROZE O., BAU F. et DELMOULY L., 2008**. Efficiency of a fish lift for returning Atlantic salmon at a large-scale hydroelectric complex in France. *Fisheries Management and Ecology*, 2008, 15, 467–476.
- DARTIGUELONGUE J., 2019**. Contrôle du fonctionnement des passes à poissons installées du Bazacle en 2018. Suivi de l'activité ichtyologique. Rapport SCEA 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.
- GOSSET, LARINIER, PORCHER, TRAVADE., 1999**. « Passes à poissons : Expertise, conception des ouvrages de franchissement » - Edition Mise au point, 336 pages.
- SAGA, 2000**. Saumon Atlantique Garonne Ariège. La Reconquête du haut bassin de la Garonne.
- SMITH R.J.F., 1985**. The control of fish migration. *Zoophysiology* vol. 17, Springer-Verlag, 243 p.
- TRAVADE F., LARINIER M., TRIVELLATO D. & DARTIGUELONGUE J., 1992**, Conception d'un ascenseur à poissons adapté à l'alose (*Alosa alosa*) sur un grand cours d'eau : l'ascenseur de Golfech sur la Garonne, *Hydroécologie appliquée*, 4(1), 91-119.
- UICN France, MNHN, SFI, ONEMA, 2010**. La Liste rouge des espèces menacées en France. Poissons d'eau douce de France métropolitaine. IUCN France, MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle, SFI : Société française d'ichtyologie, ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques, Paris.
- 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	Remarque
1	Boé	ACOUSTIQUE	Pont routier	Boé RD	-	A180-1702	Lest béton
2	Boé	ACOUSTIQUE	Pont routier	Boé RG	-	A180-1702	Lest béton
3	St Nicolas de la B.	ACOUSTIQUE	Pont routier	St Nicolas de la Balerme	-	A180-1702	Lest béton
4	Lamagistère	ACOUSTIQUE	Pont routier	Lamagistère	-	A180-1702	Lest béton
5	Golfech	RFID	ASP	E1	GO10000	Damona 1.0 (m.a.j usb)	Cadre bois
6	Golfech	RFID	ASP	E2	GO20000	Damona 1.0 (m.a.j usb)	Cadre bois
7	Golfech	RADIO	Tour ASP	E1	GOLE1	R4500C	Brin
8	Golfech	RADIO	Tour ASP	E2	GOLE2	R4500C	Brin
9	Golfech	RADIO	Tour ASP	Générale aval	GOLGENE	R4500C	Antenne boucle
10	Golfech	RADIO	Tour ASP	Cuve ASP	GOLASP	R4500C	Brin
11	Golfech	RFID	Canal transfert	Aval vitre station contrôle	GO30000	Damona 2.0 (usb)	Cadre bois
12	Golfech	RFID	Canal transfert	Amont piège	GO40000	Damona 2.0 (usb)	Cadre bois
13	Golfech	RFID	Canal transfert	Aval sortie canal transfert	GO50000	Damona 2.0 (usb)	Cadre bois
14	TCC Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont de Mondou RD	-	A180-1702	Lest béton
15	TCC Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont de Mondou RG	-	A180-1702	Lest béton
16	TCC Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Auwillar RD	-	A180-1702	Lest béton
17	TCC Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Auwillar RG	-	A180-1702	Lest béton
18	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont canal RG	-	A180-1702	Lest
19	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont canal RD	-	A180-1702	Lest
20	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont Valence RD	-	A180-1702	Lest
21	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont Valence RG	-	A180-1702	Lest
22	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont Pommevic RD	-	A180-1702	Lest
23	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont Pommevic RD	-	A180-1702	Lest
24	C. amené Golfech	ACOUSTIQUE	Pont routier	Pont Malause	-	A180-1702	Lest
25	Malause	RADIO	Barrage	Aval barrage RD	MALBAR1	R4500C	Antenne boucle
26	Retenue Malause	ACOUSTIQUE	Pont routier	Malause RD	-	A180-1702	Tube pvc 4m
27	Retenue Malause	ACOUSTIQUE	Pont routier	Malause RG	-	A180-1702	Tube pvc 4m
28	Retenue Malause	ACOUSTIQUE	Pont routier	St Nicolas de la Grave RD	-	A180-1702	Lest béton
29	Retenue Malause	ACOUSTIQUE	Pont routier	St Nicolas de la Grave RG	-	A180-1702	Lest béton
30	Belleperche	RADIO	Abbaye	Garonne intermédiaire	BELLEP	A180-1702	Antenne boucle
31	TARN	RADIO	Usine Sainte Livrade	Aval Sainte Livrade	STLIV	R4500C	Antenne boucle
32	Bazacle	RFID	PAP	Entrée	BA10000	Damona 2.0 (usb)	Cadre bois
33	Bazacle	RFID	PAP	Amont débit d'attrait	BA20000	Damona 2.0 (usb)	Cadre bois
34	Bazacle	RADIO	PAP	Générale aval	BAZGENE	R4500C	Antenne boucle
35	Bazacle	RADIO	PAP	Entrée extérieure passe	BAZENT	R4500C	Brin
36	Bazacle	RADIO	PAP	Aval passe (virage)	BAZAV	R4500C	Brin
37	Bazacle	RADIO	PAP	Amont pap	BAZAMO	R4500C	Brin
38	Bazacle	ACOUSTIQUE	PAP	Aval entrée PAP	-	A180-1702	Lest
39	IMFT	RADIO	Terrasse IMFT	Bras supérieur Garonne Toulouse	IMFT	R4500C	Antenne boucle
40	Carbonne	RADIO	Usine	Aval usine	CARB	R4500C	Antenne boucle

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

Courantométrie théorique en m/s

	Q(m³/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(m³/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(m³/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(m³/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(m³/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)

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

Opération financée par :



Autres partenaires :



Association MIGADO

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

www.migado.fr

