



**HAL**  
open science

## **Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2014**

Le Coarer Yann, Carrel Georges, Colombet Xavier, Testi Baptiste, Oriane Probst, Virginie Raymond, Nathalie Reynaud, Pierre Favriou, Pierre Gibert, Adrien Morel

### ► **To cite this version:**

Le Coarer Yann, Carrel Georges, Colombet Xavier, Testi Baptiste, Oriane Probst, et al.. Analyses piscicoles de la Basse Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2014. IRSTEA, UR Hydrobiologie, Aix-en-Provence. 2014, pp.47. <hal-04625934>

**HAL Id: hal-04625934**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04625934v1>**


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 CC BY-NC-SA 4.0 - Attribution - Non-commercial use - ShareAlike - International License



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

Campagne 2014

COMMANDE EDF-CIH : N° 5500-4300973214

DECEMBRE 2014

**LE COARER Yann - CARREL Georges -  
COLOMBET Xavier - TESTI Baptiste -  
PROST Oriane**

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 2014**

Commande EDF-CIH : N° 5500-4300973214

**LE COARER Yann, CARREL Georges, COLOMBET Xavier, TESTI Baptiste & PROST Oriane**

Collaborateurs Irstea :

**Virginie Raymond, Nathalie Reynaud, Pierre Favriou,**

**Pierre Gibert & Adrien Morel**

**Décembre 2014**

## 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 2014.

Les données ont été obtenues sur deux stations du Réseau Hydrobiologique et Piscicole : "Pont de Cadenet" et "Cheval Blanc", échantillonnées respectivement les 3 et 31 juillet 2014. Les débits étaient de 13.1 m<sup>3</sup>/s au Pont de Cadenet et de 12.8 m<sup>3</sup>/s à Cheval Blanc. Dans chaque station, les poissons ont été capturés par pêche électrique dans 20 ambiances, supposées représentatives des faciès existants. Les ambiances ont fait l'objet de relevés topographiques, de mesures de vitesses et de profondeurs, d'une description quantitative de la hauteur de rugosité du substrat et qualitative des habitats. Les hydrosignatures des ambiances ont été calculées. Une utilisation du modèle habitats/poissons 5M7 a permis de mesurer des changements d'habitat hydraulique des poissons entre la basse et la moyenne Durance.

Le suivi pluriannuel de la période 2004-2014 montre que les richesses taxonomiques (espèces dominantes séparées en plusieurs classes de taille) et les densités des espèces dominantes sont plus élevées à Pont de Cadenet qu'à Cheval Blanc. Bien que les effets marqués de la crue de 2008 s'estompent progressivement, le régime hydrologique de ces dernières années a maintenu des perturbations majeures et affecté les peuplements piscicoles des deux sites. En 2014, les densités d'adultes restent faibles au regard de la chronique existante et ce, sur les deux sites étudiés.

Les chroniques de données duranciennes permettent la comparaison des modèles [habitats hydrauliques]/[poissons] par tronçons. Celle-ci montre des modèles différents selon les tronçons de Durance et remet en cause l'usage d'un modèle unique pour la moyenne et la basse Durance.

# Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Description et analyse morphodynamique</b> .....	<b>5</b>
2.1. <b>Compte-rendu des actions menées sur le terrain</b> .....	<b>5</b>
2.2. <b>Les relevés topographiques</b> .....	<b>5</b>
2.3. <b>Les mesures de vitesses</b> .....	<b>6</b>
2.4. <b>Les jaugeages</b> .....	<b>6</b>
2.5. <b>Cartographie du lit mouillé</b> .....	<b>7</b>
2.6. <b>Caractérisation hydrologique</b> .....	<b>10</b>
2.7. <b>Analyse morpho-hydraulique des ambiances</b> .....	<b>13</b>
2.8. <b>Hauteur de rugosité du substrat</b> .....	<b>18</b>
<b>3. Peuplements piscicoles estivaux en Basse Durance</b> .....	<b>24</b>
3.1. <b>Caractéristiques générales des peuplements</b> .....	<b>24</b>
3.2. <b>Comparaisons inter-annuelles et inter-stationnelles</b> .....	<b>25</b>
3.3. <b>Conditions abiotiques et croissance des poissons</b> .....	<b>32</b>
<b>4. Utilisation du modèle habitats/poissons 5M7</b> .....	<b>34</b>
<b>5. Discussion et perspectives</b> .....	<b>35</b>
<b>6. Sites web</b> .....	<b>36</b>
<b>7. Références</b> .....	<b>36</b>
<b>8. Rapports 2003 à 2014</b> .....	<b>37</b>
<b>9. Annexes</b> .....	<b>38</b>

## Liste des figures

- Figure 1 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des tronçons étudiés en 2013 et 2014. ....7
- Figure 2 - Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des deux sections de jaugeage. ....8
- Figure 3 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des ambiances de pêche et de la section de jaugeage. ....9
- Figure 4 - Chronique des débits au pont de Pertuis (2004 – 2014). Les campagnes de pêche sont indiquées par des index colorés. .... 10
- Figure 5 - Chronique des débits à la restitution de Mallemort (2010 – 2014)..... 11
- Figure 6 - Chronique des débits recalculés pour Cheval Blanc (2010 – 2014) ..... 11
- Figure 7 - Chronique des débits au pont de Pertuis et estimés pour Cadenet (2010 – 2014)12
- Figure 8 - Courbes des débits classés au pont de Pertuis et à Cheval Blanc..... 12
- Figure 9 - Hydrosignatures en aires, totales et moyennes pour les stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc en 2014..... 13
- Figure 10 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2014 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes en aires. .... 17
- Figure 11 - Comparaison des stations à partir de la moyenne des hydrosignatures totales en aires (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne). .... 17
- Figure 12 - Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité ( $k$ ) et de mesures 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)..... 19
- Figure 13 - Densités des hauteurs de rugosité ( $k$ ) par station et par période (2004-2007 et 2008-2014). 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 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. .... 22
- Figure 14 - Évolution interannuelle des effectifs totaux moyens ( $n/50$  m<sup>2</sup>) et des richesses spécifiques dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval Blanc (vert)..... 24
- Figure 15 - Évolution interannuelle de la richesse taxonomique et des effectifs corrigés au Pont de Cadenet (en bleu) et à Cheval Blanc (en vert). Les boîtes à moustaches

prennent en compte les résultats globaux des ambiances faites dans chaque station. La richesse taxonomique maximale (ensemble des deux stations) est de 72 taxons..... 26

Figure 16 - ACP Normée inter-années/stations. Coordonnées factorielles des stations/années sur les axes 1 à 3 (à gauche). Cheval Blanc (tracé vert) et Pont de Cadenet (tracé bleu). En parallèle, les coordonnées des taxons sur les axes 1 à 3. En orangé, les espèces rares non découpées en classes de taille. .... 27

Figure 17 – Evolution des effectifs corrigés moyens (N/50 m<sup>2</sup>) du vairon à Cadenet et de la loche franche à Cheval Blanc. Chaque espèce est découpée en classes de taille de 30 mm. .... 28

Figure 18 - Évolution des moyennes des densités et des densités moyennes des poissons (n/m<sup>2</sup>) 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. .... 30

Figure 19 - Débit journalier maximal à Cadarache (trait bleu), débits restitués à Mallemort (aire en gris) et teneurs en matières en suspension (trait noir). Données SMAVD..... 32

Figure 20 - Distributions des tailles de quatre espèces : barbeau (A), spiralin (B), chevaine (C) et goujon (D) à Cadenet (bleu) le 3 juillet et à Cheval Blanc (vert) le 31 juillet 2014. .... 33

## Liste des tableaux

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

Tableau 2 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches au Pont de Cadenet. .... 14

Tableau 3 - Caractéristiques morpho-hydrauliques des ambiances de pêches à Cheval Blanc. .... 15

Tableau 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 2014. Valeurs numériques arrondies à l'unité..... 16

Tableau 5 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité mesurées dans les ambiances des deux stations. .... 20

Tableau 6 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité des deux stations après exclusion des hauteurs de rugosité supérieures à 25.6 cm et associées à des éléments granulométriques d'origine anthropique. .... 21

Tableau 7 - Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations (k < 25.6 cm)..... 21

Tableau 8 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité mesurées dans les deux stations. Deux périodes d'observation sont identifiées à la suite des régimes hydrologiques contrastés entre les périodes. .... 23

Tableau 9 - Effectifs et nombre d'ambiances par année et par station. Seules les ambiances sans abris sont considérées. I. Effectifs et nombre d'ambiance hors abris, II. Effectifs des individus d'une taille LT > 60 mm pour les ambiances hors abris, III. Effectifs des individus d'une taille LT > 60mm pour les ambiances hors abris échantillonnées exclusivement dans le chenal principal. Le total de toutes les années est présenté ainsi que le pourcentage retenu par rapport au cas I. .... 29

## Liste des annexes

<i>Annexe 1 - Plan de situation des stations de pêche Onema à Bonpas, Cheval Blanc et Pont de Cadenet.....</i>	<i>39</i>
<i>Annexe 2 - Plans de situation des stations de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc .....</i>	<i>40</i>
<i>Annexe 3 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Pont de Cadenet.....</i>	<i>41</i>
<i>Annexe 4 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Cheval Blanc. ....</i>	<i>42</i>
<i>Annexe 5 - Effectifs corrigés (N/50 m<sup>2</sup>) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.....</i>	<i>43</i>
<i>Annexe 6 - Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.....</i>	<i>45</i>
<i>Annexe 7 - Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2014 de la moyenne des hydrosignatures moyennes de chaque campagne (A &amp; C) et de la moyenne des hydrosignatures totales (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne) de chaque campagne (B &amp; D) dans les ambiances sans abris contenant au moins un individu d'une taille supérieure à 60 mm, pour tous les chenaux (A &amp; B) et pour les chenaux principaux (C &amp; D).....</i>	<i>47</i>

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

## Campagne 2014

### 1. Introduction

Cette étude est effectuée dans le cadre du suivi des impacts sur les populations piscicoles des opérations de restitutions stage 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'Unité de Recherche Hydrobiologie Irstea d'Aix-en-Provence.

Ce rapport complète celui de l'ONEMA relatif à l'échantillonnage du peuplement piscicole des stations de Cheval Blanc et de 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 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 au cours du mois de juillet. En raison des contraintes hydrologiques, les opérations de terrain n'ont pas pu être réalisées sur deux jours consécutifs.

Les repérages des ambiances de pêche de Pont de Cadenet et de Cheval Blanc ont été effectués respectivement le 2 juillet et le 28 juillet 2014. Les échantillonnages par pêche électrique et les mesures physiques associées ont eu lieu le 3 juillet 2014 pour la station de Pont de Cadenet (Figure 2) et le 31 juillet 2013 pour celle de Cheval Blanc (Figure 3). 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 de transects de jaugeage,
- les verticales définissant le contour polygonal des ambiances de pêches,
- 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 mesure 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 2, Figure 3). Nous avons mesuré un débit total de 13.06 m<sup>3</sup>/s à Pont de Cadenet et de 12.76 m<sup>3</sup>/s à Cheval Blanc.

Tableau 1 - Jaugeages des stations de pêche

Station	Pont de Cadenet*	Cheval Blanc
Date	3 juillet 2014	31 juillet 2014
Débit (m <sup>3</sup> /s)	<b>13.06</b>	<b>12.76</b>
Largeur au miroir (m)	54.56	45.73
Surface en travers (m <sup>2</sup> )	21.94	19.22
Profondeur moyenne (m)	0.40	0.42
Vitesse moyenne (m/s)	0.60	0.66

\* : somme de deux jaugeages

## 2.5. Cartographie du lit mouillé

En 2014, le chenal principal de la station de Cheval Blanc s'est déplacé de plus de 200 mètres vers la rive gauche par rapport à la campagne 2013 (Figure 1). Selon nos observations, les tracés des deux chenaux existaient en 2013 et en 2014 mais le chenal principal a "basculé" d'une rive à l'autre entre les campagnes. Compte-tenu des contraintes logistiques liées aux durées d'intervention prévues, il n'a pas été possible d'inventorier le lit majeur en tresses. Au cours des deux dernières campagnes, nous avons estimé que le débit transitant par le chenal relictuel était inférieur à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Au cours de la reconnaissance du 28 juillet 2014, nous avons dû chercher un accès routier en rive gauche à travers un dédale de chemins agricoles.

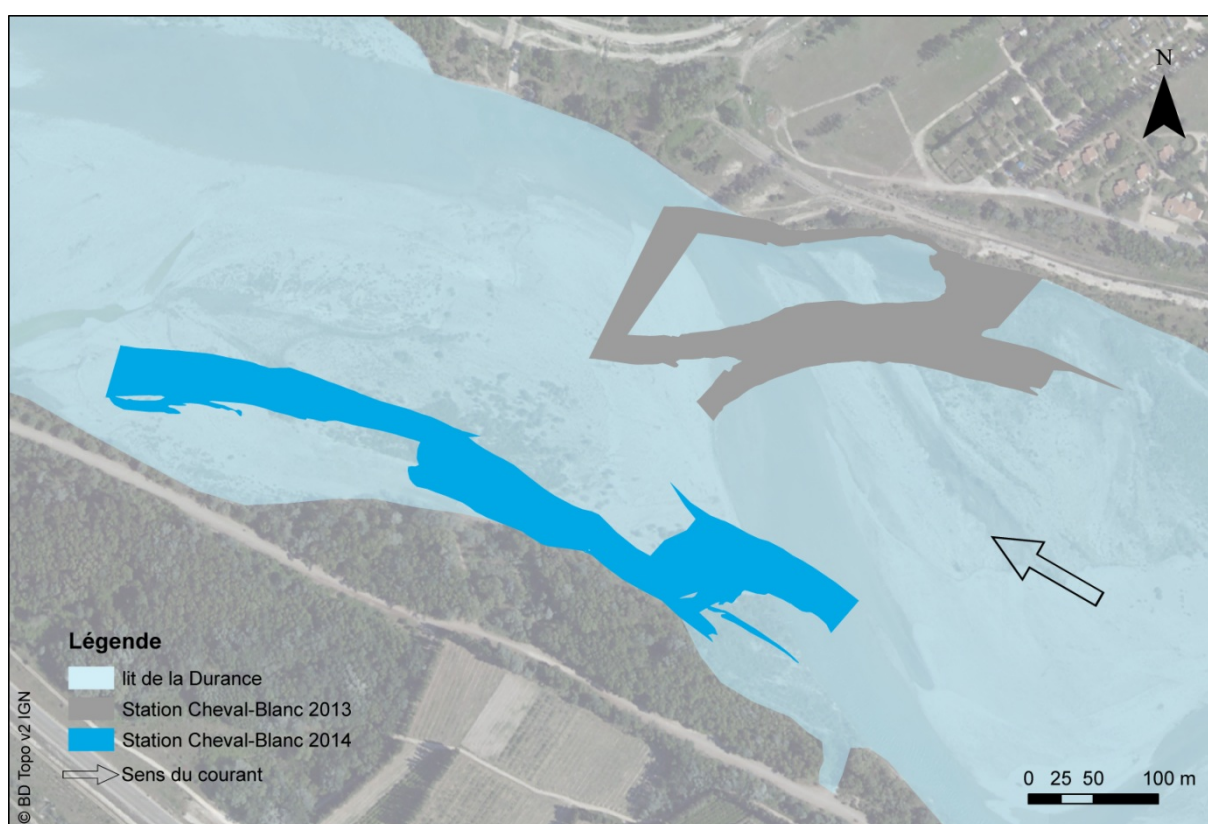


Figure 1 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des tronçons étudiés en 2013 et 2014.

En 2014, les longueurs étudiées des chenaux principaux sont de 420 m à Pont de Cadenet et de 625 m à Cheval Blanc.

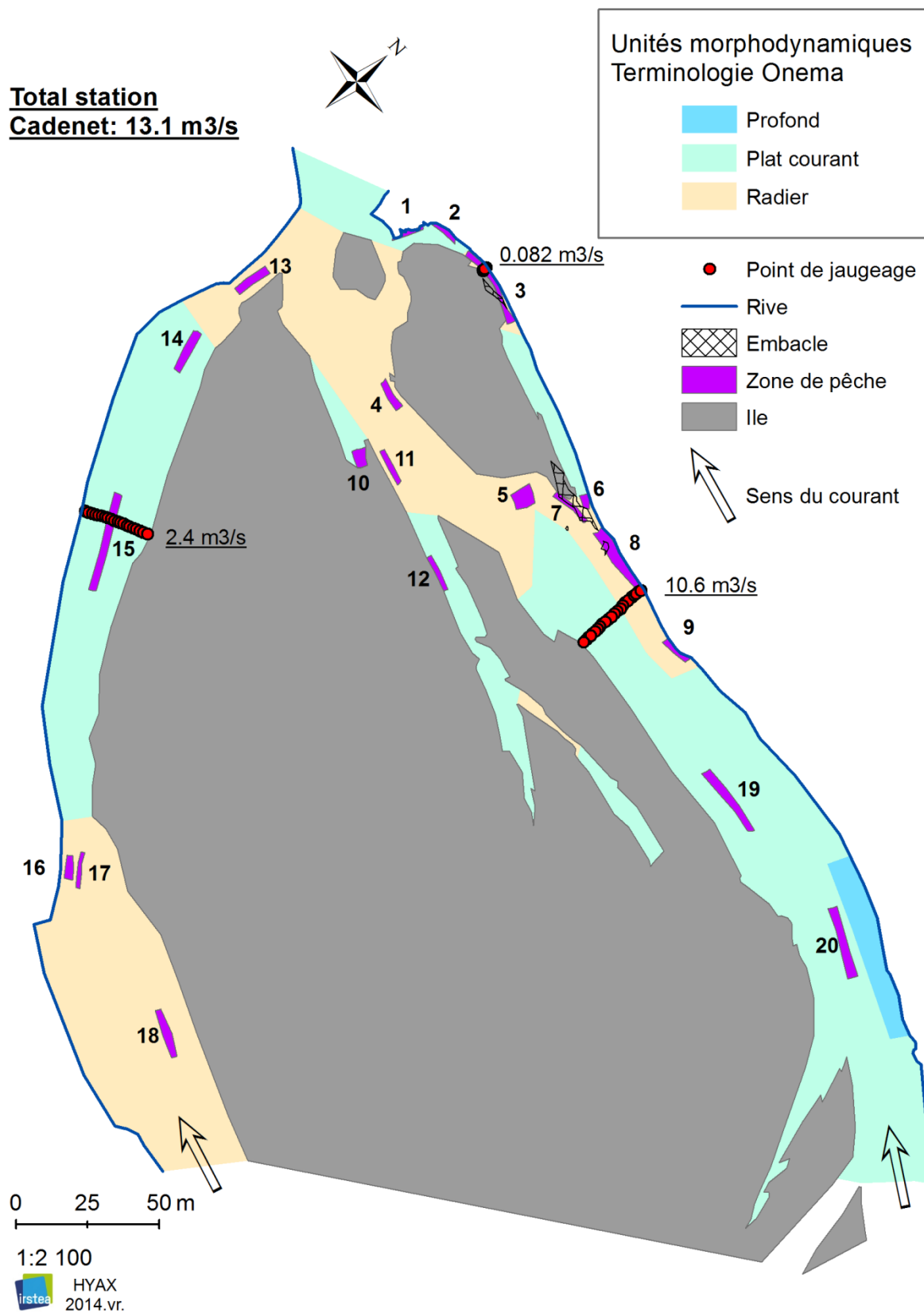


Figure 2 - Vue en plan de la station "Pont de Cadenet". Localisation des ambiances de pêche et des deux sections de jaugeage.

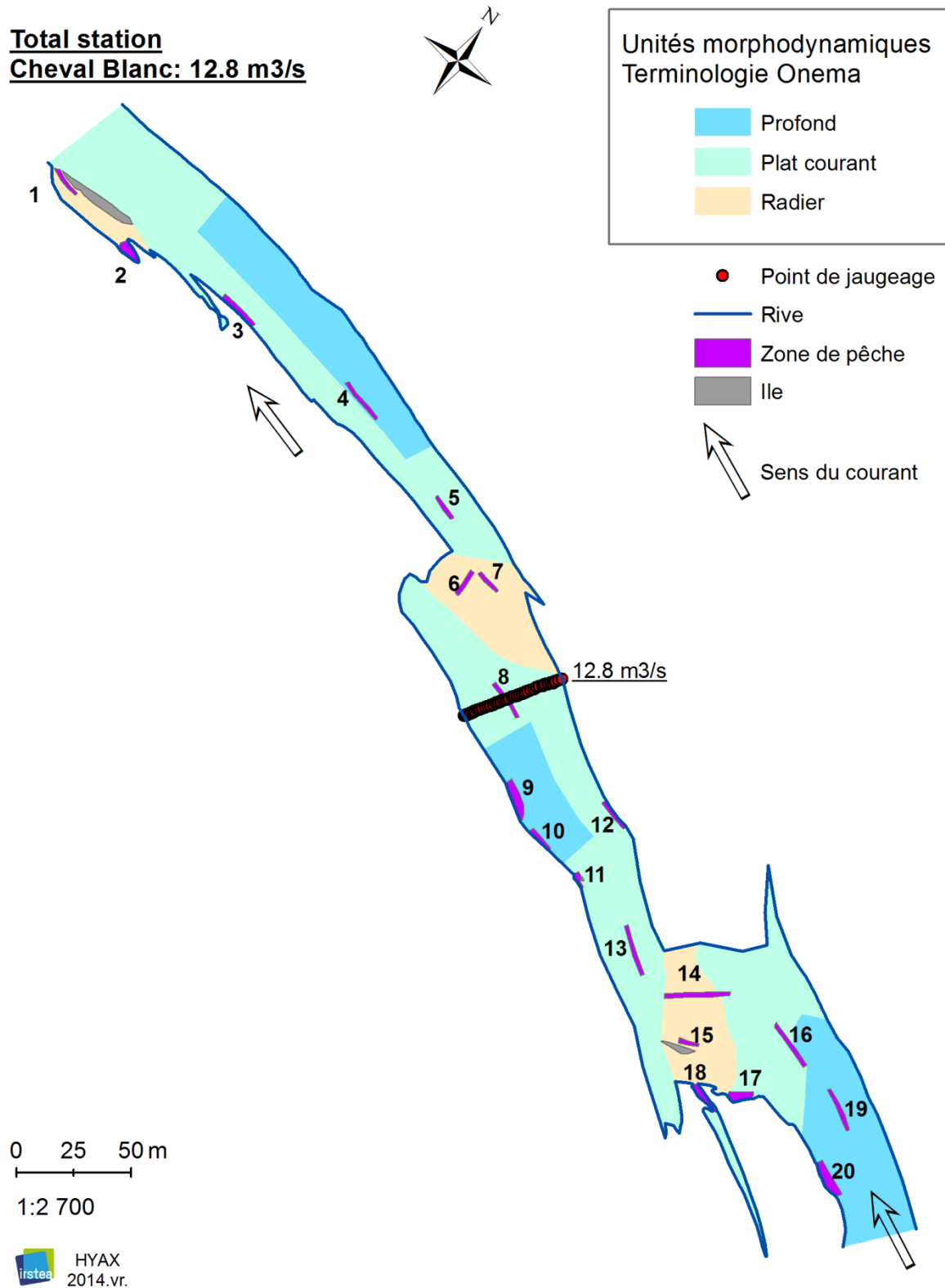


Figure 3 - Vue en plan de la station "Cheval Blanc". Localisation des ambiances de pêche et de la section de jaugeage.

## 2.6. Caractérisation hydrologique

La station hydrographique libellée X3200010 au pont de Pertuis, située entre l'usine de Cadarache et la station Pont de Cadenet (Annexe 1), nous permet d'étudier la chronique des débits moyens journaliers de la basse Durance entre janvier 2004 et décembre 2014.

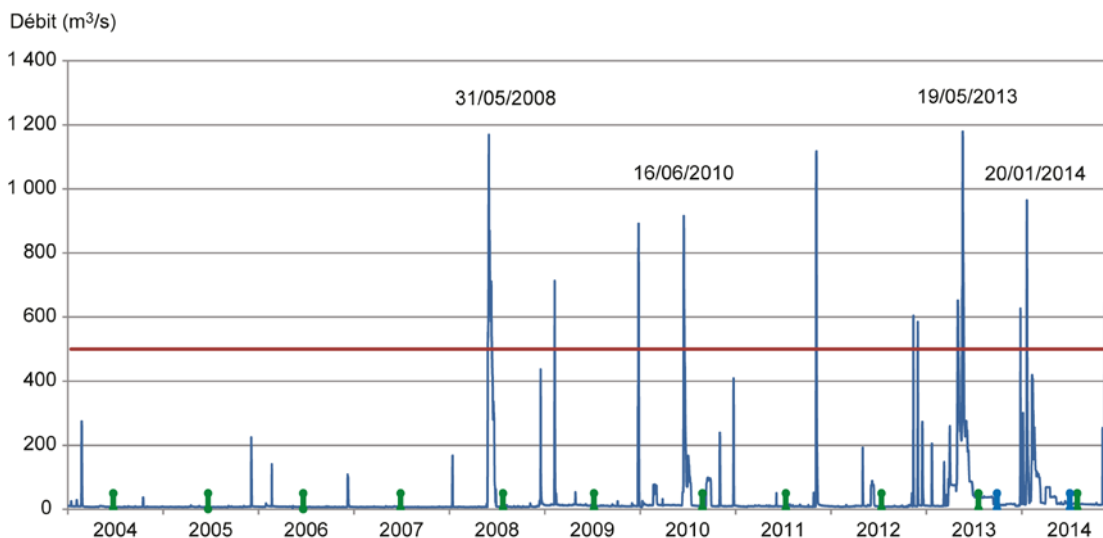


Figure 4 - Chronique des débits au pont de Pertuis (2004 – 2014). Les campagnes de pêche sont indiquées par des index colorés.

Les faibles débits réservés sont régulièrement entrecoupés de pics de crues morphogènes à partir de 2007. 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  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  sur la Durance. Sur la période considérée, douze crues morphogènes (Figure 4, en rouge sur le graphe) se sont produites entre 2008 et 2014, soit une moyenne de deux crues par an. Sur cette période, quatre crues nous intéressent car elles ont précédé de quelques mois les campagnes annuelles de terrain. Nous verrons par la suite qu'elles ont eu un impact conséquent sur l'abondance et la richesse spécifique piscicoles de ces campagnes.

Le débit réservé à l'aval de l'usine de Cadarache est de  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  jusqu'à la fin de l'année 2015. Hormis deux jours en mai 2006 où les débits mesurés étaient inférieurs à cette valeur, les débits varient entre 6 et  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  plus de 90% du temps, révélateur d'une hydrologie plutôt stable, notamment avant 2008. Après cette année butoir, une augmentation conséquente de la variabilité des débits est enregistrée. A noter que le débit réservé délivré à l'aval de l'usine de Cadarache est passé de  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  à compter de l'année 2014.

Pour connaître l'évolution des débits à la station de Cheval Blanc, nous disposons de la chronique des débits déversés à la restitution de Mallemort pour la période de novembre 2010 à septembre 2014 (Figure 5).

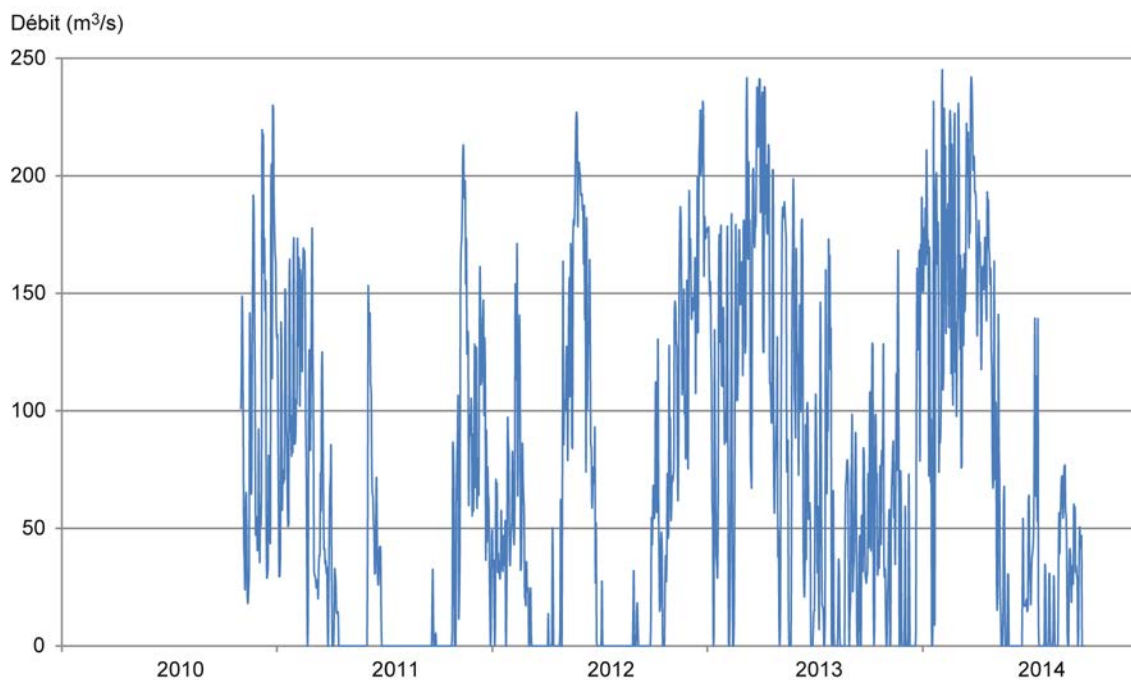


Figure 5 - Chronique des débits à la restitution de Mallemort (2010 – 2014)

Ces débits doivent être ajoutés aux débits relevés au pont de Pertuis pour évaluer ceux qui transitent par la station de Cheval Blanc (Figure 6). Précisons que les débits sont sous-estimés à Cheval Blanc car les apports des affluents de la Durance entre ces deux stations ne sont pas pris en compte.

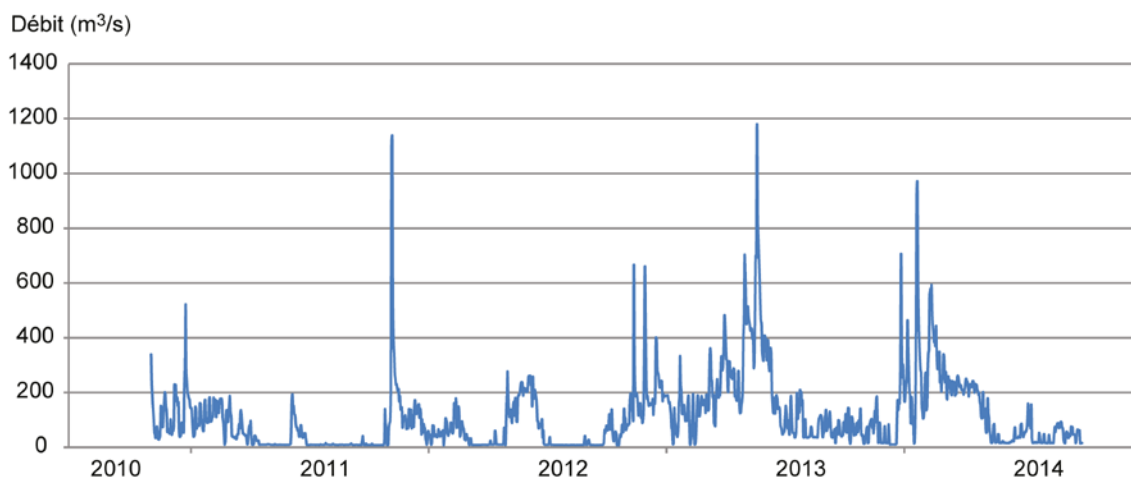


Figure 6 - Chronique des débits recalculés pour Cheval Blanc (2010 – 2014)

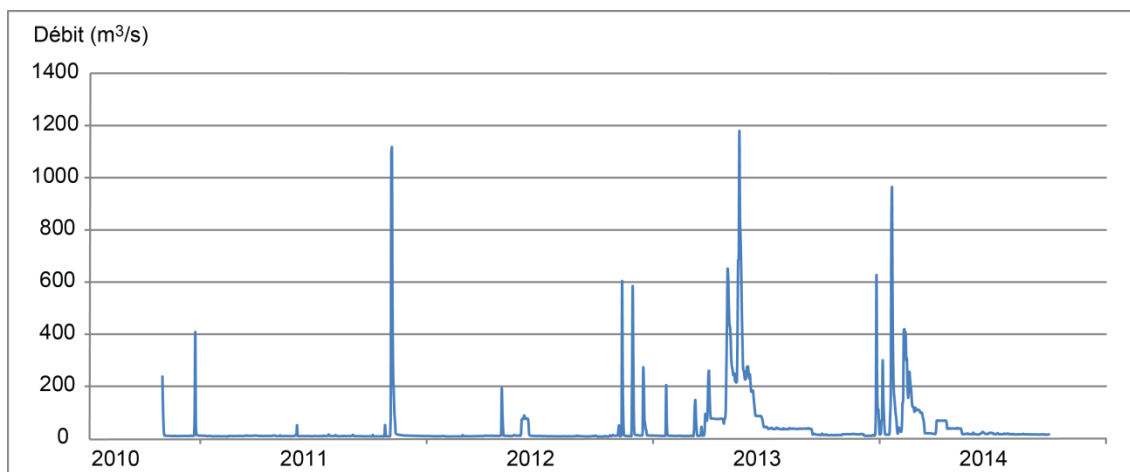


Figure 7 - Chronique des débits au pont de Pertuis et estimés pour Cadenet (2010 – 2014)

A l'inverse de Cadenet où l'hydraulique est relativement stable en dehors des pics de crues (Figure 7), la station Cheval Blanc est plus impactée par les variations fortes et rapides des débits dues à la restitution. En moyenne, d'un jour sur l'autre, les débits relevés à la restitution varient de  $21 \text{ m}^3/\text{s}$ , pouvant atteindre une variation maximale de  $213 \text{ m}^3/\text{s}$  (variation observée entre le 28 et le 29 avril 2014). Lorsque les débits restitués sont ajoutés à ceux de la Durance, la variation journalière moyenne pour les débits recalculés à Cheval Blanc est de  $27 \text{ m}^3/\text{s}$ . Par comparaison, cette variation est de  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  pour la station de Cadenet.

Au cours de la période 2004-2014, 90 % des débits au pont de Pertuis varient entre 6 et  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Entre novembre 2010 et septembre 2014, d'après le graphe des débits classés de la Figure 8, 90 % des débits varient entre 8 et  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  au pont de Pertuis et entre 8 et  $260 \text{ m}^3/\text{s}$  pour les débits estimés à Cheval Blanc, soit une gamme de variation près de 4 fois plus importante.

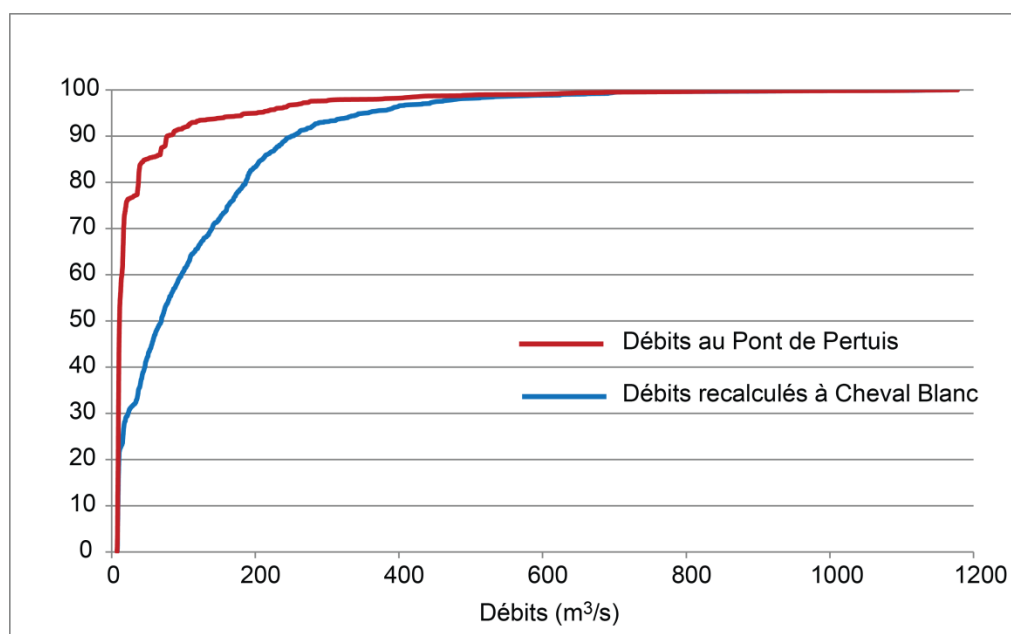


Figure 8 - Courbes des débits classés au pont de Pertuis et à Cheval Blanc (2010 – 2014)

## 2.7. Analyse morpho-hydraulique des ambiances

Les ambiances ont été maillées en TIN<sup>1</sup> 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).

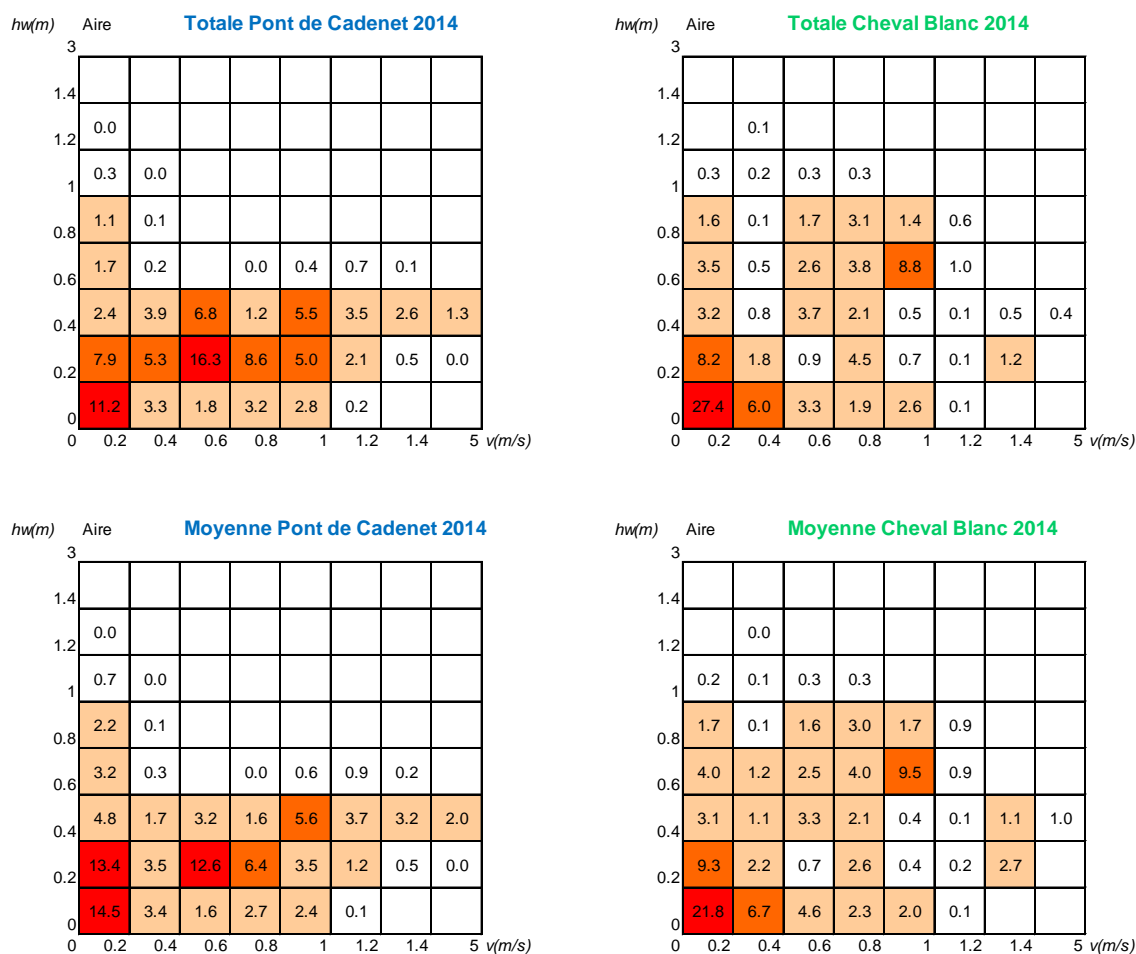


Figure 9 - Hydrosignatures en aires, totales et moyennes pour les stations de Pont de Cadenet et Cheval Blanc en 2014.

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 9) en calculant

<sup>1</sup> Triangular Irregular Network : réseau de triangles irréguliers

soit une hydrosignature totale en regroupant les ambiances, soit la moyenne des hydrosignatures des ambiances sans tenir compte de leurs surfaces respectives. Ces calculs sont effectués à l'aide de la version 3.0.14 du logiciel «HydroSignature» téléchargeable sur le site Web Cemagref/Irstea.

Le Tableau 2 et le Tableau 3 précisent les caractéristiques morpho-hydrauliques générales des ambiances de pêches des campagnes 2004 à 2014 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
Date	23/06	22/06	21/06	29/06	25/07	08/07	27/08	13/07	11/07	27/09	03/07
Débit (m <sup>3</sup> /s)	9.1	9.2	8.8	8.6	10	9.6	9.6	12.0	9.7	11.4	13.1
Nombre d'ambiances	14	18	19	19	16	16	17	17	18	18	20
Surface totale [m <sup>2</sup> ]	668	487	502	450	553	624	704	715	820	811	803
Volume total [m <sup>3</sup> ]	276	209	194	193	238	261	333	322	348	340	261
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
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
Froude moyen [ ]	0.33	0.31	0.32	0.3	0.24	0.25	0.23	0.26	0.17	0.20	0.3
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
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

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
Date	23/06	21/06	20/06	28/06	24/07	07/07	26/08	12/07	12/07	18/07	31/07
Débit (m <sup>3</sup> /s)	11.1	14.1	12.6	15.4	13	10.1	9.82	14.0	14.0	12.6	12.8
Nombre d'ambiances	16	15	16	15	16	14	17	14	19	17	20
Surface totale [m <sup>2</sup> ]	1183	646	655	572	517	542	814	736	772	666	682
Volume total [m <sup>3</sup> ]	415	255	282	243	191	200	362	352	270	295	254
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
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
Froude moyen [ ]	0.21	0.24	0.22	0.26	0.31	0.23	0.30	0.24	0.27	0.20	0.23
Hauteur maximale [m]	1.75	1.35	1.5	1.17	1.48	1.36	1.55	1.15	0.97	1.18	1.3
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

Le Tableau 4 est le résultat d'une comparaison des hydrosignatures totales et moyennes par stations des ambiances de pêches des années 2004 à 2014. 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 2 hydrosignatures identiques, et de 100 pour 2 hydrosignatures complètement différentes. Dans notre cas, compte-tenu des grilles de définition des hydrosignatures et des coefficients de comparaison utilisés, nous estimons que 2 hydrosignatures sont proches hydrauliquement pour des valeurs inférieures à 20.

Selon ces critères, l'échantillonnage hydraulique de la station de Cheval Blanc en 2014 est différent de celui de Pont Cadenet : moyennes HSC= 22 ; totales HSC=30.

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 du Tableau 4). Les hydrosignatures des stations ressemblent vraisemblablement plus aux hydrosignatures moyennes des chroniques (Figure 10, Figure 11), caractérisées par un lissage des valeurs dans l'espace vitesse/profondeur.

Tableau 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 2014. Valeurs numériques arrondies à l'unité.

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

HSC_Moyenne	HSC_Ecart_type	HSC_Minimum	HSC_Maximum
24	6	9	43

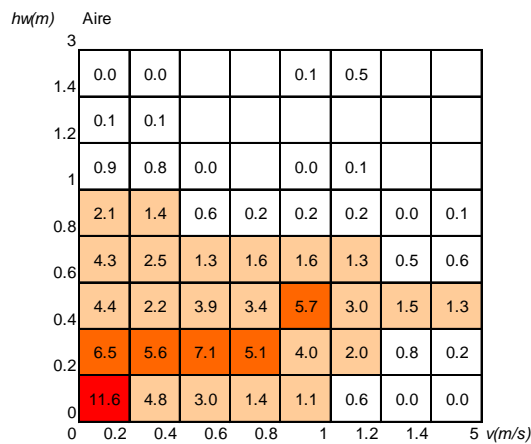
Aire																				Totale			
	CA04	CA05	CA06	CA07	CA08	CA09	CA10	CA11	CA12	CA13	CA14	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08	CB09	CB10	CB11	CB12	CB13	CB14	
CA04	0	15	21	25	41	40	42	33	42	43	29	42	23	24	30	30	36	40	34	31	37	40	
CA05	15	0	17	17	39	42	44	30	42	43	27	42	25	24	31	28	30	32	35	27	40	37	
CA06	21	17	0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

HSC_Moyenne	HSC_Ecart_type	HSC_Minimum	HSC_Maximum
27	7	12	45

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 10).

## Cadenet Moyenne des HS Moyennes 2004-2014



## Cheval Blanc-Moyenne des HS Moyennes 2004-2014

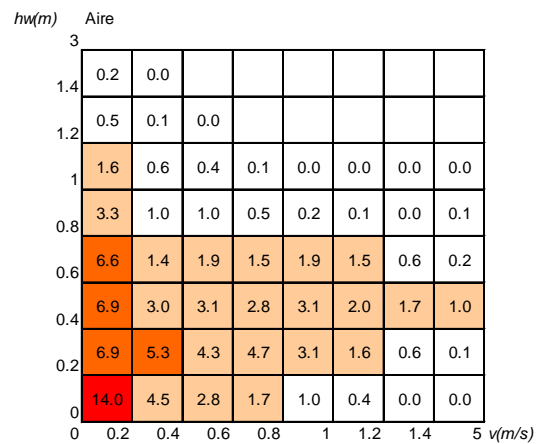
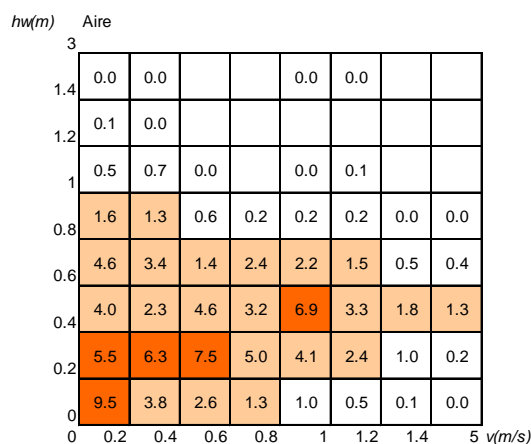


Figure 10 - Comparaison des stations, pour les campagnes 2004-2014 à partir de la moyenne des hydrosignatures moyennes en aires.

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 11).

## Cadenet Moyenne des HS Totales 2004-2014



## Cheval Blanc-Moyenne des HS Totales 2004-2014

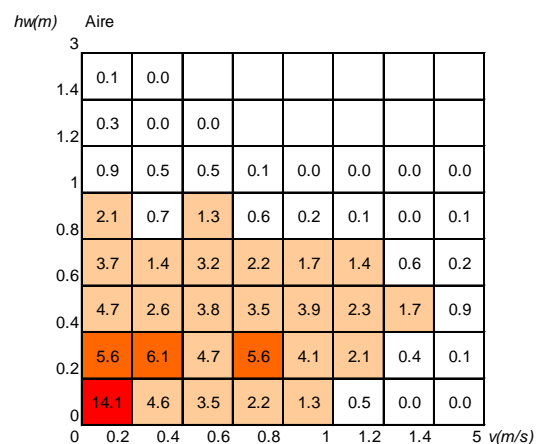


Figure 11 - Comparaison des stations à partir de la moyenne des hydrosignatures totales en aires (pondérations des ambiances par leur surface pour chaque campagne).

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 :

- 9.1 pour la [moyenne des hydrosignatures moyennes],
- 7.5 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.

Pendant 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.

## 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, 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.

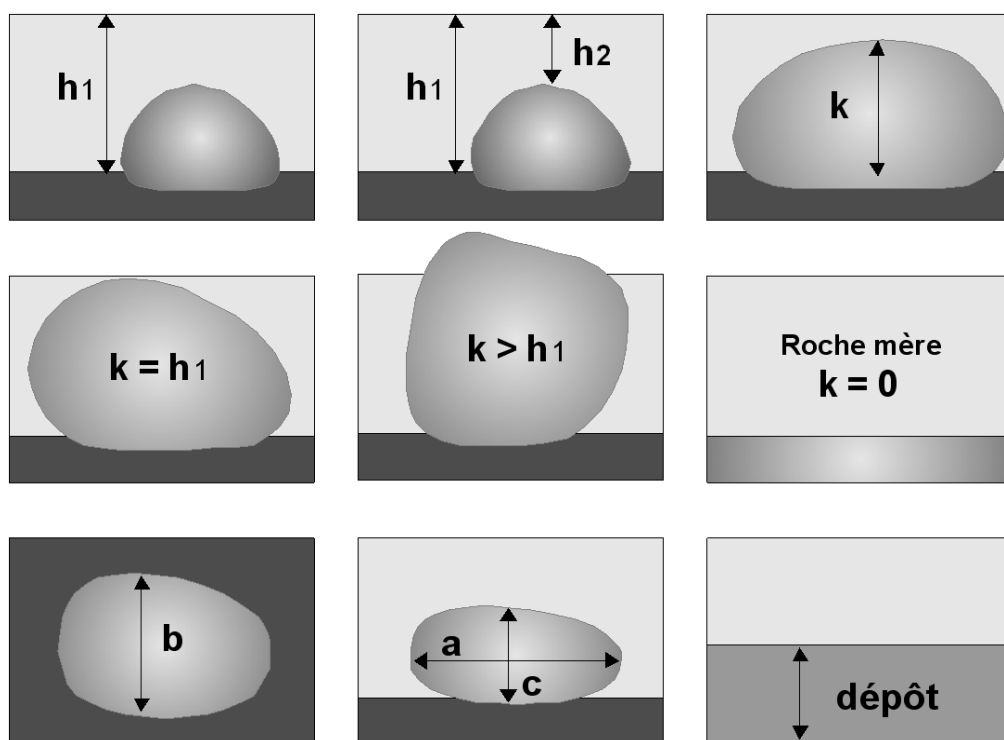


Figure 12 - Représentation schématique des diverses mesures réalisées pour l'évaluation de la hauteur de rugosité ( $k$ ) et de mesures caractéristiques des éléments granulométriques grossiers. La profondeur maximale autour de l'élément granulométrique choisi permet par différence avec la hauteur d'eau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

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. La présence artificielle de ces blocs explique des valeurs anormalement élevées, comprises entre 86 et 195 cm dans cette station, en regard de celles du substrat naturel. Toutefois, une mobilité répétée et accrue du lit de la Durance ces dernières années dans le secteur de Cadenet s'est traduite par l'apparition régulière de rochers (naturels et artificiels) dans le tronçon prospecté (Tableau 5). Du fait de ces particularités locales relevant de 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 6).

Tableau 5 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité mesurées dans les ambiances 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	
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	
<b>Global</b>		<b>4924</b>	<b>8.72</b>	<b>16.14</b>	<b>0.001</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>220</b>

Tableau 6 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité des deux stations après exclusion des hauteurs de rugosité supérieures à 25.6 cm et associées à des éléments granulométriques d'origine anthropique.

k (cm) < 25.6	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
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	
<b>Global</b>		<b>4656</b>	<b>5.57</b>	<b>4.75</b>	<b>0.001</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>25</b>

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 2004-2014, il apparaît que les proportions de limons et de sables sont plus élevées à Cheval Blanc (Tableau 7).

Remarque : La nature limoneuse du substrat n'est pas prise en compte si les éléments granulométriques grossiers de la sous-couche ne sont pas totalement enfouis dans les limons. Or, des descriptions du substrat réalisées en moyenne Durance ont montré que 5% de relevés avec une présence exclusive de limons pouvaient correspondre à plus de 40% en surface de présence de limon dans un secteur à chenal unique (LE COARER et al., 2006).

Tableau 7 - Répartition des principales catégories sédimentaires dans les deux stations (k < 25.6 cm).

de 2004 à 2014	Limons	Sables	Graviers	Galets	Nbre
Cadenet	43	57	179	2014	2293
	<b>1.9%</b>	<b>2.5%</b>	<b>7.8%</b>	<b>87.8%</b>	<b>52.2%</b>
Cheval Blanc	111	72	105	1808	2096
	<b>5.3%</b>	<b>3.4%</b>	<b>5.0%</b>	<b>86.3%</b>	<b>47.8%</b>
Total	154	129	284	3822	4389
	<b>3.5%</b>	<b>2.9%</b>	<b>6.5%</b>	<b>87.1%</b>	<b>100.0%</b>

Les distributions des densités des hauteurs de rugosité ( $k$ ) des éléments granulométriques autres que ceux d'origine anthropique ( $k > 25.6$  cm) montrent que le substrat à Cadenet est plus hétérogène et plus grossier (Figure 13). Cependant, à partir de 2008, une succession de crues a profondément remanié le lit de la Durance dans les deux stations. En conséquence, les deux courbes se sont rapprochées. Les médianes restent cependant significativement différentes (test de Mann-Whitney de comparaison des médianes).

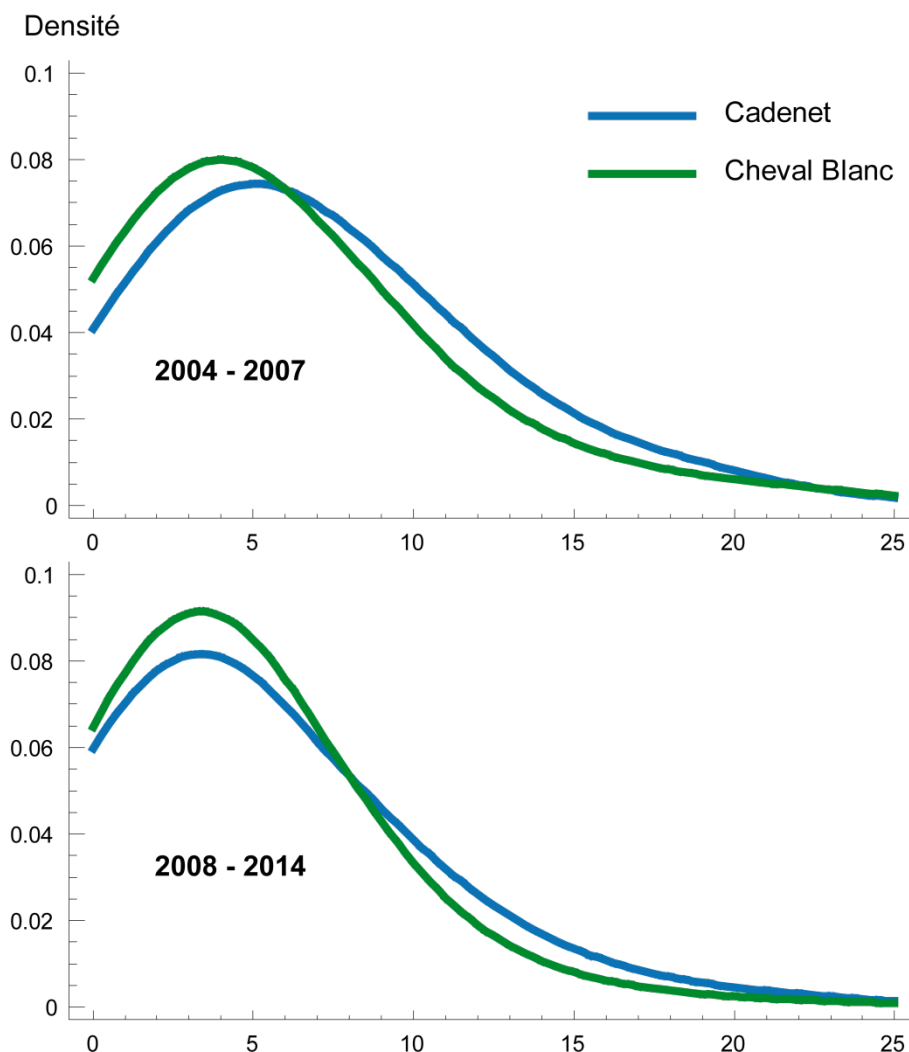


Figure 13 - Densités des hauteurs de rugosité ( $k$ ) par station et par période (2004-2007 et 2008-2014). Les deux périodes se distinguent par une hydrologie contrastée. Un régime marqué par de fortes crues a régulièrement remodelé le lit de la Durance dans les deux stations après 2007. Les paramètres sont calculés après exclusion 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.

Tableau 8 - Statistiques globales des hauteurs de rugosité mesurées dans les deux stations. Deux périodes d'observation sont identifiées à la suite des régimes hydrologiques contrastés entre les périodes.

	2004 - 2007		2008 - 2014	
	Cadenet	Cheval Blanc	Cadenet	Cheval Blanc
Effectif	910	776	1383	1320
Moyenne	6.99	5.61	5.32	4.61
Ecart-type	5.01	4.69	4.74	4.07
Minimum	0.001	0.001	0.001	0.001
1er quartile	3	2	1	1
Médiane	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
3ème quartile	10	8	8	6
Maximum	25	25	25	25

### 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'échantillon 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 obligations de prospection par 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 2014 (tableaux des annexes 3 et 4) sont analysés en regard des données obtenues au cours des années précédentes (2003 à 2013). Les tableaux des annexes 5 et 6 synthétisent les observations interannuelles effectuées sur ces deux stations.

Sur la base des douze années de suivi piscicole de la basse Durance, le peuplement compte 8 familles et 28 espèces. En général, le peuplement s'avère plus diversifié, et les effectifs nettement plus élevés, à Cadenet (Figure 14).

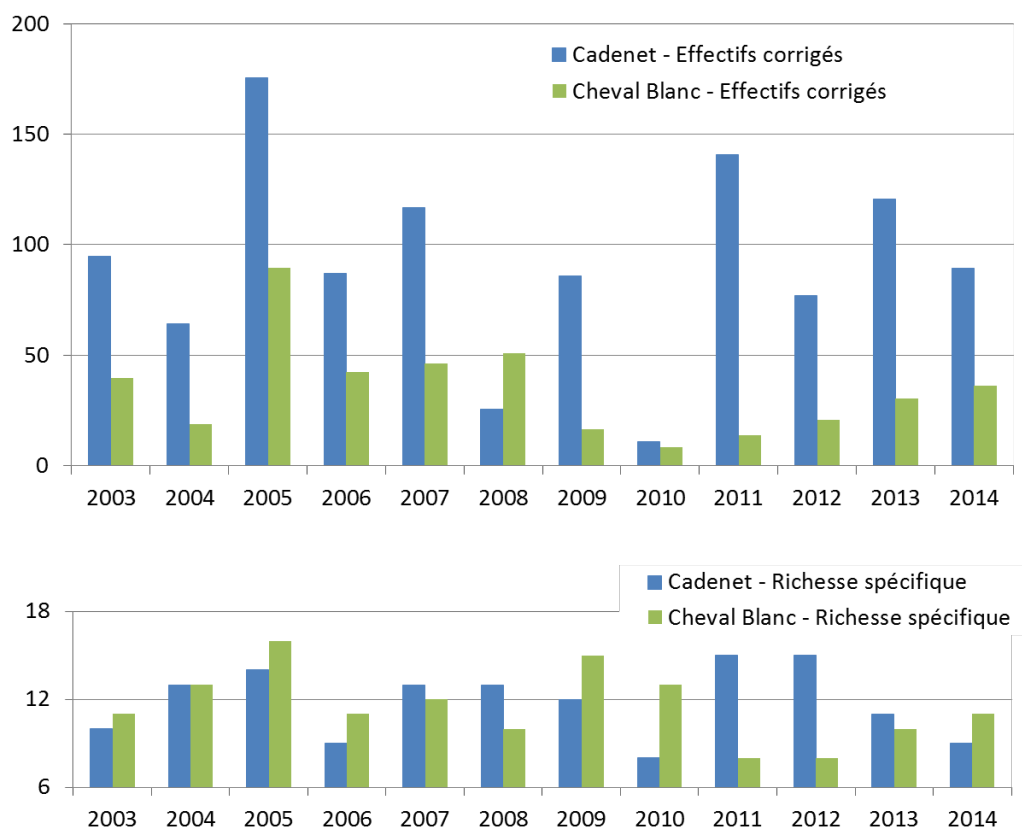


Figure 14 - Évolution interannuelle des effectifs totaux moyens (n/50 m<sup>2</sup>) et des richesses spécifiques dans les stations de Pont de Cadenet (bleu) et de Cheval Blanc (vert).

La basse Durance est caractérisée par une prédominance de cinq espèces de Cyprinidae : le spirilin *Alburnoides bipunctatus*, le chevaine *Squalius cephalus*, le barbeau *Barbus barbus*, le vairon *Phoxinus phoxinus*, le goujon *Gobio gobio* et une espèce de Balitoridae : la loche franche *Barbatula barbatula*.

Une espèce de la famille des Cobitidae a été observée sur la Durance pour la première fois en 1994 : la loche italienne *Cobitis bilineata*. Actuellement, elle peut être comptée parmi les espèces abondantes sur ce linéaire. Cependant, les captures sont tributaires de la présence de ses habitats préférentiels, à savoir des reculées dans les bancs de galets, peu profondes, ayant un substrat fin et alimentées par le sous-écoulement ; et de leur prospection lors des campagnes de pêche.

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*.

Au vue de la chronique (2003-2014), des espèces inféodées aux eaux lentes sont de plus en plus souvent capturées. Ce sont des espèces introduites de plus ou moins longue date : la loche épineuse *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 un cortège d'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 qui longent la rivière. L'anguille, espèce migratrice susceptible de recoloniser l'axe durancien, est régulièrement échantillonnée à Cheval Blanc, mais en faible nombre (de 1 à 9 individus par campagne et 5 individus en moyenne). Par contre, un seul individu a été capturé au Pont de Cadenet depuis 2003.

### 3.2. Comparaisons inter-annuelles et inter-stationnelles

Les deux stations présentent de notables différences en termes d'assemblages d'espèces, mais également de distributions des âges. La variabilité interannuelle des richesses spécifiques et des abondances est importante. Cette dernière est fortement influencée par la part des juvéniles dans les pêches.

Une comparaison entre les deux sites est réalisée à partir d'une analyse multivariée. Elle porte sur les relevés des années 2004 à 2014<sup>2</sup>. Les espèces dominantes sont découpées en plusieurs entités taxonomiques (taxons) selon leur taille. Les 5 premières classes de taille sont définies par tranches de 30 mm entre 0 et 150 mm. Elles regroupent les juvéniles de toutes les espèces et l'ensemble des individus des espèces de petite taille (loches franche et italienne, vairon, spirilin et goujon). Les suivantes : [150,300[, [300,450[, [450,600[ et LT>600 mm, concernent essentiellement les individus adultes des trois grandes espèces (barbeau, chevaine et hotu) dont les captures sont nettement moins importantes.

---

<sup>2</sup> Afin de pouvoir coupler les données piscicoles aux relevés des variables physiques, la chronique analysée débute en 2004 en l'absence de caractérisation abiotique à Cadenet en 2003.

Ce découpage en classes de taille se traduit par un total de 72 taxons capturés dans 371 ambiances réparties dans les deux stations. Afin de permettre des comparaisons entre ambiances et années, les effectifs sont corrigés par la surface des ambiances. Pour des questions de lisibilité des tableaux, la correction est faite pour une surface de 50 m<sup>2</sup>.

Globalement, le suivi temporel de la richesse et de l'abondance taxonomiques (Figure 15) montre des différences importantes et significatives entre les deux sites. Les diminutions marquées de la richesse taxonomique et des effectifs observés à Pont de Cadenet sont consécutives à la restructuration hydro-morphologique du chenal (2008, 2010) par des crues survenant en période de reproduction. A Cheval Blanc, la situation particulièrement dégradée en 2010 paraît s'améliorer, avec une augmentation régulière de la richesse spécifique, ainsi que des effectifs.

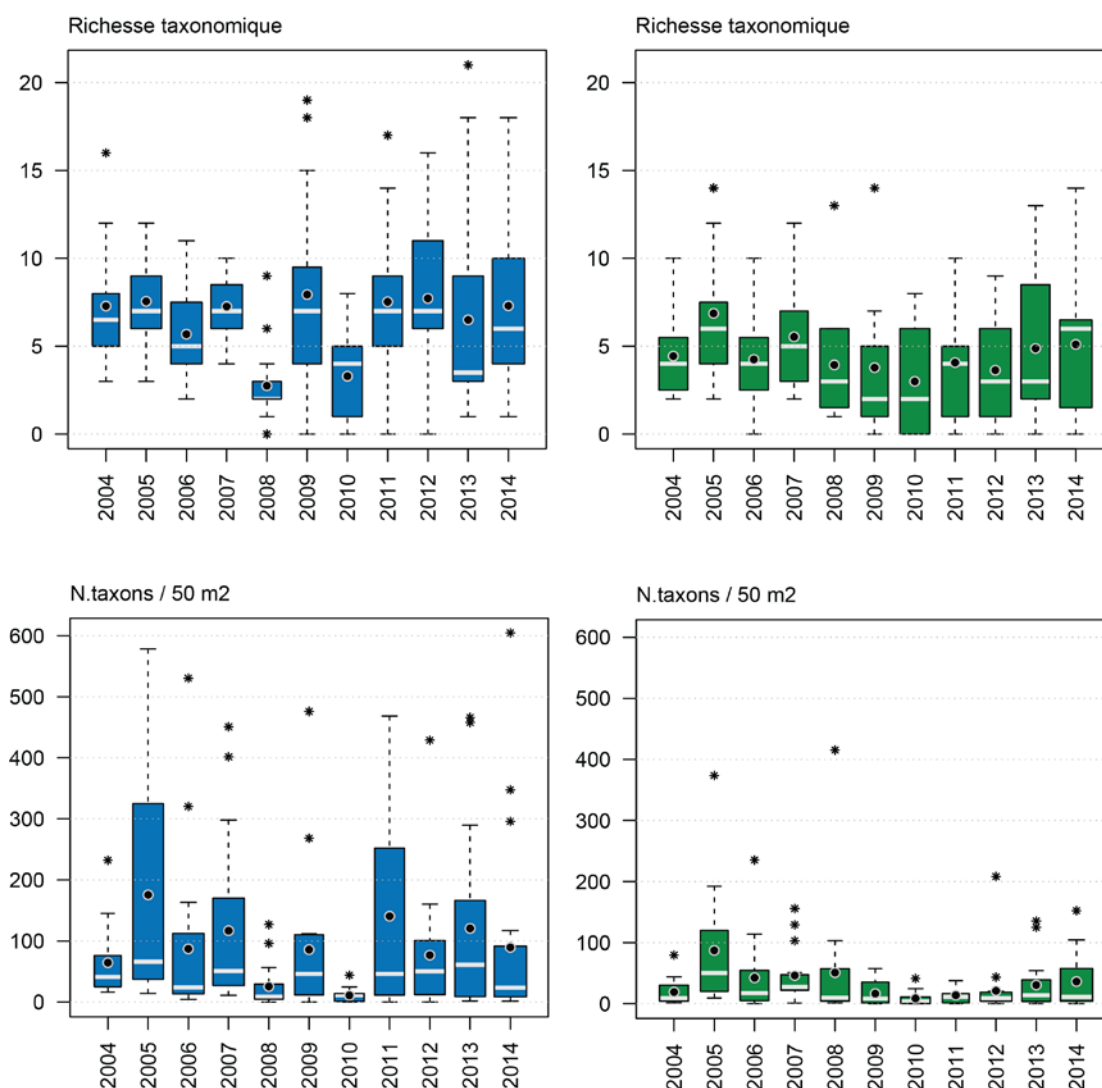


Figure 15 - Évolution interannuelle de la richesse taxonomique et des effectifs corrigés au Pont de Cadenet (en bleu) et à Cheval Blanc (en vert). Les boîtes à moustaches prennent en compte les résultats globaux des ambiances faites dans chaque station. La richesse taxonomique maximale (ensemble des deux stations) est de 72 taxons.

Le tableau général (11 campagnes annuelles de pêches soit 371 ambiances x 72 taxons) regroupant les données des deux stations, a été traité par une Analyse en Composantes Principales Normée après transformation logarithmique des effectifs corrigés  $[\ln(n/50\text{ m}^2 + 1)]$ . Les taxons définis pour une espèce sont pondérés en fonction de l'occurrence globale de l'espèce sur l'ensemble des relevés (nombre de présences/371 relevés). Les résultats présentés concernent l'analyse inter-années/stations et mettent en exergue les différences entre les stations et la variabilité temporelle (Figure 16). Ces analyses sont réalisées avec le logiciel ADE4 (THIOULOUSE et al., 1997, CHESSEL et al., 2004) implanté sous R.

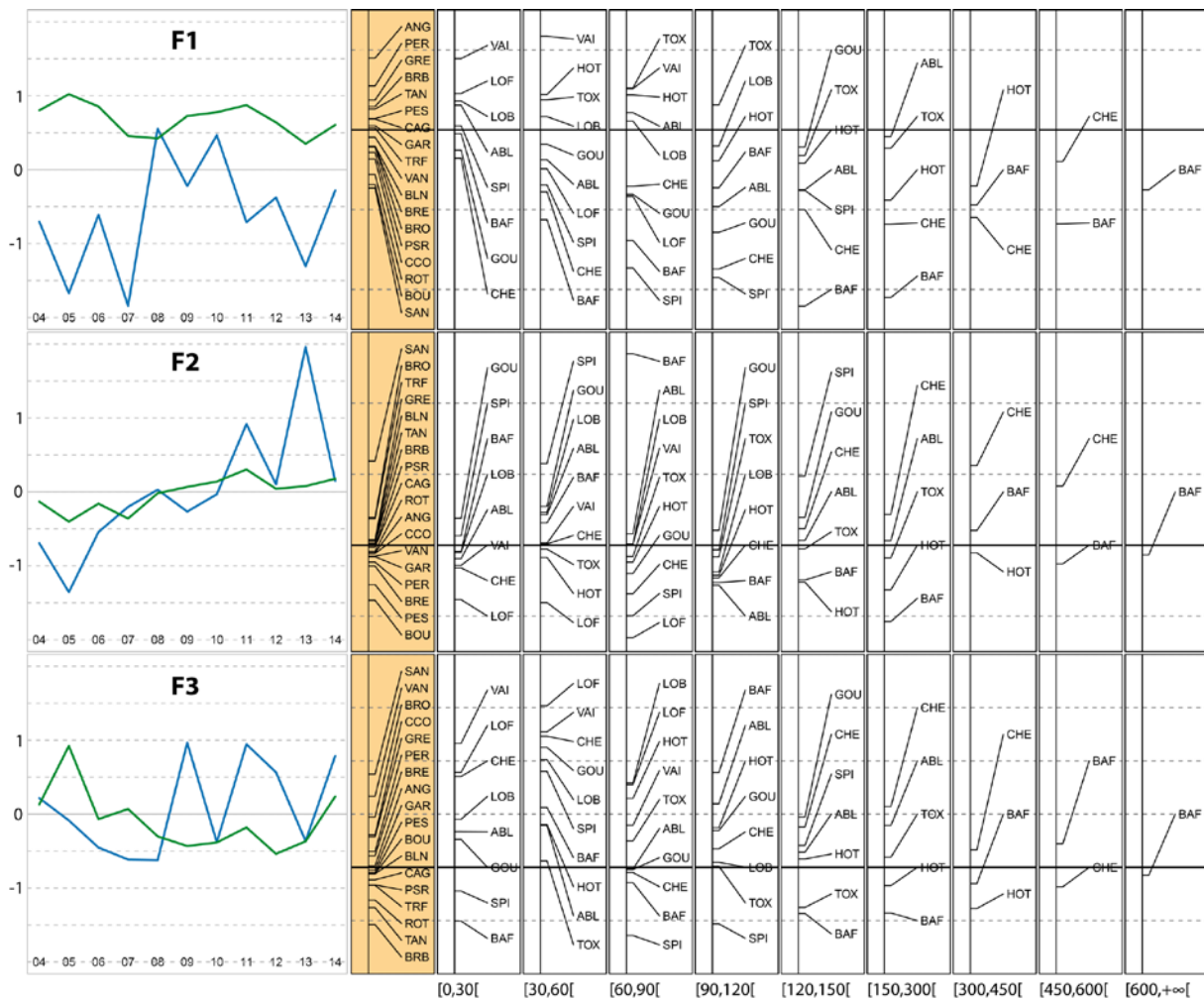


Figure 16 - ACP Normée inter-années/stations. Coordonnées factorielles des stations/années sur les axes 1 à 3 (à gauche). Cheval Blanc (tracé vert) et Pont de Cadenet (tracé bleu). En parallèle, les coordonnées des taxons sur les axes 1 à 3. En orangé, les espèces rares non découpées en classes de taille.

Le premier axe factoriel F1 oppose franchement les deux stations sur la période 2004-2014 : valeurs négatives de Pont de Cadenet et valeurs positives de Cheval Blanc ; avec deux exceptions au Pont de Cadenet : les années 2008 et 2010. Ce contraste inter-stationnel est lié d'une part aux écarts d'effectifs et de richesses taxonomiques, et également à la présence et/ou dominance d'espèces sur l'une des stations. Pont de Cadenet est caractérisé par l'abondance du barbeau, du chevine et du spirin. Cheval Blanc se singularise par la présence de l'anguille et l'abondance du vairon. Les crues de 2008 et 2010 ont eu un impact

sur l'hydro-morphologie et le recrutement, et ont amené une convergence momentanée des peuplements des deux stations.

Le deuxième axe traduit l'évolution des effectifs de la loche franche sur les deux tronçons, et notamment la décroissance continue observée sur Cheval Blanc depuis 2005 (Figure 17). Cet effet est accentué suite aux épisodes de crues ayant modifié la configuration du secteur de Cheval Blanc et éliminé des habitats favorables, traditionnellement échantillonnés au cours des premières années du suivi. Cependant, nous ne pouvons exclure les effets des alternances de forts et faibles débits sur la répartition de cette espèce inféodée à des radiers peu profonds et rapides (RIFFLART et al., 2009). L'année 2013 se singularise au Pont de Cadenet par l'abondance des juvéniles de l'année de barbeau (forte valeur positive sur l'axe). Cette particularité est en lien direct avec le décalage important des deux dates de pêche en 2013.

Le troisième axe reflète l'évolution des effectifs du vairon dans les deux stations (Figure 17). Le gradient décroissant sur la station de Cheval Blanc est également associé à la baisse progressive des captures du vairon en 2006, 2009 et 2012 ; bien que ses effectifs aient été plus élevés en 2014. A Cadenet, des augmentations notables des effectifs de cette espèce sont enregistrées en 2009, 2011, 2012 et 2014.

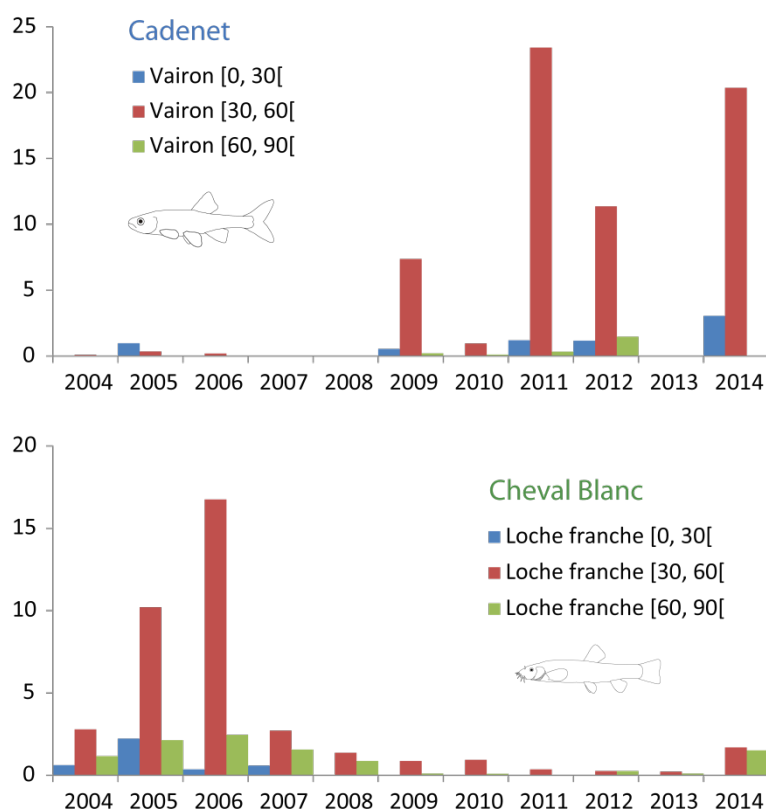


Figure 17 – Evolution des effectifs corrigés moyens (N/50 m<sup>2</sup>) du vairon à Cadenet et de la loche franche à Cheval Blanc. Chaque espèce est découpée en classes de taille de 30 mm.

Au regard des résultats précédents, la comparaison des stations en vue d'une évaluation des impacts des restitutions est rendue délicate du fait (1) d'un échantillonnage limité, (2) des modifications morpho-hydrauliques des stations à la faveur des crues, (3) de la non reproductibilité interannuelle du positionnement des ambiances et de la période de pêche.

Afin de réduire la variabilité locale liée entre autres aux habitats, une comparaison est faite sur 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 9)<sup>3</sup>.

*Tableau 9 - Effectifs et nombre d'ambiances par année et par station. Seules les ambiances sans abris sont considérées. I. Effectifs et nombre d'ambiance hors abris, II. Effectifs des individus d'une taille LT > 60 mm pour les ambiances hors abris, III. Effectifs des individus d'une taille LT > 60mm pour les ambiances hors abris échantillonnées exclusivement dans le chenal principal. Le total de toutes les années est présenté ainsi que le pourcentage retenu par rapport au cas I.*

	I				II				III			
	Effectifs		Ambiances		Effectifs		Ambiances		Effectifs		Ambiances	
Année	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	370	321	13	14	104	75	13	12	40	70	5	10
<b>Total</b>	<b>5067</b>	<b>2192</b>	<b>127</b>	<b>110</b>	<b>2717</b>	<b>777</b>	<b>124</b>	<b>96</b>	<b>1714</b>	<b>585</b>	<b>88</b>	<b>72</b>
<b>% retenu</b>					<b>54</b>	<b>35</b>	<b>98</b>	<b>87</b>	<b>34</b>	<b>27</b>	<b>69</b>	<b>65</b>

<sup>3</sup> 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.

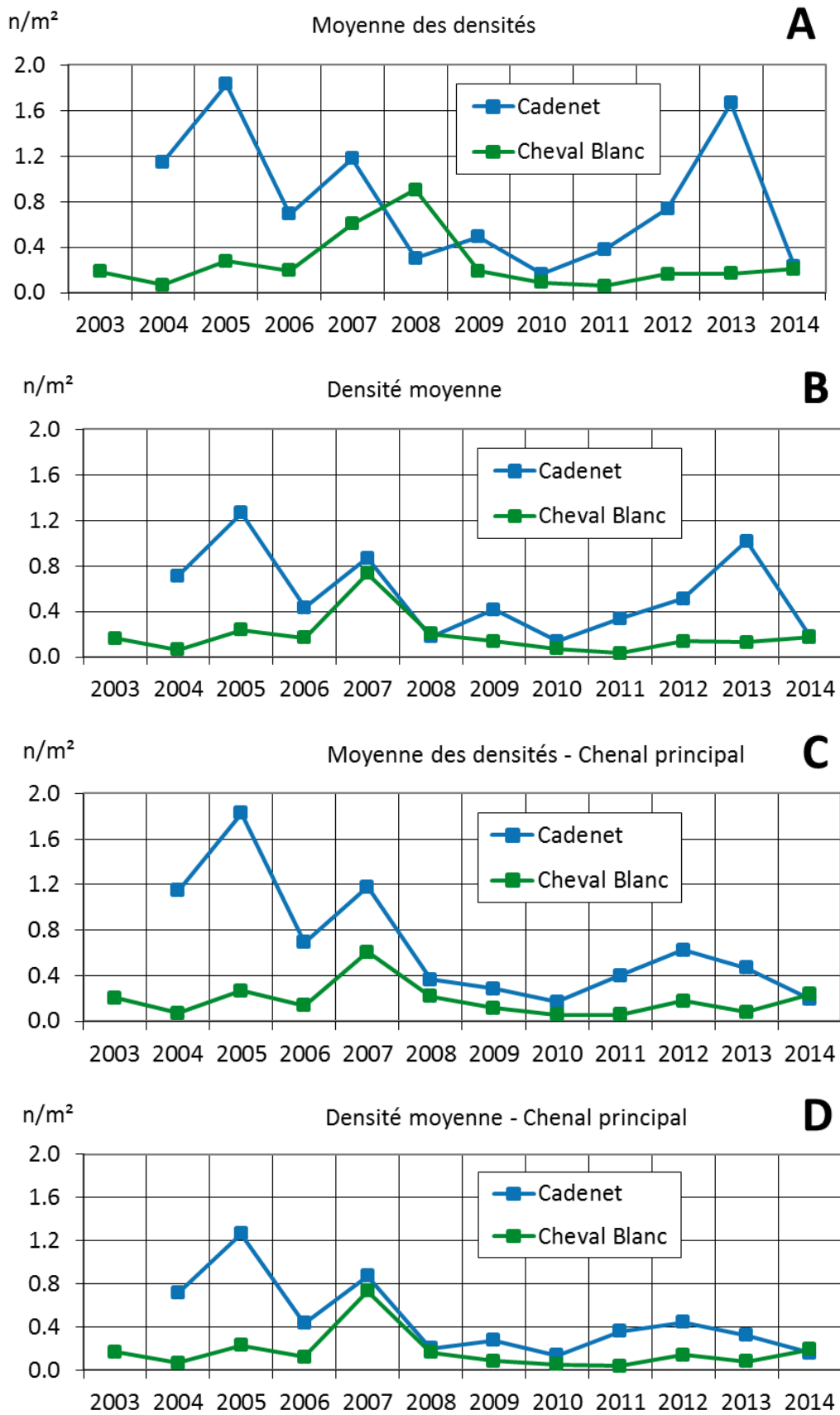


Figure 18 - Évolution des moyennes des densités et des densités moyennes des poissons ( $n/m^2$ ) dans les ambiances sans abris, tous chenaux A & B, chenal principal C & D. Seuls les individus d'une taille supérieure à 60 mm sont pris en compte.

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

L'annexe 7 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=13.8, B=13.7, C=15.2 et D=11.9. Dans notre cas, 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-crues de 2008, 2010 et 2013-2014. Nous constatons, avec l'augmentation des densités moyennes, que le peuplement se rétablit après les crues; et ceci principalement sur Cadenet avec un effet moindre sur Cheval Blanc, l'écart entre les deux stations étant en augmentation sensible.

L'impact de la crue de mai 2013 ayant diminué sensiblement le nombre de jeunes de l'année n'est visible qu'en 2014 sur la Figure 18 car la classe d'âge 2013 qui aurait atteint 60 mm est quasi absente.

Il est probable que la modicité des effectifs sur Cheval Blanc résulte des modifications anarchiques de l'hydraulique locale lors des surverses. Elles rendent les conditions d'habitabilité du secteur très fluctuantes et moins favorables. Les effets seront d'autant plus marqués si les surverses se produisent pendant les périodes de reproduction et de croissance des premiers stades larvaires.

### 3.3. Conditions abiotiques et croissance des poissons

Les modifications importantes et fréquentes du débit de la Durance associées à la surverse de Mallemort modifient les conditions hydrauliques, la température et la turbidité des eaux. Ce sont les principaux facteurs abiotiques susceptibles d'altérer les conditions écologiques en aval de la restitution. L'hydrologie et la charge sédimentaire fine sont singulièrement modifiées (Figure 19) par ces apports (Roy, 2010, 2012; Zanker, 2010). Au vu des surverses régulières, il est possible d'imaginer un contraste thermique marqué entre les stations et des impacts sensibles sur les jeunes individus de l'année pour des secteurs situés en aval de la restitution.

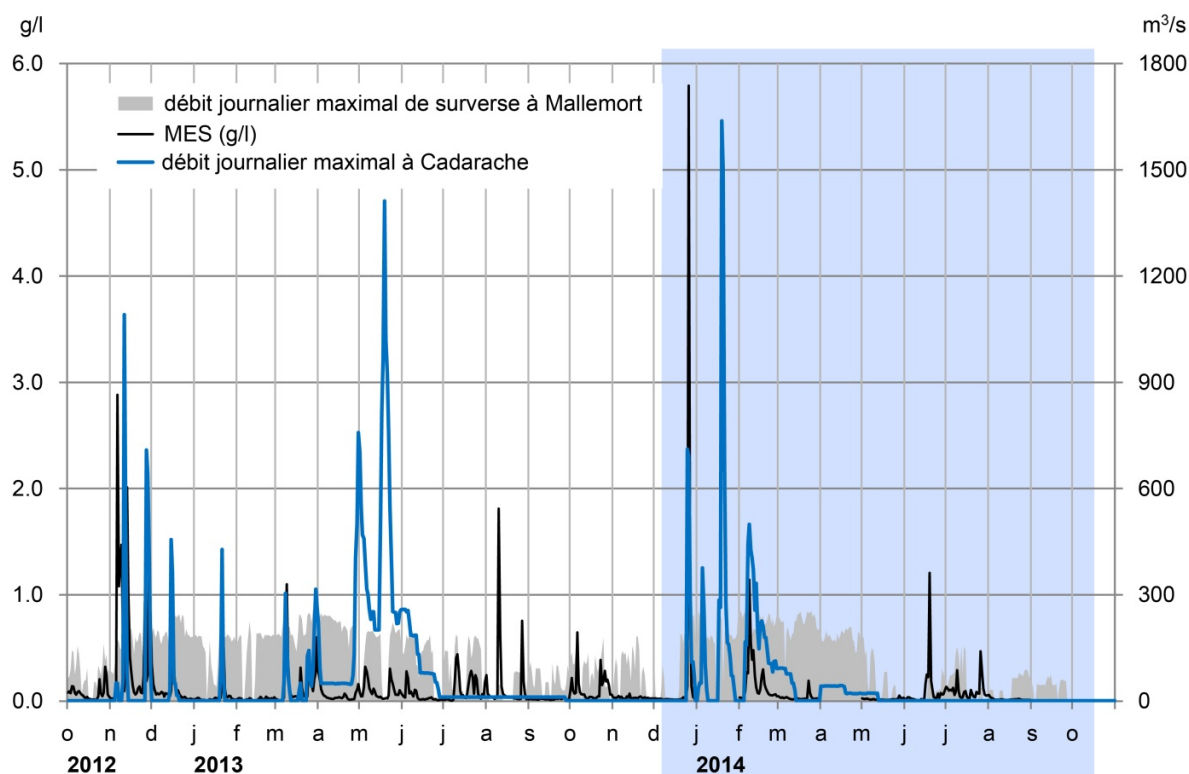


Figure 19 - Débit journalier maximal à Cadarache (trait bleu), débits restitués à Mallemort (aire en gris) et teneurs en matières en suspension (trait noir). Données EDF.

Les faibles abondances enregistrées à Cheval Blanc ont déjà été soulignées précédemment. Mais, il est également possible de s'intéresser à la croissance des espèces dominantes sur les deux sites lorsque les effectifs d'une espèce sont suffisants dans les deux stations pour réaliser cette comparaison. Cet aspect a été déjà présenté dans les rapports précédents. En 2011, une comparaison avait été faite sur les cohortes isolées au sein des distributions globales de taille du barbeau ( $80 \leq LT < 150$  mm), chevaine ( $70 \leq LT < 150$  mm), spirilin ( $60 \leq LT < 100$  mm) et loche franche ( $LT \geq 50$  mm). En regard de l'ensemble des campagnes de pêche, la majorité des individus compris dans ces classes ont à minima passé deux saisons chaudes (croissance) et deux hivers.

La comparaison des moyennes avait montré que les tailles de trois espèces sur quatre (Test de rang de Kruskal-Wallis, spirilin, chevaine et barbeau) étaient plus petites sur la station de Cheval Blanc. La différence de taille pour la loche franche n'était pas significative.

Nous avons également souligné que la disproportion des effectifs du barbeau dans les deux stations était susceptible de biaiser la comparaison des tailles (même limitée à une classe de taille). Au vu des forts contrastes observés entre les deux stations, plusieurs explications avaient été avancées. La ponte des espèces concernées peut être plus tardive sur la station de Cheval Blanc, parce que les températures sont plus froides. Les régimes de restitution, à l'origine de fortes variabilités hydrauliques, sédimentaires et thermiques peuvent perturber la reproduction, l'incubation des œufs et le développement larvaire, puis la croissance en affectant les ressources alimentaires, en contraignant par périodes les poissons dans des habitats peu favorables et nécessitant des coûts énergétiques supplémentaires.

## Pont de Cadenet Cheval Blanc

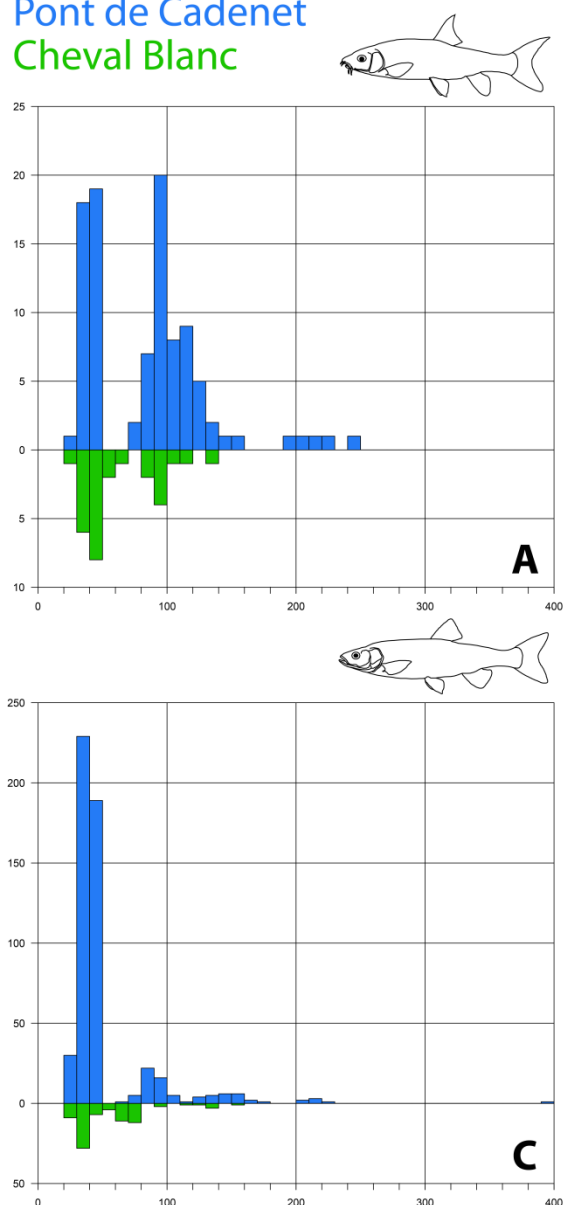


Figure 20 - Distributions des tailles de quatre espèces : barbeau (A), spirin (B), chevine (C) et goujon (D) à Cadenet (bleu) le 3 juillet et à Cheval Blanc (vert) le 31 juillet 2014.

En 2014, les pêches se sont déroulées à un mois d'intervalle. Ce décalage fait suite à des contraintes hydrologiques sur la station de Cheval Blanc.

Bien que les effectifs respectifs des espèces dominantes dans les deux stations soient relativement faibles à Cheval Blanc, les distributions de taille des espèces les plus représentées (barbeau fluviatile, chevaine, spirin et goujon) présentent des individus appartenant à deux classes d'âge (2013 et 2014), voire plus pour les grandes espèces.

Cependant, malgré une pêche plus tardive à Cheval Blanc, les spirins de l'année sont plus petits que ceux capturés début juillet à Cadenet. L'impact thermique des surverses est observable à partir de ces distributions de taille.

#### 4. Utilisation du modèle habitats/poissons 5M7

L'une des méthodes d'exploitation des résultats collectés 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 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 s'agit ici de 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.

Nous avons constaté des différences notables dans les relations Longueur Totale / Vitesse moyenne entre les jeux d'ambiances hors abris de moyenne et de basse Durance. Par conséquent, depuis 2010, nous n'avons plus calculé de taux de saturation à partir des préférences établies en moyenne Durance.

A tailles équivalentes, que ce soit chez la loche franche, le spirin, le vairon, le barbeau ou le chevaine, les relations associant la Longueur Totale et la Vitesse moyenne hors-abris indiquent systématiquement que les poissons de la basse Durance occupent des vitesses moyennes plus rapides, de l'ordre de +5 cm/s à + 17 cm/s. Ce changement d'habitat hydraulique est constaté pour une guilda constituée des 5 espèces citées avec une différence de vitesses moyennes de + 13 cm/s. 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. Ce constat de changement d'habitat hydraulique

moyen, dès les plus jeunes stades, ne permet pas de savoir dans quelle mesure la pression hydrostatique ressentie et la "vitesse 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. Nous avons relevé lors du projet CYPREF (LE COARER et al., 2008), des disparités systématiques des relations (Longueur Totale, Profondeur, Vitesse) des espèces entre cours d'eau : l'Ain, l'Ardèche, la Durance et le Rhône. Les processus expliquant ces différences comportementales sont pour l'instant inconnus. Nous envisageons de monter des projets pour travailler sur ces questions de recherche, essentielles pour améliorer la performance des modèles d'habitats/poissons.

Les jeux de préférences calculés en 2000 sur la moyenne Durance nous apparaissent désormais inadéquats pour être appliqués en basse Durance. Nous nous efforcerons de calculer des préférences génériques à la Durance ou sinon spécifiques à la basse Durance, puis d'analyser les taux de saturation résultants de la chronique du suivi. Cependant, ces calculs peuvent représenter un temps ingénieur important de développement informatique et de traitement de données. Il semble notamment souhaitable de développer un modèle à minima bi-varié hauteur/vitesse et qui serait une fonction de la taille du poisson. 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 seconde étape nécessiterait des recueils de données sur le terrain plus complexes que ceux actuellement mis en œuvre.

## 5. Discussion et perspectives

Sur la station de Cheval Blanc, le chenal principal est accompagné d'un bras secondaire distant de plus d'une centaine de mètres et qui n'a pu être inventorié. L'existence du tressage peut influencer sur le peuplement piscicole soumis aux éclusées. En effet, ce chenal secondaire peut servir de refuge hydraulique ou de piège pour la faune aquatique lors des variations de débits.

Afin de préconiser des scénarii de gestion et mieux comprendre l'impact des restitutions à l'aval de Mallemort, il faudrait disposer d'une modélisation hydraulique fine de ce secteur associée à des connaissances sur le comportement nyctéméral des jeunes stades de poissons dans les conditions d'éclusées.

Les conditions hydrauliques globales ne sont pas suffisantes pour comprendre les mécanismes impactant la dynamique des populations. L'échelle d'observation la plus pertinente se situe sur les habitats de rives, lieu notamment des échouages et des entraînements des juvéniles.

## 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.aix.cemagref.fr> Logiciel HydroSignature.

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

## 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.

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

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.

RIFFLART R., CARREL G., LE COARER Y. & NGUYEN THE FONTEZ B. (2009): Spatio-temporal patterns of fish assemblages in a large regulated alluvial river. *Freshwater Biology*, 54, 1544-1559.

ROY, R. (2010): Etude de l'influence des paramètres physiques (habitat, débit et température) sur la dynamique des peuplements de poissons en rivière régulée. Synthèse bibliographique à l'échelle Européenne et application à la basse Durance sur une échelle long terme. - Master Sciences de la Terre, de l'Eau et de l'Environnement, Ingénierie des Hydrosystèmes et des Bassins Versants, Parcours IMACOF, Université François Rabelais, Tours, 86 p.

ROY, R. & TISSOT, L. (2012): Etude de l'influence des paramètres physiques (habitat, débit et température) sur les peuplements de poissons en Basse Durance. - H-P76-2011-00206-FR. EDF R&D / LNHE / GESTION HYDRO-ENVIRONNEMENTALE DES OUVRAGES, Chatou, France, 58 p.

THIOULOUSE, J., DOLEDEC, S., CHESSEL, D. & OLIVIER, J.M. 1997: ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. - *Statistics and Computing* 7: 75-83.

ZANKER, S. 2010. Analyse des températures de l'eau de la Basse Durance. Campagne 2007-2009. p. 18. Grenoble: EDF, DTG, Dpt Surveillance, Environnement Aquatique.

## 8. Rapports 2003 à 2014

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.

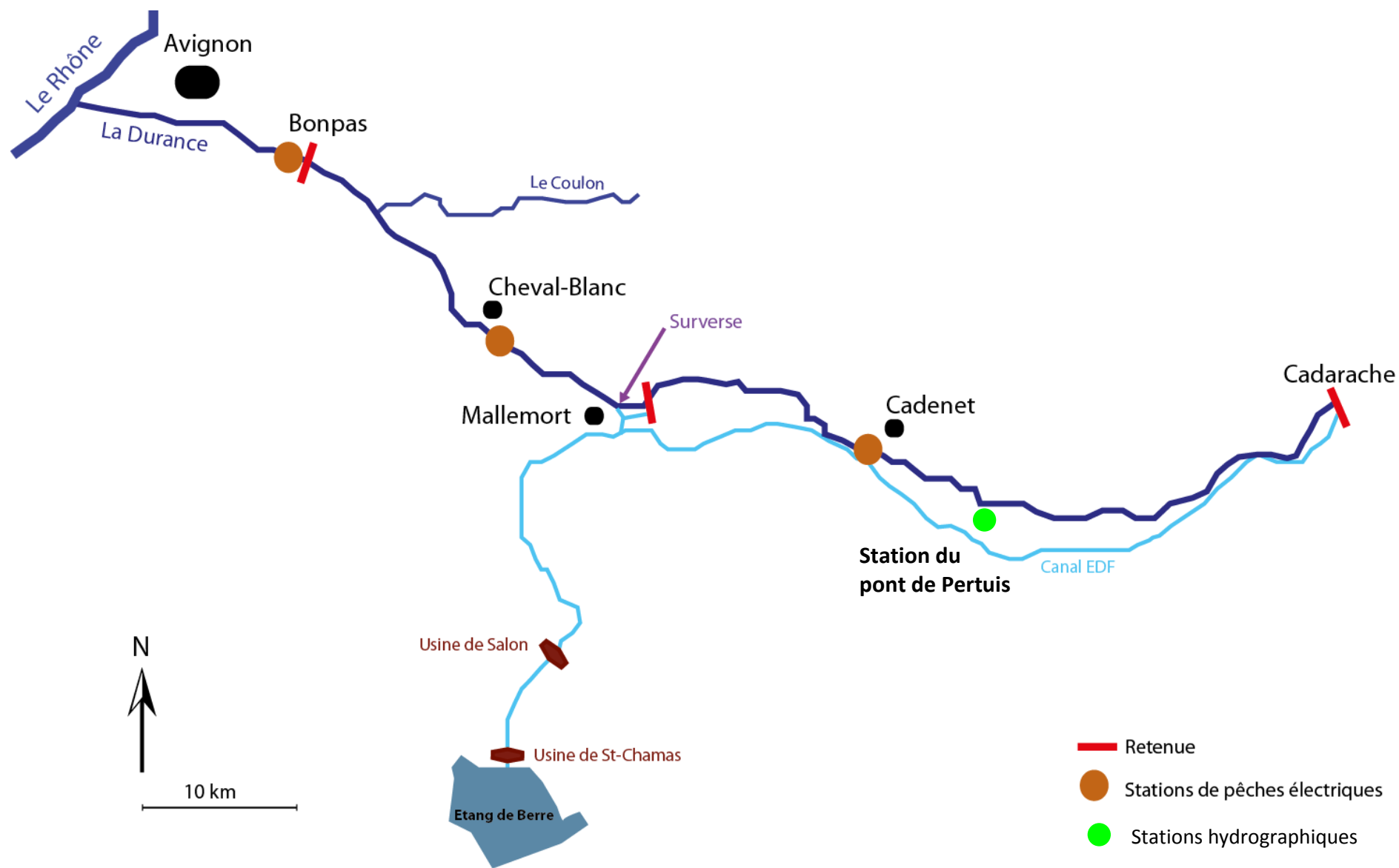
LE COARER, Y., CARREL, G., MARTINEAU, T., DAGNEAUX, D. & BEGUIN, J. (2012): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du pont de Cadenet. Campagne 2011. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 38 p.

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.

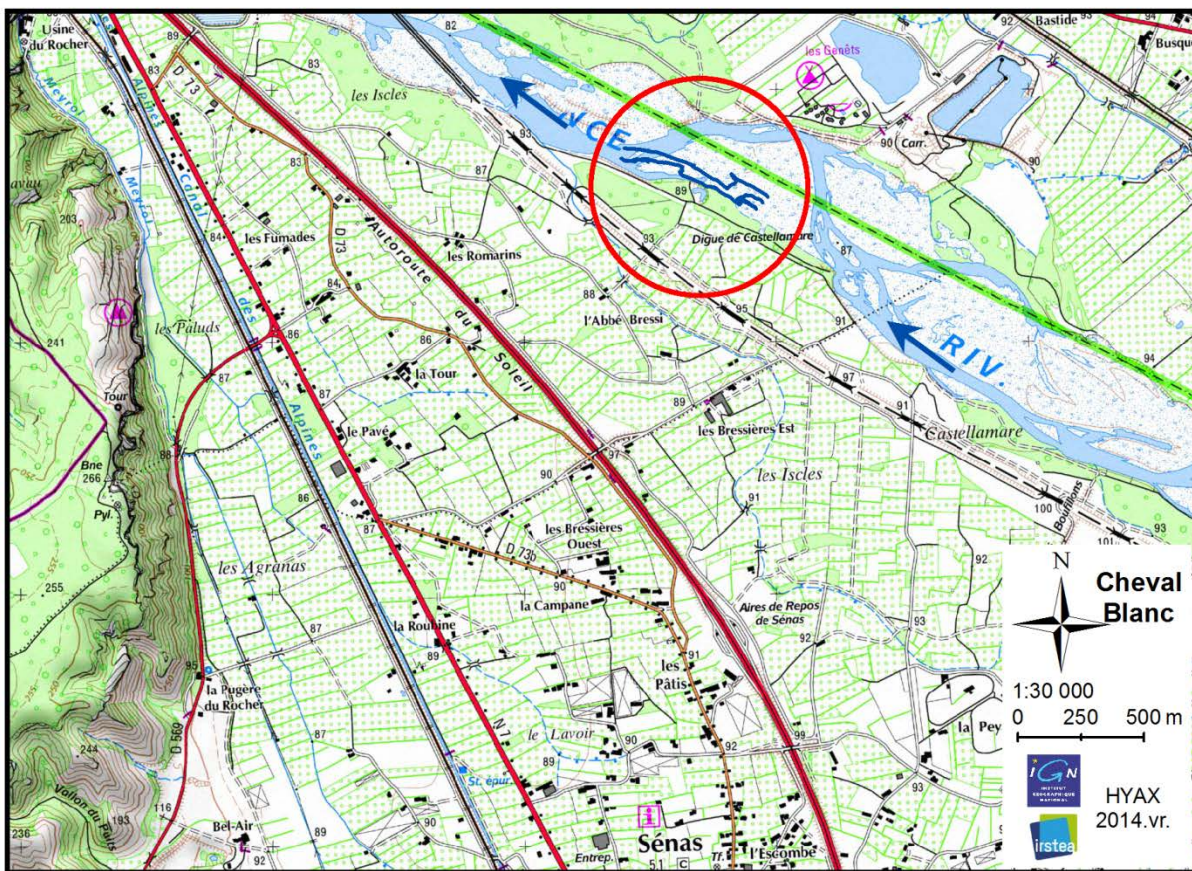
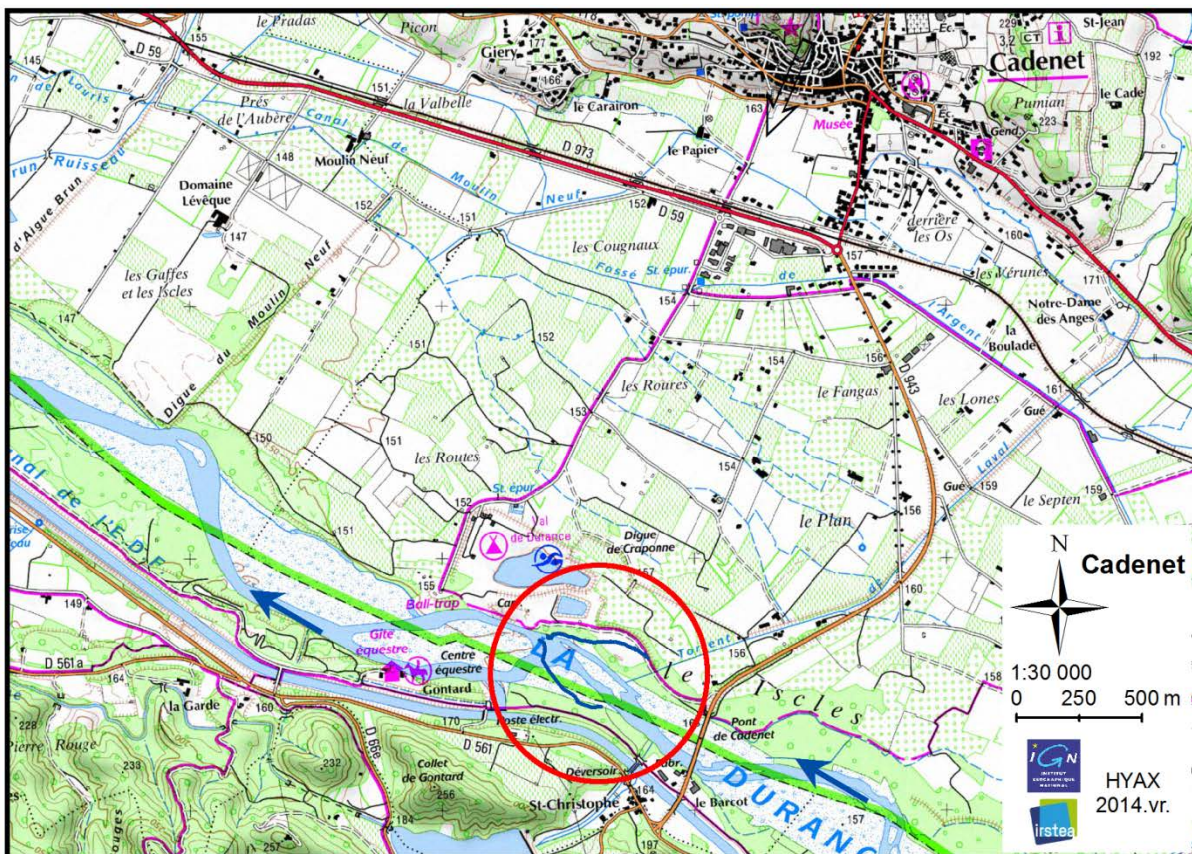
LE COARER, Y., CARREL, G., BEGUIN, J., COLOMBET, X. & TESTI, B. (2014): Analyses piscicoles de la Durance dans les secteurs de Cheval Blanc et du Pont de Cadenet. Campagne 2013. Irstea, U.R. Hydrobiologie, Aix-en-Provence, 48 p.

## 9. Annexes

Annexe 1 - Plan de situation des stations de pêche Onema à Bonpas, Cheval Blanc et Pont de Cadenet.



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



Annexe 3 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Pont de Cadenet.

Pont de Cadenet - 3 juillet 2014																						N	Occur.	
Effectifs bruts		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		Surface (m2)	12.8	16.7	52.4	28.2	47.3	13.0	25.7	86.6	22.8	27.0	24.8	23.4	38.8	46.8	100.1	22.0	18.9	45.9	72.1	78.1		
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			1		9		1			4	2	8	1				8	1			35	9
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne						2				2		3									7	3
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin			26	1				13	19		7		3				7	5		6	92	11
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette			9					1	1					1	5				1	1	19	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile			14	1	6	7	2	25			9		7			5	11	4		9	100	12
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	1	2	10			6		4							3		1	8	1		36	9
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome		1	1					1			1										4	4
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon			12		3	1	4	2		1		1		5			163	1			193	10
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	29	13	237		2	74	29	96	1		2			1		41	2		2		529	13
<b>Total</b>			<b>30</b>	<b>16</b>	<b>310</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>90</b>	<b>50</b>	<b>148</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>229</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>1015</b>	
<b>Richesse spécifique</b>			<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	

Pont de Cadenet - 3 juillet 2014																						N cor	Occur.	
Effectifs corrigés (n/50m2)		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		Surface (m2)	12.8	16.7	52.4	28.2	47.3	13.0	25.7	86.6	22.8	27.0	24.8	23.4	38.8	46.8	100.1	22.0	18.9	45.9	72.1	78.1		
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			1.0		9.5		1.9			7.4	4.0	17.1	1.3				21.1	1.1			64	9
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne						7.7				3.7		6.4									18	3
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin			24.8	1.8				25.3	11.0		14.1		3.9	3.2	1.0	15.9	13.2			3.8	118	11
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette			8.6					1.9	0.6					1.1	2.5				0.7	0.6	16	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile			13.4	1.8	6.3	27.0	3.9	14.4			18.2		7.5			11.3	29.0	4.4		5.8	143	12
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	3.9	6.0	9.5			23.2		2.3							1.5		2.6	8.7	0.7		58	9
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome			3.0	1.0				0.6			2.0										7	4
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon			11.5		3.2	3.9	7.8	1.2		1.8		2.1		5.3			430.3	1.1			468	10
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	113.2	39.0	226.2		2.1	285.7	56.5	55.4	2.2		4.0			1.1			108.2	2.2		1.3	897	13
<b>Total</b>			<b>117.1</b>	<b>48.0</b>	<b>295.9</b>	<b>3.5</b>	<b>21.2</b>	<b>347.5</b>	<b>97.5</b>	<b>85.5</b>	<b>2.2</b>	<b>12.9</b>	<b>42.4</b>	<b>25.7</b>	<b>5.2</b>	<b>18.2</b>	<b>5.0</b>	<b>27.2</b>	<b>604.5</b>	<b>17.4</b>	<b>1.4</b>	<b>11.5</b>	<b>1790</b>	
<b>Richesse spécifique</b>			<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	

Pont de Cadenet - 3 juillet 2014																						N%	Occur.	
Abondances relatives		Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
		Surface (m2)	12.8	16.7	52.4	28.2	47.3	13.0	25.7	86.6	22.8	27.0	24.8	23.4	38.8	46.8	100.1	22.0	18.9	45.9	72.1	78.1		
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche			0.3		45.0		2.0			57.1	9.5	66.7	25.0				3.5	6.3			3.6	9
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne						2.2				28.6		25.0									1.0	3
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin			8.4	50.0				26.0	12.8		33.3		75.0	17.6	20.0	58.3	2.2			33.3	6.6	11
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette			2.9					2.0	0.7					5.9	50.0				50.0	5.6	0.9	7
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile			4.5	50.0	30.0	7.8	4.0	16.9			42.9		41.2			41.7	4.8	25.0		50.0	8.0	12
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	3.3	12.5	3.2			6.7		2.7							30.0		0.4	50.0	50.0		3.3	9
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome			6.3	0.3				0.7			4.8										0.4	4
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon			3.9		15.0	1.1	8.0	1.4		14.3		8.3		29.4			71.2	6.3			26.2	10
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	96.7	81.3	76.5		10.0	82.2	58.0	64.9	100.0		9.5			5.9			17.9	12.5		11.1	50.1	13
<b>Richesse spécifique</b>			<b>2</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	

Annexe 4 - Résultats des pêches électriques effectuées sur la station Cheval Blanc.

Cheval Blanc - 31 juillet 2014																						N	Occur.	
Effectifs bruts	Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
	Surface (m2)	22.9	36.6	41.7	32.5	20.0	24.4	19.3	31.2	63.0	24.2	12.5	25.7	41.7	58.4	15.2	40.5	37.4	33.1	35.1	66.5			
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>										1	2											3	2
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	2					13	4					4		2	1		2	2			5	35	9
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>		10	2														2				1	15	4
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	9		4				17	2	7	4	26	2		1		3	8					83	11
	<i>Alburnus alburnus</i>																1	1					2	2
	<i>Barbus barbus</i>	2	1	7			3	1	1				4		3		2	1	1			1	27	12
	<i>Gobio gobio</i>		4										2					1					7	3
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>										1												1	1
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	10		13			31	17				5	7		3			42	3			2	133	10
	<i>Squalius cephalus</i>	1	31	5						7	7	5						21	1			1	79	9
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>													1									1	1
	<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>46</b>	<b>31</b>			<b>47</b>	<b>39</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>38</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>78</b>	<b>7</b>			<b>10</b>	<b>386</b>	
	<b>Richesse spécifique</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>			<b>5</b>	<b>11</b>	

Cheval Blanc - 31 juillet 2014																						20 N cor	Occur.	
Effectifs corrigés (n/50m2)	Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
	Surface (m2)	22.9	36.6	41.7	32.5	20.0	24.4	19.3	31.2	63.0	24.2	12.5	25.7	41.7	58.4	15.2	40.5	37.4	33.1	35.1	66.5			
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>										2.1	8.0											10	2
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	4.4					26.7	10.4					7.8		1.7	3.3		2.7	3.0			3.8	64	9
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>		13.6	2.4														2.7				0.8	19	4
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	19.6		4.8				44.2	3.2	5.6	8.3	104.2	3.9		0.9		3.7	10.7					209	11
	<i>Alburnus alburnus</i>																	1.2	1.3				3	2
	<i>Barbus barbus</i>	4.4	1.4	8.4			6.2	2.6	1.6				7.8		2.6		2.5	1.3	1.5			0.8	41	12
	<i>Gobio gobio</i>		5.5										3.9					1.3					11	3
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>										2.1												2	1
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	21.8		15.6			63.7	44.2				20.0	13.6		2.6			56.1	4.5			1.5	244	10
	<i>Squalius cephalus</i>	2.2	42.3	6.0						5.6	14.5	20.0						28.1	1.5			0.8	121	9
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>													1.2									1	1
	<b>Total</b>	<b>52.3</b>	<b>62.8</b>	<b>37.2</b>			<b>96.5</b>	<b>101.3</b>	<b>4.8</b>	<b>11.1</b>	<b>26.8</b>	<b>152.2</b>	<b>36.9</b>	<b>1.2</b>	<b>7.7</b>	<b>3.3</b>	<b>7.4</b>	<b>104.2</b>	<b>10.6</b>			<b>7.5</b>	<b>724</b>	
	<b>Richesse spécifique</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>			<b>5</b>	<b>11</b>	

Cheval Blanc - 31 juillet 2014																						N%	Occur.	
Abondances relatives	Ambiance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
	Surface (m2)	22.9	36.6	41.7	32.5	20.0	24.4	19.3	31.2	63.0	24.2	12.5	25.7	41.7	58.4	15.2	40.5	37.4	33.1	35.1	66.5			
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>										7.7	5.3											1.4	2
Balitoridae	<i>Barbatula barbatula</i>	8.3					27.7	10.3					21.1		22.2	100.0		2.6	28.6			50.0	8.8	9
Cobitidae	<i>Cobitis bilineata</i>		21.7	6.5														2.6				10.0	2.7	4
Cyprinidae	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	37.5		12.9				43.6	66.7	50.0	30.8	68.4	10.5		11.1		50.0	10.3					28.9	11
	<i>Alburnus alburnus</i>																16.7	1.3					0.4	2
	<i>Barbus barbus</i>	8.3	2.2	22.6			6.4	2.6	33.3				21.1		33.3		33.3	1.3	14.3			10.0	5.6	12
	<i>Gobio gobio</i>		8.7										10.5					1.3					1.5	3
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>										7.7												0.3	1
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	41.7		41.9			66.0	43.6				13.2	36.8		33.3			53.8	42.9			20.0	33.6	10
	<i>Squalius cephalus</i>	4.2	67.4	16.1						50.0	53.8	13.2						26.9	14.3			10.0	16.7	9
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>													100.0									0.2	1
	<b>Richesse spécifique</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>			<b>5</b>	<b>11</b>	

Annexe 5 - Effectifs corrigés (N/50 m<sup>2</sup>) moyens par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.

				Pont de Cadenet												
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	MOY
<b>Anguillidae</b>	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	<b>ANG</b>									0.1			<b>0.01</b>	
<b>Balitoridae</b>	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	<b>LOF</b>	11.6	22.5	74.5	12.6	2.5	2.7	19.7	0.4	35.2	21.1	0.6	3.2	<b>17.22</b>
<b>Centrarchidae</b>	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	<b>PES</b>			0.6	0.6									<b>0.11</b>
<b>Cobitidae</b>	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	<b>LOB</b>	4.2	0.3	0.5	0.8		0.1	2.2	0.1	0.3	0.8	26.3	0.9	<b>3.04</b>
<b>Cyprinidae</b>	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	<b>SPI</b>	14.8	17.2	30.6	26.0	53.3	6.8	18.2	1.4	40.3	13.3	28.8	5.9	<b>21.38</b>
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	<b>CHE</b>	33.1	10.8	38.5	31.1	35.2	6.5	26.7	2.4	23.8	19.7	14.5	44.9	<b>23.94</b>
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	<b>BAF</b>	14.4	7.4	25.2	13.1	18.1	3.5	7.1	4.5	12.3	4.8	43.7	7.1	<b>13.43</b>
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	<b>VAI</b>		0.1	1.3	0.2			8.1	1.1	24.9	14.0		23.4	<b>6.09</b>
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	<b>GOU</b>	12.4	2.1	1.7	2.0	5.4	3.3	1.8	1.0	1.7	1.6	5.4	2.9	<b>3.45</b>
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	<b>ABL</b>	0.9	1.5	0.7	0.8	0.6		1.4	0.0	0.5	0.8	0.8	0.8	<b>0.72</b>
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	<b>HOT</b>	0.3	0.5	0.4		0.7				0.1	0.0			<b>0.19</b>
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	<b>CCO</b>	1.1		0.1		0.1	0.4	0.2		0.1	0.1			<b>0.19</b>
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	<b>BOU</b>			1.0										<b>0.09</b>
	<i>Telestes souffia</i>	Blageon	<b>BLN</b>		0.8									0.1		<b>0.08</b>
	<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	<b>CAG</b>						0.7	0.1						<b>0.07</b>
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	<b>BRE</b>		0.8											<b>0.07</b>
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	<b>TOX</b>		0.2	0.0		0.1		0.1			0.1		0.3	<b>0.08</b>
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	<b>PSR</b>			0.3							0.1	0.1		<b>0.05</b>
	<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	<b>BRB</b>							0.5						<b>0.04</b>
	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	<b>GAR</b>					0.5								<b>0.04</b>
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	<b>TAN</b>							0.2						<b>0.02</b>	
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	<b>VAN</b>								0.2					<b>0.02</b>	
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	<b>ROT</b>					0.1								<b>0.01</b>	
<b>Esocidae</b>	<i>Esox lucius</i>	Brochet	<b>BRO</b>									0.1			<b>0.01</b>	
<b>Percidae</b>	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	<b>GRE</b>						0.5			0.1	0.0		<b>0.06</b>	
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	<b>PER</b>	2.0				0.4	0.2			0.1			<b>0.24</b>	
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	<b>SAN</b>		0.1							1.0	0.1	0.3	<b>0.13</b>	
<b>Salmonidae</b>	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	<b>TRF</b>					0.1	0.0			0.1	0.1		<b>0.03</b>	
<b>Effectifs totaux corrigés</b>				94.89	64.37	175.48	87.14	116.78	25.46	85.88	10.86	140.59	76.81	120.60	89.49	<b>90.82</b>
<b>Richesses spécifiques</b>				10	13	14	9	13	13	12	8	15	15	11	9	<b>28</b>

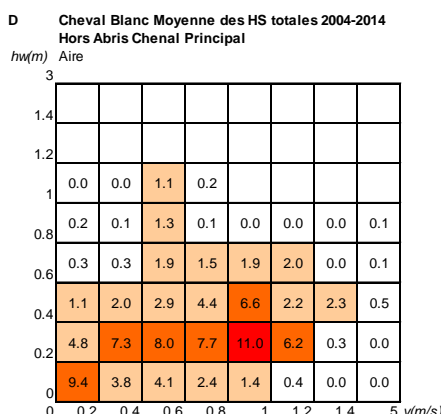
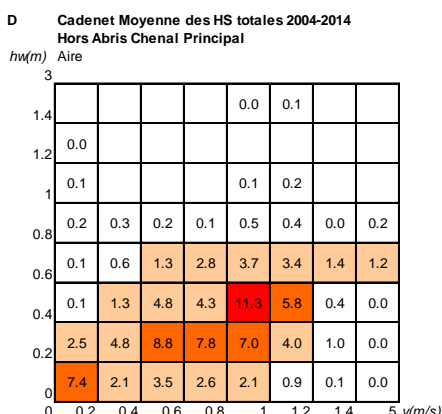
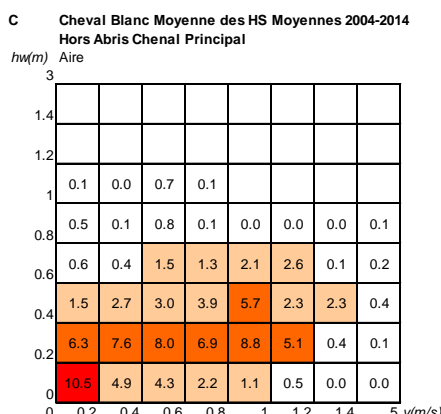
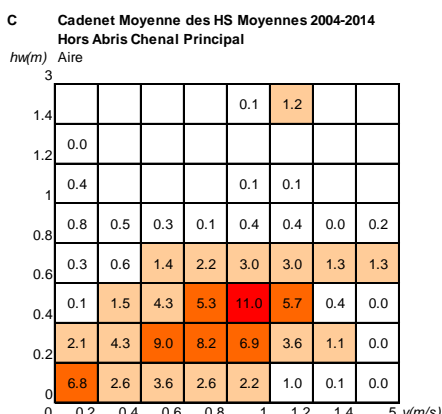
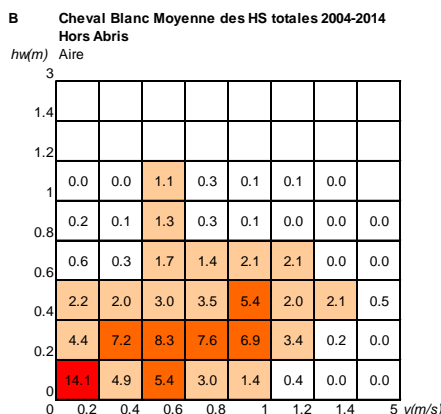
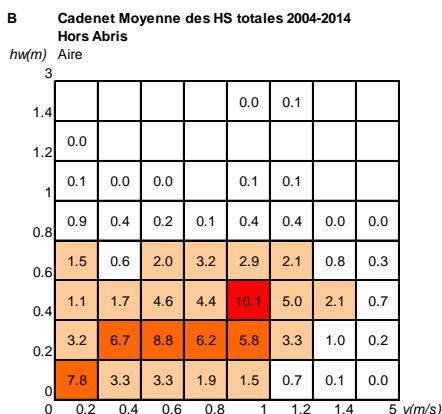
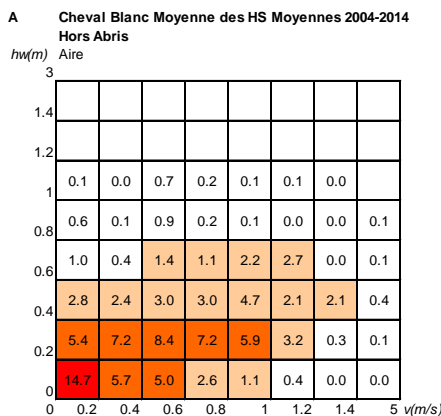
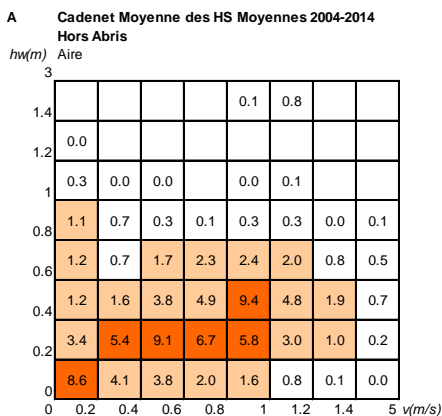
				Cheval Blanc												
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	MOY
<b>Anguillidae</b>	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	<b>ANG</b>	1.6	0.9	0.8	1.3	0.2	0.8			0.1	1.7	0.8	0.5	<b>0.73</b>
<b>Balitoridae</b>	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	<b>LOF</b>	15.2	4.6	14.5	19.5	4.9	2.2	1.0	1.0	0.4	0.5	0.3	3.2	<b>5.61</b>
<b>Centrarchidae</b>	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	<b>PES</b>	0.2	0.4	0.2	0.1	1.0	0.2	0.1	0.0					<b>0.21</b>
<b>Cobitidae</b>	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	<b>LOB</b>	0.3	0.7	7.4	2.2	1.8	0.1	0.1	0.1	0.5			1.0	<b>1.19</b>
<b>Cyprinidae</b>	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	<b>VAI</b>	8.7	4.0	37.2	9.2	15.5	9.6	2.2	2.2	4.9	2.1	10.2	12.2	<b>9.83</b>
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	<b>SPI</b>	1.2	0.2	1.3	1.9	10.6	29.6	3.5	1.9	5.7	8.5	8.7	10.4	<b>6.94</b>
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	<b>CHE</b>	6.6	5.3	9.6	4.3	7.5	4.7	7.1	1.5	0.6	5.4	6.9	6.0	<b>5.46</b>
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	<b>BAF</b>	4.4	2.1	0.4	0.3	1.8	3.1	0.3	1.0	1.4	1.4	1.8	2.0	<b>1.66</b>
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	<b>GOU</b>	0.7	0.2	6.4	1.4	0.2		0.2	0.3		0.1	0.8	0.5	<b>0.90</b>
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	<b>TOX</b>			3.4	1.5	0.5	0.3	0.3			1.2	0.2	0.1	<b>0.63</b>
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	<b>HOT</b>			4.9				0.1						<b>0.45</b>
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	<b>ABL</b>			1.0		1.6		0.2	0.0	0.3		0.6	0.1	<b>0.32</b>
	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	<b>GAR</b>			0.3	0.5				0.2					<b>0.08</b>
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	<b>PSR</b>	0.2						0.2	0.1					<b>0.05</b>
	<i>Telestes souffia</i>	Blageon	<b>BLN</b>		0.0									0.2		<b>0.03</b>
	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	<b>TAN</b>							0.1						<b>0.01</b>
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	<b>CCO</b>													
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	<b>BOU</b>													
	<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	<b>CAG</b>													
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	<b>BRE</b>													
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	<b>BRB</b>														
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	<b>VAN</b>														
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	<b>ROT</b>														
<b>Esocidae</b>	<i>Esox lucius</i>	Brochet	<b>BRO</b>													
<b>Percidae</b>	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	<b>GRE</b>	0.5	0.1	0.4					0.1					<b>0.10</b>
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	<b>PER</b>		0.6	1.7		0.6	0.2	0.8	0.1					<b>0.37</b>
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	<b>SAN</b>													
<b>Salmonidae</b>	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	<b>TRF</b>		0.0	0.1				0.3				0.1	<b>0.04</b>	
<b>Effectifs totaux corrigés</b>				39.64	19.03	89.58	42.27	46.13	50.84	16.43	8.53	13.81	20.93	30.56	36.20	<b>34.60</b>
<b>Richesses spécifiques</b>				11	13	16	11	12	10	15	13	8	8	10	11	19

Annexe 6 - Abondances relatives moyennes par année des espèces capturées sur les stations de Cadenet et Cheval Blanc.

				Pont de Cadenet												
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	%
<b>Anguillidae</b>	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	<b>ANG</b>									0.05			<b>0.01</b>	
<b>Balitoridae</b>	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	<b>LOF</b>	12.23	34.98	42.47	14.41	2.14	10.56	22.90	3.75	25.05	27.48	0.47	3.60	<b>18.96</b>
<b>Centrarchidae</b>	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	<b>PES</b>			0.37	0.70									<b>0.12</b>
<b>Cobitidae</b>	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	<b>LOB</b>	4.40	0.54	0.26	0.94		0.34	2.51	0.81	0.25	1.02	21.81	1.00	<b>3.35</b>
<b>Cyprinidae</b>	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	<b>SPI</b>	15.64	26.70	17.46	29.80	45.61	26.56	21.20	12.49	28.67	17.34	23.88	6.59	<b>23.54</b>
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	<b>CHE</b>	34.91	16.82	21.93	35.66	30.15	25.72	31.12	22.17	16.91	25.71	12.03	50.13	<b>26.36</b>
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	<b>BAF</b>	15.19	11.47	14.35	15.02	15.50	13.88	8.28	41.19	8.74	6.25	36.20	7.99	<b>14.79</b>
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	<b>VAI</b>		0.16	0.75	0.22			9.45	9.74	17.73	18.22		26.16	<b>6.71</b>
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	<b>GOU</b>	13.11	3.34	0.98	2.29	4.58	13.00	2.15	9.42	1.21	2.08	4.47	3.27	<b>3.80</b>
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	<b>ABL</b>	0.94	2.33	0.38	0.97	0.48		1.63	0.43	0.34	0.98	0.62	0.89	<b>0.80</b>
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	<b>HOT</b>	0.35	0.85	0.24		0.58				0.04	0.04			<b>0.21</b>
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	<b>CCO</b>	1.13		0.06		0.05	1.43	0.24		0.09	0.15			<b>0.21</b>
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	<b>BOU</b>			0.54										<b>0.10</b>
	<i>Telestes souffia</i>	Blageon	<b>BLN</b>		1.21									0.09		<b>0.09</b>
	<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	<b>CAG</b>						2.75	0.12						<b>0.08</b>
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	<b>BRE</b>		1.21											<b>0.08</b>
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	<b>TOX</b>		0.28	0.03		0.09		0.16			0.19		0.37	<b>0.09</b>
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	<b>PSR</b>			0.18							0.17	0.08		<b>0.06</b>
	<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	<b>BRB</b>						1.87							<b>0.05</b>
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	<b>GAR</b>					0.41								<b>0.05</b>	
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	<b>TAN</b>						0.92							<b>0.02</b>	
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	<b>VAN</b>							0.24						<b>0.02</b>	
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	<b>ROT</b>					0.05								<b>0.01</b>	
<b>Esocidae</b>	<i>Esox lucius</i>	Brochet	<b>BRO</b>									0.05			<b>0.01</b>	
<b>Percidae</b>	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	<b>GRE</b>						1.88			0.10	0.04		<b>0.07</b>	
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	<b>PER</b>	2.10				0.32	0.92			0.05			<b>0.27</b>	
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	<b>SAN</b>		0.13							0.70	0.19	0.23	<b>0.15</b>	
<b>Salmonidae</b>	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	<b>TRF</b>					0.05	0.17			0.13	0.11		<b>0.03</b>	

				Cheval Blanc												
				2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	%
<b>Anguillidae</b>	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	<b>ANG</b>	4.15	4.92	0.89	3.17	0.38	1.60			0.51	8.06	2.64	1.39	<b>2.11</b>
<b>Balitoridae</b>	<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	<b>LOF</b>	38.34	23.93	16.24	46.24	10.53	4.38	5.93	11.88	2.62	2.42	1.05	8.80	<b>16.20</b>
<b>Centrarchidae</b>	<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	<b>PES</b>	0.43	2.09	0.23	0.34	2.18	0.38	0.69	0.53					<b>0.60</b>
<b>Cobitidae</b>	<i>Cobitis bilineata</i>	Loche italienne	<b>LOB</b>	0.78	3.90	8.29	5.19	3.92	0.24	0.80	0.93	3.68			2.69	<b>3.44</b>
<b>Cyprinidae</b>	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	<b>VAI</b>	22.06	20.77	41.54	21.78	33.62	18.92	13.13	25.78	35.48	9.81	33.34	33.64	<b>28.40</b>
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirlin	<b>SPI</b>	3.07	0.80	1.41	4.43	22.95	58.19	21.15	21.90	41.17	40.45	28.39	28.86	<b>20.06</b>
	<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine	<b>CHE</b>	16.67	27.71	10.67	10.20	16.19	9.21	42.93	17.89	3.99	26.00	22.74	16.69	<b>15.77</b>
	<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	<b>BAF</b>	11.04	10.87	0.42	0.69	3.96	6.09	1.53	11.16	10.04	6.72	6.03	5.65	<b>4.80</b>
	<i>Gobio gobio</i>	Goujon	<b>GOU</b>	1.73	1.23	7.17	3.27	0.45		1.10	3.63		0.66	2.51	1.48	<b>2.62</b>
	<i>Parachondrostoma toxostoma</i>	Toxostome	<b>TOX</b>			3.80	3.60	1.09	0.61	1.92			5.88	0.66	0.29	<b>1.83</b>
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	<b>HOT</b>			5.44				0.69						<b>1.31</b>
	<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	<b>ABL</b>			1.11		3.45		0.98	0.45	2.51		1.87	0.36	<b>0.92</b>
	<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	<b>GAR</b>			0.29	1.09					1.86				<b>0.23</b>
	<i>Pseudorasbora parva</i>	Pseudorasbora	<b>PSR</b>	0.43						1.38	1.46					<b>0.14</b>
	<i>Telestes souffia</i>	Blageon	<b>BLN</b>		0.22									0.79		<b>0.07</b>
	<i>Tinca tinca</i>	Tanche	<b>TAN</b>							0.69						<b>0.03</b>
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune	<b>CCO</b>													
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	<b>BOU</b>													
	<i>Carassius gibelio</i>	Carassin argenté	<b>CAG</b>													
	<i>Abramis brama</i>	Brème commune	<b>BRE</b>													
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	<b>BRB</b>														
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	<b>VAN</b>														
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle	<b>ROT</b>														
<b>Esocidae</b>	<i>Esox lucius</i>	Brochet	<b>BRO</b>													
<b>Percidae</b>	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Grémille	<b>GRE</b>	1.29	0.34	0.48					0.93					<b>0.29</b>
	<i>Perca fluviatilis</i>	Perche commune	<b>PER</b>		3.00	1.95		1.27	0.38	4.97	1.59					<b>1.06</b>
	<i>Sander lucioperca</i>	Sandre	<b>SAN</b>													
<b>Salmonidae</b>	<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	<b>TRF</b>		0.21	0.06				2.11				0.17		<b>0.12</b>

Annexe 7 - Hydrosignatures des stations pour les campagnes 2004-2014 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 2014.

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](http://www.irstea.fr)



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