Suivi des habitats du saumon atlantique et de leur fonctionnalité sur le bassin de la Garonne

Année 2018

M. Coll ; S. Bosc ; A. Nars

M I G A D O

RESUME

Suivi des habitats du saumon atlantique et de leur fonctionnalité sur le bassin de la Garonne

Objectifs de l'action

- **Suivi de la fonctionnalité des milieux et évaluation du colmatage du substrat des frayères**
- **Mise à jour des cartographies des frayères et des zones de grossissement potentielles**
- **Suivi thermique de la Garonne et des affluents sur le haut bassin**

Chiffres clés

Fonctionnalité des frayères

Suivi réalisé depuis 2014

Pour la saison de reproduction 2017-18, 9 stations sur la Garonne, 2 sur la Pique et 6 sur la Neste.

Cartographie des habitats

15,8km parcourus entre le Plan d'Arem et Esténos

14,1ha de surface favorable à la croissance des juvéniles

Suivi thermique

Enregistrements horaires sur des cycles annuels complets

18 sondes réparties entre les affluents amont et la Garonne jusqu'à Golfech

- **2** sur la Pique
- **2** sur la Neste
- **5** sur l'Ariège
- **9** sur la Garonne

Contexte de l'année

Les conditions hydrologiques rencontrées à l'occasion des suivis de 2018 ont été relativement fortes.

Le suivi de la fonctionnalité des habitats de reproduction comporte habituellement deux sessions de mesures (pré et post reproduction). Cette année, seule la campagne de mesure de novembre 2017, soit pré-reproduction a pu être réalisée. Quatre nouvelles stations ont été intégrée au suivi au niveau du tronçon court-circuité du Plan d'Arem (jusqu'à Fos).

De même, les forts débits rencontrés en juillet ont rendu difficile la distinction et la classification des faciès d'écoulement sur les 3 derniers kilomètres parcourus. Les surfaces favorables ont probablement été sous-estimées sur ce secteur.

Bilan et perspectives

Frayères

Les résultats suggèrent des variations de perméabilité du substrat des frayères pendant la période de reproduction et entre les années.

De manière générale, la qualité du substrat reste relativement stable sur la Pique. Elle varie davantage en Garonne du fait des apports de granulométrie favorable issue du Plan d'Arem.

Le suivi doit être poursuivi sur la Neste afin de disposer de plus d'éléments.

Cartographie

Malgré les conditions de réalisation difficiles, les surfaces favorables calculées sur le linéaire suivies sont cohérentes vis-à-vis de celles calculées en 2007.

Une étude similaire sera réalisée sur l'Ariège, en lien avec les secteurs repeuplés.

Thermie

Du fait de pannes ou de vandalisme, seulement 8 des 18 stations disposent finalement d'enregistrements annuels complets pour 2018.

A partir de 2019, le nombre de thermographe sera doublé sur chaque station afin d'éviter la perte de données.

Les enregistrements décrivent des régimes thermiques compatibles vis-à-vis des exigences des salmonidés sur la partie amont du bassin.

REMERCIEMENTS

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

- L'Union Européenne,
- L'Agence de l'Eau Adour-Garonne,
- La Fédération Nationale de la Pêche en France,

Equipe de travail MIGADO:

Chargé de missions : Stéphane BOSC

Techniciens : Marie COLL, Alexandre NARS

Edition : Marie Pierre CAPRINI

Dans le cadre du suivi de la qualité des substrats de frayères sur le bassin de la Garonne amont, réalisée en partenariat avec la Fédération de Pêche de la Haute Garonne, nous remercions également :

- L'AFB DIRSO Toulouse, et en particulier M. Francis GAYOU, pour son appui technique et son aide dans l'analyse des données recueillies,
- La Fédération Départementale de pêche des Hautes-Pyrénées pour leur participation à la collecte des données sur la Neste d'Aure,
- L'Unité de Production Sud-Ouest d'EDF, le Groupement d'Usine de Luchon et en particulier Messieurs Pascal GRABETTE et Nicolas TOUSSET du service Eau et territoire ;

Equipe de travail de la Fédération de Pêche de la Haute Garonne :

Directeur : Olivier PLASSERAUD

Chargé de missions : Gaël DURBE

SUIVI DES HABITATS DU SAUMON ATLANTIQUE ET DE LEUR FONCTIONNALITE SUR LE BASSIN DE LA GARONNE

MPHASA18

Dans le cadre du plan de restauration du saumon atlantique, MIGADO réalise le suivi des habitats de croissance et de reproduction de cette espèce sur la Garonne. Cette action se décline en 3 volets :

1er volet : Suivi de la qualité du substrat des frayères de salmonidés sur le bassin de la Garonne amont.

Cette opération consiste en une évaluation du degré de colmatage des zones de frayères potentielles et actives de salmonidés par des mesures de conductivité hydraulique. Ce suivi, initié en 2014 sur la Garonne et étendu ensuite sur l'ensemble des cours d'eau du bassin susceptibles d'être colonisés par les saumons, constitue une banque de données sur l'évolution des habitats sur ces secteurs.

2ème volet : Mise à jour de la cartographie des habitats de croissance du saumon atlantique et estimation de la capacité d'accueil en juvéniles.

Réalisée pendant la période d'étiage estival 2018, la cartographie des habitats consiste en un parcours à pieds de l'ensemble du linéaire et en une description des différents faciès d'écoulement et de leur superficie. Ces relevés font suite à ceux réalisés en 2007 et portent sur la Garonne en aval du Plan d'Arem jusqu'à la confluence avec la Pique.

3ème volet : Suivi du régime thermique Garonne-Pique-Neste d'Aure-Ariège

Le suivi thermique de la Garonne initié en 2000 permet de disposer d'une vision globale de l'évolution de la température de l'eau et d'appréhender le gradient amont aval de ce paramètre.

VOLET 1 : SUIVI DE LA QUALITE DU SUBSTRAT DES FRAYERES DE SALMONIDES SUR LE BASSIN DE LA GARONNE AMONT

SOMMAIRE

SOMMAIRE ..... **II**

LISTE DES ILLUSTRATIONS ..... **III**

1 INTRODUCTION **1**

1.1 CONTEXTE GENERAL 1
1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE 1
1.3 SECTEURS D'ETUDE 1

2 MATERIEL ET METHODE **3**

2.1 SUIVI INTERANNUEL 3
2.1.1 Protocole d'évaluation du colmatage des zones potentielles de frayères ... 3
2.1.2 Cours d'eau concernés et localisation des stations 14
2.1.3 Calendrier d'échantillonnage 15
2.1.4 Contexte hydrologique 17
2.1.5 Traitement des données 18

3 RESULTATS **20**

3.1 CAS DE LA GARONNE 20
3.1.1 Proportions d'infiltration 20
3.1.2 Conductivité hydraulique 22
3.1.3 Composition granulométrique de surface 25
3.2 CAS DE LA PIQUE 28
3.2.1 Proportions d'infiltration 28
3.2.2 Conductivité hydraulique 28
3.2.3 Composition granulométrique de surface 29
3.3 CAS DE LA NESTE D'AURE 30
3.3.1 Proportions d'infiltration 30
3.3.2 Conductivité hydraulique 31
3.3.3 Composition granulométrique de surface 32

4 BILAN ET PERSPECTIVES **34**

BIBLIOGRAPHIE **35**

ANNEXES **38**

LISTE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : (A) Matériel utilisé et (B) dimensions du mini-piézomètre (*Datry, 2011*) 3
Figure 2 : Schéma de localisation et de structure d'une frayère de salmonidés (*source : Dupont E. in Motte G., 2005*)..... 9
Figure 3 : Exemple de dispositions des points de mesure sur une zone d'échantillonnage..... 11
Figure 4 : Schéma récapitulatif du dispositif expérimental et des mesures réalisées pour chaque point d'échantillonnage..... 13
Figure 5 : Localisation des stations suivies 15
Figure 6 : Evolution des débits journaliers moyens déversés au Plan d'Arem et à Cier (source : EDF) 17
Figure 8 : Evolution des débits journaliers moyens de la Neste d'Aure (source : CACG) 18
Figure 9 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2015 à 2017 sur la Garonne..... 21
Figure 10 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en novembre 2017 sur la Garonne, entre l'aval du Plan d'Arem et Tibiran-Jaunac..... 21
Figure 11 : Evolution des proportions d'infiltration entre novembre 2015 et février 2017 sur la Garonne 22
Figure 12 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Garonne de 2015 à 2017..... 23
Figure 13 : Evolution de la conductivité hydraulique mesurée sur la Garonne en novembre 2017, de l'aval du Plan d'Arem à Tibiran-Jaunac..... 24
Figure 14 : Evolution de la conductivité hydraulique depuis novembre 2015 l'ensemble des stations suivies sur la Garonne..... 25
Figure 15 : Evolution de la composition granulométrique de surface des stations suivies sur la Garonne de novembre 2015 à novembre 2017 27
Figure 16 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2014 à 2017 sur la Pique..... 28
Figure 17 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Pique de 2014 à 2017..... 29
Figure 18 : Evolution de la composition granulométrique de surface des stations suivies sur la Pique de novembre 2015 à novembre 2017 30
Figure 19 : Synthèse des données de proportion d'infiltration calculées dans le cas de la Neste d'Aure depuis novembre 2016..... 31
Figure 20 : Evolution de la conductivité hydraulique (K) depuis novembre 2016 sur la Neste d'Aure . 32
Figure 21 : Evolution de la composition granulométrique de surface des stations suivies sur la Neste de novembre 2016 à novembre 2017 33

TABLEAUX :

Tableau 1 : Synthèse bibliographique des caractéristiques des habitats de reproduction du saumon atlantique (Salmo salar) et de la truite fario (Salmo trutta)..... 10
Tableau 2 : Echelle granulométrique de Wentworth modifiée par Malavoi et Souchon (1989) 12
Tableau 3 : Chronique d'échantillonnage des stations du réseau de suivi Garonne-Pique-Neste de 2014 à 2018 (*données non acquises, forte hydrologie)..... 16

ANNEXES :

Annexe 1 : Exemple de fiche terrain pour les relevés de conductivité hydraulique 39
Annexe 2 : Rappel des principes fondamentaux autour des tests d'hypothèses..... 40
Annexe 3 : Evolution de la conductivité hydraulique (K, cm/h) et de la proportion d'infiltration, de 2014 à 2017 sur les différentes stations de suivi en Garonne 41
Annexe 4 : Evolution de la conductivité hydraulique (K, cm/h) et de la proportion d'infiltration de 2014 à 2017 sur les différentes stations de suivi sur la Pique 42
Annexe 5 : Evolution de la conductivité hydraulique (K, cmh/) et de la proportion d'infiltration de 2014 à 2017 sur les différentes stations de suivi sur la Neste 43
Annexe 6 : Tableau récapitulatif des paramètres descriptifs (moyennes, écart-types et proportion d'infiltration) calculés pour chaque station à l'occasion de chaque session de mesure sur la durée du suivi..... 44
Annexe 7 : Résultats du test de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2016 sur la Garonne 45

Annexe 8 : Résultats du test de comparaison (tests de Dunn) des conductivités hydrauliques mesurées sur deux sessions successives par station en Garonne 46
Annexe 9 : Résultats des tests de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en début de période d'incubation sur la Neste d'Aure 47

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte général

Le colmatage minéral correspond au phénomène naturel de dépôt et d'infiltration de sédiments fins au sein du lit des cours d'eau conduisant au comblement des interstices du substrat minéral et à l'altération de ses fonctions (Gayraud et *al.*, 2002). Ce processus peut toutefois être amplifié par diverses activités anthropiques sources de déséquilibres entre les processus naturels d'apport et de transport des sédiments fins (Gayraud et *al.*, 2002, Wood & Armitage, 1997), comme c'est le cas à l'aval d'ouvrages hydroélectriques par exemple. Le colmatage peut impacter potentiellement toutes les espèces qui dépendent du substrat minéral pour la réalisation de tout ou partie de leur cycle biologique, notamment les espèces piscicoles lithophiles telles que le saumon atlantique (*Salmo salar,* Linnaeus 1758) et la truite fario (*Salmo trutta,* Linnaeus 1758).

La problématique du colmatage interstitiel des cours d'eau préoccupe la communauté scientifique depuis plusieurs années déjà. En 2009, l'ONEMA déploie le protocole CARHYCE chargé de caractériser l'hydromorphologie d'un cours d'eau, en application de la Directive Cadre sur l'Eau. Bien que ce premier protocole comprenne une partie d'évaluation du colmatage, l'ONEMA, en collaboration avec l'IRSTEA, développe en 2010 un nouveau protocole axé exclusivement sur le colmatage interstitiel des cours d'eau (Datry, 2011). Ce protocole vise à évaluer le colmatage d'un cours d'eau en utilisant des mesures de conductivité hydraulique et tend à être de plus en plus appliqué à l'échelle du territoire français.

Suite à la crue centennale de juin 2013 ayant touché le Sud-Ouest et les Pyrénées, la Fédération de Pêche de la Haute-Garonne et l'Association MIGADO ont souhaité mettre en place un programme de suivi du colmatage du substrat des frayères de saumons atlantiques et de truites fario sur le bassin versant de la Garonne amont. L'étude de la fonctionnalité des substrats constituant les frayères potentielles et actives s'est basée sur l'application des outils et des fondements du protocole « Datry ».

Cette étude fait suite aux rapports annuels édités entre 2015 et 2017, qui traitaient de l'applicabilité de ce protocole au cas des frayères à salmonidés et dressaient un bilan interannuel de l'évolution de la qualité des habitats de reproduction sur la Garonne et la Pique (Coll et *al.*, 2015 à 2017).

1.2 Objectifs de l'étude

Depuis les premiers essais d'application des mesures de conductivité hydraulique au cas des frayères à salmonidés réalisés de 2013 à 2015, le programme s'est enrichi de nouvelles données sur la Garonne, la Pique et la Neste afin de :

(1) Caractériser l'évolution interannuelle du colmatage du substrat des frayères à salmonidés depuis la crue de 2013 sur les stations de suivi

(2) Etudier les potentielles variations de colmatage pendant la période d'incubation des œufs sur les stations de suivi

De plus, de nouvelles stations ainsi qu'une campagne de mesure pendant l'été 2017 ont été ajoutées au suivi sur la Garonne afin de disposer de nouveaux éléments permettant une meilleure compréhension des processus impliqués.

1.3 Secteurs d'étude

Dans le cadre du programme de restauration des poissons migrateurs du Bassin de la Garonne et de l'action de suivi de la reproduction naturelle des grands salmonidés, les

mesures de conductivité hydraulique ont été étendues sur l'ensemble des cours d'eau du bassin susceptibles d'être colonisés par les saumons, et dans lesquels des populations de truites sont présentes.

Le suivi pluriannuel du colmatage des frayères concerne :

- La Garonne amont : depuis le barrage du plan d'Arem jusqu'à la confluence avec la Neste d'Aure
- La Pique : entre la confluence avec la Neste d'Oô et celle avec la Garonne
- La Neste d'Aure : en amont de la confluence avec la Neste du Louron jusqu'à la confluence avec la Garonne.

Les secteurs concernés par le suivi du colmatage sont largement impactés par les ouvrages hydroélectriques. Le fonctionnement de la chaine hydroélectrique espagnole du Val d'Aran et les éclusées produites par les installations associées au Plan d'Arem (usines de Fos et Arlos) engendrent des perturbations hydrologiques qualifiées de très sévères (Courret et *al.*, 2008) en Garonne amont. La Pique quant à elle, est sous l'influence d'une complexe chaine hydroélectrique fonctionnant également par éclusées (centrales du Portillon, de la Pique supérieure, de la Pique inférieure et du lac d'Oô). La Neste d'Aure se trouve aussi dans un contexte hydrologique très impacté par la présence de nombreuses installations hydroélectriques et de la prise d'eau du canal de la Neste à Sarrancolin.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 Suivi interannuel

2.1.1 Protocole d'évaluation du colmatage des zones potentielles de frayères

Les mesures réalisées dans le cadre des stations de référence et du suivi pluriannuel post-crue ont consisté en l'application d'un protocole développé à partir de la méthode de conductivité hydraulique (Datry, 2011), adaptée au cas des frayères de salmonidés.

Ce protocole peut être appliqué par une équipe de trois personnes, compte tenu de la quantité de matériel à transporter et du nombre de tâches à réaliser à chaque point de mesure.

2.1.1.1 Matériel utilisé

Chaque équipe de terrain doit disposer de :

- 1 mini-piézomètre
- 1 tige métallique peinte en noir mat
- 1 tube PVC gradué
- craies
- chiffons
- 2 têtes de frappe
- 1 masse
- 1 entonnoir d'1 L
- 1 bécher d'1 L
- 1 chronomètre
- 1 décamètre
- Téflon

La Figure 1 ci-dessous présente le matériel nécessaire pour l'application du protocole. Notons que les dimensions du mini-piézomètre (Figure 1.B) utilisé dans le cadre de cette étude correspondent à celles suggérées par Datry (2011) afin de rendre possible l'application de la formule de calcul de la conductivité hydraulique.

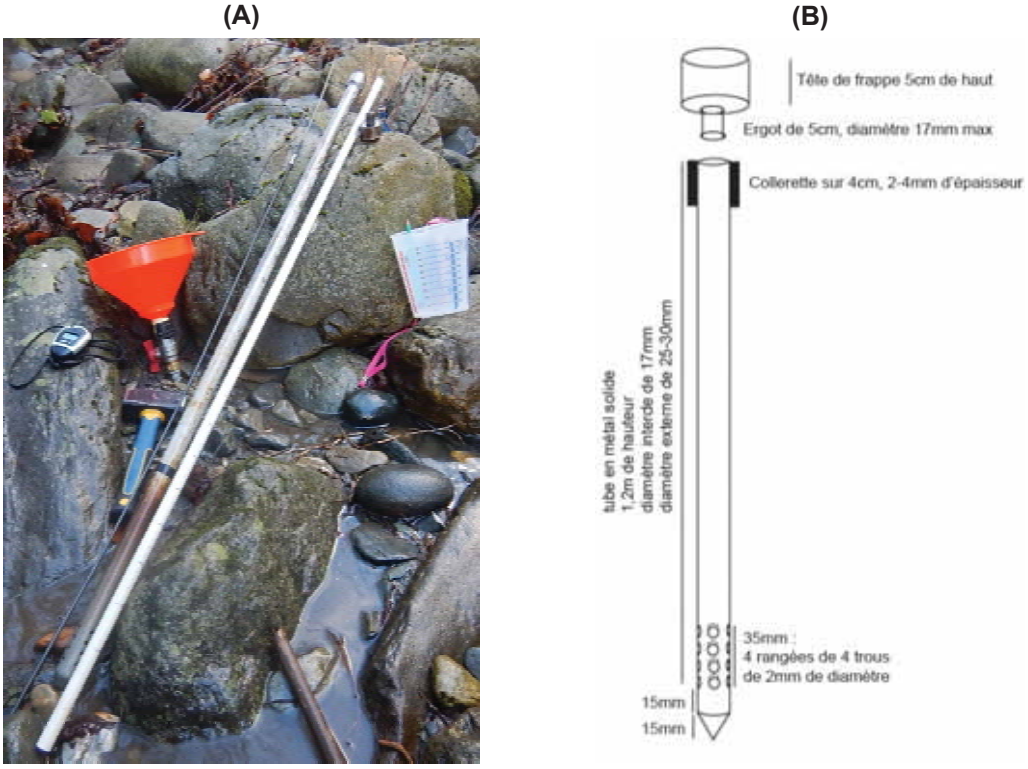


Figure 1 : (A) Matériel utilisé et (B) dimensions du mini-piézomètre (*Datry, 2011*)

2.1.1.2 Mise en œuvre

2.1.1.2.1 Localisation de la zone potentielle de frayère

La mise en œuvre du protocole nécessite au préalable une prospection à pied de la station afin de localiser visuellement les zones de frayères potentielles. Ces frayères potentielles consistent généralement en des bancs de graviers situés dans des zones de transitions entre mouilles et radiers (Figure 2), où la vitesse de courant augmente avec la diminution de la hauteur d'eau (Bardonnet et Baglinière, 2000 ; Crips, 1996 ; Gaudemar et *al.*, 2000 ; Gibson, 1993).

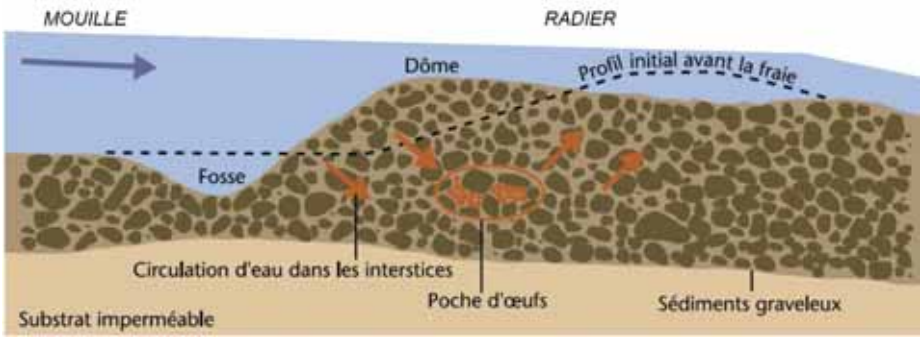


Figure 2 : Schéma de localisation et de structure d'une frayère de salmonidés (*source : Dupont E. in Motte G., 2005*)

Cette configuration présente ainsi les caractéristiques hydromorphologiques (granulométrie, vitesse de courant et hauteur d'eau) conformes aux exigences des salmonidés pour le frai, présentées dans le Tableau 1.

Espèce	Variable environnementale	Type de mesure	Valeurs	Auteurs
Saumon atlantique (*Salmo salar*)	Vitesse (cm/s)	Minimum	15-20	Crisp et Carling, 1989
		Rang	31-46	Jones (1959) dans Gibson, 1993
			35-80	Moir et al., 1998
			35-65	Louhi et al., 2008
		Moyenne	40	Heggberget (1991) dans Armstrong, 2003
			50	Gueguen et Prouzet,1994
			53	Beland et al., 1982
	Hauteur d'eau (cm)	Rang	15-40	Moir et al., 1998
			20-50	Louhi et al., 2008
		Moyenne	38	Beland et al., 1982
			50	Heggberget (1991) dans Armstrong, 2003
	Granulométrie (mm)	Rang	16-64	Louhi et al., 2008
		Moyenne	20,7	Moir et al., 1998
	Profondeur d'enfouissement des œufs (cm)	Rang	15-30	Gueguen et Prouzet,1994
			15-25	Bardonnet et Baglinière, 2000
	% de fines	<1mm	<20%	Crisp et Carling, 1989
		0,5 – 2,2mm	10 – 15%	Peterson, 1978
Truite fario (*Salmo trutta*)	Vitesse (cm/s)	Rang	20-55	Louhi et al., 2008
			30-40	Ottaway et al., 1981
			30-80	Bruslé et Quignard, 2001
			10-40	Barlaup et al., 2008
		Moyenne	39,4	Shirvell et Dungey, 1983
			46,7	Witzel et MacCrimmon, 1983
	Hauteur d'eau (cm)	Rang	15-45	Louhi et al., 2008
			20-40	Bruslé et Quignard, 2001
			10-50	Barlaup et al., 2008
		Moyenne	31,7	Shirvell et Dungey, 1983
			25,5	Witzel et MacCrimmon, 1983
	Granulométrie (mm)	Rang	16-64	Louhi et al., 2008
			2-20	Bruslé et Quignard, 2001
			16-32	Barlaup et al., 2008
		Moyenne	14	Shirvell et Dungey, 1983
			6,9	Witzel et MacCrimmon, 1983
	Profondeur d'enfouissement des oeufs	Rang	5-15	Barlaup et al., 2008
			8-22	Chapmann, 1988
			2-23	Grost et al., 1991
		Moyenne	14	Witzel et MacCrimmon, 1983
	% de fines	<1mm	8-12%	Crisp et Carling, 1989

Tableau 1 : Synthèse bibliographique des caractéristiques des habitats de reproduction du saumon atlantique (*Salmo salar*) et de la truite fario (*Salmo trutta*)

2.1.1.3 Positionnement des points

Les zones de frayères potentielles recherchées doivent présenter une surface relativement importante pouvant être le support de 10 points de mesure de conductivité hydraulique tout en respectant un espacement minimal d'1 m entre chaque point.

La position des points sur la zone à échantillonner doit être adaptée à la configuration locale de la frayère potentielle afin que les mesures soient les plus représentatives possibles. Ainsi, les points peuvent être positionnés selon un transect ou plus, comme illustré dans la Figure 3.

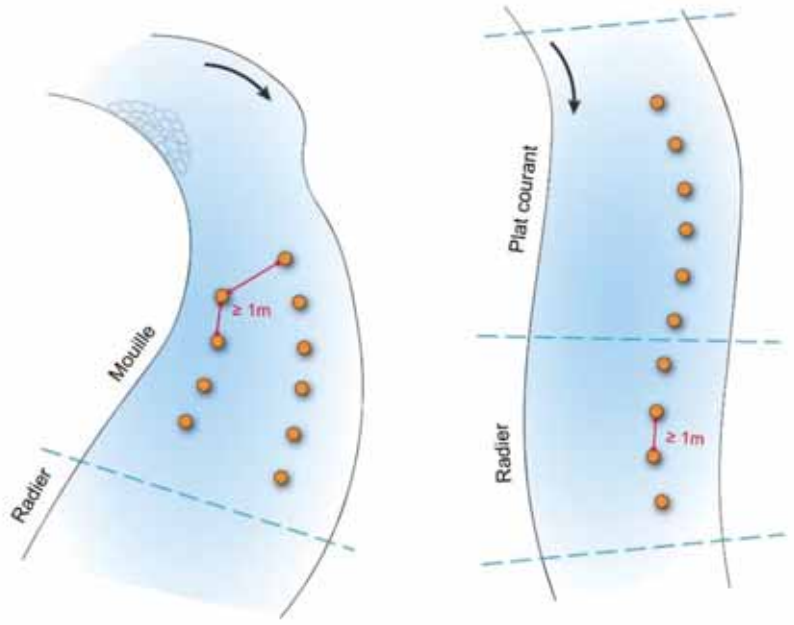


Figure 3 : Exemple de dispositions des points de mesure sur une zone d'échantillonnage

2.1.1.4 Mesures de conductivité hydraulique

Pour chaque point de mesure :

- **<u>Enfoncer le mini-piézomètre</u>** préalablement muni d'une tête de frappe à 20 cm de profondeur dans le substrat à l'aide de la masse. Lorsque l'enfoncement du mini-piézomètre ne peut atteindre ou dépasse 20 cm, noter la valeur exacte sur la fiche de terrain. Lors de l'enfoncement, s'assurer que le tube reste le plus vertical possible afin d'éviter l'altération de la structure initiale du substrat et donc de biaiser la mesure.

Remarques :

Une marque peut être apposée sur le mini-piézomètre (à 20 cm à partir de la pointe du tube) à l'aide de ruban adhésif afin de faciliter la lecture de la profondeur d'enfoncement.

La profondeur de 20 cm a été retenue (contre 25 cm dans le protocole « Datry » initial) au regard des objectifs visés dans l'application de ces mesures au cas des frayères potentielles. En effet, s'agissant ici de mesurer la perméabilité du substrat minéral servant de support de ponte, une profondeur de 20 cm correspond davantage à une profondeur d'enfouissement moyenne des œufs. De plus, les observations de terrain au cours des premiers essais laissaient penser que pour certains cours d'eau étudiés, des profondeurs d'enfoncement supérieures étaient peu pertinentes (épaisseur matelas alluvial insuffisante).

- **<u>Mesurer ou relever les paramètres suivants</u> :**
  1. **h_{ext} : hauteur d'eau à l'extérieur du tube** (cm) à l'aide du tube PVC gradué.
  2. **h_{int} : hauteur d'eau à l'intérieur du tube** (cm) en insérant la tige métallique préalablement peinte ou enduite de craie dans le mini-piézomètre. Une fois la tige retirée, la hauteur d'eau à mesurer est matérialisée par la partie mouillée.
  3. **Dt : vitesse d'infiltration** (s). Placer l'entonnoir fermé à l'extrémité supérieure du mini-piézomètre. S'assurer de l'étanchéité de la jonction entre les deux éléments et ajouter du téflon le cas échéant. Prélever ensuite 1 L d'eau à l'aide du bécher et verser ce volume dans l'entonnoir. Ouvrir le robinet de l'entonnoir tout en déclenchant le chronomètre. Lorsque le niveau d'eau atteint le fond de l'entonnoir, arrêter le chronomètre et noter le temps indiqué. S'il n'y a aucune infiltration après 2 minutes, noter « Pas d'infiltration ». Dans le cas où l'infiltration est visible mais très lente, arrêter la mesure après 5 minutes et l'indiquer dans la fiche terrain.
  4. **La distance à la rive** (m) droite ou gauche selon le cas.
  5. **La granulométrie (deux classes dominantes)** selon l'échelle suivante :

Classe granulométrie	Diamètre du second axe (mm)	Code
Rochers	>1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	<0,0039	A

Tableau 2 : Echelle granulométrique de Wentworth modifiée par Malavoi et Souchon (1989)

  6. **La vitesse de courant** (m/s) selon trois classes : <0,2 / 0,2-0,5 / >0,5
  7. **Le faciès** (radier, plat courant, mouille) au point de mesure.

Un exemple de fiche de terrain est disponible en Annexe 1.

2.1.1.5 Calcul de la conductivité hydraulique et de la proportion d'infiltration

L'ensemble du dispositif expérimental ainsi que les différentes mesures réalisées sont schématisés dans la Figure 4 ci-dessous.

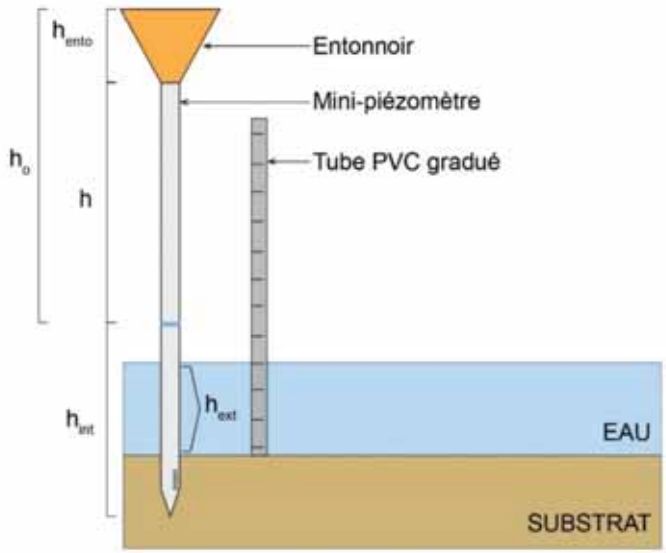


Figure 4 : Schéma récapitulatif du dispositif expérimental et des mesures réalisées pour chaque point d'échantillonnage

Soient :

- $h_{piézo}$, la hauteur du mini-piézomètre
- h_{ento}, la hauteur de l'entonnoir (ici 15cm)
- $D_{piézo}$, le diamètre du mini-piézomètre (ici 1,7cm)
- h, la hauteur d'air à l'intérieur du tube telle que : $h = h_{piézo} - h_{int}$
- ho, la hauteur de la colonne d'air depuis l'entonnoir, telle que : $ho = h + h_{ento}$

A partir des données recueillies sur le terrain (**hint, hext** et **Dt**), il est alors possible d'en déduire différents paramètres (**h** et **h0**) utiles au calcul de la conductivité hydraulique (notée **K**, en cm/h) selon la formule suivante :

$$K = \frac{(0{,}2501 * Dpiézo)}{Dt} * \ln(\frac{ho}{h})$$

Des valeurs de conductivité hydraulique élevées traduisent une meilleure perméabilité du substrat et donc un colmatage interstitiel des frayères moins important.

La proportion d'infiltration (notée **P**), indicateur qualitatif de la fonctionnalité d'une frayère, est calculée à l'échelle d'une station selon la formule suivante :

$$P = 1 - \frac{Nombre\ de\ points\ sans\ infiltration\ (K = 0)}{Nombre\ total\ de\ point}$$

2.1.2 Cours d'eau concernés et localisation des stations

Bien que la méthode d'évaluation du colmatage interstitiel des frayères de salmonidés par mesure de la conductivité hydraulique ait été appliquée depuis 2013 sur différentes stations, le protocole ainsi que les stations intégrées dans le réseau de suivi n'ont été définis qu'à partir de novembre 2015. La saison de reproduction 2014-2015 constitue alors une première phase d'essai de transposition de la méthode « Datry » au cas particulier des frayères de salmonidés.

Le suivi interannuel concernait jusqu'alors :

- 5 stations sur la Garonne amont (de l'amont vers l'aval) : Aval plan d'Arem, Pont de Galié, Pont de Luscan, Seilhan, Tibiran-Jaunac
- 3 stations sur la Pique (de l'amont vers l'aval) : Carrosserie, Luret, Gorges
- 6 stations sur la Neste d'Aure (de l'amont vers l'aval) : Cadéac, Camous, Escalère, Rebouc, Lortet, Izaux.

Cet hiver, des mesures ont été réalisées sur 4 stations supplémentaires sur la Garonne entre le plan d'Arem et la commune de Fos (aval Arem amont échelle limnimétrique, aval Arem aval échelle limnimétrique, Pont de Fos, Fos). Sur la Neste, des mesures supplémentaires ont été réalisées au niveau de la base de loisir d'Agos (Vieille Aure).

La localisation des stations ainsi que leur position vis-à-vis des principaux ouvrages hydro-électriques sont présentées dans la Figure 5.

Notons que les stations en aval proche du plan d'Arem, Luret, Gorges, Camous et Escalère sont des stations localisées dans des tronçons court-circuités et donc soumises aux débits réservés d'aménagement hydroélectriques. Les stations de la Neste en aval de Sarrancolin (Rebouc, Lortet et Izaux) sont soumises au débit réservé du canal de la Neste. Les autres stations sont potentiellement soumises aux éclusées provenant des usines hydroélectriques localisées en amont.

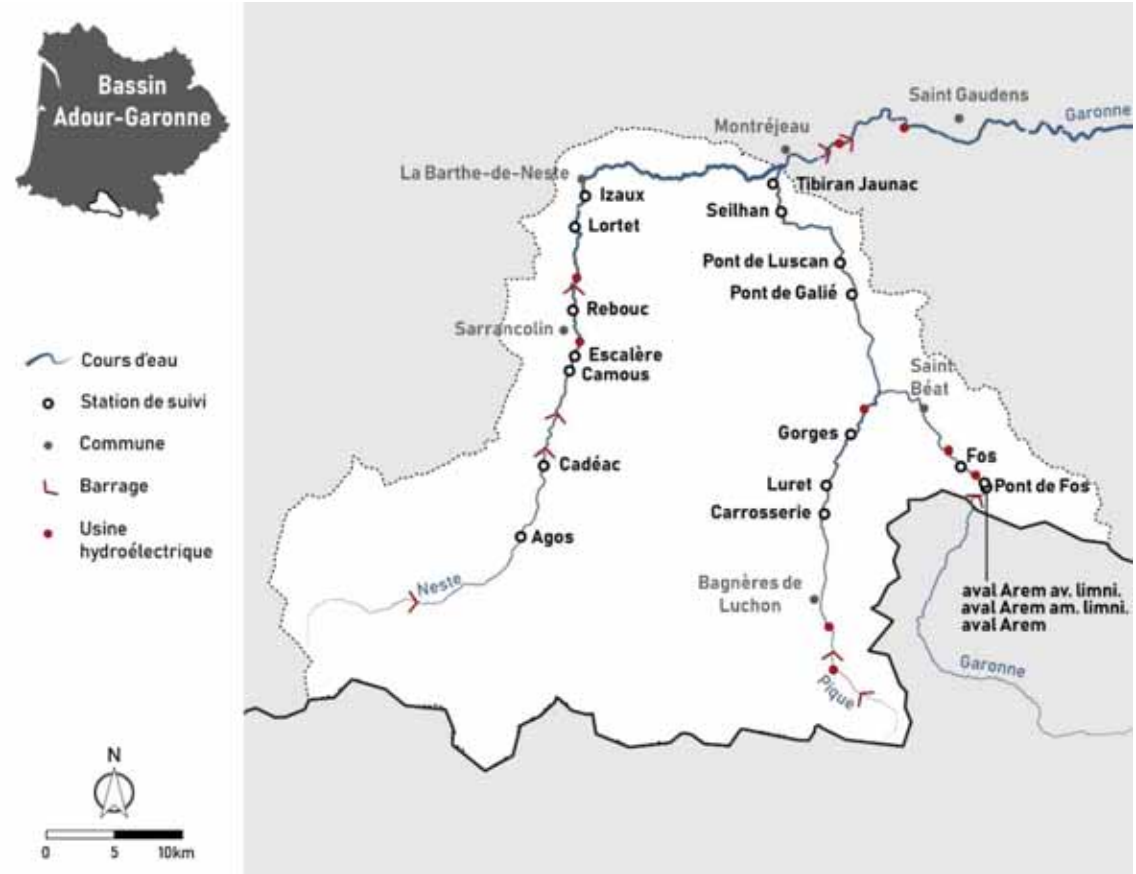


Figure 5 : Localisation des stations suivies

2.1.3 Calendrier d'échantillonnage

Afin de suivre l'évolution de la qualité du substrat après la crue morphogène de 2013 (variabilité interannuelle) mais également pendant la période de reproduction des espèces cibles (variabilité intra-annuelle), deux sessions de mesure de conductivité hydraulique ont été mises en place chaque année depuis novembre 2015 pour chaque station du suivi. Les premières et secondes campagnes de mesure sont réalisées en novembre et février respectivement, dans le but de caractériser la qualité du substrat disponible au moment de la ponte puis en fin d'incubation.

Cette année, les forts débits enregistrés pendant l'hiver n'ont pas permis la réalisation des campagnes de mesures de février 2018 (Figure 6 et Figure 7). En revanche, une session de mesure a été réalisée sur les stations de suivi de la Garonne en juillet 2017 afin d'affiner nos connaissances sur la dynamique de colmatage des substrats de frayères potentielles.

L'ensemble du planning d'échantillonnage sur la Garonne amont, la Pique et la Neste est synthétisé dans le Tableau 3 ci-dessous.

Cours d'eau	Stations	2014-15 Phase d'essai		2015-16		2016-17		2017	2017-18	
		Sessions								
		S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	Juillet	S 1	*S 2
Garonne	Aval plan d'Arem	-	-	10	10	10	10	10	10	-
	Aval Arem amont limni.	-	-	-	-	-	-	-	10	-
	Aval Arem aval limni.	-	-	-	-	-	-	-	10	-
	Amont pont de Fos	-	-	-	-	-	-	-	10	-
	Aval Fos	-	-	-	-	-	-	-	10	-
	Pont de Galié	-	10	10	10	10	10	10	10	-
	Pont de Luscan	-	10	10	10	10	10	10	10	-
	Seilhan	-	-	10	10	10	10	10	10	-
	Tibiran-Jaunac	-	-	10	10	10	10	10	10	-
Pique	Carrosserie	10	10	10	10	10	10	-	10	-
	Luret	10	10	10	10	10	10	-	-	-
	Gorges	-	10	10	10	10	10	-	10	-
Neste	Agos	-	-	-	-	-	-	-	10	-
	Cadéac	-	-	-	-	10	10	-	10	-
	Camous	-	-	-	-	10	10	-	-	-
	Escalère	-	-	-	-	10	10	-	10	-
	Rebouc	-	-	-	-	10	10	-	10	-
	Lortet	-	-	-	-	10	10	-	10	-
	Izaux	-	-	-	-	10	10	-	10	-
								TOTAL GENERAL =	**730**	

Tableau 3 : Chronique d'échantillonnage des stations du réseau de suivi Garonne-Pique-Neste de 2014 à 2018 (*données non acquises, forte hydrologie)

Remarques :

Afin de faciliter l'application du protocole dans le cadre du suivi interannuel, les coordonnées GPS des stations ont été relevées et des schémas des stations et de position des points de mesure sont réalisés à chaque campagne. Il peut cependant être nécessaire de réadapter la répartition des points sur une station entre deux années de suivi du fait des variations morphologiques du lit.

2.1.4 Contexte hydrologique

La Figure 6 présente la chronique des interventions de terrain réalisées dans le cadre du suivi sur la Pique, Garonne tout en les replaçant dans leur contexte hydrologique. Les débits moyens journaliers présentés ici sont ceux déversés depuis le Plan d'Arem sur la Garonne et depuis la prise d'eau de l'usine de Cierp à Cier-de-Luchon sur la Pique (source : EDF). Les débits réservés ne sont pas pris en compte, seules les variations de débits engendrées par le fonctionnement des ouvrages hydroélectriques sont présentées.

Cet hiver, les forts débits enregistrés en février (2018) n'ont pas permis la réalisation des mesures de terrain. En effet, les débits moyens sur ce mois sont près de deux fois supérieurs à ceux enregistrés les deux années précédentes pour la même période. En revanche, la campagne de novembre (2017) s'est déroulée dans de bonnes conditions hydrologiques.

Plusieurs éléments peuvent être notés concernant l'hydrologie correspondant aux mesures de terrain. En Garonne, le tronçon court-circuité en aval du Plan d'Arem semble être soumis à des déversés relativement fréquents et d'amplitudes variables, pouvant atteindre les 49m^3/s (moyenne journalière) sur la période concernée par les relevés. On notera également la forte augmentation des débits déversés en mai 2016 (max de 49m^3/s de moyenne journalière) et 2017 (max de 30m^3/s de moyenne journalière).

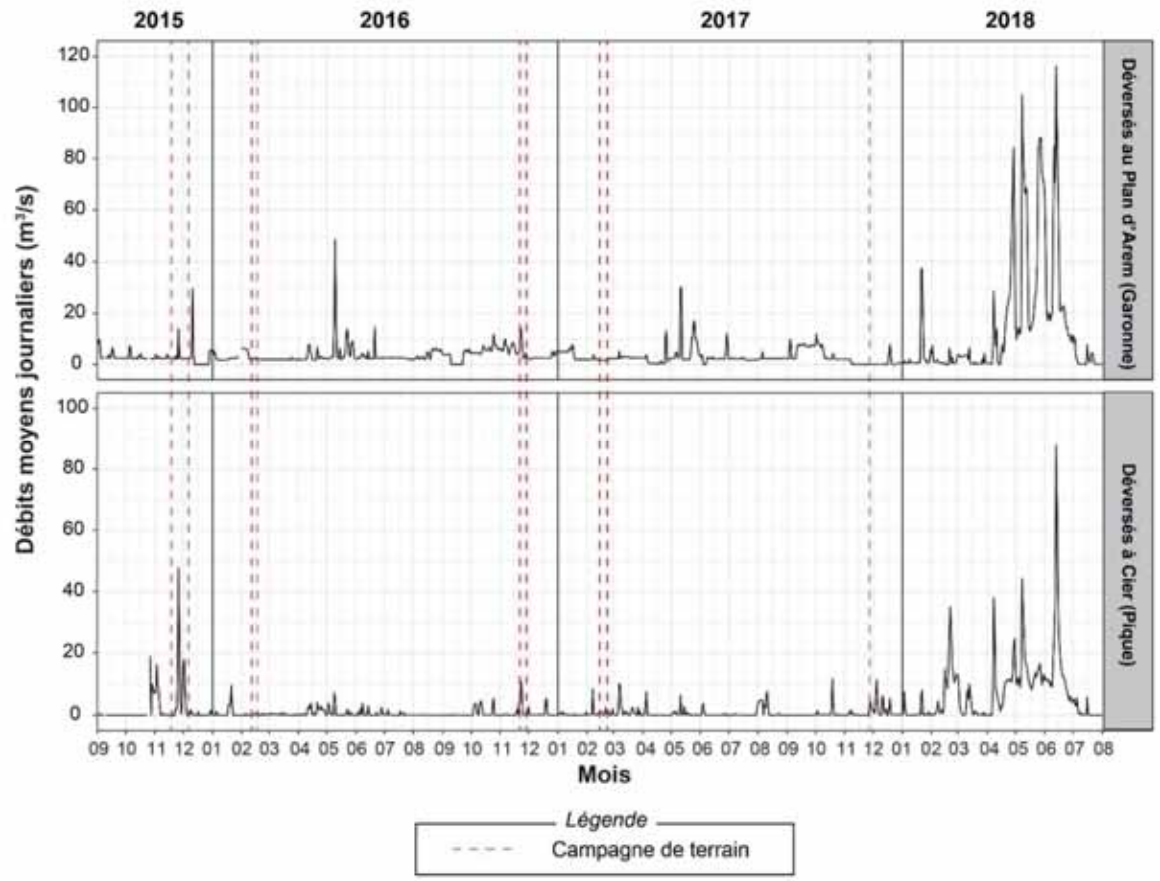


Figure 6 : Evolution des débits journaliers moyens déversés au Plan d'Arem et à Cier (*source : EDF*)

La Figure 7 présente les débits mensuels moyens enregistrés sur la Neste en aval de Sarrancolin depuis 2016, et reprécise les périodes de mesures de conductivité hydraulique. Les mesures se réalisent classiquement pendant des périodes d'étiage hivernal, avec des débits moyens inférieurs à 10m³/s sur la Neste pour ce secteur. Notons également l'augmentation des débits au printemps, caractéristique du régime hydrologique de ce cours d'eau.

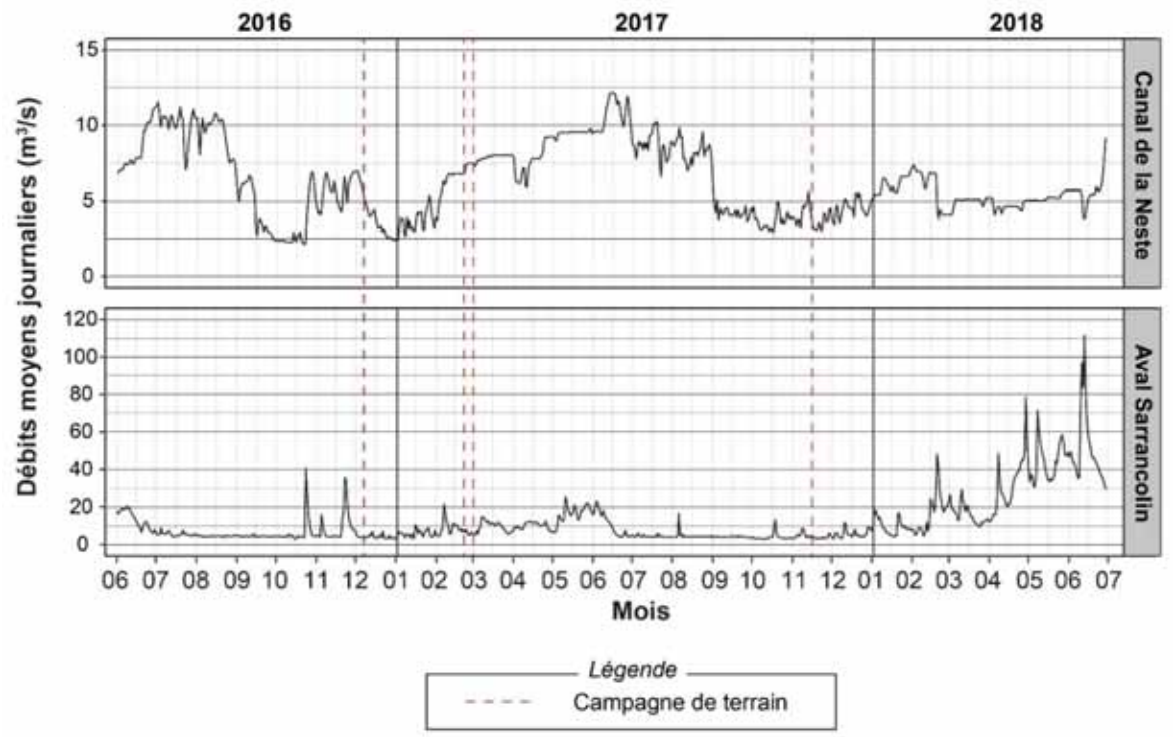


Figure 7 : Evolution des débits journaliers moyens de la Neste d'Aure *(source : CACG)*

2.1.5 Traitement des données

2.1.5.1 Paramètres calculés

Dans un premier temps, la conductivité hydraulique moyenne, l'écart-type et la proportion d'infiltration ont été calculés pour chaque session de chaque année, et ce pour l'ensemble des stations suivies.

Rappelons que la proportion d'infiltration *P* à l'échelle d'une station est calculée comme suit :

$$P = 1 - \frac{Nombre\ de\ points\ sans\ infiltration\ (K = 0)}{Nombre\ total\ de\ point}$$

Les résultats du suivi granulométrique sont exprimés quant à eux en fréquence de chaque classe granulométrie par station suivie et par campagne de mesure. Les classes granulométriques dominante et accessoires sont traitées conjointement (soient 20 relevés granulométriques par station et par campagne de mesure).

2.1.5.2 Analyses statistiques

Une série de tests statistiques est réalisée afin de traiter les thèmes d'analyse de variations de la conductivité hydraulique (K) entre les différentes stations d'un même cours d'eau par an, entre les années de suivi, ainsi que pendant la période d'incubation. Ces tests ont été réalisés à l'aide du logiciel R, version 0.98.1091.

Les tests statistiques appliqués ici consistent en des tests d'hypothèses dont les seuils de signification ont été fixés à α=5%. Les hypothèses émises dans le cadre des tests utilisés et la démarche de la prise de décision quant au rejet ou non de celles-ci sont rappelés en Annexe 2.

Les valeurs de conductivité hydraulique ne suivant pas une loi normale de distribution et la taille des échantillons étant relativement petite (10 points de mesure par station et par session), les conditions d'application et de validité des tests paramétriques ne peuvent être respectées. C'est pourquoi les tests appliqués ici sont strictement non paramétriques et basés sur la distribution de rangs (numéros d'ordre des valeurs observées rangées par ordre croissant).

2.1.5.2.1 Analyse de la variabilité spatiale

L'analyse de la variabilité des valeurs de conductivité hydraulique entre les différentes stations de suivi pour une même année est réalisée à partir d'un test de comparaisons multiples de Kruskal-Wallis (fonction *kruskal.test* du package *stats* de R). Ensuite, un test de Dunn (fonction *dunn.test* du package *dunn.test* de R) a été réalisé afin de comparer deux à deux les stations d'un même cours d'eau afin de déterminer la significativité des gradients potentiellement mis en évidence.

Cette question est traitée différemment dans le cas de la Pique en novembre 2014 car les mesures ont concerné seulement deux stations (Carrosserie et Luret) à l'occasion de cette campagne. Un test de comparaison de Wilcoxon-Mann-Whitney a été appliqué afin de comparer la conductivité hydraulique moyenne entre ces deux stations (fonction *wilcox.test* du package *stats* de R).

2.1.5.2.2 Analyse de la variabilité interannuelle

Afin d'étudier l'évolution de la qualité du substrat minéral suite à la crue morphogène de 2013, les valeurs de conductivité hydraulique relevées en première campagne (novembre) de deux années successives sont comparées entre elles, et ce pour chaque station constituant le réseau de suivi. Ces comparaisons sont réalisées à partir de tests de Wilcoxon-Mann-Whitney (fonction *wilcox.test* du package *stats* de R).

2.1.5.2.3 Analyse de la variabilité pendant la période d'incubation

Habituellement, les valeurs de conductivité hydraulique mesurées en première et deuxième campagne d'une même année de suivi étaient comparées deux à deux pour chaque station. Ceci permettait notamment d'étudier les potentielles variations de conductivité hydraulique et donc de la qualité du substrat des zones potentielles de frayères pendant la période d'incubation des œufs. Comme expliqué précédemment, les forts débits enregistrés sur l'ensemble du bassin en février 2018 n'ont pas permis de réaliser la deuxième session de mesure. Cet axe ne pourra donc pas être traité cette année.

3 RESULTATS

La mise en place du protocole de suivi du colmatage des habitats de reproduction de salmonidés a permis l'acquisition de 730 points de mesure sur la Garonne, la Pique et la Neste, de novembre 2014 à novembre 2017.

L'ensemble des données recueillies sur cette période est illustré en Annexe 3, Annexe 4 et Annexe 5. Un tableau récapitulatif des paramètres statistiques calculés (moyenne, écart-type et proportion d'infiltration) est disponible en Annexe 6.

3.1 Cas de la Garonne

3.1.1 Proportions d'infiltration

3.1.1.1 Variations interannuelles

L'analyse des proportions d'infiltration calculées à partir des mesures réalisées en première campagne (novembre de chaque année de suivi) permet d'établir une chronique d'évolution de la qualité du substrat des habitats de reproduction sur les cours d'eau suivi au début de la période de frai.

La Figure 8 présente les valeurs de proportion d'infiltration calculées depuis novembre 2015 sur les cinq stations de suivi.

Dans un premier temps, on notera l'existence d'un schéma de variation spatiale de la proportion d'infiltration. En effet, la proportion d'infiltration est élevée pour les stations les plus en amont (aval Arem et Pont de Galié), tend à diminuer progressivement entre les stations Pont de Galié et Seilhan, puis ré-augmente au niveau de Tibiran-Jaunac et ce, pour l'ensemble des années suivies.

Les valeurs calculées montrent une diminution de la qualité des substrats en début de période de reproduction 2016. En effet, les proportions d'infiltration diminuent de 0,1 à 0,4 points selon les stations considérées entre novembre 2015 et 2016.

En revanche, il semblerait que les substrats de reproduction disponibles en novembre 2017 aient été de meilleure qualité qu'en 2016, suite à une augmentation globale de la proportion d'infiltration sur les stations suivies (entre +0,2 à 0,3 point selon la station considérée). Ainsi, les stations les plus amont (aval Plan d'Arem et Pont de Galié) présentent une proportion d'infiltration maximale, et les valeurs calculées pour les autres stations suivent toujours le schéma de répartition spatiale décrit plus haut.

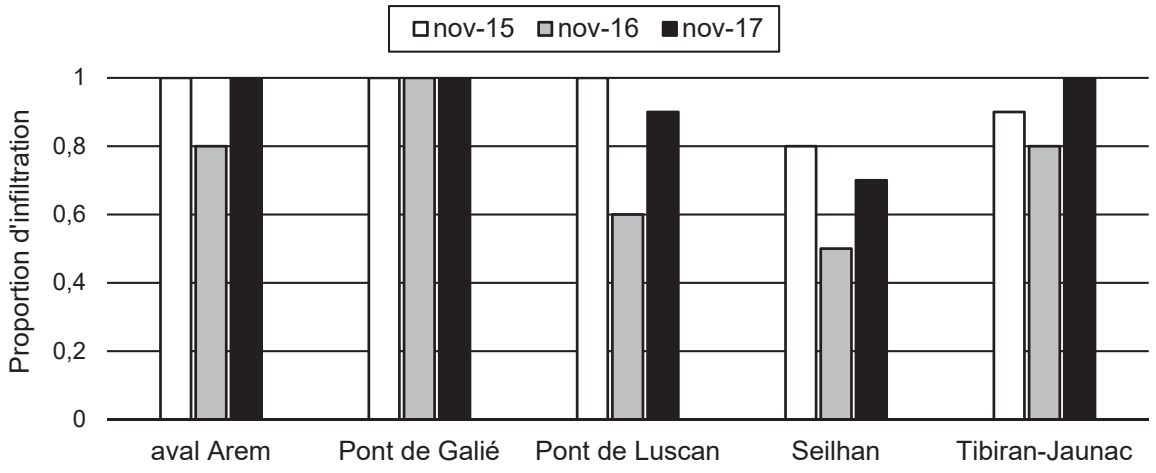


Figure 8 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2015 à 2017 sur la Garonne

3.1.1.2 Réseau Garonne enrichi (novembre 2017)

A l'occasion de la campagne de novembre 2017, quatre nouvelles stations ont été intégrées au suivi, entre l'aval du Plan d'Arem et la station Pont de Galié. Parmi celles-ci, deux sont situées en aval très proche du Plan d'Arem, et deux sont localisées au niveau de la commune de Fos (31440). La Figure 9 présente les proportions d'infiltration calculées pour l'ensemble des stations suivies en novembre 2017, en incluant ces nouvelles stations.

Toutes les nouvelles stations présentent une proportion d'infiltration maximale (P=1), confortant ainsi le schéma de variation spatiale décrit précédemment. Ainsi, en novembre 2017, l'ensemble des stations suivies sur la Garonne présentaient des frayères potentielles fonctionnelles, à l'exception des stations de Pont de Luscan et Seilhan.

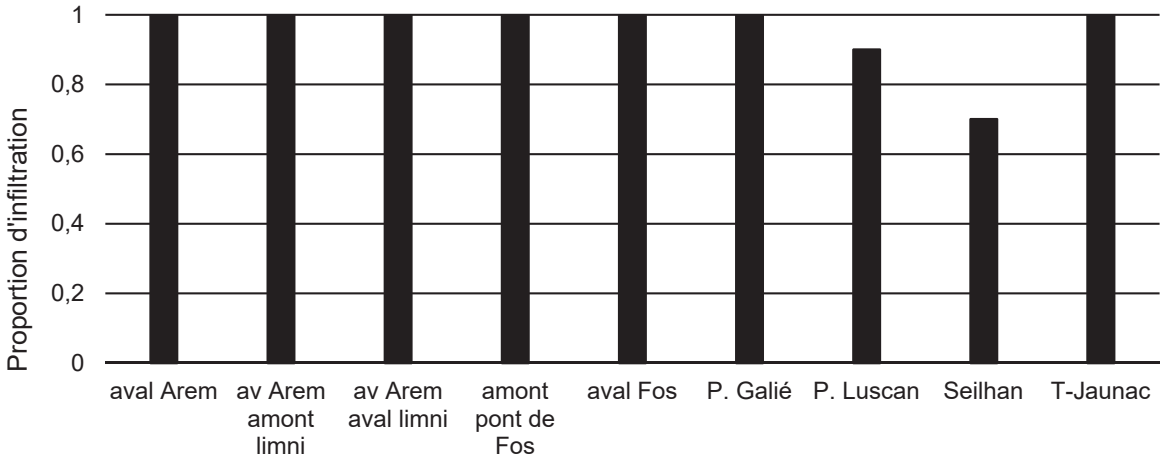


Figure 9 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en novembre 2017 sur la Garonne, entre l'aval du Plan d'Arem et Tibiran-Jaunac

3.1.1.3 Chronique complète des mesures réalisées

La Figure 10 présente l'évolution des proportions d'infiltration calculées sur l'ensemble des stations suivies sur la Garonne depuis novembre 2015.

A l'exception de la station Pont de Galié pour laquelle aucune variation n'est détectée, la proportion d'infiltration varie entre le début de la période de reproduction et la période d'incubation des œufs.

Le secteur étudié en aval du Plan d'Arem présente une diminution de la proportion d'infiltration (dégradation de la qualité du substrats) entre les mesures de novembre et février d'une même saison de reproduction (de -0.4 à -0.5 pts), puis une augmentation au cours du printemps. Le phénomène inverse est décrit sur les stations plus aval du Pont de Luscan et Tibiran-Jaunac.

Les mesures réalisées en juillet 2017 montrent que la proportion d'infiltration est susceptible de varier entre deux saisons de reproduction. Pour la station en aval du Plan d'Arem, les résultats de cette session s'inscrivent dans une tendance à la récupération de la qualité du substrat. En revanche, il semblerait que la qualité du substrat tende à se dégrader pendant l'été 2017 sur les autres stations.

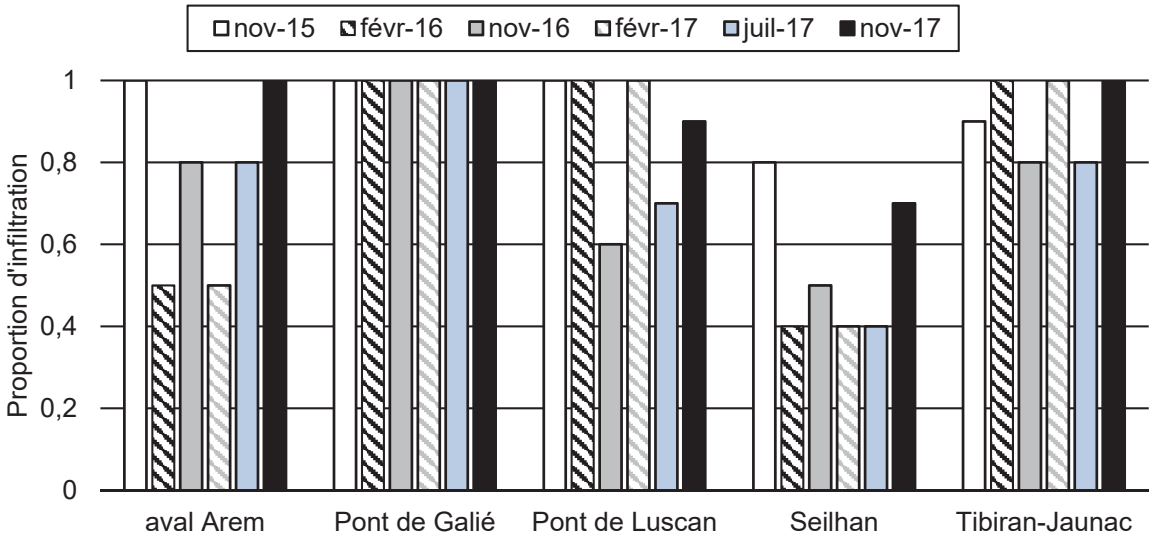


Figure 10 : Evolution des proportions d'infiltration entre novembre 2015 et février 2017 sur la Garonne

3.1.2 Conductivité hydraulique

3.1.2.1 Variations interannuelles

La Figure 11 illustre l'évolution de la conductivité hydraulique calculée en début de période de reproduction sur les cinq stations suivies depuis novembre 2015.

Les analyses statistiques montraient qu'en novembre 2015, la station aval Arem présentait la conductivité hydraulique moyenne plus faible que celles des autres stations suivies ($X^2=15$, $p=4,7*10^{-3}$). En effet, la moyenne de cette station était de 8cm/h contre des moyennes comprises entre 17,5 et 26,8 selon les stations.

Entre l'hiver 2015-16 et 2016-17, on observait une tendance à la diminution de la perméabilité du substrat sur les trois stations amont, statistiquement significative dans le cas de Pont de Luscan (diminution de 17,5 à 4,5 cm/h en un an, $W=96$, $p=5,6*10^{-4}$).

Les valeurs mesurées en novembre 2017 tendent à confirmer le constat fait dans le paragraphe §3.1.1.1 au sujet des proportions d'infiltration. Il semblerait que la qualité des substrats s'améliore entre les hivers 2016-17 et 2017-18 comme le montrent les augmentations de perméabilité sur les stations d'aval Arem, Pont de Luscan et Tibiran-Jaunac.

La station Pont de Galié présente cependant une réponse différente. Les proportions d'infiltration calculées précédemment indiquent que cette station semble rester fonctionnelle depuis trois ans. En revanche, la perméabilité du substrat sur cette station diminue progressivement.

Enfin, les valeurs mesurées sur la station de Seilhan présentent une forte variabilité et ce, sur chaque année de suivi. Ceci limite fortement l'interprétation des sens de variations de la qualité du substrat et résulte probablement d'un haut degré de perturbation sur cette station (comme le montrait la proportion d'infiltration 0,5<P<0,8).

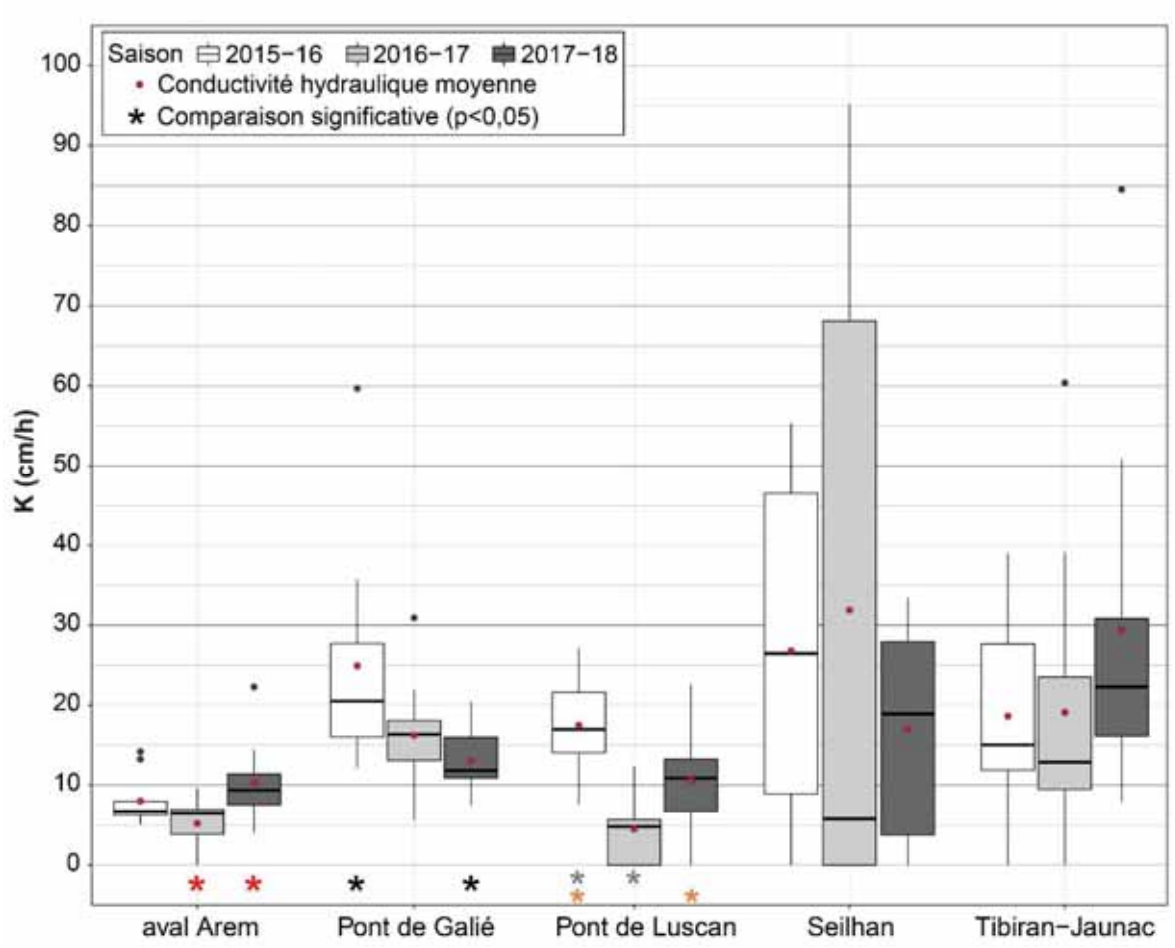


Figure 11 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Garonne de 2015 à 2017

3.1.2.2 Réseau Garonne enrichi (novembre 2017)

Les données de conductivité hydraulique relevées sur l'ensemble des stations suivies en novembre 2017 sont illustrées dans la Figure 12. Les analyses statistiques montrent des différences significatives de conductivité hydraulique entre les stations (X^2=26,1 ; p=0,001). Les conductivités hydrauliques moyennes mesurées à l'occasion de cette campagne semblent suivre le même schéma que celui décrit au sujet des proportions d'infiltration.

Les conductivité hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2017 sont significativement plus faibles pour les stations localisées en aval du Plan d'Arem (Annexe 3). Les stations localisées plus en aval (aval Arem aval limni jusqu'à Pont de Luscan) présentent quant à elles des moyennes relativement homogènes et comprises entre 16,2 et 18cm/h. Enfin, ce paramètre augmente progressivement pour être maximum au niveau de la station de Tibiran-Jaunac (K_{moyen}=29,4 cm/h).

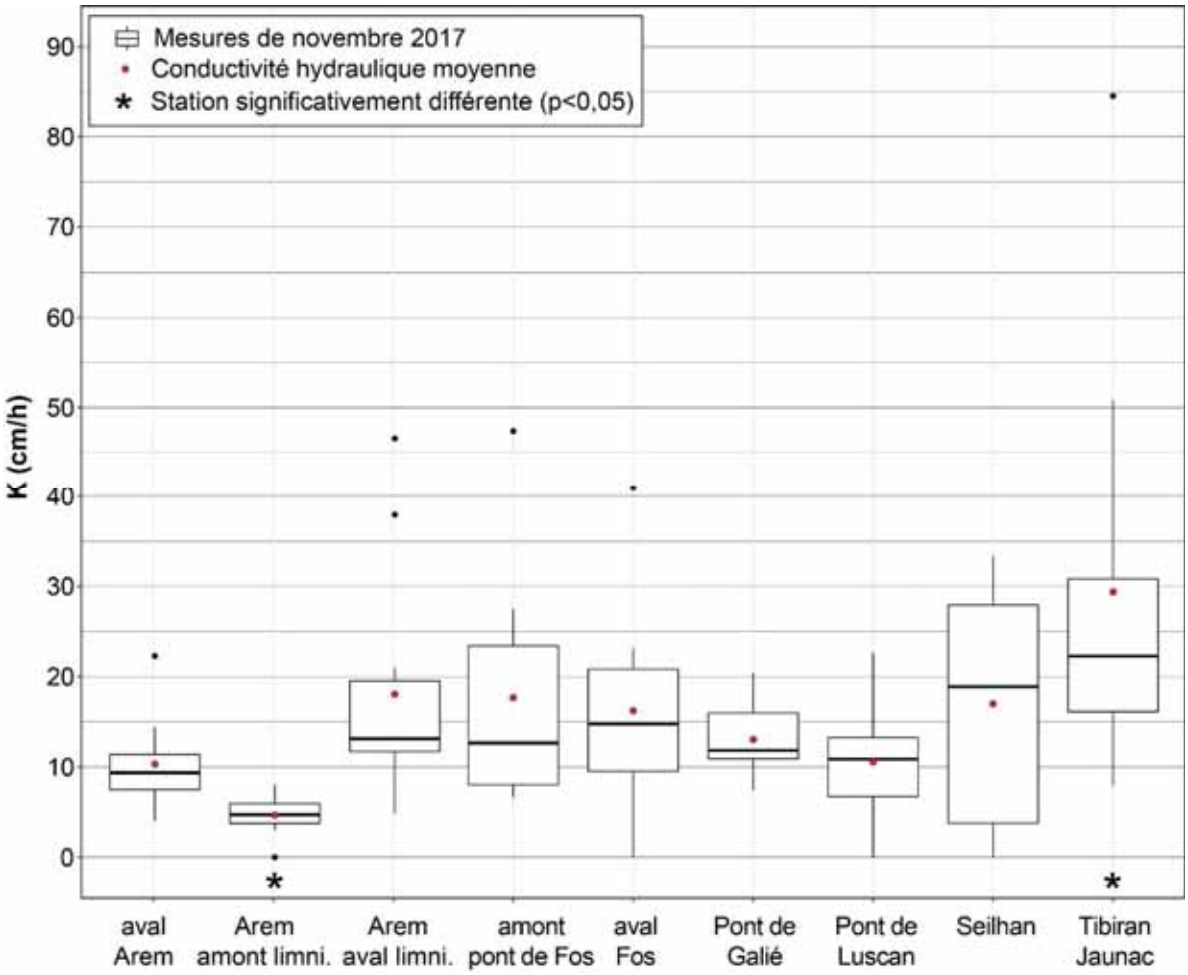


Figure 12 : Evolution de la conductivité hydraulique mesurée sur la Garonne en novembre 2017, de l'aval du Plan d'Arem à Tibiran-Jaunac

3.1.2.3 Chronique complète des mesures réalisées

Un bilan de l'ensemble des valeurs de conductivité hydrauliques calculées sur les stations suivies sur la Garonne est présenté dans la Figure 13. Les astérisques indiquent les sessions comparées pour lesquelles une différence significative est mise en évidence. L'ensemble des résultats statistiques est synthétisé dans l'Annexe 8.

La station aval Arem présente globalement :

- Des valeurs de K_{moyen} relativement faibles (entre 2,6 et 10,3cm/h) ainsi que de faibles écarts-types (entre 2,7 et 5,8cm/h).
- Des diminutions de K pendant les périodes d'incubations, suivies au printemps par une ré-augmentation (récupération partielle de l'état initial) au cours du printemps.

Les stations Pont de Galié et Pont de Luscan sont quant à elles caractérisées par :

- Des conductivités hydrauliques moyennes légèrement supérieures (entre 8,4 25,1cm/h et 4,5 et 19,9cm/h pour Galié et Luscan respectivement) et des écarts-types plus importants (de 8,5cm/h en moyenne sur la chronique pour Galié, et de 10cm/h pour Luscan)

- Une tendance globale à la diminution de K_{moy} au cours des sessions de mesures, avec parfois des changements significatifs de ce paramètre pendant les périodes d'incubations.

Enfin, les deux stations les plus aval, Seilhan et Tibiran-Jaunac présentent :

- Les conductivités hydrauliques moyennes les plus élevées de tout le réseau de stations suivies sur la Garonne (entre 10,5 et 31,9cm/h pour Seilhan et 18,6 et 33,9cm/h pour T-Jaunac selon les sessions considérées).
- Des écarts-types importants et maximums à l'échelle des stations suivies (de 22,4cm/h en moyenne pour Seilhan et 17,4cm/h pour T-Jaunac).
- De faibles fluctuations de conductivité hydrauliques entre les sessions de mesure, dont l'appréciation et l'interprétation sont difficiles de par la forte variabilité dans les valeurs mesurées.

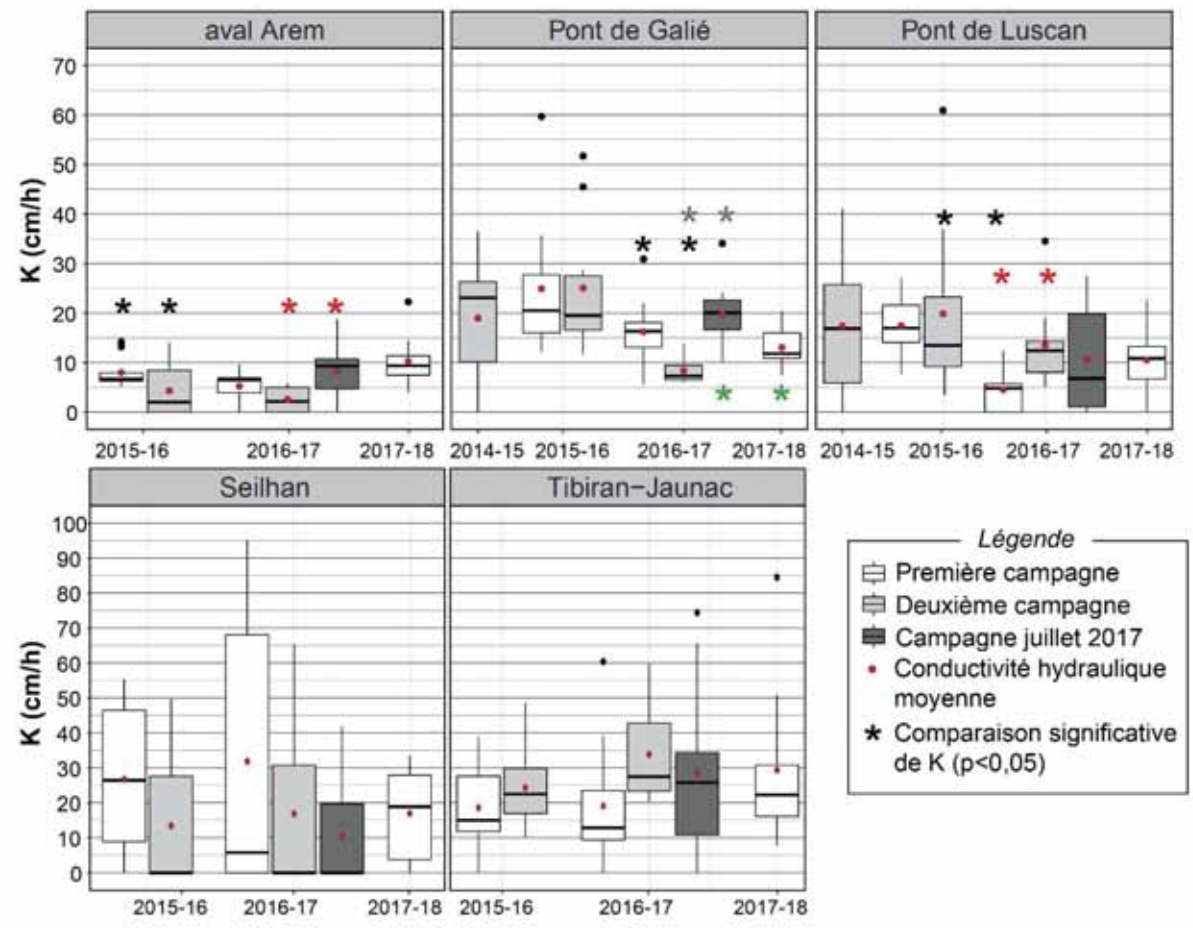


Figure 13 : Evolution de la conductivité hydraulique depuis novembre 2015 l'ensemble des stations suivies sur la Garonne

3.1.3 Composition granulométrique de surface

La Figure 14 présente l'évolution de la composition granulométrique de surface, exprimée en pourcentage d'occurrence des différentes classes granulométriques, des stations étudiées sur la Garonne depuis le début du suivi (de novembre 2015 à novembre 2017).

La station aval Arem présente des changements fréquents et significatifs en termes de composition granulométrique. Au début des suivis, les frayères potentielles étaient composées en proportions similaires de graviers grossiers et cailloux fins (50/50%). Entre novembre 2015

et février 2017, ces classes dominantes diminuent progressivement au profit de classes granulométriques plus grossières (pierres fines voire grossières) et plus fines (sables grossiers). Ceci pourrait s'expliquer par des fluctuations de l'hydrologie en aval du plan d'Arem, liées au fonctionnement de l'ouvrage, entraînant une érosion progressive des stocks de granulométries intermédiaires, laissant apparaître une sous-couche de pierres fines.

De manière générale, l'ensemble des autres stations présente une granulométrie plus grossière composée majoritairement de cailloux grossiers (entre 40 et 50%) et de pierres fines ou cailloux fins en proportions variables.

Enfin, l'épisode de crue de mai 2017 décrit dans le §2.1.3 marque un changement profond dans la structure granulométrique des ZPF suivies en aval du Plan d'Arem. Celui-ci a probablement mobilisé et redéposé des cailloux grossiers et graviers fins, en recouvrant la sous-couche de pierres fines. En effet, cette classe granulométrique grossière n'est plus représentée depuis juillet 2017.

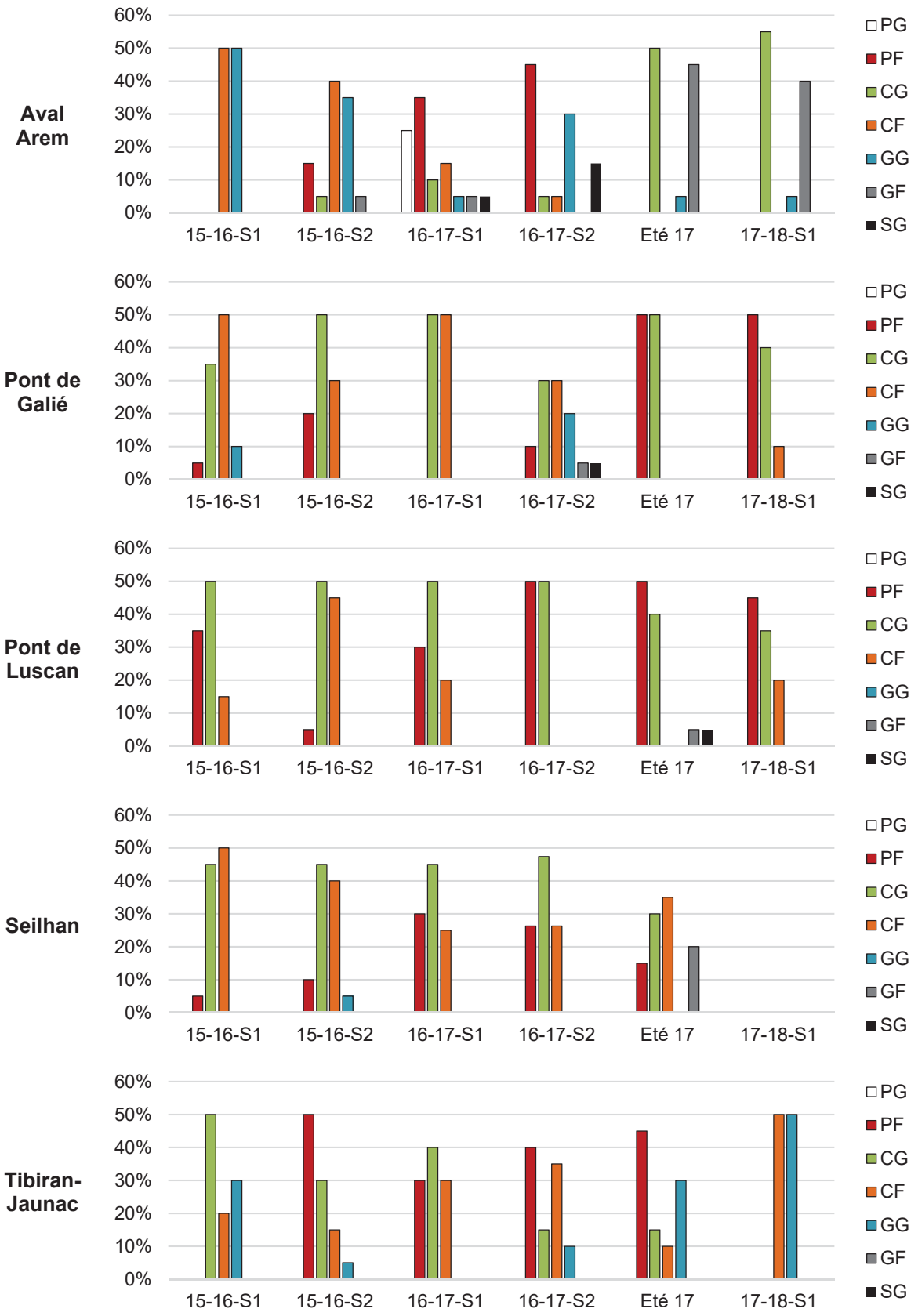


Figure 14 : Evolution de la composition granulométrique de surface des stations suivies sur la Garonne de novembre 2015 à novembre 2017

3.2 Cas de la Pique

3.2.1 Proportions d'infiltration

3.2.1.1 Variations interannuelles

La Figure 15 présente l'évolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction pour chaque année de suivi. Rappelons que les mesures de la station de Luret n'ont pas pu être réalisées en novembre 2017.

De manière générale, les frayères suivies sur la Pique semblent présenter une fonctionnalité perturbée puisque la proportion d'infiltration n'y est jamais maximale (P<1).

La station Carrosserie présente une proportion d'infiltration stable et toujours de 0,9 en début de période de reproduction. Concernant les stations Luret et Gorges, les P.I. varient entre 0,7 et 0,9 selon les saisons de reproduction.

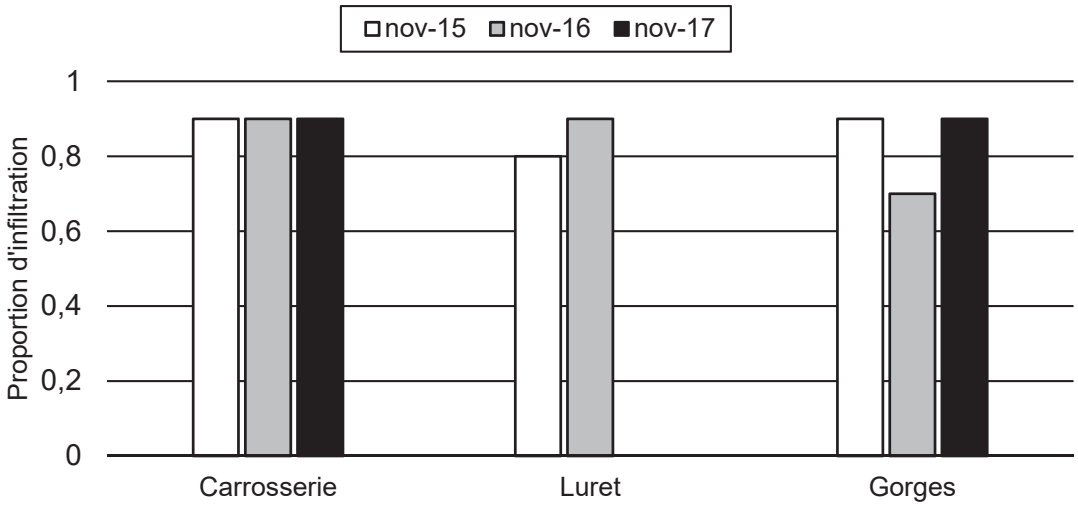


Figure 15 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2014 à 2017 sur la Pique

3.2.2 Conductivité hydraulique

3.2.2.1 Variations interannuelles

La Figure 16 présente la conductivité hydraulique mesurée sur l'ensemble des stations suivies sur la Pique en début de période de reproduction, de novembre 2014 à novembre 2017.

Les données recueillies suggèrent une certaine homogénéité de la conductivité hydraulique dans l'espace et dans le temps. En effet, les analyses statistiques ne mettent pas en évidence de différence de conductivité hydraulique moyenne entre les stations suivies en 2014 (W=50, p=1), en 2015 (X^2=0,7, p=0,69) ou même en 2017 (W=56,5, p=0,65). Seule la station des Gorges présente une diminution significative de ce paramètre entre novembre 2015 et 2016 (W=78,5, p=$3{,}4*10^{-2}$), compensée par une augmentation de la perméabilité du substrat au cours de l'hiver suivant.

Ces observations rejoignent celles faites au sujet de la proportion d'infiltration dans le paragraphe § 3.2.1.1.

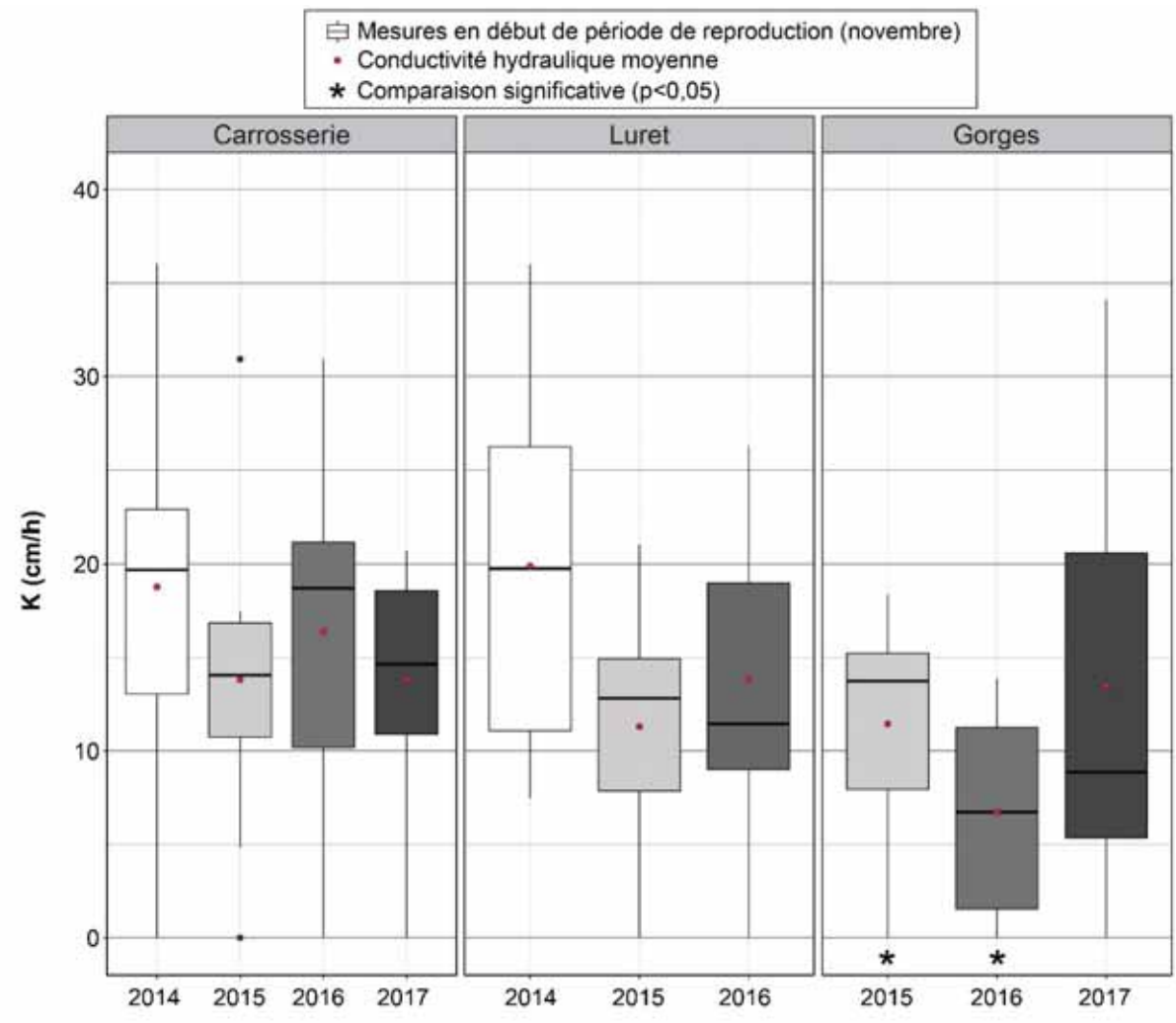


Figure 16 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Pique de 2014 à 2017

3.2.3 Composition granulométrique de surface

Les résultats du suivi granulométrique sur les stations de la Pique sont présentés dans la Figure 17. Précisons que les données acquises en novembre 2017 dans les Gorges ne sont pas exploitables. Les résultats obtenus sur la station de Luret ne sont pas présentés ici compte tenu de la forte variabilité des données directement liée au fonctionnement de l'ouvrage.

Les ZPF suivies sur la station de la Carrosserie présentaient de novembre 2015 à novembre 2016, une granulométrie de surface relativement grossière, dominée par classe des cailloux grossiers (min 40%), les pierres fines (min 20%) puis les sables (15%). Depuis février 2017, la composition de la couche granulométrique superficielle s'améliore, en s'enrichissant de classes favorables (dépôts de cailloux fins et graviers grossiers). Des observations similaires peuvent être faites dans le cas de la station des Gorges.

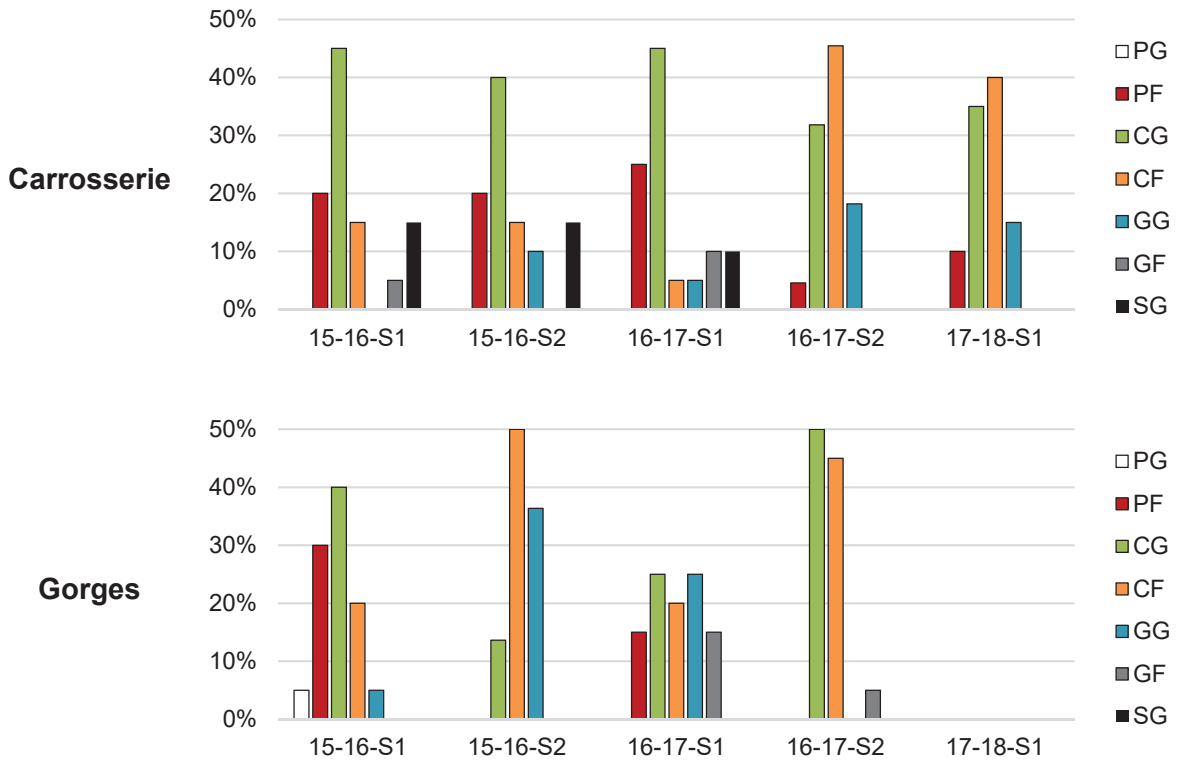


Figure 17 : Evolution de la composition granulométrique de surface des stations suivies sur la Pique de novembre 2015 à novembre 2017

3.3 Cas de la Neste d'Aure

3.3.1 Proportions d'infiltration

La Figure 18 ci-après présente les proportions d'infiltration calculées pour l'ensemble des sessions de mesures réalisées sur la Neste d'Aure, soit les deux campagnes (avant et après période de reproduction) de l'hiver 2016-17 ainsi que celle de novembre 2017.

Les valeurs obtenues suggéraient une hétérogénéité dans la qualité des substrats des zones potentielles de frayères. En effet, en novembre 2016, les meilleures proportions d'infiltration étaient mesurées sur les stations de Rebouc et Izaux (P=1), alors que les autres stations présentaient des proportions d'infiltration comprises entre 0,6 et 0,9.

Pendant la période d'incubation des œufs, les variations calculées des proportions d'infiltration sont hétérogènes selon les stations. En effet, les stations Cadéac et Rebouc conservent une proportion d'infiltration stable. Au contraire, les autres stations montrent toutes une diminution plus ou moins importante de ce paramètre (de -0,1 point à Escalère jusqu'à -0,5 point pour Camous).

Les mesures réalisées en novembre 2017 montrent des changements de la qualité des substrats pour l'ensemble des stations suivies. Le substrat des stations de Cadéac, Escalère et Lortet semble s'être restauré significativement (avec un gain de +0,2 à 0,5 points selon les stations). En revanche, les deux stations qui présentaient en 2016 les meilleurs substrats en début de période de reproduction voient leur proportion d'infiltration diminuer progressivement entre les campagnes de mesure.

Finalement, bien que la qualité des substrats varie entre deux années de suivi, les substrats disponibles en début de période de reproduction 2017 étaient de qualité globalement similaire (soient moyens à très bons, 0,6≤P≤1) à celle de l'année précédente.

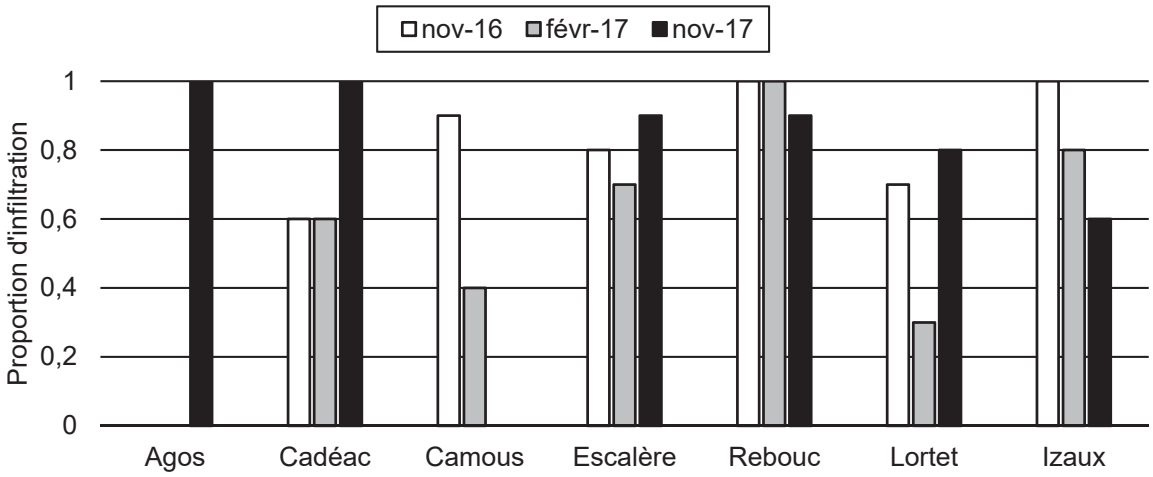


Figure 18 : Synthèse des données de proportion d'infiltration calculées dans le cas de la Neste d'Aure depuis novembre 2016

3.3.2 Conductivité hydraulique

Les valeurs de conductivité hydraulique mesurées sur la Neste depuis le début du suivi sont présentées dans la Figure 19 ci-dessous. Rappelons que la deuxième session de mesures de 2017-18 n'a pas pu être réalisée, tout comme celle de novembre 2017 pour la station de Camous. Notons également que la station Agos n'a été intégrée au réseau suivi qu'à partir de novembre 2017.

Les analyses statistiques portant sur les mesures réalisées en début de période de reproduction mettent en évidence des différences significatives de conductivité hydraulique moyenne entre les stations (nov. 2016 : $X^2=21$, $p=7.7*10^{-4}$; nov. 2017 : $X^2=12$, $p=0.04$; Annexe 9). Ceci résulte de valeurs moyennes particulièrement élevées sur la station d'Izaux (entre 14,3 et 27,6cm/h selon l'année), et basses sur celle de Cadéac (entre 4,5 et 6,4cm/h). L'ensemble des autres stations présente globalement des valeurs avoisinant les 10cm/h.

Les tests statistiques ne permettent pas d'identifier des variations significatives de conductivité hydraulique pendant la période d'incubation des œufs 2016-17 ($p>0,05$), bien que des tendances à l'augmentation ou à la diminution puissent être remarquées selon les stations considérées. En effet, la conductivité hydraulique tend à augmenter de novembre à février pour les stations Cadéac (de 4,5 à 6,1 cm/h) et Rebouc (de 13,9 à 18,4 cm/h). Au contraire, on observe une tendance à la diminution plus ou moins importante de ce paramètre sur les quatre autres stations. La plus grande diminution de la perméabilité est observée sur la station Izaux, où la conductivité hydraulique passe de 27,7 à 15,9 cm/h.

Enfin, le substrat disponible en début de période de reproduction en novembre 2017 semblait présenter une perméabilité globalement moins bonne qu'en novembre 2016 sur les secteurs suivis (moyenne globale de 9,8 cm/h en novembre 2017 contre 12,6 en novembre 2016). Cette année, les stations Lortet, Agos (nouvelle station intégrée au suivi) et Izaux présentaient une meilleure perméabilité du substrat ($p<0,05$).

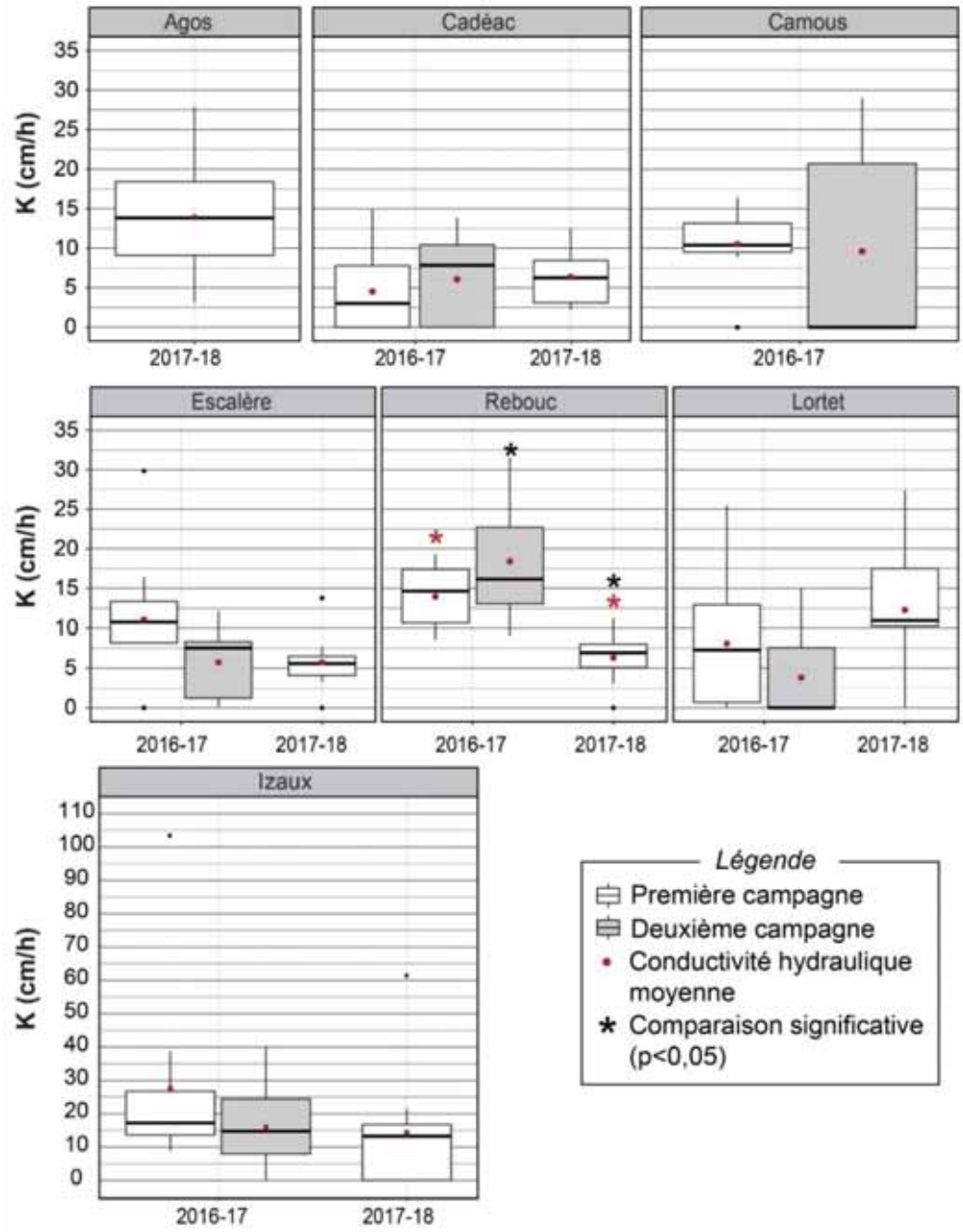


Figure 19 : Evolution de la conductivité hydraulique (K) depuis novembre 2016 sur la Neste d'Aure

3.3.3 Composition granulométrique de surface

La Figure 20 dresse le bilan des suivis de composition granulométrique de surface réalisés sur la Neste depuis novembre 2016.

Les cailloux grossiers et cailloux fins constituent globalement les classes granulométriques principales et représentent en moyenne 65% de la granulométrie étudiée (jusqu'à 100% selon les cas). Ce premier constat fait sens compte tenu de la nature des secteurs recherchés (secteurs de reproduction potentiels de salmonidés).

Les pierres fines et grossières sont également bien représentées (18% en moyenne, jusqu'à 47%). Comme expliqué en §3.1.3 dans le cas de la Garonne, l'évolution de la représentativité de ces classes les plus grossières peut constituer un indicateur supplémentaire de la composition et de l'évolution des zones suivies.

En effet, il apparaît que des augmentations de la proportion des PF/PG s'accompagnent d'une diminution de la proportion d'infiltration et de la conductivité hydraulique moyenne. Ceci a notamment été observé pendant la première saison de reproduction (2016-17) sur Escalère et Lortet,ou bien entre février et novembre 2017 à Izaux.

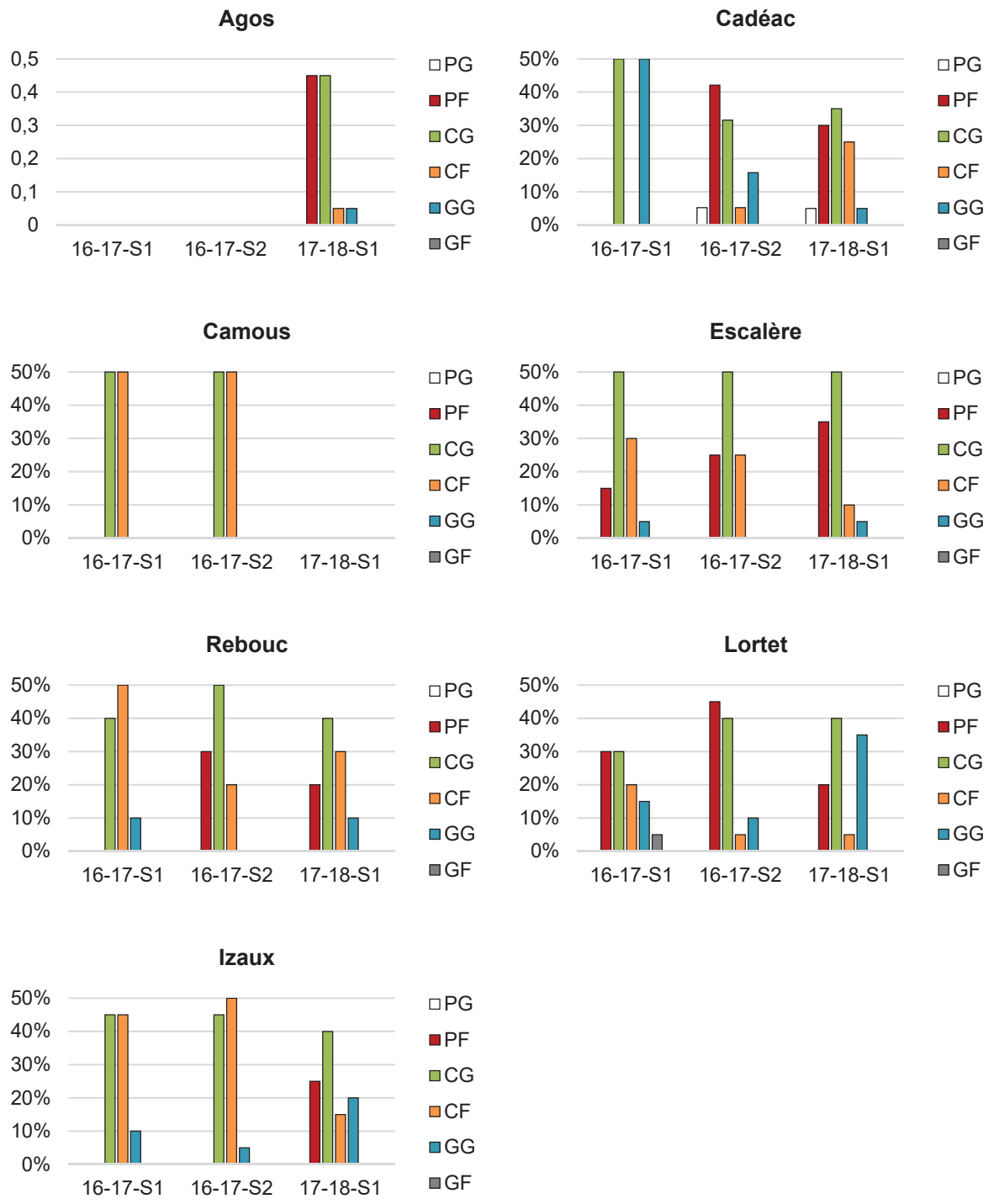


Figure 20 : Evolution de la composition granulométrique de surface des stations suivies sur la Neste de novembre 2016 à novembre 2017

4 BILAN ET PERSPECTIVES

Les suivis réalisés sur la Garonne mettaient en évidence l'existence d'un léger gradient de diminution vers l'aval de la qualité des habitats de reproduction des salmonidés, ainsi qu'une tendance à la dégradation des secteurs suivis entre novembre 2015 et 2016. Toutefois, les nouvelles modalités de gestion du plan d'Arem et l'hydrologie relativement forte enregistrée au printemps 2017 semblent avoir permis une recharge en granulométrie favorable des ZPF en aval proche de l'ouvrage.

La Pique quant à elle, présente des frayères moins fonctionnelles mais dont l'état ne semble pas se dégrader entre 2015 et 2017. Comme il a été observé sur certaines stations de suivi sur la Garonne, la perméabilité du substrat tend à diminuer pendant l'hiver puis se restaure totalement ou partiellement pendant le reste de l'année.

Enfin, les mesures réalisées sur la Neste d'Aure montrent des différences en termes de perméabilité et composition du substrat (couches superficielles). En effet, les stations suivies telles que Cadéac et Lortet présentent des proportions d'infiltration et des moyennes de conductivité hydraulique qui suggèrent une moins bonne perméabilité du substrat des zones de frayères. Notons que ces stations sont également celles qui présentent une proportion relativement forte de granulométrie grossière. Enfin, les résultats suggèrent que des modifications de composition granulométriques et de perméabilité du substrat peuvent survenir à une échelle de temps relativement faible (entre deux campagnes d'une même saison de reproduction, soient 4 mois). Toutefois, le manque de répliqua (une seule campagne de février réalisée à ce jour) limite l'analyse des processus et des tendances globales d'évolution des différents paramètres suivis.

BIBLIOGRAPHIE

BARDONNET A., BAGLINIERE J.L., 2000. Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, vol. 57, no 2, p. 497-506.

BARLAUP B.T., GABRIELSEN S.E., SKOGLUND H., WIERS T.,2008. Addition of spawning gravel - a means to restore spawning habitat of atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and Anadromous and resident brown trout (*Salmo trutta* L.) in regulated rivers. *River Research and Applications*, vol. 24, no 5, p. 543-550.

BELAND K.F., JORDAN R.M., MEISTER A.L., 1982. Water depth and velocity preferences of spawning Atlantic salmon in Maine rivers. *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 2, no 1, p. 11-13.

BOSC S., NARS A., MENCHI O., 2012. Etude de l'impact des éclusées hydroélectriques sur les peuplements piscicoles du haut bassin de la Garonne. Action MPIEG 11. Rapport MI.GA.DO, 45p.

BRUSLÉ J., QUIGNARD J.P., 2001. *Biologie des poissons d'eau douce européens*. Lavoisier, 2001.

CHAPMAN D.W., 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 117, no 1, p. 1-21.

COLL M., DURBE G., BOSC S., MENCHI O., 2015. Evaluation du colmatage du substrat des frayères à salmonidés sur le bassin de la Garonne amont – Année 2015. Rapport MPHABI15, 27p.

COLL M., DURBE G., BOSC S., MENCHI O., 2016. Evaluation du colmatage du substrat des frayères à salmonidés sur le bassin de la Garonne amont – Année 2016, 28p.

COLL M., DURBE G., BOSC S., MENCHI O., 2017.Evaluation du colmatage du substrat des frayères à salmonidés sur le bassin de la Garonne amont – Année 2017, 35p.

CRISP D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia*, vol. 323, no 3, p. 201-221.

CRISP D. T., CARLING P. A., 1989. Observations on siting, dimensions and structure of salmonid redds. *Journal of Fish Biology*, vol. 34, no 1, p. 119-134.

DATRY T, 2011. Colmatage interstitiel des cours d'eau : Développement d'un protocole de mesure standardisé sur les réseaux de contrôle de surveillance français. Rapport final, 106p.

DUPONT E, 1998. Entretenir les cours d'eau et l'habitat des poissons. Publication de la Division de l'eau, Direction des cours d'eau non navigables, 136 p.
Dans : MOTTE G, 2005. Moule perlière et exploitation forestière : un couple à réinventer. Forêt Wallonne, no 74, p. 14-23.

GAUDEMAR B., SCHRODER S.L., BEALL E.P., 2000. Nest placement and egg distribution in Atlantic salmon redds. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 57, no 1, p. 37-47.

GAYRAUD S., HÉROUIN E., PHILIPPE M., 2002. Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les

peuplements de macroinvertébrés. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, no 365-366, p. 339-355.

GIBSON R.J., 1993. The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 3, no 1, p. 39-73.

GROST R.T., HUBERT W.A., WESCHE T.A., 1991. Description of brown trout redds in a mountain stream. *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 120, no 5, p. 582-588.

GUEGUEN J.C., PROUZET P. (eds), 1994. *Le saumon atlantique: biologie et gestion de la ressource*. Editions Quae.

HEGGBERGET T.G., 1991. Some environmental requirements of Atlantic salmon. *Fisheries Bioengineering Symposium: American Fisheries Society Symposium 10*. p. 132.
Dans : ARMSTRONG J. D., KEMP P. S., KENNEDY G. J. A., LADLE M., MILNER N.J., 2003. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries research*, vol. 62, no 2, p. 143-170.

JONES J.W., 1959. The Salmon. London: Collins. 192 p.
Dans : GIBSON R. J., 1993. The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 3, no 1, p. 39-73.

LOUHI P., MÄKI-PETÄYS A., ERKINARO J., 2008. Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: general criteria and intragravel factors. *River Research and Applications*, vol. 24, no 3, p. 330-339.

MALAVOI J.R., SOUCHON Y., 1989. Méthodologie de description, quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux : exemple d'une station sur la Fillière (Haute-Savoie). *Revue de géographie de Lyon*, vol. 64, p. 252-259.

MOIR H. J., SOULSBY C., YOUNGSON A., 1998. Hydraulic and sedimentary characteristics of habitat utilized by Atlantic salmon for spawning in the Girnock Burn, Scotland. *Fisheries Management and Ecology*, vol. 5, no 3, p. 241-254.

OTTAWAY E. M., CARLING P. A., CLARKE A., READER N.A., 1981. Observations on the structure of brown trout, *Salmo trutta* Linnaeus, redds. *Journal of Fish Biology*, vol. 19, no 5, p. 593-607.

PETERSON R.H., 1978. Physical characteristics of Atlantic salmon spawning gravel in some New Brunswick streams. Canadian Fisheries and Marine Service Technical Report 785, St. Andrews, New Brunswick, Canada.

SHIRVELL C.S., DUNGEY R.G., 1983. Microhabitats chosen by brown trout for feeding and spawning in rivers. *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 112, no 3, p. 355-367.

WITZEL L.D., MACCRIMMON H.R., 1983. Redd-site selection by brook trout and brown trout in southwestern Ontario streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 112, no 6, p. 760-771.

WOOD P.J., ARMITAGE P.D., 1997. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental management*, vol. 21, no 2, p. 203-217.

SITES INTERNET CONSULTES :

Banque HYDRO – Eaufrance : débits journaliers moyens de 2014 à 2016 à Saint-Béat (31)

Consulté le 30 janvier 2019 sur : http://www.hydro.eaufrance.fr/

Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne (CACG) : débits moyens journaliers issus des stations de mesure en rivière (canal de la Neste et la Neste en aval de Sarrancolin)

Consulté le 30/01/2019 sur : https://www.cacg.fr/fr/

ANNEXES

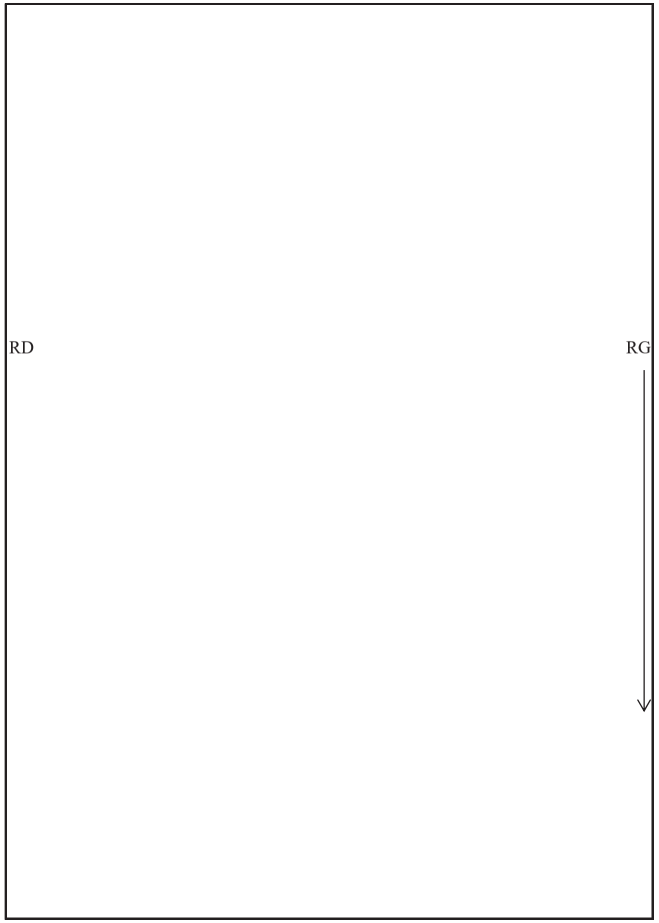
Annexe 1 : Exemple de fiche terrain pour les relevés de conductivité hydraulique

FICHE DE TERRAIN Suivi colmatage

Station :
Cours d'eau :
Date :

Point	Prof. Enfoncement tube	H eau	H eau ds le tube	Tps écoulement	Dist entre pts	Dist RD	Granulométrie	Vitesse de courant			Faciès			N° Photo
	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm)	(m)	voir tableau	<0.2	0.2-0.5	>0.5	Ra	Pc	Mo.	

Schema de la station



Nom de la classe granulométrique		Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers		> 1024	R
Blocs		256-1024	B
Pierres Grossières		128-256	PG
Pierres Fines		64-128	PF
Cailloux Grossiers		32-64	CG
Cailloux Fins		16-32	CF
Graviers Grossiers		8-16	GG
Graviers Fins		2-8	GF
Sables Grossiers		0,5-2	SG
Sables Fins		0,0625-0,5	SF
Limons		0,0039-0,0625	L
Argiles		< 0,0039	A

Annexe 2 : Rappel des principes fondamentaux autour des tests d'hypothèses

Les analyses statistiques réalisées dans ce rapport consistent en des tests dits « d'hypothèses ». Ce sont des procédés d'inférence qui permettent de contrôler à partir de l'analyse d'un ou plusieurs échantillons la validité d'hypothèses relatives à une ou plusieurs populations. Il est alors possible de déterminer si les différences constatées entre *k* échantillons sont dues au hasard ou bien si elles sont suffisamment importantes pour signifier que les échantillons proviennent de populations différentes.

Dans cette famille de tests statistiques, on distingue :

- les tests paramétriques reposant sur des conditions d'applications telles que la distribution des variables selon une loi normale
- les tests non paramétriques pour lesquels aucun paramètre n'est calculé (comme la moyenne et l'écart-type) et seule une équivalence de forme de distribution est requise

De manière générale, deux hypothèses sont formulées à l'occasion d'un test :

- Une hypothèse nulle (H0) selon laquelle il n'y a pas de différence entre les paramètres comparés ou du moins que la différence n'est pas significative et peut être imputée aux erreurs d'échantillonnage.
- Une hypothèse alternative (H1), négation de l'hypothèse précédente et selon laquelle les *k* échantillons proviennent bien de populations différentes.

L'objectif des tests est de calculer une probabilité (*p*) relative à l'hypothèse nulle. Autrement dit, *p* indique s'il est probable que les *k* échantillons soient issus d'une même population. Un seuil α de signification (risque de rejeter H0 alors qu'elle est vraie) est alors fixé ici à 5%. Lorsque *p* est inférieure à 5%, il est peu probable que l'hypothèse H0 soient vraie et cell-ci est rejetée ; les échantillons sont issus de populations différentes.

Dans le cas du test de *Wilcoxon-Mann-Whitney* (comparaison de deux échantillons) appliqué ici, les hypothèses émises sont les suivantes :

H0 : les fonctions de répartition des deux échantillons sont identiques
H1 : il existe une différence significative dans la répartition de la variable entre les deux échantillons

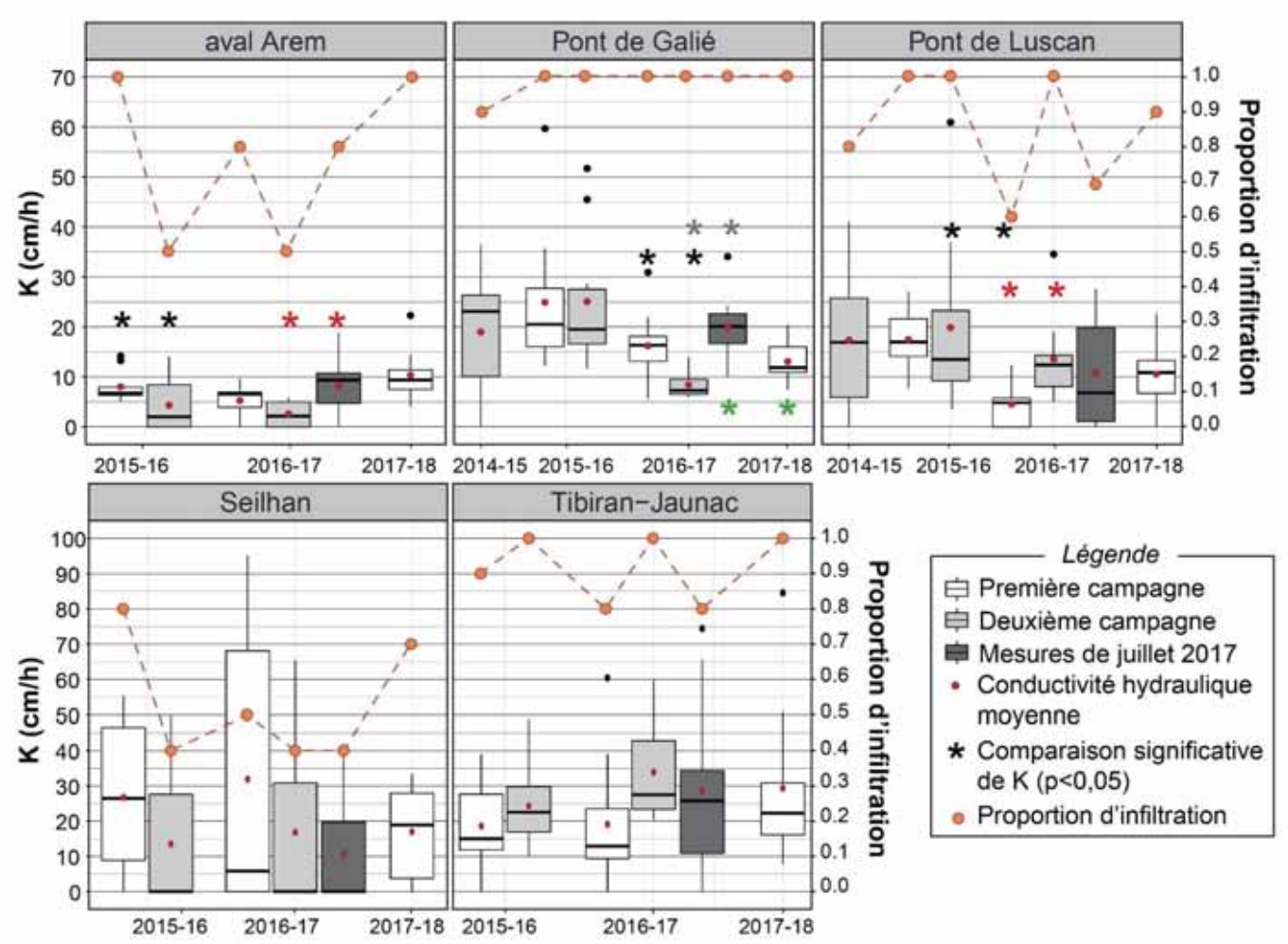
Dans le cas du test de Kruskal-Wallis (comparaisons de k échatillons), les hypothèses émises sont les suivantes :
H0 : les fonctions de répartition des *k* échantillons sont identiques
H1 : au moins un échantillon présente une fonction de répartition différente

NB : Lorsque la *p-value* d'un test de Kruskal-Wallis est inférieure à 0,05, l'hypothèse nulle (H0) est rejetée. Un test post-hoc de comparaisons multiples de Dunn est appliqué afin de savoir quel(s) échantillon(s) diffère(nt) des autres. Dans ce cas, les hypothèses émises sont similaires à celles formulées dans le cas d'un test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Annexe 3 : Evolution de la conductivité hydraulique (K, cm/h) et de la proportion d'infiltration, de 2014 à 2017 sur les différentes stations de suivi en Garonne

Les astérisques marquent les comparaisons de conductivité hydraulique significatives (p>0,05).

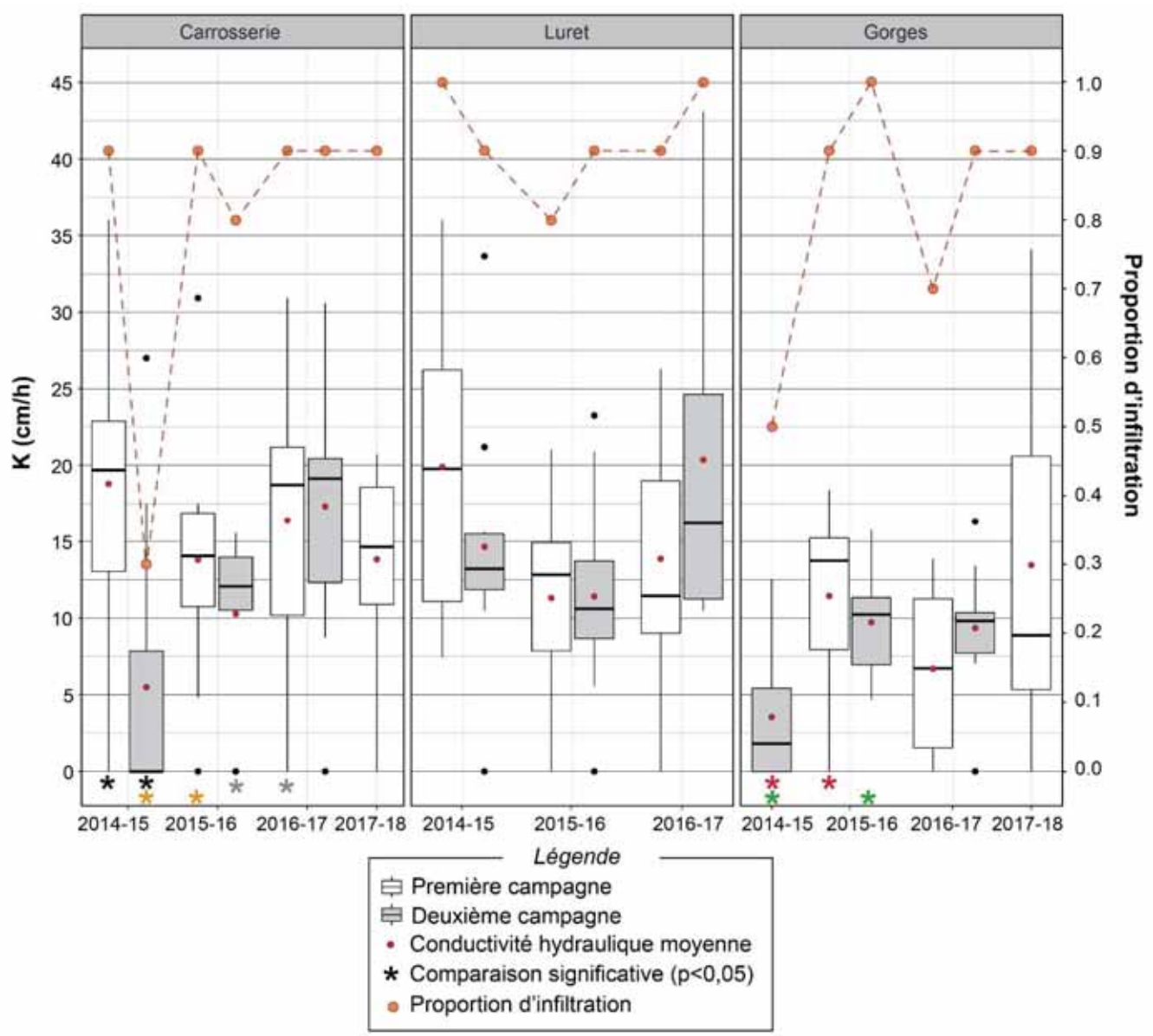
Les astérisques d'une même couleur représentent les deux sessions de mesures comparées entre elles.



Annexe 4 : Evolution de la conductivité hydraulique (K, cm/h) et de la proportion d'infiltration de 2014 à 2017 sur les différentes stations de suivi sur la Pique

Les astérisques marquent les comparaisons de conductivité hydraulique significatives (p>0,05).

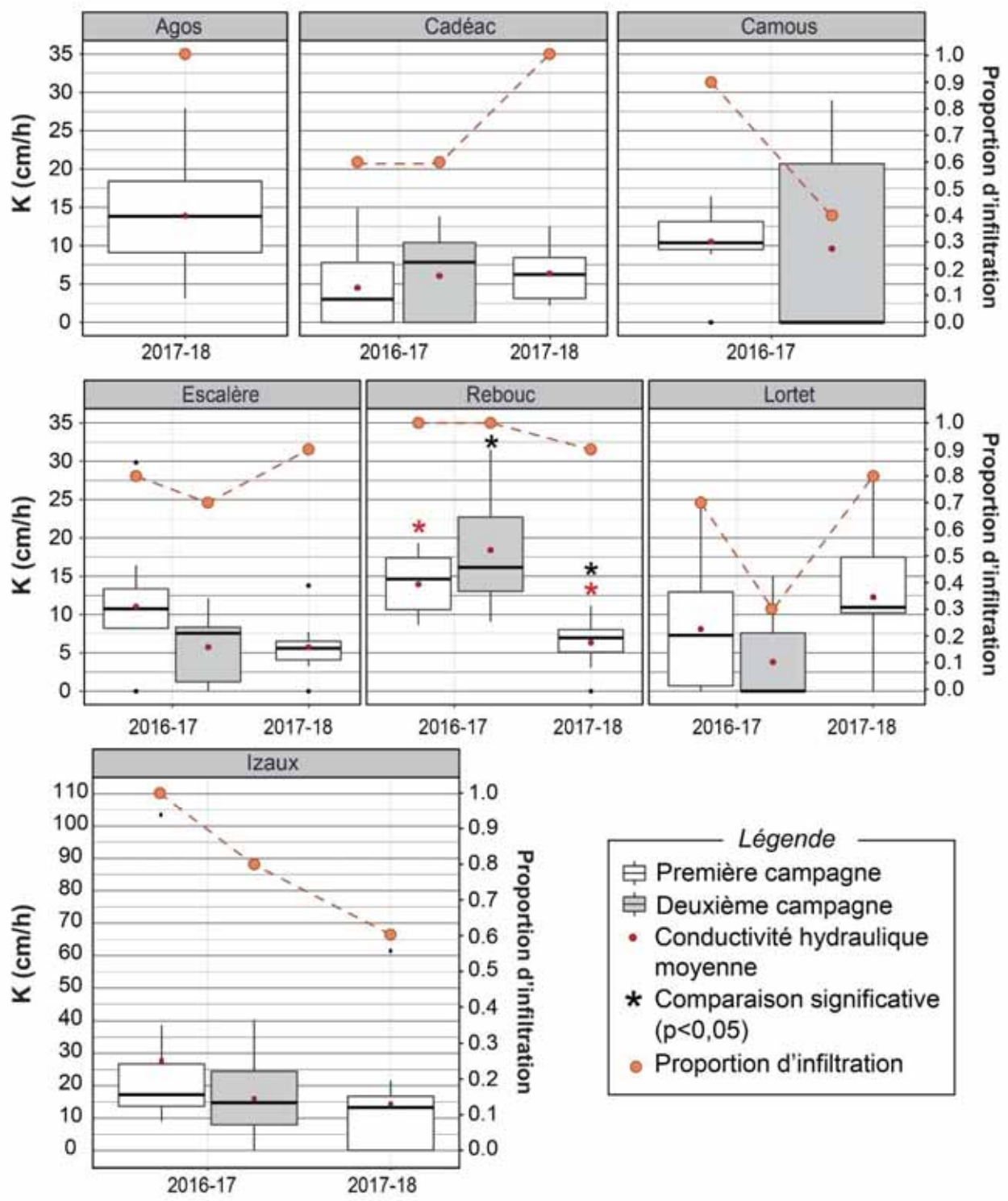
Les astérisques d'une même couleur représentent les deux sessions de mesures comparées entre elles.



Annexe 5 : Evolution de la conductivité hydraulique (K, cmh/) et de la proportion d'infiltration de 2014 à 2017 sur les différentes stations de suivi sur la Neste

Les astérisques marquent les comparaisons de conductivité hydraulique significatives (p>0,05).

Les astérisques d'une même couleur représentent les deux sessions de mesures comparées entre elles.



Annexe 6 : Tableau récapitulatif des paramètres descriptifs (moyennes, écart-types et proportion d'infiltration) calculés pour chaque station à l'occasion de chaque session de mesure sur la durée du suivi.

		Moyenne (K, cm/h)								Ecart type (K, cm/h)								Proportion d'infiltration							
		2014-15		2015-16		2016-17			2017-18	2014-15		2015-16		2016-17			2017-18	2014-15		2015-16		2016-17			2017-18
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	Eté	S1	S1	S2	S1	S2	S1	S2	Eté	S1	S1	S2	S1	S2	S1	S2	Eté	S1
Garonne	aval Arem	-	-	8,0	4,3	5,2	2,6	8,3	10,3	-	-	3,1	5,2	3,2	2,7	5,8	5,1	-	-	1,0	0,5	0,8	0,5	0,8	1,0
	av Arem amont limni	-	-	-	-	-	-	-	4,7	-	-	-	-	-	-	-	2,2	-	-	-	-	-	-	-	1,0
	av Arem aval limni	-	-	-	-	-	-	-	18,0	-	-	-	-	-	-	-	13,7	-	-	-	-	-	-	-	1,0
	amont pont de Fos	-	-	-	-	-	-	-	17,7	-	-	-	-	-	-	-	12,9	-	-	-	-	-	-	-	1,0
	aval Fos	-	-	-	-	-	-	-	16,2	-	-	-	-	-	-	-	11,1	-	-	-	-	-	-	-	1,0
	P. Galié	-	19,0	24,9	25,1	16,2	8,4	19,9	13,1	-	11,3	14,1	13,3	7,1	2,8	6,7	4,2	-	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	P. Luscan	-	17,4	17,5	19,9	4,5	13,6	10,7	10,6	-	14,9	6,4	17,4	4,7	8,4	10,6	7,4	-	0,8	1,0	1,0	0,6	1,0	0,7	0,9
	Seilhan	-	-	26,8	13,5	31,9	16,9	10,5	17,0	-	-	21,6	19,6	40,5	24,2	15,4	13,3	-	-	0,8	0,4	0,5	0,4	0,4	0,7
	T-Jaunac	-	-	18,6	24,3	19,1	33,9	28,6	29,4	-	-	12,5	11,3	18,7	14,0	25,2	22,9	-	-	0,9	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0
Pique	Carrosserie	18,8	5,5	13,8	10,3	16,4	17,3	-	13,8	10,0	9,7	8,2	5,7	8,7	9,2	-	6,2	0,9	0,3	0,9	0,8	0,9	0,9	-	0,9
	Luret	19,9	14,6	11,3	11,4	13,9	20,4	-	-	9,9	8,5	7,2	6,8	8,2	11,8	-	-	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	-	-
	Gorges	-	3,6	11,4	9,7	6,7	9,3	-	13,5	-	4,5	5,5	3,5	5,2	4,3	-	11,0	-	0,5	0,9	1,0	0,7	0,9	-	0,9
Neste	Agos	-	-	-	-	-	-	-	13,9	-	-	-	-	-	-	-	7,2	-	-	-	-	-	-	-	1,0
	Cadéac	-	-	-	-	4,5	6,1	-	6,4	-	-	-	-	5,3	5,5	-	3,7	-	-	-	-	0,6	0,6	-	1,0
	Camous	-	-	-	-	10,5	9,6	-	-	-	-	-	-	4,4	12,9	-	-	-	-	-	-	0,9	0,4	-	-
	Escalère	-	-	-	-	11,0	5,8	-	5,8	-	-	-	-	8,5	4,3	-	3,5	-	-	-	-	0,8	0,7	-	0,9
	Rebouc	-	-	-	-	13,9	18,4	-	6,3	-	-	-	-	3,9	7,5	-	3,2	-	-	-	-	1,0	1,0	-	0,9
	Lortet	-	-	-	-	8,1	3,8	-	12,3	-	-	-	-	8,2	6,3	-	8,4	-	-	-	-	0,7	0,3	-	0,8
	Izaux	-	-	-	-	27,6	15,9	-	14,3	-	-	-	-	28,0	12,8	-	18,6	-	-	-	-	1,0	0,8	-	0,6

Annexe 7 : Résultats du test de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2016 sur la Garonne

Pour chaque paire de comparaisons, la première valeur (haut) correspond à la valeur statistique du test de Dunn et la seconde (bas) correspond à la p-value associée.

Les valeurs en rouge correspondent aux p-values inférieures au seuil de 5%, indiquant les paires de comparaisons significatives.

	Pont de Fos	**Aval Arem**	**Aval Arem am. Limni.**	**Aval Arem av. limni**	**Aval Fos**	**Pt de Galié**	**Pt de Luscan**	**Seilhan**
Aval Arem	1,35 0,09							
Aval Arem am. Limni.	**3,15** **0,0008**	**1,80** **0,03**						
Aval Arem av. limni	-0,1 0,46	-1,46 0,07	**-3,25** **0,0006**					
Aval Fos	-0,009 0,50	-1,36 0,09	**-3,16** **0,0008**	0,09 0,46				
Pt de Galié	0,32 0,38	-1,04 0,15	**-2,83** **0,0023**	0,42 0,34	0,33 0,37			
Pt de Luscan	1,08 0,14	-0,27 0,39	**-2,07** **0,019**	1,18 0,12	1,09 0,14	0,76 0,22		
Seilhan	-0,03 0,49	-1,38 0,08	**-3,18** **0,0007**	0,073 0,47	-0,02 0,49	-0,35 0,36	-1,11 0,13	
Tibiran Jaunac	-1,44 0,07	**-2,80** **0,003**	**-4,59** **$1*10^{-4}$**	-1,34 0,09	-1,43 0,08	**-1,76** **0,04**	**-2,52** **0,006**	-1,41 0,08

Annexe 8 : Résultats du test de comparaison (tests de Dunn) des conductivités hydrauliques mesurées sur deux sessions successives par station en Garonne

Ces tests de comparaisons deux à deux ne concernent que les stations pour lesquelles le test global de comparaisons multiples a été significatif (test de Kruskal-Wallis ; mise en évident d'une différence entre toutes les sessions de mesures réalisées sur une même station).

Pour chaque paire de comparaisons, la première valeur (haut) correspond à la valeur statistique du test de Dunn et la seconde (bas) correspond à la p-value associée. Les valeurs en rouge correspondent aux p-values inférieures au seuil de 5%, indiquant les paires de comparaisons significatives.

(1) Aval Arem

	2015-16 S1	2016-17 S1	2017-18 S1	2015-16 S2	2016-17 S2
2016-17 S1	1.22 0.1104	-	-	-	-
2017-18 S1	-0.96 0.1685	**-2.18 0.0145***	-	-	-
2015-16 S2	**1.73 0.04**	0.51 0.31	**2.69 0.0035***	-	-
2016-17 S2	**2.7 0.0030***	1.52 0.064	**3.70 0.0001***	1.01 0.16	-
Juillet 2017	-0.18 0.43	-1.40 0.08	0.78 0.22	**-1.91 0.028**	**-2.93 0.0017***

(2) Galié

	2015-16 S1	2016-17 S1	2017-18 S1	2014-15 S2	2015-16 S2	2016-17 S2
2016-17 S1	1,52 0,065	-	-	-	-	-
2017-18 S1	**2,39 0,0084**	0,87 0,19	-	-	-	-
2014-15 S2	0,83 0,20	-0,69 0,25	-1,56 0,06	-	-	-
2015-16 S2	0,005 0,50	-1,51 0,07	**-2,38 0,0086**	-0,82 0,21	-	-
2016-17 S2	**3,96 $1*10^{-4}$**	**2,44 0,0072**	1,57 0,0581	**3,13 0,0009**	**3,96 $1*10^{-4}$**	-
Juillet 2017	0,41 0,34	-1,1 0,13	**-1,98 0,024**	-0,42 0,34	0,41 0,34	**-3,55 0,0002**

(3) Pont de Luscan

	2015-16 S1	2016-17 S1	2017-18 S1	2014-15 S2	2015-16 S2	2016-17 S2
2016-17 S1	**3,39 0,0003**	-	-	-	-	-
2017-18 S1	**1,79 0,036**	-1,60 0,055	-	-	-	-
2014-15 S2	0,87 1,19	**-2,52 0,0059**	-0,92 0,18	-	-	-
2015-16 S2	¨0,52 0,30	**-2,87 0,002**	-1,28 0,10	-0,35 0,36	-	-
2016-17 S2	1,14 0,13	**-2,25 0,01**	-0,65 0,26	0,28 0,39	0,63 0,27	-
Juillet 2017	**1,99 0,023**	-1,40 0,08	0,20 0,42	1,12 0,13	1,48 0,07	0,85 0,20

Annexe 9 : Résultats des tests de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en début de période d'incubation sur la Neste d'Aure

Pour chaque paire de comparaisons, la première valeur (haut) correspond à la valeur statistique du test de Dunn et la seconde (bas) correspond à la p-value associée.

Les valeurs en rouge correspondent aux p-values inférieures au seuil de 5%, indiquant les paires de comparaisons significatives.

(1) Novembre 2016

	Amont Lortet	Cadéac	Camous	Escalère	Izaux
Cadéac	1,014 0,16	-	-	-	-
Camous	-0,76 0,22	**-1,77** **0,04**	-	-	-
Escalère	-0,73 0,23	**-1,74** **0,041**	0,03 0,49	-	-
Izaux	**-3,04** **0,0012**	**-4,05** **$1*10^{-4}$**	**-2,28** **0,011**	**-2,31** **0,01**	-
Rebouc	**-2,12** **0,017**	-3,13 0,0009	-1,36 0,087	-1,39 0,08	0,92 0,18

(2) Novembre 2017

	Agos	Amont Lortet	Cadéac	Escalère	Izaux
Amont Lortet	0,53 0,30	-	-	-	-
Cadéac	**2,32** **0,01**	**1,79** **0,04**	-	-	-
Escalère	**2,60** **0,0047**	**2,07** **0,019**	0,28 0,39	-	-
Izaux	1,19 0,12	0,67 0,25	-1,13 0,13	-1,40 0,08	-
Rebouc	**2,28** **0,011**	**1,76** **0,04**	-0,032 0,49	-0,31 0,38	-1,096 0,14

VOLET 2 : MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DES HABITATS DE CROISSANCE DU SAUMON ATLANTIQUE ET ESTIMATION DE LA CAPACITE D'ACCUEIL EN JUVENILES

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS **3**

1. INTRODUCTION **4**

1.1 CONTEXTE GENERAL ..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**
1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE ..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

2. MATERIEL ET METHODE **4**

2.1 SECTEUR D'ETUDE 4
2.2 PERIODE D'ETUDE ET CONTEXTE HYDROLOGIQUE 5
2.3 DESCRIPTION MORPHODYNAMIQUE 6
2.4 ESTIMATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION EN JUVENILES DE SAUMON 8
3.4.1 Calcul de la surface d'Equivalents Radiers-Rapides (ERR) *8*
3.4.2 Estimation de la production théorique du secteur en smolts de saumon *9*
2.5 ANALYSE DE LA GRANULOMETRIE DES FACIES FAVORABLES 10
2.6 ANALYSES DES TEMPERATURES 10

3. RESULTATS **11**

3.1 REPARTITION DES HABITATS ET POTENTIALITES DE PRODUCTION 11
3.2 COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DES FACIES DE PRODUCTION 11
3.3 ANALYSE DES TEMPERATURES SUR LE SECTEUR SUIVI 12

4. BILAN ET PERSPECTIVES **14**

BIBLIOGRAPHIE **15**

ANNEXES **16**

LISTE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude 5
Figure 2 : Comparaison des débits mensuels moyens et maximums de la Garonne à Saint Béat entre l'année 2018 et sur les 4 dernières années (source : Banque Hydro) 6
Figure 3 : Débits journaliers moyens enregistrés sur la Garonne à Saint Béat (*source : Banque Hydro*) 6
Figure 4 : Clé de détermination des principaux faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon, 2002) 7
Figure 5 : Gradient de densité de juvéniles de saumon selon les faciès d'écoulement (Cazeneuve et al., 2008) 9
Figure 6 : Composition granulométrique dominante et accessoire des faciès favorables au grossissement des juvéniles de saumon 12
Figure 7 : Répartition des températures horaires enregistrées à St Béat pendant la période de croissance des juvéniles de saumon (2014, 2016, 2017, 2018) 13

TABLEAUX

Tableau 1 : Echelle granulométrique de Wentworth modifiée par Malavoi et Souchon (1989) 8
Tableau 2 : Classes utilisées pour la description du recouvrement par la végétation aquatique 8
Tableau 3 : Classes utilisées pour la description de l'ombrage 8
Tableau 4 : Principales caractéristiques* des habitats de croissance estivale utilisés par les juvéniles de saumon atlantique (Cazeneuve et al., 2008) 9
Tableau 5 : Bilan des surfaces des différents faciès recensés sur les tronçons suivis 11
Tableau 6 : Bilan des surfaces d'Equivalents Radier-Rapide (ha) et des potentiels de production de smolts estimés 11
Tableau 7 : Bilan des indicateurs thermiques généraux calculés sur les périodes de croissances de juvéniles de saumon 13

ANNEXES

Annexe 1 : Exemple de fiche terrain de description des faciès d'un cours d'eau 17
Annexe 2 : Cartographie des faciès d'écoulement sur les tronçons prospectés 18

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du plan de restauration du saumon atlantique sur le bassin de la Garonne, MIGADO effectue des opérations de repeuplement en juvéniles sur la partie amont du bassin. Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'estimer les surfaces favorables à la croissance des jeunes stades déversés, afin d'optimiser les stocks repeuplés.

Cette étude fait suite à la dernière cartographie des habitats de la Garonne amont réalisée en 2007 et a pour objectifs de :

(1) Mettre à jour la cartographie des zones potentielles de frayères et de grossissement des juvéniles

(2) Redéfinir les surfaces favorables à la croissance des jeunes stades

(3) Estimer un potentiel de production du secteur suivi en smolts de saumon

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Secteur d'étude

Le secteur cartographié correspond au linéaire de la Garonne compris entre l'aval du barrage du Plan d'Arem et la prise d'eau de la commune d'Esténos (31440), d'une longueur totale de 15,8km.

Le linéaire cartographié peut être découpé en 2 tronçons (Figure 1) :

- T1 : Le tronçon court-circuité pour l'alimentation en eau de la centrale d'Arlos (soient environ 6km de l'aval du Plan d'Arem jusqu'à la restitution de la centrale).
- T2 : De la restitution de la centrale d'Arlos jusqu'à la confluence avec la Pique (10km environ).

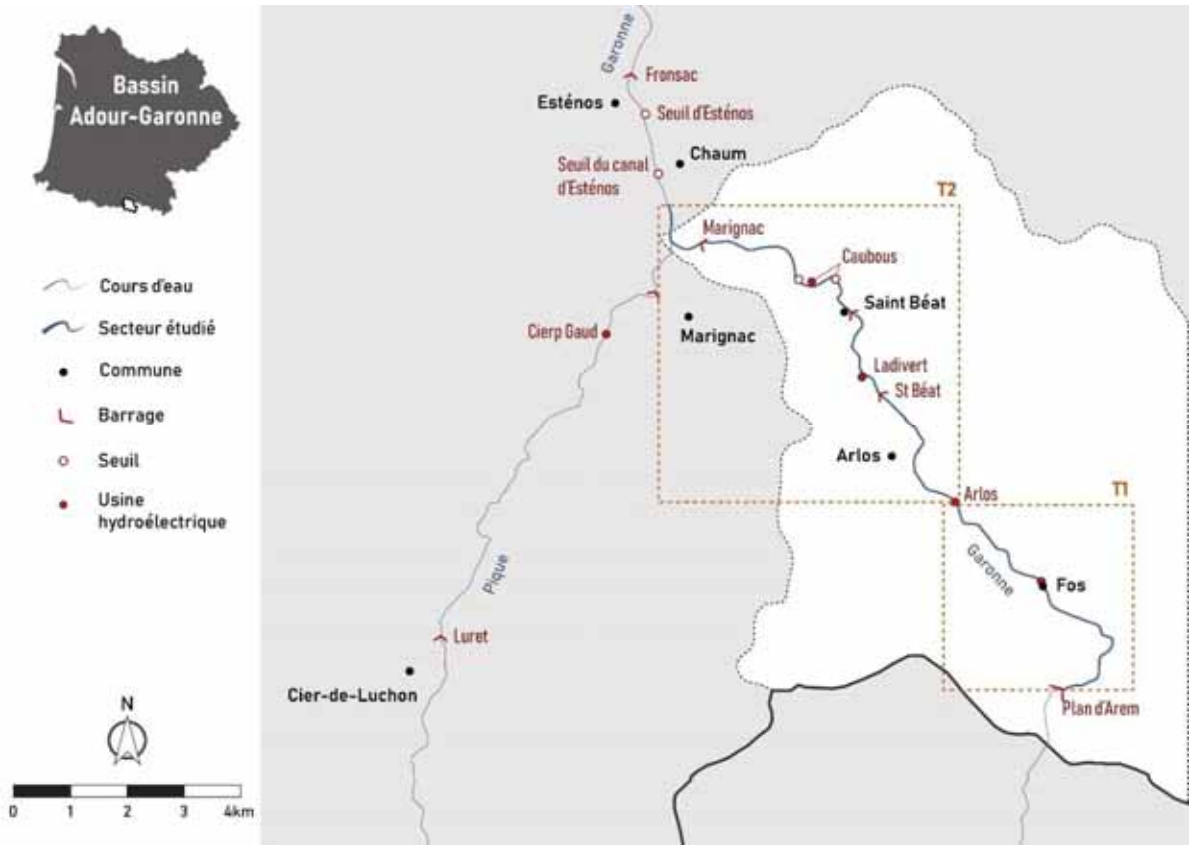


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

2.2 Période d'étude et contexte hydrologique

La cartographie des différents faciès d'écoulement de la Garonne s'est déroulée pendant la période d'étiage estival. Ainsi, les campagnes de terrain se sont déroulées du 18 au 24 juillet 2018.

La Figure 2 ci-dessous présente les débits mensuels moyens et journaliers moyens maximums enregistrés à Saint Béat (31) sur l'année 2018 et pour la période 2014-2017 (*source : Banque Hydro*).

De manière générale, le régime hydrologique de la Garonne amont est caractérisé par de forts débits au printemps, liés à la fonte des neiges, ainsi que par un étiage estival relativement marqué.

Au regard des valeurs enregistrées, l'année 2018 semble être une année à hydrologie assez forte. En effet, les débits mensuels de 2018 sont systématiquement supérieurs à ceux enregistrés sur les 4 dernières années de janvier à juillet (jusqu'à 30m^3/s d'écart au printemps). Enfin, notons que les débits journaliers moyens ont dépassé les 100m$^{3/}$s d'avril à juin 2018 (phénomène peu fréquent sur les 4 dernières années).

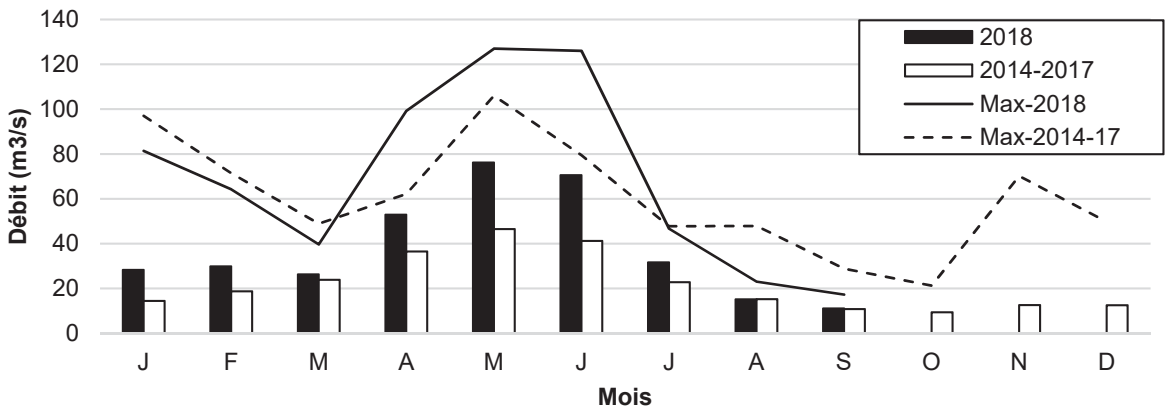


Figure 2 : Comparaison des débits mensuels moyens et maximums de la Garonne à Saint Béat entre l'année 2018 et sur les 4 dernières années (source : Banque Hydro)

Les débits journaliers moyens sur le secteur sont présentés dans la Figure 3. Rappelons que les valeurs présentées sont moyennées à l'échelle journalière et masquent les potentielles variations des débits liés à l'hydroélectricité et à la gestion du Plan d'Arem en amont, compliquant ponctuellement le déroulement de la campagne de terrain. Pendant la période de mesure, les débits journaliers moyens diminuaient progressivement et étaient compris entre 30,9 et 22,6m^3/s.

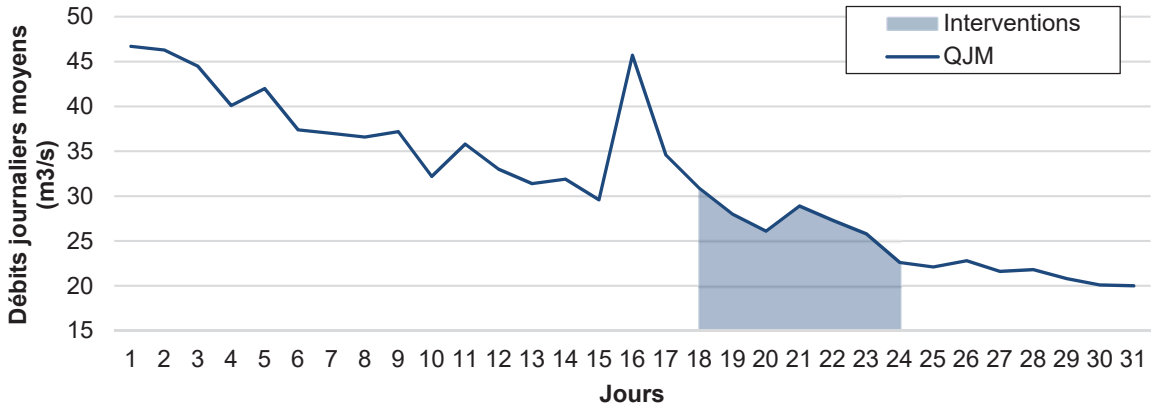


Figure 3 : Débits journaliers moyens enregistrés sur la Garonne à Saint Béat (*source : Banque Hydro*)

2.3 Description morphodynamique

L'ensemble du linéaire concerné par l'étude a fait l'objet d'une prospection à pied ou en canoë. La description du linéaire a été réalisée à l'échelle des faciès d'écoulement (ou macrohabitats), considérés comme étant des portions de cours d'eau présentant des conditions de vitesses, de profondeurs, de granulométrie et de pente relativement homogènes (Malavoi, 1989).

Pour chaque faciès d'écoulement, les paramètres suivants ont été relevés :

(1) Le type de faciès d'écoulement dominant (et accessoire si besoin), à partir de la clé dichotomique ci-dessous :

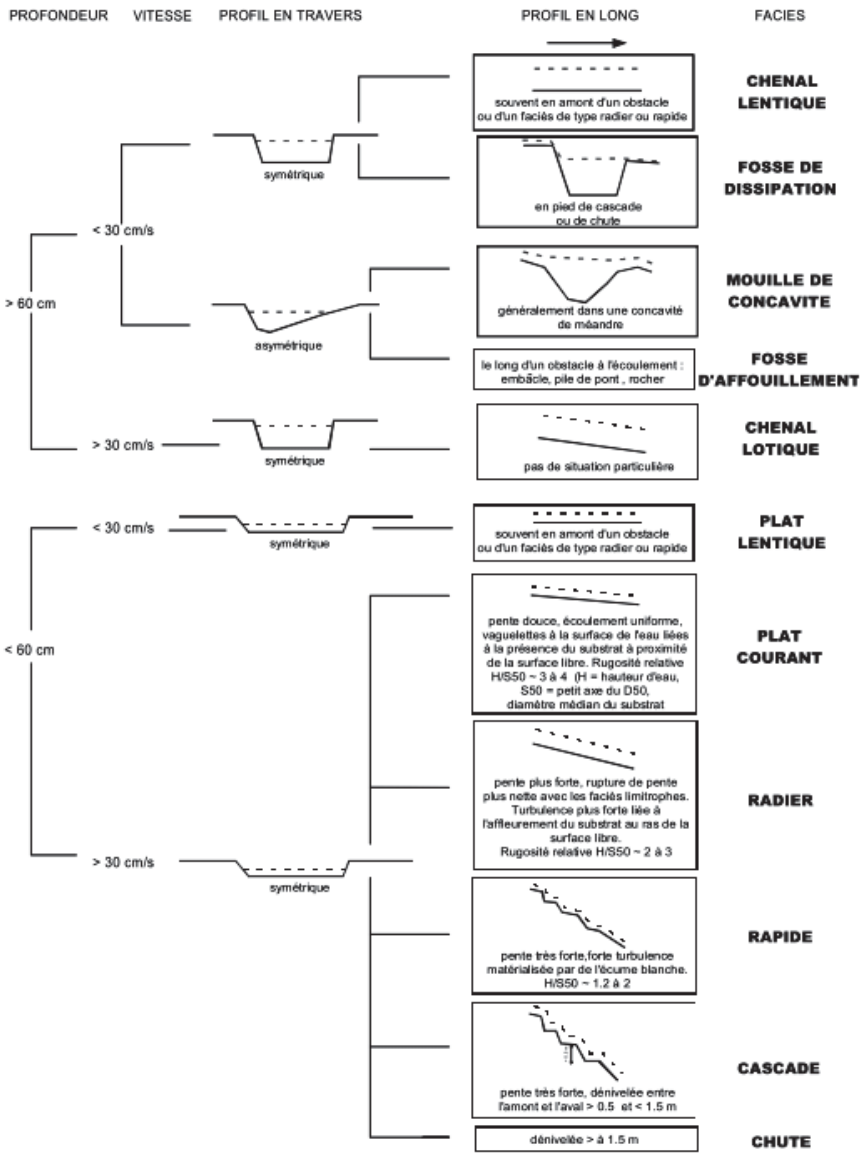


Figure 4 : Clé de détermination des principaux faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon, 2002)

(2) **Les limites amont et aval**, à l'aide d'un GPS différentiel (GNSS *Leica Viva GS16*).
(3) **Les longueurs, largeurs plein bord et profondeurs moyennes** (en m).
(4) **Les granulométries dominantes et accessoires**, déterminées à partir de l'échelle granulométrique ci-dessous :

Tableau 1 : Echelle granulométrique de Wentworth modifiée par Malavoi et Souchon (1989)

Classe granulométrie	Diamètre du second axe (mm)	Code
Rochers	>1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	<0,0039	A

(5) Le recouvrement par la végétation aquatique selon les classes suivantes :

Tableau 2 : Classes utilisées pour la description du recouvrement par la végétation aquatique

Recouvrement estimé	Classe
< 5%	1
5 à 15%	2
15 à 40%	3
40 à 70%	4
>70%	5

(6) L'ombrage résultant de la végétation rivulaire **:**

Tableau 3 : Classes utilisées pour la description de l'ombrage

Ombrage estimé	Classe
< 15%	1
15 à 60%	2
>60%	5

Un exemple de fiche de terrain est disponible en Annexe 1.

Notons que les superficies indiquées par tronçon résultent d'une estimation faite à l'échelle du micro-habitat, à partir des longueur et largeur moyennes relevées.

2.4 Estimation du potentiel de production en juvéniles de saumon

3.4.1 Calcul de la surface d'Equivalents Radiers-Rapides (ERR)

La capacité d'accueil en saumon atlantique d'un cours d'eau est principalement déterminée par l'habitat physique disponible ainsi que par les conditions physico-chimiques et thermiques (limitantes pour la physiologie des poissons).

Le Tableau 4 ci-dessous synthétise les caractéristiques hydro-morphologiques des habitats de croissance utilisés par les juvéniles de saumon atlantique (Cazeneuve et *al*., 2008).

Tableau 4 : Principales caractéristiques* des habitats de croissance estivale utilisés par les juvéniles de saumon atlantique (Cazeneuve et al., 2008)

	Individu de taille < 7cm	Individu de taille > 7cm
Profondeur (cm)	10-40 (5-90)	20-60 (10-300)
Vitesse (cm/s)	20-40 (10-70)	0-80
Taille du substrat (mm)	16-256 (graviers, petits et gros galets)	64-512 (petits et gros galets, petits blocs)

**Valeurs couramment rencontrées, les valeurs extrêmes sont entre parenthèse*

Du fait de ces exigences, les juvéniles de saumon atlantique privilégient pour leur croissance estivale des zones courantes, de profondeur relativement réduite et à substrat grossier, soit des faciès de type radiers et rapides (Heggenes & Saltveit, 1990 ; Heland et al., 1995 ; Bardonnet & Baglinière, 2000). Cependant, les résultats de pêches électriques réalisées par MIGADO dans le cadre des suivis des populations de tacons indiquent que ces jeunes stades occupent, dans une moindre mesure, des faciès de types plats courants et plats lentiques (Figure 5).

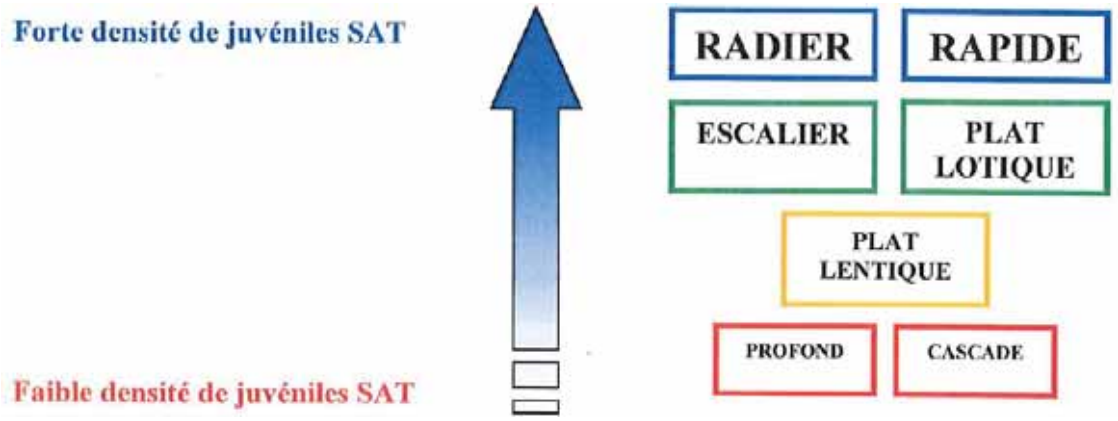


Figure 5 : Gradient de densité de juvéniles de saumon selon les faciès d'écoulement (Cazeneuve et al., 2008)

Ainsi, il est donc possible d'estimer le potentiel de production du secteur étudié en calculant les surfaces d'Equivalents Radier-Rapide (ERR) selon la formule suivante :

$$Surface\ d'ERR\ (m3) = S.Radiers + S.Rapides + 0.4 * S.Plats\ Courants + 0.1 * S.Plats\ lentiques$$

3.4.2 Estimation de la production théorique du secteur en smolts de saumon

Il s'agit ici de calculer la production théorique du secteur suivi en smolts de saumon à partir des surfaces de production (ERR) estimées ci-dessus. Dans le cas de la Garonne, on estime que le potentiel de production avoisine les 5 à 10 smolts dévalants pour 100m² d'ERR (Gayou, 1986).

Ainsi, il est donc possible d'estimer la production minimum (P_{min}) et maximum (P_{max}) de smolts pour les deux tronçons suivis selon le calcul suivant :

$$P_{min} = 5 * ERR * 10^{-3}$$

$$P_{max} = 10 * ERR * 10^{-3}$$

2.5 Analyse de la granulométrie des faciès favorables

Les relevés réalisés permettent d'apprécier la composition granulométrique des faciès identifiés comme étant favorables au grossissement des juvéniles de saumon.

La représentativité d'une classe granulométrique est exprimée en proportion de la surface que représente le faciès sur lequel cette classe a été identifiée, en rapport à la surface totale prospectée. Les calculs sont réalisés pour les granulométries dominantes puis accessoires des radiers, rapides et plats courants.

Notons qu'il s'agit ici d'une description grossière dans la mesure où nous ne disposons pas de la surface exacte représentée par chaque classe granulométrique, qu'elle soit dominante ou accessoire. L'objectif de cette analyse est de vérifier que les classes granulométriques des faciès favorables soient conformes aux exigences des saumons.

2.6 Analyses des températures

La température de l'eau est un facteur limitant de la qualité d'un milieu vis-à-vis des populations de saumons. Les seuils de températures optimales et létales sont fonction du stade de développement considéré. Des températures comprises entre 16 et 20°C sur la période d'avril à octobre sont considérées comme optimales pour la croissance des juvéniles (Jonsson, 2001). En revanche, des températures inférieures à 7°C ou supérieures à 21°C engendrent du stress et peuvent être létales pour les individus (Cornu, s.d).

Les données thermiques traitées ici ont été enregistrées à St Béat, à l'aide d'une sonde thermique Tinytag Aquatic 2 de type TG-4100. Les enregistrements y sont réalisés au pas horaire, et ce depuis 2013.

L'objectif de cette analyse étant de s'assurer de la conformité des températures de l'eau sur le secteur suivi vis-à-vis des exigences thermiques des juvéniles de saumon au cours de leur croissance, seules les données enregistrées entre les mois d'avril et octobre de chaque année sont étudiées. Dans un souci de représentativité et de validité des données, les analyses décrites ci-après portent sur les années 2014, 2016, 2017 et 2018.

Afin de décrire le régime thermique général du secteur suivi, la répartition des classes de température ainsi qu'une série d'indicateurs a été calculée sur les données enregistrées d'avril à octobre des années choisies.

Les indicateurs suivants ont été calculés à l'aide de la Macro Excel MACMASalmo 1.0 (Dumoutier et *al.*, 2010) :

- **Ti min :** Température instantanée minimale
- **Ti max :** Température instantanée maximale
- **ATi max :** Valeur de l'amplitude thermique journalière la plus élevée
- **Tmin :** Température moyenne journalière minimale
- **Tmax :** Température moyenne journalière maximale
- **T30 :** Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (sur la base de températures moyennes journalières)

3. RESULTATS

3.1 Répartition des habitats et potentialités de production

Le Tableau 5 ci-dessous synthétise les surfaces estimées pour chaque type de faciès d'écoulement sur les deux tronçons prospectés. Au total, 15,8km ont été parcourus entre l'aval du Plan d'Arem et la prise d'eau du canal d'Esténos, représentant une superficie de 36,4ha.

Les faciès courants présentant un intérêt en termes d'habitats pour les juvéniles de saumons (plats courants, radiers et rapides) représentent 75 et 34% de la surface étudiée sur les tronçons 1 et 2 respectivement, soit une superficie de 16,9ha. Une cartographie de la succession des différents faciès d'écoulement sur le linéaire prospecté est disponible en Annexe 2.

Tableau 5 : Bilan des surfaces des différents faciès recensés sur les tronçons suivis

Tronçon	L (km)	l moy (m)	Surface (ha)	CLE		FD		MOU		CLO		PC		RAD		RAP	
				ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
T1	6,3	17	10,9	0,8	7%	0,3	3%	0,6	5%	1,0	9%	2,0	19%	5,5	50%	0,7	6%
T2	9,5	26	25,4	0,0	0%	0,5	2%	0,6	2%	15,7	62%	2,6	10%	4,2	16%	1,9	7%
Total	15,8	-	36,4	0,8	2%	0,8	2%	1,2	3%	16,7	46%	4,6	13%	9,6	27%	2,6	7%

L : longueur du tronçon
l moy : largeur moyenne du tronçon

Après pondération des faciès d'écoulements moins favorables à la croissance des juvéniles, la surface totale d'équivalents radiers-rapides sur le secteur étudié est estimée à 14,1ha (Tableau 6). Cette surface équivaut à un potentiel de production compris entre 7046 et 7492 smolts dévalants.

Ces surfaces actualisées correspondent à celles calculées à partir des relevés réalisés en 2007 sur le linéaire compris entre le Plan d'Arem et Arlos (soient 7ha sur le T1). En revanche, les surfaces actualisées entre Arlos et la prise d'eau du canal d'Esténos sont inférieures (7,1ha à ce jour contre 10,7ha en 2007). Les écarts obtenus de surfaces utiles sur le T2 peuvent être rapprochés des conditions hydrologiques difficiles rencontrées pendant le suivi. En effet, à partir du Lac de Géry jusqu'à Esténos (soient 2,9km), les niveaux d'eau importants n'ont pas permis de distinguer correctement les faciès d'écoulement.

Tableau 6 : Bilan des surfaces d'Equivalents Radier-Rapide (ha) et des potentiels de production de smolts estimés

	Surfaces (ha)				Production en smolts	
Tronçon	RAD	RAP	PC	ERR	Min	Max
T1	5,5	0,7	2,0	7,0	3500	7000
T2	4,2	1,9	2,6	7,1	3546	7092
Total	9,6	2,6	4,6	14,1	7046	1492

3.2 Composition granulométrique des faciès de production

La Figure 6 ci-dessous présente l'ensemble des classes granulométriques recensées ainsi que leur représentativité à l'échelle des faciès favorables (radiers, rapides et plats courants). Rappelons que les proportions présentées sont données à titre indicatif puisque les surfaces exactes pour chaque classe granulométrique sont inconnues.

De manière générale, les granulométries dominantes relevées au droit des faciès favorables sont majoritairement grossières (blocs, pierres grossières et fines, et cailloux grossiers). Ces résultats sont attendus au regard des caractéristiques hydro morphologiques des faciès étudiés. Notons toutefois que les classes granulométriques trop fines (<16mm) telles que les sables ne sont répertoriées qu'en granulométrie accessoire et dans une moindre proportion.

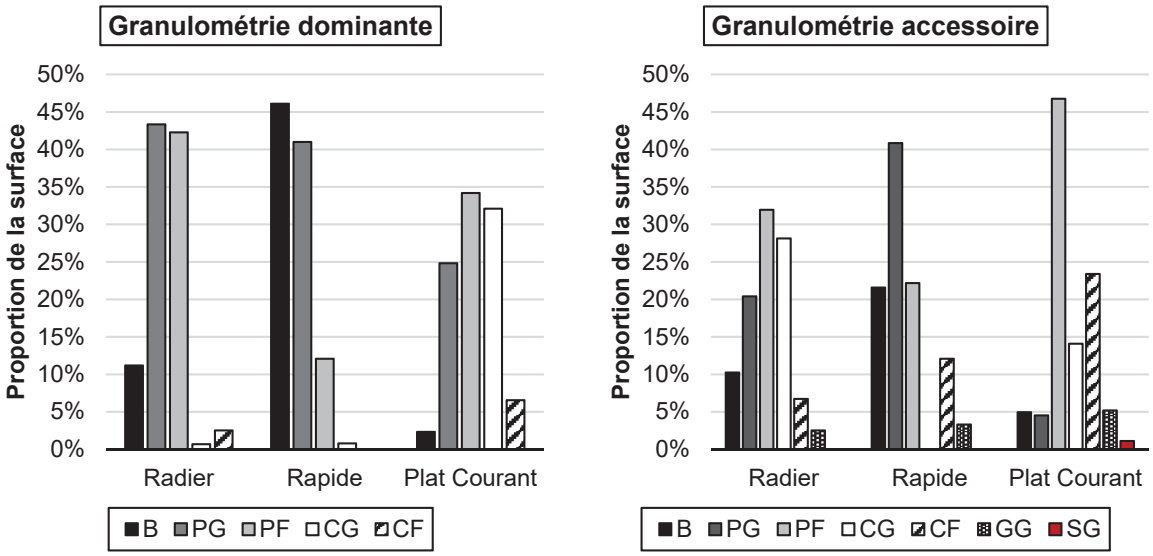


Figure 6 : Composition granulométrique dominante et accessoire des faciès favorables au grossissement des juvéniles de saumon

3.3 Analyse des températures sur le secteur suivi

La Figure 7 ci-dessous présente la répartition en classes de températures des données instantanées enregistrées sur la Garonne à Saint-Béat durant la période de croissance des juvéniles (avril à octobre). Les températures horaires enregistrées varient entre 2,2 et 20,1°C, et sont à 86% comprises entre 6 et 16°C.

A l'échelle journalière, l'amplitude thermique maximale enregistrée était de 15,2°C en 2017 (Tableau 7). Les moyennes journalières varient entre 2,7 et 17,1°C selon la période et l'année considérée. Enfin, la température moyenne calculée sur les moyennes journalières des 30 jours consécutifs les plus chauds (sur la période de croissance) varie entre 11,6 et 15,6°C.

De manière générale, les températures enregistrées sur le secteur suivi se situent dans la partie basse de la fourchette des températures données comme optimales pour la croissance des juvéniles de saumon (entre 16 et 20°C). Néanmoins, elles se situent largement en dehors des bornes définies comme stressantes voire létales vis-à-vis de ces jeunes stades de développement (soient plus de 90% des données horaires comprises entre 7 et 21°C).

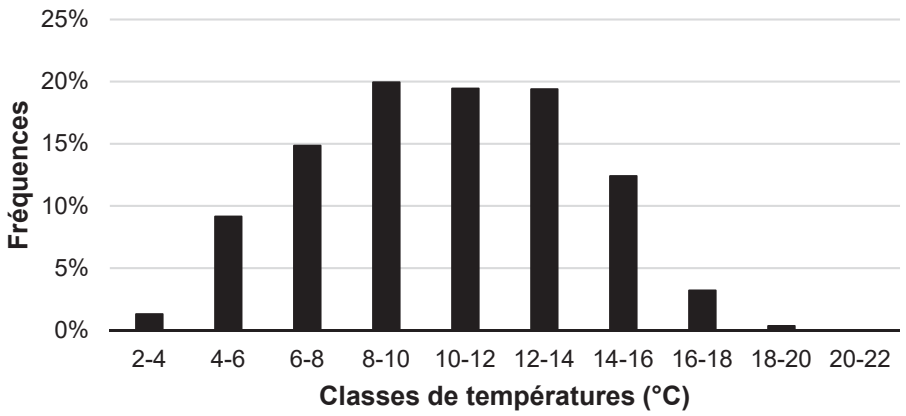


Figure 7 : Répartition des températures horaires enregistrées à St Béat pendant la période de croissance des juvéniles de saumon (2014, 2016, 2017, 2018)

Tableau 7 : Bilan des indicateurs thermiques généraux calculés sur les périodes de croissances de juvéniles de saumon

Indicateur	2014	2016	2017	2018
Ti min	5,6	5,3	4,9	2,2
Ti max	15,9	18,9	20,1	14
ATi max	10,3	13,6	15,2	11,8
Tmin	6,4,	6	5,7	2,7
Tmax	14,5	16,4	17,1	12,6
T30	13,5	15,6	15,4	11,6

4. BILAN ET PERSPECTIVES

La campagne de terrain réalisée dans le cadre de cette étude a permis d'actualiser la cartographie des faciès d'écoulement sur le linéaire compris entre l'aval du Plan d'Arem et la prise d'eau du canal d'Esténos (soient 15,8km).

Les surfaces utiles à la croissance des juvéniles de saumons, calculées à partir des surfaces d'Equivalents Radiers-Rapides, **ont été estimées à 14,1ha** et sont inférieures à celles obtenues à l'issue de la campagne de terrain de 2007 (22,4ha).

Bien que la morphologie du linéaire prospecté ait pu évoluer suite à la crue centennale de 2013, les conditions hydrologiques difficiles rencontrées en fin de campagne doivent être prises en compte. En effet, les niveaux d'eau importants ont rendu difficiles la distinction et la classification des faciès d'écoulement sur les 3 derniers kilomètres parcourus.

L'analyse des classes granulométries relevées sur les faciès favorables, ainsi que des températures de l'eau mesurées pendant la période de croissance des juvéniles sur le secteur sur les 4 dernières années, ne mettent pas en évidence d'anomalie particulière. Ces deux paramètres semblent conformes aux exigences des saumons pour leur croissance.

BIBLIOGRAPHIE

BARDONNET A., BAGLINIERE J.L., 2000. Freshwater habitat of Atlantic salmon (Salmo salar). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 57(2), 497-506.

CAZENEUVE L., LAGARRIGUE T., LASCAUX J.M., 2008. Synthèse des potentialités de production en saumons du bassin de la Dordogne. Rapport n°19D-08-RT, MI.GA.DO.

CORNU V., TEISSIER S., DABOS P., s.d. Analyse de risque saumon atlantique sur le bassin de la Garonne. Note explicative.

DUMOUTIER Q., VIGIER L., CAUDRON A., 2010. Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles, MACMASalmo1.0. *Rapport SHL293.2010 / FDP74.10/03*

GAYOU F., 1986. Possibilités de restauration du saumon atlantique et de l'alose dans le bassin de la Garonne. Rapport de synthèse C.S.P. DR n°7, 87p.

HEGGENES J., SALTVEIT S.J., 1990. Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., in a Norwegian river. *Journal of Fish Biology*. 36(5), 707-720.

HELAND M., GAUDIN P., BARDONNET A., 1995. Mise en place des premiers comportements et utilisation de l'habitat après l'émergence chez les salmonidés d'eau courante. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 337/338/339 : 191-197.

JONSSON B., FORSETH T., JENSEN A.J., NÆSJE T.F., 2001. Thermal performance of juvenile Atlantic Salmon, Salmo salar L. *Functional Ecology*, 15(6), 701-711.

MALAVOI J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie*. Bull. Fr. Pêche Piscic*. 315 : 189-210.

MALAVOI J.R., SOUCHON Y., 1989. Méthodologie de description, quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux : exemple d'une station sur la Fillière (Haute-Savoie). *Revue de géographie de Lyon*, vol. 64, p. 252-259.

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*, (365-366), 357-372.

ANNEXES

Annexe 1 : Exemple de fiche terrain de description des faciès d'un cours d'eau

Date : / / **Qualité de l'eau** **Fiche de terrain : Description des faciès sur**

N° de faciès	Point GPS	Type de faciès	Habitats		Longueur (en m)	Largeur (en m)	Profondeur (en cm)	Granulométrie		Végétation aquatique	Ombrage		Observations
			Dominant	Accessoire				Dominante	Accessoire		Rive droite	Rive gauche	

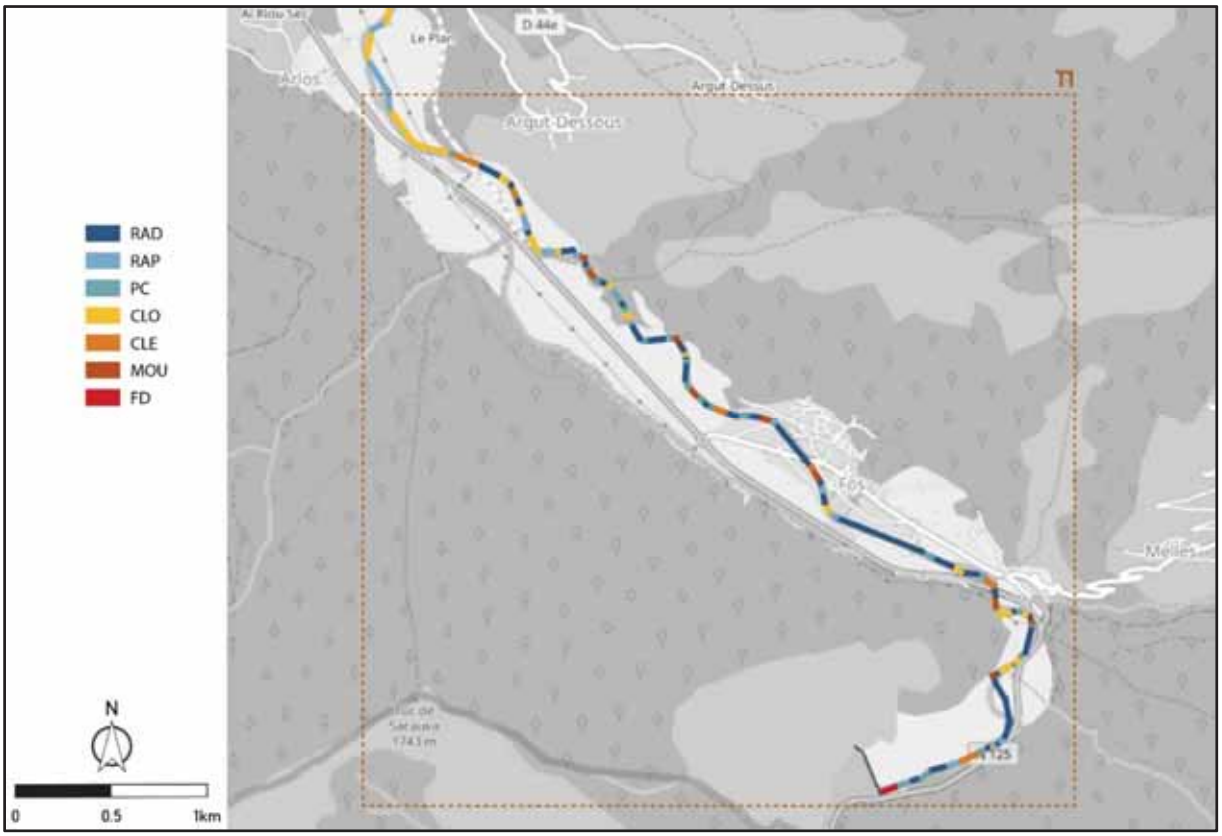
Habitats	
Profonds	**PF**
Plats lents	**PL**
Plats courants	**PC**
Radiers	**RAD**
Rapides	**RAP**

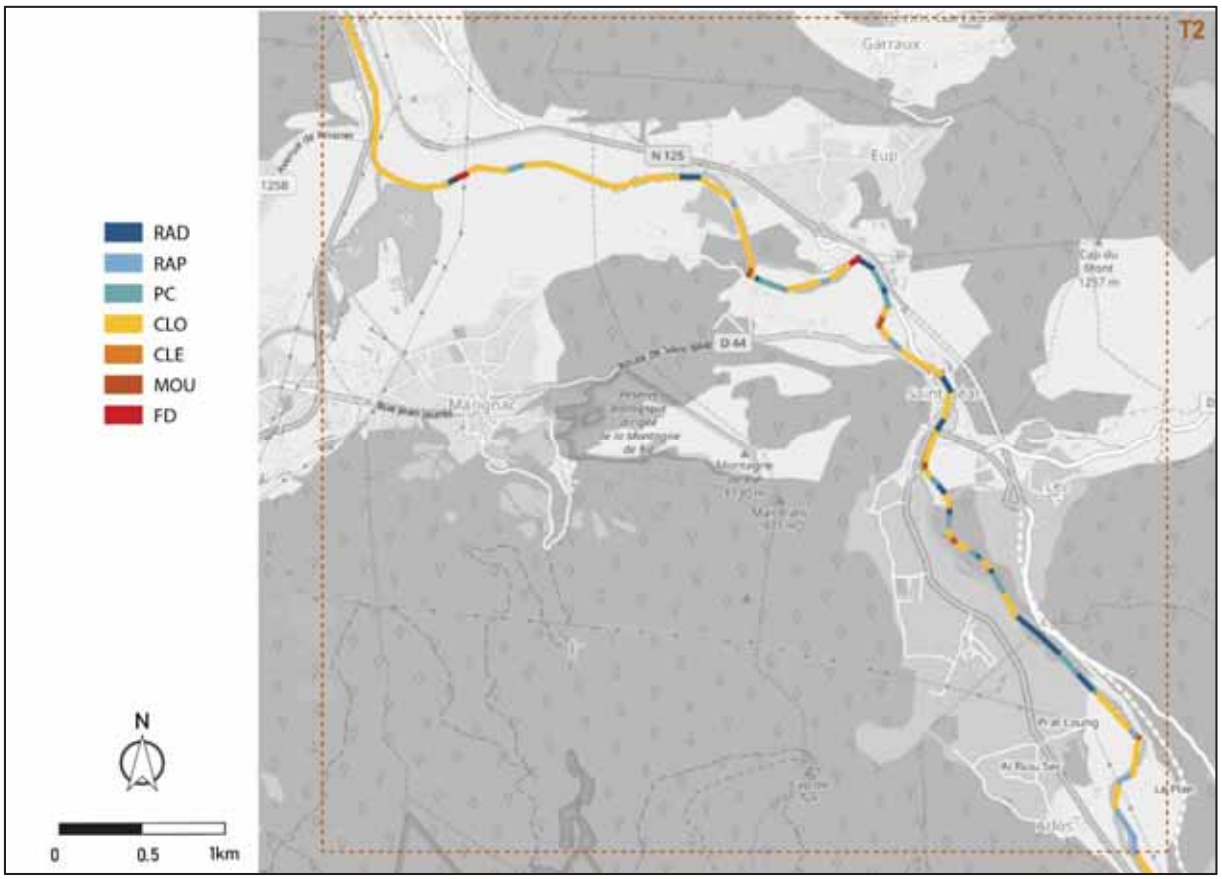
Granulométrie		
Rochers	> 1024	**R**
Blocs	256-1024	**B**
Pierres Grossières	128-256	**PG**
Pierre Fines	64-128	**PF**
Cailloux Grossiers	32-64	**CG**
Cailloux Fins	16-32	**CF**
Graviers Grossiers	8-16	**GG**
Graviers Fins	2-8	**GF**
Sables Grossiers	0,5-2	**SG**
Sables Fins	0,0625-0,5	**SF**
Limons	0,0039-0,0625	**L**
Argiles	< 0,0039	**A**

Recouvrement végétation aquatique		
Absent à faible	< 5%	**1**
Faible	5 à 15%	**2**
Moyen	15 à 40%	**3**
Important	40 à 70%	**4**
Très important	> 70%	**5**

Ombrage		
Absent à faible	< 15%	**1**
Faible à moyen	15 à 60%	**2**
Important	> 60%	**3**

Annexe 2 : Cartographie des faciès d'écoulement sur les tronçons prospectés





VOLET 3 : SUIVI DU REGIME THERMIQUE GARONNE-PIQUE-NESTE D'AURE-ARIEGE

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS ..... **III**

1. INTRODUCTION **1**

2. MATERIEL ET METHODE **2**

2.1 PROTOCOLE DE SUIVI THERMIQUE ET LOCALISATION DES STATIONS 2

2.2 TRAITEMENT DES DONNEES 3

3. RESULTATS **5**

3.1 VALIDATION DES DONNEES 5

3.2 TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES 5

3.3 INDICATEURS THERMIQUES 7

4. BILAN ET PERSPECTIVES **9**

5. BIBLIOGRAPHIE **10**

ANNEXES **11**

LISTE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : Localisation des stations 3
Figure 2 : Evolution des températures moyennes journalières sur l'Ariège en 2018 5
Figure 3 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Garonne en 2018 6
Figure 4 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Neste en 2018 6
Figure 5 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Pique en 2018 7
Figure 6 : Températures instantanées minimales, maximales et amplitudes journalières maximales enregistrées sur les stations suivies 7
Figure 7 : Températures journalières moyennes minimales, maximales et moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds sur les stations suivies 8

TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des stations de suivi thermique 2
Tableau 2 : Synthèse des indicateurs thermiques calculés et de leur désignation 4

ANNEXES

Annexe 1 : Synthèse de la donnée disponible sur les stations suivies en 2018 12
Annexe 2 : Evolutions des températures moyennes journalières sur la Garonne en 2018.... 13
Annexe 3 : Synthèse des indicateurs calculés sur les stations présentant des chroniques complètes pour 2018 14

1. INTRODUCTION

La température de l'eau étant un facteur limitant de la qualité d'un milieu vis-à-vis des populations de saumons, le régime thermique des cours d'eau apparaît alors comme un facteur important à prendre en compte vis-à-vis des opérations de repeuplement.

Les suivis thermiques ont été généralisés par MIGADO dans le cadre des différentes actions menées en faveur des poissons migrateurs sur la plupart des cours d'eau du bassin de la Garonne depuis 2004. Pour chaque axe et portion de cours d'eau, les stations ont été positionnées de manière à pouvoir appréhender les variations de température entre l'amont et l'aval et l'influence des principaux apports des affluents ou des retenues de barrages.

Ce rapport consiste en une synthèse des données de températures acquises au cours de l'année 2018 sur la Garonne, la Pique, la Neste et l'Ariège.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Protocole de suivi thermique et localisation des stations

Le suivi thermique du bassin de la Garonne est réalisé sur un total de 18 stations dont 9 sont localisées sur la Garonne (du Plan d'Arem jusqu'à la centrale hydro-électrique de Golfech), 5 sur l'Ariège, 2 sur la Neste et 2 sur la Pique. La localisation des stations est présentée dans la Figure 1, et le Tableau 1 précise leurs caractéristiques.

Tableau 1 : Caractéristiques des stations de suivi thermique

Cours d'eau	Station	Localisation
Ariège	Bompas	Pleine eau
	Foix	Pleine eau
	Varilhes	Pleine eau
	Saverdun	Pleine eau
	Lacroix-Falgarde	Pleine eau
Garonne	Plan d'Arem	Pleine eau, dans le tronçon court-circuité
	Saint Béat	Pleine eau
	Fronsac	Pleine eau
	Loures-Barousse	Pleine eau
	Valentine	Pleine eau
	Carbonne	Dans le canal de transfert des poissons
	Le Bazacle	Dans un bassin de la passe à bassins successifs
	Verdun-sur-Garonne	Pleine eau
	Golfech	Dans le canal de transfert, non influencée par les rejets de refroidissement des réacteurs nucléaires. En aval de la confluence avec le Tarn
Neste	Arreau	Pleine eau
	Aventignan	Pleine eau
Pique	Cier de Luchon	Pleine eau
	Marignac	Pleine eau

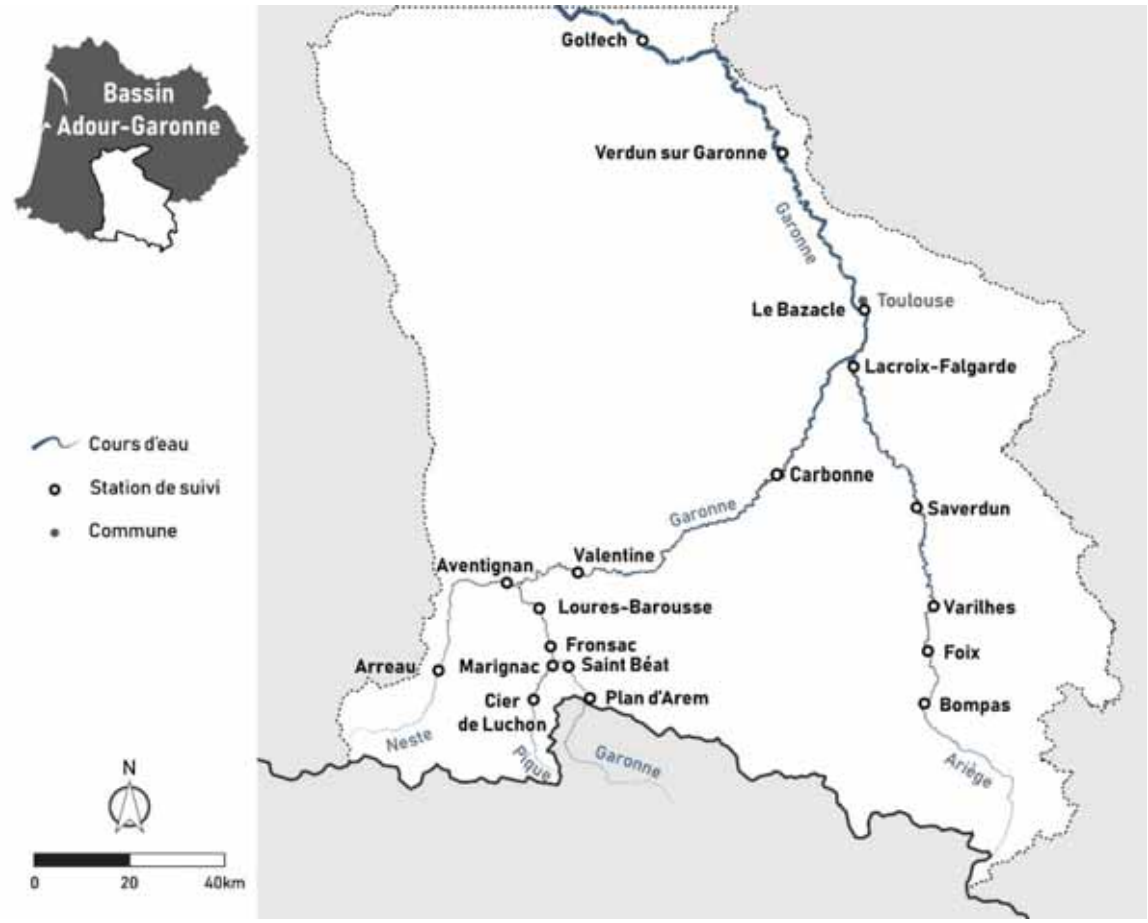


Figure 1 : Localisation des stations

Les données thermiques sont enregistrées pour chaque station sur un cycle annuel complet au pas horaire à l'aide d'une sonde thermique Tinytag Aquatic 2 de type TG-4100. Les données de chaque thermographe sont déchargées en moyenne trois fois par an (fin du printemps, de l'été et de l'hiver). Cette périodicité permet en cas de dysfonctionnement ou de perte du thermographe de conserver une partie des données de l'année en cours.

2.2 Traitement des données

L'ensemble des données recueillies est soumis à vérification afin de s'assurer de la cohérence des valeurs enregistrées.

Afin de décrire le régime thermique général au droit des stations suivies, l'évolution des températures moyennes journalières est présentée pour l'ensemble des stations disposant de suffisamment de données.

Ensuite, une série d'indicateur (Tableau 2) a été calculée à l'aide de la Macro Excel MACMASalmo 1.0 (Dumoutier et *al.*, 2010). Pour que les indicateurs thermiques soient représentatifs et comparables entre les stations suivies, ceux-ci ne sont calculés que dans le cas où les stations disposent de données annuelles complètes.

Tableau 2 : Synthèse des indicateurs thermiques calculés et de leur désignation

Indicateur	Description
Ti min	Température instantanée minimale
Ti max	Température instantanée maximale
Aj_Ti max	Valeur de l'amplitude thermique journalière maximale
D_Aj_Timax	Date à laquelle l'amplitude thermique journalière maximale a été enregistrée
Tmin	Température moyenne journalière minimale
Tmax	Température moyenne journalière maximale
D_Tmax	Date à laquelle la température moyenne journalière maximale a été enregistrée
T30j	Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (sur la base des moyennes journalières)
Dd_T30j	Date de début de la période correspondante aux 30 jours consécutifs les plus chauds
Df_T30j	Date de fin de la période correspondante aux 30 jours consécutifs les plus chauds

3. RESULTATS

3.1 Validation des données

Sur les 18 stations suivies, 8 présentent des enregistrements complets et sans valeur aberrantes sur l'année 2018. Le détail de la donnée disponible est synthétisé en Annexe 1.

L'évolution des températures moyennes journalières est présentée pour l'ensemble des stations.

Finalement, le calcul des indicateurs thermiques ne concerne que les stations suivantes (chronique complète uniquement) :

- Bompas et Foix sur l'Ariège
- Valentine, Carbonne et le Bazacle sur la Garonne
- Arreau sur la Neste
- Cier de Luchon et Marignac sur la Pique

3.2 Températures moyennes journalières

Les Figures 2 à 5 ci-dessous présentent l'évolution des températures moyennes journalières enregistrées pour l'année 2018 par station.

Pour des raisons de lisibilité, la plupart des chroniques incomplètes pour les stations de la Garonne sont présentées en Annexe 2.

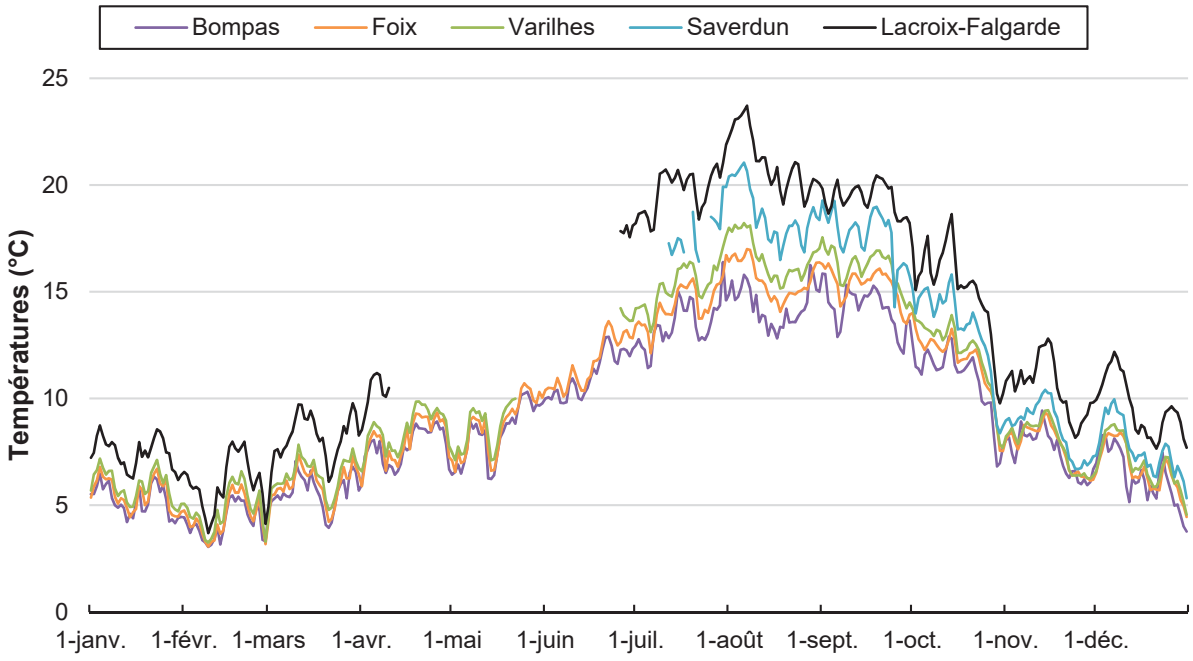


Figure 2 : Evolution des températures moyennes journalières sur l'Ariège en 2018

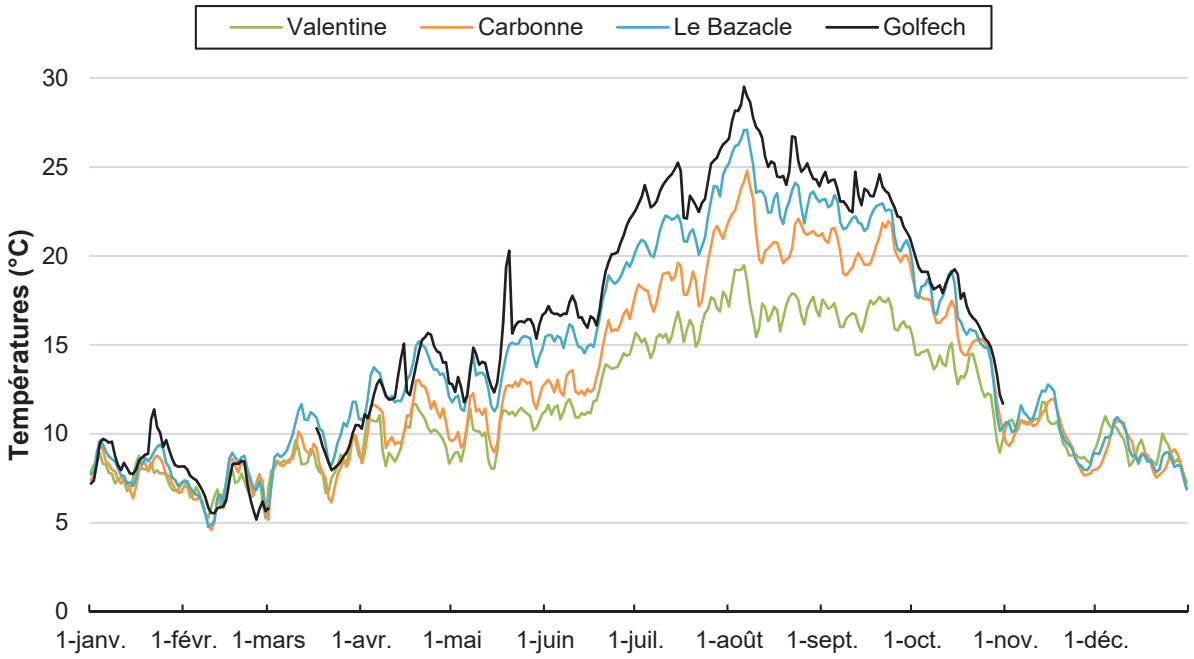


Figure 3 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Garonne en 2018

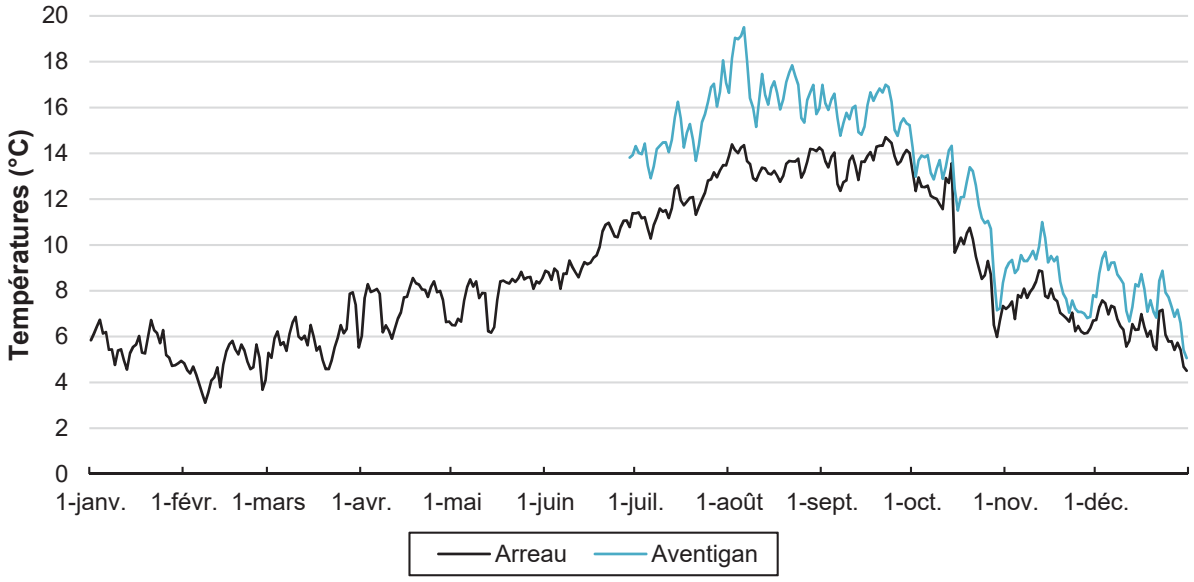


Figure 4 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Neste en 2018

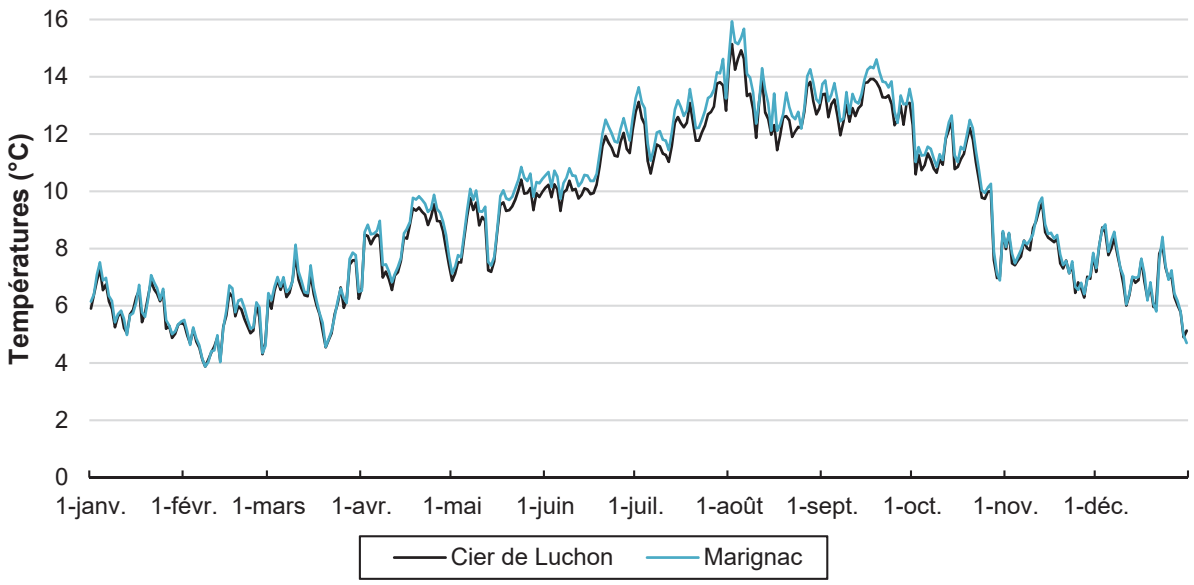


Figure 5 : Evolution des températures moyennes journalières sur la Pique en 2018

3.3 Indicateurs thermiques

La Figure 6 présente, par station suivie, les températures instantanées minimales et maximales, ainsi que l'amplitude journalière maximale enregistrées sur l'année.

Les données présentées dans la Figure 7 sont à l'échelle des températures moyennes journalières (minimales et maximales sur l'année 2018). La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds est également affichée par station.

Le détail des indicateurs calculés est présenté en Annexe 3.

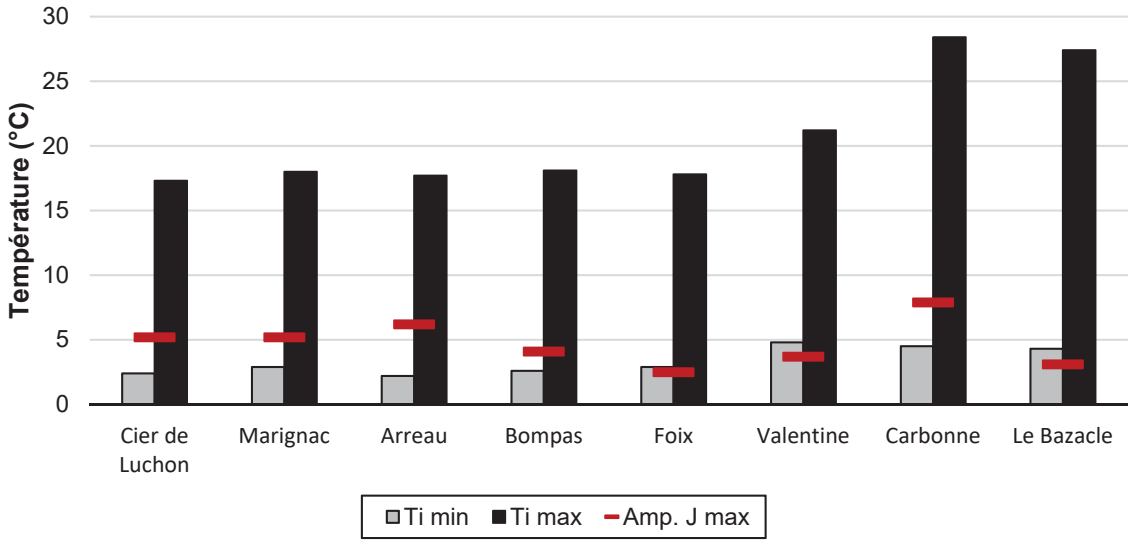


Figure 6 : Températures instantanées minimales, maximales et amplitudes journalières maximales enregistrées sur les stations suivies

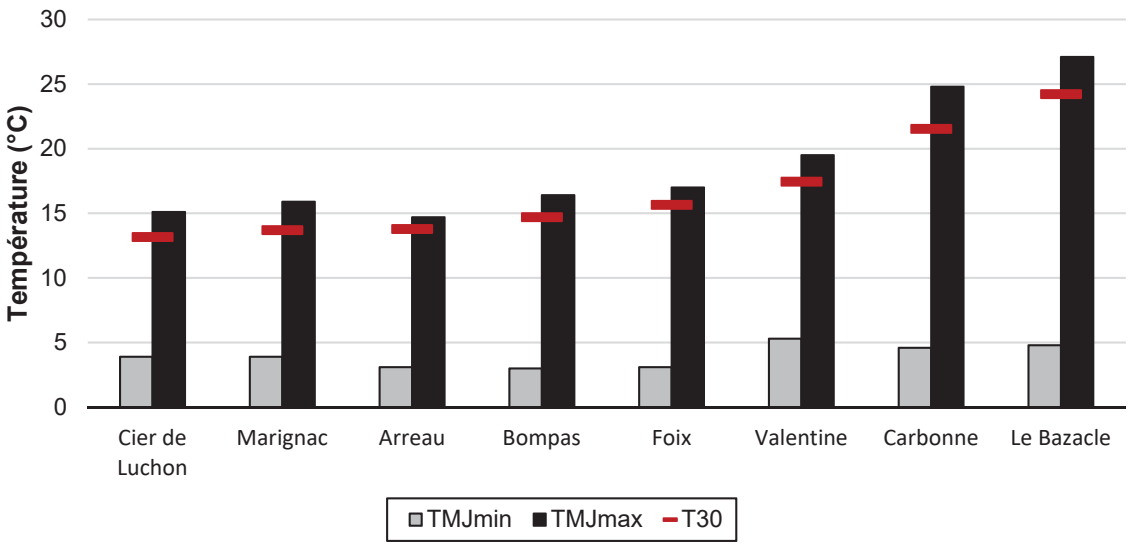


Figure 7 : Températures journalières moyennes minimales, maximales et moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds sur les stations suivies

4. BILAN ET PERSPECTIVES

A l'occasion du suivi thermique 2018 du bassin de la Garonne, 18 thermographes ont été répartis sur la Pique, la Neste, l'Ariège et la Garonne (jusqu'à Golfech).

Au final, des chroniques complètes ont pu être enregistrées pour 8 stations du fait de pannes des thermographes notamment. Malgré tout, l'ensemble des cours d'eau suivi est représenté. A partir de 2019, le nombre de thermographe sur chaque station sera porté à 2 afin d'éviter la perte de données.

Enfin, compte tenu du volume de données enregistrées, seuls des indicateurs ont été présentés dans ce rapport. Les données brutes sont toutefois consultables sur demande auprès de l'association.

5. BIBLIOGRAPHIE

DUMOUTIER Q., VIGIER L., CAUDRON A., 2010. Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles, MACMASalmo1.0. *Rapport SHL293.2010 / FDP74.10/03*

ANNEXES

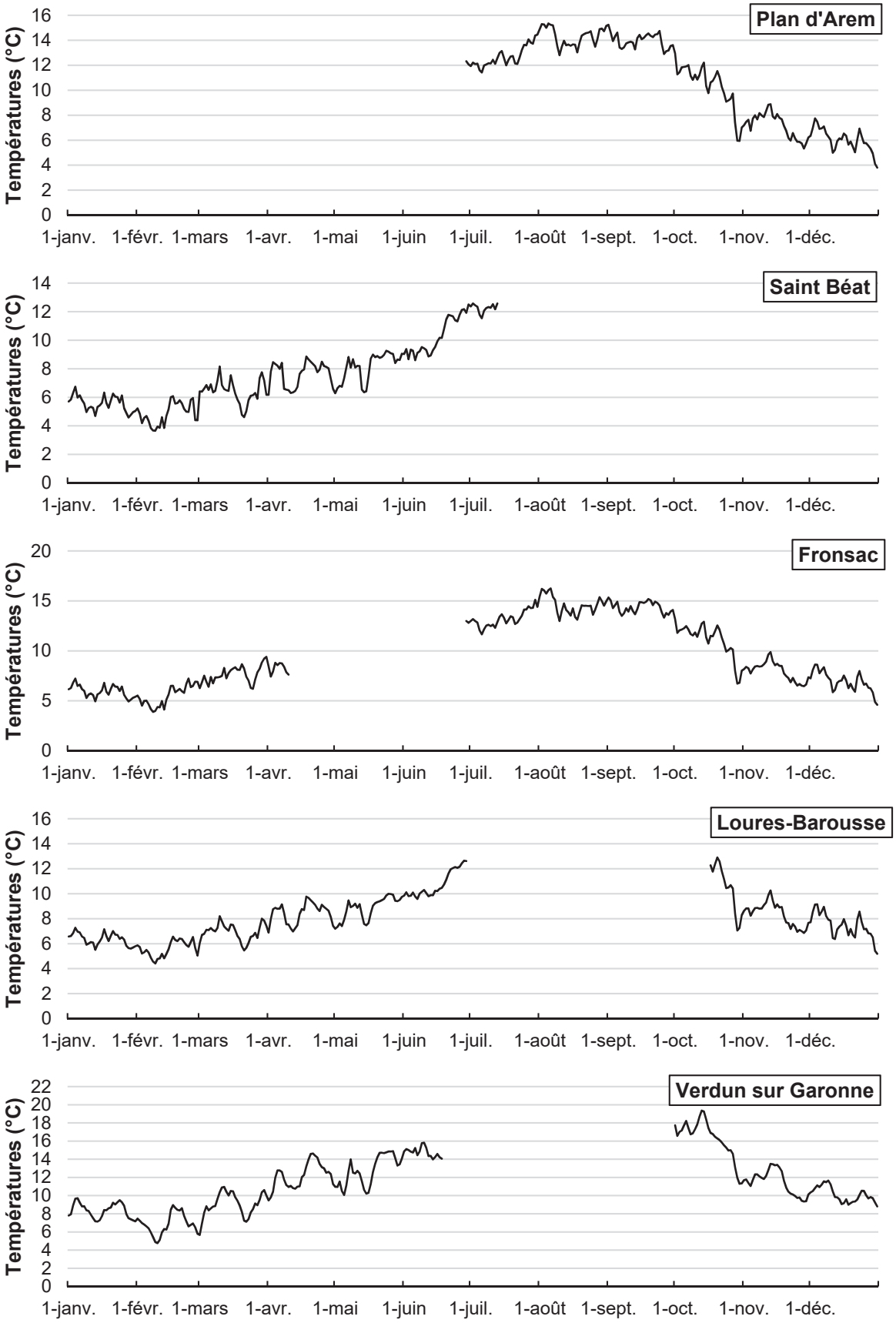
Annexe 1 : Synthèse de la donnée disponible sur les stations suivies en 2018

Les valeurs affichées par mois et par station correspondent au pourcentage de données horaires enregistrées par rapport au nombre d'enregistrements attendu.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ariège	Bompas	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Foix	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Varilhes	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Saverdun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Lacroix-Falgarde	1,0	1,0	1,0	0,3	0,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Garonne	Plan d'Arem	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Saint Béat	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Fronsac	1,0	1,0	1,0	0,3	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Loures-Barousse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	1,0
	Valentine	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Carbonne	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Le Bazacle	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Verdun-sur-Garonne	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
	Golfech	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
Neste	Arreau	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Aventignan	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Pique	Cier de Luchon	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Marignac	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Annexe 2 : Evolutions des températures moyennes journalières sur la Garonne en 2018

Chroniques incomplètes



Annexe 3 : Synthèse des indicateurs calculés sur les stations présentant des chroniques complètes pour 2018

Cours d'eau	Station	Ti min	Ti max	Aj_Ti max	D _Aj_Timax	Tmin	Tmax	D Tmj max	T30	Dd Tm30j max	Df Tm30j max
Pique	Cier de Luchon	2,4	17,3	5,2	17/04/2018	3,9	15,1	02/08/18	13,16	15/07/18	13/08/18
	Marignac	2,9	18	5,2	17/04/2018	3,9	15,9	02/08/18	13,7	15/07/18	13/08/18
Neste	Arreau	2,2	17,7	6,2	13/10/2018	3,1	14,7	22/09/18	13,78	27/08/18	25/09/18
Ariège	Bompas	2,6	18,1	4,1	15/07/2018	3	16,4	30/07/18	14,7	25/08/18	23/09/18
	Foix	2,9	17,8	2,5	13/05/2018	3,1	17	07/08/18	15,65	26/08/18	24/09/18
Garonne	Valentine	4,8	21,2	3,7	16/09/2018	5,3	19,5	06/08/18	17,44	26/07/18	24/08/18
	Carbonne	4,5	28,4	7,9	28/08/2018	4,6	24,8	07/08/18	21,53	27/07/18	25/08/18
	Le Bazacle	4,3	27,4	3,1	16/07/2018	4,8	27,1	07/08/18	24,21	26/07/18	24/08/18

Rappel des indicateurs et de leur désignation :

- ***Ti min :*** *Température instantanée minimale*
- ***Ti max :*** *Température instantanée maximale*
- ***Aj_Ti max :*** *Valeur de l'amplitude thermique journalière maximale*
- ***D_Aj_Timax :*** *Date à laquelle l'amplitude thermique journalière maximale a été enregistrée*
- ***Tmin :*** *Température moyenne journalière minimale*
- ***Tmax :*** *Température moyenne journalière maximale*
- ***D_Tmax :*** *Date à laquelle la température moyenne journalière maximale a été enregistrée*
- ***T30 :*** *Température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (sur la base des moyennes journalières)*
- ***Dd_T30 :*** *Date de début de la période correspondantes aux 30 jours consécutifs les plus chauds*
- ***Df_T30 :*** *Date de fin de la période correspondante aux 30 jours consécutifs les plus chauds*

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 :

Association MIGADO

18 Ter Rue de la Garonne - 47520 LE PASSAGE D'AGEN - Tel : 05 53 87 72 42

www.migado.fr -