

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

ANNEE 2015



Etude financée par :

Union Européenne
Agence de l'Eau Adour Garonne
Fédération Nationale de la Pêche en France

Marie Coll, Gaël Durbe (FDAAPPMA 31)
Stéphane Bosc et Olivier Menchi (MIGADO)

Juin 2016



Le repeuplement en saumon atlantique
est cofinancé par l'Union européenne.
L'Europe s'engage en Midi-
Pyrénées avec
le Fonds européen de développement
régional.



Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement celui qui a été mon maître de stage, Monsieur Gaël DURBE, pour sa patience, sa gentillesse et pour tout le temps qu'il m'a accordé. Il a su me transmettre bon nombre de connaissances essentielles qui m'ont été utiles pour mon stage et qui m'aideront dans mon parcours.

Je remercie le directeur de la fédération de pêche, Monsieur Olivier PLASSERAUD, pour m'avoir permis de réaliser ce stage à la fédération de pêche de Haute Garonne. Je le remercie également pour sa gentillesse et sa disponibilité.

Je souhaite remercier Monsieur Stéphane BOSC et Monsieur Olivier MENCHI, de l'Association pour la restauration et la gestion des poissons Migrateurs du bassin de la Garonne et de la Dordogne (MIGADO), pour leur aide sur le terrain mais également pour l'aide et les conseils qu'ils ont pu me donner pendant ma période de stage.

Je remercie finalement l'ensemble des employés de la fédération de pêche de Haute Garonne pour leur gentillesse et leur accueil.

Equipes de travail

Coordination, rédaction et travail de terrain

Pour la Fédération de Pêche de la Haute Garonne :

- Stagiaire Marie Coll (M1 Ecologie, Université Paul Sabatier Toulouse)
- Chargé de missions Gaël Durbe (maitre de stage)
- Directeur : Olivier Plasseraud

Pour MIGADO :

- Chargé de missions : Stéphane Bosc
- Techniciens : Olivier Menchi
- Secrétariat édition : Marie Pierre Caprini

Participation au travail de terrain des chargés de missions Marc Delacoste (FDAAPPMA 65), Allan Yotte (FDAAPPMA 09)

Appui Technique : Francis Gayou ingénieur ONEMA DIRSO

Sommaire

I.	Introduction	1
II.	Problématique du bassin versant de la Garonne amont.....	2
1.	Le bassin versant de la Garonne amont, un système perturbé	2
1.1.	Altération de l'hydromorphologie.....	2
1.2.	L'hydroélectricité, un enjeu majeur pour le bassin de la Garonne	2
2.	Le colmatage du substrat des frayères à salmonidés.....	4
2.1.	Définition du colmatage et réponse des salmonidés	4
2.2.	Outils de mesures.....	4
III.	Matériel et méthode	5
1.	Choix des stations de mesures et appréciation de leur fonctionnalité	5
2.	Description du protocole	7
2.1.	Matériel utilisé :	7
2.2.	Mise en œuvre :	7
2.3.	Calcul de la conductivité hydraulique :	9
IV.	Résultats :	10
1.	Données obtenues	10
2.	Analyses graphiques et recherche d'indicateurs pertinents	10
2.1.	Tests préliminaires sur la distribution de la variable « conductivité hydraulique » (K).....	10
2.2.	La proportion d'infiltration ; un indicateur de fonctionnalité des frayères	11
3.	Analyses multivariées : Analyse en Composante Principale (ACP).....	13
V.	Discussion	15
VI.	Conclusions	16
1.	Analyse des données	16
2.	Perspectives du protocole	16
VII.	Bibliographie	17
VIII.	Annexes	18

Liste des illustrations

<i>Figure 1 : Schéma récapitulatif de la localisation des différents ouvrages hydroélectriques sur le bassin versant de la Garonne amont (Eaucéa, 2007)</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2 : Morphologie d'une frayère de salmonidés (Bruslé & Quignard, 2001)</i>	<i>7</i>
<i>Figure 3 : Dispositif expérimental et mesures réalisées sur chaque point de mesure de conductivité hydraulique. 9</i>	
<i>Figure 4 : Conductivité hydraulique (cm/h) mesurée pour chaque station. Les boîtes à moustaches sont réparties selon les deux groupes de ZPF (zones potentielles de frayères) définis à dire d'expert.</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : Proportion de points de mesures présentant une infiltration pour chaque station en fonction de l'écart type (cm/h).....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 6 : Projection des stations de l'étude sur le plan défini par les deux axes utilisés dans l'ACP. En A sont présentées les différentes variables retenues dans l'analyse ainsi que les stations. En B, les ellipses matérialisent les deux groupes définis à dire d'expert. Avec ; 1 : Agos ; 2 : Avajan ; 3 : Bourg d'Oueil ; 4 : Carrosserie ; 5 : Crampagna ; 6 : Varilhes Camping ; 7 : Escalère ; 8 : Frontière ; 9 : Gorges ; 10 : Grange d'Astau ; 11 : Labarthe ; 12 : Luret ; 13 : Pont de Galié ; 14 : Pont de Luscan ; 15 : Varilhes aval.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 1 : Récapitulatif des impacts anthropiques par station, et attribution d'un état de colmatage (PM : probablement mauvais).....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 2: Taux d'infiltration caractérisant les stations.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 3: Matrice de corrélation entre les variables et les deux axes retenus.....</i>	<i>14</i>

I. Introduction

La problématique du colmatage interstitiel des cours d'eau préoccupe la communauté scientifique depuis plusieurs années déjà. En 2009, l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) développe le protocole CARHYCE (CARractérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau) chargé d'étudier la qualité biologique 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 (Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture), développe en 2010 un nouveau protocole axé exclusivement sur le colmatage interstitiel des cours d'eau. Ce protocole, appelé DATRY, vise à évaluer le colmatage d'un cours d'eau en utilisant des mesures de conductivité hydraulique, et constitue une référence actuelle en termes d'étude du colmatage des cours d'eau.

En novembre 2014, la Fédération de Pêche de Haute-Garonne et l'Association MIGADO souhaitent débiter une étude sur le colmatage du substrat des frayères à salmonidés dans la Garonne amont et ses affluents, suite à la crue centennale de 2013. Dans ce contexte, mon stage consistait en l'application des outils et des fondements du protocole DATRY à l'étude du colmatage des frayères à salmonidés afin d'en évaluer la fonctionnalité. Nous nous baserons ici sur les stations définies comme étant des références fonctionnelles afin d'évaluer la fiabilité de ce protocole appliqué dans ce nouveau contexte, ainsi que sa capacité à discriminer les différentes frayères en fonction de leur état de colmatage.

L'étude de la fonctionnalité des substrats constituant les frayères (capacité des éléments du sol à laisser passer l'eau pour assurer l'oxygénation des œufs) potentielles et actives a été réalisée par des mesures de la conductivité hydraulique (mesure de la perméabilité des éléments constituant les frayères). 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, ce type de mesures a été étendu sur l'ensemble des cours d'eau du bassin susceptibles d'être colonisés par les saumons (Pique, Neste, Garonne et Ariège). Dans ce cadre, un partenariat technique a été mis en place avec l'ONEMA (DIRSO) afin de constituer une base de données sur l'évolution des habitats du bassin.

La première partie de ce rapport rappelle les différentes pressions anthropiques exercées sur le bassin versant de la Garonne amont ainsi que leurs impacts sur les hydro systèmes. Nous verrons également comment ces impacts entraînent le colmatage des cours d'eau et les effets de ce colmatage sur les salmonidés. Une deuxième partie présente les stations de mesures ainsi que les étapes du protocole. Dans la dernière partie, nous discuterons des résultats et notamment de l'applicabilité de ce protocole au cas des frayères à salmonidés.

II. **Problématique du bassin versant de la Garonne amont**

1. Le bassin versant de la Garonne amont, un système perturbé

Le bassin de la Garonne est le bassin le plus peuplé d'Adour Garonne, avec une densité de 84 hab/km² proche de la moyenne nationale. Pour que les cours d'eau ne représentent pas une entrave au développement des activités anthropiques, ils ont fait l'objet de différents travaux d'aménagement. La partie amont du bassin versant a notamment subi des travaux de recalibrage et d'endiguement afin de réduire la fréquence et l'impact des inondations. De plus, des producteurs et fournisseurs d'électricité y ont installé différents ouvrages hydroélectriques, profitant ainsi des forts courants présents en amont. Cependant, ces travaux et infrastructures ont des conséquences directes ou indirectes sur les hydrosystèmes.

1.1. Altération de l'hydromorphologie

Le recalibrage est une opération visant à augmenter artificiellement à l'aide d'engins mécaniques la géométrie du lit mineur (multiplié par deux, trois, voire plus) de manière à augmenter le débit pouvant transiter par le chenal sans débordement lors de crue moyenne (généralement décennale). De tels travaux de surdimensionnement du lit des cours d'eau peuvent entraîner des déséquilibres écologiques sévères ; les hauteurs d'eau diminuant fortement, les températures augmentent et peuvent entraîner l'eutrophisation du tronçon concerné. Le recalibrage dénature le substrat du fond du lit ; la granulométrie est homogénéisée. Ainsi, les roches ou structures végétalisées constituant des abris disparaissent (ONEMA, 2010)

L'endiguement consiste en la mise en place de structures bétonnées (digues) sur les berges d'un cours d'eau. Ces aménagements empêchent les processus naturels d'érosion latérale des berges, ce qui augmente généralement le risque d'incision du lit mineur. Ainsi, le cours d'eau voit son potentiel biologique s'amoindrir à mesure que la diversité des habitats diminue

1.2. L'hydroélectricité, un enjeu majeur pour le bassin de la Garonne

Le bassin de la Garonne amont a servi de support au développement de l'hydroélectricité puisqu'elle reste un moyen très efficace pour répondre à la grande demande en électricité sur cette zone. En effet, ce mode de production d'énergie présente de multiples avantages ; c'est une énergie renouvelable pouvant s'adapter à la demande avec un délai de réaction très court, qui peut être également associé à d'autres usages tels que le soutien d'étiage et les écrêtements de crues (Fournier & al., s.d.). Finalement, sur le bassin versant de la Garonne, on retrouve plusieurs types d'ouvrages électriques (figure 2) comme les centrales fonctionnant au fil de l'eau, les barrages (centrales de type lac) et les centrales d'éclusées. Dès le moment où la Garonne prend sa source de le Val d'Aran, elle est impactée par plusieurs installations hydroélectriques fonctionnant ou non avec éclusées, gérées par ENDESA. La frontière entre la Garonne espagnole et française est elle-même matérialisée par la retenue d'eau de 360 milliers de m³ et de 8ha qu'est le Plan d'Arem. Les divers affluents de la Garonne sont également soumis aux ouvrages hydroélectriques d'EDF, notamment la Pique et l'Ariège. Pour la Neste d'Ôo et la Neste d'Oueil, les débits réservés sont maintenus et ces cours d'eau ne sont pas soumis aux éclusées.

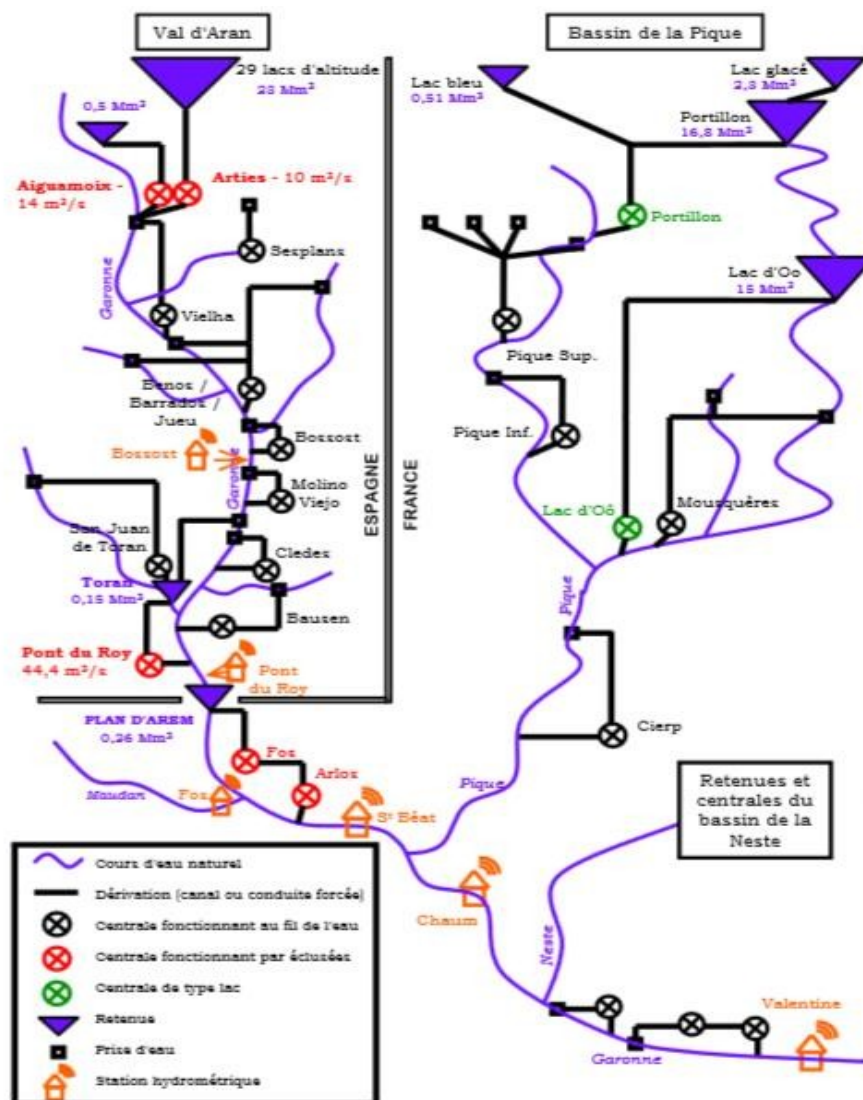


Figure 1 : Schéma récapitulatif de la localisation des différents ouvrages hydroélectriques sur le bassin versant de la Garonne amont (Eaucéa, 2007)

L'impact des différentes infrastructures hydroélectriques dépend de leur taille et de leur mode de fonctionnement. Les centrales fonctionnant au fil de l'eau n'ont pas de structures permettant le stockage de l'eau, c'est pourquoi leur impact est faible. Au contraire, les centrales de type lac et les centrales d'éclusées disposent d'une réserve en eau. Le fonctionnement par éclusées implique des lâchers d'eau pour répondre aux périodes de pointe de consommation. L'éclusée correspond donc à une variation artificielle et brusque du débit du cours d'eau et du niveau de l'eau en aval de l'usine hydroélectrique, consécutive à la mise en route ou à l'arrêt des turbines (Cazeneuve & al., 2009). De telles variations de niveau de l'eau peuvent provoquer l'exondation de frayères (Cazeneuve & al., 2009), l'entraînement des alevins vers l'aval et l'échouage de juvéniles lorsque le niveau de l'eau s'abaisse rapidement (Eaucéa, 2007). De manière générale, dès lors que l'exploitation du courant

implique la mise en place d'une retenue d'eau, différents effets sont constatés. Tout d'abord, la présence du barrage change profondément le type d'écosystème ; en amont du barrage, le système lotique devient lentique, impliquant des modifications des caractéristiques physico-chimiques et donc de la biodiversité associée (Souchon & Nicolas, 2011). Le barrage en lui-même constitue également une barrière au passage des espèces migratrices. Enfin, la présence d'un barrage bloque une fraction importante de la charge alluviale grossière de fond. Ainsi, la granulométrie utile à la fraie des salmonidés vient à manquer à l'aval d'un barrage. De plus, des opérations de vidange réalisées par les gestionnaires de barrage évacuent les sédiments fins, qui se déposeront en aval du barrage, pouvant entraîner le colmatage du substrat (Malavoi & al., 2011). Ce phénomène s'explique par l'importance du volume de sédiments fins remis en mouvement et surtout par l'abaissement trop brutal du débit à la fin de ce type de manœuvre (Braud & Alber, 2013).

2. Le colmatage du substrat des frayères à salmonidés

2.1. Définition du colmatage et réponse des salmonidés

Le colmatage minéral fait référence aux phénomènes de dépôt et d'infiltration de sédiments fins au sein du lit, ce qui provoque un remplissage des interstices du substrat et conduit à une altération de ses fonctions (Gayraud & al., 2002). Les sédiments fins sont naturellement présents dans un cours d'eau, et proviennent principalement de l'érosion du substratum rocheux à l'échelle des bassins versants. Cependant, la dynamique naturelle de formation et de transport de ces particules fines a été fortement modifiée par les activités anthropiques. En effet, l'érosion des berges due à la déforestation, la mauvaise gestion des berges, l'extraction de granulats et le fonctionnement et l'entretien des barrages ont augmenté le transfert de sédiments fins dans les cours d'eau (Descloux, 2011).

Le colmatage minéral des cours d'eau affecte différents compartiments des hydrosystèmes ; il affecte l'hyporhéos, les producteurs primaires, les macro-invertébrés benthiques mais également les communautés piscicoles. Les salmonidés sont d'ailleurs largement impactés par ce processus. Les sédiments fins peuvent par exemple colmater les branchies, diminuant ainsi l'état général des individus, les rendant plus sensibles aux pathogènes par exemple (Wood & Armitage, 1997). L'infiltration de sédiments fins dans le lit des rivières entraîne de manière générale une diminution de la qualité des habitats et notamment des frayères à salmonidés. Les espèces lithophiles comme les salmonidés utilisent naturellement le substrat grossier comme support de pontes. Si ce substrat est colmaté, les échanges d'oxygène entre l'eau et la poche d'œufs diminuent, pouvant asphyxier les œufs ou diminuer la survie des alevins émergents (Bruslé & Quignard, 2001).

2.2. Outils de mesures

Le colmatage des cours d'eau peut être évalué à partir de plusieurs méthodes basées sur différents critères. Il existe par exemple une méthode indirecte de l'évaluation du colmatage, se basant sur l'oxygénation du sédiment étudié (Annexe 1). Elle consiste en l'introduction de bâtonnets en bois (stick hypoxie) dans le sédiment, qui noircissent en cas d'anoxie. Il existe également des méthodes directes d'évaluation du colmatage, comme la méthode Archambaud. Elle se base sur des critères visuels afin d'évaluer la taille de la granulométrie ainsi que la cohésion entre les éléments (Annexe 2) (Braud & Alber, 2013). Bien que cette technique soit simple, rapide et peu coûteuse, les résultats obtenus peuvent être biaisés étant donné que la méthode est très subjective. D'autres méthodes se basent sur le prélèvement d'échantillons de sédiments, comme la méthode de carottage cryogénique. Une fois le prélèvement réalisé, l'analyse de celui-ci permet d'obtenir les caractéristiques granulométriques des sédiments, leur teneur en matière organique et leur porosité. Cependant, cette méthode est destructrice, coûteuse et chronophage (Descloux, 2011). Enfin, d'autres méthodes ont été développées, se basant

sur la conductivité hydraulique du sédiment (plus la conductivité est importante, moins le milieu est colmaté). C'est par exemple ce genre de méthode qu'utilise le protocole DATRY (décrit plus bas).

III. Matériel et méthode

1. Choix des stations de mesures et appréciation de leur fonctionnalité

Jusqu'à présent, les gestionnaires évaluaient la fonctionnalité des cours d'eau à salmonidés en se basant sur des critères d'ordre différent. En effet, la fonctionnalité d'un cours d'eau en termes de reproduction peut être évaluée par exemple à partir de données biologiques. Les résultats de pêches électriques et d'études de dynamique des populations sont de bons indicateurs de recrutement. Les cours d'eau présentant des populations dominées par des individus adultes et des faibles effectifs de juvéniles sont des écosystèmes où le déficit en recrutement est indéniable. En parallèle, il est utile de prendre en compte le contexte environnemental où évoluent les différentes populations. Certains tronçons de cours d'eau sont par exemple soumis à de fortes variations de niveaux d'eau dues aux éclusées. Dans de telles conditions, il a été notamment observé que les frayères pouvaient être exondées lorsque les débits baissent en fin de période de turbinage (Cazeneuve & al, 2009). Finalement, le niveau de colmatage du substrat à frayère est un indicateur de la survie des alevins (Julien et Bergeron, 2006). Ce colmatage est classiquement évalué à partir de critères visuels, à la manière de la méthode Archambaud. Sans aller jusqu'à l'attribution d'une note basée sur cet autre protocole, il est courant de se baser sur de tels critères afin d'estimer l'intensité du colmatage de frayères.

C'est à partir de ces critères que nous avons défini certains cours d'eau comme étant des références fonctionnelles, comme la Neste d'Ôo et la Neste d'Oueil. En effet, la Neste d'Ôo et la Neste d'Oueil sont deux cours d'eau en gestion patrimoniale, et pour lesquels de récentes études ont démontré que les frayères à salmonidés y sont présentes en grande densité (E.CO.G.E.A, 2015). Au contraire, nous avons également travaillé sur des cours d'eau soumis à différentes perturbations anthropiques (éclusées, recalibrages, endiguement, débit réservé...) qui présenteraient selon nous des frayères non fonctionnelles au vu des résultats de pêches électriques d'études de peuplements piscicoles. Le tableau 1 récapitule les différentes stations étudiées et le type de perturbations auxquelles elles sont soumises (illustrées en Annexe 3).

Sur ces observations, nous avons attribué des « niveaux de colmatage ». Il existait cependant des stations pour lesquelles nous pouvions difficilement évaluer la fonctionnalité dans la mesure où elles sont perturbées par les activités hydroélectriques mais semblent présenter malgré tout un faible taux d'altération dû au colmatage.

Tableau 1 : Récapitulatif des impacts anthropiques par station, et attribution d'un état de colmatage (PM : probablement mauvais)

Cours d'eau	Stations	Eclusées	Endiguement	Recalibrage	Débit réservé	Etat de colmatage
Ariège	Crampagna	X				PM
	Varilhes (Aval pont)	X				Mauvais
	Varilhes (Aval camping)	X				Mauvais
Garonne	Amont plan	X				Bon
	Station de la	X	X	X	X	
	Douane	X	X	X	X	
	Confluence	X	X	X	X	
	Pont de Galié	X	X	X	X	PM
	Pont de Luscan	X	X	X	X	PM
Neste d'Aure	Agos	X				Mauvais
	Escalère	X				Mauvais
	La Barthe	X				Mauvais
Neste du Louron	Avajan					Bon
Neste d'Ôo	Granges					Bon
Neste	Bourg d'Oueil					Bon
Pique	Carrosserie (amont)	X	X	X		Mauvais
	Aval barrage	X			X	Mauvais
	Gorges	X			X	PM

2. Description du protocole

2.1. Matériel utilisé :

- | | |
|---|------------------|
| - Mini-piézomètre (1,7cm de diamètre et d'1,22m de hauteur) | - Masse |
| - Tige métallique | - Entonnoir d'1L |
| - Craie | - Bécher d'1L |
| - Chiffon | - Chronomètre |
| - Tube PVC gradué | - Décamètre |
| - Tête de frappe | - Téflon |

Une photo en annexe 4 illustre le matériel utilisé

2.2. Mise en œuvre :

Alors que le protocole DATRY initial prévoit des conditions précises d'application et de définition des stations, nous sommes ici uniquement limités par la présence ou non de zones correspondant à des frayères potentielles de salmonidés. Ces zones de frayères potentielles présentent des caractéristiques hydrologiques particulières ; les vitesses de courant sont assez fortes (de 30 à 80 cm/s), et la hauteur d'eau est relativement faible (20 à 40 cm). Elles sont également caractérisées par un substrat grossier dont le diamètre est compris entre 2 mm et 2 cm (Bruslé & Quignard ,2001). Concrètement, une fois que le tronçon du cours d'eau d'intérêt est défini, une prospection est nécessaire afin de repérer visuellement les frayères. En effet, le gravier nettoyé et remanié par les géniteurs apparaît comme une tache claire dans le lit des cours d'eau, et présente une partie creusée suivie d'un dôme (Plasseraud & al, 1990) (figure 3).

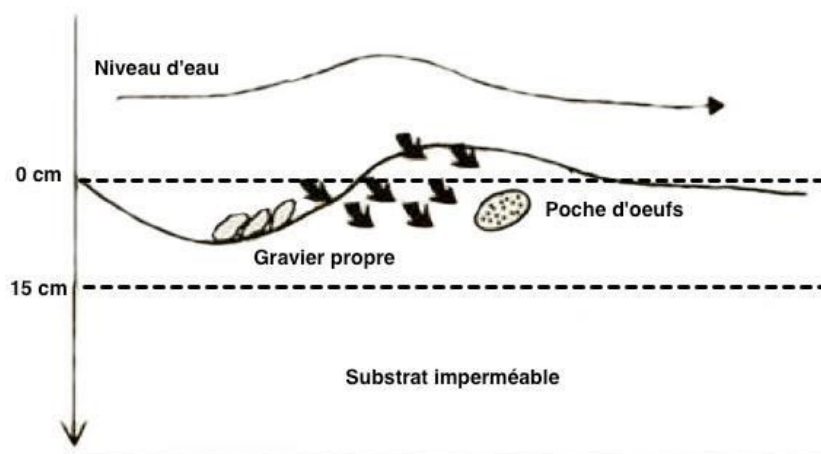


Figure 2 : Morphologie d'une frayère de salmonidés (Bruslé & Quignard, 2001)

Lorsqu'une zone potentielle de frayère est repérée, on peut alors appliquer le protocole DATRY :

- Enfoncer le mini-piézomètre préalablement muni d'une tête de frappe à l'aide de la masse. Le protocole DATRY explique que l'enfoncement du tube doit être compris entre 10 et 25 cm. Dans le cadre de l'étude des frayères à salmonidés, une telle profondeur d'enfoncement est adaptée. En effet, les truites creusent des cuvettes de 10 à 20 cm de profondeur dans le gravier (Bruslé & Quignard, 2001). Lors de l'enfoncement, faire en sorte que le tube soit le plus vertical possible afin d'éviter la formation d'une zone modifiée par les pressions mécaniques autour du tube. Une fois l'enfoncement effectué, réaliser les mesures suivantes :

- 1 **Hauteur d'eau à l'extérieur du tube (en cm)** à l'aide du tube PVC gradué, notée **hext**
- 2 **Hauteur d'eau dans le tube (en cm)** notée **hint**. Pour ce faire, enfoncer la tige métallique préalablement enduite de craie dans le mini-piézomètre. Une fois cette tige retirée, la hauteur d'eau intérieure sera visible par la limite matérialisée par la craie mouillée.
- 3 **La vitesse d'infiltration (en s)** notée **Dt**. Pour ce faire, positionner l'entonnoir à l'extrémité supérieure du mini-piézomètre. S'assurer qu'il n'existe pas d'espace entre le mini- piézomètre et l'entonnoir. Si ce n'est pas le cas, étanchéiser en utilisant le téflon prévu à cet effet. Prélever 1L d'eau grâce au bécher. Verser ce litre dans l'entonnoir tout en maintenant le robinet fermé. Déclencher le chronomètre à l'ouverture du robinet et l'arrêter lorsque le niveau de l'eau atteint le fond de l'entonnoir. S'il n'y a pas d'infiltration après 2 minutes, noter « +120s ».
- 4 **La distance à la rive (en m)** droite, ou gauche selon le cas
- 5 **La granulométrie** au point de mesure selon l'échelle suivante :

Nom de la classe granulométrique	Classes de tailles (diamètre en mm)	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

6 **La vitesse de courant (en m/s)** selon trois classes ; <0,2 / 0,2-0,5 / >0,5

7 **Renseigner le faciès** (Radiers, Plat Courant, Mouille) au point de mesure.

- Le protocole DATRY détermine la position et le nombre de points de mesures avec précision (20 points de mesures selon des modèles de transects sélectionnés aléatoirement). Cependant, il ne s'agit plus ici de réaliser un transect le long d'un cours d'eau mais de mesurer la conductivité hydraulique sur la surface représentée par les graviers remaniés. Dans cette étude, nous avons donc tenté de réaliser le plus de mesures possibles sur une même frayère, en les espaçant d'au moins 30 cm.

2.3. Calcul de la conductivité hydraulique :

L'ensemble du dispositif expérimental ainsi que les différentes mesures réalisées au droit d'un point d'échantillonnage sont présentés dans la figure 4 ci-dessous.

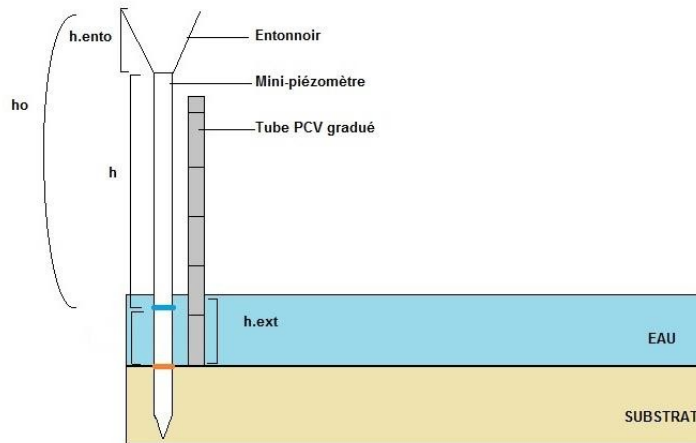


Figure 3 : Dispositif expérimental et mesures réalisées sur chaque point de mesure de conductivité hydraulique

Soit :

- hpiézo, la notation correspondant à la hauteur du mini-piézomètre
- hento, la hauteur de l'entonnoir (ici 15cm)
- Dpiézo, le diamètre du mini-piézomètre (ici 1,7cm)
- h, la hauteur d'air à l'intérieur du tube telle que : $h = h_{piézo} - h_{ent}$
- ho, la hauteur d'air que parcourt le litre d'eau dans le tube, telle que : $h_o = h + h_{ent}$

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_0) utiles au calcul de la conductivité hydraulique (notée K , en cm/s) selon la formule suivante :

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

IV. Résultats :

1. Données obtenues

En appliquant ce protocole, nous sommes parvenus à réaliser 130 mesures sur 19 stations. La répartition des mesures en fonction des stations est présentée en annexe 5. Sur certaines stations prospectées, aucune mesure n'a pu être réalisée étant donné l'absence de zone potentielle de frayère à salmonidés. Seules les stations comportant au moins une mesure seront prises en compte pour la suite de l'analyse.

2. Analyses graphiques et recherche d'indicateurs pertinents

2.1. Tests préliminaires sur la distribution de la variable « conductivité hydraulique » (K)

Avant de réaliser des tests statistiques, il est utile d'analyser la distribution de la variable d'intérêt, qui est ici la conductivité hydraulique. Un test de Shapiro-Wilk a permis ici de montrer que cette variable ne suit pas une loi normale ($w = 0.85914$, $p\text{-value} = 8.843 \times 10^{-10}$). De plus, la taille des effectifs étant relativement petite (entre 5 et 12 mesures par station), les tests utilisés devront être non paramétriques, ou bien prendre en compte la distribution non normale de cette variable.

Il est également important de noter que les échantillons ne sont pas appariés, autrement dit, à chaque point de mesure ne correspond qu'une seule valeur de conductivité hydraulique. Les mesures réalisées sur le terrain sont indépendantes entre stations.

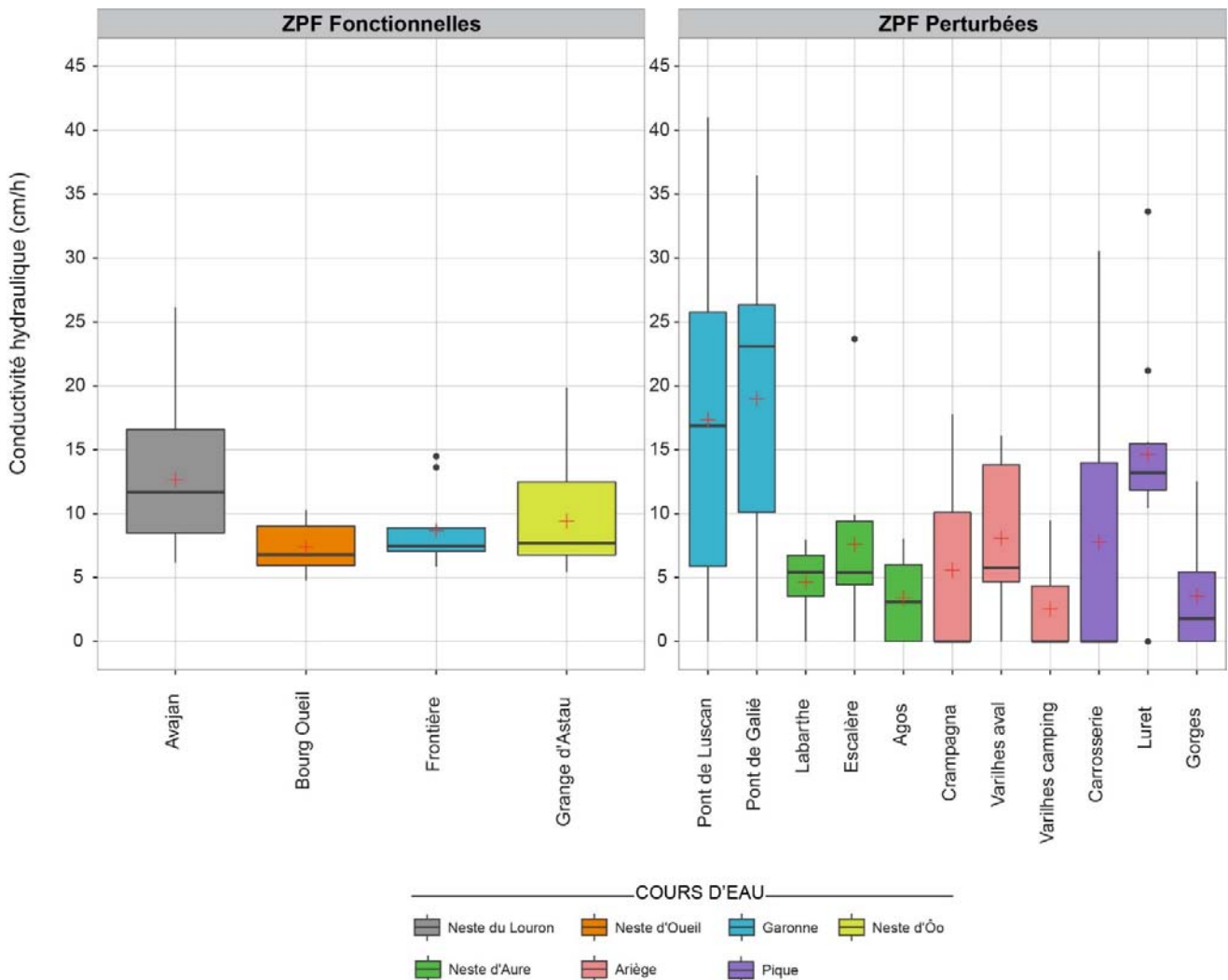


Figure 4 : Conductivité hydraulique (cm/h) mesurée pour chaque station. Les boîtes à moustaches sont réparties selon les deux groupes de ZPF (zones potentielles de frayères) définis à dire d'expert.

2.2. La proportion d'infiltration ; un indicateur de fonctionnalité des frayères

Une représentation des données grâce à des boîtes à moustaches (ou box plots) permet une première analyse visuelle (figure 5 ci-dessus). A la vue de ce graphique il est notable que seules 4 stations ne possèdent pas de valeurs nulles de conductivité hydraulique (caractérisant des points dits sans infiltration). Ces stations sont celles d'Avajan, Bourg Oueil, Frontière et Grange d'Astau, et correspondent à des sites définis à dire d'expert comme présentant des ZPF (zones potentielles de frayères) fonctionnelles. Ces mêmes 4 stations semblent également posséder une faible variabilité de la conductivité hydraulique autour de la moyenne ainsi que des valeurs globalement comprises entre 5 et 12 cm/h. Au contraire, les stations définies à dire d'expert comme étant perturbées présentent toutes au moins une valeur nulle de conductivité hydraulique ainsi qu'une forte variabilité des valeurs autour des moyennes.

La présence de points de mesures sans infiltration étant une variable remarquable, il semble intéressant de calculer le taux d'infiltration de chaque station, défini comme étant le pourcentage de points de mesures présentant une valeur de conductivité hydraulique positive non nulle. Le tableau 2 ci-dessous présente les valeurs obtenues à l'issue de ce calcul. Ce taux est égal à 100 % pour les stations de référence et varie de 36 à 90% pour les autres (cf. Tableau 1). Il est donc notable que le taux d'infiltration est différent entre le groupe des stations de référence et celui des perturbées. Cette différence est confirmée statistiquement par un test de Wilcoxon (P-value=0.004546).

Tableau 2: Taux d'infiltration caractérisant les stations

	Stations	Taux d'infiltration (%)
<i>Stations définies à dire d'expert comme étant fonctionnelles</i>	Avajan	100
	Bourg d'Oueil	100
	Frontière	100
	Grange d'Astau	100
<i>Stations définies à dire d'expert comme étant perturbées</i>	Luret	90
	Pont de Galié	90
	Escalère	89
	Pont de Luscan	80
	Varilhes aval	80
	Labarthe	75
	Agos	60
	Gorges	50
	Crampagna	40
	Carrosserie	36
	Varilhes Camping	33

Il est alors possible de représenter graphiquement ce taux d'infiltration en fonction de l'écart-type qui est ici un indicateur de dispersion des valeurs autour de la moyenne (figure 6). Sur ce graphique on retrouve les 4 stations ne possédant pas de valeurs nulles regroupées en haut du graphique (en vert sur la figure 6). Notons que ces stations présentent des écart-types relativement faibles au regard de l'ensemble des valeurs obtenues.

De plus, l'écart type apporte des informations complémentaires dans la mesure où il semble discriminer les stations définies à dire d'expert comme étant perturbées. En effet, il est possible de distinguer deux tendances au sein des stations dites « perturbées », qui présentent dans ce cas une proportion d'infiltration strictement inférieure à 100% : certaines stations ont de faibles écart-types avec des valeurs de conductivité faiblement dispersées autour de la valeur moyenne (en orange sur la figure 6) alors que d'autres présentent une forte variabilité des valeurs (stations grisées sur la figure 6).

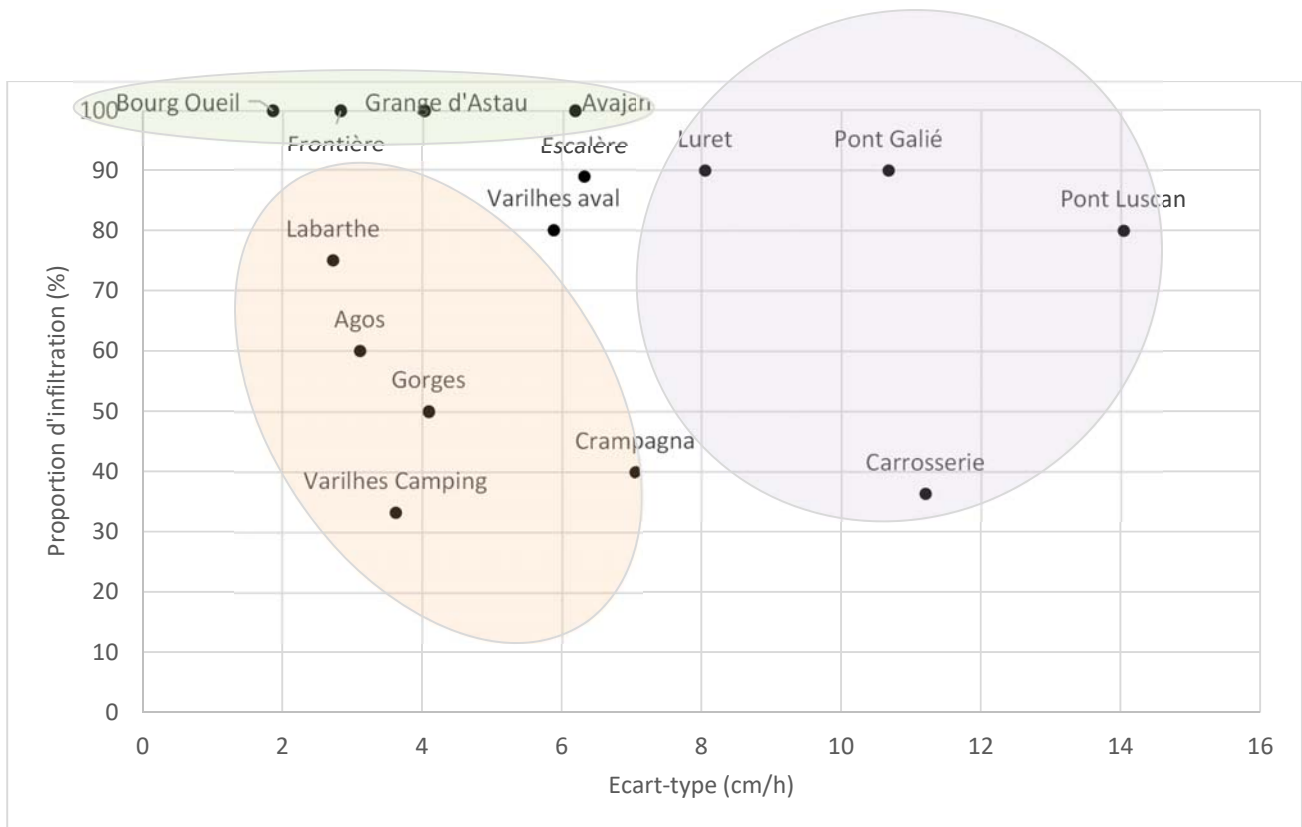


Figure 5 : Proportion de points de mesures présentant une infiltration pour chaque station en fonction de l'écart type (cm/h)

3. Analyses multivariées : Analyse en Composante Principale (ACP)

Afin de prendre en compte plusieurs caractéristiques dans la comparaison des stations, une analyse en composante principale (ACP) a été effectuée. Les variables prises en compte pour chaque station sont les suivantes : écart-type, 1er quartile, 3ème quartile, proportion d'infiltration et médiane. Ces variables ont été choisies suite aux analyses graphiques réalisées précédemment, dans le but de représenter au mieux la répartition des valeurs et les différentes tendances décrites.

L'ACP est ici réalisée sur deux axes, portant respectivement 66.8 et 28% de l'information totale (94,8% au total). L'analyse de la matrice des corrélations présentée dans le tableau 3 ci-dessous indique que la médiane, le premier et troisième quartile sont davantage représentés sur l'axe 1. L'écart-type est bien représenté sur l'axe 2 alors que la proportion d'infiltration est représentée de la même façon sur les deux axes.

Tableau 3: Matrice de corrélation entre les variables et les deux axes retenus

	Axe 1	Axe 2
Ecart-Type	-0,58	-0,79
1er quartile	-0,88	0,39
3 ème Quartile	-0,9	-0,4
Proportion d'infiltration	-0,7	0,68
Médiane	-0,96	0,01

Les figures 7 A et B ci-dessous consistent respectivement en une projection des différentes stations sur le plan décrit par les deux axes utilisés dans l'ACP. Dans la figure 7B, les stations de l'étude sont matérialisées par leur caractère fonctionnel ou perturbé défini à dire d'expert.

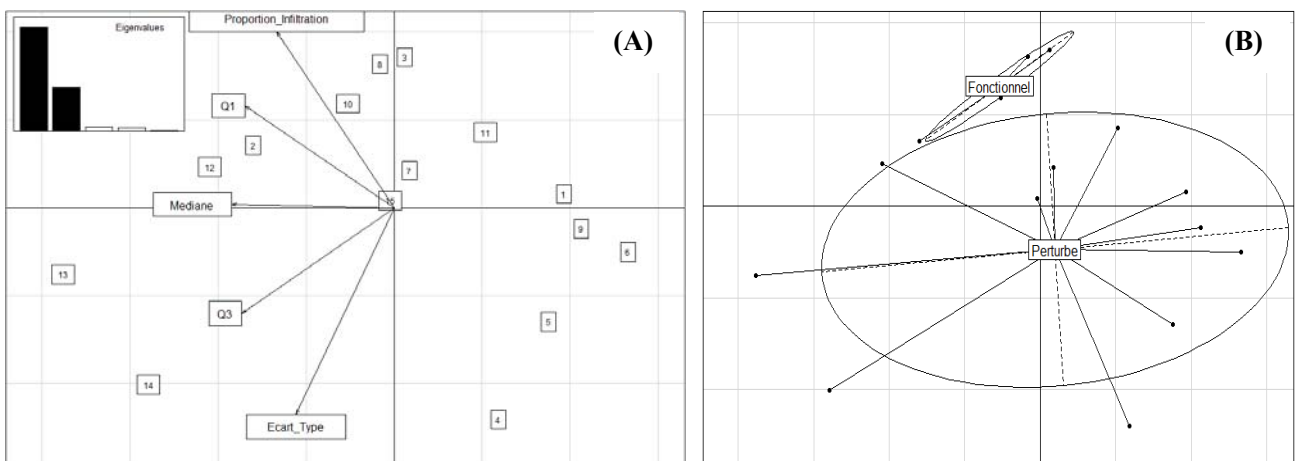


Figure 6 : Projection des stations de l'étude sur le plan défini par les deux axes utilisés dans l'ACP. En A sont présentées les différentes variables retenues dans l'analyse ainsi que les stations. En B, les ellipses matérialisent les deux groupes définis à dire d'expert. Avec ; 1 : Agos ; 2 :Avajan ; 3 : Bourg d'Oueil ; 4 : Carrosserie ; 5 : Crampagna ; 6 : Varilhes Camping ; 7 : Escalère ; 8 : Frontière ; 9 : Gorges ; 10 : Grange d'Astau ; 11 : Labarthe ; 12 : Luret ; 13 : Pont de Galié ; 14 : Pont de Luscan ; 15 : Varilhes aval

Rappelons que l'axe 1 (horizontal) constitue un gradient d'augmentation vers la gauche des valeurs des médianes de conductivité hydraulique caractérisant les stations. L'axe 2 (vertical) quant à lui représente un gradient d'augmentation des proportions d'infiltration et de diminution des écarts-types vers le haut.

On retrouve dans ces représentations graphiques de l'ACP les stations dites de références regroupées en haut du graphique, signe que celles-ci se caractérisent et se distinguent des autres stations de l'étude par leur pourcentage élevé de points présentant une infiltration ainsi que par de faibles écarts-types. L'axe 2 semble donc présenter des indicateurs pouvant potentiellement permettre de distinguer les stations dites fonctionnelles des perturbées. En revanche, bien que les indicateurs portés par l'axe 1 (médiane essentiellement) ne permettent pas de distinguer le caractère fonctionnel d'une station, ils semblent permettre de caractériser les stations perturbées entre elles.

V. Discussion

Au vu des résultats obtenus, il semble que le protocole DATRY puisse être un outil applicable à l'étude du colmatage des frayères à salmonidés. Il a permis dans cette étude de discriminer les « stations références », tout en leur associant d'autres stations que nous pensions être peu colmatées. Le fait que les groupes obtenus après application de ce protocole rejoignent les groupes définis au dire d'expert semble confirmer que cette méthode distingue les stations colmatées des frayères fonctionnelles.

Il est également important de préciser que les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur que celles publiées par l'Onema dans son rapport sur le protocole DATRY (Datry & Donon, 2010). Par exemple, eux-mêmes ont obtenu des valeurs de conductivité hydraulique comprises entre 5 et 10 cm/h pour leurs cours d'eau non colmatés. Ceci semble montrer que les frayères constituent un substrat sur lequel ce genre de protocole est applicable. Autrement dit, appliquer ce protocole aux frayères à salmonidés ne semble pas impliquer de modification profonde du dit protocole.

Cette étude a également montré les limites de l'évaluation du colmatage selon le « dire d'expert » dans la mesure où il permet d'analyser plus finement la fonctionnalité des frayères. Bien que ces stations soient soumises à des perturbations, nos analyses de leur état général de colmatage, basées sur des critères visuels, nous avaient amenés à sous-estimer leur niveau d'altération. L'évaluation du colmatage à l'aide de critères visuels seuls ne semble pas détecter des niveaux de perturbations plus fins (comme le colmatage sans cohésion).

Finalement, l'interprétation des données suggère que ce protocole soit applicable aux frayères à salmonidés, bien qu'il soit essentiel de prendre en compte le contexte général de la station de mesures. C'est notamment le cas pour des stations se situant directement en aval d'une perturbation. Bien que le protocole les définisse finalement comme étant non colmatées, nous ne pouvons être sûrs qu'elles soient fonctionnelles pour autant. Autrement dit, de grandes valeurs de conductivité hydraulique peuvent également être le reflet d'une grande instabilité du substrat due au fonctionnement d'un barrage par exemple, dépassant une mobilité acceptable pour les poissons.

VI. Conclusions

1. Analyse des données

D'une manière générale cette analyse montre que les stations considérées comme fonctionnelles partagent les caractéristiques suivantes : absence de valeurs nulles, absence de valeurs hautes supérieures à 20, valeurs regroupées globalement comprise entre 5 et 12 centimètres par heure. En ce qui concerne les stations considérées comme perturbées aucune tendance générique n'a pu être mise en évidence. La diversité observée est caractérisée par un nombre de valeurs nulles et/ou valeurs supérieures à 20 plus ou moins important. Ces deux critères semblent être caractéristiques des stations perturbées.

L'analyse en composante principale a fait apparaître que les variables écart-type, médiane et fréquence de valeurs nulles permettent de bien discriminer l'ensemble du jeu de données. Ces variables sont donc des critères intéressants pour juger de l'état de perturbation d'une station. En intégrant les connaissances à dire d'expert, la variabilité des données et les valeurs nulles sont deux éléments qui semblent répondre au questionnement du gestionnaire quant à l'état de perturbation de la reproduction des salmonidés sur la station. Pour tester statistiquement cette hypothèse, un effort d'échantillonnage plus conséquent par station devrait être effectué (20 points / stations), bien que les surfaces de frayères potentielles soient parfois insuffisantes.

Afin de confirmer ces premières observations et affiner les critères permettant de juger de l'état d'une station, une analyse identique sur un jeu de données plus important doit être effectuée. Un suivi saisonnier et interannuel pourrait permettre de mettre en évidence les cycles de colmatage et décolmatage. Les suivis d'indicateurs de réussite de l'incubation par survie des œufs et de reproduction par capture d'alevins à l'émergence pourraient donner des indications de fonctionnalité des milieux. Ils permettraient de vérifier que cet outil discrimine efficacement les zones de frayères fonctionnelles et non fonctionnelles.

2. Perspectives du protocole

L'objectif premier de cette étude était d'étudier la capacité du protocole DATRY à évaluer l'état de colmatage des frayères à salmonidés. Les résultats généraux obtenus ont permis d'entrevoir une possibilité quant à la généralisation de l'utilisation de ce protocole face à une telle problématique. De plus, cette étude a permis à la Fédération de Pêche de Haute Garonne d'obtenir une évaluation de l'état de colmatage des frayères à salmonidés sur le bassin versant de la Garonne amont. Ces données s'inscrivent dans une démarche de gestion des populations de salmonidés dans cette zone, et peuvent être considérées comme un outil supplémentaire d'aide à la décision concernant les actions de gestion à mettre en œuvre. En effet, la Fédération de Pêche met en place différentes actions de soutien des populations de truites par exemple, en alevinant certains cours d'eau. Cette démarche tend à pallier un problème de fonctionnalité de frayères, et pourrait s'avérer inutile dans les cours d'eau où les frayères sont peu colmatées. De plus, les cours d'eau présentant des frayères fonctionnelles pourraient faire l'objet d'aménagements d'habitats de juvéniles si besoin est, afin d'optimiser la survie des alevins émergents. Ce protocole permet également un suivi général de la présence de zones de frayères potentielles, notamment après la crue centennale de 2013. En effet, des stations comme « pont de Galié » ou « pont de Luscan » étaient dépourvues de frayères en 2013 suite à cette crue qui avait remobilisé toute la granulométrie intermédiaire utile à la reproduction des salmonidés. On a donc assisté ici à la réapparition de frayères, deux ans après la crue. C'est pourquoi ce protocole doit continuer à être appliqué, afin de suivre l'évolution du colmatage des frayères déjà présentes, mais également pour suivre les stations aujourd'hui dépourvues de frayères (comme c'est le cas sur la Garonne, en aval du plan d'Arem).

VII. Bibliographie

- BRAUD S. and ALBER A.**, 2013. Synthèses des connaissances et proposition d'une méthode d'évaluation de l'impact des ouvrages transversaux sur la continuité sédimentaire des cours d'eau. Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Centre. 76 p.
- BRUSLÉ J. and QUIGNARD J.P.**, 2001. Biologie des poissons d'eau douce européens. Editions TEC & DOC, Collection Aquaculture – Pisciculture 620p
- CAZENEUVE L., LAGARRIGUE T., LASCAUX J.M.**; 2009. Etude de l'impact écologique des éclusées sur la rivière Dordogne. Analyse des pressions exercées par les phénomènes d'éclusées sur les écosystèmes de la rivière Dordogne et proposition de solutions susceptibles de les atténuer. *Rapport final de la phase 2*. 53p
- DATRY T., DONON E.**, 2010. Colmatage interstitiel des cours d'eau : Développement d'un protocole de mesure standardisé sur les réseaux de contrôle de surveillance français. Rapport final. 106p.
- DESCLOUX S.**, 2011. Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : méthode d'estimation et effets sur la composition et la structure des communautés d'invertébrés benthiques et hyporhéiques. Agricultural sciences. Université Claude Bernard - Lyon I.
- EAUCÉA**, 2007. Etude de la sensibilité de la Garonne amont aux éclusées, Phase 1 & 2, Diagnostic.
- E.CO.G.E.A pour EDF**, 2015. Suivi de la reproduction des truites sur les cours d'eau des Pyrénées centrales au cours de l'automne hiver 2014/2015, 11p
- FOURNIER M., MESQUITA J., MANGIN A.**, s.d. Evaluation scientifique de l'impact de l'hydroélectricité dans le Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoise.
- 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. Bull. Fr. Pêche Piscic. 365/366 : 339-355
- JULIEN H.P., & BERGERON N.E.**, 2006. Effect of fine sediment infiltration during the incubation period on Atlantic salmon (*Salmo salar*) embryo survival. *Hydrobiologia* 563:61-71
- MALAVOI J.R, GARNIER C.C, LANDON N., RECKING A, BARAN P.**, 2011. Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. Onema. 216p
- ONEMA, 2010**. La restauration des cours d'eau : Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie
- PLASSERAUD O., LIM P., BELAUD A.**, 1990. Observations préliminaires sur le fonctionnement des zones de frayères de la truite commune (*Salmo trutta fario*) dans deux cours d'eau ariégeois (le Salat et l'Alet). Bulletin français de la pêche et de la pisciculture, 318 : 72-81
- SOUCHON Y., NICOLAS V.**, 2011. Barrages et seuils : principaux impacts environnementaux. Rapport final. 28p.
- WOOD P. J. & ARMITAGE P. D.**, 1997. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental management*, 21(2), 203-217.

VIII. Annexes

Annexe 1 : Méthode des bâtonnets pour l'évaluation du colmatage des cours d'eau (Braud & Alber, 2013)

Objectifs : Aucune méthode fiable, reproductible et facile à mettre en œuvre à grande échelle et en routine n'est vraiment disponible pour évaluer l'intensité du colmatage du lit des cours d'eau. Toutefois, il est possible de l'appréhender en évaluant la profondeur d'oxygénation du substrat via le développement de bactéries sulforéductrices sur des supports en bois (Marmonier et al., 2004).

Protocole :

Cette méthode consiste à implanter dans les sédiments des substrats artificiels en bois pour une durée d'un mois. Au contact des zones désoxygénées, ces substrats artificiels changent de couleur, passant du brun jaunâtre au noir. Ce changement de couleur est lié aux activités microbiennes stimulées par le substrat carboné. La couleur noire est sans doute attribuable à un dépôt de sels de manganèse. Cette méthode offre donc une mesure fonctionnelle des conditions d'oxygénation du milieu.

Les substrats artificiels sont des carrelets de bois clair (pin, sapin) d'une longueur de 30 cm.

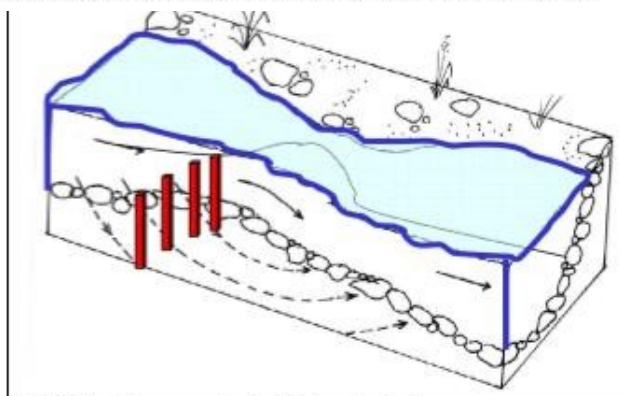
Après avoir repéré 2 radiers (ou plats courants) sur la station, 4 bâtonnets sont installés sur la tête de chacun d'entre eux.

Au moins 1 mois après l'installation de ces dispositifs expérimentaux, les opérateurs récupèrent le dispositif. Lors de leur retrait, la longueur entre le sommet du piquet (partie affleurant avec l'eau) et la première zone de noircissement (même ponctuelle) d'une des 4 faces est mesurée en cm (précision millimétrique) avec un double-décimètre.

Le passage de la couleur claire au noir donne la profondeur d'alternance oxygéné-hypoxique (ex : substrat totalement colmaté = zone de noircissement au sommet du bâton = 0.0 cm et substrat totalement poreux = aucune zone de noircissement = 30,0 cm).



III. 54: Bâtonnets utilisés pour évaluer le colmatage © Onema



III. 55: Positionnement des bâtonnets © Onema



III. 56: Analyse des profondeurs d'alternance oxygéné-hypoxique © Onema

Annexe 2 : Méthode d'Archambaud pour l'évaluation de l'intensité du colmatage minéral des cours d'eau (Braud & Alber, 2013).

L'Irstea d'Aix-en-Provence (Archambaud et al., 2005) a développé une méthode d'évaluation visuelle sommaire mais reproductible du colmatage de surface et du niveau d'enchâssement des éléments grossiers du substrat. Elle consiste à soulever un de ces éléments et à estimer sa facilité d'extraction ainsi que la densité du nuage de fines qui est libéré lors de cette extraction.

Cinq classes de colmatage ont été définies selon ces deux critères :

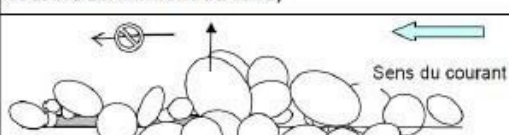

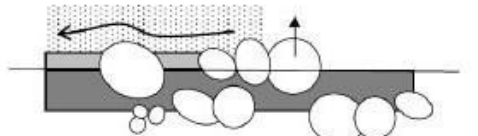
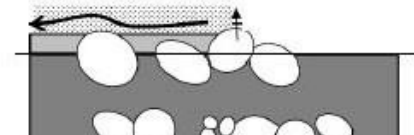
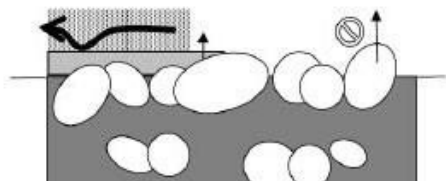
Code 1 : Si les éléments se soulèvent facilement, nous attribuons la classe 1. Les éléments sont posés sur la sous-couche granulométrique et ne génèrent pas de nuage de limon lorsqu'ils sont soulevés.

Code 2 : Si les éléments se soulèvent plus difficilement, nous attribuons la classe 2 en fonction de la quantité de limon qui se libère dans l'eau sous les éléments. Le nuage généré est peu dense, c'est-à-dire que la couche de surface est collée par une couche de limon légèrement colmatante, qui lie les éléments entre eux.

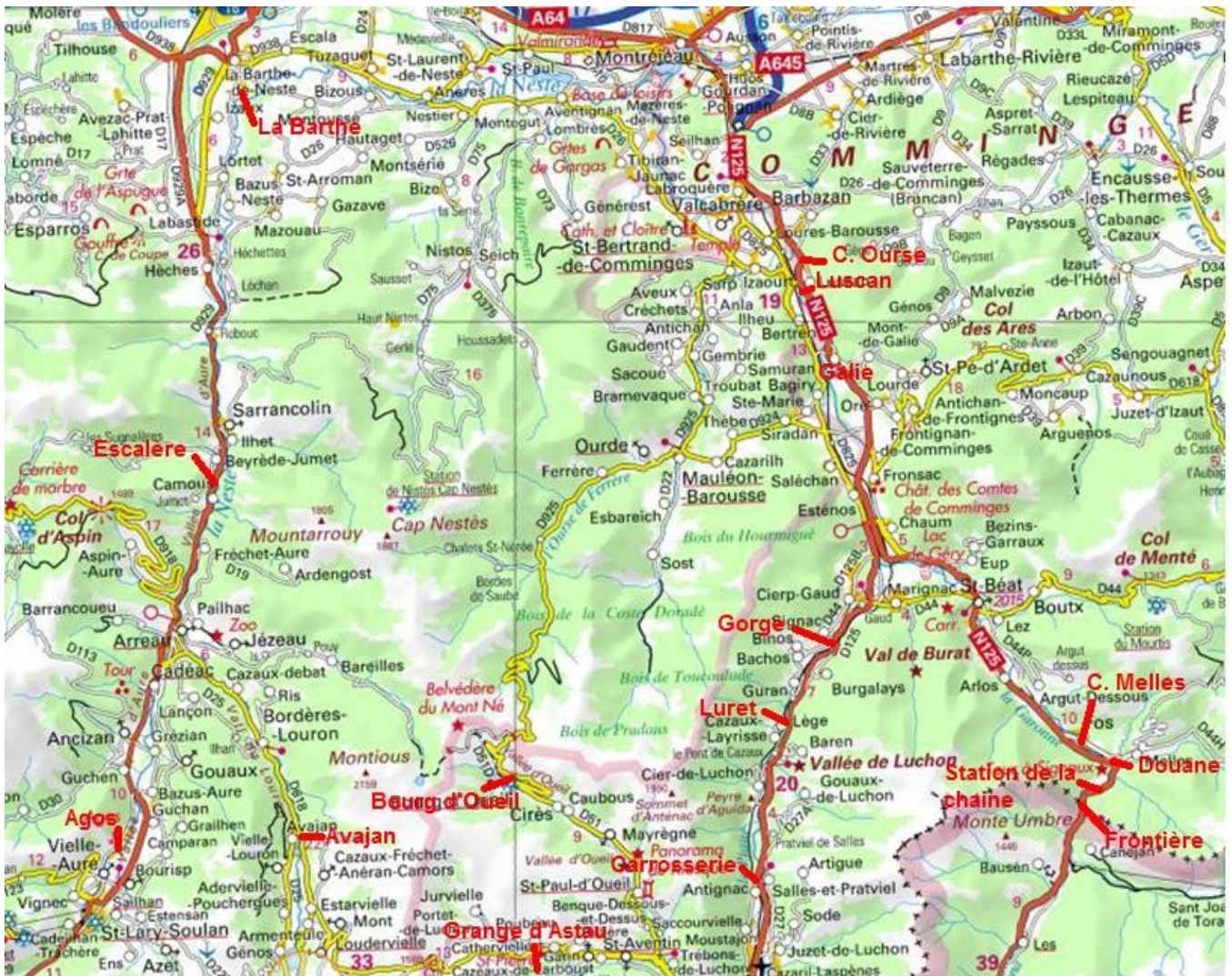
Code 3 : Si les éléments se soulèvent avec un nuage de limon assez épais, nous attribuons la classe 3. Les éléments sont très enchâssés.

Code 4 : Si les éléments se soulèvent difficilement, nous attribuons la classe 4. Le nuage de limon produit est très dense. La structure est enchâssée dans une sous-couche très compacte dont l'emprise est forte sur les éléments.

Code 5 : Si les éléments ne se soulèvent pas ou très difficilement (structure cimentée ou sous forme d'un dallage) nous attribuons la classe 5. C'est le cas lorsque la granulométrie est recouverte par une épaisse couche de limon.

Code	Représentation du degré de colmatage (lorsque l'on soulève un élément du fond)
1	 <p>Les éléments sont posés. On peut observer soit un dépôt fin de limons peu colmatant (cas de gauche) soit aucun dépôt (cas de droite)</p>
2	 <p>Les éléments sont collés par une sous-couche de limon (avec ou sans limon en dépôt). Le nuage de limon qui se soulève est peu dense.</p>
3	 <p>Les éléments sont légèrement enchâssés et provoquent un nuage de limon assez épais lorsqu'ils se désolidarisent de la sous-couche.</p>
4	 <p>Les éléments sont très enchâssés et provoquent un nuage épais de limons (accentué ou non par un dépôt de limons)</p>
5	 <p>Les éléments sont recouverts de limons et provoquent un nuage très épais (cas de gauche) ou bien sont entièrement cimentés dans la sous-couche et impossibles à soulever (cas de droite)</p>

Annexe 3 : Localisation des stations sur les cours d'eau étudiés (source : carte IGN)



Annexe 4 : Matériel utilisé pour l'application du protocole DATRY (Datry & Donon, 2010)



Annexe 5 : Tableau récapitulatif de la distribution des points de mesures selon les stations et les cours d'eau

Cours d'eau	Stations	Nombre de mesures
Ariège	Crampagna	5
	Varilhes (Aval pont)	5
	Varilhes (Amont camping)	6
Garonne	Pont de Galié	10
	Pont de Luscan	10
	Frontière	10
	Confluence Ourse	0
	Douane	0
	Confluence Melles	0
	Station de la chaîne	0
Neste d'Aure	Agos	5
	Escalère	9
	Labarthe	8
Neste du Louron	Avajan	9
Neste d'Ôo	Granges d'Astau	12
Neste d'Oueil	Bourg d'Oueil	10
Pique	Carrosserie (amont Luret)	11
	Gorges passage à niveau (aval Luret)	10
	Luret	10
TOTAL =	19	130

Dans ce tableau sont surlignées en bleu les stations pour lesquelles aucune mesure n'a pu être réalisée car aucune zone potentielle de frayère n'a été remarquée.

Annexe 6 : Résultats du test de comparaisons deux à deux des stations (test de Dunn)

Col Mean- Row Mean	Agos	Avajan	Bourg Oueil	Carrosseri e	Crampagn a	Varilhe camping	Escalere	Frontière	Gorges	Grange d'Astau	Labarthe	Luret	Pont Gal	Pont Lus
Avajan	0.0106													
Bourg	0.0146	0.4211												
Carrosserie	0.4661	0.0029	0.0043											
Crampagna	0.2590	0.0012	0.0017	0.1996										
Varilhes	0.3045	0.0012	0.0018	0.2418	0.4350									
Escalère	0.3400	0.0125	0.0179	0.3410	0.1260	0.1529								
Frontière	0.0328	0.2731	0.3389	0.0138	0.0048	0.0053	0.0451							
Gorges	0.2620	0.0002	0.0003	0.1830	0.4566	0.4696	0.1038	0.0012						
Grange	0.0050	0.4231	0.3397	0.0007	0.0004	0.0004	0.0048	0.1984	0.0000					
Labarthe	0.4791	0.0049	0.0070	0.4863	0.2208	0.2648	0.3402	0.0195	0.2122	0.0016				
Luret	0.0032	0.3271	0.2531	0.0005	0.0003	0.0002	0.0030	0.1400	0.0000	0.3893	0.0010			
Pont Galié	0.1686	0.0490	0.0674	0.1361	0.0440	0.0529	0.2600	0.1400	0.0252	0.0241	0.1480	0.0154		
Pont	0.3940	0.0066	0.0096	0.4082	0.1550	0.1881	0.4286	0.0270	0.1335	0.0021	0.4022	0.0013	0.1988	
Varilhes	0.4799	0.0123	0.0169	0.4896	0.2430	0.2864	0.3612	0.0373	0.2434	0.0059	0.4986	0.0038	0.1837	0.4165