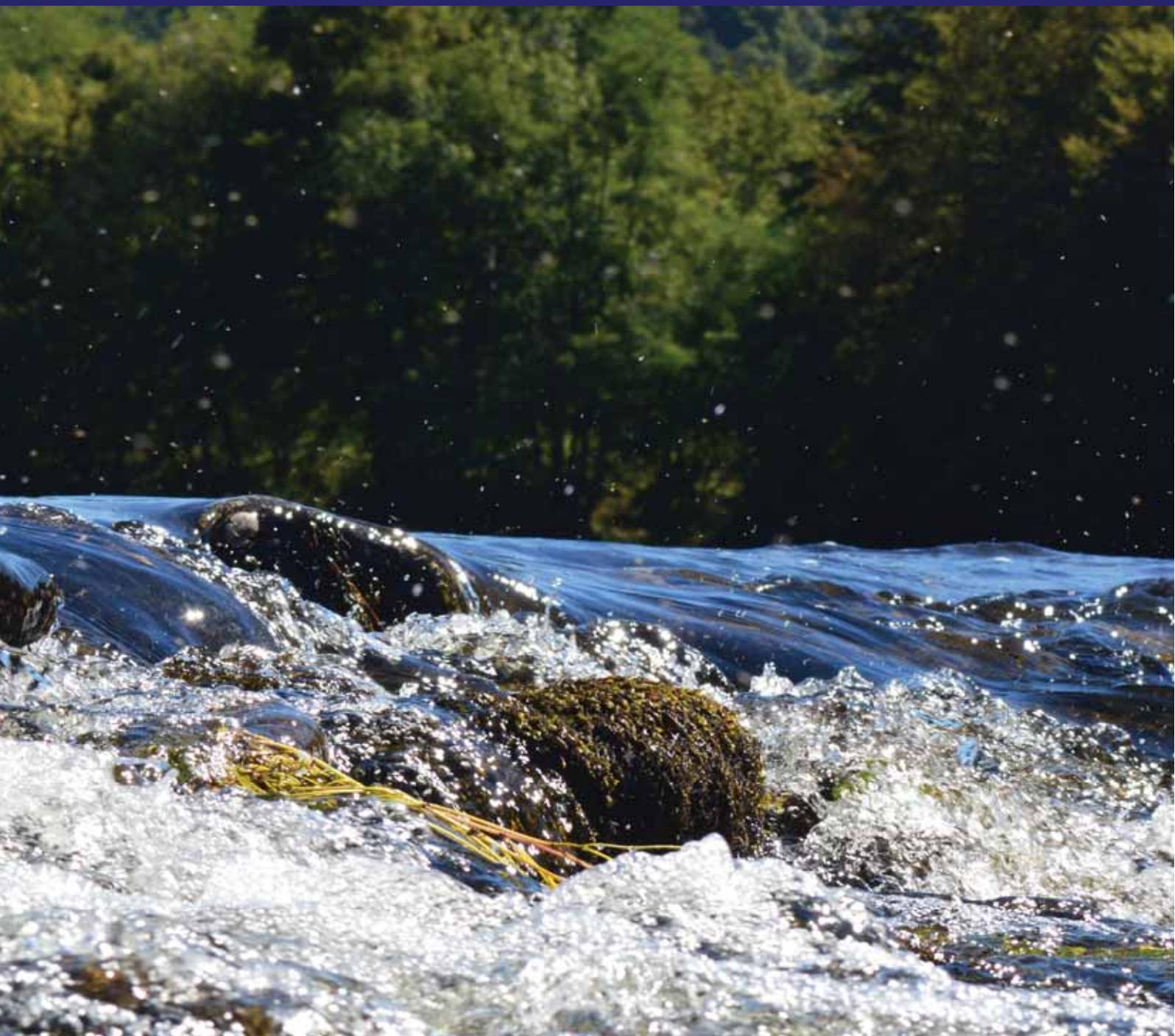


Evaluation du colmatage du substrat des frayères à salmonidés sur le bassin de la Garonne amont

Année 2017

M. Coll ; G. Durbe ; S. Bosc ; O. Menchi



M I G A D O
Migrateurs Garonne Dordogne



FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE
PÊCHE

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 et la Fédération Nationale de la Pêche en France,

- 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 des Hautes-Pyrénées pour leur participation à la collecte des données sur la NESTE d'Aure

Equipes de travail

Coordination, rédaction et travail de terrain

- MIGADO :

Chargé de missions : Stéphane BOSC

Techniciens : Marie COLL, Olivier MENCHI, Alexandre NARS

Secrétariat édition : Marie Pierre CAPRINI

- Fédération de Pêche de la Haute Garonne :

Directeur : Olivier PLASSERAUD

Chargé de missions : Gaël DURBE

RESUME

Suite à la crue centennale de 2013, l'Association MIGADO et la Fédération de Pêche de la Haute Garonne tentent d'évaluer la qualité du substrat des frayères potentielles et actives de salmonidés sur le bassin versant de la Garonne amont. Pour ce faire, un protocole d'évaluation du degré de colmatage interstitiel des frayères est développé à partir de mesures de conductivité hydraulique.

Des relevés ont été réalisés en début puis en fin de période d'incubation des œufs pour chaque année de suivi afin de caractériser l'évolution du colmatage pendant la période de reproduction, mais également entre les années depuis la crue de 2013. Ce suivi concernait initialement la Garonne amont (du Plan d'Arem jusqu'à sa confluence avec la Neste) et la Pique entre sa confluence avec la Neste d'Oô et celle avec la Garonne, secteurs perturbés par les ouvrages hydroélectriques. Six nouvelles stations de mesures localisées sur la Neste d'Aure ont été intégrées au réseau de suivi depuis novembre 2016.

De plus, un biais méthodologique avait été évoqué (Coll et *al.*, 2016) concernant une possible déstructuration locale des substrats les plus grossiers ou présentant une couche d'armure, lors de l'enfoncement du mini-piézomètre. De la fluorescéine a été intégrée aux mesures de terrain de février 2017 afin de détecter les éventuelles fuites d'eau et d'analyser leur influence sur les valeurs de conductivité hydraulique.

Cette étude présente le bilan des résultats obtenus à l'issue de quatre années de suivi sur la Garonne et la Pique, ainsi que les données relatives aux nouvelles mesures sur la Neste d'Aure.

Les relevés réalisés sur la Garonne, la Pique et la Neste montrent des variations de fonctionnalité des substrats des frayères de salmonidés pendant la période d'incubation des œufs. La plupart du temps, une diminution de la proportion d'infiltration est observée. La perméabilité du substrat varie pendant l'hiver, traduisant certainement une augmentation ou une diminution de la quantité de particules fines dans les frayères selon la station considérée, puis se restaure totalement ou partiellement à l'occasion des crues de printemps.

De plus, les résultats obtenus mettent en évidence une tendance à la dégradation progressive de la qualité des habitats de reproduction sur la Garonne depuis 2015. En revanche, ce constat est moins net sur la Pique où seulement une station (localisée dans les gorges court-circuitées en aval du barrage de Luret) présente une diminution significative de la perméabilité du substrat entre 2015 et 2016.

Enfin, l'utilisation de la fluorescéine dans les essais de suivi des écoulements se produisant pendant la mesure de la conductivité hydraulique n'a pas permis de détecter un éventuel biais technique. Ces essais ne seront pas reconduits à l'occasion des suivis futurs.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	1
RESUME.....	2
SOMMAIRE.....	3
Liste des illustrations	4
1 INTRODUCTION	6
1.1 Contexte général.....	6
1.2 Objectifs de l'étude.....	6
1.3 Secteurs d'étude	7
2 MATERIEL ET METHODE.....	8
2.1 Suivi interannuel.....	8
2.1.1 Protocole d'évaluation du colmatage des zones potentielles de frayères	8
2.1.1.1 Matériel utilisé	8
2.1.1.2 Mise en œuvre.....	9
2.1.1.2.1 Localisation de la zone potentielle de frayère	9
2.1.1.3 Positionnement des points.....	10
2.1.1.4 Mesures de conductivité hydraulique.....	11
2.1.1.5 Calcul de la conductivité hydraulique et de la proportion d'infiltration	13
2.1.2 Cours d'eau concernés et localisation des stations	14
2.1.3 Echantillonnage et contexte hydrologique des campagnes de terrain	15
2.1.4 Traitement des données.....	18
2.1.4.1 Paramètres calculés.....	18
2.1.4.2 Analyses statistiques	18
2.1.4.2.1 Analyse de la variabilité spatiale.....	19
2.1.4.2.2 Analyse de la variabilité interannuelle.....	19
2.1.4.2.3 Analyse de la variabilité pendant la période d'incubation.....	19
2.2 Analyse des écoulements par traçage à la fluorescéine	19
2.2.1 Hypothèses et matériel utilisé	19
2.2.2 Traitement des données.....	20
3 Résultats	21
3.1 Suivi pluriannuel post-crue de 2013	21
3.1.1 Cas de la Garonne	21
3.1.1.1 Proportions d'infiltration.....	21
3.1.1.2 Conductivité hydraulique	23
3.1.2 Cas de la Pique	25
3.1.2.1 Proportions d'infiltration.....	25
3.1.2.2 Conductivité hydraulique	27
3.1.3 Cas de la Neste d'Aure	29
3.1.3.1 Proportions d'infiltration.....	29
3.1.3.2 Conductivité hydraulique	30
3.2 Analyse des écoulements par ajout de fluorescéine	32
4 bilan et perspectives.....	35
BIBLIOGRAPHIE.....	36
ANNEXES	38

LISTE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : (A) Matériel utilisé et (B) dimensions du mini-piézomètre (<i>Datry, 2011</i>)	8
Figure 2 : Schéma de localisation et de structure d'une frayère de salmonidés (<i>source : Dupont E. in Motte G., 2005</i>).....	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, à Cier et reconstitués à la confluence Garonne-Pique (<i>source : banque HYDRO et EDF</i>)	17
Figure 7 : Evolution des débits journaliers moyens de la Neste d'Aure (<i>source : CACG</i>).....	17
Figure 8 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2015 à 2016 sur la Garonne.....	22
Figure 9 : Evolution des proportions d'infiltration entre novembre 2015 et février 2017 sur la Garonne	23
Figure 10 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Garonne de 2015 à 2016.....	24
Figure 11 : Evolution de la conductivité hydraulique (K) pendant les hivers 2015-16 et 2016-17 sur les différentes stations de suivi en Garonne	25
Figure 12 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2014 à 2016 sur la Pique.....	26
Figure 13 : Evolution des proportions d'infiltration entre novembre 2014 et février 2017 sur la Pique	27
Figure 14 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Pique de 2014 à 2016.....	28
Figure 15 : Evolution de la conductivité hydraulique (K) pendant les hivers de 2014-15 à 2016-17 sur les différentes stations de suivi sur la Pique	29
Figure 16 : Evolution des proportions d'infiltration en début et en fin de période de reproduction 2016-2017 sur la Neste d'Aure	30
Figure 17 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction (novembre 2016) sur la Neste	31
Figure 18 : Evolution de la conductivité hydraulique en début et en fin de période d'incubation des œufs (novembre 2016, février 2017) sur la Neste d'Aure	32
Figure 19 : Remontée d'eau colorée à la fluorescéine le long du tube.....	33
Figure 20 : Conductivité hydraulique (K) selon les modalités d'écoulements pour les stations Pont de Galié et Luret.....	34

TABLEAUX :

Tableau 1 : Synthèse bibliographique des caractéristiques des habitats de reproduction du saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>) et de la truite fario (<i>Salmo trutta</i>).....	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 2017.....	16
Tableau 4 : Répartition du nombre de points selon les modalités de processus hydrologiques et d'observations liées à la fluorescéine.....	33
Tableau 5 : Synthèse des résultats des tests de fluorescéine	34

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 : 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.....	43
Annexe 6 : Résultats du test de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2016 sur la Garonne	44

Annexe 7 : Résultats du test de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2016 sur la Pique	45
Annexe 8 : Résultats du test de comparaison des stations deux à deux (Dunn) des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2016 sur la Neste d'Aure.....	46

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 édités en 2015 et 2016 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).

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 la fluorescéine a été intégrée aux manipulations de terrain de février 2017 afin de :

(3) Comprendre les écoulements au moment de la mesure de conductivité hydraulique et tenter de détecter d'éventuels biais techniques

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

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.

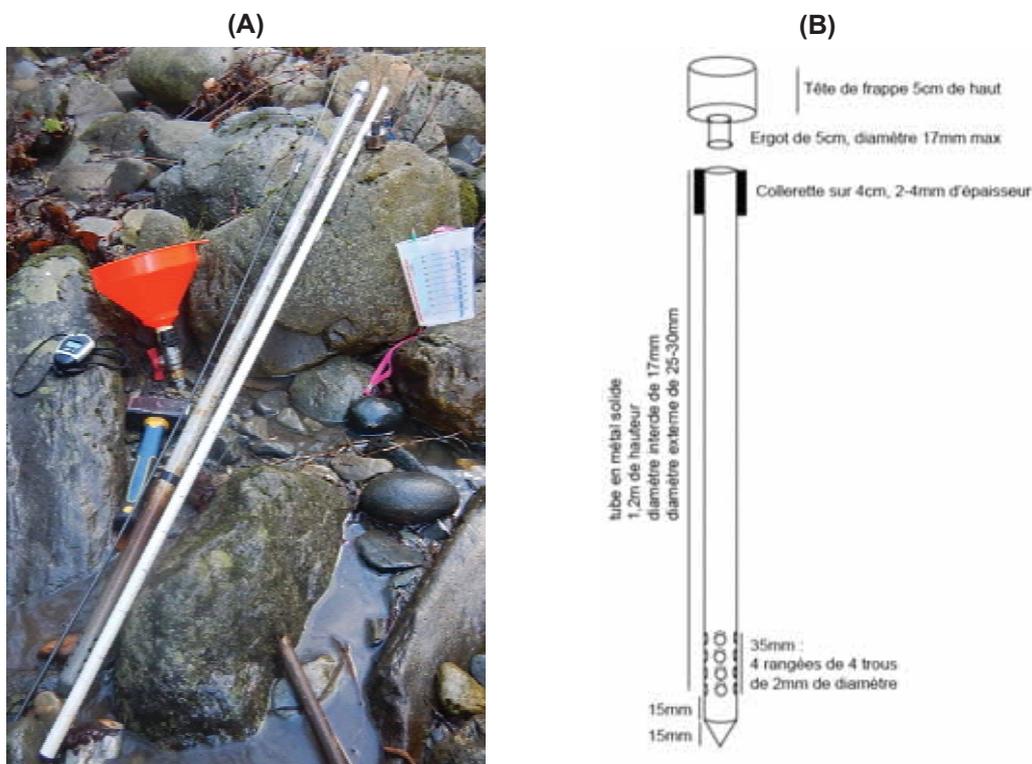


Figure 1 : (A) Matériel utilisé et (B) dimensions du mini-piézomètre (Datry, 2011)

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 (Bardonnnet et Baglinière, 2000 ; Crips, 1996 ; Gaudemar et al., 2000 ; Gibson, 1993).

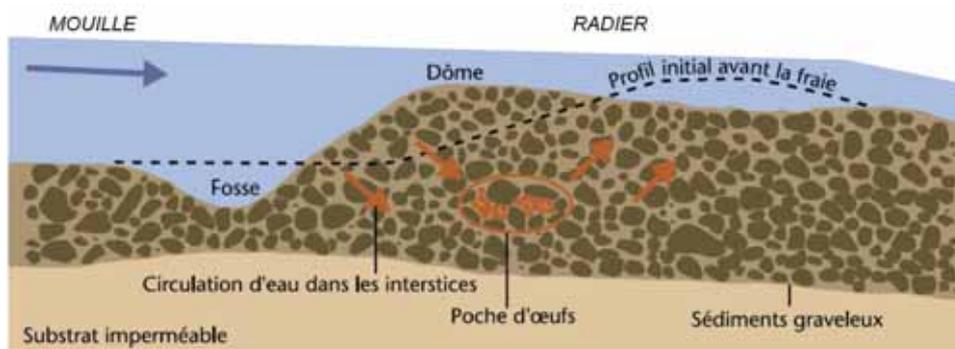


Figure 2 : Schéma de localisation et de structure d'une frayère de salmonidés
(source : Dupont E. in Motte G., 2005)

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

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

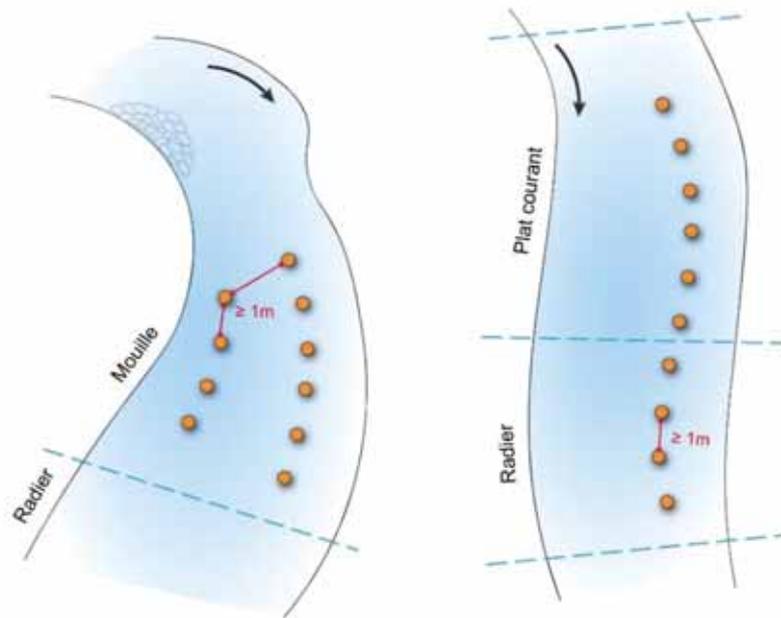


Figure 3 : Exemple de dispositions des points de mesure sur une zone d'échantillonnage

2.1.1.4 Mesures de conductivité hydraulique

Pour chaque point de mesure :

- **Enfoncer le mini-piézomètre** 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 pontes, 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).

- **Mesurer ou relever les paramètres suivants :**
 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 bécet 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.

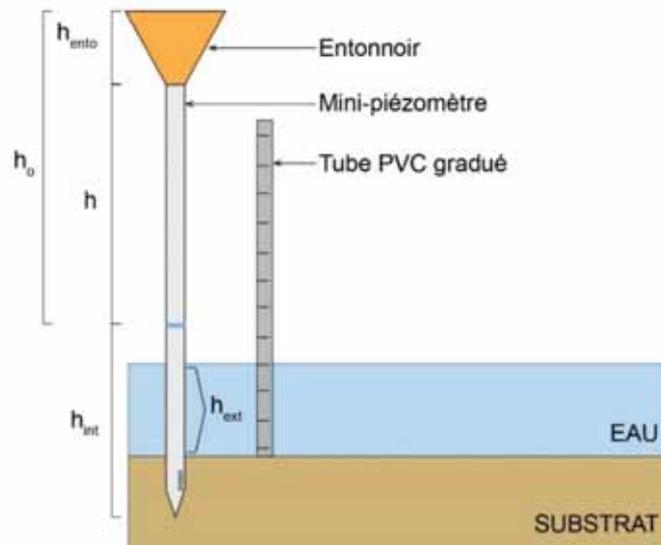


Figure 4 : Schéma récapitulatif du dispositif expérimental et des mesures réalisées pour chaque point d'échantillonnage

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 : $h = h_{piézo} - h_{int}$
- h_o , la hauteur de la colonne d'air depuis l'entonnoir, telle que : $h_o = h + h_{ento}$

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

$$K = \frac{(0,2501 * D_{piézo})}{Dt} * \ln\left(\frac{h_o}{h}\right)$$

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 :

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

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 concerne finalement :

- 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.

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 Aval 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.

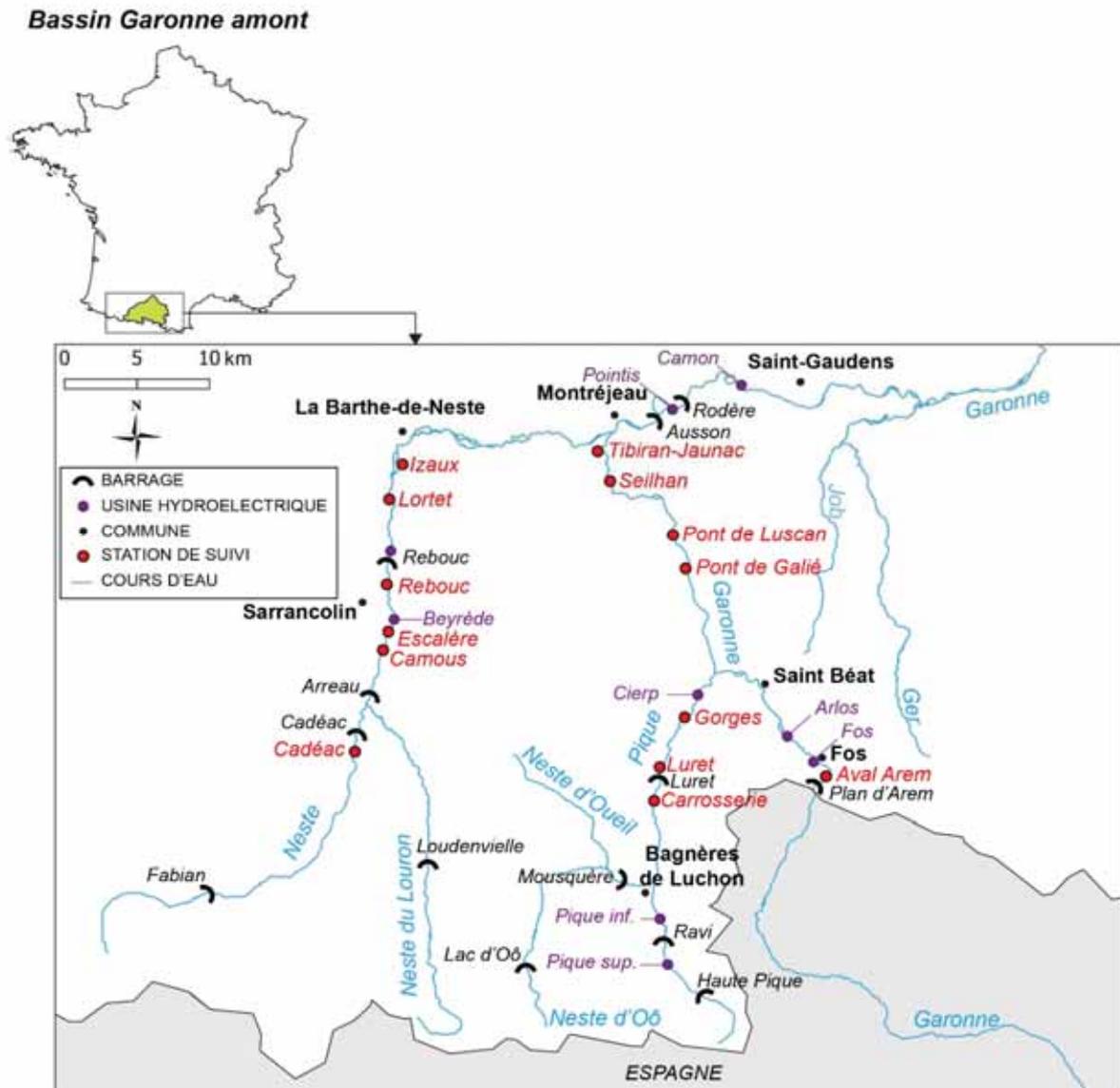


Figure 5 : Localisation des stations suivies

2.1.3 Echantillonnage et contexte hydrologique des campagnes de terrain

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.

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		2015-16		2016-17	
		Phase d'essai		Sessions			
		S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2
Garonne	Aval plan d'Arem	-	-	10	10	10	10
	Pont de Galié	-	10	10	10	10	10
	Pont de Luscan	-	10	10	10	10	10
	Seilhan	-	-	10	10	10	10
	Tibiran-Jaunac	-	-	10	10	10	10
Pique	Carrosserie	10	10	10	10	10	10
	Luret	10	10	10	10	10	10
	Gorges	-	10	10	10	10	10
Neste	Cadéac	-	-	-	-	10	10
	Camous	-	-	-	-	10	10
	Escalère	-	-	-	-	10	10
	Rebouc	-	-	-	-	10	10
	Lortet	-	-	-	-	10	10
	Izaux	-	-	-	-	10	10
	TOTAL GENERAL =						510

Tableau 3 : Chronique d'échantillonnage des stations du réseau de suivi Garonne-Pique-Neste de 2014 à 2017

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.

Les Figures 6 et 7 présentent la chronique des interventions de terrain réalisées dans le cadre du suivi sur la Pique, Garonne et la Neste tout en les replaçant dans leur contexte hydrologique.

Les débits journaliers moyens à la confluence Garonne-Pique sont reconstitués à partir des débits enregistrés à Saint Béat (31) (*source : banque HYDRO*) et de ceux déversés au barrage de Luret et turbinés à l'usine de Cierp sur la Pique (*source : EDF*). Les débits journaliers moyens (QJM) déversés au plan d'Arem ont été également fournis par EDF.

Notons que les débits réservés ne sont pas pris en compte en aval du Plan d'Arem et sur la Pique ; seules les variations de débits engendrées par le fonctionnement des ouvrages hydroélectriques sont présentées ici.

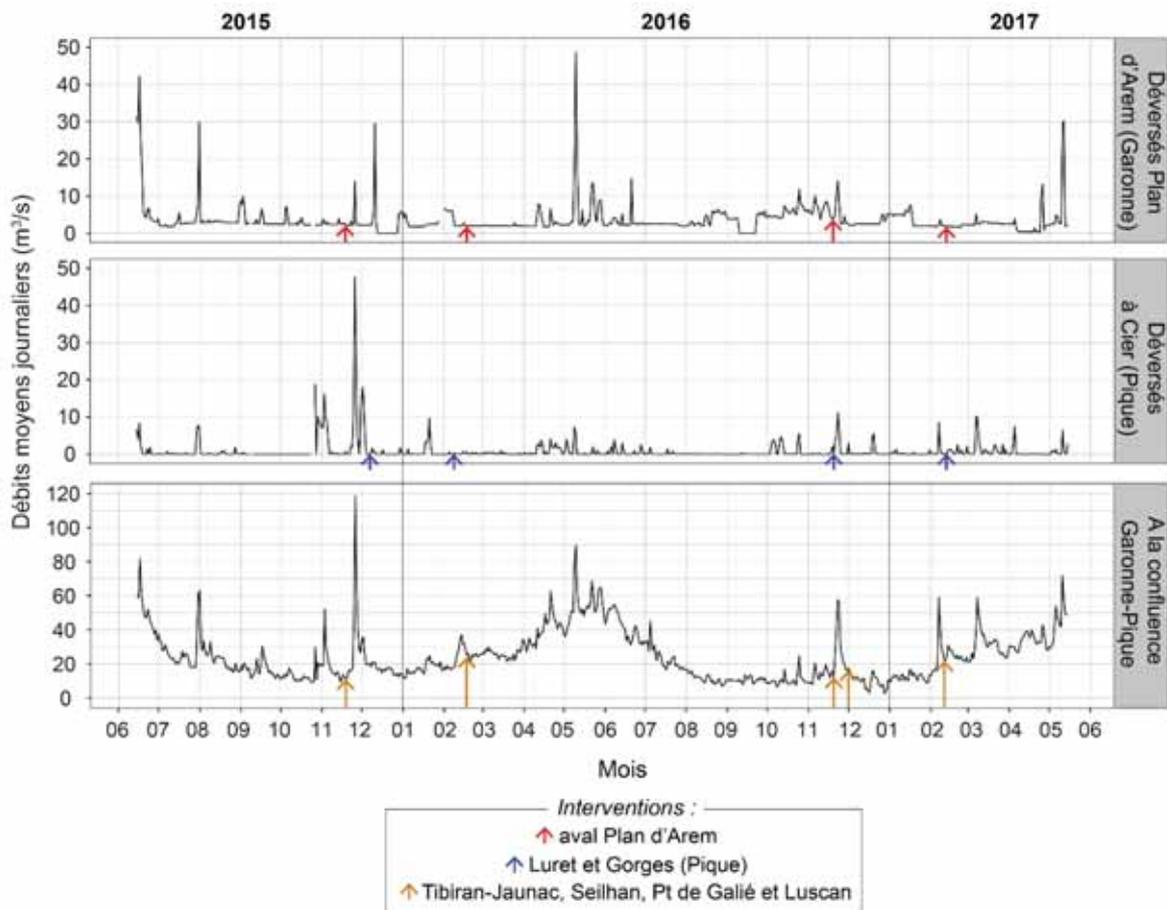


Figure 6 : Evolution des débits journaliers moyens déversés au Plan d'Arem, à Cier et reconstitués à la confluence Garonne-Pique (source : banque HYDRO et EDF)

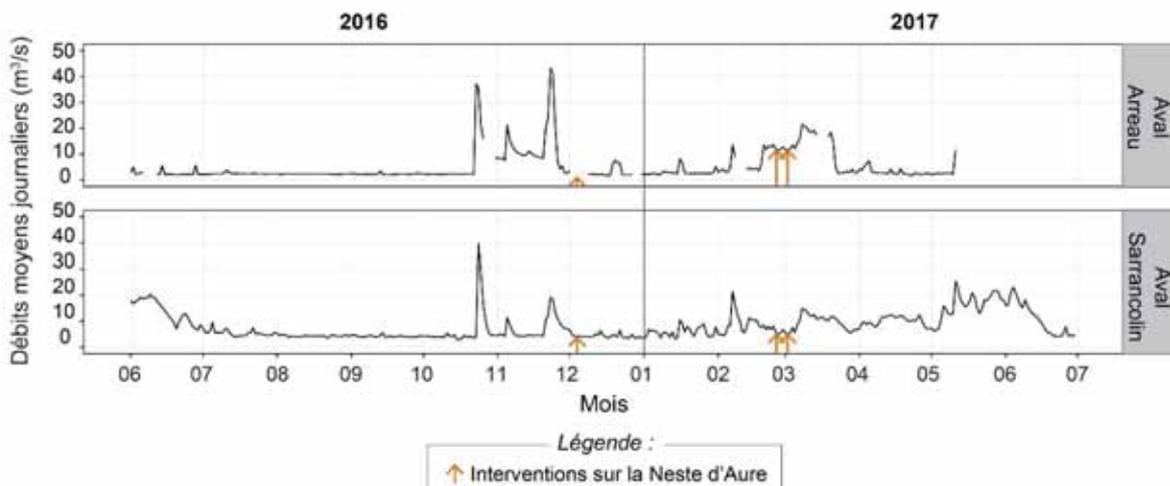


Figure 7 : Evolution des débits journaliers moyens de la Neste d'Aure (source : CACG)

Concernant la Garonne, plusieurs remarques peuvent être faites :

- Le tronçon court-circuité en aval du Plan d'Arem semble être soumis à des déversés relativement fréquentes et d'amplitudes variables, pouvant aller jusqu'à 49 m³/s sur la période représentée.
- En aval de la confluence avec la Pique, les variations journalières représentées sont probablement dues aux éclusées liées à l'activité hydroélectrique sur la Garonne et la Pique. A celles-ci s'ajoutent les variations saisonnières de débits propres au régime hydrologique nivo-pluvial de la Garonne.
- Deux épisodes d'hydrologie hivernale relativement forte peuvent être relevés : en novembre 2015 (maximum reconstitué de 119 m³/s sans les débits réservés), encadré par les deux sessions de mesure de l'hiver 2015-16, ainsi qu'en novembre 2016 (maximum reconstitué de 58 m³/s sans les débits réservés) avant les mesures sur les stations Pont de Galié et Luscan, et après celles de Seilhan et Tibiran-Jaunac de cette même année.

Le tronçon court-circuité en aval du barrage de Luret semble quant à lui soumis à des variations de débits assez fréquentes, notamment l'hiver, dues aux déversés de la prise d'eau du Cier. Notons l'existence d'un pic d'hydrologie en novembre 2015, avec des déversés atteignant 48 m³/s, moins d'un mois avant les relevés de terrain de l'hiver 2015-16 dans les Gorges et en aval de Luret.

Enfin, notons l'existence d'un pic d'hydrologie en février 2017, soit entre les deux passages sur la Neste, ainsi qu'une hydrologie assez soutenue à l'occasion de la deuxième session de mesure en aval d'Arreau.

2.1.4 Traitement des données

2.1.4.1 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 :

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

2.1.4.2 Analyses statistiques

Une série de tests statistiques a été réalisée afin de traiter les thèmes d'analyses 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 $\alpha=5\%$. 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).

2.1.4.2.1 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).

2.1.4.2.2 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). Rappelons que cette analyse ne peut être réalisée dans le cas de la Neste d'Aure car le suivi n'a débuté qu'en novembre 2016.

2.1.4.2.3 Analyse de la variabilité pendant la période d'incubation

L'objectif de cet axe d'analyse est 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. Pour ce faire, les valeurs mesurées en première et deuxième campagne sont comparées deux à deux pour chaque station par année de suivi. Ce sont également des tests de comparaisons de Wilcoxon-Mann-Whitney qui sont appliqués ici (fonction *wilcox.test* du package *stats* de R).

2.2 Analyse des écoulements par traçage à la fluorescéine

2.2.1 Hypothèses et matériel utilisé

L'objectif de cette analyse complémentaire était de tenter de comprendre le cheminement de l'eau injectée à l'occasion de la mesure du temps d'infiltration nécessaire au calcul de la conductivité hydraulique (K). En effet, certaines stations montraient fréquemment de fortes variabilités des valeurs de K autour de la moyenne, alors que d'autres au contraire semblaient être caractérisées par des écarts-types relativement faibles.

Une hypothèse était alors émise, selon laquelle certaines stations pourraient présenter un pavage du substrat minéral assez important et pour lesquelles l'insertion du mini-piézomètre entraînerait une déstructuration locale de l'organisation des particules minérales. Dans de tels cas, l'eau injectée s'écoulerait le long du tube et la mesure réalisée correspondrait à un artefact lié à la perforation de la couche d'armure plutôt qu'à une réelle valeur de temps d'infiltration (pouvant potentiellement générer de fortes valeurs de conductivité hydraulique).

De la fluorescéine a donc été intégrée aux manipulations de terrain de février 2017. Lorsque les points de mesure présentaient une infiltration (K différent de 0), de l'eau

supplémentaire contenant de la fluorescéine a été injectée dans l'entonnoir afin de tracer les écoulements et les observations résultantes ont été notées de façon binaire (« écoulement visible le long du tube » ou « pas d'écoulement »).

2.2.2 Traitement des données

Les conditions hydrauliques au droit de la mesure pouvant influencer les observations faites quant aux écoulements, il semble pertinent de distinguer les cas d'exfiltration et d'infiltration d'eau. Ceci est réalisé par le calcul du gradient hydraulique vertical (VHG, en cm) comme suit (Datry, 2011) :

$$VHG = 120 - (p.e - h)$$

Avec :

p.e : Profondeur d'enfoncement du tube (cm)

h : Hauteur d'air dans le tube (cf. § 2.1.1.5)

Un VHG positif traduit une zone d'exfiltration, où des remontées de l'eau colorée sont attendues. Au contraire, un VHG négatif caractérise une zone d'infiltration, où des écoulements le long du tube poseraient question.

3 RESULTATS

3.1 Suivi pluriannuel post-crue de 2013

La mise en place du protocole de suivi du colmatage des habitats de reproduction de salmonidés a permis l'acquisition de 510 points de mesure sur la Garonne, la Pique et la Neste, de novembre 2014 à février 2017.

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

3.1.1 Cas de la Garonne

3.1.1.1 Proportions d'infiltration

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.

Concernant la Garonne, le suivi de la qualité des habitats de reproduction porte sur les hivers 2015-2016 et 2016-2017 (Figure 8). En début de période de suivi (novembre 2015), les proportions d'infiltration des stations localisées les plus en amont (aval Arem, Pont de Galié et Pont de Luscan) sont maximales ($P=1$) alors que les stations aval, Seilhan et Tibiran-Jaunac, présentent respectivement des proportions d'infiltration de 0,8 et 0,9.

Entre novembre 2015 et 2016, les proportions d'infiltration diminuent de 0,1 à 0,4 points selon les stations considérées. Seule la station Pont de Galié présente une proportion d'infiltration maximale sur les deux années de suivi.

Ces résultats suggèrent que les habitats de reproduction disponibles en novembre 2015 en Garonne amont étaient fonctionnels et globalement de bonne qualité, bien qu'un léger gradient de diminution vers l'aval ait été mis en évidence. Cependant, une tendance à la diminution de la fonctionnalité des frayères suivies est observée entre les deux années de suivi, traduisant une perte progressive des effets bénéfiques de la crue de juin 2013 sur le substrat.

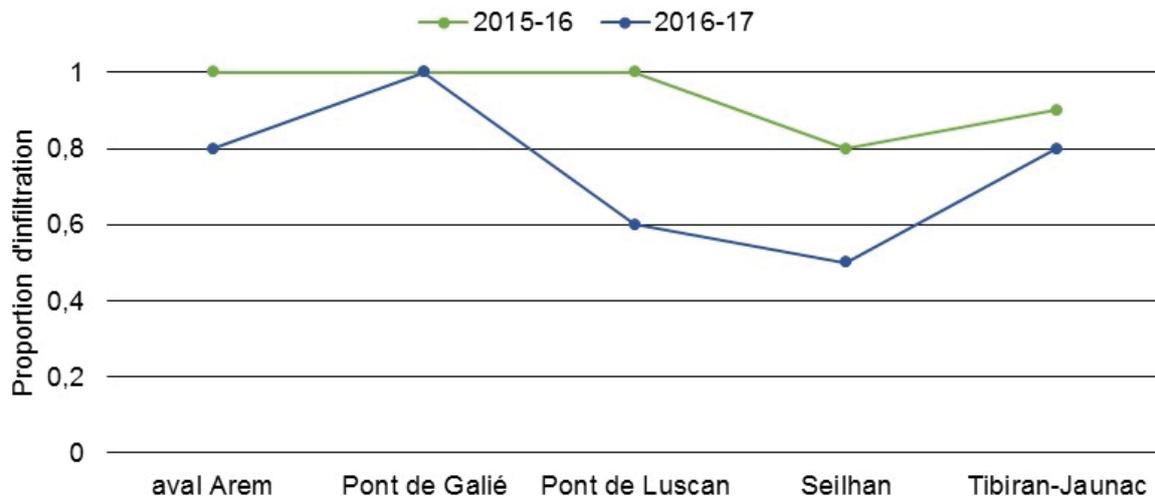


Figure 8 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2015 à 2016 sur la Garonne

La réalisation de deux sessions de mesures par station et par hiver permet d'analyser les variations de la qualité du substrat pendant la période d'incubation des œufs. Dans le cas de la Garonne, nous rappelons que cette analyse peut être réalisée pour les hivers 2015-2016 et 2016-2017. La Figure 9 présente l'évolution des proportions d'infiltration sur les différentes stations de la Garonne pendant les hivers 2015-2016 et 2016-2017 et permet également de faire le lien avec les valeurs de novembre 2016 caractérisant l'état du substrat au début de l'hiver suivant.

Les stations aval Arem et Seilhan présentent les mêmes sens de variations de la proportion d'infiltration à l'occasion des deux hivers successifs suivis ; on note une diminution de la proportion d'infiltration pendant la période d'incubation (2015-16 : -0,5 et -0,4 points respectivement, 2016-17 : -0,3 et -0,1 points respectivement) puis une restauration incomplète de la qualité du substrat pendant le printemps. Ainsi, les proportions d'infiltration semblent constantes en février de chaque année sur ces deux stations.

La station Pont de Galié est au contraire caractérisée par une proportion d'infiltration maximale ($P=1$) et constante à chaque campagne de mesure.

Au niveau de Pont de Luscan, bien que la proportion d'infiltration ait été maximale et stable pendant l'hiver 2015-16, une dégradation était observée au printemps 2016 (-0,4 points de février à novembre), suivie d'une restauration complète en février 2017.

Enfin, seule la station Tibiran-Jaunac présente de légères améliorations de la qualité du substrat pendant la période d'incubation (passage de $P=0,9$ à 1 en 2015-16 puis de 0,8 à 1 en 2016-17), suivie d'une dégradation pendant le printemps.

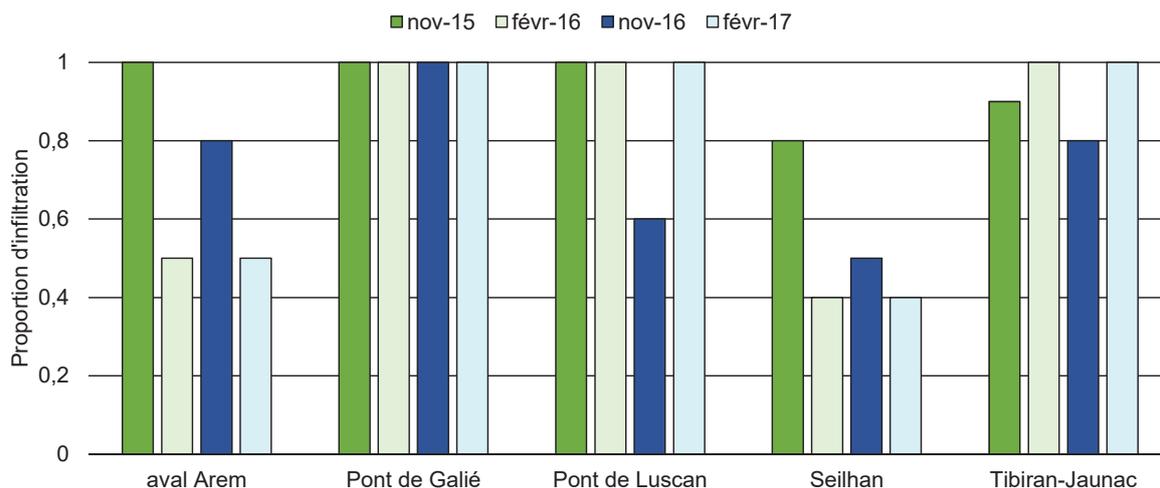


Figure 9 : Evolution des proportions d'infiltration entre novembre 2015 et février 2017 sur la Garonne

3.1.1.2 Conductivité hydraulique

La Figure 10 ci-après illustre les conductivités hydrauliques calculées en début de période de reproduction pour l'ensemble des stations sur Garonne pour les deux années de suivi.

Les analyses statistiques n'ont pas montré de différence significative de conductivité hydraulique entre les stations en novembre 2015 ($X^2=7,8$; $p=0,1$), bien que cette année-là la station aval Arem semblait présenter une moins bonne perméabilité du substrat que les autres stations. En revanche, en novembre 2016, la conductivité hydraulique et donc la perméabilité du substrat étaient significativement inférieures sur aval Arem et Pont de Luscan ($p<0,05$, Annexe 6).

Entre novembre 2015 et novembre 2016, on observe une tendance à la diminution des moyennes de conductivité hydraulique sur ces stations amont, non significative statistiquement pour aval Arem (de 8 à 5,2 cm/h) et Pont de Galié (de 24,9 à 16,2 cm/h) mais significative et importante pour Pont de Luscan (de 17,5 à 4,5 cm/h ; $W=96$, $p=5,6*10^{-4}$). En revanche, la conductivité hydraulique moyenne reste stable entre les deux années pour Seilhan et Tibiran-Jaunac. Notons cependant une forte augmentation de la variabilité pour la station Seilhan (écarts-types de 21,6 à 40,5 cm/h), résultant d'une augmentation à la fois de la proportion de valeurs nulles et des valeurs maximales calculées.

L'ensemble de ces éléments évoque une évolution entre 2015 et 2016 dans la structure du substrat constituant les frayères. En effet, la perméabilité du substrat tend à diminuer progressivement au cours du temps, signe éventuel de l'augmentation de la proportion de matières fines dans les frayères.

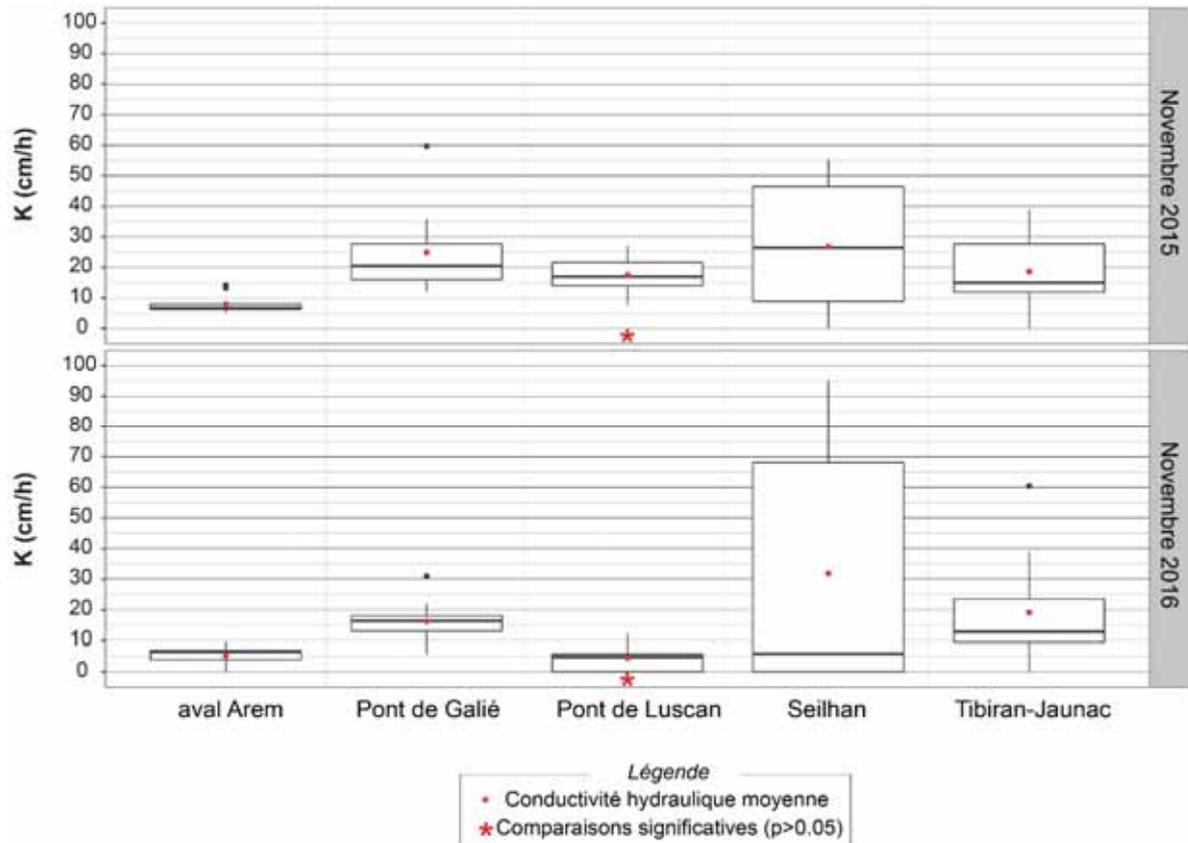


Figure 10 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Garonne de 2015 à 2016

La réalisation de deux sessions de mesures par station et par hiver permet d'analyser les variations de conductivité hydraulique pendant la période d'incubation des œufs.

Dans le cas de la Garonne, cette analyse est réalisée pour les hivers 2015-2016 et 2016-2017. La Figure 11 présente l'évolution des valeurs de conductivité hydraulique sur les différentes stations de la Garonne pendant ces deux hivers.

Une tendance à la diminution de la conductivité hydraulique moyenne, non significative statistiquement ($p > 0,05$), était observée au cours de l'hiver 2016-17 pour les stations aval Arem et Seilhan (de 8 à 4,3 cm/h et de 26,8 à 13,5 cm/h respectivement). Le même constat est fait après l'analyse des valeurs recueillies en 2016-17 sur ces deux stations (de 5,2 à 2,6 cm/h et de 31,9 à 16,9 cm/h respectivement, dans les deux cas $p > 0,05$).

Concernant la station Pont de Galié, alors que les résultats indiquaient une certaine stabilité de la conductivité hydraulique moyenne au cours de l'hiver 2015-16, une diminution significative est mise en évidence pour l'hiver suivant (de 16,2 à 8,4 cm/h, $W=86$, $p=5,2 \cdot 10^{-3}$).

Ces premiers résultats suggèrent un changement dans la composition des substrats constituant les frayères suivies sur ces trois stations, soit une diminution de la perméabilité pouvant être due à une plus forte proportion des matières fines en fin de période d'incubation qu'en début de reproduction.

Enfin, bien qu'aucune variation significative de la conductivité hydraulique n'ait été mise en évidence sur les stations Pont de Luscan et Tibiran-Jaunac pendant l'hiver 2015-16, ces deux stations semblent présenter une augmentation significative de ce paramètre au cours de l'hiver 2016-17 (de 4,5 à 13,6 cm/h, $W=13$, $p=5,6 \cdot 10^{-3}$ et de 19,1 à 33,9 cm/h, $W=23$, $p=4,5 \cdot 10^{-3}$).

² respectivement). Parmi les cinq stations suivies sur la Garonne, seules celles-ci présentent une évolution significative de K traduisant potentiellement une diminution de la teneur en matières fines au cours de l'hiver.

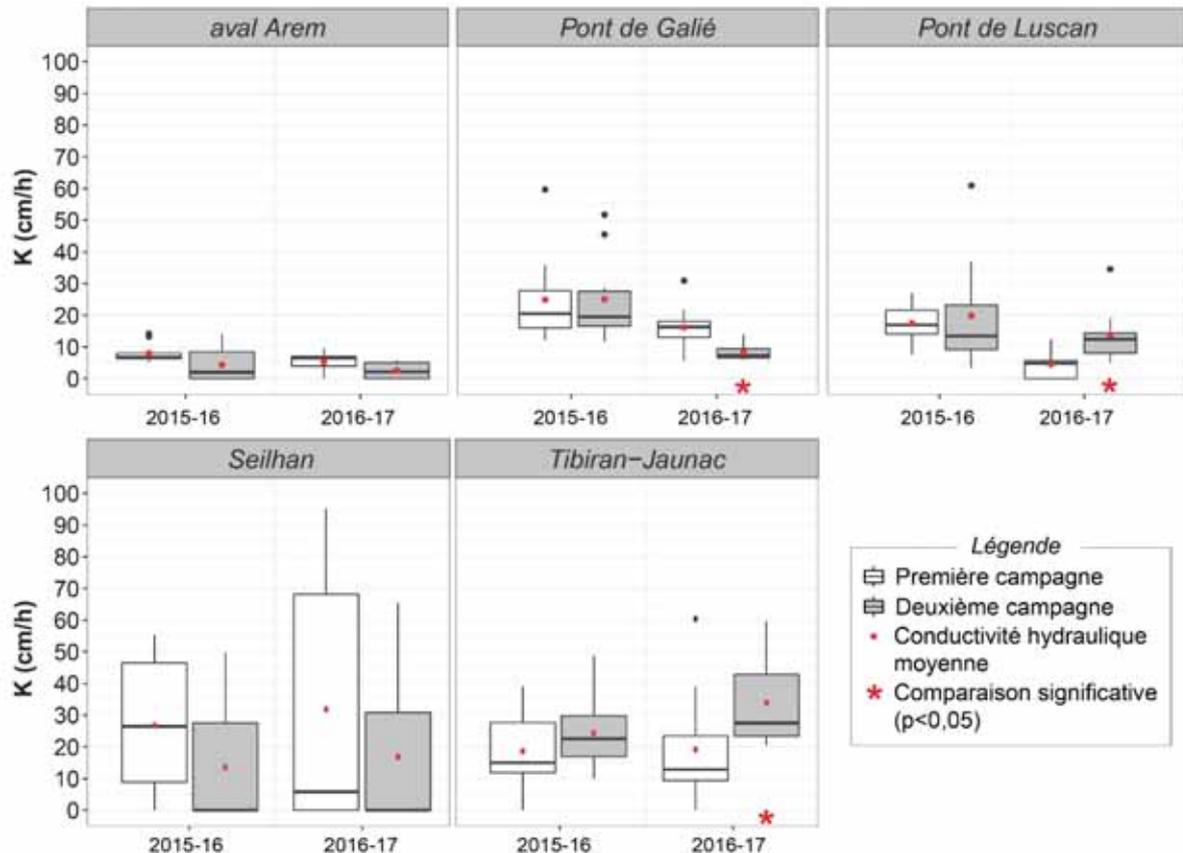


Figure 11 : Evolution de la conductivité hydraulique (K) pendant les hivers 2015-16 et 2016-17 sur les différentes stations de suivi en Garonne

3.1.2 Cas de la Pique

3.1.2.1 Proportions d'infiltration

L'évolution des proportions d'infiltration calculées sur la Pique à partir des mesures réalisées en début de période de reproduction est présentée dans la Figure 12. Rappelons que ces données ne sont pas disponibles pour la station des Gorges puisque celle-ci n'a été intégrée au suivi qu'à partir de février 2015.

Les stations Carrosserie et Gorges présentent des proportions d'infiltration de 0,9 pour chaque année de suivi. Au contraire, les proportions d'infiltration calculées pour la station Luret oscillent entre 1 et 0,8 selon l'année considérée.

De manière générale, les frayères étudiées sur la Pique semblent être caractérisées par une fonctionnalité perturbée. Contrairement à ce qui est observé sur la Garonne, la fonctionnalité des frayères ne semble pas se dégrader entre les années de suivi. Seule la station de Luret montre des caractéristiques et une dynamique différente, pouvant s'expliquer par sa localisation particulière. En effet, cette station est située en aval proche du barrage de Luret, dont le fonctionnement engendre des remaniements fréquents et importants de matériaux.

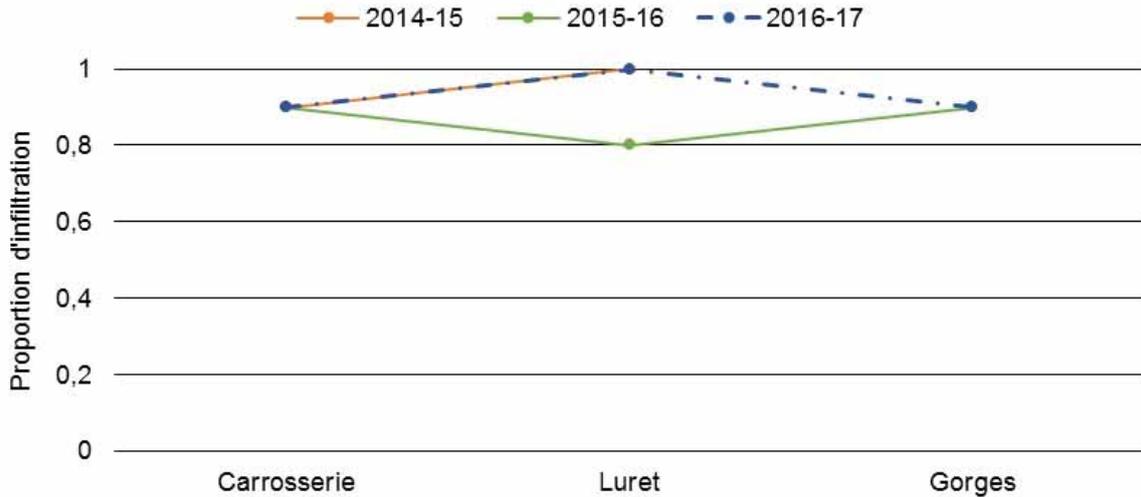


Figure 12 : Evolution des proportions d'infiltration calculées en début de période de reproduction de 2014 à 2016 sur la Pique

L'analyse des variations des proportions d'infiltration pendant l'hiver peut être réalisée à partir des données de 2014-2015 et 2015-2016 pour les stations Carrosserie et Luret, et seulement pour 2015-2016 pour la station Gorges. Ces données sont illustrées sur la Figure 13.

Globalement, les proportions d'infiltration présentent une faible variabilité pendant la période d'incubation des œufs. En effet, ce paramètre varie très peu entre deux campagnes successives d'un même hiver (+/- 0,1 point). Notons que seules les valeurs enregistrées sur la Carrosserie font exception puisque celles-ci révèlent une perte sévère de fonctionnalité au cours de l'hiver 2014-2015 (-0,6 point).

Ces observations peuvent être rapprochées du contexte hydrologique caractérisant les périodes d'intervention. Les campagnes de terrain de 2014-2015 ont potentiellement encadré un épisode de crue en novembre 2014 (Coll et *al.*, 2016) pouvant avoir davantage remanié les sédiments au niveau de la Carrosserie (seule station sur la Pique non soumise au débit réservé).

Au contraire, l'hydrologie semble relativement stable entre les campagnes de 2015-2016, où des variations de débits sont visibles en aval de la prise d'eau du barrage de Luret mais relativement régulières et ne dépassant que rarement les 10 m³/s. Ainsi, ces conditions hydrologiques particulières mais «homogènes» engendreraient de faibles variations des proportions d'infiltration.

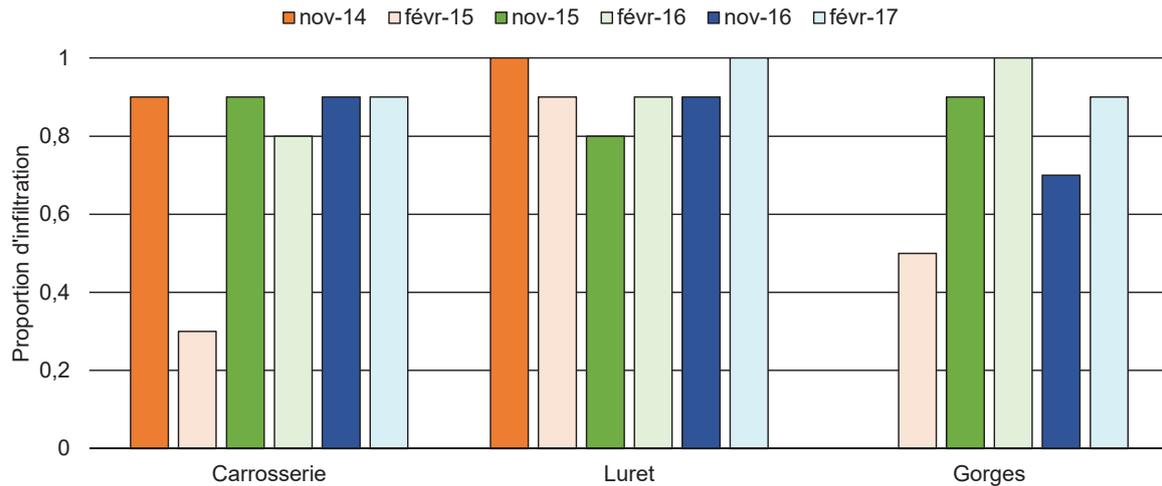


Figure 13 : Evolution des proportions d'infiltration entre novembre 2014 et février 2017 sur la Pique

3.1.2.2 Conductivité hydraulique

La Figure 14 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 2016.

Les analyses statistiques ne mettent pas en évidence de différence en termes de conductivité hydraulique moyenne entre les stations suivies, que ce soit en 2014 ($W=50$, $p=1$) ou en 2015 ($X^2=0,7$, $p=0,69$). De plus, on observe une tendance à la diminution de la conductivité hydraulique entre les deux premières années de suivi (environ de 19 à 12 cm/h) qui n'est toutefois pas statistiquement significative ($p>0,05$). Il semblerait que la perméabilité du substrat des frayères suivies reste relativement homogène dans l'espace et dans le temps.

Les observations sont toutefois différentes à propos des données recueillies en 2016. Une hétérogénéité spatiale est mise en évidence cette année-là entre les trois stations ($X^2=7,40$, $p=0,025$). En effet, la conductivité hydraulique moyenne a diminué entre 2015 et 2016 dans les Gorges ($W=78,5$, $p=0,03$), mais est restée stable pour les deux stations amont ($p>0,05$), générant ainsi un gradient de diminution de ce paramètre vers l'aval (Annexe 7).

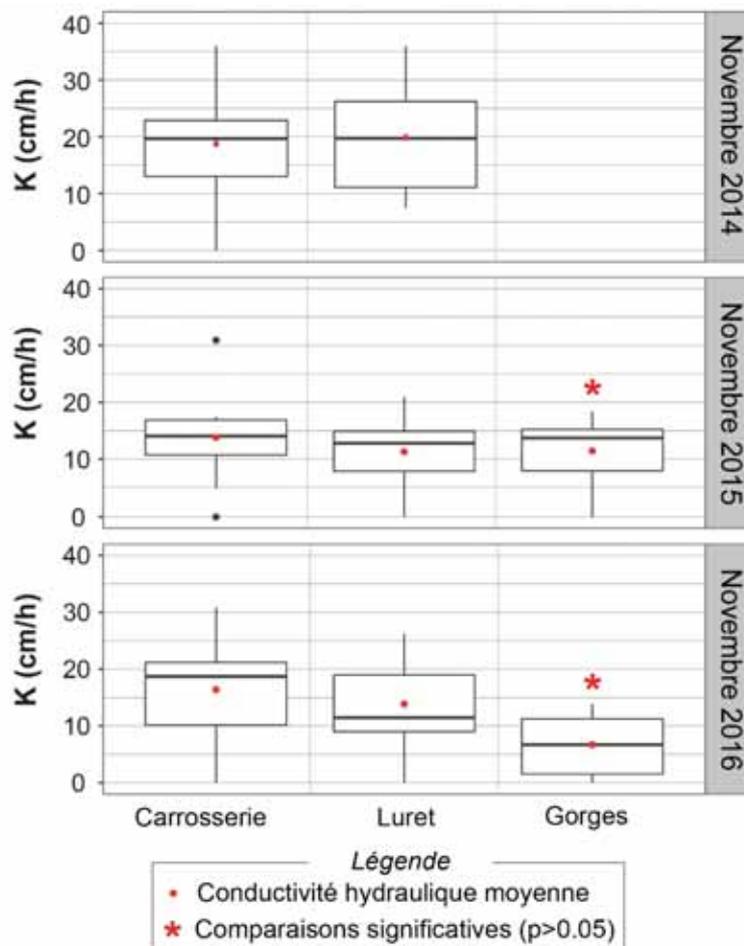


Figure 14 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction sur la Pique de 2014 à 2016

L'analyse des variations de la conductivité hydraulique pendant l'hiver peut être réalisée à partir des données de 2014-2015 à 2016-2017 pour les stations Carrosserie et Luret, et seulement pour 2015-2016 et 2016-2017 pour la station Gorges. Ces données sont illustrées sur la Figure 15.

Les résultats obtenus à l'issue des mesures de 2014-15 montraient une tendance à la diminution de la conductivité hydraulique moyenne pour la Carrosserie et Luret, significative seulement dans le cas de la première station (de 19,6 à 5,5 cm/h, $W=83,5$, $p=0,01$). L'évolution de ce paramètre semble être similaire au cours de l'hiver suivant, avec des diminutions toujours non significatives de la perméabilité du substrat sur la plupart des stations ($p>0,05$).

Enfin, la tendance est inversée à l'occasion du dernier hiver suivi (2016-17) puisque l'on observe de modestes augmentations de K, non significative statistiquement, sur les trois stations (de 16,4 à 17,3 cm/h, de 13,9 à 20,4 cm/h et de 6,7 à 9,3 cm/h de l'amont vers l'aval, $p>0,05$).

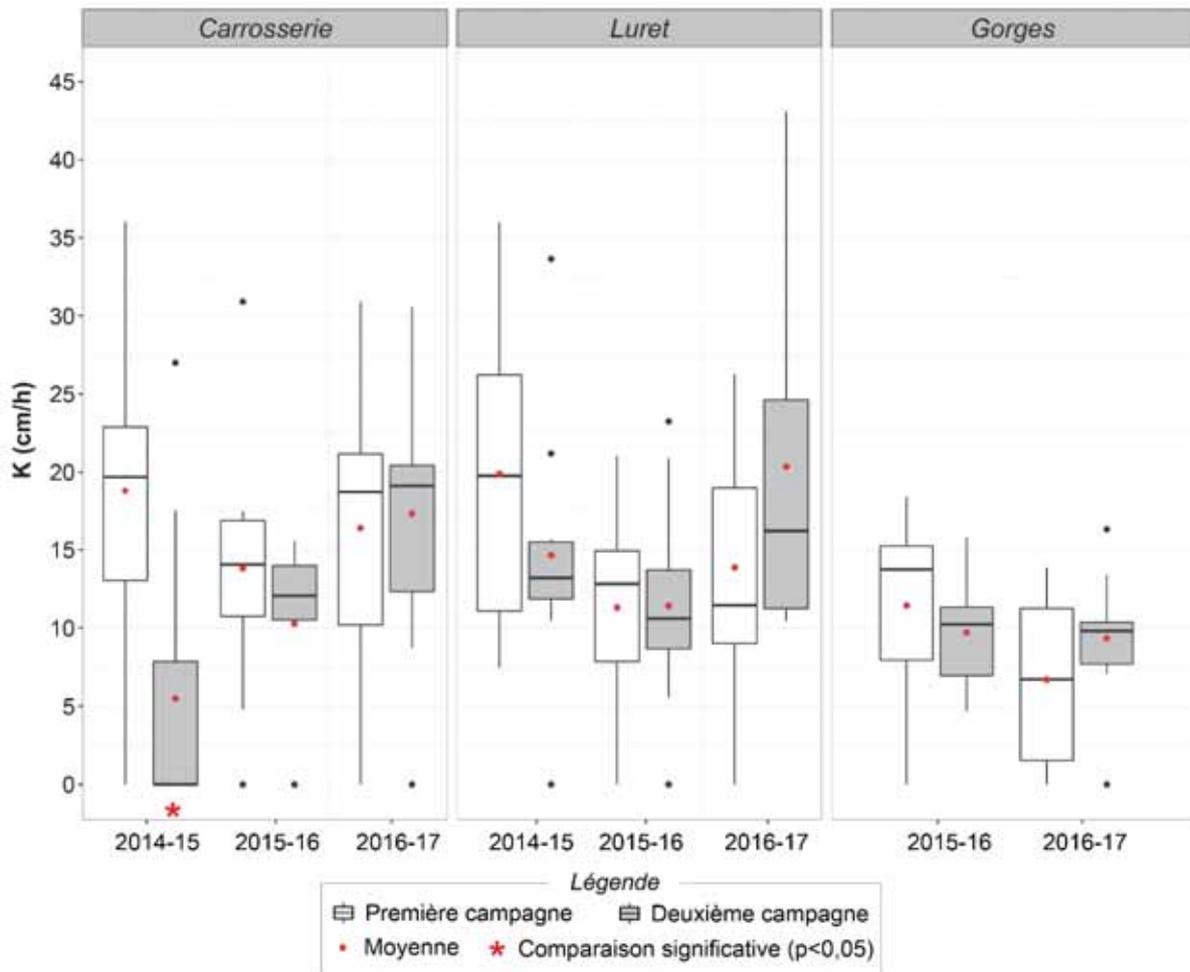


Figure 15 : Evolution de la conductivité hydraulique (K) pendant les hivers de 2014-15 à 2016-17 sur les différentes stations de suivi sur la Pique

3.1.3 Cas de la Neste d'Aure

3.1.3.1 Proportions d'infiltration

La Figure 16 ci-après présente les proportions d'infiltration calculées en début puis en fin de période d'incubation des œufs sur l'hiver 2016-17 pour chaque station suivie sur la Neste d'Aure.

En novembre 2016, seules les stations Rebouc et Izaux présentent des proportions d'infiltration maximales ($P=1$). Les proportions d'infiltration calculées sur les autres stations sont 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).

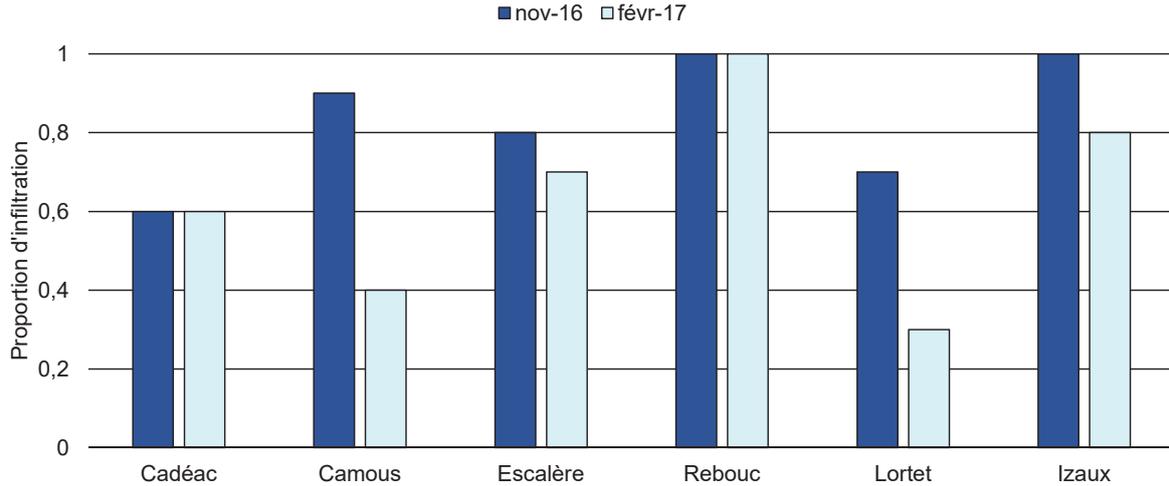


Figure 16 : Evolution des proportions d'infiltration en début et en fin de période de reproduction 2016-2017 sur la Neste d'Aure

3.1.3.2 Conductivité hydraulique

La Figure 17 ci-dessous illustre les conductivités hydrauliques calculées en début de période de reproduction pour l'ensemble des stations sur la Neste d'Aure en février 2016.

Les analyses statistiques mettent en évidence une variabilité spatiale significative de ce paramètre entre les stations suivies ($X^2=19,5$; $p=1,6 \cdot 10^{-3}$). Les résultats indiquent que les stations Cadéac et Lortet présentent des conductivités hydrauliques moyennes similaires (4,5 et 8,1 cm/h respectivement) et significativement inférieures à celles calculées pour les stations Camous, Escalère et Rebouc (10,5, 11 et 13,9 respectivement). La station Izaux quant à elle, présente la conductivité hydraulique moyenne de 27,7 cm/h, soit la plus élevée de toutes les stations suivies (Annexe 8).

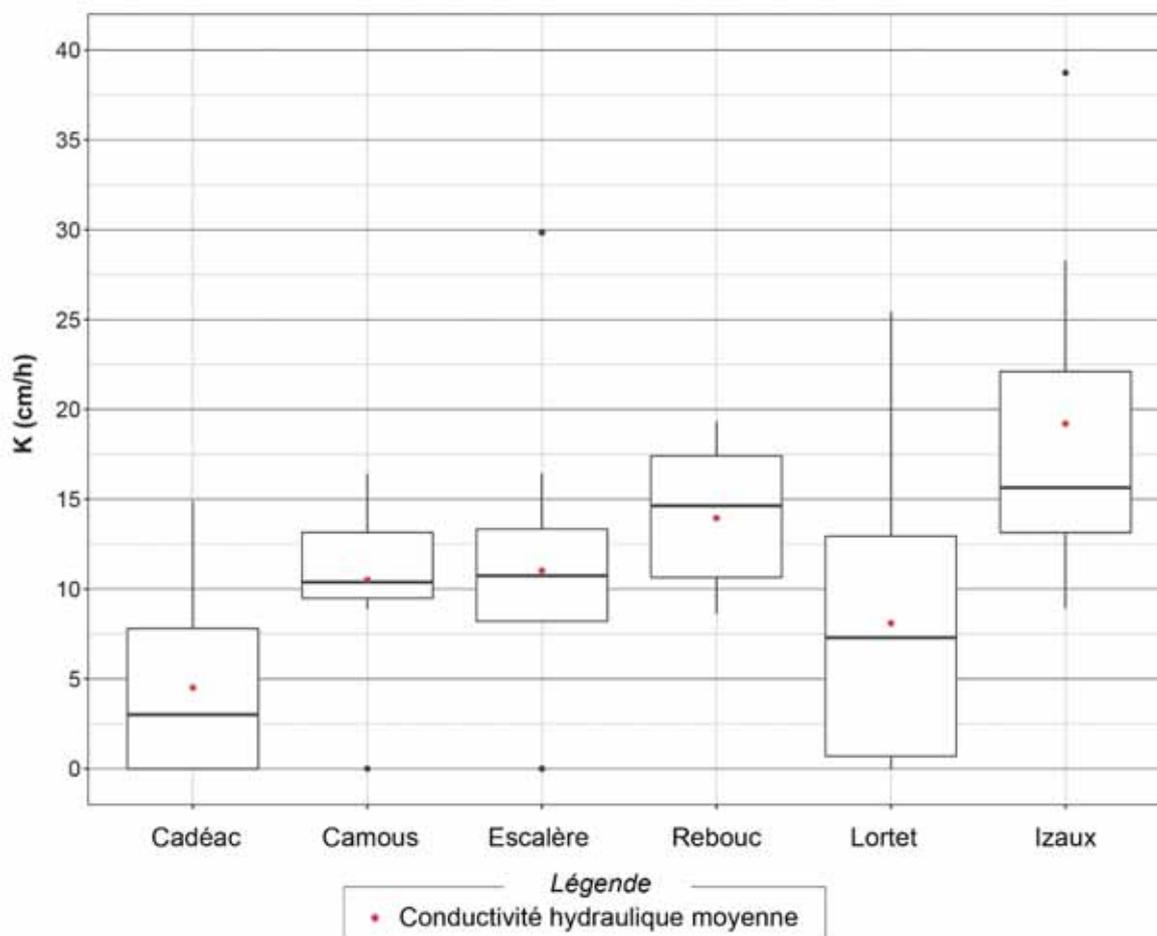


Figure 17 : Conductivité hydraulique (K) mesurée en début de période de reproduction (novembre 2016) sur la Neste

L'évolution de la conductivité hydraulique moyenne au cours de l'hiver 2016-17 est illustrée sur la Figure 18.

Les tests statistiques n'ont pas mis en évidence de variation significative de conductivité hydraulique pendant la période d'incubation des œufs ($p > 0,05$), 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. Ces variations suivent le sens de celles décrites plus haut à propos de la proportion d'infiltration.

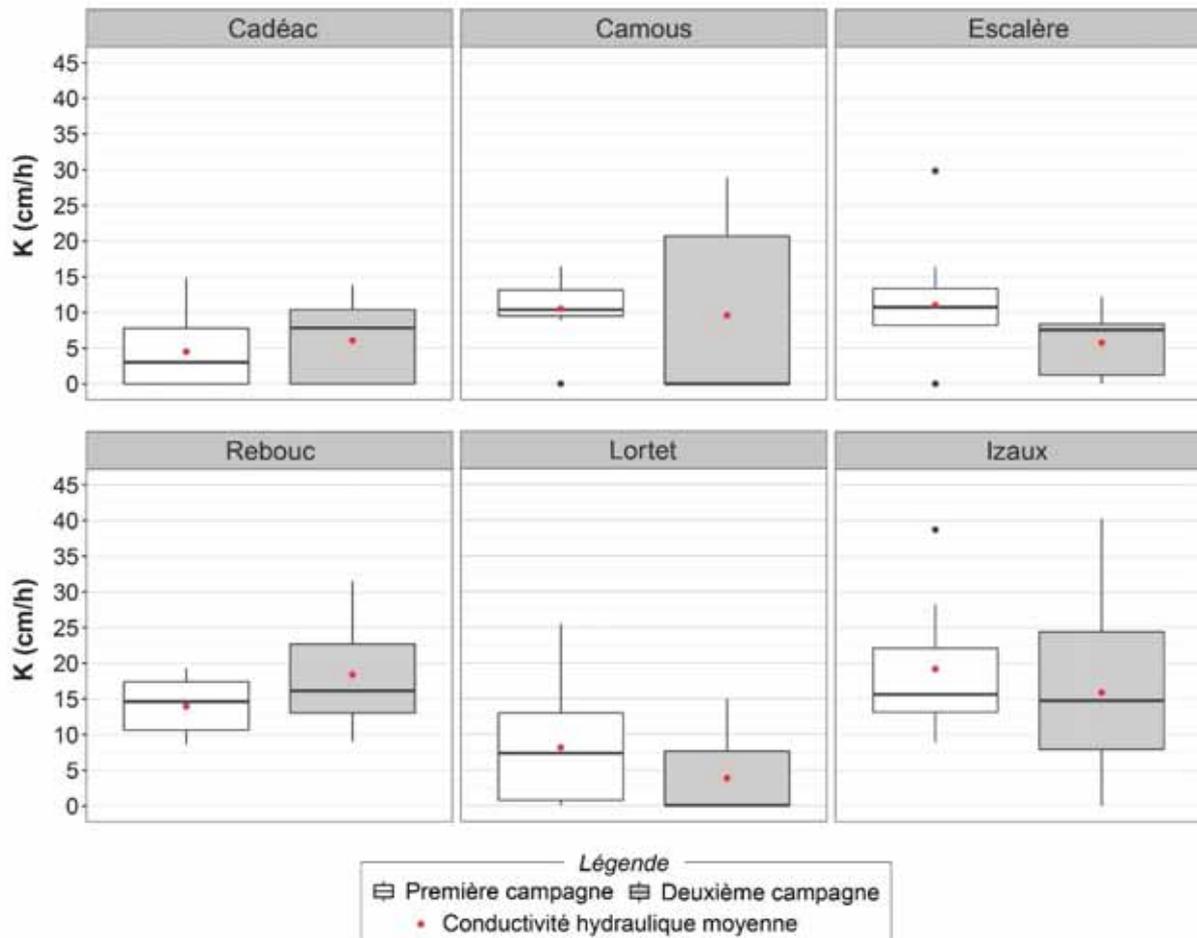


Figure 18 : Evolution de la conductivité hydraulique en début et en fin de période d'incubation des œufs (novembre 2016, février 2017) sur la Neste d'Aure

3.2 Analyse des écoulements par ajout de fluorescéine

Au total, 108 tests de fluorescéine ont été réalisés (soient 108 points présentant une infiltration non nulle pour lesquels le produit a été utilisé). La répartition des points selon les modalités de VHG et les résultats des tests de fluorescéine sont présentés dans le Tableau 4.

Notons dans un premier temps que la grande majorité des points présentent des processus hydrologiques d'infiltration (97,2 % des points) et que ceux présentant une exfiltration ont tous montré une remontée d'eau le long du tube (illustrée dans la Figure 19). Au contraire, parmi les points présentant une infiltration, une remontée d'eau le long du tube a été observée dans 83,8 % des cas.

Remontée d'eau le long du tube	Infiltration (VHG<0)	Exfiltration (VHG>0)
Oui	88	3
Non	17	0

Tableau 4 : Répartition du nombre de points selon les modalités de processus hydrologiques et d'observations liées à la fluorescéine

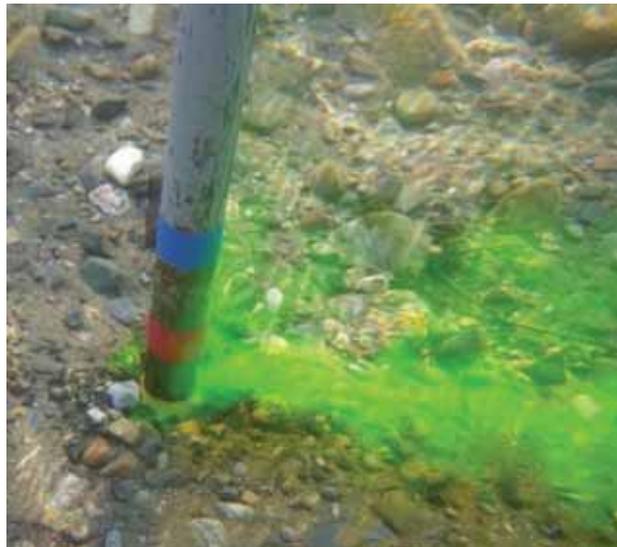


Figure 19 : Remontée d'eau colorée à la fluorescéine le long du tube

La répartition des cas avec et sans remontée d'eau le long du tube par station est présentée dans le Tableau 5. Comme expliqué plus haut, le nombre de points présentant une remontée de l'eau le long du tube est élevé au regard du nombre total d'essai, et représentent la quasi-totalité de l'ensemble des points par station, indépendamment des écarts-types caractérisant les stations (stations à forte ou faible variabilité).

Seules les stations Pont de Galié et Luret présentent une proportion élevée de points pour lesquels aucune remontée d'eau n'a été observée. L'hypothèse concernant le lien éventuel entre les écoulements et les valeurs aberrantes sera analysée pour Luret, seule station parmi les deux citées ci-dessus présentant régulièrement une forte variabilité dans les valeurs de conductivité hydraulique.

La Figure 20 présente les valeurs de conductivité hydraulique calculées selon les modalités d'écoulements observés. Les points présentant un écoulement de fluorescéine le long du tube ont une conductivité hydraulique moyenne inférieure à celle des points sans écoulement visible (15,6 et 25,1 cm/h respectivement). De plus, sur cette session de mesure, les points présentant des valeurs de K pouvant être caractérisées comme aberrantes (supérieure à 30 cm/h) n'ont pas présenté d'écoulement. Il semble alors que la fluorescéine ne permette pas de mettre en évidence de biais méthodologique particulier, et n'apporte que peu d'éléments vis-à-vis de l'hypothèse initialement émise quant à la déstructuration locale du substrat au moment de la mesure.

	Station	Ecoulements	
		Non	Oui
	aval Arem	-	5
	Pont de Galié	8	2
Garonne	Pont de Luscan	-	10
	Seilhan	-	4
	Tibiran-Jaunac	-	10
Ger	Soueich	-	7
	Cadéac	-	5
Neste	Escalère	-	7
	Rebouc	-	9
	Lortet	-	3
Pique	Jouéou	1	8
	Carrosserie	1	9
	Luret	5	5
	Gorges	2	7
TOTAL		17	108

Tableau 5 : Synthèse des résultats des tests de fluorescéine

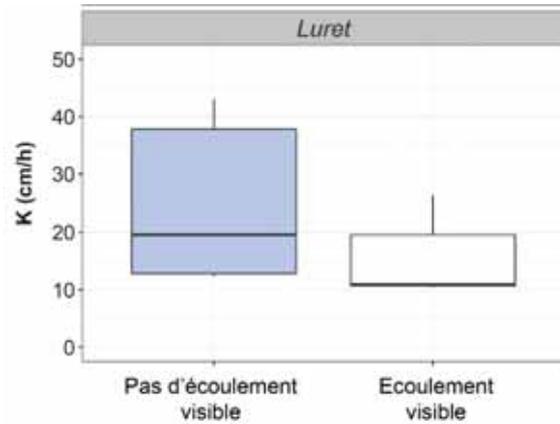


Figure 20 : Conductivité hydraulique (K) selon les modalités d'écoulements pour les stations Pont de Galié et Luret

4 BILAN ET PERSPECTIVES

- **Suivi interannuel :**

Le suivi réalisé sur la Garonne a mis en évidence l'existence d'un léger gradient de diminution vers l'aval de la qualité des habitats de reproduction de salmonidés. Bien que des variations de fonctionnalité des frayères soient observées pendant les périodes d'incubation des œufs (dans le sens d'une dégradation en aval du Plan d'Arem et à Seilhan), ce paramètre varie également sous l'influence des fortes hydrologies de printemps. Ainsi, bien que des changements de fonctionnalité ou de composition du substrat des frayères semblent survenir à l'échelle saisonnière, les secteurs suivis semblent légèrement se dégrader au cours du temps (à chaque début de période de reproduction).

La Pique quant à elle, présente des frayères moins fonctionnelles mais dont l'état ne semble pas se dégrader entre 2015 et 2016. 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 une hétérogénéité spatiale avec des secteurs moins fonctionnels tels que Cadéac ou Lortet. Des variations de fonctionnalité ont également été mises en évidence pendant la période d'incubation des œufs ; les frayères étudiées à Camous, Escalère et Lortet présentent une baisse relativement importante de la proportion d'infiltration. Rappelons que le suivi sur la Neste d'Aure n'a débuté qu'à l'hiver 2016-17. La poursuite du suivi sur ce secteur permettra l'acquisition de données supplémentaires afin de disposer de plus de recul, notamment sur les processus mis en cause ou sur les tendances globales d'évolution possible de ce paramètre.

- **Analyse des écoulements par l'utilisation de la fluorescéine :**

Les résultats obtenus après l'utilisation de la fluorescéine dans le suivi des écoulements n'ont pas permis de détecter un biais méthodologique de façon probante. En effet, la majorité des points ont montré des remontées d'eau fluorescente le long du tube, empêchant ainsi de détecter à posteriori les valeurs de conductivité hydraulique potentiellement aberrantes.

- **Méthodologie :**

Il serait intéressant d'intégrer de nouvelles stations au suivi réalisé sur la Pique, dans la mesure des habitats de reproduction disponibles, afin de mieux caractériser l'évolution de la fonctionnalité des frayères sur ce cours d'eau. En effet, les résultats suggèrent que la station Luret est fortement influencée par le barrage localisé strictement en amont. Il est alors difficile de généraliser les conclusions faites à partir des deux stations restantes. Ces nouvelles stations pourraient être déterminées dès la saison de reproduction 2017-2018.

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 MPHAB15, 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.
- 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. Entretien des 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 CONSULTÉS :

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

Consulté le 12 juillet 2017 sur : <http://www.hydro.eaufrance.fr/>

ANNEXES

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 (H_0) 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 (H_1), 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 H_0 alors qu'elle est vraie) est alors fixé ici à 5%. Lorsque p est inférieure à 5%, il est peu probable que l'hypothèse H_0 soit vraie et celle-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 :

H_0 : les fonctions de répartition des deux échantillons sont identiques

H_1 : 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 échantillons), les hypothèses émises sont les suivantes :

H_0 : les fonctions de répartition des k échantillons sont identiques

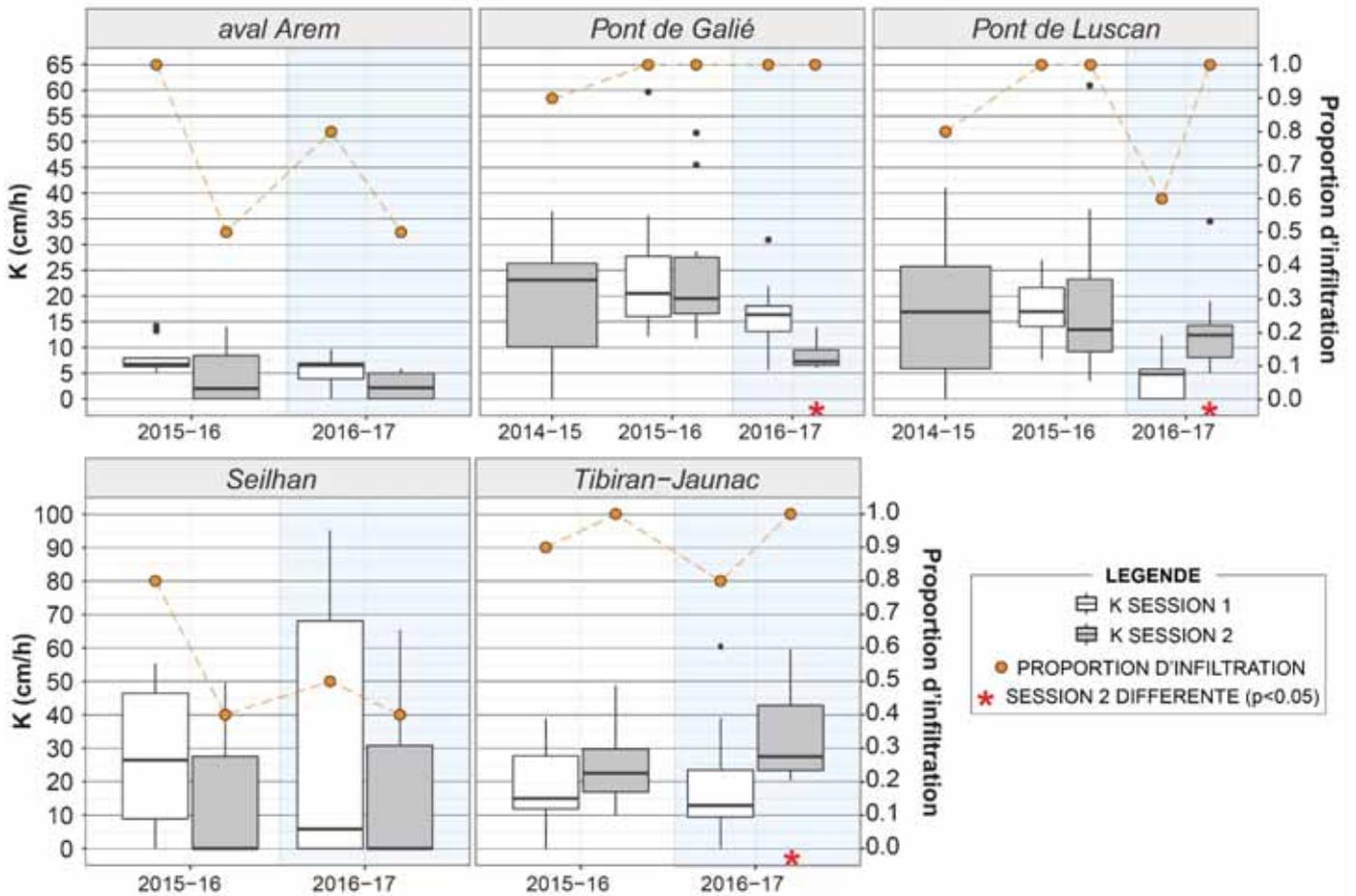
H_1 : au moins un échantillon présente une fonction de répartition différente

NB : Lorsque la *p-value* d'un test de Kruskal-Wallis est inférieure à 0,05, l'hypothèse nulle (H_0) 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

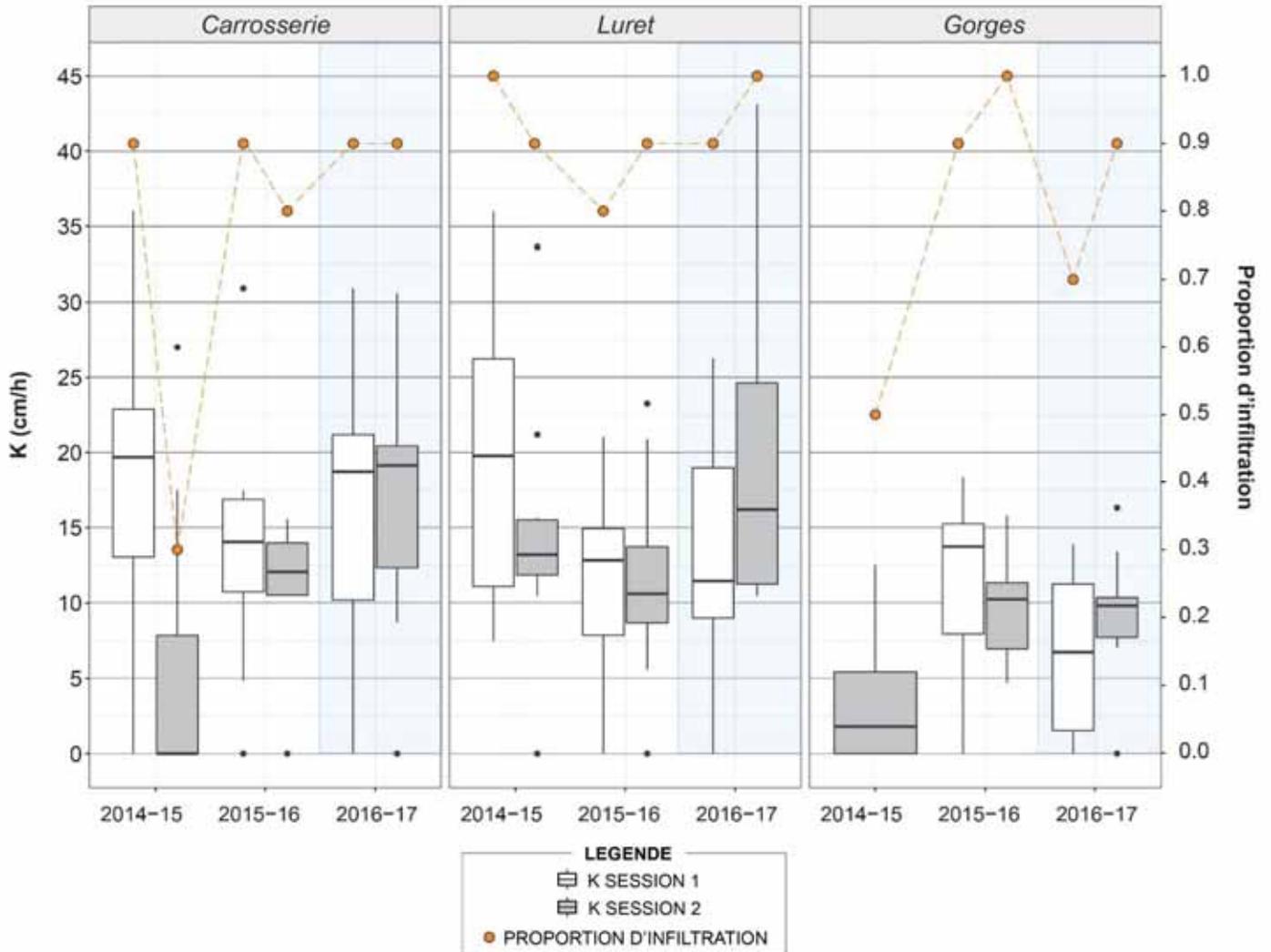
Les astérisques marquent les comparaisons significatives ($p > 0,05$).

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 significatives ($p > 0,05$).
 Les astérisques d'une même couleur représentent les deux sessions de mesures comparées entre elles.



Annexe 5 : 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		2014-15		2015-16		2016-17		2014-15		2015-16		2016-17	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Garonne	aval Arem	-	-	8.0	4.3	5.2	2.6	-	-	3.1	5.2	3.2	2.7	-	-	1	0.5	0.8	0.5
	Pont de Galié	-	19	24.9	25.1	16.2	8.4	-	11.3	14.1	13.3	7.1	2.8	-	0.9	1	1	1	1
	Pont de Luscan	-	17.4	17.5	19.9	4.5	13.6	-	14.9	6.4	17.4	4.7	8.4	-	0.8	1	1	0.6	1
	Seilhan	-	-	26.8	13.5	31.9	16.9	-	-	21.6	19.6	40.5	24.2	-	-	0.8	0.4	0.5	0.4
	Tibiran-Jaunac	-	-	18.6	24.3	19.1	33.9	-	-	12.5	11.3	18.7	14	-	-	0.9	1	0.8	1
Pique	Carrosserie	19.6	5.5	13.8	10.3	16.4	17.3	10.2	9.7	8.2	5.7	8.7	9.2	0.9	0.3	0.9	0.8	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	0.9	0.8	0.9	0.9	1
	Gorges	-	3.6	11.4	9.7	6.7	9.3	-	4.5	5.5	3.5	5.2	4.3	-	0.5	0.9	1	0.7	0.9
Neste d'Aure	Cadéac	-	-	-	-	4.5	6.1	-	-	-	-	5.3	5.5	-	-	-	-	0.6	0.6
	Camous	-	-	-	-	10.5	9.6	-	-	-	-	4.4	12.9	-	-	-	-	0.9	0.4
	Escalère	-	-	-	-	11	5.8	-	-	-	-	8.5	4.3	-	-	-	-	0.8	0.7
	Rebouc	-	-	-	-	13.9	18.4	-	-	-	-	3.9	7.5	-	-	-	-	1	1
	Lortet	-	-	-	-	8.1	3.8	-	-	-	-	8.1	6.3	-	-	-	-	0.7	0.3
	Izaux	-	-	-	-	27.7	15.9	-	-	-	-	28	12.8	-	-	-	-	1	0.8

Annexe 6 : 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 surlignées correspondent aux p-values inférieures au seuil de 5%, indiquant les paires de comparaisons significatives.

	Aval Arem	Pont de Galié	Pont de Luscan	Seilhan
Pont de Galié	-2,6 0,0047			
Pont de Luscan	0,34 0,37	2,94 0,0016		
Seilhan	-1,13 0,13	1,47 0,071	-1,47 0,071	
Tibiran Jaunac	-1,95 0,026	0,65 0,26	-2,29 0,011	-0,82 0,21

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

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 surlignées correspondent aux p-values inférieures au seuil de 5%, indiquant les paires de comparaisons significatives.

	Carrosserie	Gorges
Gorges	2,6	
	0,0047	
Luret	0,61	-1,99
	0,27	0,024

**Annexe 8 : Résultats du test de comparaison des stations deux à deux (Dunn)
des conductivités hydrauliques moyennes mesurées en novembre 2016
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 surlignées correspondent aux p-values inférieures au seuil de 5%, indiquant les paires de comparaisons significatives.

	Lortet	Cadéac	Camous	Escalère	Izaux
Cadéac	1,03				
	0,15				
Camous	-0,77	-1,8			
	0,22	0,036			
Escalère	-0,74	-1,77	0,033		
	0,23	0,039	0,49		
Izaux	-2,82	-3,82	-2,07	-2,1	
	0,0024	0,0001	0,019	0,018	
Rebouc	-2,15	-3,19	-1,38	-1,42	0,72
	0,016	0,0007	0,083	0,078	0,23

Opération financée par :



Cette action est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage en Midi-Pyrénées avec le Fond européen de développement régional.



Association MIGADO

18 Ter Rue de la Garonne - 47520 LE PASSAGE D'AGEN

Tel : 05 53 87 72 42

www.migado.fr - 