



HAL
open science

Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2016

Le Coarer Yann, Carrel Georges, Beguin Jérémy, Delpuech Martin, Peroux Tiphaine, Westrelin Samuel, Pioch Noémie

► To cite this version:

Le Coarer Yann, Carrel Georges, Beguin Jérémy, Delpuech Martin, Peroux Tiphaine, et al.. Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2016. IRSTEA, RECOVER, Aix-en-Provence. 2016, pp.54. hal-04625882

HAL Id: hal-04625882

<https://hal.inrae.fr/hal-04625882>

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



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

Campagne 2016

COMMANDE EDF-CIH : N° 5500-4310209960

NOVEMBRE 2016

**LE COARER Yann, CARREL Georges,
BEGUIN Jérémy**

Centre d'Aix en Provence
3275 route de Cézanne - CS 40061
13182 AIX EN PROVENCE



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

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

Campagne 2016

Commande EDF-CIH : N° 5500-4310209960

LE COARER Yann, CARREL Georges, BEGUIN Jérémy

Collaborateurs Irstea :

DELPUECH Martin, REYNAUD Nathalie, PEROUX Tiphaine,

WESTRELIN Samuel

Collaboratrice ONEMA :

PIOCH Noémie

Novembre 2016

Résumé

Cette étude a été effectuée en collaboration avec l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) 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 2016.

Les données ont été obtenues sur deux stations du Réseau Hydrobiologique et Piscicole : "Pont de Cadenet" et "Cheval Blanc/la Roque d'Anthéron", échantillonnées respectivement les 19 et 20 juillet 2016. Les débits étaient de 10,7 m³/s au Pont de Cadenet et de 14,1 m³/s à Cheval Blanc. Dans chaque station, les poissons ont été capturés par pêche électrique dans 17 ambiances à Pont de Cadenet et 20 ambiances à Cheval Blanc, 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.

Le suivi pluriannuel 2004-2016 confirme le contraste existant entre les deux secteurs, à savoir une richesse spécifique et des densités des espèces dominantes plus élevées à Pont de Cadenet qu'à Cheval Blanc. Par ailleurs, les classes de taille supérieures à 200 mm (et par conséquent des individus les plus âgés) pour des grandes espèces sont largement déficitaires dans les deux stations.

Sommaire

1. Introduction	5
2. Description et analyse morphodynamique.....	5
2.1. Compte-rendu des actions menées sur le terrain.....	5
2.2. Les relevés topographiques	6
2.3. Les mesures de vitesses.....	6
2.4. Les jaugeages	6
2.5. Cartographie du lit mouillé.....	7
2.6. Caractérisation hydrologique	10
2.7. Analyse morpho-hydraulique des ambiances.....	12
2.8. Hauteur de rugosité du substrat.....	18
3. Peuplements piscicoles estivaux en Basse Durance	25
3.1. Caractéristiques générales des peuplements	25
3.2. Comparaisons inter-annuelles et inter-stationnelles.....	28
4. Perspectives d'utilisation du modèle habitats/poissons 5M7 ..	35
5. Discussion et perspectives.....	36
6. Sites web	37
7. Références.....	37
8. Rapports 2003 à 2015	38
9. Annexes	39

Liste des figures

- Figure 1 - Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des deux sections de jaugeage liées au tressage du chenal principal.....8
- Figure 2 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des ambiances de pêche et des trois sections de jaugeage prenant en compte les chenaux de tressage.....9
- Figure 3 - Chronique des débits au pont de Pertuis (2004 – 2016). Les épisodes de crues printanières (caractères gras) sont à l'origine de fortes perturbations en période de reproduction. Le trait horizontal (rouge) indique la valeur seuil de débit permettant un remaniement du chenal..... 10
- Figure 4 - Chroniques de MES (mg.l^{-1}) et de débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) intéressant le tronçon aval du secteur étudié. 11
- Figure 5 - Hydrosignatures en aires, totales et moyennes pour les stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc en 2016..... 12
- Figure 6 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2016 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes en aires..... 15
- Figure 7 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2016 à partir de la moyenne des hydrosignatures totales en aires (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne). 15
- Figure 8 - Hydrosignatures en aires du tronçon T345 (Annexe 1, PK amont : 264.5 ; PK aval 279.9) simulations hydrauliques TELEMAC 2D pour les débits $9.2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $25.5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ les valeurs élevées en haut et à gauche des grilles sont liées à la définition très large de la dernière classe de profondeur..... 16
- Figure 9 - Comparaison des relevés morpho-hydrauliques de Cadenet 2016 ($Q = 9.4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) avec la modélisation Telemac ($Q = 12 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$)..... 17
- Figure 10 - Comparaison des relevés morpho-hydrauliques de Cheval Blanc 2016 ($Q = 14 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) avec la modélisation Telemac ($Q = 9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $Q = 21 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$)..... 17
- Figure 11 - Comparaison des relevés morpho-hydrauliques de Cheval Blanc 2014 ($Q = 12.8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) avec la modélisation Telemac ($Q = 9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ et $Q = 21 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$)..... 18
- Figure 12 - 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 ($k = 0.001 \text{ cm}$), les sables ($k = 0.1 \text{ cm}$), et de tous les éléments granulométriques susceptibles de générer des valeurs comprises entre 0.1 et 1 cm comme les graviers ($k = 0.5 \text{ cm}$)..... 20
- Figure 13 - Densités des hauteurs de rugosité (k) par station et par période (2004-2007 et 2008-2016). 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 ($k < 0.001$) et (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..... 24

Figure 14 - Évolution interannuelle des effectifs totaux moyens ($n/50 \text{ m}^2$) et des richesses spécifiques dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval-Blanc (vert)..... 28

Figure 15 - Distributions en classes de tailles des deux grands cyprinidés euryèces de la basse Durance. Données de 2014 à 2016. Le trait vertical rouge indique la limite de taille (60 mm) utilisée pour exclure les jeunes individus lors de la comparaison spatiale par les hydrosignatures..... 29

Figure 16 - Distributions en classes de taille de trois petites espèces communes dans la basse Durance. Résultats des années 2014 à 2016. Le trait vertical rouge indique la limite de taille (60 mm) utilisée pour exclure les jeunes individus lors de la comparaison spatiale par les hydrosignatures..... 31

Figure 17 - 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..... 33

Figure 18 - Modélisation de la Figure 17 D à partir des données hydrologiques au cours des 365 jours précédant la pêche..... 34

Liste des tableaux

Tableau 1 - Jaugeages des stations de pêche.....6

Tableau 2 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches au Pont de Cadenet..... 13

Tableau 3 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches à Cheval-Blanc.14

Tableau 4 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) mesurées dans les ambiances de pêche des deux stations..... 21

Tableau 5 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) des deux stations après exclusion des valeurs supérieures à 25.6 cm associées à la présence d'éléments granulométriques d'origine anthropique tels que des enrochements..... 22

Tableau 6 - Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations..... 23

Tableau 7 - 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..... 23

Tableau 8 - Liste et effectifs bruts des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc..... 26

Tableau 9 - Liste et abondances relatives des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc..... 27

Tableau 10 - Statistiques résumées de la distribution des longueurs totales (en mm) des barbeaux et chevaines (années 2014 à 2016) 30

Tableau 11 - Statistiques résumées de la distribution des longueurs totales (en mm) des spirilins, vairons et loches franche (années 2014 à 2016)..... 30

Tableau 12 - 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 $LT > 60$ mm 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. 32

Liste des annexes

Annexe 1 - Plan de situation des stations de pêche Onema à Bonpas, Sage Environnement à Cavaillon, Onema & Irstea à Cheval Blanc et Pont de Cadenet. 40

Annexe 2 - Plans de situation des stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc 41

Annexe 3 - Chroniques des valeurs maximales journalières de MES (mg.l^{-1}) et de débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) de 2005 à 2016 aux droits de Cadarache et Mallemort. Les dates de pêche sont symbolisées par des étiquettes bleues pour Cadenet et Vertes pour Cheval-Blanc..... 42

Annexe 4 - Comparaison des Hydrosignatures en aires, moyennes et totales des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc (CB) obtenues de 2004 à 2015. Valeurs numériques arrondies à l'unité. 43

Annexe 5 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Pont de Cadenet..... 44

Annexe 6 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Cheval Blanc..... 47

Annexe 7 - Effectifs corrigés ($N/50 \text{ m}^2$) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc..... 50

Annexe 8 - Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc..... 52

Annexe 9 - Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2016 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (A & C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (B & D) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour tous les chenaux (A & B) et pour les chenaux principaux (C & D)..... 54

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

Campagne 2016

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'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) et par l'équipe FRESHCO de l'Unité de Recherche RECOVER de l'Irstea d'Aix-en-Provence.

Ce rapport complète celui de l'ONEMA relatif à l'échantillonnage du peuplement piscicole des stations de « Cheval-Blanc/la Roque d'Anthéron » et « Pont de Cadenet ». 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 l'ONEMA (Annexe 1, Annexe 2).

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 menées sur le terrain

Les opérations de terrain ont été menées conjointement avec l'ONEMA. Le repérage des ambiances de la station de Pont de Cadenet a été effectué le 18 juillet. Programmé ce même jour à Cheval Blanc, il n'a pas pu être réalisé compte-tenu du débit ($\approx 60\text{m}^3\text{s}^{-1}$). Il a été effectué le lendemain par l'ONEMA dans une situation hydromorphologique quasi inchangée par rapport à l'année précédente. Les échantillonnages par pêche électrique et les mesures physiques associées ont eu lieu le 19 juillet 2016 pour la station de Pont de Cadenet (Figure 1) et le 20 juillet 2016 pour celle de Cheval-Blanc (Figure 2). 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'ONEMA.

2.2. Les relevés topographiques

Des relevés topographiques ont permis de repérer pour chaque station :

- les bordures de lit mouillé des stations,
- 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 GS 1200 de marque LEICA, comportant 2 mobiles et un pivot. Les post-traitements ont été réalisés à l'aide du logiciel LEICA Geo Office 8.3 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 FLO-MATE 2000.

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 les campagnes de pêches (Tableau 1). Leurs localisations sont indiquées dans les cartes (Figure 1, Figure 2). Nous avons mesuré un débit total de 10.65 m³/s à Pont de Cadenet et de 14.09 m³/s à Cheval-Blanc, le bras principal pêché à Cheval-Blanc ayant un débit de 8.98 m³/s.

Tableau 1 - Jaugeages des stations de pêche

Station	Pont de Cadenet *	Cheval-Blanc**
Date	19 juillet 2016	20 juillet 2016
Débit (m ³ /s)	10.65	14.09
Largeur au miroir (m)	51.66	73.66
Surface en travers (m ²)	16.74	27.69
Profondeur moyenne (m)	0.32	0.38
Vitesse moyenne (m/s)	0.64	0.51

* : somme de deux jaugeages ; ** : somme de trois jaugeages

2.5. Cartographie du lit mouillé

La mobilité et le tressage du lit de la Durance complexifient les relevés et les comparaisons interannuelles. Depuis 2013, le lit mineur à Cheval-Blanc compte deux chenaux. En 2013, les chenaux étaient distants de plus de 150 mètres avec $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ jaugés en rive droite et un débit estimé inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en rive gauche. En 2014, le chenal principal de la station avait basculé en rive gauche avec un débit mesuré de $12.8 \text{ m}^3/\text{s}$. En 2015, la station présentait un tressage plus affirmé avec $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ jaugés en rive droite et $9.4 \text{ m}^3/\text{s}$ jaugés en rive gauche. En juillet 2016, la morphologie du secteur était similaire avec $5.1 \text{ m}^3/\text{s}$ jaugés dans le chenal de la rive droite et $9 \text{ m}^3/\text{s}$ jaugés dans celui de la rive gauche. Compte-tenu des contraintes logistiques liées aux durées d'intervention prévues et aux dimensions du lit majeur, il n'a pas été possible d'inventorier les deux chenaux au cours de ces deux dernières années. Seul le chenal de la rive gauche a été échantillonné.

En 2016, les linéaires des chenaux principaux prospectés sont de 420 m à Pont de Cadenet et de 340 m à Cheval-Blanc.

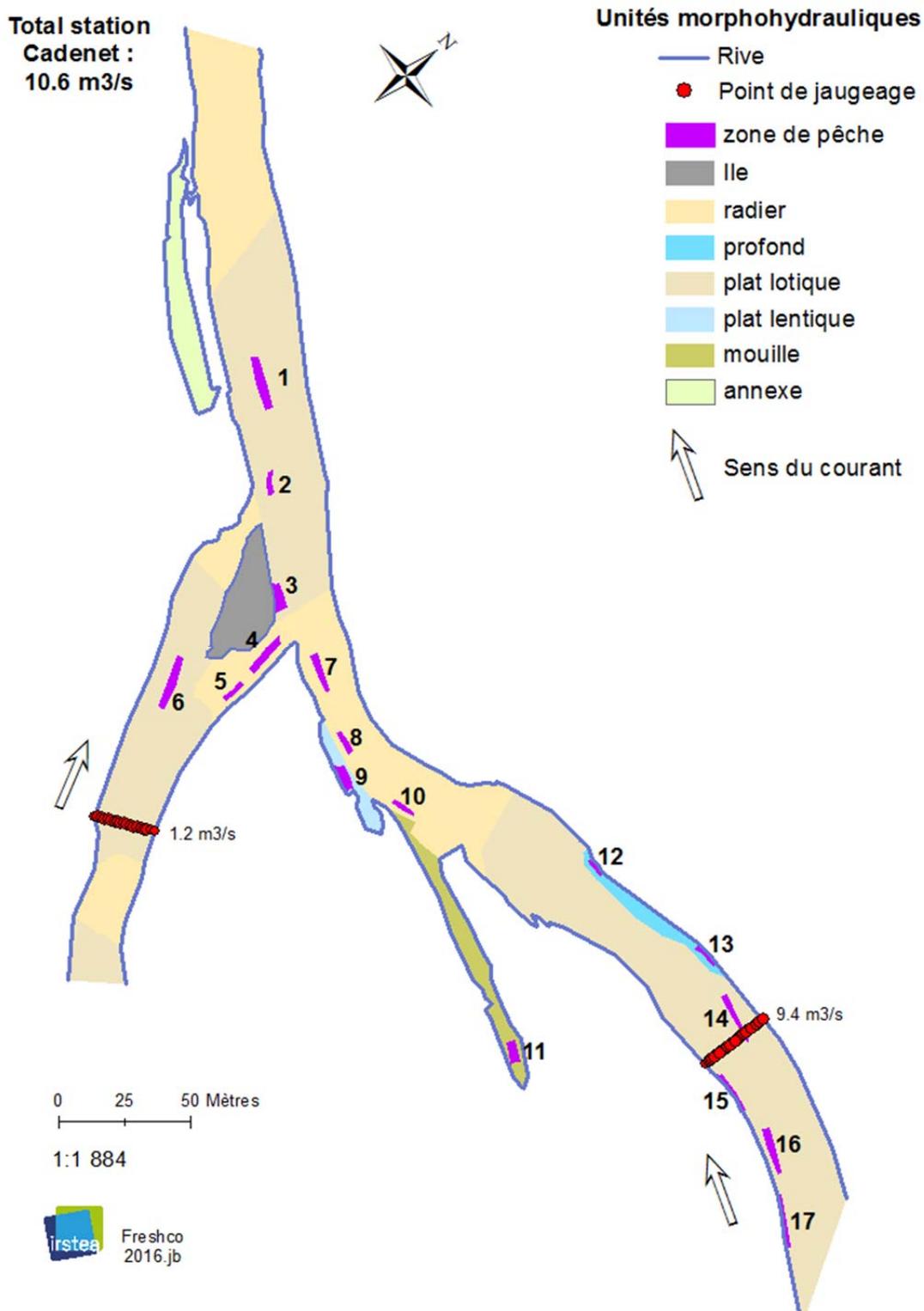


Figure 1 - Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des deux sections de jaugeage liées au tressage du chenal principal.

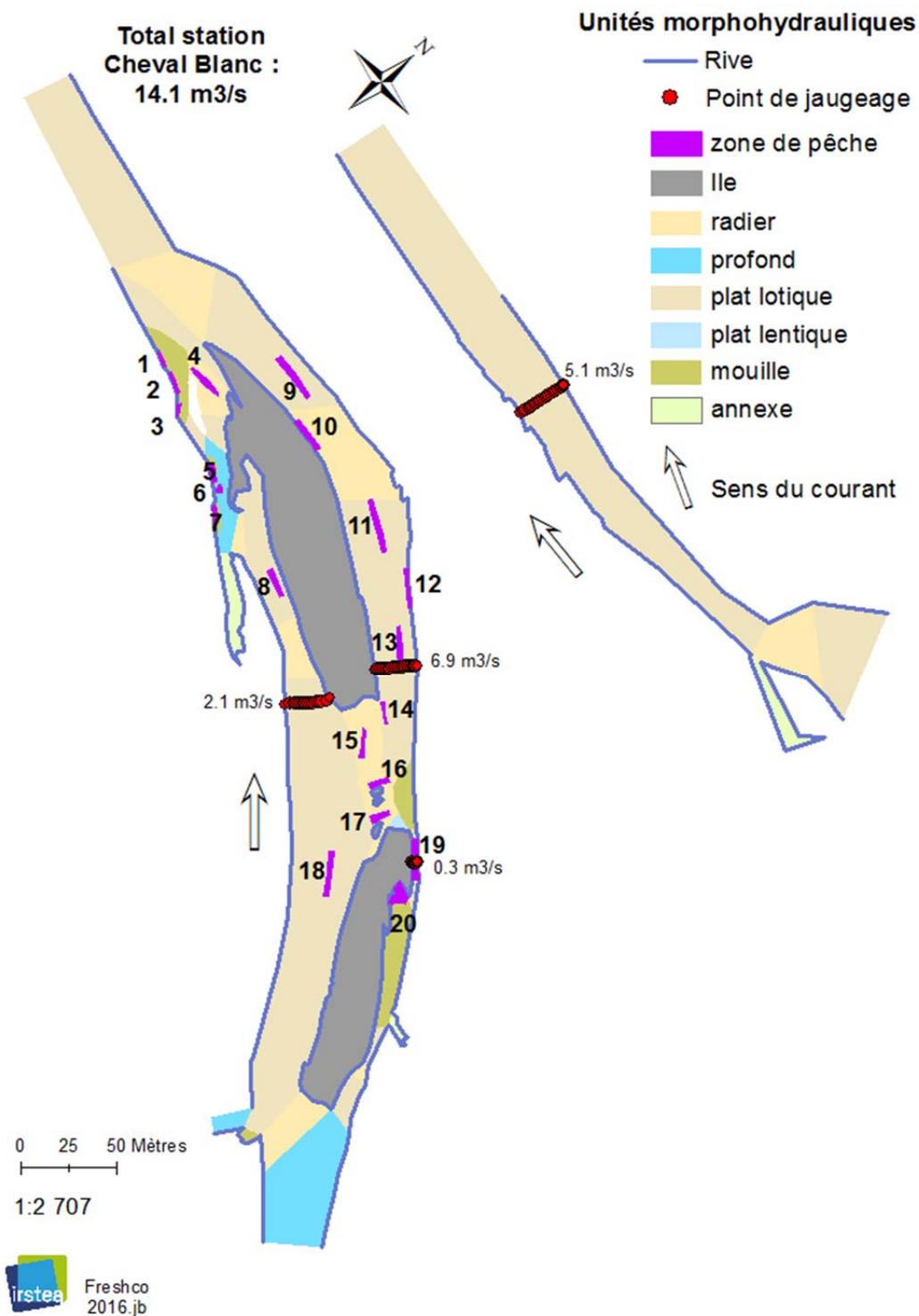


Figure 2 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des ambiances de pêche et des trois sections de jaugeage prenant en compte les chenaux de tressage.

2.6. Caractérisation hydrologique

La station HYDRO (X3200010) située au pont de Pertuis (Meyrargues) 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 3). Les augmentations de débit entre les deux stations étudiées sont essentiellement le fait des restitutions de l'ouvrage de Mallemort.

La chronique 2004-2016 est marquée par une succession de crues morphogènes à partir de 2008. Une crue morphogène est définie comme une crue suffisamment puissante pour 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. Douze crues morphogènes (Figure 3) se sont produites entre 2008 et 2014. Chaque année, le lit de la Durance a été remanié sur l'ensemble du tronçon étudié. Depuis 2015, aucun événement hydrologique significatif n'a affecté la forme du chenal, notamment au droit de Cadenet.

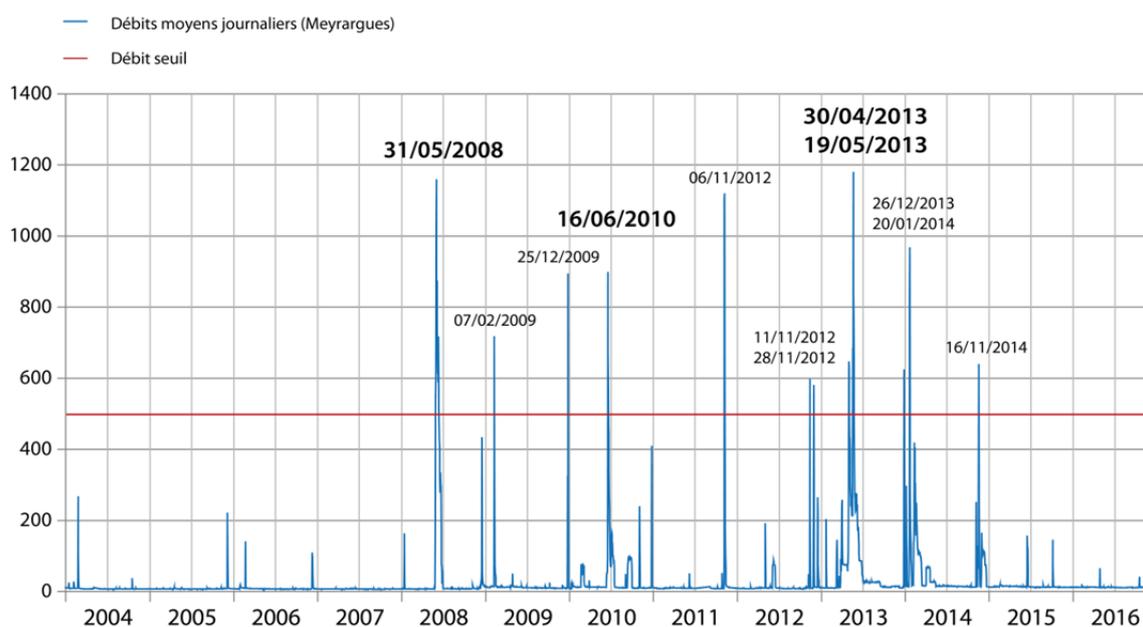


Figure 3 - Chronique des débits au pont de Pertuis (2004 – 2016). Les épisodes de crues printanières (caractères gras) sont à l'origine de fortes perturbations en période de reproduction. Le trait horizontal (rouge) indique la valeur seuil de débit permettant un remaniement du chenal.

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 guilda des espèces lithophiles réalisent leur fraie sur des substrats grossiers, dans 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 événements

hydrologiques sont alors marquées sur le succès du recrutement des jeunes de l'année, et seront perceptibles dans le suivi pluri-annuel 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 de crues en provenance de l'amont. Ce dernier ajoute une instabilité quasi-permanente des conditions hydrauliques, ainsi que des flux sédimentaires fins dans le secteur aval de la Durance (Figure 4).

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 événements hydro-morphologiques structurants.

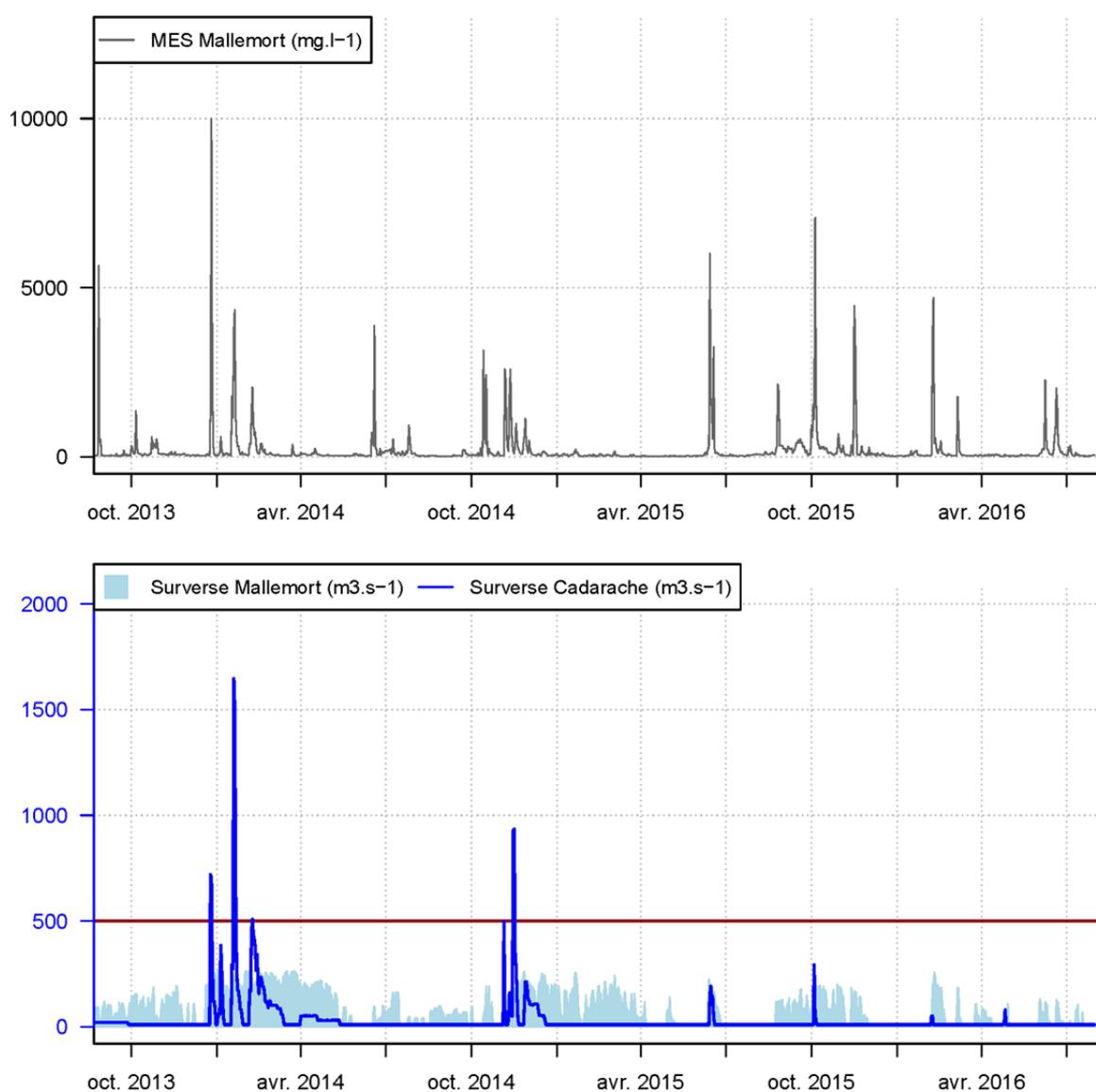


Figure 4 - Chroniques de MES (mg.l^{-1}) et de débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) intéressant le tronçon aval du secteur étudié.

L'Annexe 3 présente l'ensemble de la chronique de 2005 à 2016.

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 3 dimensions en éléments finis. 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, 2007).

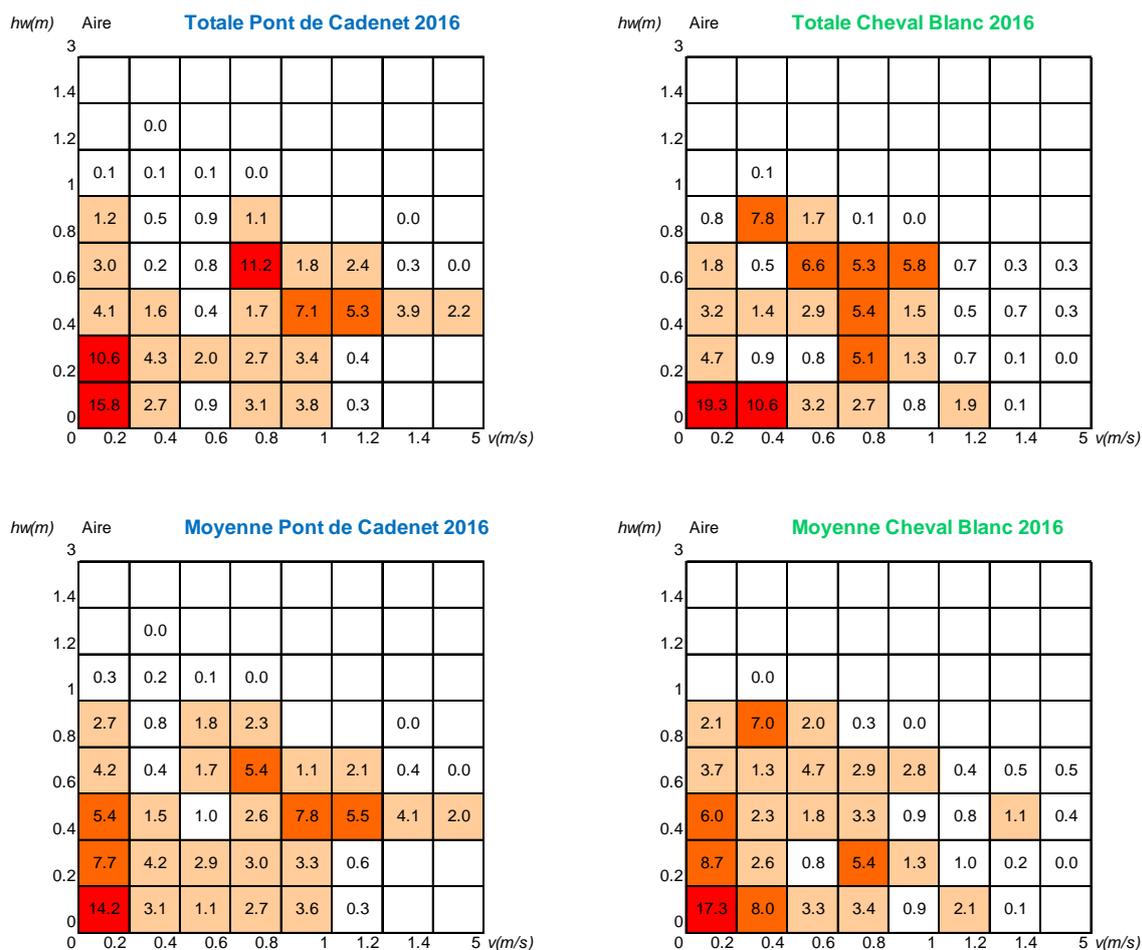


Figure 5 - Hydrosignatures en aires, totales et moyennes pour les stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc en 2016.

Cette quantification de la richesse morpho-hydraulique par le calcul des pourcentages en aires de classes de couples profondeur/vitesse moyenne a été effectuée en utilisant la même norme de définition des classes. Les «hydrosignatures» ont été calculées par ambiances, puis pour l'ensemble des ambiances de chaque station (Figure 5) en calculant soit une hydrosignature totale en regroupant les ambiances, soit la moyenne des

¹ Triangular Irregular Network : réseau de triangles irréguliers

hydrosignatures des ambiances sans tenir compte de leurs surfaces respectives. Ces calculs sont effectués à l'aide de la version 3.0.30 du logiciel «HydroSignature» téléchargeable sur le site Web Irstea.

Le Tableau 2 et le Tableau 3 précisent les caractéristiques morpho-hydrauliques générales des ambiances de pêches des campagnes 2004 à 2016 au Pont de Cadenet et à Cheval-Blanc.

Tableau 2 - 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
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
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
Nombre d'ambiances	14	18	19	19	16	16	17	17	18	18	20	17	17
Surface totale [m ²]	668	487	502	450	553	624	704	715	820	811	803	376	473
Volume total [m ³]	276	209	194	193	238	261	333	322	348	340	261	184	189
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
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
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
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
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

Tableau 3 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches à Cheval-Blanc.

	Cheval-Blanc												
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
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
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
Nombre d'ambiances	16	15	16	15	16	14	17	14	19	17	20	19	20
Surface totale [m ²]	1183	646	655	572	517	542	814	736	772	666	682	705	762
Volume total [m ³]	415	255	282	243	191	200	362	352	270	295	254	318	303
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
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
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
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
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

L'Annexe 4 est le résultat d'une comparaison des hydrosignatures totales et moyennes par stations des ambiances de pêches des années 2004 à 2016. 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, 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.

Selon ces critères, l'échantillonnage hydraulique de la station de Cheval Blanc en 2016 est différent de celui de Pont Cadenet : moyennes HSC= 18 ; totales HSC=19.

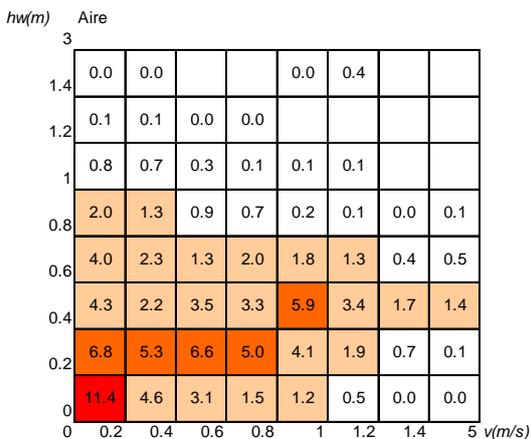
Les disparités entre les campagnes sont fréquentes. Par ailleurs, il est classique que l'hydrosignature générale par cumul des ambiances de pêches d'une station soit sensiblement différente de l'hydrosignature du tronçon. Selon notre expertise, compte-tenu du petit nombre d'ambiances, les campagnes ne sont jamais représentatives des caractéristiques hydrauliques des tronçons. Notons également que les hydrosignatures moyennes des deux stations par campagne sont plus proches numériquement que les hydrosignatures totales (statistiques globales de l'Annexe 4). Les hydrosignatures des

stations ressemblent vraisemblablement plus aux hydrosignatures moyennes des chroniques (Figure 6, Figure 7), caractérisées par un lissage des valeurs dans l'espace vitesse/profondeur. La Figure 8 présente des hydrosignatures moyennes d'un tronçon de Basse Durance de plus de 15 km dans la gamme des débits des pêches de la chronique.

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 2004-2016



Cheval Blanc- Moyenne des HS Moyennes 2004-2016

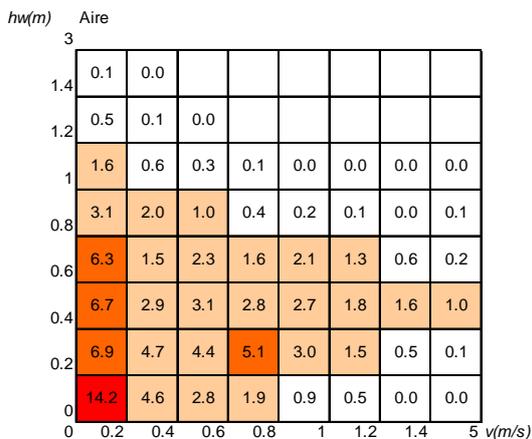
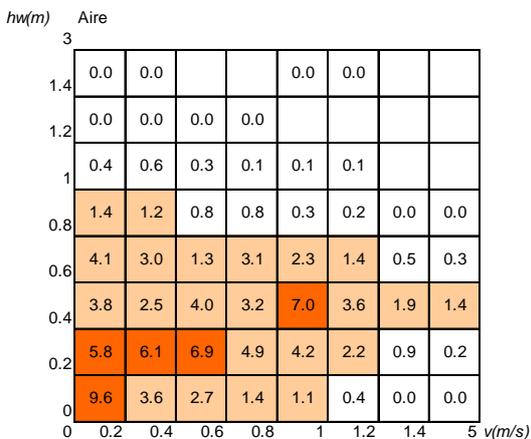


Figure 6 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2016 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes en aires.

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

Cadenet Moyenne des HS Totales 2004-2016



Cheval Blanc- Moyenne des HS Totales 2004-2016

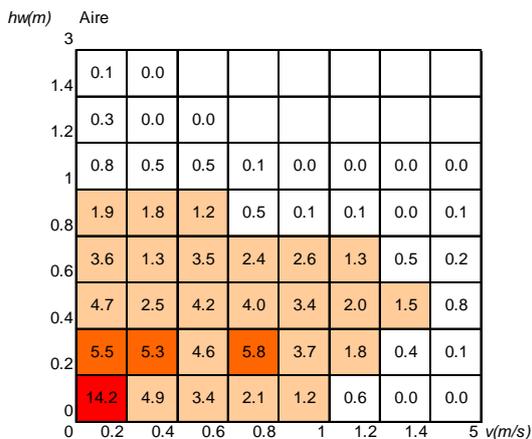


Figure 7 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2016 à partir de la moyenne des hydrosignatures totales en aires (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne).

L'indice de comparaison HSC[k1=1, k2=1] entre les signatures en aires moyennes des échantillonnages des stations traduit une bonne similarité hydraulique. Il est de :

- 9.8 pour la [moyenne des hydrosignatures moyennes],
- 8.0 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 en regard des habitats hydrauliques inventoriés.

Une modélisation hydraulique Telemac 2D du lit mineur de la Basse Durance a été réalisée dans le cadre du Contrat de Rivière Durance et d'une étude sur les débits souhaitables à l'aval de Mallemort. Ces simulations hydrauliques ont utilisées des données topographiques de juillet 2014 pour Cheval Blanc et fin 2015 pour Cadenet. Les Figure 9 et Figure 10 superposent les ambiances de pêches de la campagne 2016 et la modélisation hydraulique à des débits équivalents. Pour Cheval Blanc les ambiances se situent bien au sein du chenal simulé en 2014 (Figure 11) ce qui n'est plus le cas en 2016 (Figure 10, présence de nouveaux bras). La Figure 3 et l'Annexe 3 permettent d'expliquer ce remaniement par la présence d'une crue morphogène en novembre 2014.

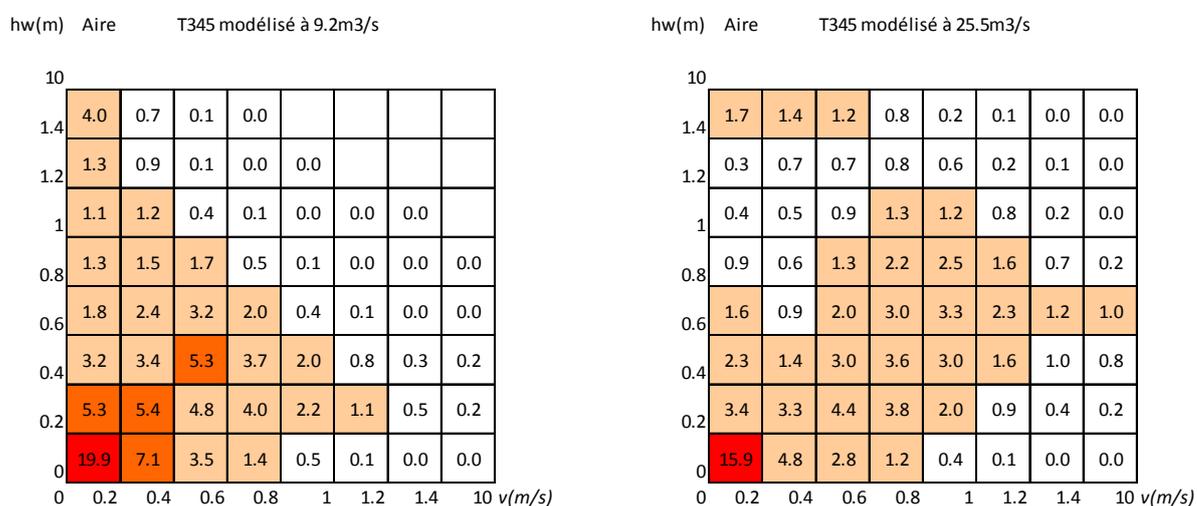


Figure 8 - Hydrosignatures en aires du tronçon T345 (Annexe 1, PK amont : 264.5 ; PK aval 279.9) simulations hydrauliques TELEMAC 2D pour les débits $9.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et $25.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ les valeurs élevées en haut et à gauche des grilles sont liées à la définition très large de la dernière classe de profondeur.

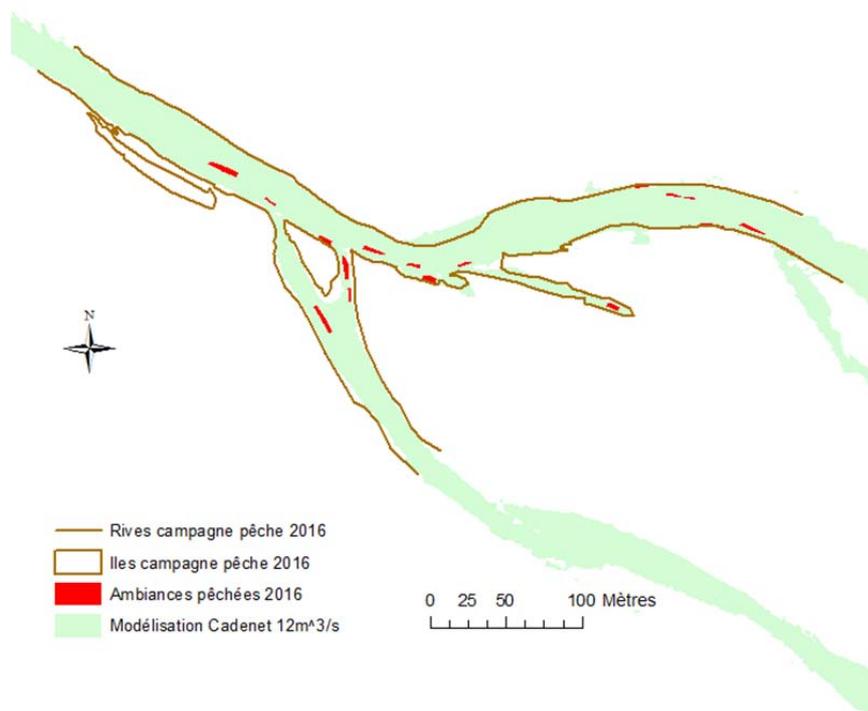


Figure 9 - Comparaison des relevés morpho-hydrauliques de Cadenet 2016 ($Q = 9.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) avec la modélisation Telemac ($Q = 12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

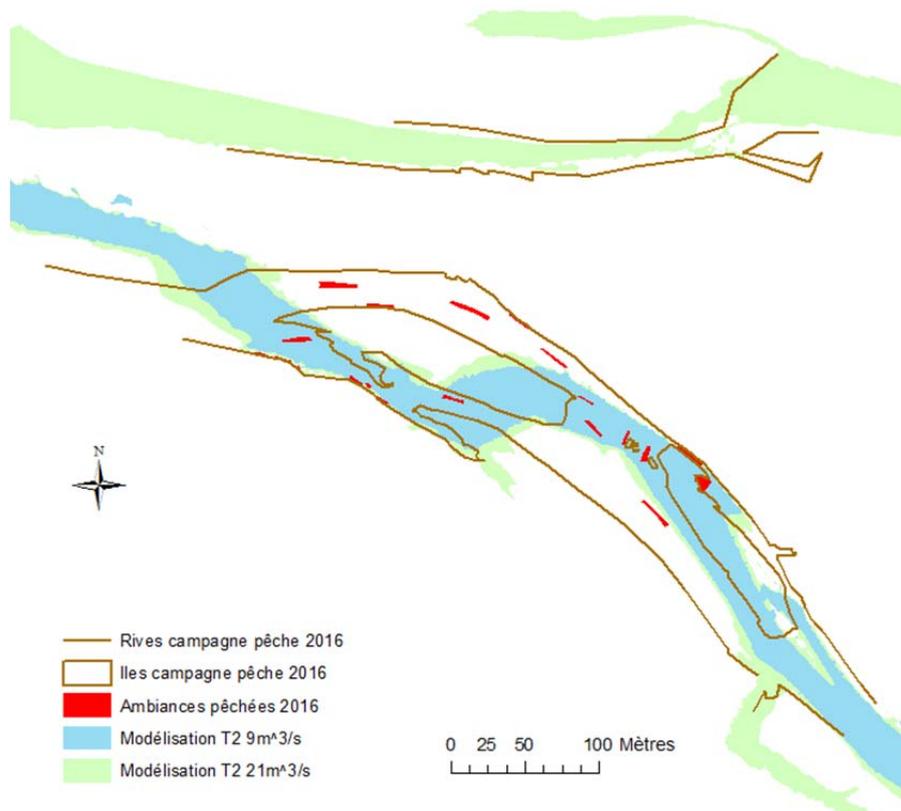


Figure 10 - Comparaison des relevés morpho-hydrauliques de Cheval Blanc 2016 ($Q = 14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) avec la modélisation Telemac ($Q = 9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $Q = 21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

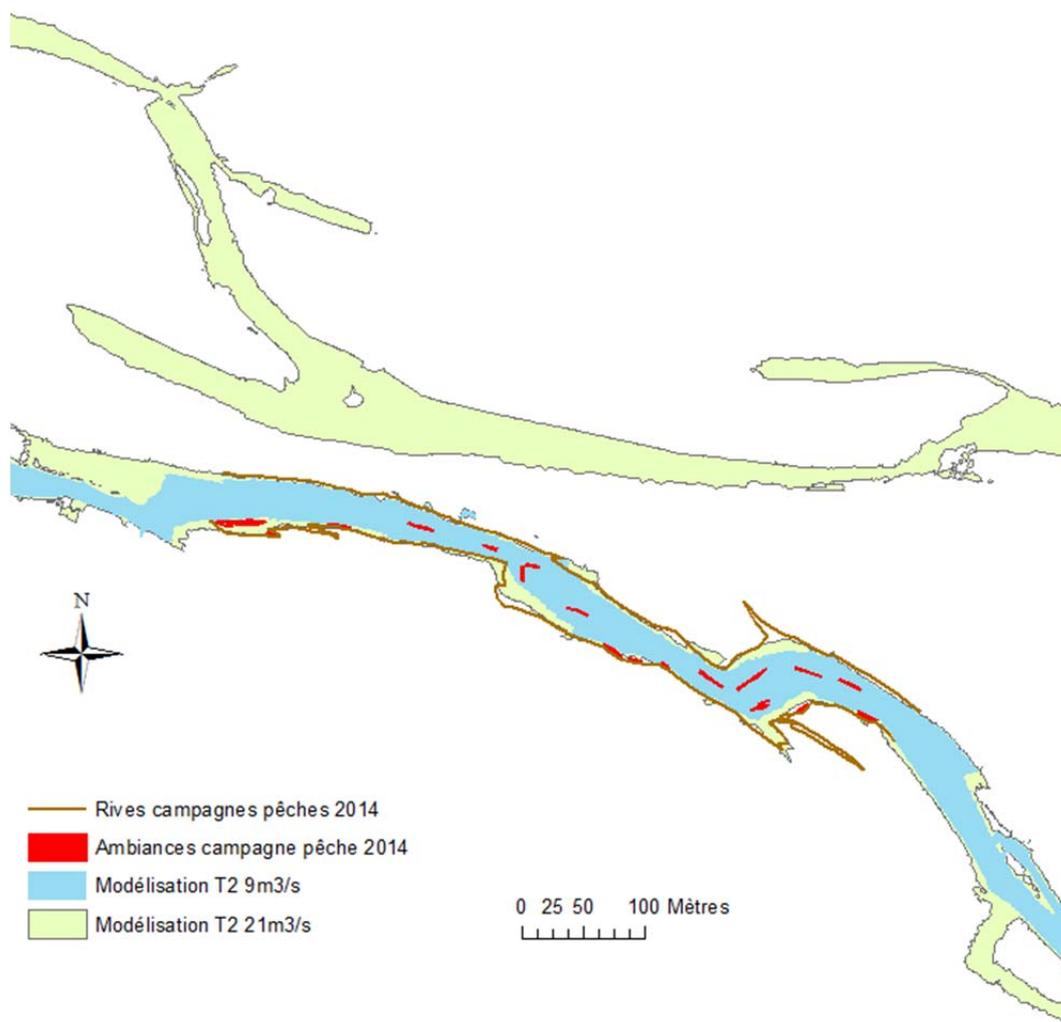


Figure 11 - Comparaison des relevés morpho-hydrauliques de Cheval Blanc 2014 ($Q = 12.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) avec la modélisation Telemac ($Q = 9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $Q = 21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

2.8. Hauteur de rugosité du substrat

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 height dans la terminologie anglo-saxonne) constitue une variable simple intégrant de multiples caractéristiques du substrat. Alors que la 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.

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 en contact avec le bout du pied fait alors l'objet de la mesure.

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

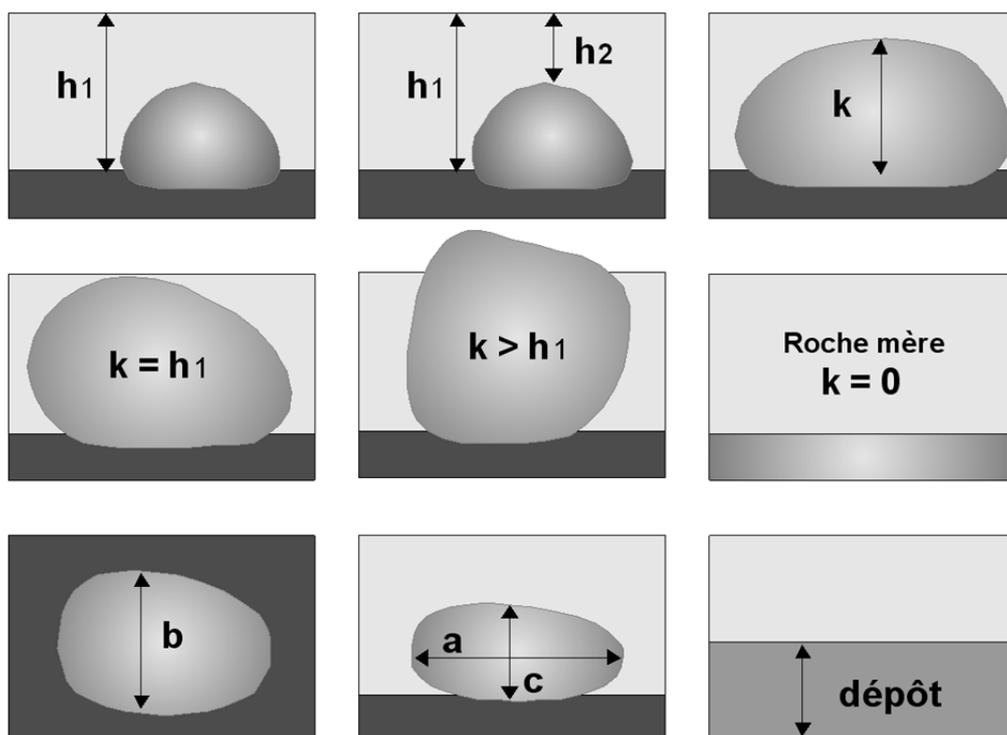


Figure 12 - Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité (k) et de paramètres caractéristiques des éléments granulométriques grossiers. La profondeur maximale autour de l'élément granulométrique choisi permet par différence avec la hauteur d'eau 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).

A partir de l'échantillon de mesures de la hauteur de rugosité, l'information est traitée sous diverses formes. L'analyse des variables descriptives de l'habitat peut intégrer la hauteur de rugosité sous plusieurs aspects, soit à partir de paramètres statistiques classiques vus à 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.

Résultats

D'une manière générale, les plus fortes hauteurs de rugosité (k) sont relevées à Cheval Blanc car des ambiances sont 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 4).

Tableau 4 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) mesurées dans les ambiances de pêche des deux stations.

k (cm)	Année	N	Moy.	S	Min	Q 25%	Q 50%	Q 75%	Max
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	
Cheval Blanc	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	
Global		5765	8.30	15.61	0.001	2	5	9	220

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 5). 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 (cobble).

Tableau 5 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité (k) des deux stations après exclusion des valeurs supérieures à 25.6 cm associées à la présence d'éléments granulométriques d'origine anthropique tels que des enrochements.

k (cm) < 25.6 cm	Année	N	Moy.	S	Min	Q 25%	Q 50%	Q 75%	Max
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	
Cheval Blanc	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	
Global		5475	5.39	4.72	0.001	2	4	8	25

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 2004-2016, il apparaît que les proportions de limons et de sables sont plus élevées à Cheval Blanc (Tableau 6).

Tableau 6 - Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations.

de 2004 à 2016	Limons	Sables	Graviers	Galets	Blocs	Nbre
Cadenet	54	68	229	2316	78	2745
	2.0%	2.5%	8.3%	84.4%	2.8%	50.2%
Cheval Blanc	131	93	185	2132	179	2720
	4.8%	3.4%	6.8%	78.4%	6.6%	49.8%
Total	154	159	312	4135	248	5008
	3.4%	3.0%	7.6%	81.4%	4.7%	100.0%

Remarque importante : 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.

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 13). 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 7) mais restent significativement différentes (test de Mann-Whitney de comparaison des médianes).

Tableau 7 - 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.

	2004-2007		2008-2016	
	Cadenet	Cheval Blanc	Cadenet	Cheval Blanc
Effectif	902	722	1711	1688
Moyenne	7.05	6.02	5.40	4.60
Ecart-type	4.99	4.60	4.76	4.03
Minimum	0.1	0.1	0.1	0.1
1er quartile	3	3	2	1
Médiane	6	5	4	4
3ème quartile	10	8	8	6
Maximum	25	25	25	25

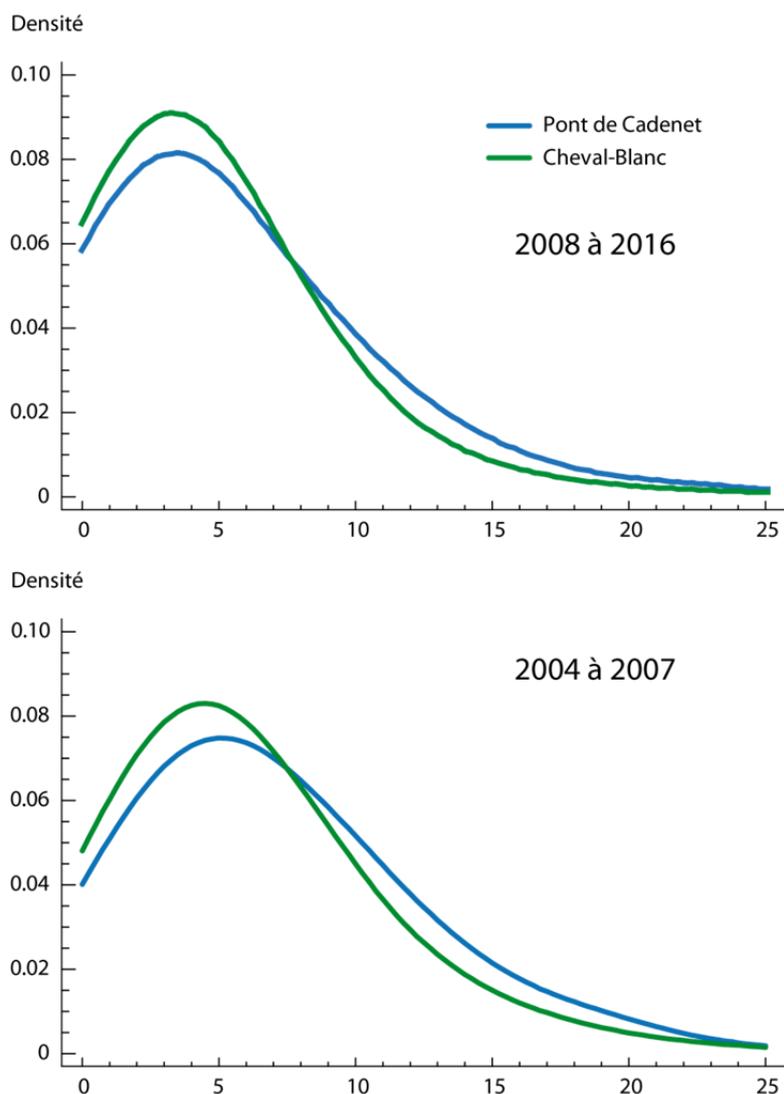


Figure 13 - Densités des hauteurs de rugosité (k) par station et par période (2004-2007 et 2008-2016). Les deux périodes se distinguent par une hydrologie contrastée. Un régime marqué par de fortes crues a régulièrement remodelé le lit de la Durance dans les deux stations après 2007. Les paramètres sont calculés après exclusion (1) des valeurs associées aux dépôts limoneux ($k < 0.001$) et (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.

3. Peuplements 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. Caractéristiques générales des peuplements

Les résultats des pêches de 2016 (tableaux des annexes 5 et 6) sont analysés parallèlement aux résultats des années antérieures obtenus depuis 2003. Les tableaux des annexes 7 et 8 regroupent les observations interannuelles sur ces deux stations.

Sur la base de la chronique obtenue en basse Durance, le peuplement est constitué de 28 espèces réparties au sein de 8 familles (Tableau 8). D'une manière générale, le peuplement à Cadenet s'avère plus diversifié et les effectifs nettement plus élevés qu'à Cheval Blanc (Figure 14).

La basse Durance est caractérisée par une prédominance de cinq cyprinidés : le spiralin *Alburnoides bipunctatus*, le chevaine *Squalius cephalus*, 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 (2003-2016) permet de comptabiliser un cortège d'espèces inféodées aux eaux lentes et également bien représenté. 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* et le rotengle *Scardinius erythrophthalmus*, en provenance des nombreux plans d'eau artificiels qui longent la rivière.

Tableau 8 - Liste et effectifs bruts des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc.

Familie <i>Nom scientifique</i>	Nom commun	2003 -2016			
		Code	Cadenet	Cheval	Total
Anguillidae					
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	1	63	64
Balitoridae					
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	1906	949	2855
Centrarchidae					
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	8	15	23
Cobitidae					
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	265	200	465
Cyprinidae					
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	2434	876	3310
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	2537	617	3154
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	877	1321	2198
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	1783	224	2007
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	476	86	562
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	136	28	164
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	11	80	91
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	22	25	47
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	8	17	25
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	14	2	15
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	8	1	9
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	1	6	7
<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	4		4
<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	1		1
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	10	15
Salmonidae					
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF	5	5	10
Total général			10548	4555	15103
Richesse spécifique totale			28	22	28

Tableau 9 - Liste et abondances relatives des espèces capturées en Basse Durance. Stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc.

Famille		2003 -2016			
Nom scientifique	Nom commun	Code	Cadenet	Cheval	Total
Anguillidae					
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	0.01	1.38	0.42
Balitoridae					
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	18.07	20.83	18.90
Centrarchidae					
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.08	0.33	0.15
Cobitidae					
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	2.51	4.39	3.08
Cyprinidae					
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	23.08	19.23	21.92
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	24.05	13.55	20.88
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	8.31	29.00	14.55
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	16.90	4.92	13.29
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	4.51	1.89	3.72
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	1.29	0.61	1.09
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX	0.10	1.76	0.60
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	0.21	0.55	0.31
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.08	0.37	0.17
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	0.13	0.04	0.10
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU	0.08	0.02	0.06
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR	0.01	0.13	0.05
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB	0.06		0.04
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN	0.04	0.04	0.04
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG	0.04		0.03
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE	0.02		0.01
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN	0.02		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	0.09	0.55	0.23
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN	0.20	0.04	0.15
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	0.05	0.22	0.10
Salmonidae					
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF	0.05	0.11	0.07

L'anguille est une espèce migratrice susceptible de recoloniser l'axe durancien. Elle a été échantillonnée à Cheval Blanc mais en faible nombre (de 1 à 4 individus par campagne). A ce jour, un seul individu a été capturé au Pont de Cadenet en juillet 2011.

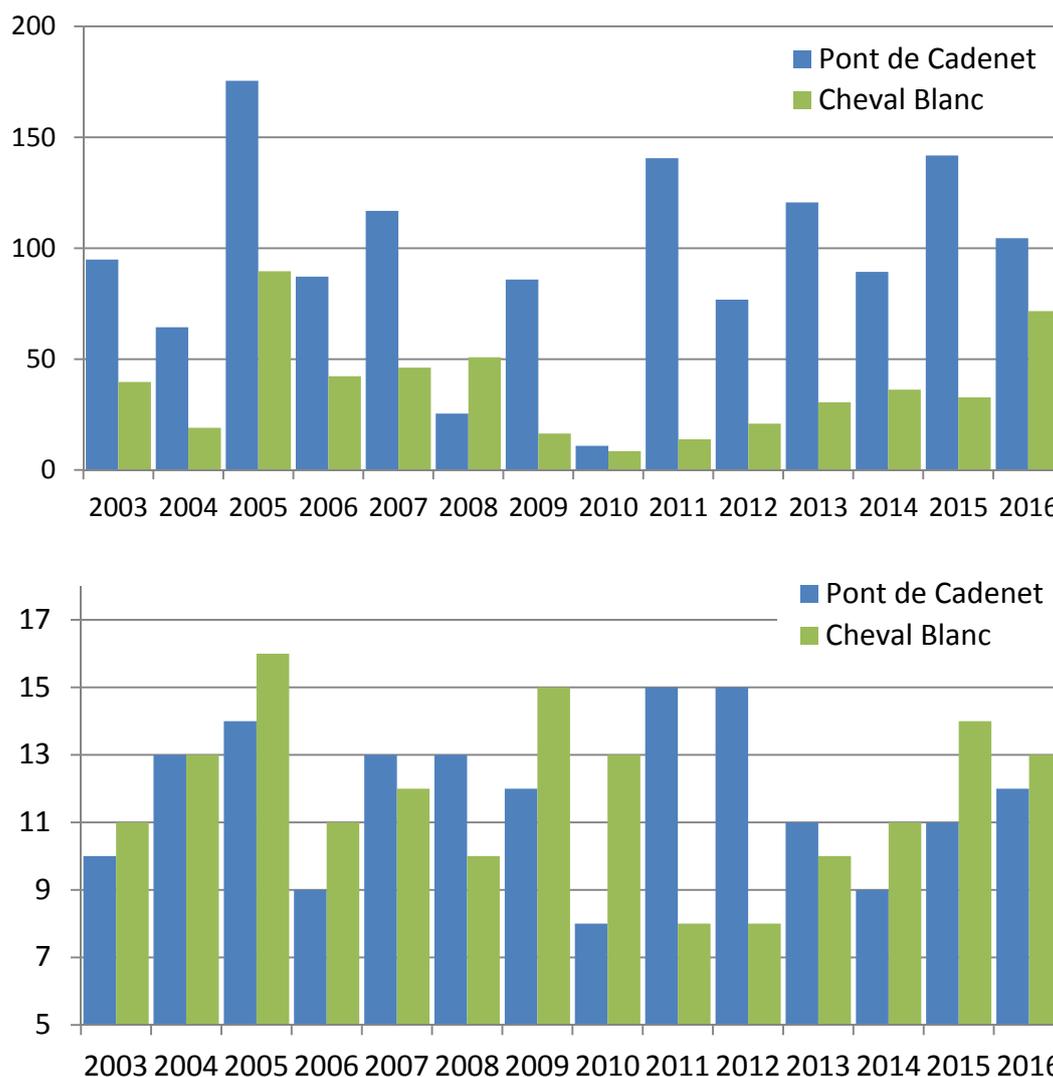


Figure 14 - Évolution interannuelle des effectifs totaux moyens (n/50 m²) et des richesses spécifiques dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval-Blanc (vert).

3.2. Comparaisons inter-annuelles et inter-stationnelles

Analyse de la taille chez les espèces dominantes

Les deux stations présentent de notables différences en termes d'assemblages d'espèces, appréhendés à la fois par l'abondance de chaque espèce et la taille des individus. La variabilité interannuelle observée au sein des peuplements de la basse Durance est essentiellement tributaire du succès de la reproduction des espèces dominantes, à savoir deux grands cyprinidés : le barbeau et le chevaine, et de trois espèces de petite taille : le spirilin, le vairon et la loche franche.

Les distributions en classes de taille de ces cinq espèces capturées au mois de juillet ces trois dernières années (2014, 2015 et 2016) sont démonstratives des difficultés rencontrées dans l'analyse des résultats et la comparaison interstationnelle (Figure 15, Figure 16).

Les distributions des tailles des deux grands cyprinidés (Figure 15, Tableau 10) rappellent de manière explicite :

- 1) la modicité des captures à Cheval Blanc au regard du Pont de Cadenet, avec un contraste plus important pour le barbeau ;
- 2) la quasi-absence des individus de grande taille, les plus âgés, dans les deux secteurs étudiés, également plus marquée chez le barbeau ;
- 3) sachant que 75% des individus capturés ne dépassent pas la taille de 125 mm, les populations locales de ces deux espèces sont majoritairement constituées par des juvéniles des classes d'âge 0+, 1+, voire quelques 2+.

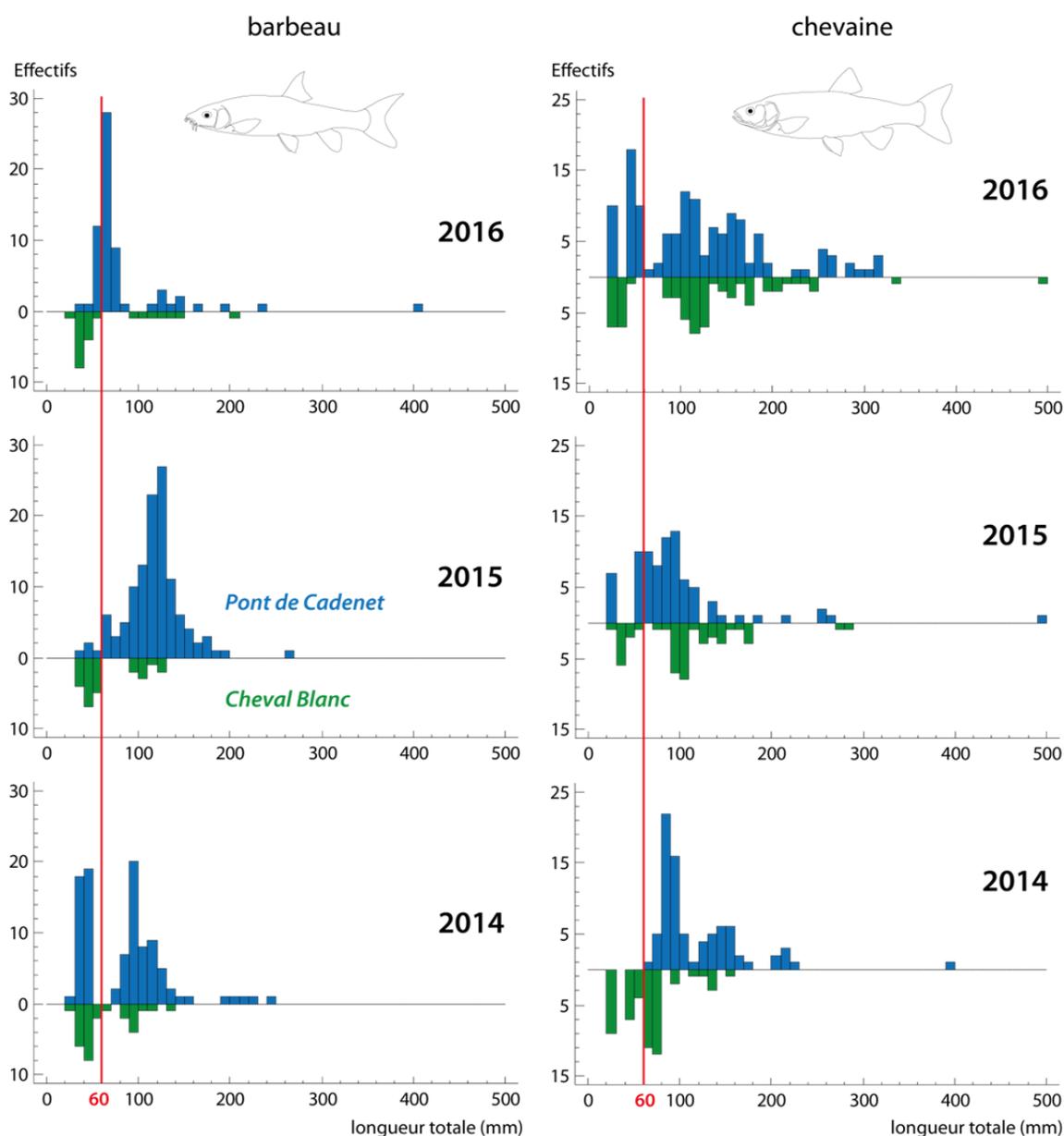


Figure 15 - Distributions en classes de tailles des deux grands cyprinidés euryèces de la basse Durance. Données de 2014 à 2016. Le trait vertical rouge indique la limite de taille (60 mm) utilisée pour exclure les jeunes individus lors de la comparaison spatiale par les hydrosignatures.

Tableau 10 - Statistiques résumées de la distribution des longueurs totales (en mm) des barbeaux et chevaines (années 2014 à 2016)

	barbeau		Chevaine	
	Cadenet	Cheval Blanc	Cadenet	Cheval Blanc
Effectif	283	72	865	186
Moyenne	102.0	65.7	65.4	90.8
Médiane	100	49	42	74
Ecart-type	59.3	36.7	52.7	65.8
Minimum	22	29	22	24
Maximum	585	206	494	493
1er quartile	63	39	38	36
3ème quartile	124	98	80	122

Tableau 11 - Statistiques résumées de la distribution des longueurs totales (en mm) des spirilins, vairons et loches franche (années 2014 à 2016)

	spirilin		vairon		loche franche	
	Cadenet	Cheval Blanc	Cadenet	Cheval Blanc	Cadenet	Cheval Blanc
Effectif	484	371	354	361	215	138
Moyenne	67.4	56.4	43.5	40.1	53.1	53.5
Médiane	78	44	39.5	37.0	50	51
Ecart-type	23.9	25.9	12.0	10.1	12.8	13.8
Minimum	30	25	26	21	28	26
Maximum	129	127	71	66	91	82
1er quartile	41.5	34.0	34	31	42	42
3ème quartile	86.0	83.0	56	50	66	66

Concernant les trois autres espèces, dont la taille adulte n'est pas comparable à celle des espèces précédentes, le constat général est sensiblement différent. Ces espèces ont des préférences pour de faibles hauteurs d'eau lotiques et/ou lenticues, à savoir des habitats hydrauliques largement représentés dans les deux secteurs étudiés (Figure 8).

Contrairement aux quatre autres espèces, les tailles médianes et les distributions de taille de la loche ne sont pas significativement différentes entre les deux secteurs.

Les distributions de taille des plus grandes espèces, partiellement tronquées par le manque d'individus adultes, et leur instabilité d'une année à l'autre, sont révélatrices d'un contexte morpho-hydraulique peu favorable pour ces poissons à la recherche d'espaces hydrauliques profonds, lenticues et rapides, utilisés alternativement pour leur alimentation et le repos, et comme abri vis-à-vis de leurs prédateurs aériens. Les traits biologiques et écologiques de ces espèces sont suffisamment renseignés pour expliquer la quasi-absence des grands spécimens dans la Durance régulée.

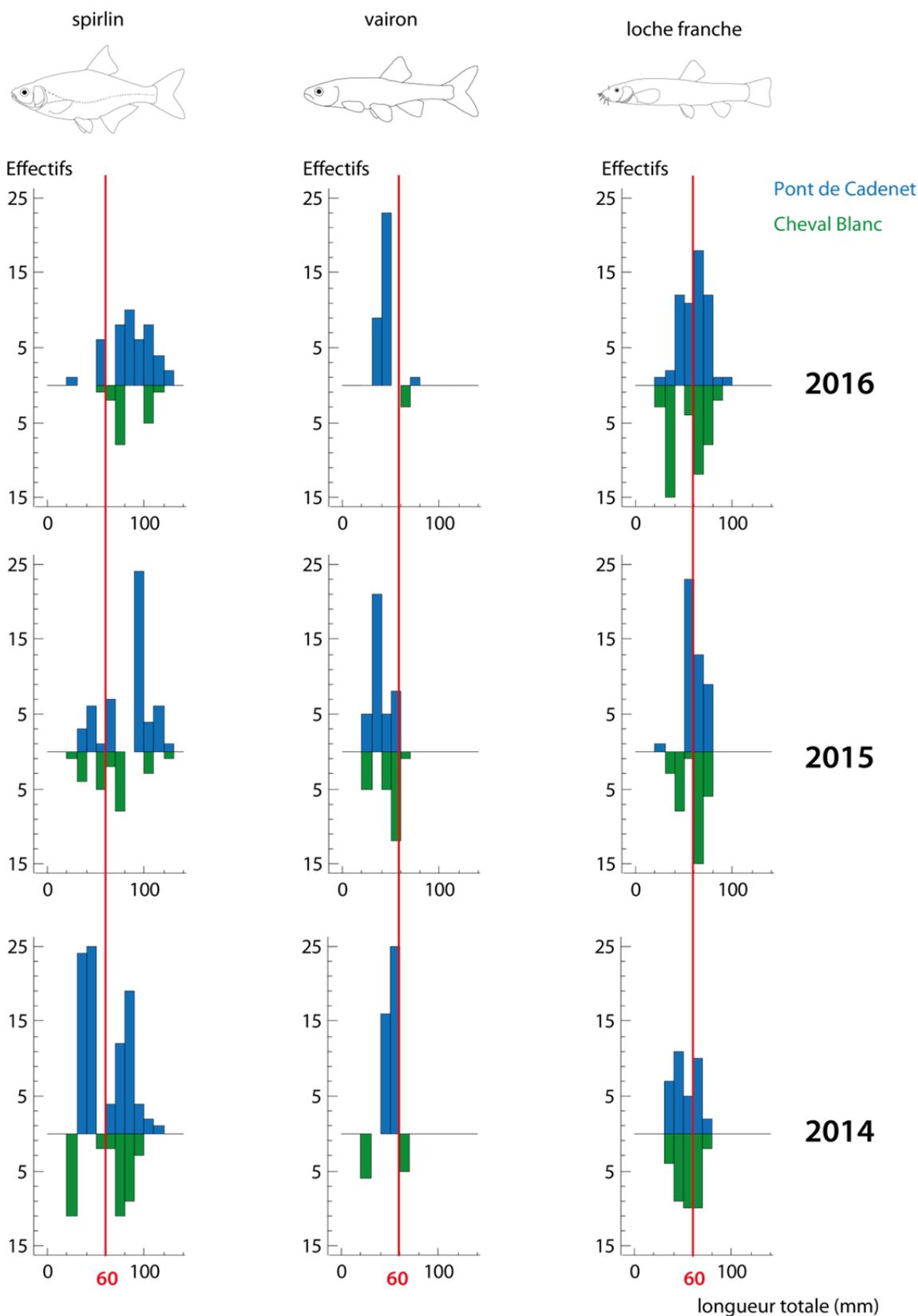


Figure 16 - Distributions en classes de taille de trois petites espèces communes dans la basse Durance. Résultats des années 2014 à 2016. Le trait vertical rouge indique la limite de taille (60 mm) utilisée pour exclure les jeunes individus lors de la comparaison spatiale par les hydrosignatures.

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 12)².

Tableau 12 - 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 $LT > 60$ mm 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
Total	6206	2688	152	138	3407	933	149	121	2273	733	110	96
% retenu					55	35	98	88	37	27	72	70

² Suite à des erreurs faites en 2013, les résultats de ce tableau et de la figure 13 ont été repris. D'où une différence avec les rapports antérieurs.

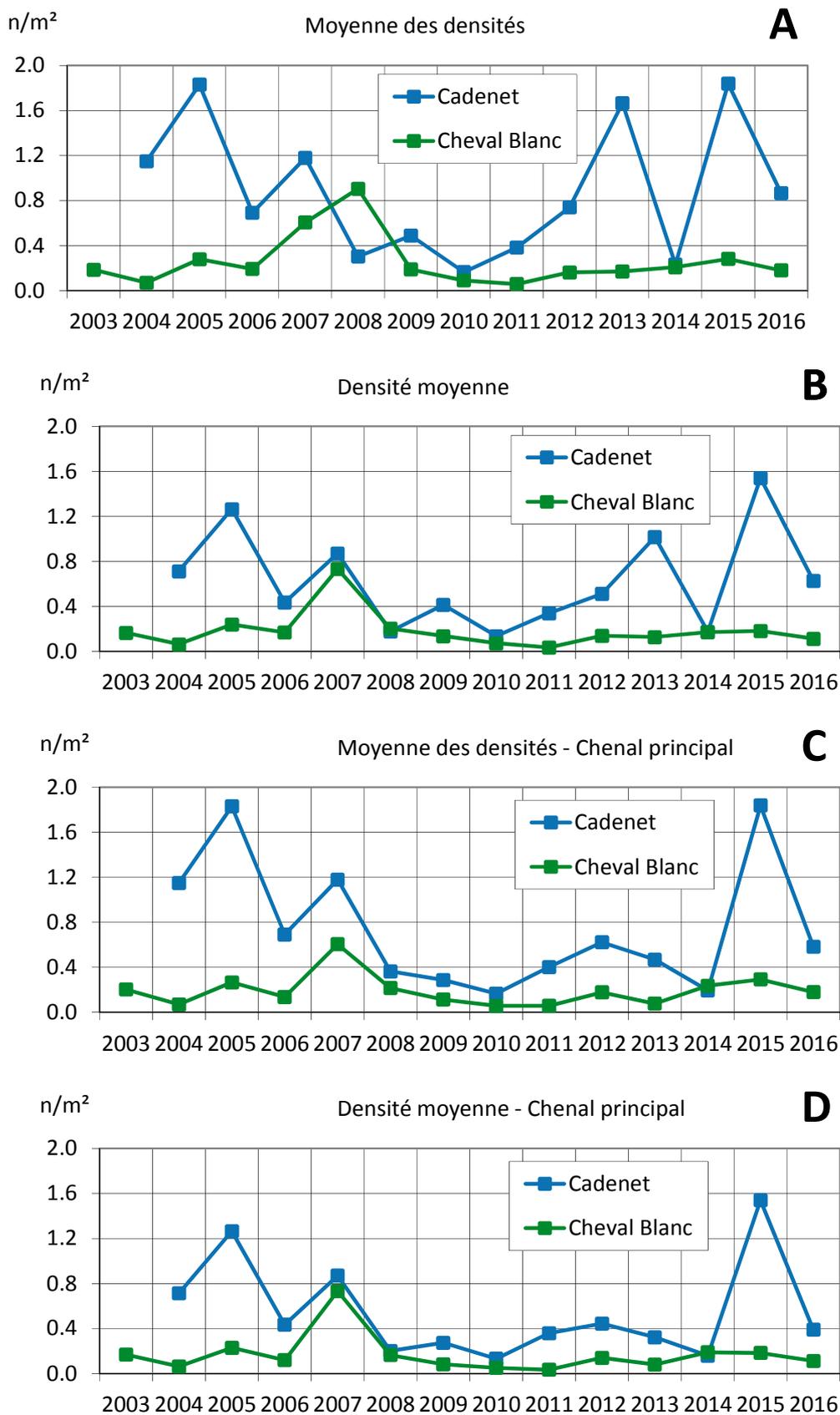


Figure 17 - Évolution des moyennes des densités et des densités moyennes des poissons (n/m²) dans les ambiances sans abris, tous chenaux A & B, chenal principal C & D. Seuls les individus d'une taille supérieure à 60 mm sont pris en compte.

La chronique (Figure 17) 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 9 présente les hydrosignatures correspondantes pour ces ambiances hors abris comptant au moins un individu de taille supérieure à 60 mm.

Les hydrosignatures moyennes de la chronique par station apparaissent comparables avec des HSC (aire) de : A=13.1, B=12.4, C=14.6 et D=11.8. 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, 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'est appréhendé qu'en 2014 (Figure 17) 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 (Figure 15).

Il est probable que la modicité des effectifs sur Cheval Blanc résulte des modifications anarchiques de l'hydraulique locale lors des restitutions. 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.

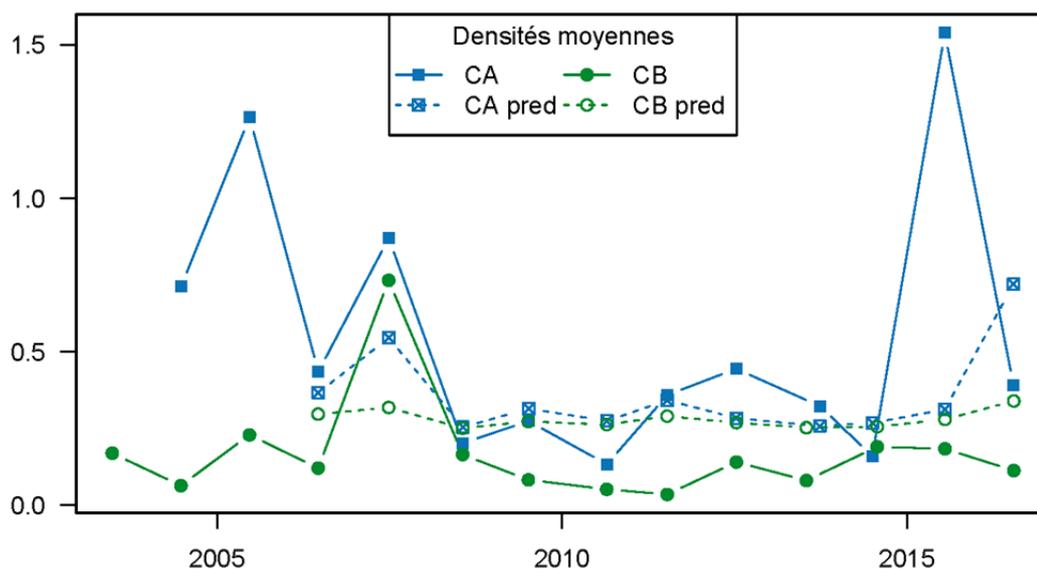


Figure 18 - Modélisation de la Figure 17 D à partir des données hydrologiques au cours des 365 jours précédant la pêche.

La Figure 18 présente une modélisation rudimentaire de la densité moyenne des poissons de LT supérieure à 60mm dans le chenal principal et hors abris (Figure 17 D) avec l'hydrologie. La densité est modélisée par régression linéaire à partir de l'inverse de l'écart type des débits maximaux journaliers durant les 365 jours précédant la pêche ($R^2 = 0.10$; pente = 7.99 ; ordonnée à l'origine = 0.21). Pour Cadenet, les débits utilisés sont ceux de la surverse de Cadarache, et pour Cheval-Blanc la somme des surverses de Cadarache et Mallemort. Il apparaît pour Cadenet que les années 2015 et 2016 sont difficilement explicables à partir de cette simple approche. La prise en compte des MES dans le cadre d'un modèle plus complexe permettrait peut-être de mieux simuler les faibles densités moyennes observées à Cheval-Blanc.

4. Perspectives d'utilisation du modèle habitats/poissons 5M7

L'une des méthodes d'exploitation des données collectées au travers de l'échantillonnage piscicole par ambiance consiste à mettre en œuvre le modèle habitats/poissons 5M7, créé à l'origine pour analyser ce type de données enregistrées en moyenne Durance.

Le modèle 5M7 permet de calculer des coefficients de préférence de taxons de poissons pour des classes de couples profondeur/vitesse moyenne assimilées ici à "l'habitat". Il peut aussi être utilisé pour évaluer a priori le taux de saturation des taxons par "habitat hydraulique disponible". En d'autres termes, il peut fournir des indicateurs numériques pour caractériser un taux de saturation / coefficient d'occupation des habitats hydrauliques des poissons dans lesquels ils sont réputés vivre. Le taux de saturation varie théoriquement en fonction des variations de conditions de milieu et de l'historique de ces conditions. Citons, sans être exhaustif, l'importance de la morpho-hydraulique, de la nature du substrat, des abris, de l'alternance jour/nuit, de la qualité de l'eau, de la température, de l'hydrologie, et des diverses pressions anthropiques perturbant ces caractéristiques abiotiques et biotiques.

Cette démarche s'efforce de s'abstraire des disparités des conditions hydrauliques entre les campagnes, répertoriées précédemment.

Le modèle 5M7 permet aussi de déterminer la trajectoire d'une espèce définie par trois paramètres (Longueur Totale, Profondeur, Vitesse) dans un cours d'eau donné. Cette trajectoire décrit la recherche par le poisson de conditions hydrauliques moyennes différentes au fur et à mesure de sa croissance.

Nous avons relevé lors du projet CYPREF (LE COARER et al., 2008), des disparités systématiques des trajectoires 5M7 des espèces entre cours d'eau : l'Ain, l'Ardèche, la Durance et le Rhône.

Nous avons aussi remarqué des différences de trajectoires entre nos échantillonnages de moyenne et de basse Durance, notamment pour la loche franche, le spirilin, le vairon, le barbeau et le chevaine. Ce constat de changement d'habitat hydraulique moyen, dès les plus jeunes stades, ne permet pas de savoir dans quelle mesure les pressions hydrostatiques ressenties et les "vitesses au nez" des poissons sont modifiées puisque nous n'effectuons pas de mesures à cette échelle. Reste que des types d'habitats hydrauliques identiques existent

dans les deux milieux, parfois dans les mêmes proportions de classes d'hydrosignatures, mais qu'ils sont occupés ou non. En 2014, nous avons constaté, pour une guildes constituée des 5 espèces citées, une différence de vitesses moyennes de + 13 cm/s à tailles équivalentes. Ces résultats présentent une similitude avec l'évolution des données hydrauliques moyennes échantillonnées hors-abris sur les deux milieux : moyenne Durance (profondeur 0.38 m, vitesse 0.46 m/s), basse Durance (profondeur 0.39 m, vitesse 0.59 m/s).

En février 2015, nous avons mis en relation ce constat et un travail important sur la détermination des préférences d'habitat du barbeau méridional (*Barbus meridionalis*) à partir de plus de 400 ambiances réalisées sur le Loup et les Paillons (LE COARER et al., 2016). Dans une nouvelle approche, nous avons théorisé qu'un modèle de préférence hydraulique unique par espèce/guildes et par classes de tailles pourrait prédire les trajectoires 5M7 dans les cours d'eau en fonction de leurs hydrosignatures moyennes. Cette nouvelle perspective nous permet d'envisager la construction de modèles habitats/poissons validés a minima pour l'ensemble des situations duranciennes. Ces calculs peuvent représenter un temps ingénieur important de développement informatique et de traitement de données.

L'étape suivante qui fait écho dans la communauté scientifique internationale consisterait à modéliser des habitats fonctionnels (repos, nutrition,..) tout en intégrant d'autres paramètres (substrat, abris,...). Cette nouvelle étape nécessite des recueils de données sur le terrain plus complexes que ceux actuellement mis en œuvre.

5. Discussion et perspectives

Dans le cadre du Contrat de Rivière Durance, un comité technique de l'Etude sur les débits souhaitables à l'aval de Mallemort travaille en vue de préconiser des scénarii de gestion et de mieux comprendre l'impact des restitutions sur les biocénoses de la Basse Durance. A l'aide d'une modélisation hydraulique Telemac 2D du lit mineur de ce secteur nous avons contribué à des modélisations biologiques notamment pour diminuer les risques d'échouages des jeunes stades de poissons (LE COARER et al., 2016). La faisabilité technico-économique multicritères de modalités de gestion hydraulique différentes sont actuellement évaluées par le comité technique et par un comité de pilotage en regard de leurs conséquences sur l'ensemble de la chaîne Durance et du multi-usages de l'eau.

Des travaux de recherche restent à préconiser pour améliorer les connaissances sur le comportement nyctéméral des jeunes stades de poissons dans les conditions d'éclusées. Nous nous faisons ici l'écho de la communauté internationale des éco-hydrauliciens dont l'une des préoccupations majeures actuelles est l'amélioration des modèles biologiques en éclusées.

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.

<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. Références

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.

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

DRAY S., CHESEL D. & THIOULOUSE J. (2003): Co-inertia analysis and the linking of ecological data tables. Ecology, 84, 3078-3089.

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. 2005. "HydroSignature" software for hydraulic quantification. Proceedings, Cost 626 final meeting, Silkeborg, Denmark 19-20 May 2005, 193-203

LE COARER, Y. 2007. Hydraulic signatures for ecological modelling at different scales. Aquatic Ecology, 41:451-459

LE COARER, Y. & DELAIGUE, O. (Eds) (2008): CYPREF - Préférences d'habitats des cyprinidés. - Projet MAITRISE, Cemagref Aix-en-Provence, U.R. Hydrobiologie, 45 pp.

LE COARER, Y., ARCHAMBAUD-SUARD, G., GIORDANO, L., SCHARL, A., RABOTIN, M., DUMONT, B., RAYMOND, V., CARREL, G., RIFFLART, R. & ROUX, B. (2006): Renouveau 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): Renouveau 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., PROST, O. & TESTI, B. (2016): Transferability of fish habitat models: The new 5m7 approach applied to the Mediterranean Barbel (*Barbus meridionalis*). - 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.

SCHARL, A., LE COARER, Y. 2005. Morphohydraulic quantification of non spatialized datasets with the "Hydrosignature" software. Proceedings, Cost 626 final meeting, Silkeborg, Denmark 19-20 May 2005, 313-326

8. Rapports 2003 à 2015

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.

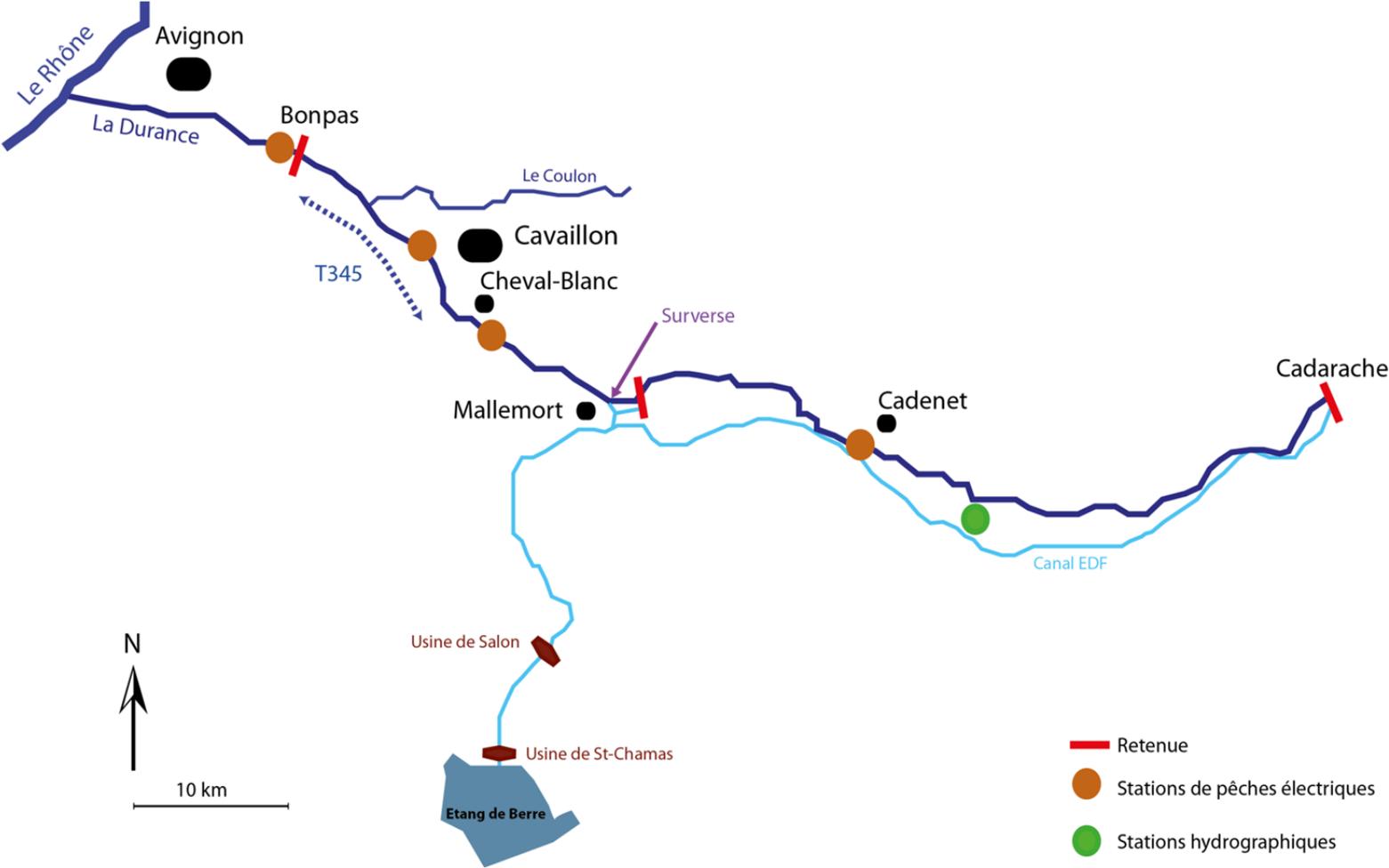
LE COARER, Y., CARREL, G., BEGUIN, J., COLOMBET, X. & TESTI, B. (2014): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2013. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 48 p.

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.

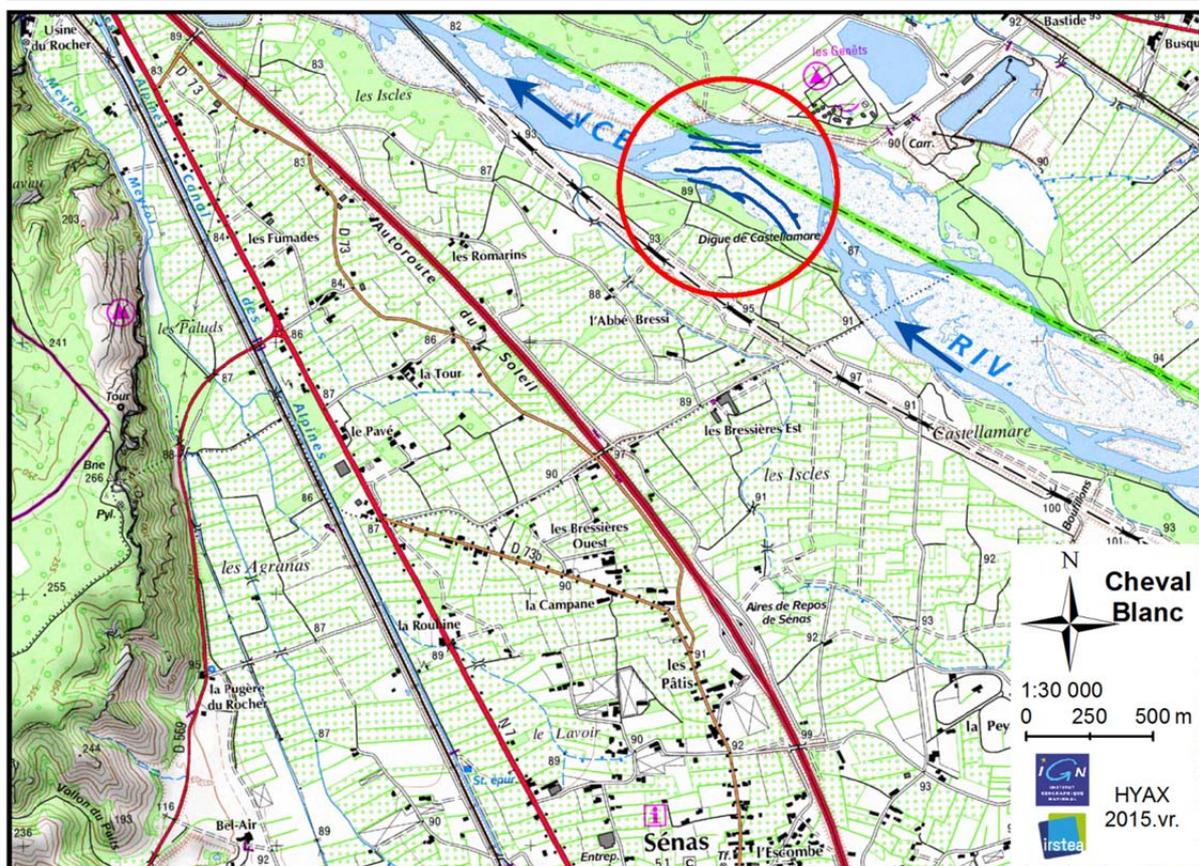
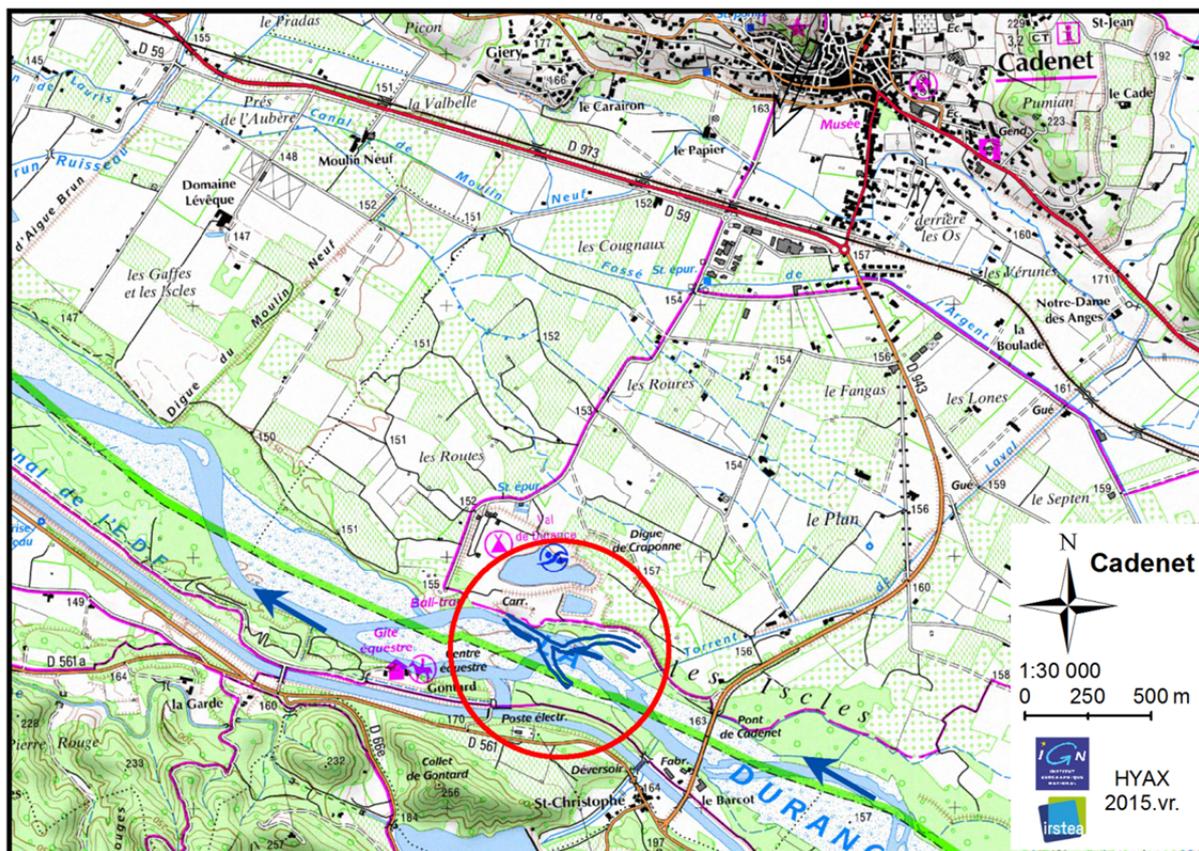
LE COARER, Y., CARREL, G. & TESTI, B. (2015): Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2015. Irstea, UR Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 53 p.

9. Annexes

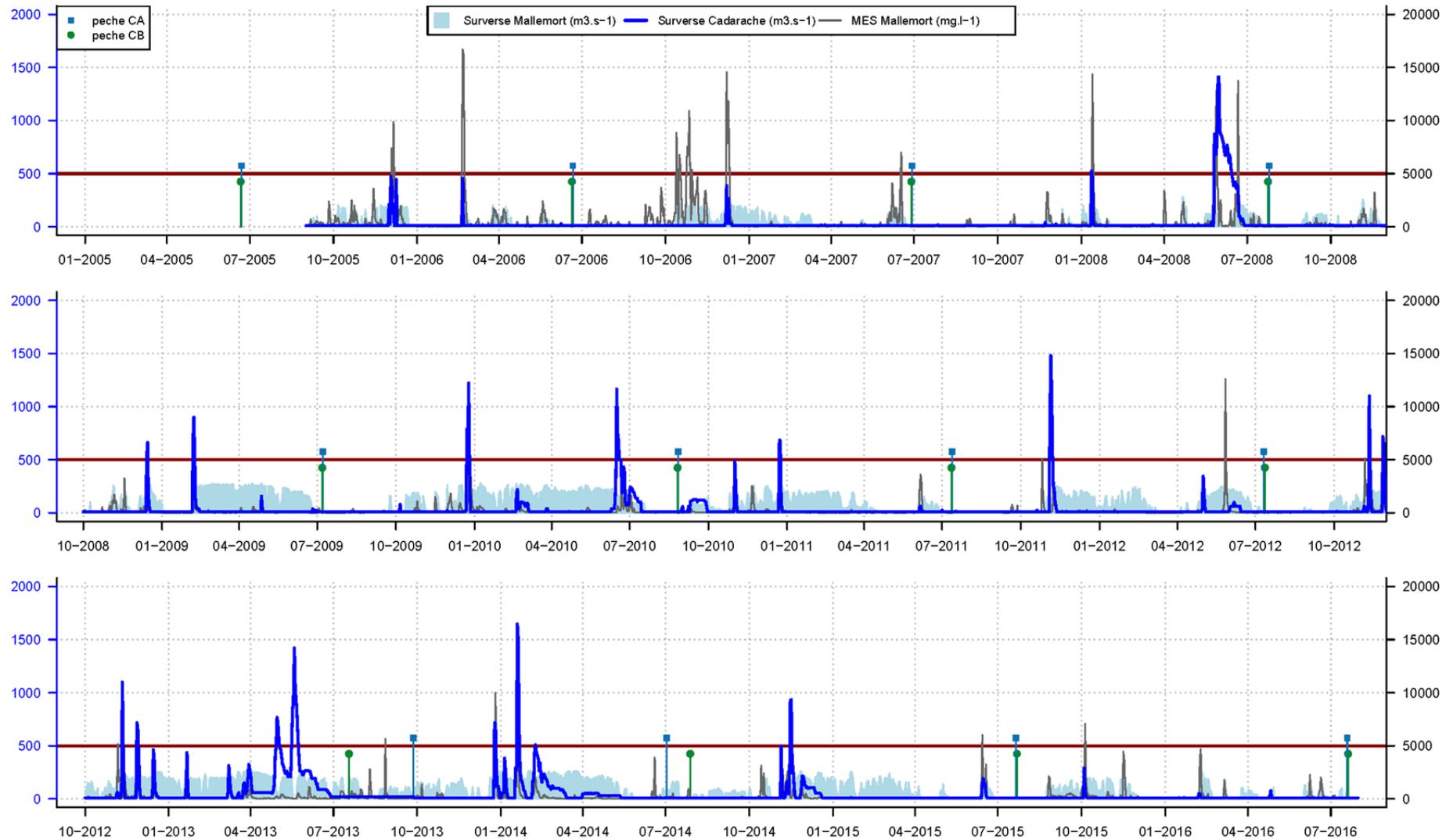
Annexe 1 - Plan de situation des stations de pêche Onema à Bonpas, Sage Environnement à Cavaillon, Onema & Irstea à Cheval Blanc et Pont de Cadenet.



Annexe 2 - Plans de situation des stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc



Annexe 3 - Chroniques des valeurs maximales journalières de MES (mg.l^{-1}) et de débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) de 2005 à 2016 aux droits de Cadarache et Mallemort. Les dates de pêche sont symbolisées par des étiquettes bleues pour Cadenet et Vertes pour Cheval-Blanc.



Annexe 4 - Comparaison des Hydrosignatures en aires, moyennes et totales des ambiances de Pont de Cadenet (CA) et de Cheval Blanc (CB) obtenues de 2004 à 2015. Valeurs numériques arrondies à l'unité.

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

HSC_Moyenne	23.6
HSC_Ecart_type	6.0
HSC_Minimum	9.3
HSC_Maximum	43.1

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

HSC_Moyenne	26.8
HSC_Ecart_type	6.7
HSC_Minimum	12.3
HSC_Maximum	44.8

Annexe 5 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Pont de Cadenet

Cadenet - 19 juillet 2016		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	N	Occur.	
Effectifs bruts	Surface (m2)	60.2	13.7	29.6	42.4	15.5	50.1	31.2	16.9	39.0	12.1	25.8	11.2	16.1	24.3	27.6	34.7	22.9				
Balitoridae																						
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			3	24	19				1		1				1	4		5	58	8	
Cobitidae																						
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne			1			19				50	1	2				4			77	6	
Cyprinidae																						
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	6	1	4	2	35			8		1	73	4		1	1	8		31	175	13	
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile				12	32			4	1	1	9			1				1	2	63	9
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	1																			1	1
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune												1		2						3	2
<i>Gobio gobio</i>	Goujon				1		24					5	11	1			2				44	6
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	1																			1	1
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon				1	9					1	46	63				1		1		122	7
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora										1										1	1
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	3		34		1	1				9	23	23	5	32		12	1	20		164	12
Percidae																						
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune														1						1	1
Effectifs totaux		11	1	42	40	96	44	12	2	63	158	104	6	37	2	31	2	59	710	12		
Richesse spécifique		4	1	4	5	5	3	2	2	6	7	6	2	5	2	6	2	5				

Cadenet - 19 juillet 2016		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Effectifs corrigés (N/50m2)	Surface (m2)	60.2	13.7	29.6	42.4	15.5	50.1	31.2	16.9	39.0	12.1	25.8	11.2	16.1	24.3	27.6	34.7	22.9	Moy.	Occur.	
Balitoridae																					
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			5.1	28.3	61.1			3.0		4.1				2.1	7.2		10.9	7.2	8	
Cobitidae																					
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne			1.7			19.0			64.1	4.1	3.9			7.2				5.9	6	
Cyprinidae																					
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	5.0	3.6	6.8	2.4	112.6		12.8		1.3	300.9	7.8		3.1	2.1	14.5		67.7	31.8	13	
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile				14.1	103.0		6.4	3.0	1.3	37.1			3.1			1.4	4.4	10.2	9	
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	0.8																	0.0	1	
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune												1.9	6.2					0.5	2	
<i>Gobio gobio</i>	Goujon				1.2		24.0				20.6	21.3	4.5			3.6			4.4	6	
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	0.8																	0.0	1	
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon				1.2	29.0				1.3	189.6	122.1			1.8		2.2		20.4	7	
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora									1.3									0.1	1	
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	2.5		57.4		3.2	1.0			11.5	94.8	44.6	22.4	99.6		21.7	1.4	43.7	23.8	12	
Percidae																					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune														3.1				0.2	1	
Effectifs totaux		9.1	3.6	70.9	47.2	308.9	43.9	19.2	5.9	80.7	651.3	201.6	26.8	115.2	4.1	56.1	2.9	128.8	104.5	12	
Richesse spécifique		4	1	4	5	5	3	2	2	6	7	6	2	5	2	6	2	5			

Cadenet - 19 juillet 2016		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Abondances relatives (%)		Surface (m2)	60.2	13.7	29.6	42.4	15.5	50.1	31.2	16.9	39.0	12.1	25.8	11.2	16.1	24.3	27.6	34.7	22.9	Moy (%)	Occur.
Balitoridae																					
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche				7.1	60.0	19.8			50.0		0.6			50.0	12.9			8.5	12.3	8
Cobitidae																					
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne			2.4				43.2			79.4	0.6	1.9			12.9				8.3	6
Cyprinidae																					
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirlin	54.5	100.0	9.5	5.0	36.5			66.7		1.6	46.2	3.8		2.7	50.0	25.8		52.5	26.8	13
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile				30.0	33.3			33.3	50.0	1.6	5.7			2.7		50.0	3.4		12.4	9
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	9.1																		0.5	1
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune												1.0		5.4					0.4	2
<i>Gobio gobio</i>	Goujon				2.5		54.5					3.2	10.6	16.7			6.5			5.5	6
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	9.1																		0.5	1
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon				2.5	9.4					1.6	29.1	60.6				3.2		1.7	6.4	7
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora										1.6									0.1	1
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	27.3		81.0			1.0	2.3			14.3	14.6	22.1	83.3	86.5		38.7	50.0	33.9	26.8	12
Percidae																					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune														2.7					0.2	1

Annexe 6 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Cheval Blanc.

Cheval Blanc - 20 juillet 2016		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	N	Occur.	
Effectifs bruts	Surface (m2)		11.7	18.2	10.2	54.3	27.8	9.7	17.5	35.2	87.1	46.9	78.2	35.0	46.1	14.7	27.0	24.6	35.6	63.0	54.1	65.7			
Anguillidae																									
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille				1				1					2							1			5	4
Balitoridae																									
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	1			5					1	2	12	3	1		2	14	1	14		13	1		70	13
Cobitidae																									
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne				2																	5		7	2
Cyprinidae																									
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	3	20	42		37	9	23	6	6		4	5	3	42		2				3			205	14
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette																			1				1	1
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile			1	2	2	1		1	1	6					3	2	2						21	10
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune					1	1																	2	2
<i>Gobio gobio</i>	Goujon		1					5						1										7	3
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	19	2	3	19	10		4		1	18	6	28		59	8					11			188	13
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	1																						1	1
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	7	11	6		10	1	15	1		7		3	2							1			64	11
Percidae																									
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune			1				2						1										4	3
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre			1																				1	1
Effectifs totaux		31	34	55	28	60	12	50	9	10	43	13	41	5	103	25	5	16	1	29	6		576	13	
Richesse spécifique		5	4	7	4	5	4	6	4	4	4	3	7	2	3	3	3	2	1	5	2				

Cheval Blanc - 20 juillet 2016	Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Effectifs corrigés (N/50m2)	Surface (m2)	11.7	18.2	10.2	54.3	27.8	9.7	17.5	35.2	87.1	46.9	78.2	35.0	46.1	14.7	27.0	24.6	35.6	63.0	54.1	65.7	Moy.	Occur.
Anguillidae																							
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille			4.9				2.9					2.9							0.9		0.6	4
Balitoridae																							
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	4.3			4.6				1.4	1.1	12.8	1.9	1.4		6.8	26.0	2.0	19.7		12.0	0.8	4.7	13
Cobitidae																							
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne				1.8																3.8	0.3	2
Cyprinidae																							
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirlin	12.8	55.0	206.1		66.5	46.3	65.9	8.5	3.4		2.6	7.2	3.3	142.9		4.1			2.8		31.4	14
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette																		0.8			0.0	1
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile			4.9	1.8	3.6	5.1		1.4	0.6	6.4					5.6	4.1	2.8				1.8	10
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune					1.8	5.1															0.3	2
<i>Gobio gobio</i>	Goujon		2.8					14.3					1.4									0.9	3
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	81.1	5.5	14.7	17.5	18.0		11.5		0.6	19.2	3.8	40.0		200.7	14.8				10.2		21.9	13
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	4.3																				0.2	1
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	29.9	30.3	29.4		18.0	5.1	43.0	1.4		7.5		4.3	2.2						0.9		8.6	11
Percidae																							
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune			4.9				5.7					1.4									0.6	3
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre			4.9																		0.2	1
Effectifs totaux		132.4	93.6	269.9	25.8	107.9	61.8	143.3	12.8	5.7	45.8	8.3	58.6	5.4	350.3	46.3	10.2	22.5	0.8	26.8	4.6	71.6	13
Richesse spécifique		5	4	7	4	5	4	6	4	4	4	3	7	2	3	3	3	2	1	5	2		

Cheval Blanc - 20 juillet 2016		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Abondances relatives (%)		Surface (m2)	11.7	18.2	10.2	54.3	27.8	9.7	17.5	35.2	87.1	46.9	78.2	35.0	46.1	14.7	27.0	24.6	35.6	63.0	54.1	65.7	Moy (%)	Occur.	
Anguillidae																									
	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille			1.8				2.0					4.9							3.4			0.6	4
Balitoridae																									
	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	3.2			17.9				11.1	20.0	27.9	23.1	2.4		1.9	56.0	20.0	87.5		44.8	16.7		16.6	13
Cobitidae																									
	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne				7.1																83.3		4.5	2
Cyprinidae																									
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirlin	9.7	58.8	76.4		61.7	75.0	46.0	66.7	60.0		30.8	12.2	60.0	40.8		40.0				10.3		32.4	14
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette																			100.0			5.0	1
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile			1.8	7.1	3.3	8.3		11.1	10.0	14.0					12.0	40.0	12.5					6.0	10
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune					1.7	8.3																0.5	2
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon		2.9					10.0					2.4										0.8	3
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	61.3	5.9	5.5	67.9	16.7		8.0		10.0	41.9	46.2	68.3		57.3	32.0				37.9			22.9	13
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	3.2																					0.2	1
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	22.6	32.4	10.9		16.7	8.3	30.0	11.1		16.3		7.3	40.0						3.4			9.9	11
Percidae																									
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune			1.8				4.0					2.4										0.4	3
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre			1.8																			0.1	1

Annexe 7 - Effectifs corrigés (N/50 m²) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.

			Pont de Cadenet													Moy.	Occur.		
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			2016	
Anguillidae																			
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG									0.1							0.005	1
Balitoridae																			
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	11.6	22.5	74.5	12.6	2.5	2.7	19.7	0.4	35.2	21.1	0.6	3.2	21.6	7.2	16.813	14	
Centrarchidae																			
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES			0.6	0.6											0.089	2	
Cobitidae																			
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	4.2	0.3	0.5	0.8		0.1	2.2	0.1	0.3	0.8	26.3	0.9	13.8	5.9	4.013	13	
Cyprinidae																			
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaîne	CHE	33.1	10.8	38.5	31.1	35.2	6.5	26.7	2.4	23.8	19.7	14.5	44.9	44.5	23.8	25.399	14	
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	14.8	17.2	30.6	26.0	53.3	6.8	18.2	1.4	40.3	13.3	28.8	5.9	27.8	31.8	22.582	14	
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	14.4	7.4	25.2	13.1	18.1	3.5	7.1	4.5	12.3	4.8	43.7	7.1	16.1	10.2	13.390	14	
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI		0.1	1.3	0.2			8.1	1.1	24.9	14.0		23.4	6.5	20.4	7.148	10	
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	12.4	2.1	1.7	2.0	5.4	3.3	1.8	1.0	1.7	1.6	5.4	2.9	6.4	4.4	3.729	14	
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	0.9	1.5	0.7	0.8	0.6		1.4	0.0	0.5	0.8	0.8	0.7	3.6		0.875	12	
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	0.3	0.5	0.4		0.7				0.1	0.0			0.8	0.0	0.210	8	
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	1.1		0.1		0.1	0.4	0.2		0.1	0.1			0.1	0.5	0.191	9	
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX		0.2	0.0		0.1		0.1			0.1		0.3		0.0	0.071	7	
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR			0.3							0.1	0.1		0.3	0.1	0.069	5	
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU			1.0												0.068	1	
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN		0.8									0.1				0.063	2	
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG						0.7	0.1								0.057	2	
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE		0.8													0.055	1	
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB						0.5									0.034	1	
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR					0.5										0.034	1	
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN						0.2									0.017	1	
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN							0.2								0.015	1	
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT					0.1										0.004	1	
Esocidae																			
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO									0.1						0.005	1	
Percidae																			
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER	2.0				0.4	0.2			0.1					0.2	0.204	5	
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN		0.1							1.0	0.1	0.3				0.106	4	
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE						0.5			0.1	0.0					0.046	3	
Salmonidae																			
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF					0.1	0.0				0.1	0.1				0.024	4	
Effectifs totaux moyens (N/50 m²)			94.9	64.4	175.5	87.1	116.8	25.5	85.9	10.9	140.6	76.8	120.6	89.3	141.7	104.5	95.317		
Richesse totale du secteur			10	13	14	9	13	13	12	8	15	15	11	9	11	12	28		

			Cheval Blanc														Moy.	Occur.
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
Anguillidae																		
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	1.6	0.9	0.8	1.3	0.2	0.8			0.1	1.7	0.8	0.5	0.3	0.6	0.687	12
Balitoridae																		
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	15.2	4.6	14.5	19.5	4.9	2.2	1.0	1.0	0.4	0.5	0.3	3.2	2.7	4.7	5.339	14
Centrarchidae																		
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.2	0.4	0.2	0.1	1.0	0.2	0.1	0.0							0.163	8
Cobitidae																		
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	0.3	0.7	7.4	2.2	1.8	0.1	0.1	0.1	0.5			1.0	2.3	0.3	1.208	12
Cyprinidae																		
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	8.7	4.0	37.2	9.2	15.5	9.6	2.2	2.2	4.9	2.1	10.2	12.2	2.7	21.9	10.175	14
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spiralin	SPI	1.2	0.2	1.3	1.9	10.6	29.6	3.5	1.9	5.7	8.5	8.7	10.4	9.9	31.4	8.894	14
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaie	CHE	6.6	5.3	9.6	4.3	7.5	4.7	7.1	1.5	0.6	5.4	6.9	6.0	8.3	8.6	5.885	14
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	4.4	2.1	0.4	0.3	1.8	3.1	0.3	1.0	1.4	1.4	1.8	2.0	1.9	1.8	1.691	14
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	0.7	0.2	6.4	1.4	0.2		0.2	0.3		0.1	0.8	0.5	0.7	0.9	0.893	12
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX			3.4	1.5	0.5	0.3	0.3			1.2	0.2	0.1	2.7		0.734	9
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT			4.9				0.1								0.359	2
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL			1.0		1.6		0.2	0.0	0.3		0.6	0.1		0.0	0.277	8
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.2						0.2	0.1					0.8	0.2	0.109	5
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR			0.3	0.5				0.2							0.063	3
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO														0.3	0.025	1
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN		0.0									0.2				0.020	2
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN							0.1								0.008	1
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU													0.1		0.005	1
Percidae																		
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER		0.6	1.7		0.6	0.2	0.8	0.1					0.1	0.6	0.340	8
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	0.5	0.1	0.4					0.1					0.2		0.090	5
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN												0.1	0.2		0.025	2
Salmonidae																		
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF		0.0	0.1				0.3					0.1			0.036	4

Effectifs totaux moyens (N/50 m2)	39.6	19.0	89.6	42.3	46.1	50.8	16.4	8.5	13.8	20.9	30.6	36.2	32.7	71.6	37.027
Richesse totale du secteur	11	13	16	11	12	10	15	13	8	8	10	11	14	13	22

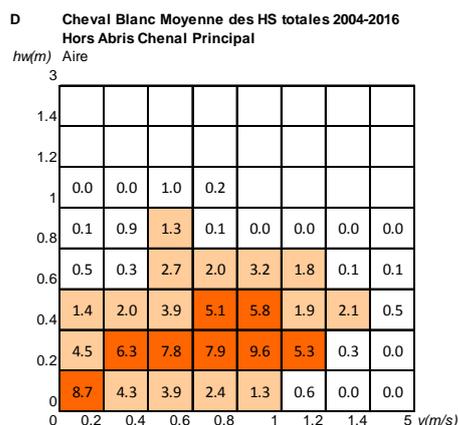
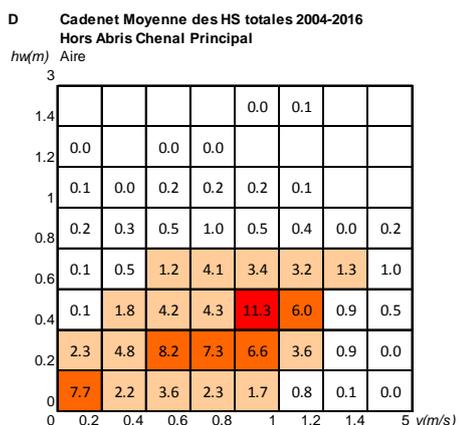
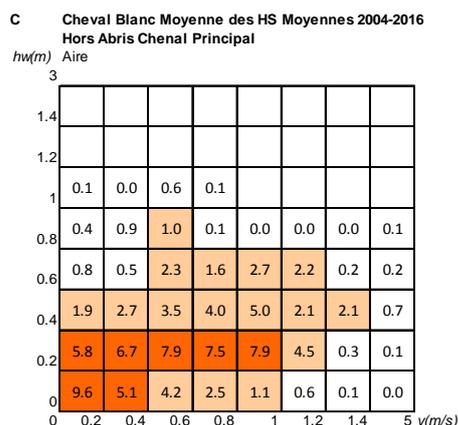
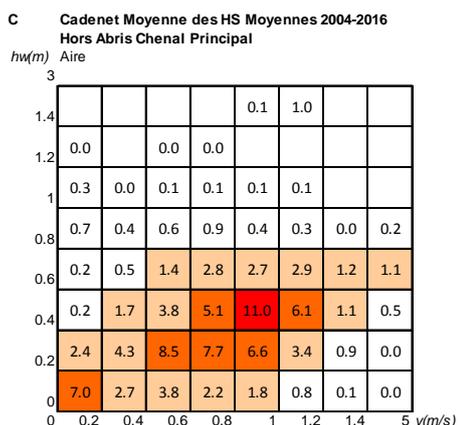
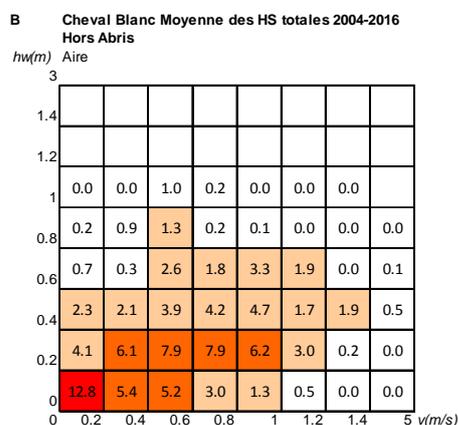
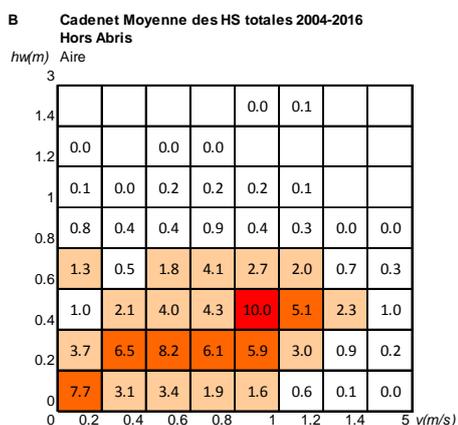
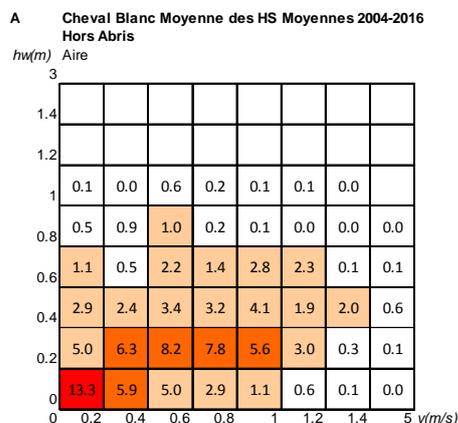
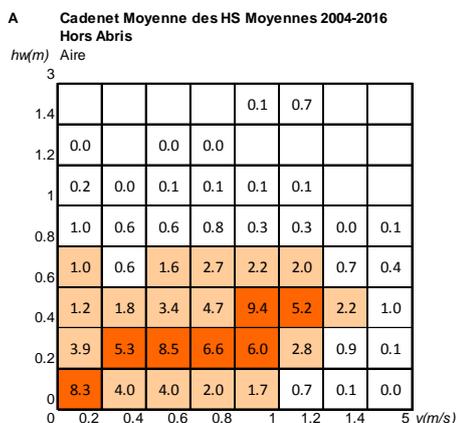
Annexe 8 - Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.

			Pont de Cadenet													Moy (%)	Occur.		
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			2016	
Anguillidae																			
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG									0.1							0.01	1
Balitoridae																			
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	12.2	35.0	42.5	14.4	2.1	10.6	22.9	3.8	25.1	27.5	0.5	3.6	15.3	6.9		17.64	14
Centrarchidae																			
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES			0.4	0.7												0.09	2
Cobitidae																			
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	4.4	0.5	0.3	0.9		0.3	2.5	0.8	0.2	1.0	21.8	1.0	9.8	5.6		4.21	13
Cyprinidae																			
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	34.9	16.8	21.9	35.7	30.1	25.7	31.1	22.2	16.9	25.7	12.0	50.2	31.4	22.7		26.65	14
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	15.6	26.7	17.5	29.8	45.6	26.6	21.2	12.5	28.7	17.3	23.9	6.6	19.6	30.4		23.69	14
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	15.2	11.5	14.3	15.0	15.5	13.9	8.3	41.2	8.7	6.3	36.2	8.0	11.3	9.8		14.05	14
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI		0.2	0.8	0.2			9.5	9.7	17.7	18.2		26.2	4.6	19.5		7.50	10
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	13.1	3.3	1.0	2.3	4.6	13.0	2.2	9.4	1.2	2.1	4.5	3.2	4.5	4.2		3.91	14
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL	0.9	2.3	0.4	1.0	0.5		1.6	0.4	0.3	1.0	0.6	0.8	2.6			0.92	12
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT	0.4	0.8	0.2		0.6				0.0	0.0			0.6	0.0		0.22	8
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO	1.1		0.1		0.0	1.4	0.2		0.1	0.2			0.1	0.5		0.20	9
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX		0.3	0.0		0.1		0.2			0.2		0.4		0.0		0.07	7
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR			0.2							0.2	0.1		0.2	0.1		0.07	5
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU			0.5													0.07	1
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN		1.2									0.1					0.07	2
<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	CAG						2.7	0.1									0.06	2
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	BRE		1.2														0.06	1
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	BRB						1.9										0.04	1
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR					0.4											0.04	1
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN						0.9										0.02	1
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	VAN							0.2									0.02	1
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	ROT					0.0											0.00	1
Esocidae																			
<i>Esox lucius</i>	Brochet	BRO									0.0							0.00	1
Percidae																			
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER	2.1				0.3	0.9			0.1					0.2		0.21	5
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN		0.1							0.7	0.2	0.2					0.11	4
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE						1.9			0.1	0.0						0.05	3
Salmonidae																			
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF					0.0	0.2				0.1	0.1					0.03	4
Richesse totale du secteur			10	13	14	9	13	13	12	8	15	15	11	9	11	12		28	

			Cheval Blanc														Moy (%)	Occur.
			2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
Anguillidae																		
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	ANG	4.2	4.9	0.9	3.2	0.4	1.6			0.5	8.1	2.6	1.4	0.8	0.8	1.86	12
Balitoridae																		
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	LOF	38.3	23.9	16.2	46.2	10.5	4.4	5.9	11.9	2.6	2.4	1.0	8.8	8.3	6.6	14.42	14
Centrarchidae																		
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	PES	0.4	2.1	0.2	0.3	2.2	0.4	0.7	0.5							0.44	8
Cobitidae																		
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	LOB	0.8	3.9	8.3	5.2	3.9	0.2	0.8	0.9	3.7			2.7	7.1	0.4	3.26	12
Cyprinidae																		
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	VAI	22.1	20.8	41.5	21.8	33.6	18.9	13.1	25.8	35.5	9.8	33.3	33.6	8.1	30.5	27.48	14
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	SPI	3.1	0.8	1.4	4.4	22.9	58.2	21.1	21.9	41.2	40.4	28.4	28.9	30.1	43.8	24.02	14
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	CHE	16.7	27.7	10.7	10.2	16.2	9.2	42.9	17.9	4.0	26.0	22.7	16.7	25.4	12.0	15.89	14
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	BAF	11.0	10.9	0.4	0.7	4.0	6.1	1.5	11.2	10.0	6.7	6.0	5.6	5.9	2.5	4.57	14
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	GOU	1.7	1.2	7.2	3.3	0.5		1.1	3.6		0.7	2.5	1.5	2.2	1.3	2.41	12
<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	TOX			3.8	3.6	1.1	0.6	1.9			5.9	0.7	0.3	8.2		1.98	9
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	HOT			5.5				0.7								0.97	2
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	ABL			1.1		3.5		1.0	0.4	2.5		1.9	0.4		0.1	0.75	8
<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	PSR	0.4						1.4	1.5					2.4	0.3	0.30	5
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	GAR			0.3	1.1				1.9							0.17	3
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	CCO														0.5	0.07	1
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	BLN		0.2									0.8				0.05	2
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	TAN							0.7								0.02	1
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	BOU													0.2		0.01	1
Percidae																		
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	PER		3.0	2.0		1.3	0.4	5.0	1.6					0.3	0.8	0.92	8
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	GRE	1.3	0.3	0.5					0.9					0.5		0.24	5
<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	SAN													0.3	0.3	0.07	2
Salmonidae																		
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	TRF		0.2	0.1				2.1					0.2			0.10	4

Richesse totale du secteur	11	13	16	11	12	10	15	13	8	8	10	11	14	13	22
-----------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Annexe 9 - Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2016 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (A & C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (B & D) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour tous les chenaux (A & B) et pour les chenaux principaux (C & D).



Cette étude est effectuée en collaboration avec l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) 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 2016.

Irstea
Direction Générale
1, rue Pierre-Gilles de Gennes
CS 10030
92761 Antony Cedex
tél. +33 (0)140966121
fax +33 (0)140966225
www.irstea.fr



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