



HAL
open science

Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval-Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2018

Yann Le Coarer, Georges Carrel, Marie-hélène Lizée, Nathalie Reynaud, Pierre Gibert, Quentin Salmon, Wilfried Lahoz, Bondu Valentin, Nathan Massez

► To cite this version:

Yann Le Coarer, Georges Carrel, Marie-hélène Lizée, Nathalie Reynaud, Pierre Gibert, et al.. Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval-Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2018. IRSTEA, RECOVER, Aix-en-Provence. 2018, pp.79. hal-04625817

HAL Id: hal-04625817

<https://hal.inrae.fr/hal-04625817>

Submitted on 26 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License



UR : RECOVER/FRESHCO

Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet

Campagne 2018



DECEMBRE 2018
LE COARER Yann
CARREL Georges
LIZEE Marie-Hélène
CENTRE D'AIX-EN-PROVENCE
3275 Route Cézanne
CS 40061
13182 Aix-en-Provence Cedex 5

(Commande EDF-CIH : N° 5500 – 431037027)

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture



Etude réalisée avec le
concours financier de l'agence
de l'eau RM&C



Contributeurs Irstea ayant participé à l'étude

REYNAUD Nathalie
GIBERT Pierre
SALMON Quentin
LAHOZ Wilfried
BONDU Valentin
MASSEZ Nathan

Référence :

Commande EDF-CIH : N° 5500 – 431037027

Pour citer ce rapport : LE COARER Y., CARREL G. & LIZEE M.-H., 2018. Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval-Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2018. UR RECOVER, Irstea, Aix-en-Provence.

SOMMAIRE

Résumé.....	4
Tables des illustrations.....	5
1. Introduction	12
2. Description et analyse morphodynamique.....	12
2.1. Compte-rendu des actions menées sur le terrain	12
2.2. Les relevés topographiques	13
2.3. Les mesures de vitesses	13
2.4. Les jaugeages	13
2.5. Cartographie du lit mouillé	13
2.6. Caractérisation hydrologique	15
2.7. Analyse morpho-hydraulique des ambiances	17
2.8. Hauteur de rugosité du substrat.....	21
3. Peuplements piscicoles estivaux en Basse Durance	30
3.1. Caractéristiques générales des peuplements.....	30
3.2. Comparaisons inter-annuelles et inter-stationnelles	34
4. Modélisation des densités de poissons en relation avec l'hydrologie	40
4.1. présentation de la démarche.....	40
4.2. méthodes de calcul des hrr.....	41
4.3. Relations entre densités de poissons et chroniques HRR	44
5. Discussion et perspectives	57
6. Sites web	58
7. Références bibliographiques.....	58
8. Rapports	59
9. Annexes.....	62

RESUME

Cette étude a été effectuée en collaboration avec l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) dans le cadre du suivi des peuplements piscicoles de la Basse-Durance et de l'impact des opérations de restitutions de l'ouvrage EDF de Mallemort. Ce rapport présente les résultats obtenus en 2018.

Contrairement aux années précédentes, les données ont été obtenues sur la seule station du Réseau Hydrobiologique et Piscicole : " Pont de Cadenet / la Roque d'Anthéron " située à l'amont de Mallemort. La station située à l'aval de Mallemort " Cheval-Blanc/Orgon " n'a pas pu être échantillonnée en raison des conditions de débits existantes lors de nos deux tentatives d'interventions programmées.

Le 17 juillet 2018, le débit de la Durance au Pont de Cadenet était de $12,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Les poissons ont été capturés par pêche électrique dans 19 ambiances supposées représentatives des faciès existants. Les ambiances ont fait l'objet de relevés topographiques, de mesures de vitesses et de profondeurs, d'une description quantitative de la hauteur de rugosité du substrat et qualitative des habitats. Les hydrosignatures des ambiances ont été calculées. Un modèle reliant les chroniques de débits de 2006 à 2018 aux densités piscicoles observées est présenté. Ce modèle utilise les statistiques de retrait de la bordure du lit mouillé lors des baisses de débit associées aux risques d'échouage des poissons.

Mots-clés : écohydraulique, Durance, modélisation habitat poisson, hydrosignature, hauteur de rugosité, éclusées

TABLES DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES FIGURES

- Figure 1 : Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des sections de jaugeage.....14
- Figure 2 : Chronique 2003-2018 des débits à Meyrargues (Pont de Pertuis, HYDRO X320001). Les épisodes de crues printanières (caractères rouges) sont à l'origine de fortes perturbations en période de reproduction. Le trait horizontal (rouge) indique la valeur seuil estimée du débit permettant un remaniement morphologique du chenal..... 15
- Figure 3 : Chroniques de débits ($m^3.s^{-1}$) intéressant le tronçon étudié. Seules les surverses à Cadarache affectent la station du Pont de Cadenet. Période comprise entre octobre 2015 et septembre 2018. En rouge, le débit minimal estimé pour le remaniement du chenal..16
- Figure 4 : Chroniques de matières en suspension (MES $g.l^{-1}$) intéressant le secteur aval du tronçon étudié soumis au régime des surverses de Mallemort. Période comprise entre octobre 2015 et septembre 2018.....16
- Figure 5 : Hydrosignatures en aires et en volumes, totales et moyennes, pour les stations de « Pont de Cadenet » en 2018 17
- Figure 6 : Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2017 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes annuelles en aires des ambiances..... 20
- Figure 7 : Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2017 à partir de la moyenne des hydrosignatures totales en aires des ambiances (pondérations des ambiances par leur aires pour chaque campagne). 20
- Figure 8 : Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité (k) et de paramètres caractéristiques des éléments granulométriques grossiers. La profondeur maximale autour de l'élément granulométrique choisi permet par différence avec la hauteur d'eau relevée au-dessus de l'élément d'obtenir la valeur de k . La deuxième ligne représente les situations particulières dans lesquelles, soit la hauteur de rugosité égale la profondeur, soit la hauteur de l'élément dépasse la surface de l'eau et entraîne une valeur de k supérieure à la profondeur maximale, soit la taille du substrat nécessite l'adoption de valeurs arbitraires. C'est le cas de la roche mère ou d'une dalle dont les dimensions dépassent celles de l'ambiance ($k = 0$), de substrats fins comme les limons ($k = 0.001$ cm), les sables ($k = 0.1$ cm), et de tous les éléments granulométriques susceptibles de générer des valeurs comprises entre 0.1 et 1 cm comme les graviers ($k = 0.5$ cm). La troisième ligne montre d'éventuelles mesures complémentaires relatives au substrat telles que les diamètres des éléments grossiers, ou l'épaisseur d'un dépôt limoneux par exemple. 23
- Figure 9 : Densités des hauteurs de rugosité (k) par station et par période (2004-2007 et 2008-2017). Les deux périodes se distinguent par une hydrologie contrastée. Un régime marqué par de fortes crues a régulièrement remodelé le lit de la Durance dans les deux stations après 2007. Les paramètres sont calculés après exclusion (1) des valeurs associées aux dépôts limoneux ($k < 0.001$), (2) des valeurs supérieures à 25.6 cm afin

d'éliminer les hauteurs de rugosité associées à des enrochements de rives ou des éléments granulométriques grossiers d'origine anthropique et (3) les valeurs de l'année 2016 (voir remarque dans le texte).....	28
Figure 10 - Illustration photographique des changements morfo-dynamiques survenus entre les campagnes 2017 et 2018 sur la station « Pont de Cadenet ».....	29
Figure 11 : Évolution interannuelle des effectifs totaux moyens (n/50 m ²) dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval-Blanc (vert).....	31
Figure 12 : Évolution interannuelle des richesses spécifiques dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval-Blanc (vert).	31
Figure 13 : Évolution interannuelle de la richesse spécifique au Pont de Cadenet (en bleu) et à Cheval-Blanc/Orgon (en vert). Les boîtes à moustaches prennent en compte les résultats globaux des ambiances de chaque station. La richesse spécifique maximale théorique (ensemble des deux stations) est de 29 espèces.	34
Figure 14 : Évolution interannuelle des effectifs corrigés au Pont de Cadenet (en bleu) et à Cheval-Blanc/Orgon (en vert). Les boîtes à moustaches prennent en compte les résultats globaux des ambiances de chaque station.....	34
Figure 15 - Distribution en classes de taille (longueur totale en mm) de toutes les espèces capturées entre 2004 et 2018 sur le secteur « Pont de Cadenet ». Les encarts colorés identifient les deux premiers regroupements par taille utilisés constituer trois taxons chez onze espèces abondantes (1 - LT < 60 mm, 2 – 59 < LT < 120 mm, 3 – LT > 119 mm).....	35
Figure 16 : ACP Normée inter-années. Coordonnées factorielles des années sur les deux premiers axes.....	36
Figure 17 : ACP Normée inter-années. Coordonnées factorielles des taxons sur les deux premiers axes.....	37
Figure 18 : Évolution des moyennes des densités et des densités moyennes des poissons (n/m ²) dans les ambiances sans abris, tous chenaux A & B, chenal principal C & D. Seuls les individus d'une taille supérieure à 60 mm sont pris en compte.....	39
Figure 19 : Schéma théorique du déplacement de la bordure du lit mouillé pour une baisse de débit de Q ₁ à Q ₂ dans le cas a) d'un chenal unique et b) d'un tronçon avec 2 bras parallèles.....	42
Figure 20 : Ajustement d'un polynôme de degré 3 entre le gradient de débit nécessaire pour respecter un HRR de 100 cm.h ⁻¹ et le débit.....	43
Figure 21 - Représentation des vitesses de retrait du lit mouillé, au cours de l'année correspondant aux pêches de 2008, calculées à partir des débits mesurés au Pont de Cadenet (en bleu) et à Mallemort (en vert). Les pointillés correspondent au seuil de retrait de 100 cm.h ⁻¹ et la partie surlignée au jaune correspond aux mois de « printemps » (avril-mai-juin).	46
Figure 22 - Densités d'individus caractérisant les peuplements piscicoles échantillonnés par station (CA, Cadenet, en bleu ; et CB, Cheval-Blanc, en vert) et par an. A gauche, sont représentées les valeurs brutes, à droite, les valeurs LOG-transformées.	47
Figure 23 - Relation entre densités moyennes annuelles des « grands » individus (LT≥60mm) capturés dans le chenal principal hors-abris (nombre d'individus/m ²), et cumul annuel des	

HRR (en cm/h) calculés pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).....	48
Figure 24 - Régression de la densité moyenne annuelle des « grands » individus ($LT \geq 60\text{mm}$) capturés dans le chenal principal hors-abris (LOG_{10} [nombre d'individus/ m^2]) en fonction du cumul annuel des HRR (LOG_{10} [cm/h]), calculés pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).....	49
Figure 25 - Densité des individus dont $LT \geq 60\text{mm}$: confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du cumul annuel des vitesses de retrait du lit mouillé (HRR_cumu) pour la station « Pont de Cadenet ». Les densités sont LOG-transformées.	49
Figure 26 - Densité des individus dont $LT \geq 60\text{mm}$: confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du cumul annuel des vitesses de retrait du lit mouillé (HRR_cumu) pour la station « Cheval-Blanc ». Les densités sont LOG-transformées.	50
Figure 27 - Densité des individus dont $LT \geq 60\text{mm}$: confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du cumul annuel des vitesses de retrait du lit mouillé (HRR_cumu) pour la station « Pont de Cadenet » (en bleu) et la station « Cheval-Blanc » (en vert) (valeurs brutes).	50
Figure 28 - Régression de la densité moyenne annuelle des « grands » individus ($LT \geq 60\text{mm}$) capturés dans le chenal principal hors-abris (LOG_{10} [nombre d'individus/ m^2]) en fonction du cumul printanier des HRR (LOG_{10} [cm/h]), calculés pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).	51
Figure 29 - Régression de la densité moyenne annuelle totale, individus capturés sur la totalité des ambiances (LOG_{10} [nombre d'individus/ m^2]) en fonction du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).	52
Figure 30 - Densité moyenne totale : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet ». Les densités sont LOG-transformées.	52
Figure 31 - Densité moyenne totale : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour la station « Cheval-Blanc ». Les densités sont LOG-transformées.....	53
Figure 32 - Densité moyenne totale : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet » (en bleu) et la station « Cheval-Blanc » (en vert) (valeurs brutes).....	53
Figure 33 - Régression de la densité moyenne annuelle de juvéniles et/ou petits individus ($LT \leq 59\text{mm}$) capturés sur la totalité des ambiances (LOG_{10} [nombre d'individus/ m^2]) en fonction du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).....	54

Figure 34 - Densité des juvéniles et/ou petits individus : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet ». Les densités sont LOG-transformées.54

Figure 35 - Densité des juvéniles et/ou petits individus : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour la station « Cheval-Blanc ». Les densités sont LOG-transformées.55

Figure 36 - Densité des juvéniles et/ou petits individus : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet » (en bleu) et la station « Cheval-Blanc » (en vert) (valeurs brutes).55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Jaugeage de la station de pêche	13
Tableau II : Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches au Pont de Cadenet.....	18
Tableau III : Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches à Cheval-Blanc/Orgon.....	19
Tableau IV : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) mesurées dans les ambiances de pêche des deux stations. Les mesures réalisées en 2016 ont été exclues des statistiques globales. Voir la remarque dans le texte.....	25
Tableau V : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) des deux stations après exclusion des valeurs supérieures à 25.6 cm généralement associées à la présence d'éléments granulométriques d'origine anthropique tels que des enrochements. Les mesures réalisées en 2016 ont été exclues des statistiques globales. Voir la remarque dans le texte.	26
Tableau VI : Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations. Les mesures réalisées en 2016 ont été exclues des statistiques globales. Voir la remarque dans le texte.	27
Tableau VII : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k en cm) mesurées dans les deux stations. Deux périodes d'observation sont identifiées à la suite de régimes hydrologiques contrastés. Dans cette comparaison, les éléments fins (limons) et très grossiers (blocs) ne sont pas pris en compte. L'année 2016 a été exclue de ces calculs.	27
Tableau VIII : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) mesurées dans les ambiances de pêche de la station « Pont de Cadenet » en 2017 et 2018, globales puis après exclusion des valeurs de k supérieures à 25.6 cm généralement associées à la présence d'éléments granulométriques d'origine anthropique tels que des enrochements.....	29
Tableau IX : Liste et effectifs bruts des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval-Blanc/Orgon.....	32
Tableau X : Liste et abondances relatives des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval-Blanc/Orgon.	33
Tableau XI : Effectifs et nombre d'ambiances par année et par station. Seules les ambiances sans abris sont considérées. I. Effectifs et nombre d'ambiances hors abris, II. Effectifs des individus d'une taille LT > 60 mm pour les ambiances hors abris, III. Effectifs des individus d'une taille LT > 60mm pour les ambiances hors abris échantillonnées exclusivement dans le chenal principal. Le total de toutes les années est présenté ainsi que le pourcentage retenu par rapport au cas I.....	38
Tableau XII : Caractéristiques physiques du tronçon T2 de Basse Durance après analyses de simulations hydrauliques TELEMAC 2D (LE COARER et al., 2016).....	42
Tableau XIII : Unités et coefficients utilisés pour le calcul des HRR	44
Tableau XIV - Définitions des 12 métriques caractérisant l'intensité et la fréquence du HRR au cours de l'année (colonne de gauche), et au cours du printemps (colonne de droite en	

jaune), selon que l'on s'intéresse à des vitesses de retrait supérieures à 0 cm.h⁻¹ (métriques 1 à 3, 7 à 9), ou dépassant le seuil 100cm.h⁻¹ (métriques 4 à 6, 10 à 12).....45

Tableau XV - Résultats des 12 métriques calculées à partir du HRR (=vitesse de retrait du lit mouillé) de l'année correspondant aux pêches de 2008 pour les stations du Pont de Cadenet et de Cheval-Blanc.....46

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Plan de situation des stations de pêche AFB à « Bonpas », Sage Environnement à « Cavailon », AFB & Irstea à « Cheval Blanc/Orgon » et « Pont de Cadenet ».....	63
ANNEXE II : Plan de situation de la station « Pont de Cadenet »	64
ANNEXE III : Chroniques des surverses (débits journaliers en m ³ .s-1) à Cadarache et à Mallemort entre septembre 2005 et septembre 2018. Chronique de MES (g.l-1) à Mallemort. Localisation temporelle des pêches réalisées à « Pont de Cadenet » et « Cheval-Blanc/Orgon ».....	65
ANNEXE IV : Comparaison des Hydrosignatures en aires moyennes des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc/Orgon (CB) obtenues de 2004 à 2018. Valeurs numériques arrondies à l'unité.	66
ANNEXE V : Comparaison des Hydrosignatures en aires totales des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc/Orgon (CB) obtenues de 2004 à 2018. Valeurs numériques arrondies à l'unité.	67
ANNEXE VI : Résultats des pêches électriques effectuées sur la station « Pont de Cadenet » .	68
ANNEXE VII : Effectifs corrigés (N/50 m ²) moyens par année des espèces capturées sur les stations « Pont de Cadenet » et « Cheval Blanc ».....	71
ANNEXE VIII : Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations « Pont de Cadenet » et « Cheval Blanc ».....	73
ANNEXE IX : Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2017 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (A) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (B) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour tous les chenaux	75
ANNEXE X : Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2017 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (D) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour les chenaux principaux.	76
Annexe XI - Densités d'individus (N/m ²) caractérisant le peuplement piscicole échantillonné par station (Pont de Cadenet, CA, en bleu et Cheval-Blanc, CB, en vert) et par année.....	77
Annexe XII - Résultats des régressions linéaires, coefficient de détermination (R ²) et p-valeur associée (p-value). Pour chacune des trois variables-réponses les meilleurs prédicteurs sont colorés en orange (R ² les plus forts), les R ² des régressions non significatives sont colorés en gris foncé, et les résultats colorés en gris clair correspondent aux régressions présentant des problèmes d'hétéroscédasticité ou d'autocorrélation des résidus.	78

1. INTRODUCTION

Cette étude est effectuée dans le cadre du suivi des impacts sur les populations piscicoles des opérations de restitutions de l'ouvrage EDF de Mallemort. Ces travaux, réalisés pour le maître d'ouvrage EDF, sont menés conjointement par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et par l'équipe FRESHCO (Unité de Recherche RECOVER, Irstea Aix-en-Provence).

Ce rapport complète celui de l'AFB relatif à l'échantillonnage annuel du peuplement piscicole des stations de « Cheval-Blanc/Orgon » et « Pont de Cadenet/la Roque d'Anthéron ». Ces stations, ainsi que celle de « Bonpas », appartiennent au Réseau National de Bassin de suivi pluriannuel des peuplements piscicoles de la Basse Durance. L'échantillonnage est réalisé par les équipes de l'AFB. La localisation des stations est présentée en ANNEXE I et ANNEXE II. Pour les particularités du protocole Irstea et les explications concernant le modèle habitats/poissons 5M7, le lecteur se reportera au rapport de LE COARER et al., 2000.

2. DESCRIPTION ET ANALYSE MORPHODYNAMIQUE

2.1. COMPTE-RENDU DES ACTIONS MENEES SUR LE TERRAIN

Depuis 2017, à la suite de changements géomorphologiques du chenal consécutifs aux crues de novembre 2016, nous avons notablement déplacé la station « Pont de Cadenet » vers l'aval. Ce choix a été fait afin de réaliser un échantillonnage représentatif de la variété des situations hydromorphologiques connues les années précédentes, et satisfaire les contraintes logistiques liées à l'intervention. Le repérage préliminaire des ambiances de la station de « Pont de Cadenet » (Figure 1) a été effectué le 16 juillet 2018 avec l'AFB et les opérations de pêches électriques et de mesures physiques ont été réalisées le 17 juillet

Les mesures physiques et biologiques ont été conduites simultanément pour pallier aux incertitudes liées aux variations possibles du débit. Les ambiances de pêches sont aussi appelées "placettes" ou "Compartiments d'Attractivité Différentielle (CAD)" par l'AFB.

Le repérage et l'échantillonnage de la station de « Cheval-Blanc/Orgon » étaient initialement prévu les 16 et 18 juillet pour synchroniser les relevés des deux 2 stations et faciliter les analyses. Cependant, les débits de surverse de cette période n'ont pas permis notre intervention. Nous avons alors reprogrammé cette intervention sur Cheval Blanc avec une reconnaissance prévue le 15 octobre et des échantillonnages le lendemain. Mais le jour de la reconnaissance, nos collègues de l'AFB nous ont envoyé un mail indiquant *«EDF nous a informé qu'ils allaient lâcher ce matin 160 m3/s depuis Mallemort pour une période minimale de 12 heures du fait d'une turbidité importante et de l'impossibilité d'envoyer l'eau dans l'étang de Berre Cette opération ne pourra pas être reprogrammée cette année du fait de la date déjà avancée et de la difficulté à constituer une équipe.»*

2.2. LES RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES

Des relevés topographiques de la station « Pont de Cadenet » ont permis de repérer :

- les bordures de lit mouillé,
- les limites et points des transects de jaugeage,
- les verticales définissant le contour polygonal des ambiances de pêche,
- les verticales situées à l'intérieur des ambiances.

Les relevés ont été effectués à l'aide d'un équipement GPS/GLONASS centimétrique de marque LEICA, comportant 2 mobiles GS 16 et un pivot GS 10 et des carnets numériques de terrain CS 20. Les post-traitements ont été réalisés à l'aide du logiciel LEICA Geo Office 8.4 et des données RINEX cadencées à 30 secondes, récupérées sur le site Web du LAREG.

2.3. LES MESURES DE VITESSES

Elles ont été mesurées à l'aide de courantomètres électromagnétiques OTT MF pro.

Sur chaque verticale de mesures située sur le contour ou à l'intérieur des ambiances de pêche, trois vitesses ont été mesurées respectivement à 20 %, 40 % et 80 % de la hauteur d'eau totale. La vitesse moyenne V pour la verticale est estimée en considérant que le profil de vitesses est une fonction logarithmique de l'abscisse décrivant la hauteur d'eau par l'équation :

$$V = \frac{V_{20\%}}{4} + \frac{V_{40\%}}{2} + \frac{V_{80\%}}{4}$$

2.4. LES JAUGEAGES

Des jaugeages ont été réalisés pendant la campagne de pêche (Tableau I). Leurs localisations sont indiquées sur la Figure 1. Nous avons mesuré un débit total de 12.81 m³/s à Pont de Cadenet.

Tableau I : Jaugeage de la station de pêche

Station	Pont de Cadenet
Date	17 juillet 2018
Débit (m ³ /s)	12.81
Largeur au miroir (m)	64.72
Surface en travers (m ²)	24.75
Profondeur moyenne (m)	0.38
Vitesse moyenne (m/s)	0.52

2.5. CARTOGRAPHIE DU LIT MOUILLE

Depuis 2017, la station « Pont de Cadenet » se situe très à l'aval de tous les emplacements historiques de la chronique, à environ 3 km en aval du pont de Cadenet et 1,7 km de la station 2016. En 2018, le linéaire de chenal principal prospecté a été de 440 m.

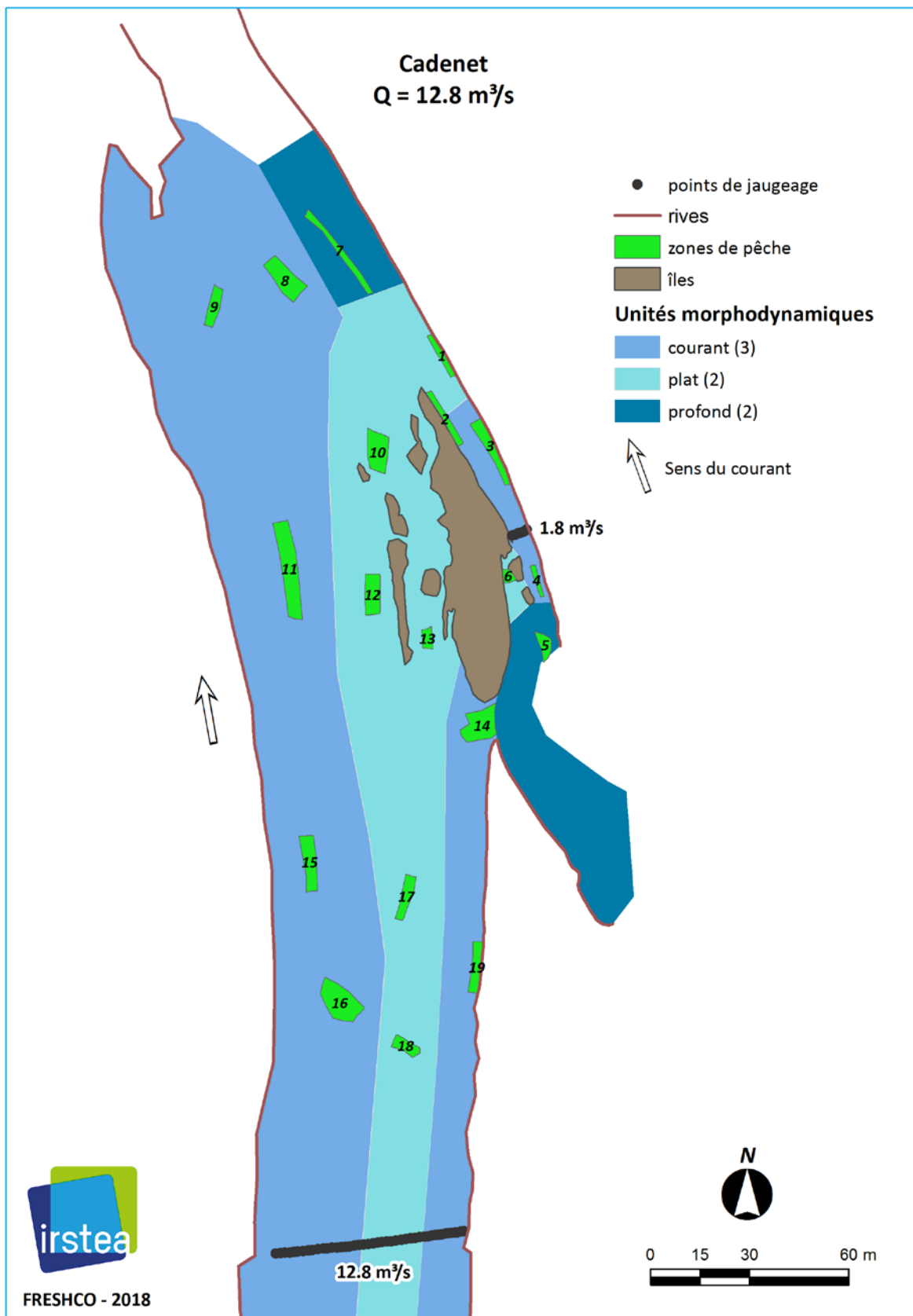


Figure 1 : Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des sections de jaugeage.

2.6. CARACTERISATION HYDROLOGIQUE

La station HYDRO (X3200010) située à Meyrargues (pont de Pertuis) enregistre les débits transitant au droit de la station « Pont de Cadenet », constitués par le débit réservé et les surverses depuis le barrage de Cadarache (Figure 2). Les augmentations de débit enregistrées entre les deux stations étudiées sont essentiellement le fait des restitutions de l'ouvrage de Mallemort.

La chronique 2003-2018 est marquée par une succession de crues morphogènes, des crues suffisamment puissantes pour une mise en mouvement de la granulométrie grossière et redessiner le lit de la rivière. Selon CHAPUIS (2012), le débit minimal nécessaire à un tel remaniement des formes a été évalué à 500 m³/s sur la Durance. En se référant à ce débit, dix-sept crues morphogènes se sont produites depuis 2003. Les derniers épisodes ayant modifié le lit de la Durance et précédé nos interventions datent de mars 2018.

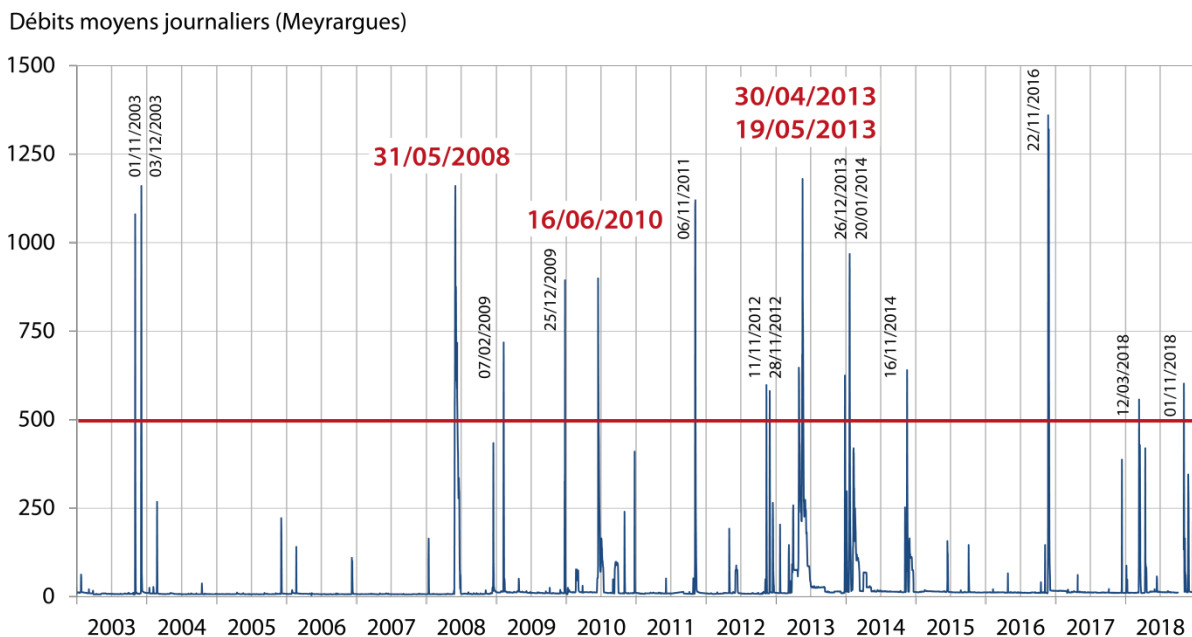


Figure 2 : Chronique 2003-2018 des débits à Meyrargues (Pont de Pertuis, HYDRO X320001). Les épisodes de crues printanières (caractères rouges) sont à l'origine de fortes perturbations en période de reproduction. Le trait horizontal (rouge) indique la valeur seuil estimée du débit permettant un remaniement morphologique du chenal.

La mise en mouvement des galets a des conséquences importantes sur les peuplements aquatiques, floristiques et faunistiques. Les poissons cyprinidés d'eau courante appartenant à la guildes des espèces lithophiles réalisent leur fraie dans les substrats grossiers des faciès rapides et peu profonds. Les œufs et les jeunes stades larvaires se développent dans les interstices du substrat. Lorsque ces crues se produisent au printemps et/ou en été (cas des années 2008, 2010 et 2013), le bouleversement du substrat survient au cours des périodes de reproduction et/ou de croissance des jeunes stades de la plupart des espèces observées sur ce tronçon. Les

conséquences négatives de ces évènements hydrologiques sont alors marquées sur le succès du recrutement des jeunes de l'année, et seront perceptibles dans le suivi pluriannuel des classes d'âge. En aval de la restitution de Mallemort, un régime de restitutions en provenance du canal usinier se rajoute aux débits réservés et aux crues en provenance de l'amont. Ce dernier apporte une instabilité quasi-permanente des conditions hydrauliques (Figure 3), ainsi que des flux sédimentaires fins dans le secteur aval de la Durance (Figure 4).

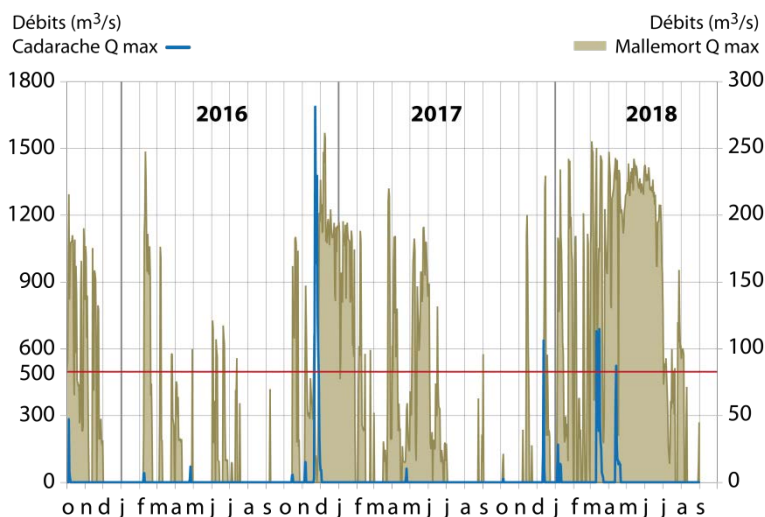


Figure 3 : Chroniques de débits ($m^3.s^{-1}$) intéressant le tronçon étudié. Seules les surverses à Cadarache affectent la station du Pont de Cadenet. Période comprise entre octobre 2015 et septembre 2018. En rouge, le débit minimal estimé pour le remaniement du chenal.

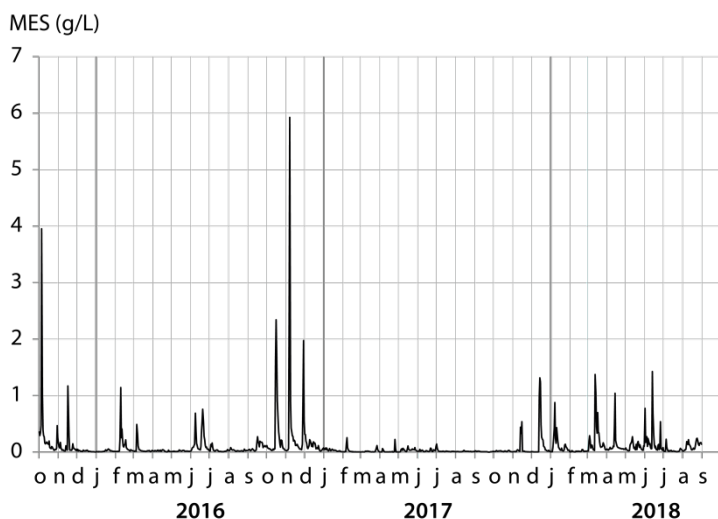


Figure 4 : Chroniques de matières en suspension (MES $g.l^{-1}$) intéressant le secteur aval du tronçon étudié soumis au régime des surverses de Mallemort. Période comprise entre octobre 2015 et septembre 2018.

Si la restructuration du lit par les crues morphogènes favorise transitoirement le nettoyage et l'augmentation de la porosité des substrats grossiers, les apports limoneux permanents réinstaurent rapidement les conditions existantes avant ces évènements hydromorphologiques structurants. L'ensemble de la chronique de 2005 à 2018 est donnée dans l'ANNEXE III.

2.7. ANALYSE MORPHO-HYDRAULIQUE DES AMBIANCES

Les ambiances ont été maillées en TIN¹ dans le plan xy, à partir des verticales situées à l'intérieur des ambiances et de celles définissant leur contour. Chaque ambiance est décomposable en éléments finis selon 3 dimensions. Ce sont des solides à 5 faces avec deux bases triangulaires situées respectivement à la surface de l'eau et au fond de la rivière, dont les sommets sont reliés entre eux par des verticales constituées des hauteurs d'eau mesurées. Comme chaque verticale est associée à une vitesse moyenne, chaque ambiance de pêche peut être caractérisée par une signature morpho-hydraulique (LE COARER et al., 2007).

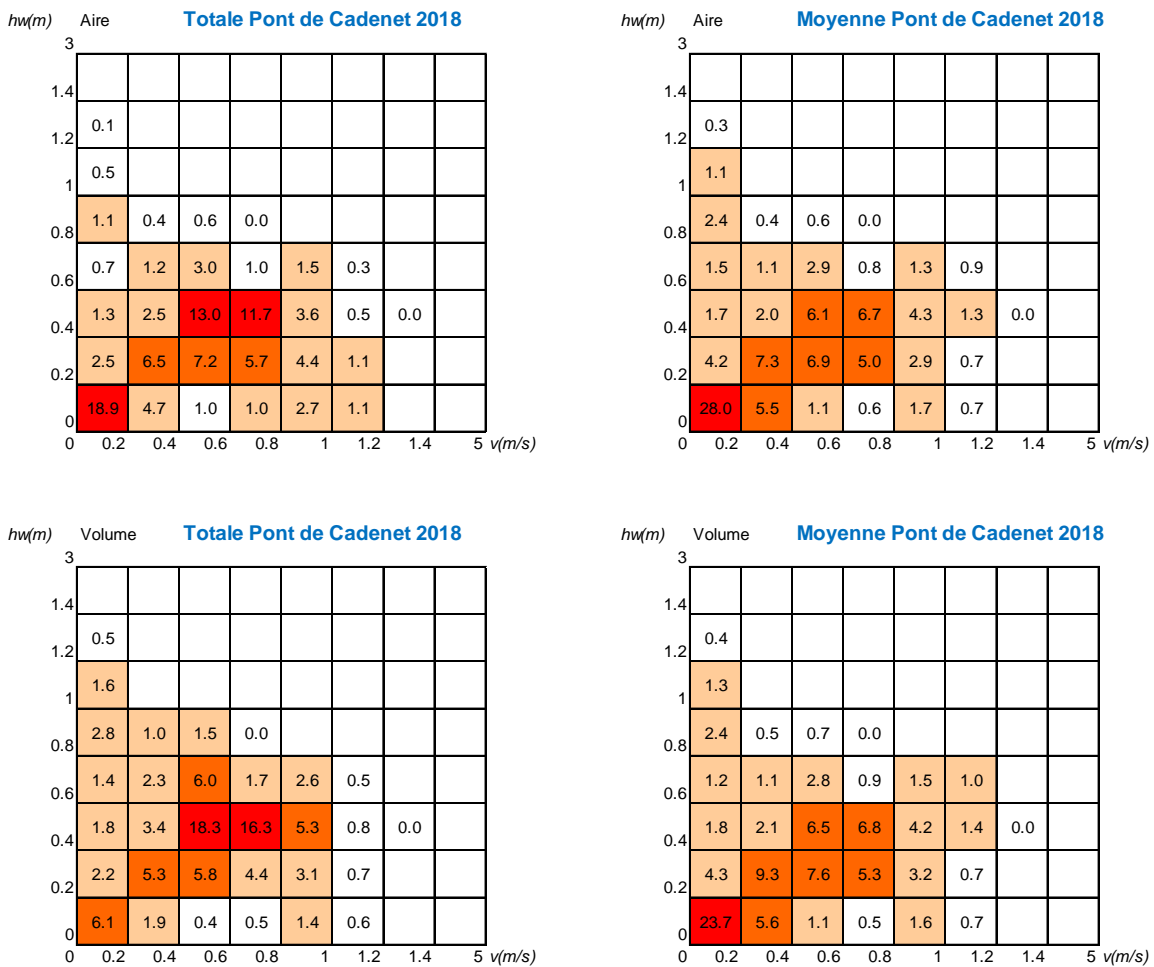


Figure 5 : Hydrosignatures en aires et en volumes, totales et moyennes, pour les stations de « Pont de Cadenet » en 2018

Cette quantification de la richesse morpho-hydraulique par le calcul des pourcentages en aires ou en volumes de classes de couples profondeur/vitesse moyenne a été effectuée en utilisant la

¹ Triangular Irregular Network : réseau de triangles irréguliers

même norme de définition des classes. Les «hydrosignatures» ont été calculées par ambiances, puis pour l'ensemble des ambiances de la station (Figure 5) en calculant soit une hydrosignature totale en regroupant les ambiances, soit la moyenne des hydrosignatures des ambiances sans tenir compte de leurs aires/volumes respectifs. Ces calculs sont effectués à l'aide de la version 3.0.34 du logiciel «HydroSignature» téléchargeable sur le site Web Irstea.

Les Tableau II et Tableau III précisent les caractéristiques morpho-hydrauliques générales des ambiances de pêches des campagnes 2004 à 2018 au Pont de Cadenet et 2004 à 2017 à Cheval-Blanc/Orgon.

Tableau II : Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches au Pont de Cadenet.

	Pont de Cadenet														
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Date	23/06	22/06	21/06	29/06	25/07	08/07	27/08	13/07	11/07	27/09	03/07	21/07	19/07	18/07	17/07
Débit (m ³ /s)	9.1	9.2	8.8	8.6	10	9.6	9.6	12	9.7	11.4	13.1	12.7	10.7	12.4	12.8
Nombre d'ambiances	14	18	19	19	16	16	17	17	18	18	20	17	17	17	19
Surface totale [m ²]	668	487	502	450	553	624	704	715	820	811	803	376	473	937	973
Volume total [m ³]	276	209	194	193	238	261	333	322	348	340	261	184	189	320	342
Hauteur moyenne [m]	0.41	0.43	0.39	0.43	0.43	0.42	0.47	0.45	0.42	0.42	0.32	0.49	0.40	0.34	0.35
Vitesse moyenne [m/s]	0.69	0.67	0.66	0.65	0.5	0.51	0.51	0.57	0.38	0.44	0.57	0.67	0.62	0.70	0.52
Froude moyen []	0.33	0.31	0.32	0.30	0.24	0.25	0.23	0.26	0.17	0.20	0.30	0.29	0.28	0.35	0.26
Hauteur maximale [m]	1.35	1.06	1.00	0.91	1.30	1.33	1.80	1.10	1.76	1.20	1.22	1.22	1.25	1.35	1.40
Vitesse maximale [m/s]	1.26	1.27	1.49	1.36	1.98	1.55	1.88	1.94	1.43	1.89	1.77	1.97	1.52	2.06	1.20

Tableau III : Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches à Cheval-Blanc/Orgon.

	Cheval-Blanc/Orgon													
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Date	23/06	21/06	20/06	28/06	24/07	07/07	26/08	12/07	12/07	18/07	31/07	22/07	20/07	19/07
Débit (m ³ /s)	11.1	14.1	12.6	15.4	13	10.1	9.8	14.6	14.0	12.6	12.8	13.1	14.1	12.3
Nombre d'ambiances	16	15	16	15	16	14	17	14	19	17	20	19	20	17
Surface totale [m ²]	1183	646	655	572	517	542	814	736	772	666	682	705	762	1031
Volume total [m ³]	415	255	282	243	191	200	362	352	270	295	254	318	303	307
Hauteur moyenne [m]	0.35	0.39	0.43	0.43	0.37	0.37	0.44	0.48	0.35	0.44	0.37	0.45	0.40	0.30
Vitesse moyenne [m/s]	0.41	0.48	0.46	0.57	0.61	0.48	0.42	0.58	0.54	0.46	0.54	0.47	0.52	0.40
Froude moyen []	0.21	0.24	0.22	0.26	0.31	0.23	0.30	0.24	0.27	0.20	0.23	0.21	0.23	0.21
Hauteur maximale [m]	1.75	1.35	1.50	1.17	1.48	1.36	1.55	1.15	0.97	1.18	1.30	1.30	1.01	1.07
Vitesse maximale [m/s]	1.28	1.23	1.18	1.55	2.07	1.89	1.44	1.70	1.77	1.45	1.51	1.75	1.53	1.47

Les ANNEXE IV (a et b) regroupent les résultats d'une comparaison des hydrosignatures totales et moyennes par stations des ambiances de pêches des années 2004 à 2018. Cet indice de comparaison HSC [$k_1=1$, $k_2=1$] (SCHARL & LE COARER, 2005) varie entre 0 et 100 ; sa valeur est de 0 pour deux hydrosignatures identiques, et de 100 pour deux hydrosignatures complètement différentes. Dans notre cas, il apparait que les hydrosignatures moyennes des deux stations par campagne sont plus proches numériquement que leurs hydrosignatures totales (statistiques globales).

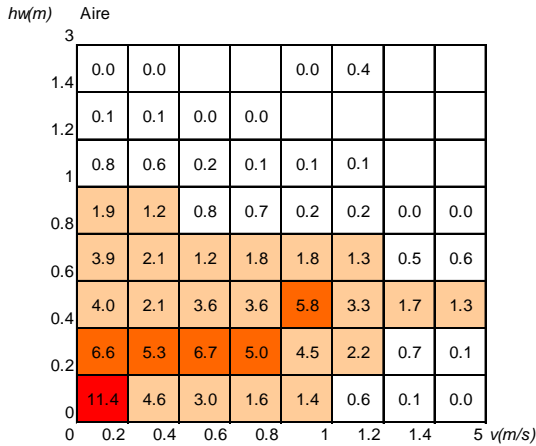
Compte-tenu des grilles de définition des hydrosignatures et des coefficients de comparaison utilisés, nous estimons que deux hydrosignatures sont proches hydrauliquement pour des valeurs inférieures à 20.

Les ANNEXE IV & ANNEXE V montrent que les disparités entre les campagnes sont fréquentes.

Pour une station donnée et à partir de la chronique, deux hydrosignatures moyennes descriptives de l'échantillonnage hydraulique sont calculables.

La première, nommée [moyenne des hydrosignatures moyennes], consiste à calculer pour chaque année une hydrosignature moyenne des ambiances, puis à faire la moyenne des résultats obtenus (Figure 6).

Cadenet Moyenne des HS Moyennes 2004-2017



Cheval Blanc- Moyenne des HS Moyennes 2004-2017

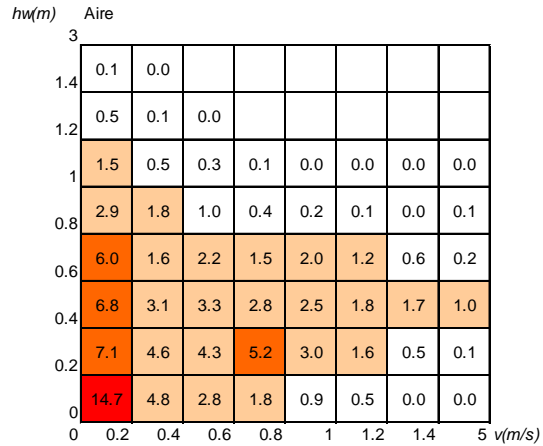
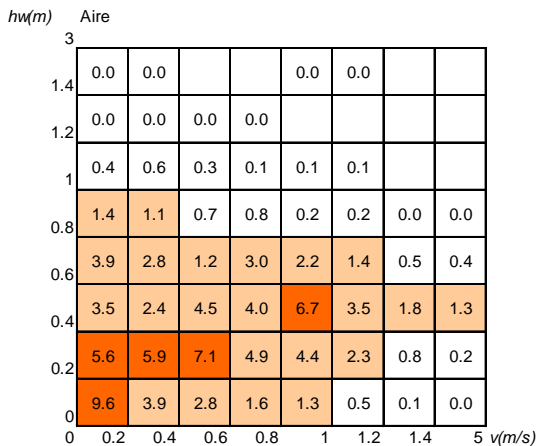


Figure 6 : Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2017 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes annuelles en aires des ambiances.

La seconde, nommée [moyenne des hydrosignatures totales], consiste à calculer pour chaque année une hydrosignature totale par regroupement en pondérant les ambiances par leur aire puis à faire la moyenne des résultats obtenus (Figure 7).

Cadenet Moyenne des HS Totales 2004-2017



Cheval Blanc- Moyenne des HS Totales 2004-2017

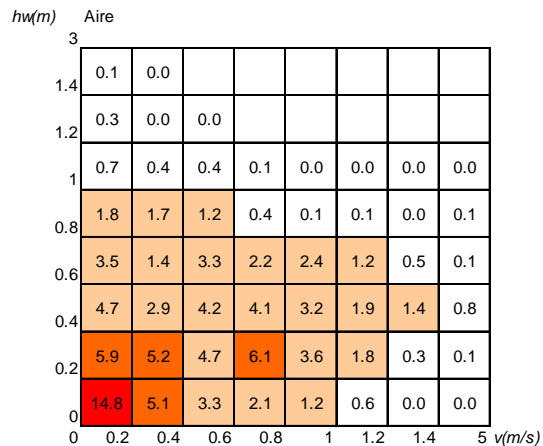


Figure 7 : Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2017 à partir de la moyenne des hydrosignatures totales en aires des ambiances (pondérations des ambiances par leur aires pour chaque campagne).

L'indice de comparaison $HSC[k_1=1, k_2=1]$ entre les signatures en aires moyennes des échantillonnages des stations traduit une bonne similarité hydraulique. Il est de :

- 11.0 pour la [moyenne des hydrosignatures moyennes],
- 8.8 pour la [moyenne des hydrosignatures totales].

L'hydraulique moyenne des ambiances de pêches par station étant très variable, les comparaisons directes des campagnes d'échantillonnages piscicoles s'avèrent difficiles. Cependant à l'échelle de la chronique, l'échantillonnage hydraulique global des stations devient comparable. Les comparaisons piscicoles à cette échelle deviennent alors plus pertinentes selon le seul critère des habitats hydrauliques inventoriés.

Intéressons-nous maintenant à la représentativité des échantillonnages en regard de la richesse hydraulique présente dans le milieu. Selon nos analyses, vu le petit nombre d'ambiances par campagne, l'hydraulique de nos échantillonnages n'est jamais représentative des tronçons. Dans le rapport de 2017, nous avons comparé l'hydrosignature moyenne de l'ensemble des ambiances échantillonnées dans la chronique (CA & CB) à des simulations Telemac 2D du lit mineur de la Basse Durance.

Les comparaisons présentaient des HSC de l'ordre de 20 et une cohérence hydraulique de fait.

Une analyse plus fine des hydrosignatures avait cependant fait apparaître quelques disparités.

- La modélisation Telemac dont la représentativité du tressage moyen reste inconnue, a montré un tressage plus important que celui de la chronique : classe hydraulique [$hw < 20$ cms-1, $v < 20$ cms-1] de 16 à 20% en aire pour les simulations contre 12 à 13% pour la chronique
- Les zones profondes (> 1 mètre) sont sous-échantillonnées dans la chronique avec une représentativité en aire de 2 à 3% contre 10 à 14% dans les simulations. Ce constat illustre les limites de la pêche à pied et induit sans doute une sous-estimation des effectifs de poissons de grandes tailles.

2.8. HAUTEUR DE RUGOSITE DU SUBSTRAT

2.8.1. Généralités

Le substrat offre à la fois un abri hydraulique contre le courant et une protection vis-à-vis d'éventuels prédateurs. Les éléments granulométriques génèrent des "espaces vitaux" caractérisés par une faible vitesse de courant, une exposition moindre à la lumière, une proximité d'accès vers les ressources alimentaires. La taille de ces espaces conditionne celle de l'occupant éventuel et leur nombre accroît le "volume total habitable". Cette notion est appréhendée par les courbes de préférences (substrat) établies pour l'évaluation des potentialités piscicoles d'un cours d'eau à partir des modèles de type micro-habitat.

Le substrat est le support des autres ressources biologiques du milieu aquatique (végétales et animales), indispensables pour l'alimentation du poisson. Il est également important qu'il ait des interstices permettant la colonisation par les macro-invertébrés, ainsi que la percolation active des eaux. Ces interstices sont également le réceptacle de la fraie des espèces lithophiles,

comprenant les Salmonidés et de nombreux Cyprinidés rhéophiles. Par conséquent, son colmatage entraîne une diminution des effectifs et de la survie de la faune aquatique.

Il importe d'avoir des descripteurs pertinents de cette composante complexe du milieu aquatique, souvent sous-évaluée ou décrite qualitativement face à des variables facilement quantifiables (hauteur d'eau, vitesse). Parmi les descripteurs du substrat, une mesure de la hauteur des éléments rugueux au-dessus du fond, la hauteur de rugosité (roughness heigth dans la terminologie anglo-saxonne) constitue une variable simple intégrant de multiples caractéristiques du substrat. Alors que la hauteur de rugosité revêt une grande importance dans les calculs hydrauliques, elle est peu utilisée par les hydrobiologistes pour la description de l'habitat physique.

Dans notre approche, cette variable a été initialement prise en tant que descripteur fonctionnel de l'habitat physique des poissons pour des cours d'eau de faible profondeur. Bien que la hauteur de rugosité ne puisse satisfaire tous les critères de quantification du substrat et de son agencement, c'est une variable d'acquisition rapide et instructive quant aux abris hydrauliques offerts par les éléments granulométriques, en particulier lorsque les autres types d'abris (ligneux, excavations sous-berge, etc., ...) sont peu nombreux. Elle peut également être une variable analytique complémentaire dans les études hydro-géomorphologiques et granulométriques d'un cours d'eau.

2.8.2. Méthode

La mesure de la hauteur de rugosité (k) est obtenue à partir d'un tasseau de bois de section carrée (32 x 32 mm) gradué en centimètres, d'une longueur de 2.2 m et renforcé à son extrémité par une pièce métallique. Un minimum de 10 mesures est réalisé par ambiance sachant que ce nombre peut augmenter avec la surface de l'ambiance. L'emplacement de chaque point est défini en se déplaçant en zigzag dans l'unité spatiale échantillonnée et en stoppant après un nombre fixé de pas. L'élément granulométrique le plus grossier rencontré sous l'extrémité du pied fait alors l'objet de la mesure. Cette contrainte implique que les faibles hauteurs de rugosité associées à une granulométrie fine et homogène (graviers, sables, limons) ne sont enregistrées que lorsque la surface des dépôts excède la taille du pied de l'opérateur. Par conséquent, la méthode sous-estime la proportion des éléments fins qui comblent les interstices entre les éléments les plus grossiers, et ne peut se substituer à des méthodes d'analyses granulométriques standardisées, ou celles visant une estimation du colmatage.

La profondeur maximale autour de l'élément est recherchée, puis notée (h_1). Une seconde valeur (h_2) prise entre le haut de l'élément et la surface de l'eau est enregistrée. La hauteur de rugosité (k) est obtenue par différence ($h_1 - h_2$). Si l'élément dépasse la surface de l'eau, sa hauteur devient la valeur recherchée k .

La mesure de k peut être complétée par une mesure (ou une mise en classe) de la taille de l'élément granulométrique (dimension de l'axe b) et également par une épaisseur des dépôts dans le cas d'éléments fins (sables, limons). En raison des limites de précision de la mesure, des valeurs prédéfinies arbitraires ont été fixées pour certaines catégories de substrat. La roche mère est considérée comme ayant une valeur $k = 0$, les limons reçoivent la valeur $k = 0.001$ cm, les sables $k = 0.1$ cm, et la valeur $k = 0.5$ cm est attribuée pour toutes les mesures susceptibles d'être comprises entre 0.1 et 1 cm. Cette dernière valeur arbitraire est enregistrée pour des substrats constitués par des graviers.

La Figure 8 permet de visualiser les éléments de base pour la quantification de cette variable et la mesure de variables granulométriques complémentaires.

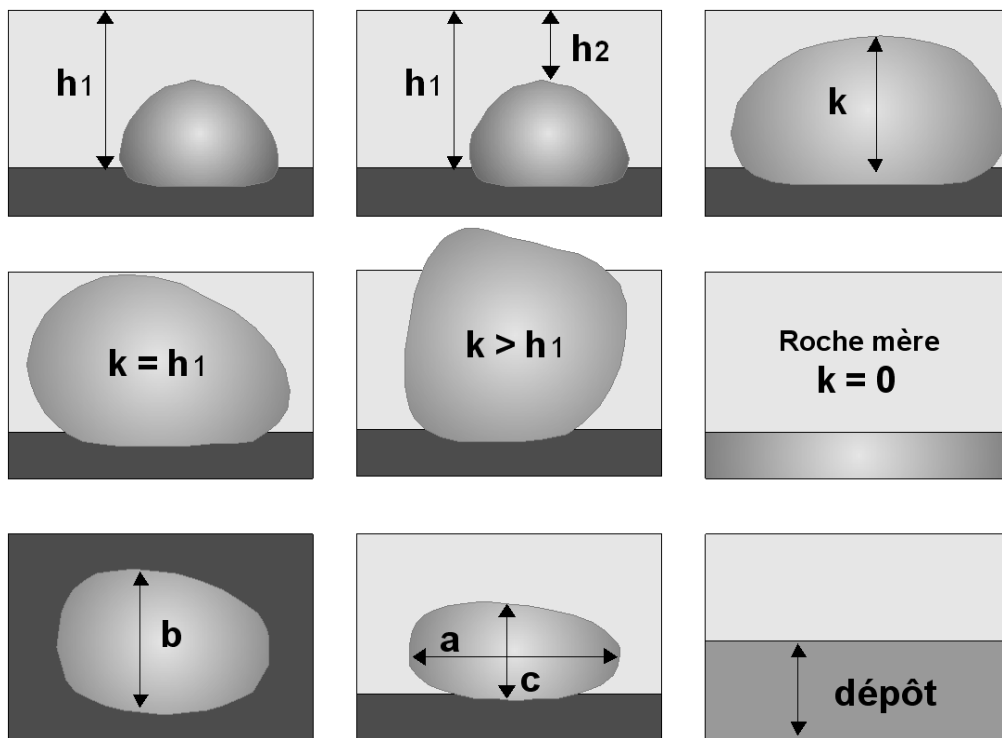


Figure 8 : Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité (k) et de paramètres caractéristiques des éléments granulométriques grossiers. La profondeur maximale autour de l'élément granulométrique choisi permet par différence avec la hauteur d'eau relevée au-dessus de l'élément d'obtenir la valeur de k . La deuxième ligne représente les situations particulières dans lesquelles, soit la hauteur de rugosité égale la profondeur, soit la hauteur de l'élément dépasse la surface de l'eau et entraîne une valeur de k supérieure à la profondeur maximale, soit la taille du substrat nécessite l'adoption de valeurs arbitraires. C'est le cas de la roche mère ou d'une dalle dont les dimensions dépassent celles de l'ambiance ($k = 0$), de substrats fins comme les limons ($k = 0.001$ cm), les sables ($k = 0.1$ cm), et de tous les éléments granulométriques susceptibles de générer des valeurs comprises entre 0.1 et 1 cm comme les graviers ($k = 0.5$ cm). La troisième ligne montre d'éventuelles mesures complémentaires relatives au substrat telles que les diamètres des éléments grossiers, ou l'épaisseur d'un dépôt limoneux par exemple.

A partir de l'échantillon de mesures de la hauteur de rugosité, l'information peut être traitée de diverses manières. L'analyse des variables descriptives de l'habitat peut intégrer la hauteur de rugosité pour répondre à des objectifs distincts, soit à partir de paramètres statistiques classiques calculés selon l'échelle spatiale souhaitée (mésohabitat, tronçon, bassin versant, ...), soit sous la forme d'une répartition en classes dont les bornes seront choisies par l'utilisateur, soit en combinaison avec d'autres variables comme la profondeur (rapport k/h de rugosité relative).

Il est important de rappeler que la hauteur de rugosité ne constitue pas une évaluation de la granulométrie même si des valeurs arbitraires sont représentatives d'un type de granulométrie. Au regard de la forme des galets, propice à leur disposition « à plat », la hauteur de rugosité est souvent proche de la valeur de l'axe b de l'élément granulométrique. Cependant, le tuilage des galets, leur enfoncement parmi des éléments plus fins notamment dans les limons, peuvent modifier sensiblement cette première approximation.

La mesure de la hauteur de rugosité du substrat a été généralisée dans nos travaux sur la Basse-Durance.

2.8.3. Résultats

D'une manière générale, les plus fortes hauteurs de rugosité (k) ont été relevées à Cheval-Blanc car des ambiances ont été régulièrement réalisées dans des berges renforcées par des enrochements, ou des épis. La présence artificielle de ces blocs explique des valeurs anormalement élevées en regard de celles du substrat naturel, supérieures à 100 cm. Cependant, la mobilité du lit de la Durance résultant des épisodes successifs de crues depuis 2008 est également à l'origine d'une réapparition régulière de rochers (naturels et artificiels) dans le secteur de Cadenet (Tableau IV). Du fait de ces particularités locales consécutives à l'artificialisation du chenal, les fortes valeurs de la hauteur de rugosité ($k > 25.6$ cm) ont été exclues afin de ne prendre en compte que des éléments granulométriques majoritairement issus du bassin versant (Tableau V).

D'une manière générale, malgré les réserves émises quant à une approximation de la nature des éléments granulométriques à partir de la hauteur de rugosité, nous pouvons considérer pour le tronçon considéré (1) que les valeurs de k supérieures à 25 cm correspondent à des blocs (boulders) selon la terminologie granulométrique traditionnelle, et (2) que la granulométrie de la Durance est majoritairement constituée par des galets (cobbles).

Une composante sédimentaire importante du bassin versant de la Durance est constituée par les limons en provenance des terres noires. A partir des données complètes de la chronique 2004-2017, il apparaît que les proportions de limons et de sables sont plus élevées à Cheval Blanc (Tableau VI).

Tableau IV : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) mesurées dans les ambiances de pêche des deux stations. Les mesures réalisées en 2016 ont été exclues des statistiques globales. Voir la remarque dans le texte.

k (cm)	Année	N	Moy.	S	Min	Q 25%	Q 50%	Q 75%	Max
Pont de Cadenet	2004	288	6.40	6.41	0.500	2	4	9	43
	2005	226	8.75	6.29	0.001	5	7	11	40
	2006	220	8.10	9.22	0.001	3	6	10	70
	2007	208	9.94	10.42	0.500	4	7	11	72
	2008	198	6.11	5.96	0.001	2	5	8	54
	2009	192	4.26	5.19	0.001	0.5	2.5	7	37
	2010	189	6.68	6.03	0.001	3	5	9	37
	2011	185	6.87	11.56	0.001	1	3	8	79
	2012	221	8.67	16.21	0.100	3	6	10	220
	2013	211	7.42	12.43	0.001	1	5	8	105
	2014	227	6.61	12.77	0.001	1	4	7	120
	2015	174	8.70	13.39	0.100	2	6	10	115
	2016	206	3.72	3.94	0.001	1	3	5	25
	2017	255	9.40	13.32	0.001	3	6	10	90
2018	242	11.79	17.38	0.001	4	7	10	110	
Total		3242	7.63	11.08	0.001	2	5	9	220
Total (- 2016)		3036	7.90	11.36	0.001	2	5	9	220
Cheval-Blanc/Orgon	2003	300	11.87	18.67	0.001	3	6	12	175
	2004	313	10.81	23.58	0.001	2	5	8	195
	2005	197	14.46	25.59	0.001	3	6	12	155
	2006	167	12.33	23.75	0.001	1	5	11	160
	2007	188	12.28	21.03	0.001	3	6	9.5	120
	2008	210	7.94	17.64	0.001	1	4	6	110
	2009	155	9.36	23.36	0.001	2	4	7	165
	2010	207	6.77	10.78	0.100	2	5	7	86
	2011	190	12.41	23.52	0.001	1	4	8	140
	2012	229	5.46	6.90	0.001	2	5	7	78
	2013	185	11.12	21.80	0.001	2	5	9	150
	2014	218	6.23	16.29	0.001	1	3	5	180
	2015	210	7.33	15.01	0.100	2	5	7	155
2016	251	4.49	11.22	0.001	0.5	1	4	135	
2017	248	11.60	19.95	0.001	3	5	8.5	125	
Total		3268	9.56	19.33	0.001	2	5	8	195
Total (- 2016)		3017	9.98	19.80	0.001	2	5	8	195

Tableau V : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) des deux stations après exclusion des valeurs supérieures à 25.6 cm généralement associées à la présence d'éléments granulométriques d'origine anthropique tels que des enrochements. Les mesures réalisées en 2016 ont été exclues des statistiques globales. Voir la remarque dans le texte.

k (cm) < 25.6 cm	Année	N	Moy.	S	Min	Q 25%	Q 50%	Q 75%	Max
Pont de Cadenet	2004	281	5.71	4.65	0.500	2	4	8	25
	2005	221	8.25	5.33	0.001	5	7	11	24
	2006	212	6.60	4.68	0.001	3	6	10	21
	2007	196	7.83	5.02	0.500	4	7	11	25
	2008	196	5.76	4.64	0.001	2	5	8	22
	2009	189	3.83	3.91	0.001	0.5	2	6	21
	2010	184	6.01	4.46	0.001	3	5	9	25
	2011	177	4.82	5.09	0.001	1	3	7	25
	2012	217	7.10	5.01	0.100	3	6	10	25
	2013	201	5.07	4.62	0.001	1	4	7	21
	2014	219	4.54	4.62	0.001	1	3	7	23
	2015	168	6.63	5.51	0.100	2	6	10	25
	2016	206	3.72	3.94	0.001	1	3	5	25
	2017	241	6.60	5.37	0.001	3	5	9	25
2018	222	7.07	4.7	0.01	2	6	9	25	
Total		3130	5.99	4.96	0.001	2	5	9	25
Total (- 2016)		2924	6.16	4.98	0.001	2	5	9	25
Cheval-Blanc/Orgon	2003	267	6.70	5.69	0.001	2	5	9	24
	2004	287	5.15	4.14	0.001	2	5	7	24
	2005	170	6.06	5.02	0.001	3	5	9	24
	2006	150	5.61	5.48	0.001	1	5	9	23
	2007	169	5.93	4.44	0.001	3	5	8	25
	2008	198	3.99	3.48	0.001	1	3	6	24
	2009	147	4.40	3.53	0.001	1.5	4	6	19
	2010	201	5.12	4.29	0.100	2	5	7	25
	2011	165	4.44	4.70	0.001	1	3	6	25
	2012	227	4.94	3.91	0.001	2	5	7	20
	2013	170	5.55	4.80	0.001	2	5	8	25
	2014	212	3.89	3.45	0.001	1	3	5	19
	2015	203	5.00	4.20	0.100	1	5	7	21
	2016	242	2.75	3.40	0.001	0.5	1	4	20
2017	217	5.07	4.16	0.001	2	4	7	23	
Total		3025	4.96	4.46	0.001	1	4	7	25
Total (- 2016)		2783	5.15	4.49	0.001	2	4	7	25

Tableau VI : Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations. Les mesures réalisées en 2016 ont été exclues des statistiques globales. Voir la remarque dans le texte.

2004-2017	Limons	Sables	Graviers	Galets	Blocs	Total
Pont de Cadenet	45	70	207	2380	92	2794
	1.6%	2.5%	7.4%	85.2%	3.3%	50.7%
Cheval-Blanc/Orgon	118	98	132	2168	201	2717
	4.3%	3.6%	4.9%	79.8%	7.4%	49.3%
Total	163	168	339	4548	293	5511
	3.0%	3.1%	6.2%	82.5%	5.3%	100.0%

La nature limoneuse du substrat ($k = 0.001$) est prise en compte lorsque les éléments granulométriques grossiers ne sont plus apparents. Or, des descriptions conventionnelles du substrat faites en moyenne Durance ont montré que 5% de relevés avec une présence exclusive de limons pouvaient correspondre à plus de 40% en surface de dépôts de limons dans un secteur à chenal unique (LE COARER et al., 2006) en débit réservé. Par conséquent, les fins dépôts limoneux de surface sont largement sous-estimés, même dans un système régulièrement remodelé par des crues. Les distributions des densités des hauteurs de rugosité (k) des éléments granulométriques, autres que ceux d'origine anthropique ($k > 25.6$ cm) ou limoneux ($k < 0.001$ cm), montrent que le substrat à Cadenet est plus hétérogène et plus grossier (Figure 9). Cependant, à compter de 2008, les années hydrologiques marquées par les successions de crues ont régulièrement remanié le lit de la Durance dans les deux stations. En conséquence, les deux courbes se sont rapprochées. La densité des hauteurs de rugosité correspondant à des galets a augmenté. Les médianes ont baissé dans les deux stations (Tableau VII). Les différences intra-stations et inter-stations restent significativement différentes (test de Mann-Whitney de comparaison des médianes).

Tableau VII : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k en cm) mesurées dans les deux stations. Deux périodes d'observation sont identifiées à la suite de régimes hydrologiques contrastés. Dans cette comparaison, les éléments fins (limons) et très grossiers (blocs) ne sont pas pris en compte. L'année 2016 a été exclue de ces calculs.

	2004-2007		2008-2017 (- 2016)	
	Cadenet	Cheval-Blanc	Cadenet	Cheval-Blanc
Effectif	902	722	1755	1676
Moyenne	7.05	6.02	5.74	4.90
Médiane	6	5	5	4
Ecart-type	4.99	4.60	4.92	4.06
Minimum	0.1	0.1	0.1	0.1
Maximum	25	25	25	25
1er quartile	3	3	2	2
3ème quartile	10	8	8	7

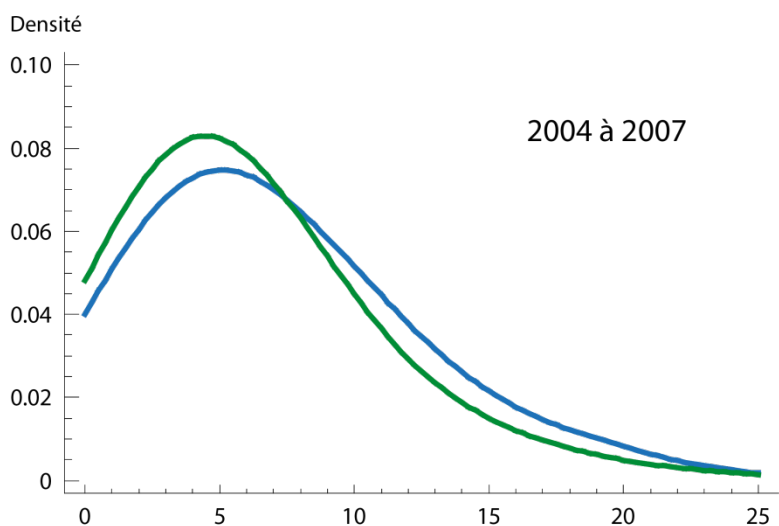
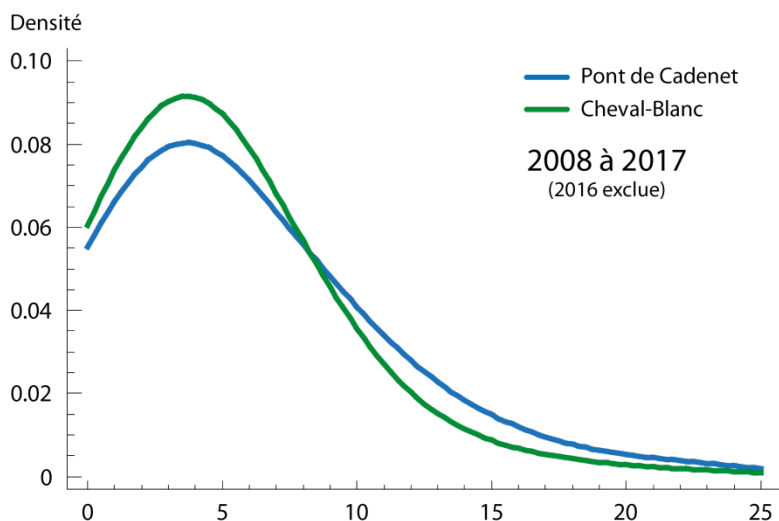


Figure 9 : Densités des hauteurs de rugosité (k) par station et par période (2004-2007 et 2008-2017). Les deux périodes se distinguent par une hydrologie contrastée. Un régime marqué par de fortes crues a régulièrement remodelé le lit de la Durance dans les deux stations après 2007. Les paramètres sont calculés après exclusion (1) des valeurs associées aux dépôts limoneux ($k < 0.001$), (2) des valeurs supérieures à 25.6 cm afin d'éliminer les hauteurs de rugosité associées à des enrochements de rives ou des éléments granulométriques grossiers d'origine anthropique et (3) les valeurs de l'année 2016 (voir remarque dans le texte).

Remarque : Les mesures faites en 2016 sont anormalement basses. Bien que réalisées avec rigueur par des agents ayant participé régulièrement aux relevés des années précédentes, et préparés pour la réalisation de cette campagne 2016 en l'absence de la personne référente, cette première mise en pratique de la mesure sur le terrain s'est avérée plus complexe que prévue. Les valeurs 2016 ont donc été exclues des autres tableaux de synthèse. Par ailleurs, le descriptif de la méthode a fait l'objet d'un complément d'information pour éviter de reproduire le biais constaté.

Depuis 2017, la station de Cadenet a été déplacée vers l'aval afin de retrouver une configuration alluviale proche de celle initialement étudiée. Entre les campagnes 2017 et 2018, un épisode de crues, légèrement supérieures à la crue biennale (620 m³/s), a eu lieu en mars 2018 et a

remodelé le secteur étudié. Bien que les ambiances soient différentes, les relevés de la hauteur de rugosité renseignent indirectement la remobilisation sédimentaire.



Figure 10 - Illustration photographique des changements morpho-dynamiques survenus entre les campagnes 2017 et 2018 sur la station « Pont de Cadenet ».

Tableau VIII : Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) mesurées dans les ambiances de pêche de la station « Pont de Cadenet » en 2017 et 2018, globales puis après exclusion des valeurs de k supérieures à 25.6 cm généralement associées à la présence d'éléments granulométriques d'origine anthropique tels que des enrochements.

		N	Moy.	S	Min	Q 25%	Q 50%	Q 75%	Max
2017	Complet	255	9.40	13.32	0.001	3	6	10	90
2018	Complet	242	11.79	17.38	0.001	4	7	10	110
2017	k < 25.6 cm	241	6.60	5.37	0.001	3	5	9	23
2018	k < 25.6 cm	222	7.07	4.70	0.001	4	6	9	24

La comparaison des moyennes et des médianes sont statistiquement différentes, avec ou sans exclusion des valeurs supérieure de k > 25,6 cm. Le substrat est plus grossier en 2018. La période post-remaniement du lit majeur est trop courte pour ramener des éléments plus fins, contrairement à celle entre les crues morphogènes de 2016 et la campagne 2017.

3. PEUPELEMENTS PISCICOLES ESTIVAUX EN BASSE DURANCE

La taille du cours d'eau justifie une technique d'échantillonnage adaptée, basée sur l'identification des différents habitats disponibles sur un tronçon de cours d'eau et le choix de placettes dans ces entités. Ces placettes ou « ambiances » sont échantillonnées par pêche électrique, faites à pied dans le contexte physique actuel de la Durance. L'échantillonnage est accompagné de relevés de paramètres physiques (profondeurs, vitesses, hauteurs de rugosité du substrat), de caractéristiques qualitatives relatives aux abris potentiels (ligneux, herbiers, algues), aux berges et à la localisation transversale des ambiances. Les relevés topographiques permettent la quantification des aires et volumes des ambiances et leur spatialisation. Les contraintes techniques de la pêche à pied limitent l'échantillonnage à des secteurs accessibles. Les profondeurs maximales prospectées excèdent rarement 1,5 mètre.

3.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES PEUPELEMENTS

Les résultats des pêches de 2018 (tableaux ANNEXE VI) et sont analysés parallèlement aux résultats obtenus depuis 2004. Les tableaux des ANNEXE VII et ANNEXE VIII regroupent les observations interannuelles de ces deux stations.

Sur la base de la chronique obtenue en basse Durance, le peuplement est constitué de 29 espèces réparties au sein de 8 familles (Tableau IX, Tableau X). D'une manière générale, le peuplement à Cadenet s'avère plus diversifié et les effectifs nettement plus élevés qu'à Cheval Blanc (Figure 11, Figure 12).

La basse Durance est caractérisée par une prédominance de cinq cyprinidés : le chevaine *Squalius cephalus*, le spirin *Alburnoides bipunctatus*, le vairon *Phoxinus phoxinus*, le barbeau *Barbus barbus*, le goujon *Gobio gobio* et une espèce de Balitoridae : la loche franche *Barbatula barbatula*. Des cyprinidés d'eau courante caractéristiques de ce cours d'eau sont largement sous-représentés : le toxostome *Parachondrostoma toxostoma*, le hotu *Chondrostoma nasus*, et surtout le blageon *Telestes souffia*.

Une nouvelle espèce de Cobitidae a été capturée dans la Durance pour la première fois en 1994 : la loche italienne *Cobitis bilineata*. Actuellement, elle est commune sur ce linéaire. Cependant, sa capture est tributaire (1) de la prospection des habitats préférentiels de l'espèce, à savoir des reculées peu profondes localisées en aval des bancs de galets, ayant un substrat fin et alimentées par le sous-écoulement ; et (2) de la présence de ces habitats sur le secteur d'étude lors des campagnes de pêche.

La chronique permet de comptabiliser un cortège d'espèces inféodées aux eaux lentes, également bien représentées. Bien que leurs occurrences et abondances soient globalement faibles, la plupart d'entre elles sont régulièrement capturées. Ce sont des espèces introduites de plus ou moins longue date : la loche italienne *Cobitis bilineata*, le carassin argenté *Carassius*

gibelio, le pseudorasbora *Pseudorasbora parva*, la perche soleil *Lepomis gibbosus*, la grémille *Gymnocephalus cernuus*, le sandre *Sander lucioperca*, la carpe commune *Cyprinus carpio*, la bouvière *Rhodeus amarus*, et des espèces autochtones : la perche commune *Perca fluviatilis*, le gardon *Rutilus rutilus*, la brème bordelière *Blicca bjoerkna*, la tanche *Tinca tinca*, le rotengle *Scardinius erythrophthalmus*, et le brochet *Esox lucius* en provenance des nombreux plans d'eau artificiels qui longent la rivière.

L'apron du Rhône (Percidae) présent sur la Moyenne Durance a également fait son apparition en 2017 sur le tronçon aval de la Durance (1 individu capturé dans la station de Cheval-Blanc/Orgon).

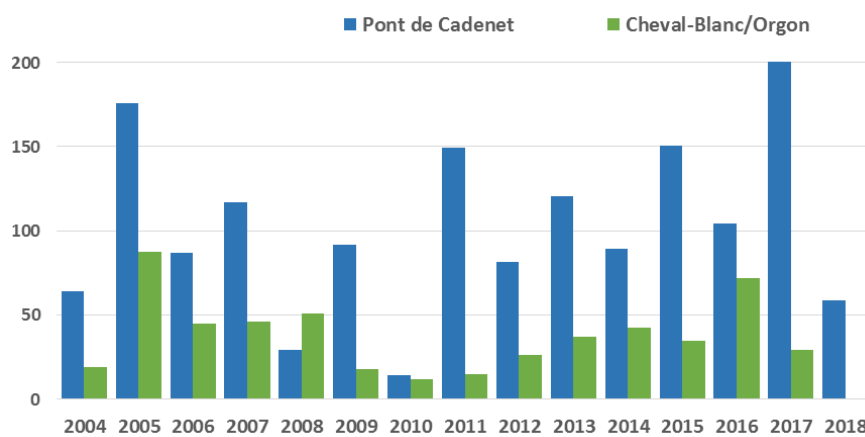


Figure 11 : Évolution interannuelle des effectifs totaux moyens (n/50 m2) dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval-Blanc (vert).

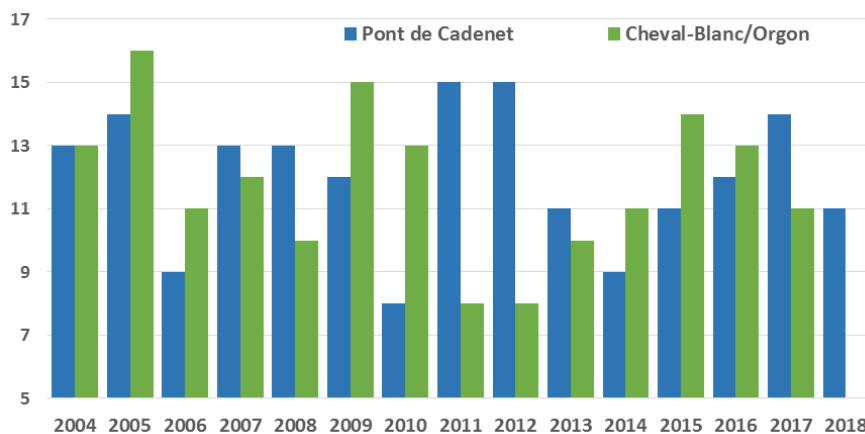


Figure 12 : Évolution interannuelle des richesses spécifiques dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval-Blanc (vert).

Tableau IX : Liste et effectifs bruts des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval-Blanc/Orgon.

Famille			2004 -2018		
<i>Nom scientifique</i>	Nom commun	Code	Cadenet	Cheval	Total
Anguillidae					
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	1	60	61
Balitoridae					
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	2674	859	3533
Centrarchidae					
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	12	14	26
Cobitidae					
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	320	198	518
Cyprinidae					
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaîne	CHE	3614	631	4245
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	2975	1014	3989
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	1053	1350	2403
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	2141	223	2364
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	628	82	710
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	154	28	182
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	22	123	145
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	65	17	82
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	21	25	46
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	11	2	13
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	8	1	9
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	3	6	9
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	6		6
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	4	2	6
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG	5	1	6
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	2		2
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN	2		2
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN	1	1	2
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	1		1
Esocidae					
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	2		2
Percidae					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER	9	25	34
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	21	2	23
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	5	8	13
<i>Zingel asper</i>	Apron	APR		1	1
Salmonidae					
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF	5	5	10
Total général			13765	4678	18443

Tableau X : Liste et abondances relatives des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval-Blanc/Orgon.

Famille			2004 -2018		
<i>Nom scientifique</i>	Nom commun	Code	Cadenet	Cheval	Total
Anguillidae					
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	<0.01	1.28	0.33
Balitoridae					
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	19.43	18.36	19.16
Centrarchidae					
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.09	0.30	0.14
Cobitidae					
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	2.32	4.23	2.81
Cyprinidae					
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	26.25	13.49	23.02
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirlin	SPI	21.61	21.68	21.63
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	7.65	28.86	13.03
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	15.55	4.77	12.82
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	4.56	1.75	3.85
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	1.12	0.60	0.99
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	0.16	2.63	0.79
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.47	0.36	0.44
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	0.15	0.53	0.25
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	0.08	0.04	0.07
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	0.06	0.02	0.05
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	0.02	0.13	0.05
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	0.04		0.03
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	0.03	0.04	0.03
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG	0.04	0.02	0.03
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	0.01		0.01
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN	0.01		0.01
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN	<0.01	0.02	0.01
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT	<0.01		<0.01
Esocidae					
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	0.01		0.01
Percidae					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER	0.07	0.53	0.18
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	0.15	0.04	0.12
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	0.04	0.17	0.07
<i>Zingel asper</i>	Apron	APR		0.02	<0.01
Salmonidae					
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF	0.04	0.11	0.05
Total général			13765	4678	18443
Richesse spécifique totale			28	24	29

3.2. COMPARAISONS INTER-ANNUELLES ET INTER-STATIONNELLES

Les deux stations présentent de notables différences en termes d'assemblages d'espèces, mais également de distributions des classes d'âges. La variabilité interannuelle de la richesse spécifique et des abondances est importante. Les abondances sont largement tributaires des proportions de juvéniles capturés dans ces pêches estivales.

Globalement, le suivi temporel de la richesse (Figure 13) et de l'abondance totale (Figure 14) montre les différences importantes entre les deux sites. Les seules diminutions significatives de la richesse et des effectifs à Pont de Cadenet, en 2008 et 2010, sont consécutives à des bouleversements hydromorphologiques du chenal par des crues survenant en période de reproduction. A Cheval Blanc, la situation particulièrement dégradée observée en 2010, 2011 et 2012, s'est légèrement améliorée au cours des années suivantes.

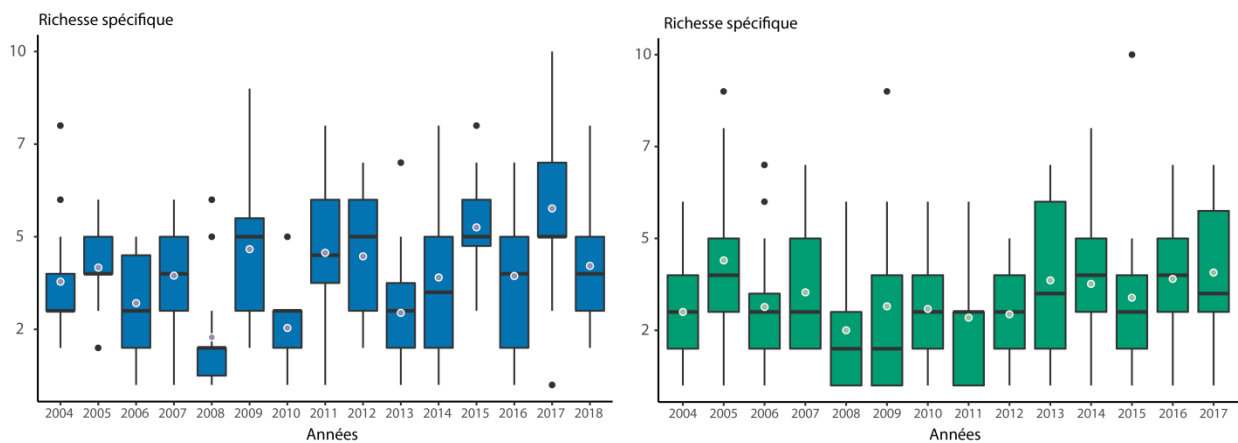


Figure 13 : Évolution interannuelle de la richesse spécifique au Pont de Cadenet (en bleu) et à Cheval-Blanc/Orgon (en vert). Les boîtes à moustaches prennent en compte les résultats globaux des ambiances de chaque station. La richesse spécifique maximale théorique (ensemble des deux stations) est de 29 espèces.

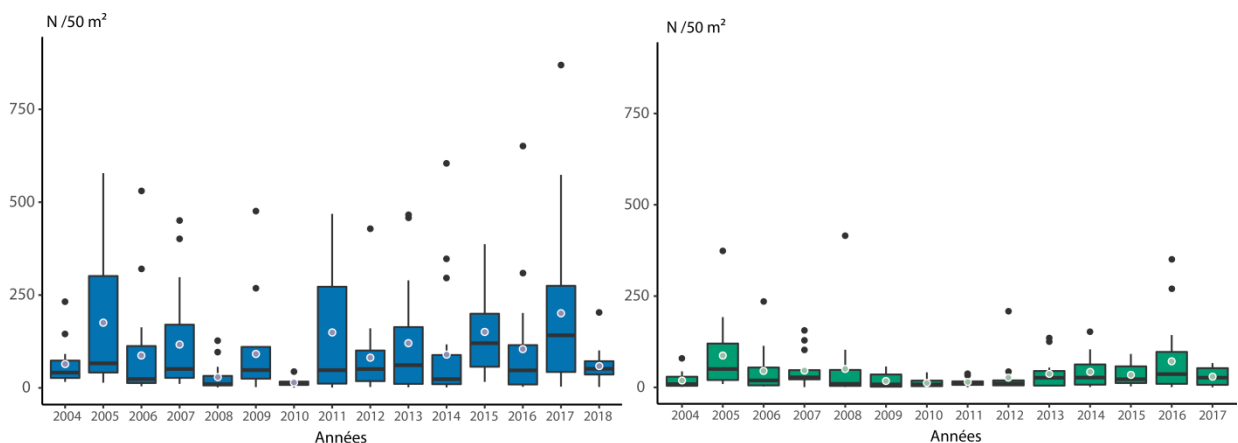


Figure 14 : Évolution interannuelle des effectifs corrigés au Pont de Cadenet (en bleu) et à Cheval-Blanc/Orgon (en vert). Les boîtes à moustaches prennent en compte les résultats globaux des ambiances de chaque station.

Une analyse multivariée a été réalisée à partir des données piscicoles obtenues entre 2004 et 2018 à « Pont de Cadenet ». Onze espèces ont été découpées en trois classes de taille : ablette, barbeau fluviatile, carpe, chevaine, goujon, hotu, loche de rivière, loche franche, spirilin, toxostome et vairon. Les classes sont les suivantes : 1 - $LT < 60$ mm, 2 – $59 < LT < 120$ mm, 3 – $LT > 119$ mm. Le tableau général (15 campagnes annuelles de pêches, soit 262 ambiances x 45 taxons), a été traité par une Analyse en Composantes Principales Normée après transformation logarithmique des effectifs corrigés [$\ln(n/50 \text{ m}^2 + 1)$]. Les taxons définis pour une espèce sont pondérés en fonction de l'occurrence globale de l'espèce sur l'ensemble des relevés (nombre de présences/262 relevés). Les résultats présentés concernent l'analyse inter-années et mettent en exergue la variabilité temporelle. Ces analyses sont réalisées sous R avec la librairie ade4 (CHESSEL et al., 2004).

Dans ce cours d'eau alluvial régulé où le déficit de poissons cyprinidés adultes de grande taille (barbeau, chevaine, ou hotu) est manifeste, l'essentiel de la variabilité interannuelle est portée par la fraction juvénile (individus de l'année et d'âge 1+) et les petites espèces dominantes (loches, spirilin, vairon, ...). Les réponses de cet assemblage faunistique (Figure 15) constitué par des individus de petite taille font essentiellement suite aux aléas hydrologiques qui interrompent l'homogénéité hydraulique et morphologique instaurée par le débit réservé.

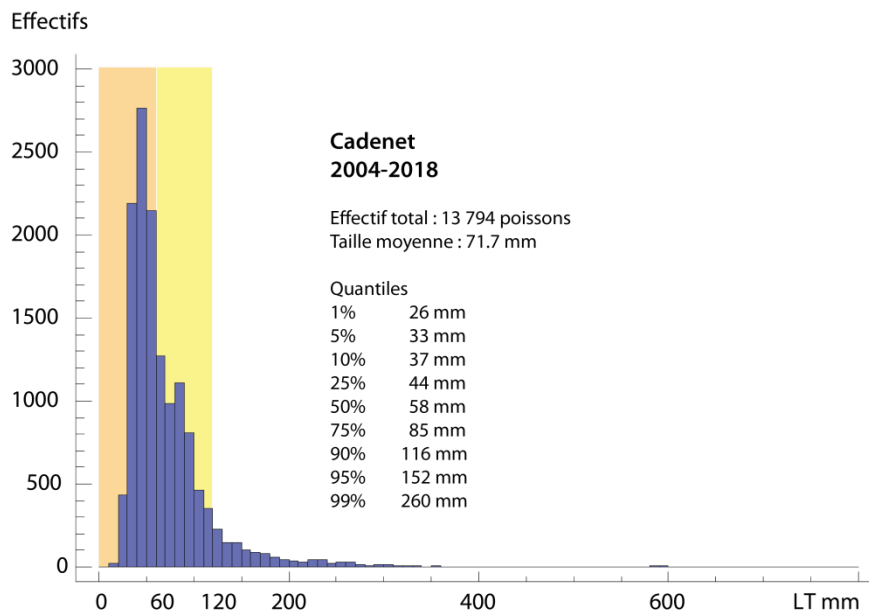


Figure 15 - Distribution en classes de taille (longueur totale en mm) de toutes les espèces capturées entre 2004 et 2018 sur le secteur « Pont de Cadenet ». Les encarts colorés identifient les deux premiers regroupements par taille utilisés constituer trois taxons chez onze espèces abondantes (1 - $LT < 60$ mm, 2 – $59 < LT < 120$ mm, 3 – $LT > 119$ mm).

Au cours des années 2004 à 2007, le régime réservé a rarement été interrompu par des épisodes de crues. Des épisodes structurants sont intervenus de manière plus systématique à partir de 2008 ; soit pendant la période de la reproduction : fin mai 2008, mi-juin 2010, avril-mai 2013 ; soit en saison froide : février et décembre 2009, novembre 2011, novembre 2012, décembre

2013, janvier et novembre 2014, novembre 2016. Selon leur intensité et périodicité, ces événements entraînent une mortalité plus ou moins importante chez les plus jeunes stades et justifient des chutes d'effectifs post-crués consécutives à la réduction voire disparition de cohortes annuelles. Mais, quelle que soit la saisonnalité de ces forts coups d'eau, le lit de la Durance est remodelé. A l'échelle de la station, des habitats disparaissent ou se créent à la faveur de cette mobilité du chenal, par le comblement ou le surcreusement local, et/ou par l'apparition de nouveaux chenaux.

L'évolution interannuelle telle que décrite par les deux premiers axes factoriels traduit les conséquences complexes des crués sur le peuplement. Le premier axe est fortement structuré (valeurs positives) par l'abondance des poissons juvéniles (notamment âge 0+) des espèces dominantes (goujon, chevaine, spirilin, vairon, loche). Ils sont regroupés dans la première classe de taille (LT<60 mm). Il faut également signaler que la progression des effectifs du pseudorasbora sur cette station contribue également aux valeurs positives du premier axe.

Les valeurs négatives de l'axe 1 sont associées à la présence des espèces lenticules peu abondantes ou occasionnelles dans ce chenal alluvial : le rotengle, la brème bordelière, la brème commune, la tanche, la perche soleil, la bouvière, ou la grémille. Les valeurs négatives sont également associées aux effectifs des grands taxons de plusieurs espèces typiques de ces espaces alluviaux : barbeau fluviatile, spirilin, hotu, regroupés parmi les grandes tailles. Ces taxons ont été plus abondants au cours des premières années et les captures ont baissé après la crue de 2008. Ce dernier constat est ré-exprimé par les valeurs positives du deuxième axe factoriel et l'année 2015 répond en partie à une augmentation transitoire de l'abondance de ces trois espèces.

Malgré les fluctuations engendrées par les épisodes de crue, une légère tendance vers un peuplement connu avant 2008 semble s'affirmer, tout en ayant la progression d'une espèce allochtone : le pseudorasbora.

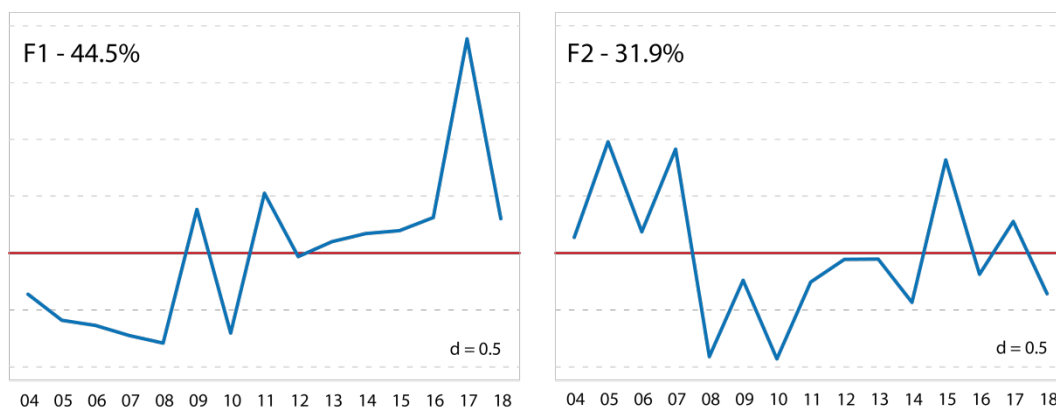


Figure 16 : ACP Normée inter-années. Coordonnées factorielles des années sur les deux premiers axes.

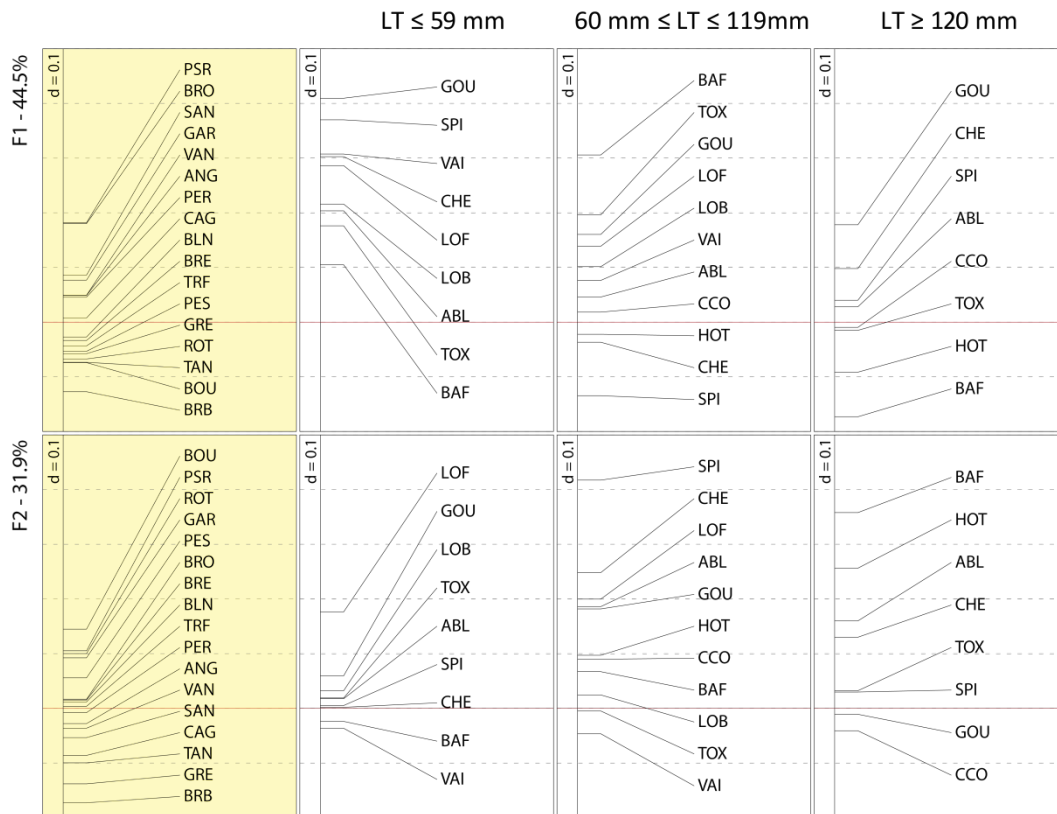


Figure 17 : ACP Normée inter-années. Coordonnées factorielles des taxons sur les deux premiers axes.

3.2.1. Comparaison interstationnelle des effectifs corrigés

Afin de comparer au mieux ces stations soumises à des régimes hydrosédimentaires différents, il importe de réduire la variabilité locale consécutive à la prospection partielle des habitats disponibles, aux changements morpho-hydrauliques du fait de la mouvance du chenal, et à la taille des individus capturés. Par conséquent, une comparaison des densités d'individus est faite à partir des ambiances appartenant exclusivement au chenal principal, ne présentant pas d'abris sachant qu'ils sont fortement attractifs, et en excluant tous les individus d'une taille inférieure à 60 mm comprenant majoritairement des jeunes de l'année dont les effectifs sont souvent élevés et très variables.

Tableau XI : Effectifs et nombre d'ambiances par année et par station. Seules les ambiances sans abris sont considérées. I. Effectifs et nombre d'ambiances hors abris, II. Effectifs des individus d'une taille LT > 60 mm pour les ambiances hors abris, III. Effectifs des individus d'une taille LT > 60mm pour les ambiances hors abris échantillonnées exclusivement dans le chenal principal. Le total de toutes les années est présenté ainsi que le pourcentage retenu par rapport au cas I.

Année	I				II				III			
	Effectifs		Ambiances		Effectifs		Ambiances		Effectifs		Ambiances	
	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB	CA	CB
2003		154		10		51		9		46		7
2004	254	176	6	7	241	32	6	5	241	32	6	5
2005	628	441	12	8	496	115	12	8	496	87	12	6
2006	326	317	16	11	208	72	16	9	208	43	16	7
2007	283	209	11	7	281	174	11	7	281	174	11	7
2008	153	133	11	10	54	62	10	8	52	18	8	3
2009	494	97	11	10	184	62	11	10	59	35	5	9
2010	107	75	11	8	55	22	10	5	37	14	7	4
2011	1069	77	10	5	137	10	9	5	124	10	8	5
2012	641	143	11	13	287	68	11	11	126	49	5	7
2013	742	49	15	7	670	34	15	7	50	7	5	2
2014	364	321	13	14	100	75	13	12	40	70	5	10
2015	613	191	12	14	448	91	12	12	448	83	12	11
2016	532	305	13	14	246	65	13	13	111	65	10	13
2017	1782	76	12	8	518	31	11	6	518	27	11	5
2018	565		10		316		10		286		9	
Total	8553	2764	174	146	4241	964	170	127	3077	760	130	101
% retenu					50	35	98	87	36	27	75	69

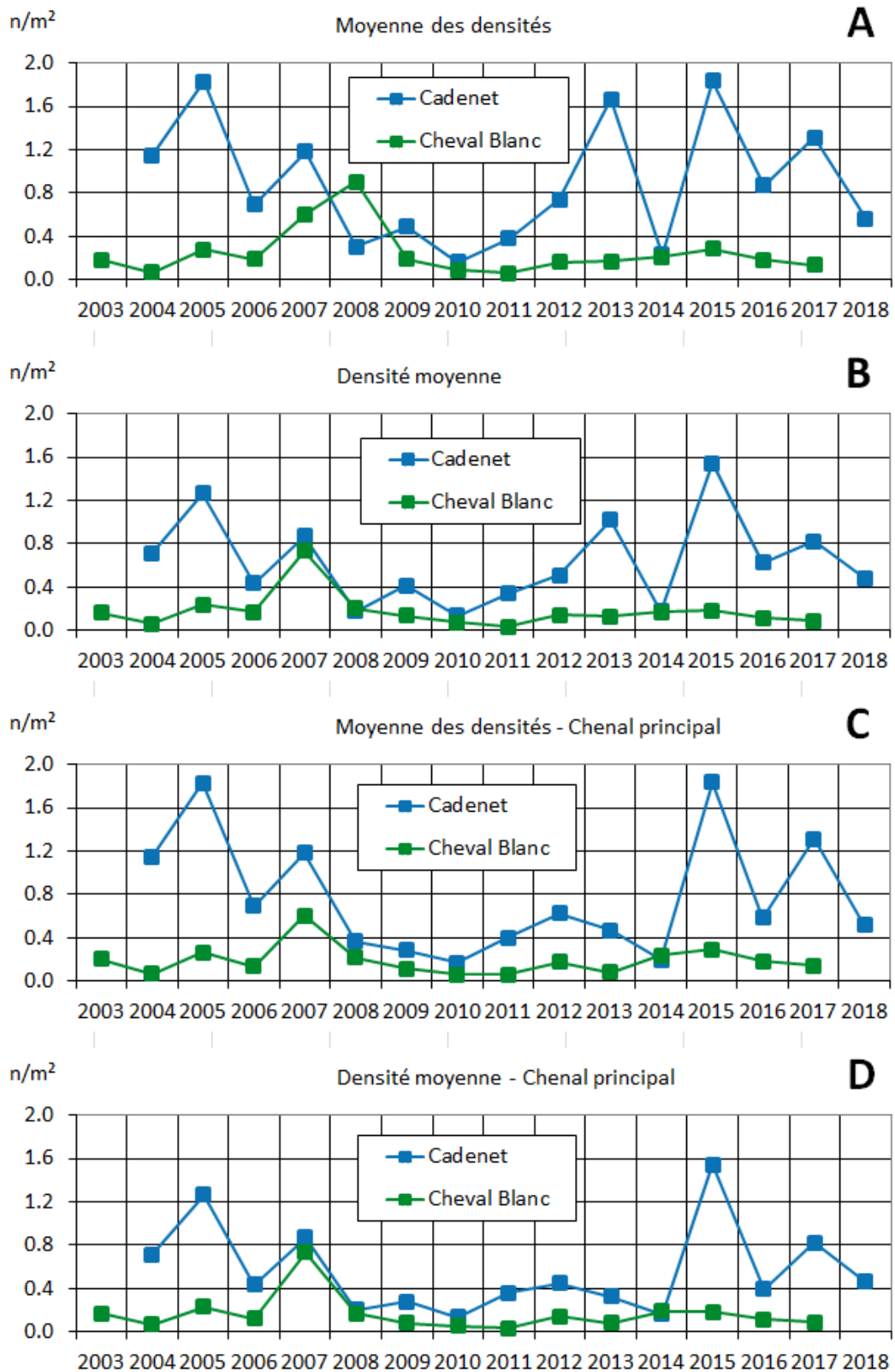


Figure 18 : Évolution des moyennes des densités et des densités moyennes des poissons (n/m²) dans les ambiances sans abris, tous chenaux A & B, chenal principal C & D. Seuls les individus d'une taille supérieure à 60 mm sont pris en compte.

La chronique (Figure 18) fait apparaître que l'information « densité moyenne » (B & D) est plus stable numériquement dans le temps que la « moyenne des densités » (A & C).

L'Annexe IX présente les hydrosignatures correspondantes pour ces ambiances hors abris comptant au moins un individu de taille supérieure à 60 mm.

Les hydrosignatures moyennes par station de la partie commune de leur chronique apparaissent comparables avec des HSC (aire) de : A=13.5, B=11.6, C=14.4 et D=10.8. Dans notre cas, globalement plus la chronique comporte de campagnes, plus la proximité hydraulique augmente.

L'échantillonnage d'habitats hydrauliques étant comparable sur l'ensemble de la chronique 2004-2017, il en ressort que la station de Pont de Cadenet, non sujette aux impacts des restitutions, présente des densités moyennes de poissons (LT > 60 mm) toujours supérieures, à l'exception des épisodes post-crués de 2008, 2010 et 2013-2014. Rappelons que l'impact de la crue de mai 2013, ayant diminué sensiblement le nombre de jeunes de l'année, n'a été appréhendé qu'en 2014 (Figure 18) car la classe d'âge 2013 (avec LT > 60 mm) est quasi absente.

Nous constatons, avec l'augmentation des densités moyennes, que le peuplement se rétablit après les crués ; et ceci principalement sur Cadenet avec un effet moindre sur Cheval Blanc. Le contraste observé entre 2015 et 2016 à Cadenet trouve son explication dans les distributions de taille des grandes espèces discutées précédemment.

Il est probable que la modicité des effectifs sur Cheval Blanc soit une des conséquences de l'amplitude des fluctuations de l'hydraulique locale et des conditions thermiques lors des restitutions, auxquelles s'ajoutent les apports sédimentaires fins qui colmatent le substrat grossier. Elles rendent les conditions d'habitabilité du secteur très fluctuantes et moins favorables. Les effets seront d'autant plus marqués si les restitutions se produisent pendant les périodes de reproduction et de croissance des premiers stades larvaires.

4. MODELISATION DES DENSITES DE POISSONS EN RELATION AVEC L'HYDROLOGIE

4.1. PRESENTATION DE LA DEMARCHE

Dans nos rapports des années 2015 & 2016, nous avons effectué une première modélisation rudimentaire pour tenter d'expliquer les résultats de la Figure 18 à partir des chroniques de débit disponibles pour les deux stations.

Lors de notre participation à un groupe technique pour l'évaluation des débits souhaitables en Basse Durance à l'aval des opérations de restitutions, nous avons développé un ensemble de méthodes de calculs pour calculer les vitesses de déplacement de la bordure du lit mouillé lors des variations de débits. Pendant la baisse du débit, ce paramètre nommé HRR « Horizontal Ramping Rate » est l'un des facteurs majeurs qui conditionne le risque d'échouage/piégeage des poissons, particulièrement pour les jeunes stades. L'hypothèse est de tester les relations entre les densités de poissons observées et les chroniques de HRR précédant les pêches.

4.2. METHODES DE CALCUL DES HRR

Il est fortement conseillé au lecteur de consulter le rapport publié en 2016² pour une meilleure compréhension des méthodes de calculs. Nous utilisons les calculs issus de ce rapport pour un tronçon 'T2' de 9,6 km de Basse Durance contenant la station de Cheval Blanc. Des simulations hydrauliques à l'aide de TELEMAC 2D avaient été exploitées pour calculer les caractéristiques des HRR pour une série de 9 débits simulés de 9 à 260 m³s⁻¹. En utilisant la valeur critique approximative de HRR₁₀₀=100 cm.h⁻¹ pour le début d'échouage des juvéniles de cyprinidés, des durées de baisse pour chaque intervalle de débits simulés avaient pu être calculées pour préconiser un mode de gestion en fin d'éclusées propre à préserver la faune piscicole.

L'objectif est de calculer le HRR pour chaque couple de valeurs de débit correspondant à une baisse. Soit dans une chronique, si l'on observe 2 valeurs successives de débits, ie passage de Q₁ à Q₂ dans un intervalle de temps Δt avec Q₁>Q₂ , calculer HRR(Q₁, Q₂, Δt).

Il convient tout d'abord de comprendre pourquoi une approche d'ingénierie 'classique' ne convient pas pour le calcul des HRR en Basse Durance.

Si l'on a un chenal unique rectiligne, l'idée première serait d'utiliser la relation puissance liant la largeur du lit mouillé L au débit soit : $L = aQ^b$. Notons que cette relation se vérifie sur le tronçon Durancien T2 en tresse avec R²=0.9994.

Par suite

$$HRR = \frac{\Delta L}{2 \cdot \Delta t} = \frac{aQ_1^b - aQ_2^b}{2 \cdot \Delta t}$$

Une division par 2 est effectuée car la variation de largeur se répartit entre les 2 rives d'un chenal unique (Figure 19 a).

Dans le cas d'une rivière en tresse comme la Durance, il convient de répartir la variation de largeur entre les différents bras. Et si l'on a défini l'indice de tressage IT(Q) qui vaut 0 en cas de chenal unique et 1 par exemple s'il y a 2 bras, l'équation du HRR devrait être :

$$HRR = \frac{aQ_1^b - aQ_2^b}{2 \cdot \left(IT \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) + 1 \right) \cdot \Delta t}$$

² LE COARER, Y., BEGUIN, J., REYNAULT, N. & VON GUNTEN, D. (2016): Etudes des habitats hydrauliques piscicoles soumis à éclusées : aide à la détermination des débits souhaitables en Basse-Durance. IRSTEA, RECOVER, FRESHCO, 66 p.

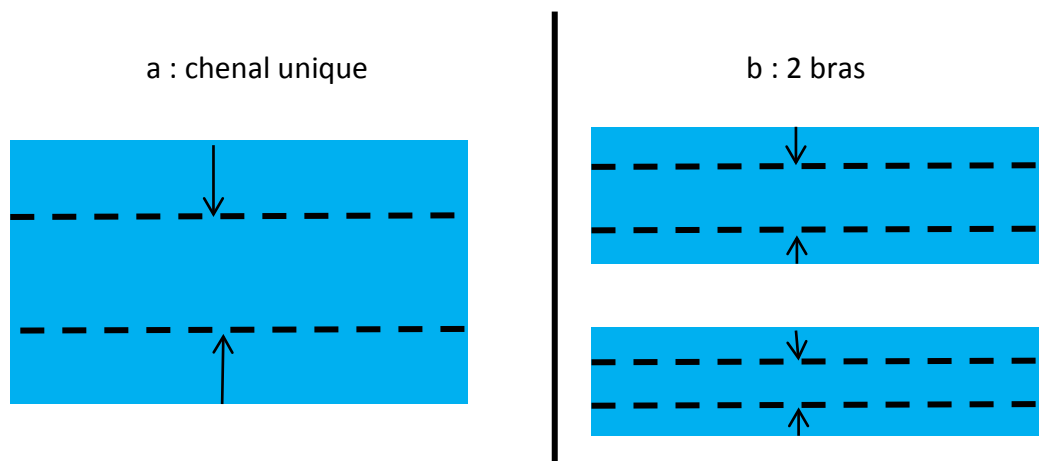


Figure 19 : Schéma théorique du déplacement de la bordure du lit mouillé pour une baisse de débit de Q1 à Q2 dans le cas a) d'un chenal unique et b) d'un tronçon avec 2 bras parallèles.

Il s'avère que cette technique ne permet pas d'obtenir les valeurs 'réelles' de HRR calculées à partir des simulations hydrauliques TELEMAC 2D du rapport 2016 sur les débits souhaitables, nous obtenons des surestimations importantes et dans des proportions variables.

L'explication réside dans la complexité topologique d'une rivière en tresse ou les bras ne sont pas des entités parallèles. Pour l'heure seule notre démarche partitionnant les éléments finis des maillages hydrauliques nous semble apte à prendre en compte la complexité de la Durance anastomosée pour estimer les HRR.

Après une tentative de mode calage d'un indice de tressage noté $ITHRR(Q)$ à l'aide d'une équation du type :

$$HRR = \frac{aQ_1^b - aQ_2^b}{2 \cdot \left(ITHRR \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) + 1 \right) \cdot \Delta t}$$

Nous avons finalement opté pour une approche à base de gradients de débits.

Pour ce faire nous avons utilisé les résultats figurant dans le Tableau XII et extraits du rapport LE COARER et al. (2016) pour le tronçon T2 et des calculs de HRR 'temporels/hydrauliques'.

Tableau XII : Caractéristiques physiques du tronçon T2 de Basse Durance après analyses de simulations hydrauliques TELEMAC 2D (LE COARER et al., 2016).

Tronçon T2 : 9630 m									
Q [m ³ s ⁻¹]	9.2	21.2	35	48.4	74.7	110	150	175	259
Largeur mouillée moyenne [m]	42.8	62.7	80.3	95.5	117.1	140.5	165.1	179.6	222.1
ΔQ [m ³ s ⁻¹]	12	13.8	13.4	26.3	35.3	40	25	84	
Δt_{HRR100} [h]	3.6	2.5	1.8	2.6	2.7	2.7	1.5	4.4	
gradHRR ₁₀₀ [m ³ s ⁻¹ h ⁻¹]	3.4	5.6	7.4	10.1	12.9	14.8	16.2	19.2	

Entre 2 débits successifs du tableau pour une baisse de débit de Q1 à Q2, il faut un intervalle de temps Δt_{HRR100} pour respecter la vitesse HRR limite de 100 cm.h⁻¹ propre à éviter l'échouage des juvéniles de cyprinidés, auquel correspond un gradient de baisse de débit :

$$grad_{(Q_1, Q_2, HRR100)} = \frac{Q_1 - Q_2}{\Delta t_{(Q_1, Q_2, HRR100)}}$$

Pour généraliser cette relation à tous les intervalles de débits de la gamme simulée nous avons ajusté un polynôme de degré 3 entre les valeurs de gradient $grad_{(Q_1, Q_2, HRR100)}$ et le débit moyen $\frac{Q_1 + Q_2}{2}$ (Figure 20).

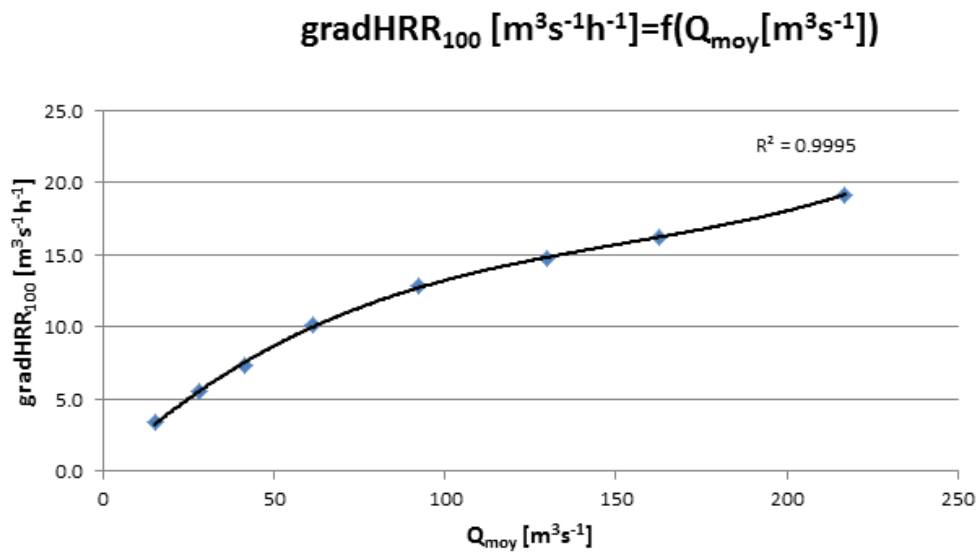


Figure 20 : Ajustement d'un polynôme de degré 3 entre le gradient de débit nécessaire pour respecter un HRR de 100 cm.h⁻¹ et le débit.

Entre deux valeurs de baisse de débit quelconque de Q1 à Q2 la valeur moyenne du gradient pour respecter HRR100 est estimée par :

$$gradHRR_{100}(Q_1, Q_2) = \frac{\int_{Q_2}^{Q_1} aQ^3 + bQ^2 + cQ + d \, dQ}{Q_1 - Q_2} = \frac{\frac{a}{4}(Q_1^4 - Q_2^4) + \frac{b}{3}(Q_1^3 - Q_2^3) + \frac{c}{2}(Q_1^2 - Q_2^2)}{Q_1 - Q_2} + d$$

Puisque la vitesse de déplacement de la bordure du lit mouillée est inversement proportionnelle au temps. Si l'on note Δb la distance horizontale moyenne parcourue par la bordure du lit mouillé pour une baisse de débit ΔQ :

$$\frac{\Delta b}{\Delta Q} = \frac{\frac{\Delta b}{\Delta t}}{\frac{\Delta Q}{\Delta t}} = \frac{HRR}{gradHRR} = \frac{HRR_{100}}{gradHRR_{100}(Q_1, Q_2)}$$

Donc dans une chronique hydrologique pour une baisse de Q1 à Q2 dans un intervalle de temps Δt le HRR effectif sera estimé par la proportion :

$$HRR = \frac{(Q_1 - Q_2) \cdot HRR_{100}}{\Delta t \cdot gradHRR_{100}(Q_1, Q_2)}$$

Ce qui numériquement dans notre cas correspondra aux calculs suivants

Si $Q_1 \leq Q_2$: $HRR = 0$

Si $Q_1 > Q_2$:

$$HRR = \frac{100 \cdot (Q_1 - Q_2)^2}{\Delta t \cdot \left(\frac{a}{4}(Q_1^4 - Q_2^4) + \frac{b}{3}(Q_1^3 - Q_2^3) + \frac{c}{2}(Q_1^2 - Q_2^2) + d(Q_1 - Q_2) \right)}$$

Tableau XIII : Unités et coefficients utilisés pour le calcul des HRR

$HRR [cm \cdot h^{-1}]$	
$Q_i [m^3 s^{-1}]$	
$\Delta t [h]$	
a	0.00000260158959398916
b	-0.00119476111654978
c	0.224506250603031
d	0.136428141942835

4.3. RELATIONS ENTRE DENSITES DE POISSONS ET CHRONIQUES HRR

4.3.1. Variables utilisées

- Restitutions à Cadarache et Mallemort

Les données horaires des débits restitués au niveau des stations de Cadarache (Pont de Cadenet) et de Mallemort (Cheval-Blanc) ont été utilisées afin d'évaluer les vitesses de retrait du lit mouillé, ou **HRR** (Horizontal Ramping Rate), exprimé en centimètre par heure.

A partir de l'équation ci-dessus et des constantes présentées dans le Tableau XIII, **douze métriques** ont été calculées dans le but de caractériser à la fois **l'intensité** (cumul et moyenne) et la **fréquence** (nombre cumulé d'événements) des retraits du lit mouillé précédant chaque pêche. Ces métriques sont récapitulées dans le Tableau XIV.

Tableau XIV - Définitions des 12 métriques caractérisant l'intensité et la fréquence du HRR au cours de l'année (colonne de gauche), et au cours du printemps (colonne de droite en jaune), selon que l'on s'intéresse à des vitesses de retrait supérieures à 0 cm.h⁻¹ (métriques 1 à 3, 7 à 9), ou dépassant le seuil 100cm.h⁻¹ (métriques 4 à 6, 10 à 12).

	Sur l'année précédant la pêche	Au cours du printemps précédant la pêche (avril-mai-juin)
HRR > 0cm.h⁻¹	1. HRR_cumu	7. HRR_amj
	2. HRR_event	8. HRR_event_amj
	3. HRR_moyen [=HRR_cumu/HRR_event]	9. HRR_moyen_amj [=HRR_amj/HRR_event_amj]
HRR>100 cm h⁻¹	4. HRR100_cumu	10. HRR100_amj
	5. HRR100_event	11. HRR100_event_amj
	6. HRR100_moyen [=HRR100_cumu/HRR100_event]	12. HRR100_moyen_amj [=HRR100_amj/HRR100_event_amj]

Sur l'année précédant la pêche :

1. **HRR_cumu** : cumul des vitesses de retrait du lit mouillé sur l'année précédant la pêche ;
2. **HRR_event** : nombre cumulé d'événements de retrait du lit mouillé sur l'année précédant la pêche ;
3. **HRR_moyen** : vitesse moyenne de retrait du lit mouillé sur l'année précédant la pêche ;
4. **HRR100_cumu** : cumul des vitesses de retrait du lit mouillé dépassant 100cm.h⁻¹ sur l'année précédant la pêche ;
5. **HRR100_event** : nombre cumulé d'événements avec un retrait du lit mouillé dépassant 100cm h⁻¹ sur l'année précédant la pêche ;
6. **HRR100_moyen** : vitesse moyenne des retraits du lit mouillé dépassant 100cm h⁻¹ sur l'année précédant la pêche ;

Au cours du printemps précédant la pêche (avril-mai-juin) :

7. **HRR_amj** : cumul des vitesses de retrait du lit mouillé au cours du printemps (avril-mai-juin) précédant la pêche ;
8. **HRR_event_amj** : nombre cumulé d'événements de retrait du lit mouillé au cours du printemps (avril-mai-juin) précédant la pêche ;
9. **HRR_moyen_amj** : vitesse moyenne de retrait du lit mouillé au cours du printemps (avril-mai-juin) précédant la pêche ;
10. **HRR100_amj** : cumul des vitesses de retrait du lit mouillé dépassant 100cm.h⁻¹ au cours du printemps (avril-mai-juin) précédant la pêche ;
11. **HRR100_event_amj** : nombre cumulé d'événements avec un retrait du lit mouillé dépassant 100cm h⁻¹ au cours du printemps (avril-mai-juin) précédant la pêche ;
12. **HRR100_moyen_amj** : vitesse moyenne des retraits du lit mouillé dépassant 100cm h⁻¹ au cours du printemps (avril-mai-juin) précédant la pêche.

Les chroniques de restitution de débits disponibles démarrent en septembre 2005. Il est donc possible de calculer ces différentes métriques et de les confronter aux données de pêche à partir de l'année 2006 (c'est-à-dire, de réaliser le cumul des vitesses et événements de retrait au cours de l'année et du printemps précédant les pêches réalisées en 2006).

La Figure 21 illustre les vitesses de retrait enregistrées pour l'année précédant les pêches de 2008 et le Tableau XV présente les résultats numériques correspondants aux différentes métriques calculées pour cette même année, prise pour exemple.

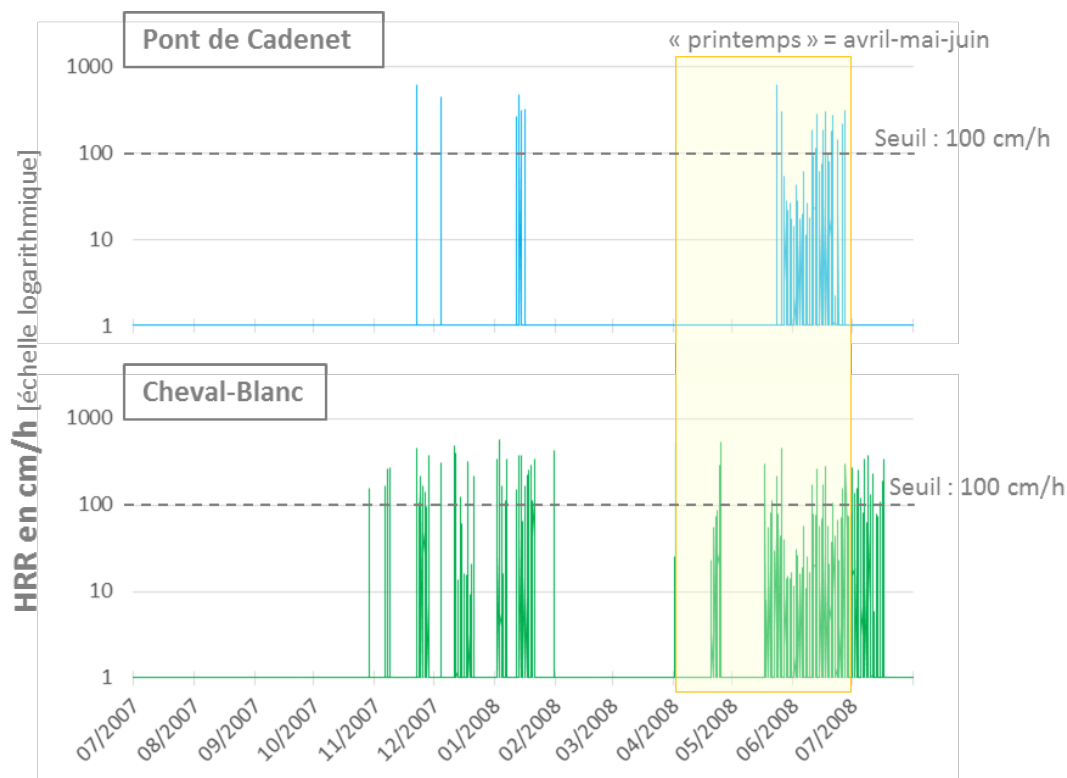


Figure 21 - Représentation des vitesses de retrait du lit mouillé, au cours de l'année correspondant aux pêches de 2008, calculées à partir des débits mesurés au Pont de Cadenet (en bleu) et à Mallemort (en vert). Les pointillés correspondent au seuil de retrait de 100 cm.h^{-1} et la partie surlignée au jaune correspond aux mois de « printemps » (avril-mai-juin).

Tableau XV - Résultats des 12 métriques calculées à partir du HRR (=vitesse de retrait du lit mouillé) de l'année correspondant aux pêches de 2008 pour les stations du Pont de Cadenet et de Cheval-Blanc.

		Pont de Cadenet	Cheval-Blanc
HRR > 0 cm.h^{-1} sur l'année	HRR_cumu	14283	42158
	HRR_event	317	1125
	HRR_cumu/HRR_event	45,1	37,5
HRR > 100 cm.h^{-1} sur l'année	HRR_cumu100	9000	25207
	HRR_event100	37	110
	HRR_cumu100/HRR_event100	243,3	229,2
HRR > 0 cm.h^{-1} au printemps	HRR_amj	9642	15792
	HRR_event_amj	290	569
	HRR_amj/HRR_event_amj	33,3	27,8
HRR > 100 cm.h^{-1} au printemps	HRR100_amj	4929	6490
	HRR100_event_amj	24	24
	HRR100_amj/HRR100_event_amj	205,4	270,4

- Données ichtyologiques

Les douze métriques permettant d'évaluer l'intensité et la fréquence des retraits du lit mouillé ont été confrontées à **trois variables** visant à caractériser la **réponse du peuplement piscicole** (Figure 22) :

- la densité moyenne des « grands » individus, c'est à dire de taille supérieure ou égale à 60mm (LT≥60mm), capturés hors-abris dans le chenal principal (**densi_sup60**);
- la densité moyenne totale du peuplement (tous les individus), toutes ambiances confondues (**densi_tot**) ;
- la densité moyenne de « juvéniles » ou petits individus, individus de taille inférieure ou égale à 59mm (LT≤59mm), toutes ambiances confondues (**densi_juv**).

Les valeurs numériques sont données en Annexe XI.

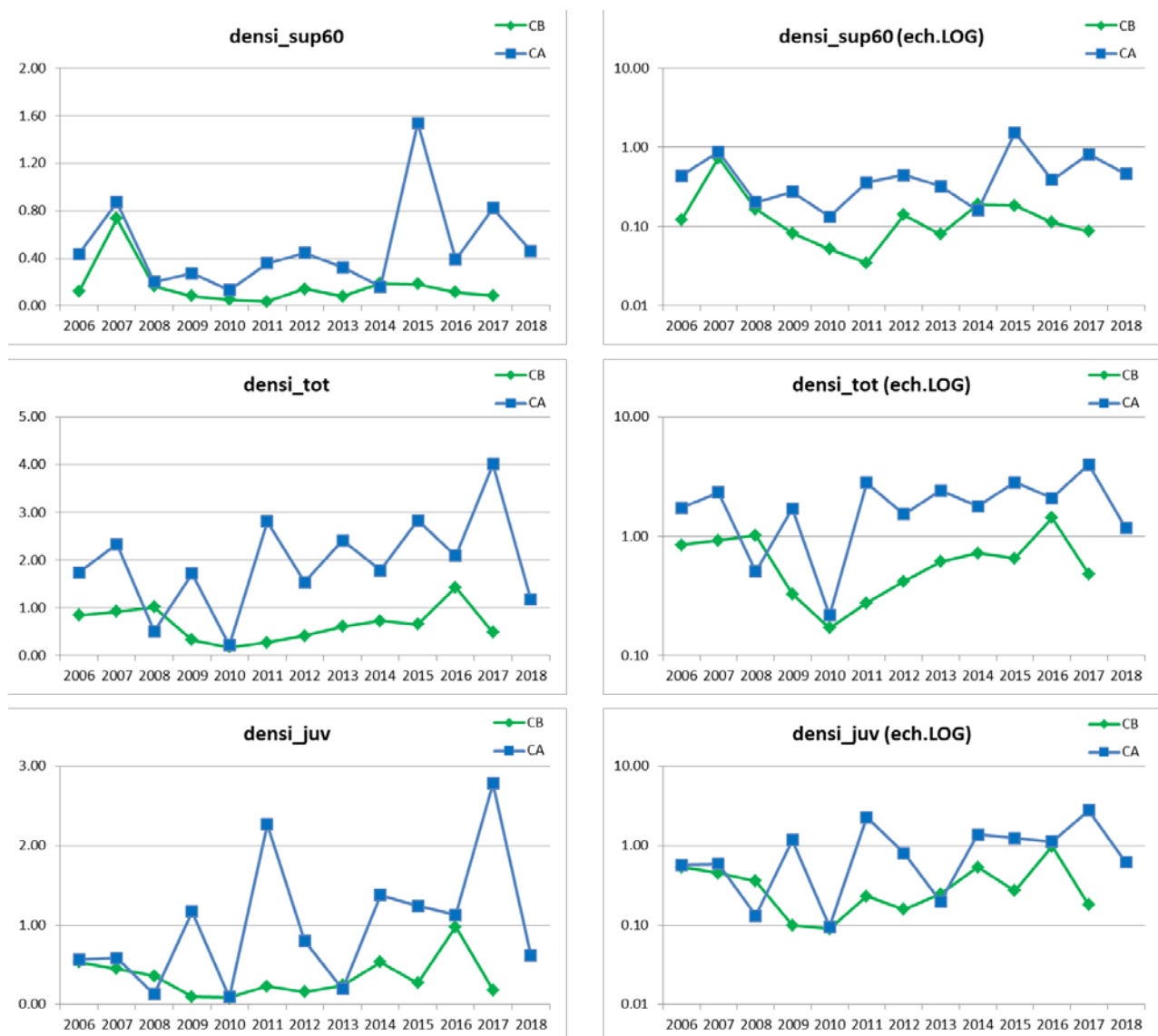


Figure 22 - Densités d'individus caractérisant les peuplements piscicoles échantillonnés par station (CA, Cadenet, en bleu ; et CB, Cheval-Blanc, en vert) et par an. A gauche, sont représentées les valeurs brutes, à droite, les valeurs LOG-transformées.

4.3.2. Liaison entre les variables

L'existence de liens entre les métriques caractérisant les fluctuations de largeur de lit mouillé et les variables réponses du peuplement piscicole a été explorée à partir de **régressions linéaires simples** sur des variables LOG-transformées (logarithme décimal).

Pour chacune des trois variables réponses, le meilleur prédicteur a été identifié en fonction du **coefficient de détermination** (R^2), mais aussi de la qualité de la régression, évaluée à partir du **test de Durbin-Watson** visant à caractériser l'autocorrélation des résidus et du **test de Breusch-Pagan** visant à caractériser l'homoscédasticité du terme d'erreur.

4.3.3. Résultats

Les résultats des différentes régressions réalisées sont récapitulés en Annexe XII (R^2 et résultats des tests). Dans cette partie ne seront détaillées que les régressions obtenues à partir des métriques fournissant la plus grande part d'explication en termes de variabilité des densités de poissons.

- Densité moyenne des individus dont $LT \geq 60mm$

Le **cumul annuel des HRR** supérieurs à 0 cm.h^{-1} (**HRR_cumu**) apparait être le meilleur prédicteur de la densité moyenne des « grands » individus (dont $LT > 60mm$) capturés hors-abris dans le chenal principal (Figure 23).

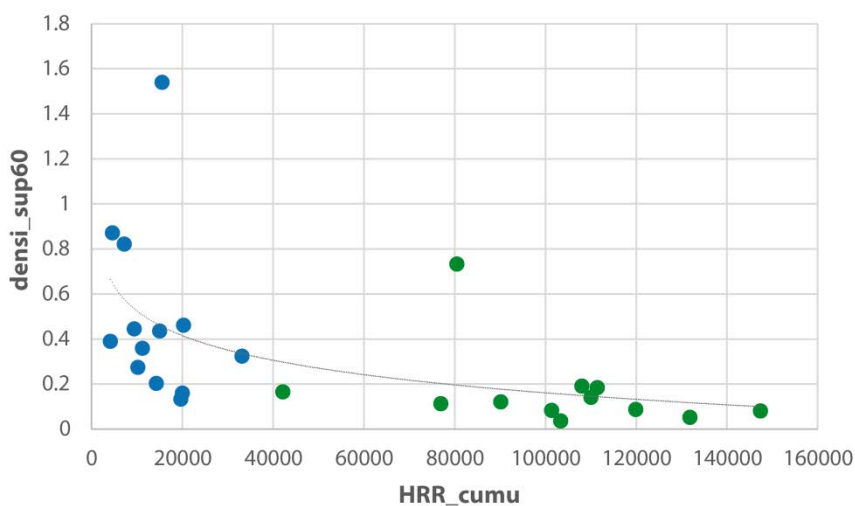


Figure 23 - Relation entre densités moyennes annuelles des « grands » individus ($LT \geq 60mm$) capturés dans le chenal principal hors-abris (nombre d'individus/m²), et cumul annuel des HRR (en cm/h) calculés pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).

Sur les variables brutes, la forme de la relation met en évidence une décroissance rapide de la densité des individus, et ce, même pour des valeurs relativement faibles de HRR cumulés (Figure 23). Cette relation négative de forme logarithmique entre les deux variables indique tout d'abord, que l'on peut linéariser la relation à l'aide d'une transformation de type LOG, mais aussi

qu'il serait envisageable avec une chronique plus longue (et surtout avec plus de données représentant de faibles niveau de perturbation) de déterminer une valeur-seuil de HRR cumulés à partir de laquelle le peuplement dépasse ses capacités de résistance et voit ses effectifs s'effondrer.

Après transformation (LOG10) des cumuls annuels de HRR et des densités moyennes annuelles, on obtient un coefficient de détermination de 50% (Figure 24), sans problème d'hétéroscédasticité, ni autocorrélation des résidus (Annexe XII).

Par ailleurs, la discrimination des deux sites en termes de fonctionnement hydraulique ressort clairement sur la Figure 24, avec des valeurs de HRR cumulés pour la station « Cheval-Blanc » toujours supérieures à celles obtenues pour la station « Pont de Cadenet ».

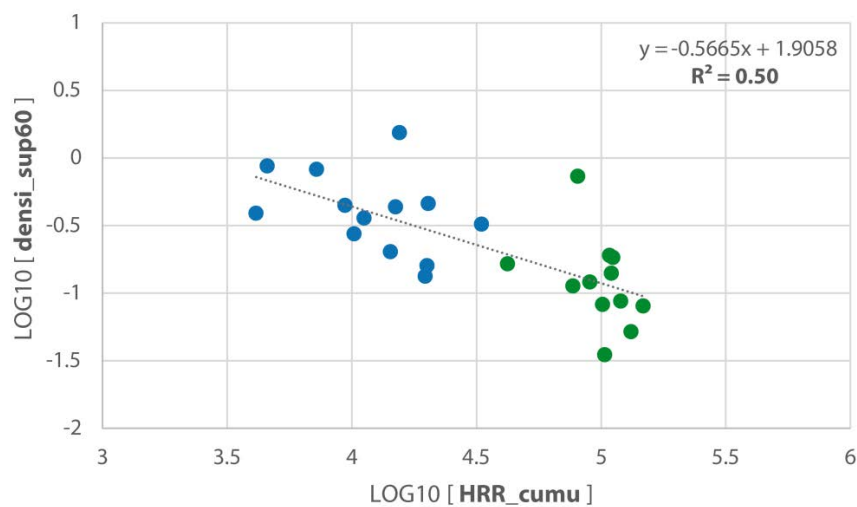


Figure 24 - Régression de la densité moyenne annuelle des « grands » individus (LT≥60mm) capturés dans le chenal principal hors-abris (LOG10 [nombre d'individus/m²]) en fonction du cumul annuel des HRR (LOG10 [cm/h]), calculés pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).

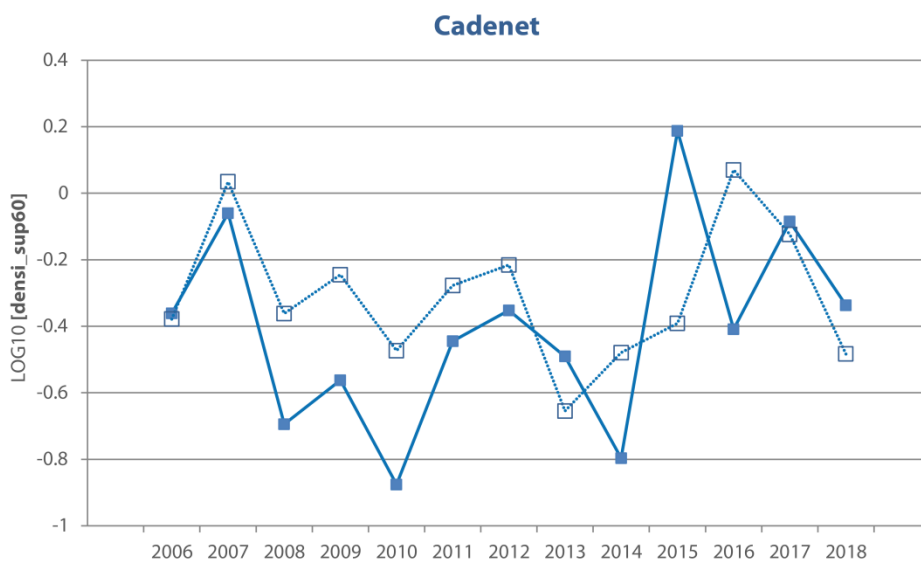


Figure 25 - Densité des individus dont LT≥60mm : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du cumul annuel des vitesses de retrait du lit mouillé (HRR_cumu) pour la station « Pont de Cadenet ». Les densités sont LOG-transformées.

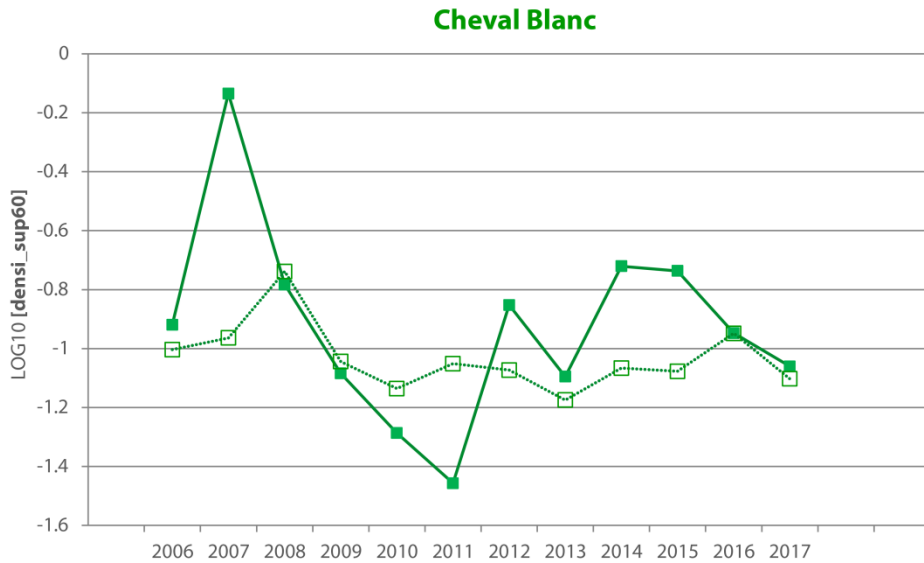


Figure 26 - Densité des individus dont $LT \geq 60\text{mm}$: confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du cumul annuel des vitesses de retrait du lit mouillé (HRR_cumu) pour la station « Cheval-Blanc ». Les densités sont LOG-transformées.

La Figure 25 (Pont de Cadenet) et la Figure 26 (Cheval-Blanc) mettent en avant une bonne correspondance entre les valeurs de densités observées sur les deux stations et les valeurs prédites à partir de la régression présentée en Figure 24. De plus, la relation linéaire retranscrit de façon cohérente la différence de fonctionnement hydraulique qui existe entre les deux stations (Figure 27).

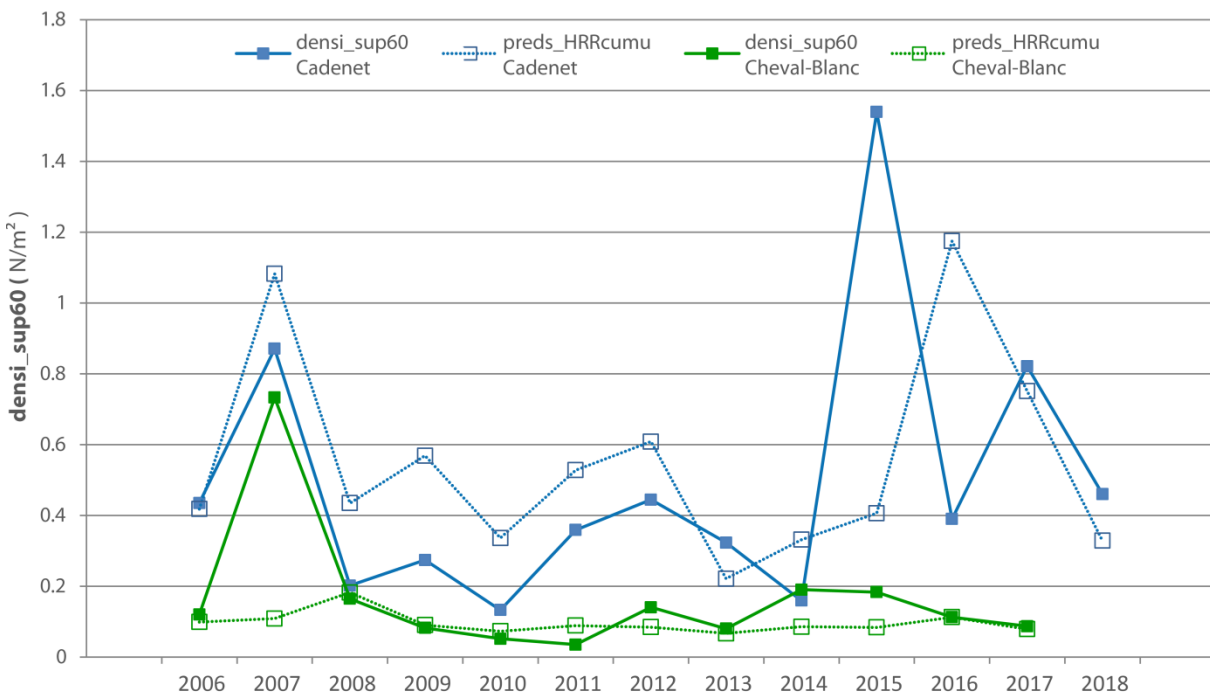


Figure 27 - Densité des individus dont $LT \geq 60\text{mm}$: confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du cumul annuel des vitesses de retrait du lit mouillé (HRR_cumu) pour la station « Pont de Cadenet » (en bleu) et la station « Cheval-Blanc » (en vert) (valeurs brutes).

On peut cependant remarquer un manque d'adéquation entre valeurs observées et valeurs prédites pour deux années/stations en particulier : l'année 2007 pour la station « Cheval-Blanc » et l'année 2015 pour la station « Pont de Cadenet », pour lesquelles de fortes densités d'individus ont été observées (Figure 27). En effet, le modèle utilisé apparaît moins performant quand il s'agit de prédire des densités élevées.

Parmi les autres métriques explicatives confrontées aux densités (Annexe XII), il est intéressant de noter que le cumul des HRR supérieurs à 100 cm/h (**HRR100_cumu**) n'améliore pas le modèle : le R^2 passe de 0.50 à 0.47.

En revanche, le cumul printanier des vitesses de retrait (**HRR_amj**) apparaît être un aussi bon prédicteur de la densité ($R^2 = 0.50$, Figure 28) que le cumul sur toute l'année (**HRR_cumu**). Ce résultat est intéressant car il indique que l'essentiel de l'impact des retraits du lit mouillé sur les peuplements piscicoles **semble intervenir plutôt au printemps**.

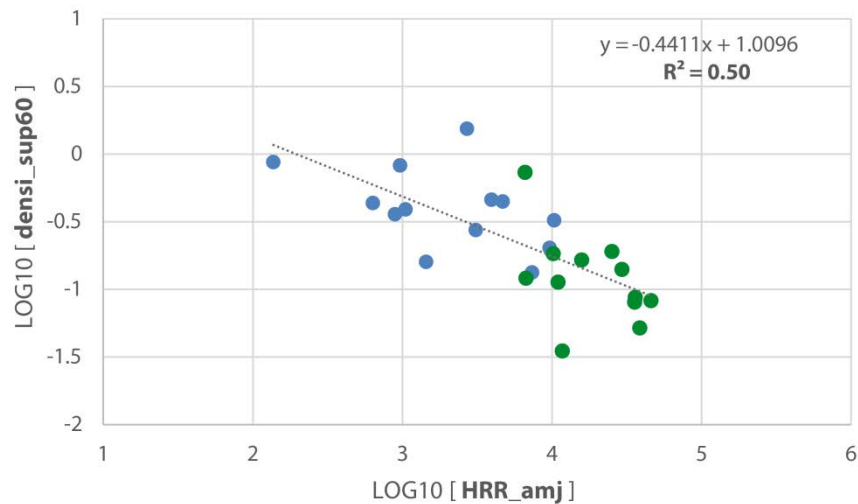


Figure 28 - Régression de la densité moyenne annuelle des « grands » individus (LT≥60mm) capturés dans le chenal principal hors-abris (LOG10 [nombre d'individus/m²]) en fonction du cumul printanier des HRR (LOG10 [cm/h]), calculés pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).

- Densité moyenne totale

Le même travail a été conduit dans le but d'identifier la meilleure métrique explicative concernant les densités moyennes annuelles totales des peuplements (**densi_tot**), c'est à dire en prenant en compte tous les individus, capturés sur la totalité des ambiances.

C'est le nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (**HRR100_event_amj**) (Figure 29) qui ressort comme meilleur prédicteur de la densité moyenne totale, permettant d'expliquer plus de 56% de la variabilité des densités.

Ci-après, ne sont présentés que les résultats correspondant à la régression des densités moyennes totales en fonction du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (Figure 30, Figure 31, Figure 32). Cependant, plusieurs métriques offrent une part

d'explication équivalente. En effet, le cumul des vitesses de retrait au cours du printemps (**HRR_amj**), tout comme le nombre cumulé d'événements printaniers (**HRR_event_amj**), présentent respectivement des R² de 0.55 et 0.54 (Annexe XII).

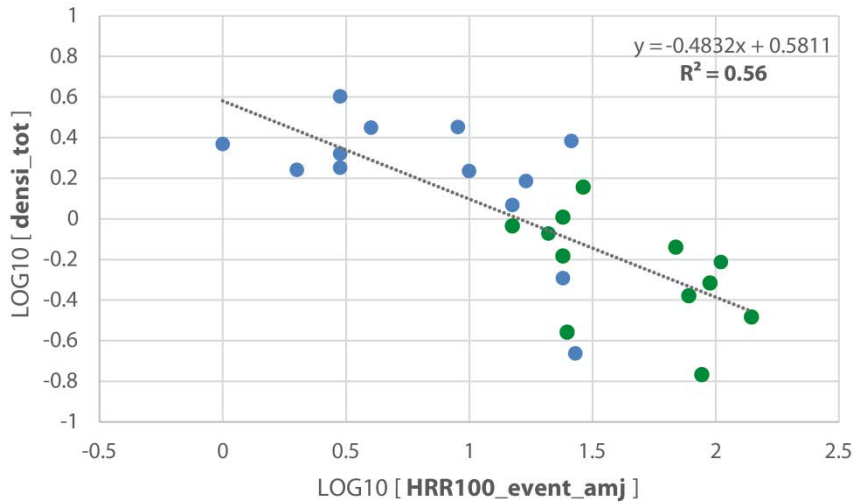


Figure 29 - Régression de la densité moyenne annuelle totale, individus capturés sur la totalité des ambiances (LOG10 [nombre d'individus/m²]) en fonction du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc » (en vert).

Malgré un R² supérieur à 0.50, on peut noter des différences entre valeurs observées et valeurs prédites plus marquées sur la deuxième moitié de la chronique (à partir de 2013) que sur la première (Figure 30, Figure 31, Figure 32).

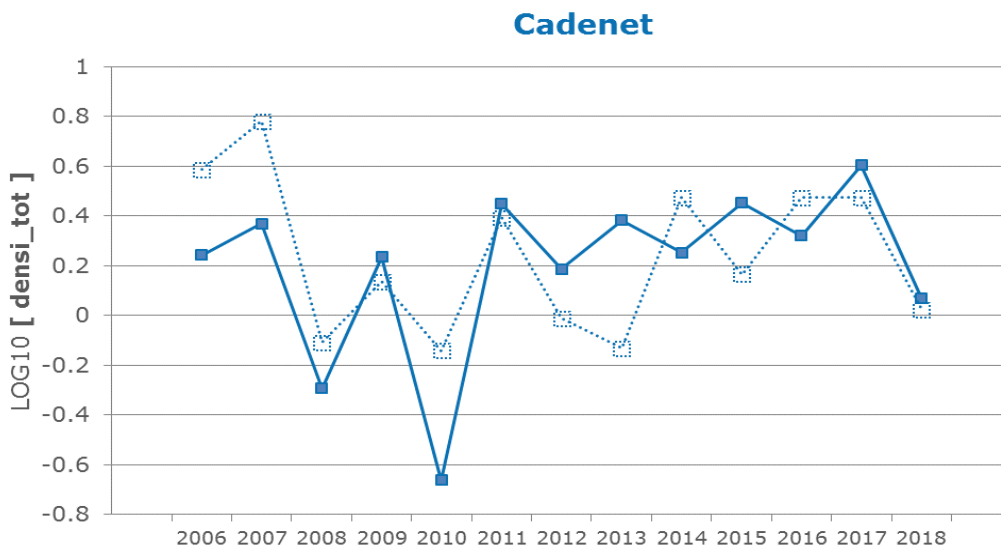


Figure 30 - Densité moyenne totale : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet ». Les densités sont LOG-transformées.

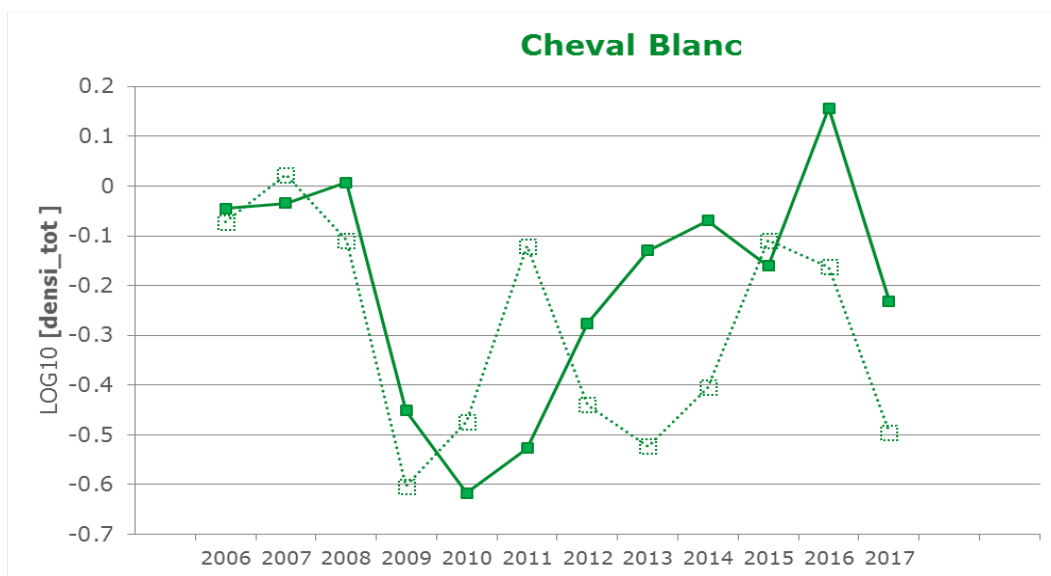


Figure 31 - Densité moyenne totale : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour la station « Cheval-Blanc ». Les densités sont LOG-transformées.

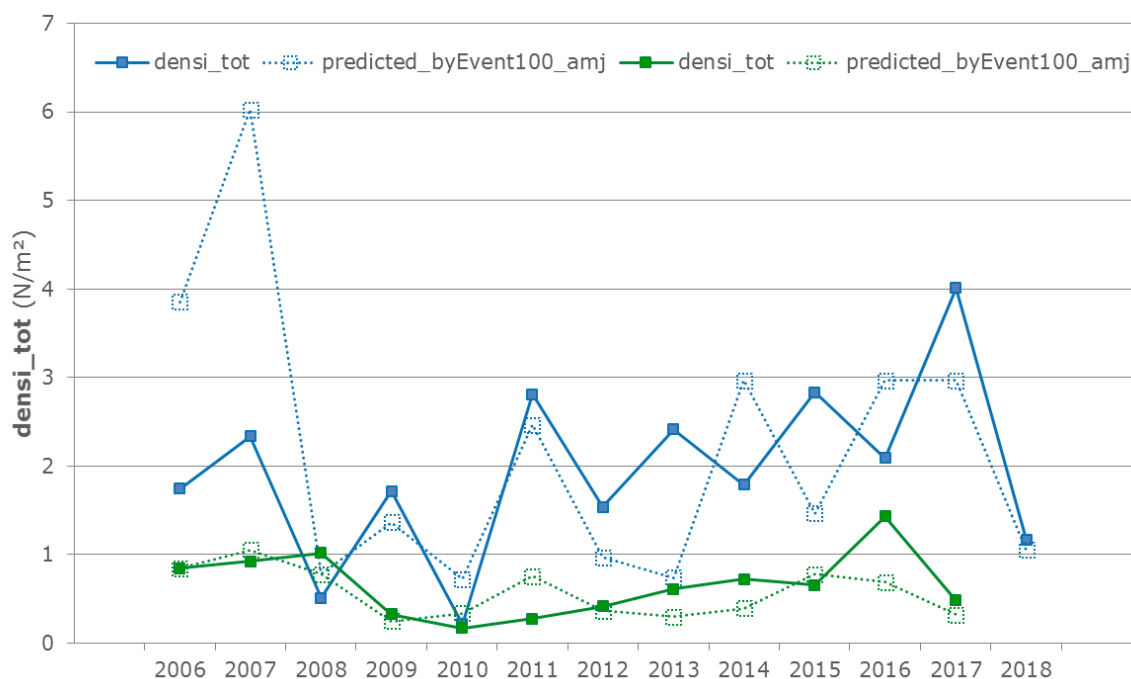


Figure 32 - Densité moyenne totale : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements dépassant 100cm/h au cours du printemps (HRR100_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet » (en bleu) et la station « Cheval-Blanc » (en vert) (valeurs brutes).

- Densité moyenne des juvéniles, $LT \leq 59mm$

Enfin, la métrique la plus pertinente pour expliquer les variations de densité moyenne annuelle de petits individus (**densi_juv** : individus dont $LT \leq 59mm$) est le **nombre cumulé d'événements**

intervenant au cours du **printemps** précédant la pêche (**HRR_event_amj**). Après transformation des variables (LOG10), on obtient un coefficient de détermination de 53% (Figure 33), sans problème d'hétéroscédasticité, ni autocorrélation des résidus.

Par ailleurs, le cumul des vitesses de retrait au cours du printemps (**HRR_amj**), et le nombre cumulé d'événements dépassant 100 cm/h au cours du printemps (**HRR100_event_amj**), ressortent également comme de bons prédicteurs de la densité des juvéniles ($R^2 = 0.48$ et $R^2 = 0.51$ respectivement, Annexe XII). Ces résultats renforcent l'hypothèse d'un **impact accru** des retraits du lit mouillé sur le peuplement, et notamment sur les petits individus, quand ces retraits interviennent **au printemps**.

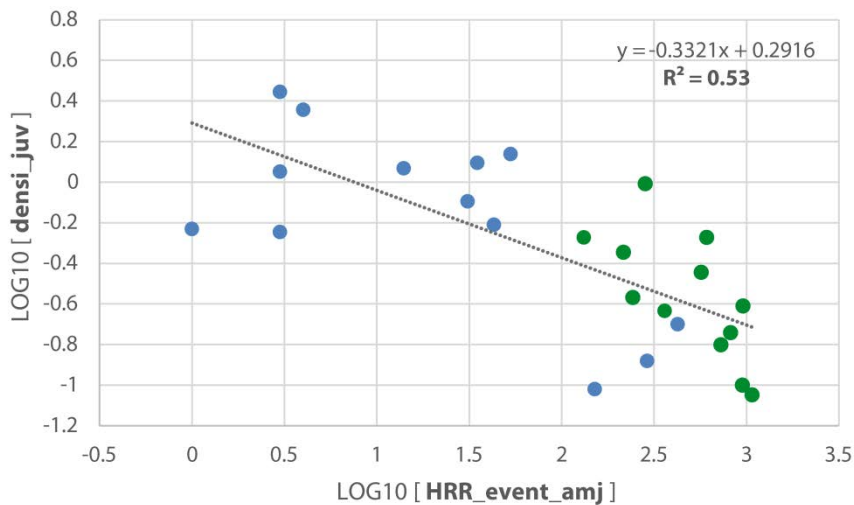


Figure 33 - Régression de la densité moyenne annuelle de juvéniles et/ou petits individus (LT≤59mm) capturés sur la totalité des ambiances (LOG10 [nombre d'individus/m²]) en fonction du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour les stations « Pont de Cadenet » (en bleu) et « Cheval-Blanc »(en vert).

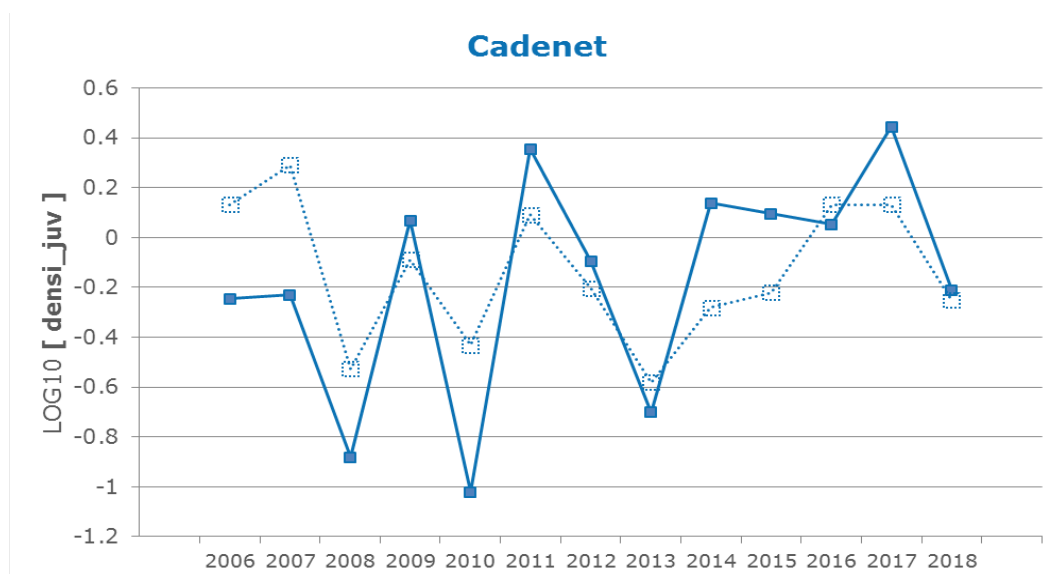


Figure 34 - Densité des juvéniles et/ou petits individus : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet ». Les densités sont LOG-transformées.

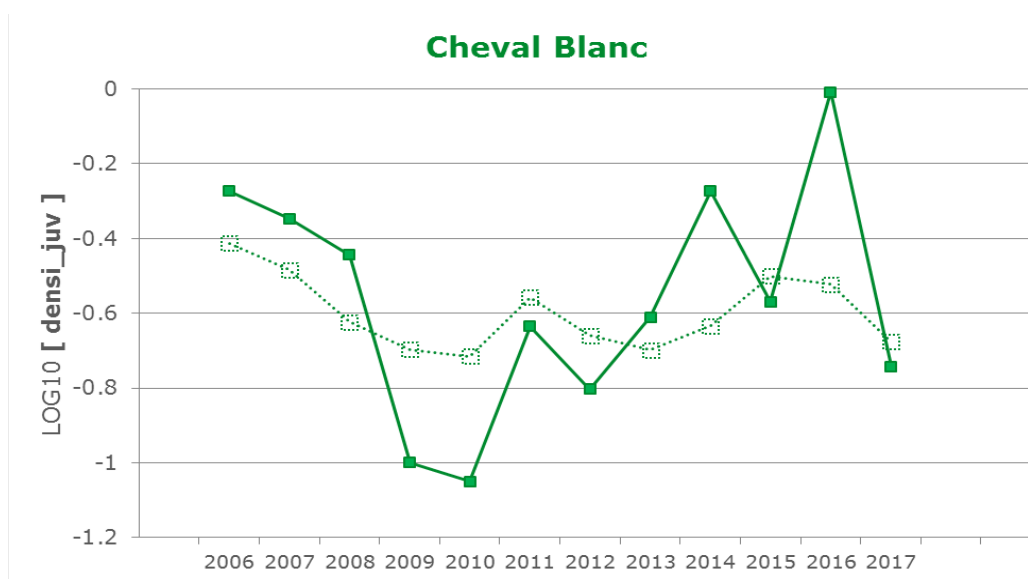


Figure 35 - Densité des juvéniles et/ou petits individus : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour la station « Cheval-Blanc ». Les densités sont LOG-transformées.

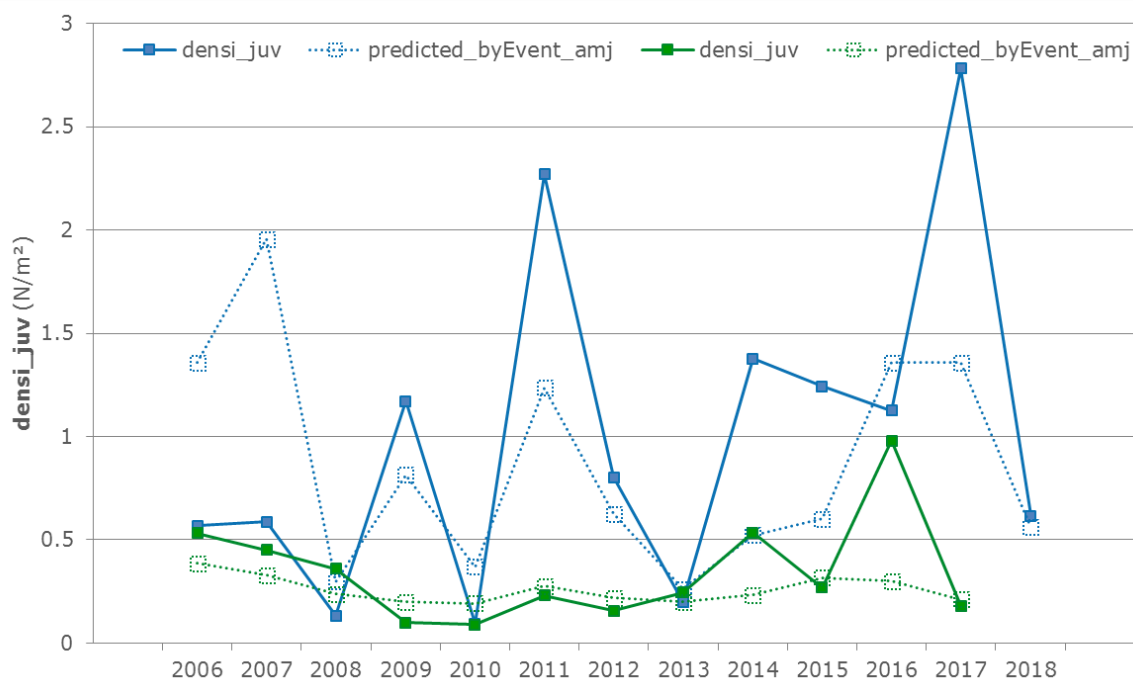


Figure 36 - Densité des juvéniles et/ou petits individus : confrontation des valeurs observées (trait plein) aux valeurs prédites (trait pointillé) à partir du nombre cumulé d'événements au cours du printemps (HRR_event_amj) pour la station « Pont de Cadenet » (en bleu) et la station « Cheval-Blanc » (en vert) (valeurs brutes).

Enfin, il est intéressant de noter que, malgré un R^2 légèrement moins fort que pour la densité moyenne totale des peuplements (**densi_tot**), cette régression des densités de petits individus (**densi_juv**) réalisée en fonction de la variable **HRR_event_amj** offre une meilleure adéquation entre valeurs observées et valeurs prédites sur la deuxième moitié de la chronique.

- Conclusion

Pour conclure sur les relations entre métriques HRR et densités de poissons, il est important de remarquer que (cf. Annexe XII) :

- dès que les individus de petite taille sont pris en compte (**densi-tot** et **densi_juv**), les métriques **calculées pour le printemps** fournissent une part d'explication plus importante que les métriques HRR calculées sur toute l'année précédant les pêches ;
- les métriques caractérisant l'**intensité moyenne** des vitesses de retrait du lit mouillées (métriques 3, 6, 9 et 12, cf. Tableau XIV), ne sont pas pertinentes pour expliquer les densités, hormis pour les petits individus, indiquant que c'est la répétition des retraits plus que leur intensité qui semble affecter les effectifs ;
- les métriques de HRR basées sur **la valeur seuil de 100 cm.h⁻¹** n'apportent pas d'explication supplémentaire par rapport aux cumuls réalisés au-dessus de 0 cm.h⁻¹.

5. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Cette première exploration de l'influence du HRR sur les densités de poissons est prometteuse et tend à démontrer l'importance de l'impact des retraits du lit mouillé quand ces derniers interviennent au cours du printemps. Cette période correspond à la reprise de la croissance, mais aussi à la période de reproduction de la plupart des espèces piscicoles.

Par ailleurs, c'est sûrement pour la même raison que les métriques calculées à partir du HRR se montrent plus performantes en termes de prédiction des densités dès que les petits individus sont pris en compte ((densi_tot et densi_juv), par rapport à la variable réponse les excluant (densi_sup60). En effet, les juvéniles et les petits individus correspondent à la fraction du peuplement la plus sensible au risque d'échouage/piégeage lié aux retraits du lit mouillé.

Enfin, il serait intéressant de faire intervenir d'autres prédicteurs, comme la température de l'eau ou les concentrations de matières en suspension. Si le HRR paraît expliquer une part importante des variations de densité, notamment les chutes d'effectifs, l'ajout de la thermie comme variable explicative pourrait améliorer le modèle en permettant de mieux prédire les densités élevées d'individus, souvent consécutives au succès de la reproduction des printemps chauds et précoces.

Précisons que les calculs effectués présentent de nombreux biais citons :

- Les données utilisées pour l'équation du HRR sont issues d'un seul tronçon contenant la station « Cheval Blanc » dont la représentativité dans le temps et dans l'espace est inconnue, or les morphogénèses de la Durance peuvent faire varier sensiblement son indice de tressage (LE COARER et al., 2006) ;
- Pour effectuer un calcul sur la chronique de débits, l'équation du HRR a été extrapolée au-delà de la gamme de débit de 9.2 à 259 m³s⁻¹ ayant fait l'objet des calculs hydrauliques.
- Du seul point de vue de l'hydraulique pour une année/station donnée, l'hydrosignature de l'échantillonnage piscicole apparaît unique et sensiblement différente de l'hydrosignature du tronçon. Les densités de poissons utilisées ne sont pas a priori représentatives des stations. Il conviendrait de corriger ces densités en utilisant par exemple le modèle habitats/poissons 5M7. Ce modèle permet de calculer des coefficients de préférence trivariés de taxons de poissons pour des classes profondeur/vitesse/substrat assimilées ici à "l'habitat". Par suite, il peut permettre d'estimer par année/station un taux d'occupation des habitats favorables aux poissons à partir de résultats de pêches par ambiances. En estimant les hydrosignatures représentatives des années/stations et en leur affectant les taux d'occupations mesurées par 5M7 dans les ambiances, il serait possible de mieux estimer les densités moyennes observées.

Des travaux de recherche terrain/fluviariums nous semblent nécessaires pour mieux préciser les risques d'échouages des juvéniles selon la vitesse de déplacement de la bordure du lit mouillé, la température, le substrat, la phase nyctémérale, l'espèce et la taille des individus.

Dans le cadre d'une collaboration AFB, EDF et Irstea, nous développons actuellement la plateforme logicielle HABBY qui permettra d'estimer les habitats piscicoles en se basant sur des modèles biologiques et hydrauliques (méthode des micro-habitats). HABBY est notamment prévu pour mettre en œuvre des modèles de préférences trivariés comme 5M7 profondeur/vitesse/substrat pour des classes de tailles de taxons de poissons. Ce logiciel libre et gratuit devrait être disponible fin 2019. La mise à disposition dans ce logiciel de calculs spécifiques aux problématiques éclusées, notamment les HRR, est prévue dans les deux années à venir. HABBY est conçu pour une collaboration internationale en écohydraulique où les problèmes écologiques associés aux éclusées restent l'une des préoccupations majeures.

6. SITES WEB

<http://www.cs.cmu.edu/~quake/triangle.html> Logiciel Triangle : "A Two-Dimensional Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator" Jonathan Richard Shewchuk, Computer Science Division, University of California at Berkeley, Berkeley, California 94720-1776.

<https://github.com/YannIrstea/habby> plateforme de développement du logiciel HABBY

<http://hydrosignature.irstea.fr> Logiciel HydroSignature.

<ftp://rgpdata.ign.fr/pub/data/2008/>

<http://www.R-project.org/> : R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPUIS, M. (2012): Mobilité des sédiments fluviaux grossiers dans les systèmes fortement anthropisés : éléments pour la gestion de la basse vallée de la Durance, CEREGE, Aix-Marseille Université, 243 p.

CHESEL, D., DUFOUR, A.-B. & THIOULOUSE, J. (2004): The ade4 package - I : One-table methods. - R News **4**: 5-10.

LE COARER, Y., CARREL, G. & DUMONT, B. (2000): Moyenne Durance, Site du Largue. Aspects morphodynamiques, thermiques et piscicoles. Cemagref, UR Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 60 p.

LE COARER, Y., ARCHAMBAUD-SUARD, G., GIORDANO, L., SCHARL, A., RABOTIN, M., DUMONT, B., RAYMOND, V., CARREL, G., RIFFLART, R. & ROUX, B. (2006): Renouveaulement de la concession de Saint Tulle 1. Etude expérimentale des débits réservés en moyenne Durance. Lot 1 "Eco-géomorphologie". Campagnes de terrain 2005. 1/2. Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, France, 127 p.

LE COARER, Y., ARCHAMBAUD-SUARD, G., GIORDANO, L., SCHARL, A., RABOTIN, M., DUMONT, B., RAYMOND, V., CARREL, G., RIFFLART, R. & ROUX, B. (2006): Renouveaulement de la concession de Saint Tulle 1. Etude expérimentale des débits réservés en moyenne Durance. Lot 1 "Eco-géomorphologie". Campagnes de terrain 2005. Annexes 2/2. Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, France, 87 p.

LE COARER, Y. (2007): Hydraulic signatures for ecological modelling at different scales. - *Aquat. Ecol.* 41: 451-459.

LE COARER, Y., PROST, O. & TESTI, B. (2016): Transferability of fish habitat models: The new 5m7 approach applied to the Mediterranean Barbel (*Barbus meridionalis*). Paper 26752. - In: WEBB, J.A., COSTELLOE, J.F., CASAS-MULET, R., LYON, J.P. & STEWARDSON, M.J. (Eds), Proceedings of the 11th International Symposium on Ecohydraulics, The University of Melbourne, Melbourne, Australia, 7-12 February 2016.

LE COARER, Y., BEGUIN, J., REYNAULT, N. & VON GUNTEN, D. (2016): Etudes des habitats hydrauliques piscicoles soumis à éclusées : aide à la détermination des débits souhaitables en Basse-Durance. IRSTEA, RECOVER, FRESHCO, 66 p.

LE COARER, Y., TESTI, B. & BEGUIN, J. (2017): Ecohydraulic quantification of hydropeaking alterations by the use of hydrosignatures: a two scale approach. - *La Houille Blanche* 2: 15-19.

SCHARL, A. & LE COARER, Y. (2005): Morphohydraulic quantification of non spatialized datasets with the "Hydrosignature" software. - In: HARBY, A. et al. (Eds), Proceedings, Final COST 626 European Aquatic Modelling Network meeting in Silkeborg, Denmark 19-20 May 2005. National Environmental Research Institute, pp. 313-326.

8. RAPPORTS

LE COARER, Y., & CARREL G., 2003. Analyses piscicoles de la Durance dans le secteur de Cheval Blanc. Campagne 2003. Aix-en-Provence, Cemagref, U.R. Hydrobiologie, 23 p.

Conclusions communes CSP et Cemagref. BARIL, D., LE COARER, Y. & CARREL, G., février 2004.

LE COARER, Y., CARREL, G. & RABOTIN, M., 2004. Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2004, Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 33 p.

Conclusions communes CSP et Cemagref. BARIL, D., LE COARER, Y. & CARREL, G., janvier 2005.

LE COARER, Y., CARREL, G., 2005. Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Pêches électriques – topographie des ambiances. Campagne 2005, Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 23 p.

LE COARER, Y., CARREL, G., 2006. Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2006. Aix-en-Provence, Cemagref, U.R. Hydrobiologie, 27 p

Conclusions communes CSP et Cemagref, campagne 2006 BARIL, D., LE COARER, Y. & CARREL, G., janvier 2006

LE COARER, Y., CARREL, G., 2007. Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2007. Aix-en-Provence, Cemagref, U.R. Hydrobiologie, 27 p

LE COARER, Y., CARREL, G., MEYNARD, M, LANGUILLE, P, 2008. Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2008. Aix-en-Provence, Cemagref, U.R. Hydrobiologie, 37 p

Conclusions communes ONEMA et Cemagref, campagne 2008 LE COARER, Y, CARREL, G. & BARIL, D., janvier 2008

LE COARER, Y., CARREL, G., MEYNARD, M. & BOYER, J. (2009): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2009. Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 34 p.

LE COARER, Y., CARREL, G. & BOYER, J. (2010): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et de Pont de Cadenet. Campagne 2010. Cemagref, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 34 p.

LE COARER, Y., CARREL, G., MARTINEAU, T., DAGNEAUX, D. & BEGUIN, J. (2012): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2011. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 38 p.

LE COARER, Y., CARREL, G., BEGUIN, J. & MARTINEAU, T. (2012): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2012. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 37 p.

LE COARER, Y., CARREL, G., BEGUIN, J., COLOMBET, X. & TESTI, B. (2014): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2013. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 48 p.

LE COARER, Y., CARREL, G., COLOMBET, X., TESTI, B. & PROST, O. (2014): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2014. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 51 p.

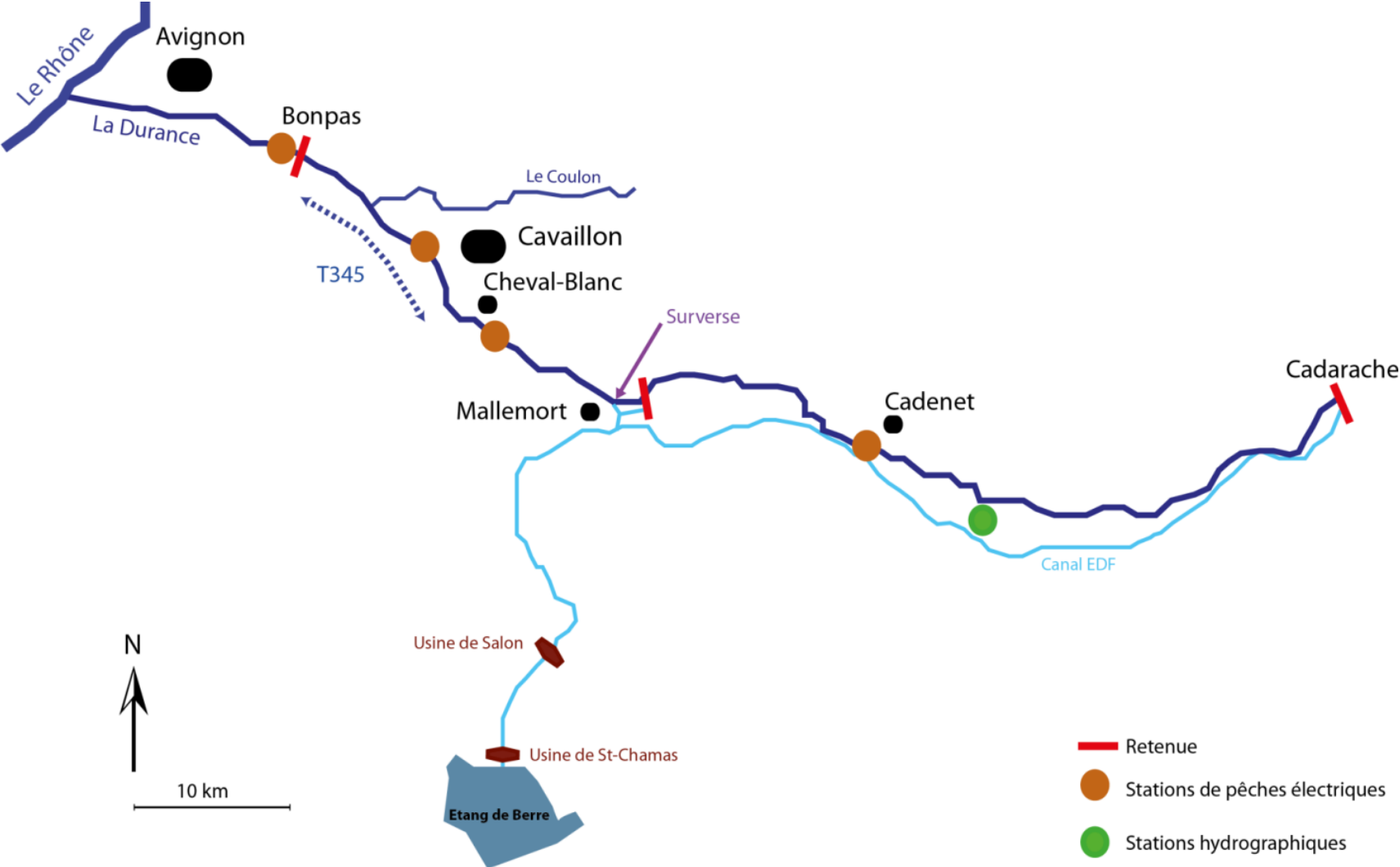
LE COARER, Y., CARREL, G. & TESTI, B. (2015): Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2015. Irstea, UR Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 53 p.

LE COARER, Y., CARREL, G. & BEGUIN, J. (2016): Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2016. Irstea, UR RECOVER/FRESHCO, Aix-en-Provence, 54 p.

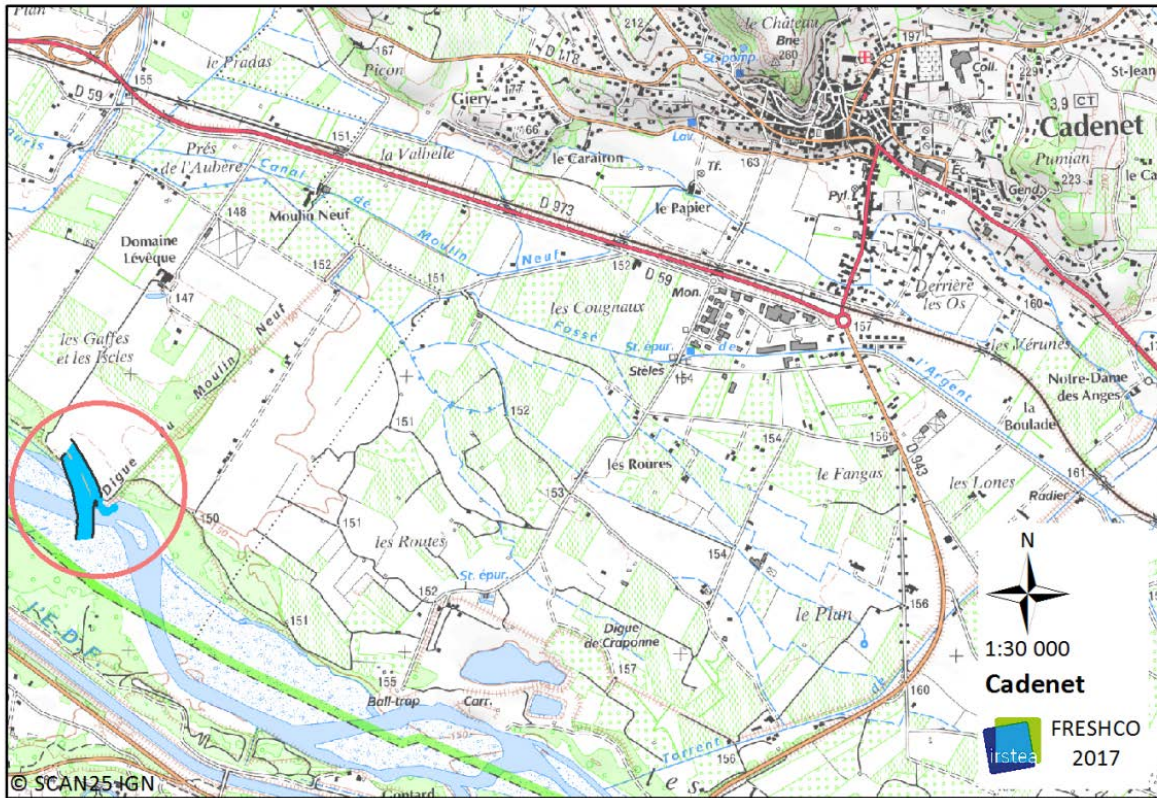
LE COARER, Y., CARREL, G. & LIZEE, M H. (2017): Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2017. Irstea, UR RECOVER/FRESHCO, Aix-en-Provence, 66 p.

9. ANNEXES

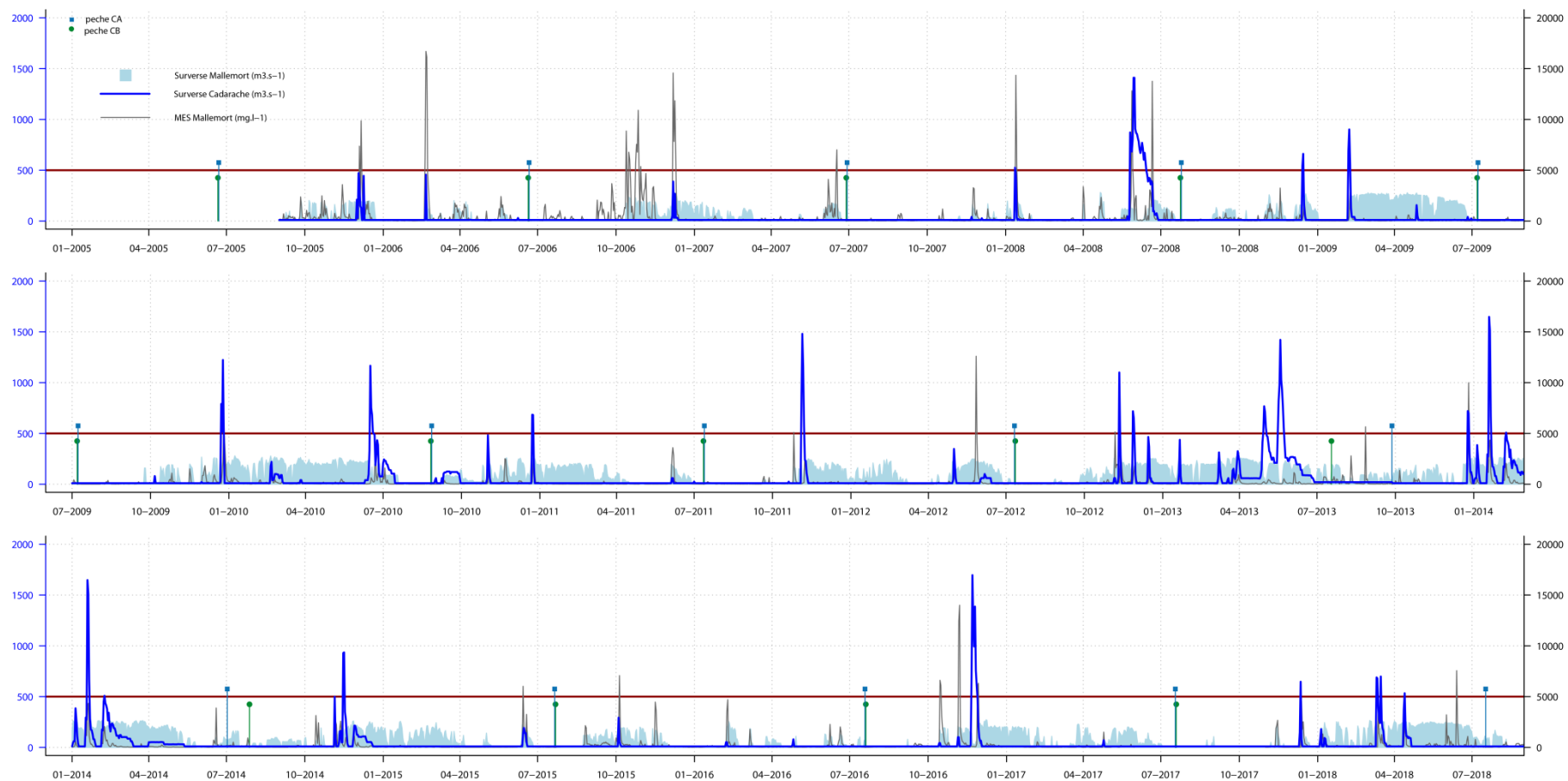
ANNEXE I : Plan de situation des stations de pêche AFB à « Bonpas », Sage Environnement à « Cavaillon », AFB & Irstea à « Cheval Blanc/Orgon » et « Pont de Cadenet ».



ANNEXE II : Plan de situation de la station « Pont de Cadenet »



ANNEXE III : Chroniques des surverses (débits journaliers en m³.s⁻¹) à Cadarache et à Mallemort entre septembre 2005 et septembre 2018. Chronique de MES (g.l-1) à Mallemort. Localisation temporelle des pêches réalisées à « Pont de Cadenet » et « Cheval-Blanc/Orgon ».



ANNEXE IV : Comparaison des Hydrosignatures en aires moyennes des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc/Orgon (CB) obtenues de 2004 à 2018.
Valeurs numériques arrondies à l'unité.

Aire	Moyenne																												
HSC	CA04	CA05	CA06	CA07	CA08	CA09	CA10	CA11	CA12	CA13	CA14	CA15	CA16	CA17	CA18	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08	CB09	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB16	CB17
CA04	0	15	15	25	39	33	37	26	33	27	24	21	21	18	24	34	29	27	26	26	32	35	30	27	29	30	30	31	30
CA05	15	0	9	14	36	36	40	23	36	25	24	18	22	16	24	37	34	29	30	21	28	29	34	23	31	29	27	29	30
CA06	15	9	0	12	34	31	37	22	31	22	18	18	20	14	20	31	29	24	25	20	26	28	29	19	26	27	25	27	26
CA07	25	14	12	0	37	37	43	27	36	27	24	24	28	22	27	37	35	30	31	21	31	26	34	25	31	33	30	34	31
CA08	39	36	34	37	0	22	26	24	26	27	28	28	26	32	33	21	24	20	20	22	22	19	24	25	23	30	15	21	28
CA09	33	36	31	37	22	0	23	22	23	23	19	32	21	29	29	16	16	21	17	24	19	29	20	22	15	27	24	21	21
CA10	37	40	37	43	26	23	0	28	29	31	31	32	26	35	36	30	31	28	21	31	27	31	23	31	25	33	26	25	32
CA11	26	23	22	27	24	22	28	0	29	17	20	19	11	16	27	25	22	19	18	16	20	27	22	19	18	21	22	20	24
CA12	33	36	31	36	26	23	29	29	0	25	23	34	26	37	20	24	20	21	26	29	18	25	15	20	16	21	19	14	17
CA13	27	25	22	27	27	23	31	17	25	0	15	26	18	22	18	21	22	23	22	15	14	25	21	15	19	20	22	17	18
CA14	24	24	18	24	28	19	31	20	23	15	0	23	17	18	17	21	21	22	22	16	15	27	20	12	16	22	23	20	14
CA15	21	18	18	24	28	32	32	19	34	26	23	0	15	18	28	34	33	26	23	22	29	30	26	25	25	23	24	26	31
CA16	21	22	20	28	26	21	26	11	26	18	17	15	0	19	23	26	23	19	15	20	20	30	17	18	16	18	22	18	24
CA17	18	16	14	22	32	29	35	16	37	22	18	18	19	0	26	33	32	28	25	18	27	31	31	22	28	30	27	29	28
CA18	24	24	20	27	33	29	36	27	20	18	17	28	23	26	0	27	22	21	28	26	18	28	24	17	22	18	23	18	13
CB04	34	37	31	37	21	16	30	25	24	21	21	34	26	33	27	0	17	21	22	24	20	27	24	24	17	27	22	20	22
CB05	29	34	29	35	24	16	31	22	20	22	21	33	23	32	22	17	0	14	20	25	22	30	18	21	15	23	22	17	20
CB06	27	29	24	30	20	21	28	19	21	23	22	26	19	28	21	21	14	0	16	22	22	22	19	20	19	25	14	16	23
CB07	26	30	25	31	20	17	21	18	26	22	22	23	15	25	28	22	20	16	0	21	24	25	17	23	17	27	17	21	27
CB08	26	21	20	21	22	24	31	16	29	15	16	22	20	18	26	24	25	22	21	0	20	19	25	17	21	29	20	23	24
CB09	32	28	26	31	22	19	27	20	18	14	15	29	20	27	18	20	22	22	24	20	0	25	18	12	17	18	21	12	11
CB10	35	29	28	26	19	29	31	27	25	25	27	30	30	31	28	27	30	22	25	19	25	0	28	25	28	34	15	23	28
CB11	30	34	29	34	24	20	23	22	15	21	20	26	17	31	24	24	18	19	17	25	18	28	0	19	12	18	21	15	21
CB12	27	23	19	25	25	22	31	19	20	15	12	25	18	22	17	24	21	20	23	17	12	25	19	0	17	20	19	15	13
CB13	29	31	26	31	23	15	25	18	16	19	16	25	16	28	22	17	15	19	17	21	17	28	12	17	0	19	22	15	17
CB14	30	29	27	33	30	27	33	21	21	20	22	23	18	30	18	27	23	25	27	29	18	34	18	20	19	0	27	14	19
CB15	30	27	25	30	15	24	26	22	19	22	23	24	22	27	23	22	22	14	17	20	21	15	21	19	22	27	0	15	24
CB16	31	29	27	34	21	21	25	20	14	17	20	26	18	29	18	20	17	16	21	23	12	23	15	15	15	14	15	0	16
CB17	30	30	26	31	28	21	32	24	17	18	14	31	24	28	13	22	20	23	27	24	11	28	21	13	17	19	24	16	0

HSC Moyenne	HSC Ecart_type	HSC Minimum	HSC Maximum
24	6	9	43

ANNEXE V : Comparaison des Hydrosignatures en aires totales des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc/Orgon (CB) obtenues de 2004 à 2018.
Valeurs numériques arrondies à l'unité.

Aire	Totale																												
	CA04	CA05	CA06	CA07	CA08	CA09	CA10	CA11	CA12	CA13	CA14	CA15	CA16	CA17	CA18	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08	CB09	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	CB15	CB16	CB17
CA04	0	15	21	25	41	40	42	33	42	43	29	25	28	23	27	42	23	24	30	30	36	40	34	31	37	40	31	35	40
CA05	15	0	17	17	39	42	44	30	42	43	27	17	27	22	25	42	25	24	31	28	30	32	35	27	40	37	26	31	39
CA06	21	17	0	14	36	41	45	31	40	37	19	23	28	15	19	35	26	21	30	22	28	27	35	24	36	37	26	32	34
CA07	25	17	14	0	34	39	43	27	39	37	21	21	26	22	25	36	27	22	30	22	27	24	32	24	35	36	24	33	34
CA08	41	39	36	34	0	18	19	23	25	17	24	31	24	33	28	21	29	27	18	27	19	27	23	23	16	28	24	24	27
CA09	40	42	41	39	18	0	22	21	35	22	29	38	27	38	37	28	30	32	25	28	28	35	31	32	18	36	31	34	35
CA10	42	44	45	43	19	22	0	27	26	27	32	36	26	39	32	31	33	32	21	35	26	31	19	30	20	33	27	25	33
CA11	33	30	31	27	23	21	27	0	35	26	27	26	18	27	31	32	26	24	22	21	24	30	27	24	20	30	25	27	35
CA12	42	42	40	39	25	35	26	35	0	24	30	39	29	39	25	29	32	29	23	39	23	24	21	27	23	23	21	22	17
CA13	43	43	37	37	17	22	27	26	24	0	25	39	29	33	29	15	30	32	24	27	21	28	27	26	19	27	25	24	24
CA14	29	27	19	21	24	29	32	27	30	25	0	26	22	15	16	23	23	21	23	16	18	24	28	15	26	30	23	27	21
CA15	25	17	23	21	31	38	36	26	39	39	26	0	21	24	27	39	26	24	24	26	27	31	24	24	33	30	24	26	38
CA16	28	27	28	26	24	27	26	18	29	29	22	21	0	25	24	30	19	23	15	24	21	33	17	17	18	19	26	19	28
CA17	23	22	15	22	33	38	39	27	39	33	15	24	25	0	18	32	25	21	26	18	22	27	31	17	35	34	27	28	30
CA18	27	25	19	25	28	37	32	31	25	29	16	27	24	18	0	29	23	17	21	27	17	22	25	16	30	25	17	19	19
CB04	42	42	35	36	21	28	31	32	29	15	23	39	30	32	29	0	28	32	26	26	23	32	31	28	22	29	30	28	22
CB05	23	25	26	27	29	30	33	26	32	30	23	26	19	25	23	28	0	17	20	25	26	34	26	21	23	25	26	21	29
CB06	24	24	21	22	27	32	32	24	29	32	21	24	23	21	17	32	17	0	19	23	23	25	25	18	26	29	17	22	29
CB07	30	31	30	30	18	25	21	22	23	24	23	24	15	26	21	26	20	19	0	26	17	28	14	17	17	21	19	15	26
CB08	30	28	22	22	27	28	35	21	39	27	16	26	24	18	27	26	25	23	26	0	23	26	31	19	27	34	28	31	31
CB09	36	30	28	27	19	28	26	24	23	21	18	27	21	22	17	23	26	23	17	23	0	19	19	12	25	22	18	15	19
CB10	40	32	27	24	27	35	31	30	24	28	24	31	33	27	22	32	34	25	28	26	19	0	29	23	32	35	18	27	26
CB11	34	35	35	32	23	31	19	27	21	27	28	24	17	31	25	31	26	25	14	31	19	29	0	21	19	22	20	16	28
CB12	31	27	24	24	23	32	30	24	27	26	15	24	17	17	16	28	21	18	17	19	12	23	21	0	26	23	19	18	21
CB13	37	40	36	35	16	18	20	20	23	19	26	33	18	35	30	22	23	26	17	27	25	32	19	26	0	24	25	24	27
CB14	40	37	37	36	28	36	33	30	23	27	30	30	19	34	25	29	25	29	21	34	22	35	22	23	24	0	26	15	20
CB15	31	26	26	24	24	31	27	25	21	25	23	24	26	27	17	30	26	17	19	28	18	18	20	19	25	26	0	17	25
CB16	35	31	32	33	24	34	25	27	22	24	27	26	19	28	19	28	21	22	15	31	15	27	16	18	24	15	17	0	22
CB17	40	39	34	34	27	35	33	35	17	24	21	38	28	30	19	22	29	29	26	31	19	26	28	21	27	20	25	22	0

HSC Moyenne	HSC Ecart_type	HSC Minimum	HSC Maximum
27	7	12	45

ANNEXE VI : Résultats des pêches électriques effectuées sur la station « Pont de Cadenet »

Pont de Cadenet - 17 juillet 2018	Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	N	Occur.
Effectifs bruts	<i>surface (m2)</i>	25.64	31.96	56.64	13.8	23.44	10.92	51.59	79.32	37.02	68.06	135.96	55.51	17.83	82.88	63.47	102.31	40.37	28.36	47.68		
Balitoridae																						
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche		1	1	2				11	27	14			14	44	1		13	2	2	132	12
Centrarchidae																						
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil					4															4	1
Cobitidae																						
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	4	1				16			3	11	1		3	1					6	46	9
Cyprinidae																						
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	20	104	28		17		2		5	15		17	2	3		36	7	11		267	13
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile		21	2	6	8	1	18	59			3	4		66	2	17	3	4	6	220	15
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	5		9		1	5	42				3	2		10	1	70	6	15	4	173	13
<i>Gobio gobio</i>	Goujon		2			8		1		1			28						5		45	6
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	16		1						2	9				5						33	5
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette					1		5					1								7	3
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome		1			1															2	2
Percidae																						
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune					4															4	1
Total		45	130	41	8	44	22	68	70	38	49	7	52	19	129	4	123	29	37	18	933	19
Richesse spécifique		4	6	5	2	8	3	5	2	5	4	3	5	3	6	3	3	4	5	4	11	

Pont de Cadenet - 17 juillet 2018		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Moy.	Occur.
Effectifs corrigés (N/50 m2)		<i>surface (m2)</i>	25.64	31.96	56.64	13.8	23.44	10.92	51.59	79.32	37.02	68.06	135.96	55.51	17.83	82.88	63.47	102.31	40.37	28.36	47.68		
Balitoridae																							
	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche		1.6	0.9	7.2				6.9	36.5	10.3			39.3	26.5	0.8		16.1	3.5	2.1	8.0	12
Centrarchidae																							
	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil					8.5															0.4	1
Cobitidae																							
	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	7.8	1.6				73.3			4.1	8.1	0.4		8.4	0.6					6.3	5.8	9
Cyprinidae																							
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	39.0	162.7	24.7		36.3		1.9		6.8	11.0		15.3	5.6	1.8		17.6	8.7	19.4		18.5	13
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile		32.9	1.8	21.7	17.1	4.6	17.4	37.2			1.1	3.6		39.8	1.6	8.3	3.7	7.1	6.3	10.7	15
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	9.8		7.9		2.1	22.9	40.7				1.1	1.8		6.0	0.8	34.2	7.4	26.4	4.2	8.7	13
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon		3.1			17.1		1.0		1.4				25.2					8.8		3.0	6
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	31.2		0.9						2.7	6.6				3.0						2.3	5
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette					2.1		4.8					0.9								0.4	3
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome		1.6			2.1															0.2	2
Percidae																							
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune					8.5															0.4	1
Total			87.8	203	36.2	29	93.9	101	65.9	44.1	51.3	36	2.574	46.8	53.3	77.8	3.15	60.11	35.9	65.2	18.9	58.5	
Richesse spécifique			4	6	5	2	8	3	5	2	5	4	3	5	3	6	3	3	4	5	4	11	

Pont de Cadenet - 17 juillet 2018		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	%	Occur.
Abondances relatives (%)		<i>surface (m2)</i>	25.64	31.96	56.64	13.8	23.44	10.92	51.59	79.32	37.02	68.06	135.96	55.51	17.83	82.88	63.47	102.31	40.37	28.36	47.68		
Balitoridae																							
	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche		0.8	2.4	25.0				15.7	71.1	28.6			73.7	34.1	25.0		44.8	5.4	11.1	13.6	12
Centrarchidae																							
	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil					9.1															0.8	1
Cobitidae																							
	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	8.9	0.8				72.7			7.9	22.4	14.3		15.8	0.8					33.3	9.9	9
Cyprinidae																							
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	44.4	80.0	68.3		38.6		2.9		13.2	30.6		32.7	10.5	2.3		29.3	24.1	29.7		31.5	13
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile		16.2	4.9	75.0	18.2	4.5	26.5	84.3			42.9	7.7		51.2	50.0	13.8	10.3	10.8	33.3	18.4	15
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	11.1		22.0		2.3	22.7	61.8				42.9	3.8		7.8	25.0	56.9	20.7	40.5	22.2	14.9	13
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon		1.5			18.2		1.5		2.6				53.8					13.5		5.1	6
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	35.6		2.4						5.3	18.4				3.9						4.0	5
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette					2.3		7.4					1.9								0.7	3
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome		0.8			2.3															0.3	2
Percidae																							
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune					9.1															0.8	1

ANNEXE VII : Effectifs corrigés (N/50 m²) moyens par année des espèces capturées sur les stations « Pont de Cadenet » et « Cheval Blanc ».

Famille / nom scientifique	Nom commun	Code	Pont de Cadenet															Moy.	Occur.				
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018						
Anguillidae																							
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0.08															0.01	1				
Balitoridae																							
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	22.51	74.53	12.55	2.50	3.07	20.97	0.53	37.41	22.34	0.57	3.22	22.97	7.16	37.13	7.98	18.37	15				
Centrarchidae																							
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.64		0.61													0.45	0.11	3			
Cobitidae																							
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	0.35	0.45	0.82	0.10		2.30	0.11	0.37	0.83	26.30	0.89	14.70	5.88	1.94	5.81	4.06	14				
Cyprinidae																							
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	17.18	30.64	25.97	53.26	7.73	19.41	1.77	42.82	14.10	28.80	5.88	29.56	31.78	25.20	8.71	22.85	15				
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	10.83	38.48	31.07	35.21	7.48	28.50	3.15	25.26	20.91	14.51	44.86	47.29	23.75	85.17	18.46	28.99	15				
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	0.10	1.32	0.20				8.66	1.38	26.49	14.82	23.41		6.92	20.42	8.32	2.34	7.62	12			
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	7.38	25.18	13.09	18.10	4.04	7.58	5.85	13.06	5.08	43.66	7.15	17.05	10.22	15.89	10.74	13.60	15				
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	2.15	1.72	1.99	5.35	3.78	1.97	1.34	1.81	1.69	5.40	2.87	6.78	4.42	14.98	2.98	3.95	15				
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	1.50	0.66	0.84	0.56	1.50			0.06	0.51	0.79	0.75	0.73	3.86	2.84		0.41	1.00	13			
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	0.18	0.05	0.11		0.14			0.16			0.33		0.05		2.36	0.19	0.24	9			
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	0.55	0.43	0.68					0.05	0.03			0.87	0.05				0.18	7			
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.32							0.14		0.10	0.36		0.08	5.61				0.44	6		
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	0.11		0.06		0.42	0.22	0.14			0.12	0.15		0.48					0.11	8		
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	0.95																	0.06	1		
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR					0.47									0.54				0.07	2		
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB					0.54														0.04	1	
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	0.78									0.11								0.06	2		
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG					0.80		0.11									0.10				0.07	3
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	0.78																	0.05	1		
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN								0.22											0.01	1	
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN					0.27														0.02	1	
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT					0.06														0.00	1	
Esocidae																							
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO	0.07										0.27					0.02	2				
Percidae																							
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER				0.37	0.27					0.08					0.18	0.27	0.45	0.11	6		
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	0.08							1.04	0.15	0.27								0.10	4		
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE					0.55					0.15	0.03								0.05	3	
Salmonidae																							
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF				0.06	0.05					0.10	0.14								0.02	4	
Effectifs totaux moyens (N/50m²)			64.37	175.48	87.14	116.78	29.10	91.57	14.20	149.34	81.31	120.60	89.34	150.52	104.46	200.62	58.53	102.22					
Richesse totale du secteur			13	14	9	13	13	12	8	15	15	11	9	11	12	14	11	28					

Famille / Nom scientifique	Nom commun	Code	Cheval Blanc / Orgon														Moy.	Occur.	
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017			
Anguillidae																			
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0.94	0.79	1.43	0.18	0.81			0.08	2.14	0.98	0.59	0.28	0.58	0.31		0.65	12
Balitoridae																			
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	4.55	14.55	20.85	4.86	2.23	1.05	1.44	0.39	0.64	0.39	3.75	2.87	4.74	2.77		4.65	14
Centrarchidae																			
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.40	0.21	0.15	1.01	0.20	0.12	0.06									0.15	7
Cobitidae																			
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	0.74	7.43	2.34	1.81	0.12	0.14	0.11	0.55			1.15	2.46	0.28			1.22	11
Cyprinidae																			
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	0.15	1.26	2.00	10.59	29.59	3.74	2.65	6.12	10.72	10.53	12.29	10.40	31.36	10.20		10.11	14
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	5.27	9.56	4.60	7.47	4.68	7.60	2.16	0.59	6.89	8.44	7.11	8.78	8.60	5.60		6.24	14
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	3.95	34.88	9.82	15.51	9.62	2.32	3.12	5.27	2.60	12.37	14.33	2.81	21.88	5.96		10.32	14
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	2.07	0.38	0.31	1.83	3.10	0.27	1.35	1.49	1.78	2.24	2.41	2.05	1.82	2.26		1.67	14
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	0.23	6.42	1.47	0.21		0.19	0.44		0.18	0.93	0.63	0.76	0.93			0.89	11
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL		1.00		1.59		0.17	0.05	0.37		0.69	0.15		0.04			0.29	8
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX		3.41	1.62	0.50	0.31	0.34			1.56	0.24	0.12	2.83		1.97		0.92	10
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT		4.91				0.12										0.36	2
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR						0.24	0.18					0.84	0.21	0.04		0.11	5
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO													0.35			0.02	1
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU												0.07				0.00	1
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR		0.26	0.49				0.22									0.07	3
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	0.04									0.29						0.02	2
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG														0.04		0.00	1
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN						0.12										0.01	1
Percidae																			
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER	0.57	1.75		0.59	0.20	0.88	0.19					0.11	0.60			0.35	8
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN												0.11	0.25			0.03	2
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	0.06	0.43					0.11					0.18		0.14		0.07	5
<i>Zingel asper</i>	Apron	APR														0.04		0.00	1
Salmonidae																			
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF	0.04	0.05				0.37					0.07					0.04	4

Effectifs totaux moyens (N/50m ²)	19.03	87.29	45.09	46.13	50.84	17.69	12.08	14.87	26.50	37.11	42.58	34.55	71.62	29.33	38.19
Richesse totale du secteur	13	16	11	12	10	15	13	8	8	10	11	14	13	11	24

ANNEXE VIII : Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations « Pont de Cadenet » et « Cheval Blanc ».

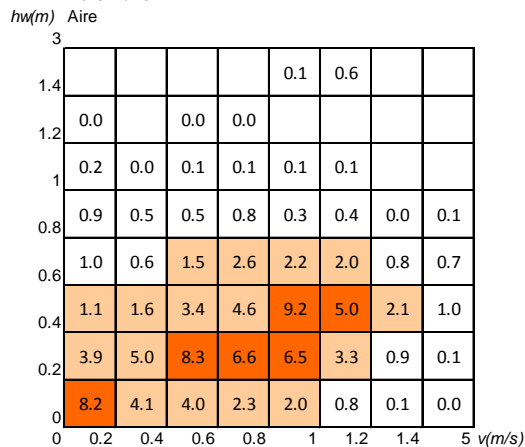
Famille / Nom scientifique	Nom commun	Code	Pont de Cadenet														Occur.			
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2018		
Anguillidae																				
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0.05														1			
Balitoridae																				
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	34.98	42.47	14.41	2.14	10.56	22.90	3.75	25.05	27.48	0.47	3.61	15.26	6.86	18.51	13.64	15		
Centrarchidae																				
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.37		0.70												0.77	3		
Cobitidae																				
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	0.54	0.26	0.94	0.34		2.51	0.81	0.25	1.02	21.81	1.00	9.77	5.63	0.97	9.93	14		
Cyprinidae																				
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	26.70	17.46	29.80	45.61	26.56	21.20	12.49	28.67	17.34	23.88	6.58	19.64	30.42	12.56	14.88	15		
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	CHE	16.82	21.93	35.66	30.15	25.72	31.12	22.17	16.91	25.71	12.03	50.21	31.42	22.73	42.45	31.54	15		
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	0.16	0.75	0.22				9.45	9.74	17.74	18.22	26.20		4.60	19.54	4.15	3.99	12	
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	11.47	14.35	15.02	15.50	13.88	8.28	41.19	8.74	6.25	36.20	8.00	11.33	9.78	7.92	18.35	15		
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	3.34	0.98	2.29	4.58	13.00	2.15	9.42	1.21	2.08	4.47	3.22	4.50	4.23	7.47	5.09	15		
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	2.33	0.38	0.97	0.48				1.63	0.43	0.34	0.98	0.62	0.81	2.57	1.41	0.71	13	
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	0.28	0.03	0.09		0.16			0.19		0.37		0.05		1.17	0.33	9		
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	0.85	0.24	0.58						0.04	0.04	0.58		0.05			7		
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.18								0.17	0.08	0.24	0.07	2.80		6			
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	0.06		0.05	1.43	0.24	0.09			0.15	0.10		0.46				8		
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	0.54														1			
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR				0.41									0.27		2			
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB				1.87											1			
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	1.21								0.09						2			
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG				2.75	0.12								0.05		3			
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	1.21													1				
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN				0.24											1			
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN				0.92											1			
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT				0.05											1			
Esocidae																				
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO								0.05							0.13		2	
Percidae																				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER				0.32	0.92				0.05						0.18	0.13	0.77	6
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	0.13								0.70	0.19	0.23					4		
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE				1.88					0.10	0.04						3		
Salmonidae																				
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF				0.05	0.17					0.13		0.11					4	
Richesse totale du secteur			13	14	9	13	13	12	8	15	15	11	9	11	12	14	11	28		

			Cheval Blanc / Orgon														
Famille / Nom scientifique	Nom commun	Code	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Occur.
Anguillidae																	
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	4.92	0.91	3.17	0.38	1.60			0.51	8.06	2.64	1.39	0.82	0.81	1.04	12.00
Balitoridae																	
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	23.93	16.66	46.24	10.53	4.38	5.93	11.88	2.62	2.42	1.05	8.80	8.30	6.62	9.45	14.00
Centrarchidae																	
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	2.09	0.24	0.34	2.18	0.38	0.69	0.53								7.00
Cobitidae																	
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	3.90	8.51	5.19	3.92	0.24	0.80	0.93	3.68			2.69	7.11	0.39		11.00
Cyprinidae																	
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirlin	SPI	0.80	1.45	4.43	22.95	58.19	21.14	21.90	41.17	40.45	28.39	28.86	30.10	43.78	34.79	14.00
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaïne	CHE	27.71	10.95	10.20	16.19	9.21	42.93	17.89	3.99	26.00	22.74	16.69	25.42	12.00	19.08	14.00
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	20.77	39.96	21.78	33.62	18.92	13.13	25.78	35.48	9.81	33.34	33.64	8.13	30.54	20.32	14.00
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	10.87	0.44	0.69	3.96	6.09	1.53	11.16	10.04	6.72	6.03	5.65	5.93	2.54	7.71	14.00
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	1.23	7.36	3.27	0.45		1.10	3.63		0.66	2.51	1.48	2.21	1.29		11.00
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL		1.14		3.45		0.98	0.45	2.51		1.87	0.36		0.06		8.00
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX		3.90	3.60	1.09	0.61	1.92			5.88	0.66	0.29	8.19		6.71	10.00
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT		5.63				0.69									2.00
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR						1.38	1.46					2.43	0.30	0.14	5.00
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO													0.48		1.00
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU												0.20			1.00
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR		0.30	1.09				1.86								3.00
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	0.22									0.79					2.00
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG														0.14	1.00
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN						0.69									1.00
Percidae																	
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER	3.00	2.00		1.27	0.38	4.96	1.59					0.32	0.84		8.00
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN												0.32	0.34		2.00
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	0.34	0.49					0.93					0.52		0.49	5.00
<i>Zingel asper</i>	Apron	APR														0.12	1.00
Salmonidae																	
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF	0.21	0.06				2.11					0.17				4.00

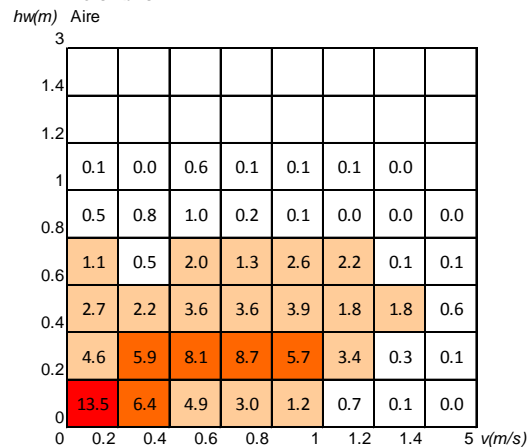
Richesse totale du secteur	13	16	11	12	10	15	13	8	8	10	11	14	13	11	24
-----------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ANNEXE IX : Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2017 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (A) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (B) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour tous les chenaux .

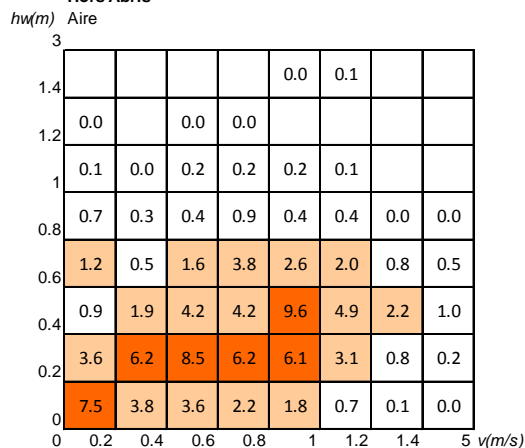
A Cadenet Moyenne des HS Moyennes 2004-2017
Hors Abris



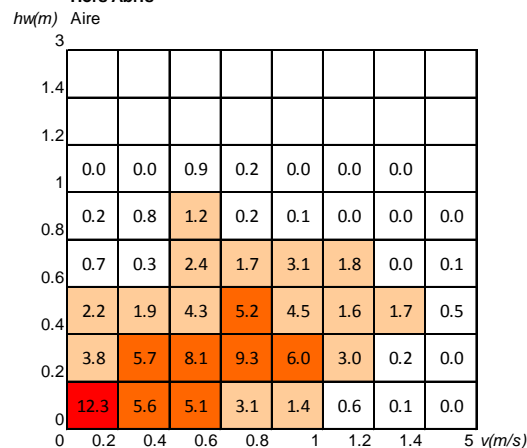
A Cheval Blanc Moyenne des HS Moyennes 2004-2017
Hors Abris



B Cadenet Moyenne des HS totales 2004-2017
Hors Abris

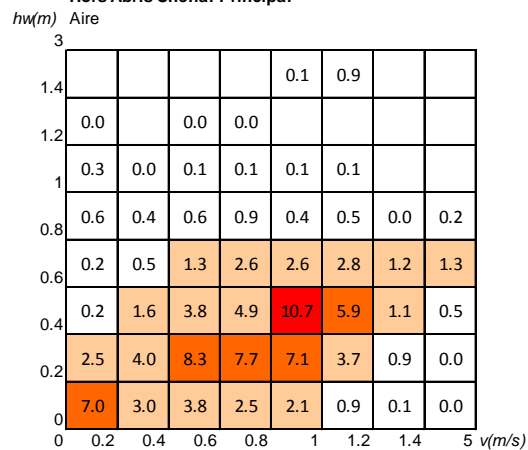


B Cheval Blanc Moyenne des HS totales 2004-2017
Hors Abris

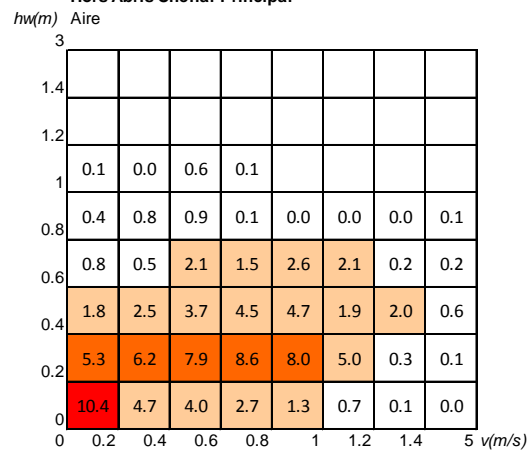


ANNEXE X : Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2017 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (D) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour les chenaux principaux.

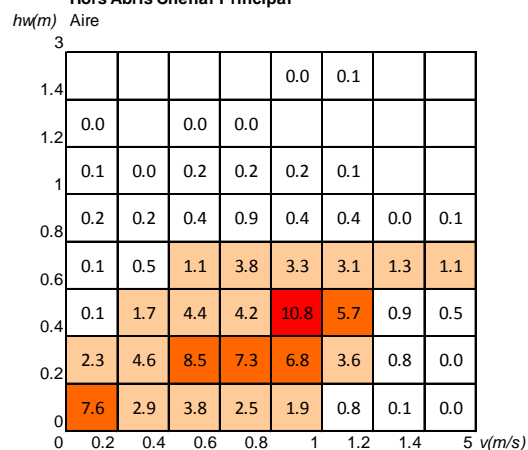
**C Cadenet Moyenne des HS Moyennes 2004-2017
Hors Abris Chenal Principal**



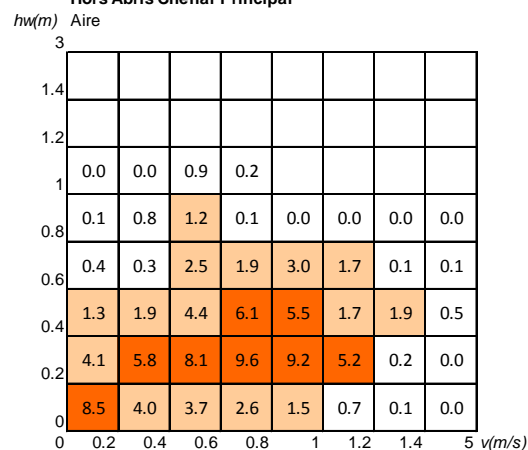
**C Cheval Blanc Moyenne des HS Moyennes 2004-2017
Hors Abris Chenal Principal**



**D Cadenet Moyenne des HS totales 2004-2017
Hors Abris Chenal Principal**



**D Cheval Blanc Moyenne des HS totales 2004-2017
Hors Abris Chenal Principal**



Annexe XI - Densités d'individus (N/m²) caractérisant le peuplement piscicole échantillonné par station (Pont de Cadenet, CA, en bleu et Cheval-Blanc, CB, en vert) et par année.

Campagne	Date	densi_sup60	densi_juv	densi_tot
		chenal, hors-abris	toute ambiance	toute ambiance
CA06	21/06/2006	0.44	0.57	1.74
CA07	29/06/2007	0.87	0.59	2.34
CA08	25/07/2008	0.20	0.13	0.51
CA09	08/07/2009	0.27	1.17	1.72
CA10	27/08/2010	0.13	0.10	0.22
CA11	13/07/2011	0.36	2.27	2.81
CA12	11/07/2012	0.44	0.80	1.54
CA13	27/09/2013	0.32	0.20	2.41
CA14	02/07/2014	0.16	1.38	1.79
CA15	21/07/2015	1.54	1.24	2.83
CA16	19/07/2016	0.39	1.13	2.09
CA17	18/07/2017	0.82	2.78	4.01
CA18	17/07/2018	0.46	0.62	1.17
CB06	20/06/2006	0.12	0.53	0.85
CB07	28/06/2007	0.73	0.45	0.92
CB08	24/07/2008	0.16	0.36	1.02
CB09	07/07/2009	0.08	0.10	0.33
CB10	26/08/2010	0.05	0.09	0.17
CB11	12/07/2011	0.03	0.23	0.28
CB12	12/07/2012	0.14	0.16	0.42
CB13	18/07/2013	0.08	0.25	0.61
CB14	28/07/2014	0.19	0.53	0.72
CB15	22/07/2015	0.18	0.27	0.65
CB16	20/07/2016	0.11	0.98	1.43
CB17	19/07/2017	0.09	0.18	0.48

Annexe XII - Résultats des régressions linéaires, coefficient de détermination (R^2) et p-valeur associée (p-value). Pour chacune des trois variables-réponses les meilleurs prédicteurs sont colorés en orange (R^2 les plus forts), les R^2 des régressions non significatives sont colorées en gris foncé, et les résultats colorés en gris clair correspondent aux régressions présentant des problèmes d'hétéroscédasticité ou d'autocorrélation des résidus.

	"densi_sup60"	chenal hors-abris	"densi_tot"	toutes ambiances	"densi_juv"	toutes ambiances
Métriques HRR	R^2	p-value	R^2	p-value	R^2	p-value
HRR_cumu	0.499	0.0001	0.467	0.0002	0.344	0.0020
HRR_event	0.430	0.0004	0.453	0.0002	0.365	0.0014
HRR_moyen	0.107	0.1104	0.188	0.0304	0.202	0.0244
HRR_amj	0.500	0.0001	0.548	0.0000	0.484	0.0001
event_amj	0.495	0.0001	0.542	0.0000	0.530	0.0000
HRR_moyen_amj	0.314	0.0036	0.343	0.0021	0.412	0.0005
HRR100_cumu	0.471	0.0002	0.439	0.0003	0.319	0.0032
HRR100_event	0.497	0.0001	0.462	0.0002	0.326	0.0029
HRR100_moyen	0.132	0.0747	0.115	0.0980	0.045	0.3113
HRR100_amj	0.451	0.0002	0.503	0.0001	0.426	0.0004
HRR100_event_amj	0.467	0.0002	0.562	0.0000	0.509	0.0001
HRR100_moyen_amj	0.015	0.5610	0.104	0.1150	0.219	0.0183

Cette étude est effectuée en collaboration avec l'Agence française pour la biodiversité (AFB) dans le cadre du suivi des peuplements piscicoles de la Basse-Durance et de l'impact des opérations de délestage/délimonage de l'ouvrage EDF de Mallemort. Ce rapport présente les résultats obtenus en 2018, et sur la période 2003-2018.



Irstea – centre d'Aix-en-Provence
U.R. RECOVER, équipe FRESHCO
3275 route de Cézanne - CS 40061
13182 Aix-en-Provence Cedex 05
tél. +33 (0)4 42 66 99 10
www.irstea.fr



*Etude réalisée avec le concours
financier de l'agence de l'eau RM&C*

